Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias (Estructuras)

"ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD SÍSMICA DE SISTEMAS ESTRUCTURALES COMPLEJOS NO LINEALES DE UN EDIFICIO DE DIEZ NIVELES MEDIANTE EL USO DE ANÁLISIS DINÁMICO INCREMENTAL DEL ÍNDICE DE DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ SECANTE (ADI-IDRS)"

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Estructuras)

Presenta:
Guillermo Arturo Díaz de León Piña

Dirigido por:
Dr. Marco Antonio Montiel Ortega

SINODALES

Dr. Marco Antonio Montiel Ortega
Presidente — Firma

Dr. Omar Chávez Alegría
Secretario — Firma

Dr. Francisco Javier Carrión Viramontes
Vocal — Firma

Dr. Saúl Obregón Biosca
Suplente — Firma

Dr. Enrique Rico García
Suplente — Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Julio de 2012
México

RESUMEN

La falla de una estructura con relación al estado límite de colapso, se presenta cuando la amplitud de la deformación máxima de la demanda rebasa la capacidad de colapso de la estructura. El concepto de capacidad de deformación, cuenta con limitaciones en su uso práctico en términos cuantitativos por lo que se han impulsado nuevos esfuerzos de investigación como este, encaminados hacia el desarrollo de criterios alternativos orientados a obtener estimaciones probabilistas de los valores de las intensidades sísmicas que conducen al colapso del sistema. Uno de estos criterios, es el método del Análisis Dinámico Incremental aplicado al Índice de Degradación de la Rigidez-Secante (*ADI-IDRS*), que se presenta aquí como una alternativa más eficiente. Se calcula el nivel de confiabilidad obtenido por medio del índice de confiabilidad β de Cornell. Para su estimación se utilizó un enfoque alternativo en donde el margen de seguridad *Z* se define como el logaritmo natural de la razón de la intensidad de colapso y de la intensidad del movimiento del suelo que actúan sobre el sistema. Esta metodología se aplica a una muestra de 8 edificios de 10 niveles resultantes de una simulación Monte Carlo considerando las incertidumbres asociadas a las propiedades geométricas y mecánicas de la estructura y a los 40 acelerogramas registrados en el Valle de la Cd. de México que se seleccionaron. Como resultados se obtienen 40 curvas *ADI-IDRS* asociadas a cada sismo que relacionan la intensidad sísmica por medio de la pseudo-aceleración espectral *vs* el Índice de Degradación de la Rigidez Secante *D(y)* para diferentes valores de intensidad hasta que se alcanza la intensidad de colapso, 40 curvas *ADI-IDRS* que relacionan la confiabilidad *vs* el índice *D(y)* para niveles de intensidad sísmica en la zona cercana al colapso, y 40 curvas de confiabilidad para diferentes valores del margen de seguridad (Z), que permiten definir los niveles de seguridad deseados.

(Palabras clave: Índice de Confiabilidad β de Cornell, Índice de Degradación de la Rigidez Secante (*IDRS*), Análisis Dinámico Incremental (*ADI*), Margen de Seguridad *Z*.)

ABSTRACT

The structural failure related to the collapse limit state, when the maximum demand of deformation amplitude exceeds the structure collapse capacity is presented. The deformation capacity concept, has limitations in the practical use in quantitative terms by what new research such efforts have driven, aimed towards the development of alternative criteria oriented to get probability values of estimates about seismic intensities that steer to the system collapse. One of these criteria is the Incremental Dynamic Analysis method applied to the Secant Stiffness Degradation Index (*IDA-SSDI*), that it is presented here as a more efficient alternative. The reliability level is given by Cornell reliability index β. For estimation, an alternative approach where the Z safety margin is defined as the natural logarithm of the collapse intensity ratio and the ground motion intensity that is acting on the system was used in this research. This methodology is applied to a sample of eight ten-story buildings resulting of a simulation Monte Carlo considering the uncertainties associated with the structural geometric and mechanical properties, with and 40 accelerograms recorded in the Mexico City Valley which were selected. As results are obtained 40 curves *IDA-SSDI* associated with each earthquake that relate the seismic intensity by means of spectral pseudo-acceleration *vs.* Secant Stiffness Degradation Index D(y) index to levels of seismic intensity in the close to the collapse zone, and 40 reliability curves for different values of the security margin, that allow to define desired safety levels.

(Key words: Cornell´s β reliability index, Secant-Stiffness Degradation Index (SSDI), Incremental Dynamic Analysis (*IDA*), safety margin *Z*).

A mi madre
Doña Águeda Piña Martín del Campo

AGRADECIMIENTOS

En la preparación de este trabajo de investigación se contó con la asesoría directa del Dr. Marco Antonio Montiel Ortega quien fungió como Director de esta Tesis siguiendo los derroteros de la línea de investigación que él encabeza en ésta Facultad de Ingeniería de nuestra Universidad Autónoma de Querétaro, en coordinación con el Dr. Luis Esteva Maraboto, quien desde el Instituto de Ingeniería de la UNAM dirige estos mismos esfuerzos. Agradezco el apoyo de quienes se desempeñaron como Directores de nuestra Facultad de Ingeniería en el periodo de la elaboración de esta tesis, Dr. Gilberto Herrera Ruiz y Dr. Aurelio Domínguez González así como a los Coordinadores de Investigación y Posgrado de nuestra Facultad, Dr. Eusebio Ventura Ramos y Dr. Manuel Toledano Ayala. A todos ellos, mi más sincero agradecimiento por el apoyo y por las facilidades otorgadas para llevar a buen término este trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de Tablas	viii
Índice de figuras	x
I. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA	
Antecedentes	1
Enfoques alternativos	4
Descripción del problema	8
Fundamentación teórica	17
Método del análisis dinámico incremental	18
Índice de degradación de la rigidez secante (*ADI-IDRS*)	22
Empuje lateral seudoestático (*ELSE*)	23
Rigidez secante degradada (*K*)	30
Índice de confiabilidad $\beta(y)$ de Cornell	33
Margen de seguridad $Z(Y)$	33
Hipótesis y objetivos	35
Hipótesis	35
Objetivo general	35
Objetivos particulares	35
Grupo de trabajo	37
Productos derivados de la investigación	37
II. ESTRUCTURA ANALIZADA Y MODELACIÓN	
Descripción del Sistema Estructural Diseñado	39
Factor de Comportamiento Sísmico $\boldsymbol{Q}$	41
Coeficiente Sísmico (c)	42
Valores Esperados de las Dimensiones en la Geometría de los Elementos	48
Valores Esperados de las Dimensiones en las Trabes	48
Valores Esperados de las Dimensiones en las Columnas	49
Modelación de las Propiedades Geométricas para el Análisis Dinámico de la Estructura	50
Modelación de los Marcos para su Análisis Dinámico	56
Propiedades Mecánicas de los Materiales	58
Acero de Refuerzo	61

Zona elástica 62
Zona de fluencia 62
Zona de endurecimiento por deformación 62
Valores nominales de cargas gravitacionales 64
Cargas muertas 64
Cargas vivas 64
Valores inciertos y medios de propiedades mecánicas de los materiales y de cargas vivas actuantes en el edificio 65
Incertidumbres y valor medio de cargas vivas actuantes en el edificio 66
Incertidumbres y valor medio de las propiedades mecánicas de los materiales 69
Resistencia a compresión del concreto 69
Esfuerzo de fluencia del acero longitudinal y transversal 71
Análisis dinámico de la estructura 72
Integración de la ecuación de movimiento no lineal 72
Consideraciones e hipótesis utilizadas para el análisis dinámico paso a paso de la estructura 73
Ecuación del movimiento 74
Excitación Sísmica 78
Modelación de las condiciones de continuidad en uniones y apoyos de la estructura 78
Modelo de comportamiento histerético de elementos de concreto reforzado 80
Descripción del programa *DRAIN 2D* modificado por *Campos y Esteva* (*1997*). 85
Método β de Newmark 87

III. MOVIMIENTOS SÍSMICOS SELECCIONADOS
Selección de los Movimientos Sísmicos Utilizados 90
Excitación Sísmica 94
Conceptos Básicos 94
Espectros de Respuesta Lineal 105
La ecuación de movimiento 105
Historia de respuesta y concepto de pseudo-aceleración 107
Historia sobre los espectros de respuesta 109
Construcción de espectros de respuesta 114
Resultados sobre los espectros de respuesta 115

IV. RESULTADOS
Índice de la degradación de la rigidez secante 122
Estructuras analizadas 124
Movimientos sísmicos seleccionados para los análisis 126
Resultados importantes a partir del *ADI-IDRS* 136

Relación entre el índice de daño *D(y)* y el margen de seguridad *Z(y)* 133
Obtención de la relación confiabilidad sísmica y margen de seguridad estructurales: *β(y) vs Z(y)* 135
Índice de confiabilidad *β(y)* de Cornell en función del índice de degradación de la rigidez secante *D(y)* 138

V. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES 139

VI. REFERENCIAS 142

VII. APÉNDICE I 145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1.1	Valores considerados para $\boldsymbol{\alpha_1}$ y $\boldsymbol{\alpha_2}$; valores de los resultados para los límites inferior y superior, $\boldsymbol{Z_{min}}$ y $\boldsymbol{Z_{max}}$.	16
1.2	Porcentajes de casos con valores de *D* dentro del intervalo especificado	17
2.1	Secciones nominales del marco de 10 niveles (García Jarque, 2004; f´c=250 kg/cm2, fy=4200 kg/cm2).	44
2.2	Periodos fundamentales, modos de vibrar y coeficientes sísmicos resistentes de los marcos analizados.	44
2.3	Secciones nominales y medias de trabes tipo "T" para un marco interior.	51
2.4	Secciones nominales y medias de trabes tipo "L" para un marco exterior.	52
2.5	Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-1" para un marco interior. Niveles 1-3.	53
2.6	Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-1" para un marco interior. Niveles 4-7.	53
2.7	Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-1" para un marco interior. Niveles 8-10.	54
2.8	Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-2" para un marco interior.	54
2.9	Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-3" para un marco exterior.	55
2.10	Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-2" para un marco exterior.	55

2.11 Valores inciertos correspondientes a $\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$, $\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$, $\boldsymbol{p}$, y $\boldsymbol{f_{su}}$ utilizados en el trabajo de investigación para los modelos *M1* a *M8*. 57

2.12 Valores de las propiedades mecánicas del concreto. 58

2.13 Valores de las propiedades mecánicas de los aceros de refuerzo longitudinal y transversal. 61

2.14 Valores de los parámetros para el acero de refuerzo. 63

2.15 Valores nominales de las cargas gravitacionales actuantes en el edificio. 65

2.16 Valores inciertos correspondientes a la carga viva máxima instantánea utilizados en el estudio para los modelos *M1* a *M8*. 69

2.17 Valores inciertos para la resistencia a la compresión del concreto utilizados en el trabajo de investigación para los modelos *M1* a *M8*. 71

2.18 Valores inciertos para el esfuerzo de fluencia del acero utilizados en el trabajo de investigación para los modelos *M1* a *M8*. 72

2.19 Valores para $\boldsymbol{f_c'}$, $\boldsymbol{f_y}$ y $\boldsymbol{W_{v_{max}}}$ utilizados en el análisis de los marcos. 80

3.1 Características de los registros sísmicos seleccionados, Muestra 1. 92

3.2 Características de los registros sísmicos utilizados, complemento Muestra 2. 93

4.1 Valores de $\boldsymbol{f_c'}$, $\boldsymbol{f_y}$ y $\boldsymbol{W_{v_{max}}}$ utilizados en el análisis de los marcos. 126

4.2 Parámetros estadísticos del estado límite cercano al colapso $\boldsymbol{(Y_{Cc})}$ y colapso (Y_C). 129

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Índice de Reducción de Rigidez Secante Díaz López & Esteva (2009)	5
1.1.1	Corte y planta del sistema estructural analizado (Díaz & Esteva, 2009).	9
1.2	Resultados del análisis ELSE, graficando la función ajustada y definiendo el desplazamiento en la azotea a partir del valor del 80% del cortante basal (Díaz & Esteva, 2009).	10
1.3	Curva de la función ajustada y obtención de la intensidad correspondiente al desplazamiento máximo (*Díaz & Esteva, 2009*).	11
1.4	Muestra de pares de valores (Z, D(y)) y valor esperado de Z (Díaz & Esteva, 2009).	12
1.5	Valores del error cuadrático medio utilizados para estimar la varianza de Z (Díaz & Esteva, 2009).	13
1.6	Funciones de confiabilidad obtenidas. (Díaz & Esteva, 2009).	13
1.7	Ilustración de un análisis dinámico incremental (*ADI*).	18
1.8	Curvas típicas de análisis dinámico incremental.	21
1.9	Análisis dinámico incremental de varios acelerogramas.	22
1.10	Ilustración de un *Empuje Lateral Seudoestático* (*ELSE*).	23
1.11	Curva característica fuerza-deformación de un sistema de *MDOF* y su equivalente para un sistema *SDOF*.	24

1.12	Cortante basal vs desplazamiento de azotea de un *MDOF*.	25
1.13	Ilustración de un análisis dinámico paso a paso con aceleración en la base que crece en forma lineal con el tiempo.	30
1.14	Ciclos de histéresis de la respuesta global para diferentes niveles de la intensidad sísmica FE.	32
2.1	Localización de la estructura analizada dentro del mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de México según las NTCS.	41
2.2	Planta y alzado del edificio estudiado.	43
2.3	Clasificación adoptada para las secciones de columnas y trabes.	45
2.4	Armados de columnas tipo C1, C2 y C3.	46
2.5	Armados de trabes para un marco exterior.	47
2.6	Armados de trabes para un marco interior.	47
2.7	Representación esquemática de las variables para el dimensionamiento de trabes con sección tipo “T” y tipo “L” mostradas en las *Tablas 2.3* a *2.10*.	56
2.8	Histograma para el último del acero.	58
2.9	Histograma para la deformación correspondiente endurecimiento por deformación del acero.	58
2.10	Histograma para la deformación última del acero de refuerzo.	58
2.11	Modelo para concreto confinado *Kent y Park (1982)*.	59
2.12	Curva esfuerzo-deformación para el acero según el modelo de *Mander (1984).*	61
2.13	Histograma de la carga viva máxima instantánea.	68
2.14	Histograma del esfuerzo a compresión el concreto $f_c^{\prime}$.	70

2.15	Histograma que representa la deformación última del acero de refuerzo.	72
2.16	Diagrama del cuerpo libre de un edificio de dos niveles sometido a fuerzas concentradas en los entrepisos.	75
2.17	Modelo estructural empleado en los análisis.	80
2.18	Gráfica de la curva carga *vs* desplazamiento.	81
2.19	Comportamiento no lineal sin alcanzar la fluencia.	82
2.20	Pérdida total de la rigidez y de la resistencia.	82
2.21	Modelo de un sistema de un grado de libertad.	87
3.1	Localización de los epicentros de los sismos considerados en este estudio.	91
3.2	Acelerógrafo Kinemetriks K-2.	94
3.3	Acelerógrafo FBA-23.	94
3.4	Acelerógrafos para movimientos de terreno de gran intensidad: (a) *SMA-1*, instrumento análogo-recopilador con frecuencia natural de amortiguamiento de 25 Hz y amortiguamiento crítico del 60%; (b) *SSA-2*, instrumento digital recopilador con frecuencia natural de amortiguamiento de 50 Hz y amortiguamiento crítico del 70%.	95
3.5	Movimientos de la tierra registrados durante diversos terremotos.	98
3.6	Componente Norte-Sur de los movimientos horizontales de la tierra registrados en la subestación Imperial Valley Irrigation District, El Centro, California, durante el terremoto Imperial Valley del 18 de Mayo de 1940. La velocidad y desplazamiento del suelo se obtuvieron por integración de la aceleración del suelo.	99

3.7	Registros sísmicos utilizados en este estudio. Se muestra numeración (R), fecha de ocurrencia y magnitud (M).	105
3.8	Sistema de un grado de libertad.	106
3.9	Respuesta de desplazamiento de tres sistemas diferentes debidos a un movimiento sísmico.	107
3.10	Respuesta Pseudo-aceleración.	108
3.11	Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta.	110
3.12	Procedimiento para determinar el espectro de respuesta D.	112
3.13	Espectros de desplazamiento, pseudo-velocidad y pseudo-aceleración lineal.	113
3.14	Espectros de respuesta individuales, asociados a cada uno de los sismos utilizados en este estudio.	121
3.15	Conjunto de espectros de respuesta lineales, para 5% de amortiguamiento.	121
4.1	*a)* Planta y elevación del edificio original y *b)* Modelo bidimensional usado para el análisis no lineal.	125
4.2	*a)* Epicentros de los sismos de subducción usados para los análisis y *b)* los correspondientes espectros elásticos de pseudo-aceleración para 5% de amortiguamiento.	127
4.3	Análisis Dinámicos Incrementales del Índice de Degradación de la Rigidez Secante *(ADI-IDRS)* para *40* sismos y *8* marcos en estudio. Círculos amarillos indican la intensidad cercana al colapso *(Y_{Cc})* y círculos rojos la intensidad de colapso *(Y_C)*.	128
4.4	Análisis Dinámicos Incrementales del Índice de Degradación de la Rigidez Secante *(ADI-IDRS)*, en función del factor de escala *(FE)*.	129

4.5 Ciclos de histéresis de la respuesta global para diferentes factores de escala *FE*. 132

4.6 Análisis *ELSE* para los ocho marcos de 10 niveles (*M1-M8*). La línea negra corresponde al marco con propiedades mecánicas medias (*MPM*). 133

4.7 Relación entre el índice de daño *D(y)* y el margen de seguridad *Z(y)*. Línea azul corresponde al valor esperado de *E(Z)*. 134

4.8 Valores del error cuadrático medio utilizado para estimar la varianza de Z y su línea de tendencia en rojo. 134

4.9 Índice de Confiabilidad *β(y)* de Cornell para diferentes valores del Margen de Seguridad *Z(y)* correspondientes a los ocho marcos de 10 niveles simulados y 40 sismos usados en los análisis. 135

4.10 Índice de Confiabilidad *β(y)* de Cornell para diferentes valores del *Margen de Seguridad Z(y)* correspondientes a los ocho marcos de 10 niveles simulados y 40 sismos usados en los análisis, considerando el valor promedio de la intensidad de colapso Y_{Cprom}. 136

4.11 Índice de Confiabilidad *β(y)* de Cornell en función del índice de daño *D(y)* correspondientes a los ocho marcos de 10 niveles y 40 sismos. 138

I. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

Antecedentes

Desde una perspectiva más amplia, el trabajo de esta tesis está incluido dentro de los esfuerzos de investigación que se realizan en el campo de la Ingeniería Sísmica, rama ésta de la Ingeniería Civil y particularmente de la Ingeniería Estructural. Estos esfuerzos se llevan a cabo en nuestra Facultad así como en otras instituciones nacionales y extranjeras. El objetivo de las investigaciones con este tema, es el de mitigar las consecuencias que trae consigo un fenómeno ambiental como lo es un movimiento sísmico cuya naturaleza no es determinista y que se describe como de gran severidad ya que puede provocar el fin del ciclo de vida de una estructura con posibles consecuencias adicionales en la pérdida de vidas humanas y de bienes materiales, en unos cuantos segundos. La misión principal del Ingeniero Civil es la realización de proyectos los cuales se materializan en obras las que han sido previamente diseñadas y construidas para que permitan al hombre realizar sus funciones y que al realizarlas lo haga de una manera segura y confortable. Para que esto suceda, es necesario controlar los efectos del medio ambiente sobre los usuarios proponiendo los materiales apropiados con sus dimensiones adecuadas. Al realizar las obras el Ingeniero Civil en su búsqueda por proteger a los ocupantes de estas contra las inclemencias ambientales, debe de hacerlo procurando no afectar el medio ambiente con su actuar.

Así como un movimiento sísmico no es de naturaleza determinista, el diseño estructural de un edificio tampoco lo es. Esto se debe entre otras razones, a que las cargas que actúan sobre el sistema tampoco lo son, y debido además a que estas cargas tienen incumbencia con circunstancias y con fuerzas derivadas de fenómenos ambientales que ocurren en el entorno humano de naturaleza incierta. El ingeniero civil dedicado al análisis y al diseño de las estructuras, tampoco puede predecir con exactitud las cargas futuras, ya que estas igualmente son cantidades con una buena porción de incertidumbre. De manera análoga, la resistencia de las estructuras y de sus elementos no se puede predecir con exactitud debido a varios motivos, como lo son la variabilidad en dimensiones de los elementos estructurales inherente en al proceso constructivo o la no uniformidad de los

componentes en los materiales desde su fabricación, principalmente. Todos estos hechos son causas principales que finalmente afectan a la resistencia de las estructuras y a su habilidad para soportar las cargas a las que es solicitada. Por lo anterior y con la finalidad de considerar el efecto que tienen tales incertidumbres en la respuesta estructural, es necesario realizar un planteamiento basado en conceptos probabilísticos que tomen en cuenta la aleatoriedad en esos parámetros. La teoría de la probabilidad proporciona una mayor precisión ingenieril cuando al modelar se realiza la representación de la realidad.

Desde antes de que apareciera el artículo fundacional de *Cornell (1969)*, se ha escrito mucho acerca de la naturaleza incierta del fenómeno sísmico y de su efecto en las estructuras, y a la fecha se ha escrito mucho más en lo relacionado con la naturaleza también incierta de las cargas actuantes y de las propiedades mecánicas de los materiales; también se ha demostrado que las incertidumbres que están asociadas a las fuerzas aplicadas y a las propiedades mecánicas de los materiales como lo son la resistencia estructural y la ductilidad, implica incertidumbre en el desempeño estructural, y que esta incertidumbre solo se puede analizar y valorar racionalmente utilizando, como se dijo en el párrafo anterior, la teoría de la probabilidad y a la estadística como su herramienta, con el objeto de conocer de una manera cuantitativa la respuesta de una estructura *(Cornell 1969).*

Haciendo un poco de historia, el análisis de la probabilidad del peligro sísmico, el cual consiste en la evaluación de la frecuencia media anual de exceder un nivel dado de intensidad de un movimiento del terreno en un sitio determinado, tiene sus inicios en los años 1960´s y ha servido como base para el desarrollo de los métodos de diseño en ingeniería estructural actuales así como para la elaboración de códigos, reglamentos y manuales tanto para el diseño y dimensionamiento, como para la construcción de estructuras. Estos esfuerzos iniciales fueron representados por el entonces estudiante de doctorado Luis Esteva Maraboto y por el Profesor Emilio Rosemblueth junto con todo un equipo de colaboradores en la Universidad Nacional Autónoma de México; por su parte se inician de manera casi simultánea las contribuciones en este tema por parte de Allin Cornell (septiembre 19, 1938 – diciembre 14, 2007) desde la presentación de su tesis doctoral en la Universidad de Stanford, *Robin K. McGuire (2007).* A la fecha, el Dr. Esteva y su equipo

continúan con las investigaciones relacionadas con estas ideas. El presente trabajo de tesis encuentra sus bases en los resultados de las investigaciones más recientes de ambos grupos de investigación y prosigue con los esfuerzos de la búsqueda de nuevos métodos y alternativas, teniendo como objetivo proponer nuevos procedimientos para el diseño de las estructuras buscando mitigar los efectos de los movimientos sísmicos. Dichos esfuerzos son encabezados en la actualidad por el Dr. Esteva y la Dra. Sonia E. Ruiz y por los alumnos y colaboradores en vida del Profesor Allin Cornell recientemente fallecido.

En las aplicaciones prácticas de la Ingeniería Estructural que están orientadas hacia el diseño sismo-resistente basado en el desempeño, las medidas de confiabilidad sísmica de los sistemas estructurales complejos no lineales que están referenciadas a un estado límite, como lo es el estado límite de colapso debido a la acción de un sismo, están basadas en la capacidad de deformación lateral que presenta el sistema estructural durante el evento sísmico, de tal manera que el estado límite de colapso de la estructura sucede cuando la amplitud máxima de la respuesta sísmica (demanda) rebasa la capacidad de este sistema estructural.

Este concepto de capacidad de deformación cuenta con severas restricciones en su uso práctico como un indicador de la variable que determina la condición de colapso cuando se utiliza en términos cuantitativos, ya que no es posible considerar la influencia de la degradación estructural acumulada como consecuencia de los ciclos de respuesta anteriores a la acción de fenómenos ambientales previos como lo es otro sismo, o como lo pueden ser también los asentamientos diferenciales provocados por fenómenos de subsidencia o por el efecto debido a las accionesde las arcillas expansivas o colapsables. Dependiendo de la zona donde se ubique la estructura, la acción de huracanes o ciclones previos o por las consecuencias debido a la precipitación de una gran cantidad de agua de lluvia que traen consigo estos fenómenos ambientales que afectan a muy amplias zonas del territorio y que provocan grandes inundaciones y deslaves junto con deslizamientos de tierra antes de la presencia de un evento sísmico. El fenómeno de licuación de suelos arenosos puede ocurrir de manera simultánea a un sismo o dejar a la estructura en una situación de vulnerabilidad por el efecto de un evento anterior. Otro fenómeno ambiental

que progresivamente va degradando a una estructura es la corrosión de materiales componentes de las estructuras, principalmente metálicos, en presencia de ambientes agresivos. y de todos aquellos fenómenos naturales (que de ahora en adelante llamaremos acciones ambientales), que dependiendo del lugar donde esté desplantada la estructura podrán infligir algún nivel de daño ambientalrepresentado por la degradación de la resistencia y de la rigidez de la estructura. Tampoco es posible considerar la dependencia de la capacidad de deformación lateral sobre la configuración de la respuesta del sistema estructural cuando éste alcanza la falla. Estos daños ambientales podrán ser evaluados desde índices de daño ambiental y calculados con base a la naturaleza del fenómeno ambiental de que se trate.

Enfoques alternativos

Son varios los enfoques alternativos que han sido propuestos para conseguir un indicador de la variable que determine la condición de colapso. Por ejemplo, *Vamvatsikos y Cornell (2002)* proponen el método denominado *Análisis Dinámico Incremental ADI*, el cual está basado en la obtención de la intensidad de colapso (Y_C) haciendo uso de factores de escala adecuadamente seleccionados, donde las intensidades factorizadas serán aplicadas a los acelerogramas registrados de los movimientos de terreno, hasta obtener el valor del desplazamiento lateral máximo en la azotea en el momento en que la pendiente de la función de la respuesta dinámica incremental es más baja que un valor previamente especificado. Con esta información es posible definir la condición de falla por medio de dos vías: la primera en términos de la intensidad de colapso y la segunda en términos de la capacidad de deformación. Las bondades de éste método de los *ADI´s* se ven disminuidas por la demanda excesiva de tiempo de computadora *Dolsek&Fajfar (2004)*. Previamente *Esteva (1992)* propuso un enfoque alternativo para estimar la intensidad de colapso (Y_C) de un sistema estructural estipulado cuando se cumple con la condición de que la inversa de la respuesta de la demanda del desplazamiento lateral máximo del sistema de interés, es igual a cero. En *Alamilla (2001)* y *Alamilla & Esteva (2006)* se propone un criterio iterativo para la obtención del factor de escala que debiera de ser aplicado al acelerograma para obtener el valor de la intensidad de colapso (Y_C).

En los trabajos de *Esteva & Ismael (2003), Díaz-López & Esteva (2006), Esteva & Díaz-López (2006), Díaz-López et al (2008) y Díaz López & Esteva (2009)* se presenta otro enfoque alternativo con el que se pretende evitar la necesidad de definir una capacidad de deformación para evaluar la función de confiabilidad sísmica de un sistema complejo no lineal de múltiples grados de libertad. Para ello definen la condición de colapso en términos de un *Índice de Reducción de la Rigidez-Secante*I_{RRS} *Figura 1.1*.

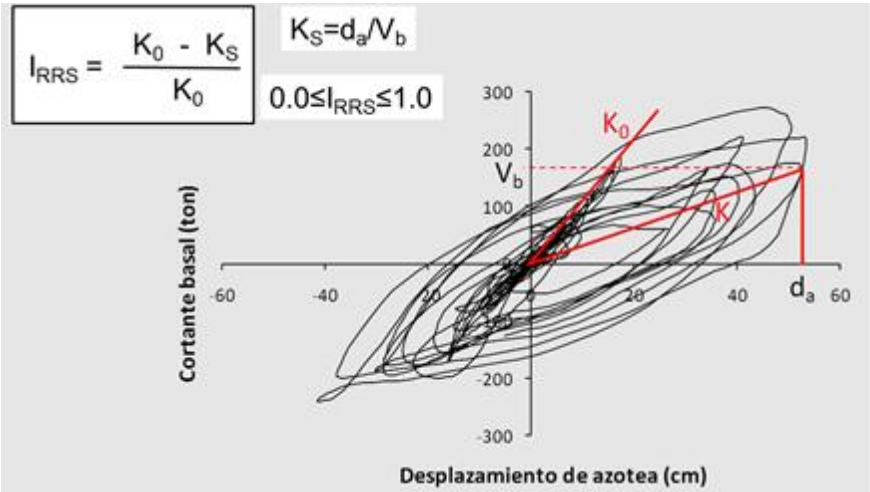


Figura 1. 1 Índice de Reducción de Rigidez Secante *Díaz López & Esteva (2009)*

En este sentido, la condición de falla queda establecida en términos del índice $I_{RRS}(y)$ el cual nos entera del daño que ha sufrido la estructura, y se evalúa como sigue:

$$I_{RRS}(y) = \frac{K_0 - K_S}{K_0}, \tag{1.1}$$

donde y es la intensidad del movimiento sísmico, K_0 es el valor que adquiere K cuando es lineal, y K_S es el valor de la rigidez secante adoptado por el sistema en el instante cuando el desplazamiento lateral en la azotea alcanza su valor máximo. El colapso tiene lugar cuando este índice es igual a la unidad ($I_{RRS}(y) = 1$).

Con referencia en los estudios mencionados arriba, aquí el nivel de confiabilidad sísmica para una determinada estructura, cuando está sujeta a un movimiento sísmico para una intensidad dada y, está expresado en términos del índice de confiabilidad β de *Cornell (1969)*, como sigue:

$$\beta(y) = \frac{m_Z(y)}{\sigma_Z(y)}, \tag{1.2}$$

donde $m_Z(y)$ es el valor medio del margen de seguridad Z del sistema de interés ante un sismo de intensidad igual ay, y $\sigma_Z(y)$ es la desviación estándar de dicho margen de seguridad Z, el cual está definido, generalmente, como la diferencia entre la capacidad y la demanda (*Cornell, 1969*).

Un enfoque alternativo para la estimación de $\beta(y)$ fue propuesto por *Esteva & Díaz-López (2006)*, siguiendo con la idea presentada por *Alamilla (2001)* y *Alamilla & Esteva (2006)* para expresar la capacidad sísmica de un sistema estructural por medio del valor mínimo de la intensidad requerida para provocar el colapso.

Esta intensidad de colapso es una variable aleatoria, Y_C, mencionada anteriormente. En consecuencia, el margen de seguridad Z ahora está definido como el logaritmo natural de la razón de Y_C y la intensidad de la excitación del movimiento del suelo que actúan sobre el sistema, es decir:

$$Z = ln\frac{Y_C}{y} = ln\, Y_C - lny \tag{1.3}$$

En este caso, el índice de confiabilidad para el sistema estructural está dado como sigue:

$$\beta(y) = \frac{E(lnY_C) - lny}{\sigma(lnY_C)} \tag{1.4}$$

Este trabajo se enfoca más en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios en términos de este índice de confiabilidad.

Otro tipo de vulnerabilidades que adicionalmente se pueden estudiar pero que se encuentran fuera del alcance de este trabajo de tesis son las ocasionadas por las acciones ambientales antes mencionadas y sus efectos. A pesar de estos inconvenientes se sigue construyendo en zonas que presentan alguna medida de riesgo con niveles tales que ofrecen grandes peligros, en muchas ocasiones sin buscar mitigar sus efectos y que por lo mismo pueden ocasionar grandes fallas en las edificaciones con las correspondientes pérdidas patrimoniales. Las construcciones también presentan niveles de vulnerabilidad por todos aquellos fenómenos naturales que dependiendo del lugar donde esté desplantada la estructura podrán infligir algún nivel de daño ambiental, incluyendo el colapso de la estructura con sus posibles consecuencias de pérdida de vidas humanas, representado por los niveles de degradación en la resistencia y en la rigidez de la estructura

Una de las principales necesidades que hay que atender, desde la Ingeniería Sísmica ante esta problemática, es realizar la evaluación correspondiente para la obtención de criterios de diseño que reflejen más claramente los posibles problemas e incertidumbres a las que se verán sometidas las construcciones durante su vida útil para poder prevenir y mitigar los efectos de posibles desastres naturales.

Las normas de diseño sísmico deben establecerse de tal manera que conduzcan a una condición óptima de seguridad para el conjunto de construcciones, de muy variadas geometrías y tipologías, de diversas distribuciones espaciales de cargas, y de diferentes propiedades mecánicas de los miembros estructurales, que deberá cubrir dichas normas. Para ello es de interés de la Ingeniería Sísmica obtener funciones de vulnerabilidad adecuadas para construcciones específicas, consideradas ahora como elementos seleccionados en forma aleatoria a partir de una familia (población estadística) de sistemas caracterizados por propiedades generales similares, pero con características detalladas diferentes.

La necesidad de nuevas alternativas que arrojen como resultado nuevos métodos para valorar indicadores cuantitativos a partir de una variable que determine la condición de

colapso de un sistema estructural, sin que sea necesario la utilización de una cantidad importante de consumo de tiempo de computadora es una de las razones importantes para estar involucrados en esta investigación.

En la práctica del diseño estructural desde la Ingeniería Sísmica es necesario definir los niveles de desempeño en términos cuantitativos de tal manera que permitan al ingeniero diseñador de estructuras tener un control más adecuado sobre la relación que existe entre la amplitud más probable de la respuesta estructural con la capacidad correspondiente de la estructura y evitar alcanzar un estado límite de colapso, lo cual es indeseable.

Descripción del problema

La continuación de estos estudios por medio de este trabajo de tesis, están enmarcados en la búsqueda de un algoritmo eficiente para la generación de muestras de valores de la intensidad de colapso Y_C para ser utilizados en la evaluación de la función de confiabilidad (*Ecuación 1.4*), tomando como punto de partida la publicación de *Díaz López & Esteva (2009)*. De acuerdo con esta publicación, la eficiencia de este algoritmo debe de ser medido con base al porciento de los puntos que caen dentro de un intervalo, el cual se define más adelante, con respecto del total de puntos. La propuesta hecha por *Díaz López & Esteva (2009)* se realiza utilizando como modelo a un edificio de doce niveles (*Figura 1.1.1*), con planta simétrica cuya construcción está hecha con base a marcos viga-columna de concreto reforzado, cimentando el edificio con pilotes de fricción hincados en terrenos de suelo blando de la Ciudad de México. El edificio fue diseñado tomando como referencia al Reglamento de Construcción del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño Resistente a Sismos, adicionalmente considerando la interacción suelo-estructura.

Al sistema estructural estudiado en el artículo de referencia (*Figura 1.1*), se le realiza un análisis de *Empuje Lateral Seudo Estático (ELSE)* (*Pushover Analisys POA*, en inglés), cuya gráfica de los resultados se observa en la *Figura 1.2*. Con base al análisis *ELSE* se obtiene el valor máximo del desplazamiento en la azotea, el cual, según el criterio

establecido, corresponde al 80% del valor del cortante máximo alcanzado en la base, el cual se toma como la *capacidad de deformación*. Para realizar el análisis *ELSE* se toman como valores esperados a los valores nominales de las cargas gravitacionales y de las propiedades mecánicas utilizadas en el diseño para todos los miembros del modelo detallado del sistema estructural. De esta manera queda determinado un *S1GL* que en lo sucesivo será llamado *Sistema Simplificado de Referencia SSR*.

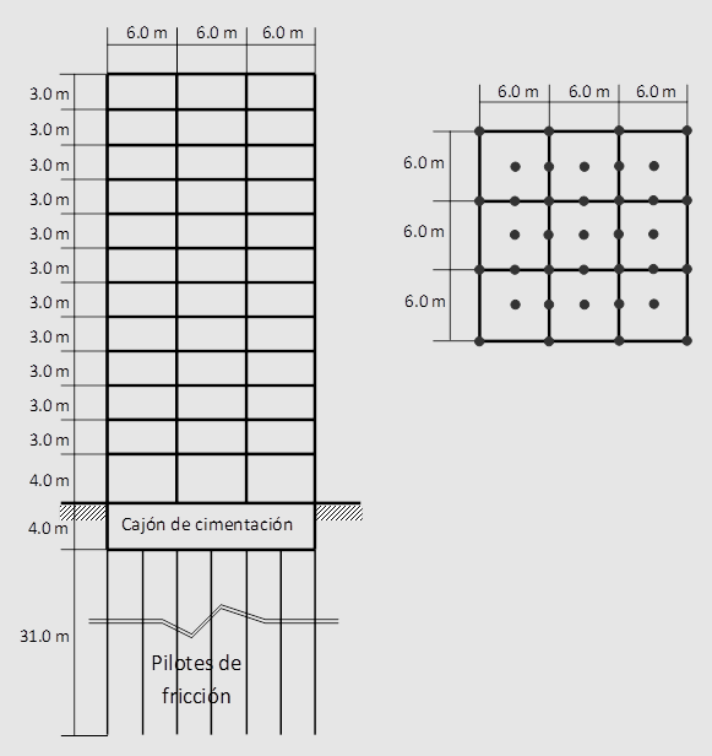


Figura 1.1.1 Corte y planta del sistema estructural analizado (Díaz & Esteva, 2009)

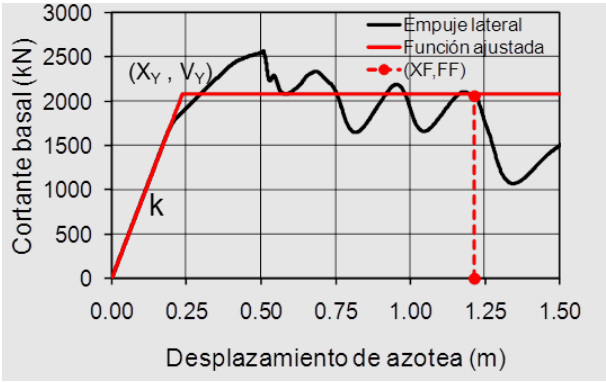


Figura 1.2. Resultados del análisis ELSE, graficando la función ajustada y definiendo el desplazamiento en la azotea a partir del valor del 80% del cortante basal (*Díaz & Esteva, 2009*)

En esta primera etapa del algoritmo propuesto se determinan las respuestas dinámicas del *SSR* como resultado de la aplicación del método del análisis *ELSE (Figura 1.2)*. Enseguida se aplica a este modelo detallado (*Figura 1.1.1*) una muestra de 25 registros tiempo históricos de acelerogramas de sismo simulados con intensidades que se van incrementando, como se menciona en el párrafo anterior, desde aquella que es necesaria para alcanzar el desplazamiento de fluencia, hasta aquella cuyas amplitudes de respuesta son iguales a su capacidad de deformación lateral, con el objeto de estimar el valor esperado de la intensidad que se necesita para producir un desplazamiento lateral igual a su capacidad de deformación. Desde estos resultados se evalúa y se construye una curva ajustada, y a partir de ahí se obtiene el valor esperado de la intensidad de colapso, (*Figura 1.3*).

La relación entre la seudo-aceleración S_a/g y el desplazamiento x queda representada por la curva de ajuste (*Figura 1.3*) de la forma:

$$\frac{S_a}{g} = a_s\left(1 - exp(-b_s x)\right) \tag{1.5}$$

De acuerdo con la curva ajustada, el valor correspondiente a la intensidad se obtiene a partir del desplazamiento máximo calculado desde el análisis *ELSE*.

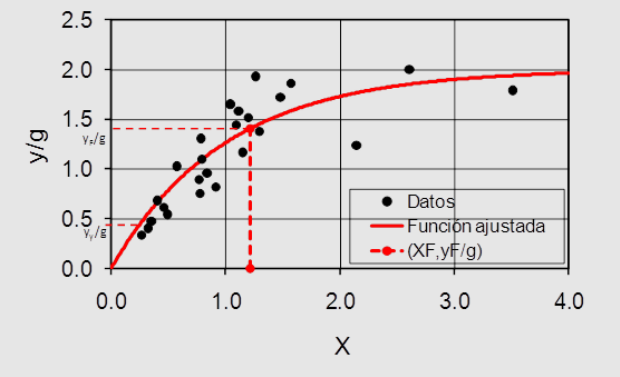


Figura 1.3. Curva de la función ajustada y obtención de la intensidad correspondiente al desplazamiento máximo (*Díaz & Esteva, 2009*)

El valor de esta intensidad se adopta en *Díaz & Esteva (2009)* como tope superior de las intensidades de las historias del tiempo de los movimientos de terreno para ser aplicados al modelo detallado con el objeto de producir una muestra de veinte pares de valores (Z, I_{RRS}). Se busca y se obtienen los 20 pares de puntos (Z, I_{RRS}), y con ellos se obtener los estimaciones de la media y de la desviación estándar de Z correspondientes a los valores para $I_{RRS} = i_{rrs} = 1$ (*Figura 1.4*). El valor de la intensidad para el tope inferior se considera en *Díaz & Esteva (2009)* como $0.3g$, el cual es el valor de la ordenada del espectro de respuesta lineal que corresponde al desplazamiento de fluencia de *SSR*. En *Díaz & Esteva (2009)*, se asigna por definición a los logaritmos naturales de $i_{rrs} = 1$ los valores que corresponden a Z_C y que pertenecen a la intensidad de colapso. Este algoritmo exige que para obtener estimaciones precisas del valor esperado del margen de seguridad para la intensidad de colapso $E(Z_C)$ y de su desviación estándar $\sigma(Z_C)$, la muestra de valores ($Z = z$, $I_{RRS} = i_{rrs}$) debe de tener un número suficientemente grande de puntos que se encuentren dentro del rango $i_{rrs1} \leq i_{rrs} < 1.0$, donde i_{rrs1} como propuesta inicial debe de tener un valor del orden de $i_{rrs} = 0.9$. Los puntos que corresponden a $i_{rrs} = 1$ no deben de ser incluidos en la muestra utilizada para estimar $E(Z_C)$ y $\sigma(Z_C)$. *(Figura 1.5).*

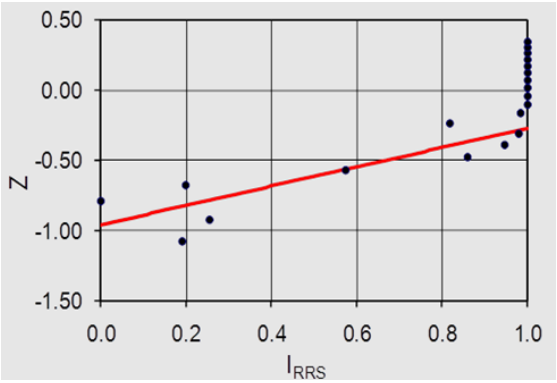


Figura 1.4. Muestra de pares de valores *(Z, D (y))* y valor esperado de *Z* (*Díaz & Esteva, 2009*)

El algoritmo propuesto incluye la generación de una muestra de modelos detallados del sistema considerado tomando en cuanta las incertidumbres asociadas a las cargas gravitacionales y a las propiedades mecánicas de los miembros de la estructura, aplicando el método de simulación de Monte Carlo.

Con las respuestas dinámicas de estos modelos ante la acción de los acelerogramas seleccionados, se realiza la estimación de las funciones que expresan el valor esperado y la varianza de *Z* en términos de i_{rrs}, y se extrapolan los valores de estas funciones hasta lograr que $i_{rrs}=1$, y obtener así los valores iniciales para $E(Z_C)$ y $\sigma(Z_C)$. (*Figura 1.5*).

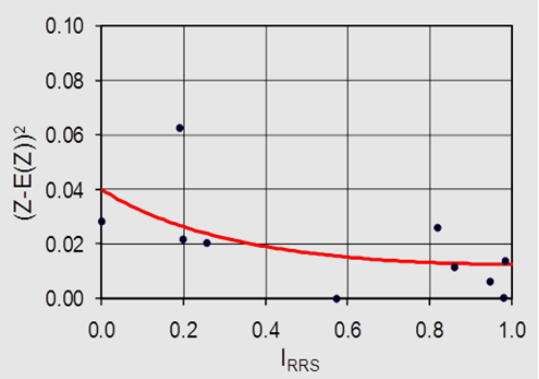


Figura 1.5. Valores del error cuadrático medio utilizados para estimar la varianza de Z (*Díaz & Esteva, 2009*)

En la siguiente etapa del algoritmo, a partir de los valores iniciales de $E\ (Z_C)$ y $\sigma\ (Z_C)$, se utilizan estos valores para generar una muestra de valores *z* de *Z* asociados con una alta probabilidad de obtener valores de $I_{RRS}\ (z)$ un poco menores que la unidad. De esta última etapa resultan las funciones de confiabilidad. (*Figura 1.6*).

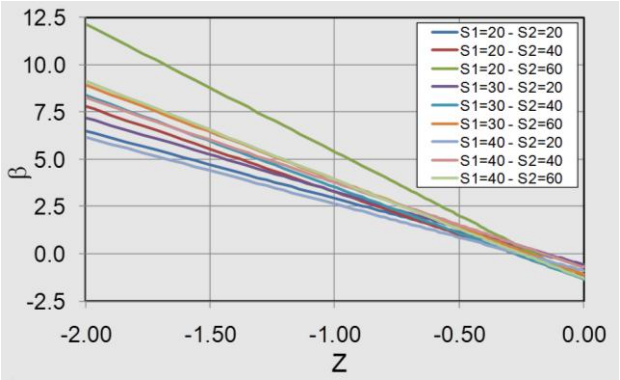


Figura 1.6. Funciones de confiabilidad obtenidas. (*Díaz & Esteva, 2009*).

Otra función se ajusta por medio de análisis de regresión con puntos con valor para *d<1 (Figura 4)* después de haber obtenido los elementos que integran la muestra 1 de tamaño de muestra igual a *N1*, y esta función está dada por la siguiente ecuación:

$$E(Z) = a_m + b_m i_{rrs} + c_m \exp\left(\frac{c_m}{|c_m|} i_{rrs}\right) \tag{1.6}$$

La función de la varianza de *Z* se estima por el análisis de regresión aplicado a los valores del error cuadrático $\left(z - E(Z)\right)^2$ (*Figura 1.5*), por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma^2\left(i_{rrs}\right) = a_v \exp\left(b_v\left(1 - i_{rrs}\right)^2\right) \tag{1.7}$$

La *Ecuación 1.6* es una función que siendo dada de esta manera, está ajustada por análisis de regresión al ser aplicada a los puntos con valores de $i_{rrs} < 1.0$. La *Ecuación 1.7* corresponde a la función de la varianza de *Z*, también estudiada por análisis de regresión aplicado como antes se dijo, a los valores del error cuadrático.

Estimaciones previas de *E* (Z_C) y σ (Z_C) se obtienen al sustituir a i_{rrs} por el valor de la unidad en las *Ecuaciones 1.6 y 1.7*, o sea, cuando el colapso ocurre, resultando lo siguiente:

$$E\left(Z_C\right) = E\left(Z \middle| I_{RRS} = 1.0\right) = -0.276;$$
$$\sigma^2\left(Z_C\right) = \left(Z \middle| I_{RRS} = 1.0\right) = 0.0125$$

Estos valores fueron considerados por *Díaz López & Esteva (2009)* para establecer el intervalo de valores de *Z* utilizados para generar la muestra *S2* con tamaño de muestra igual a *N2*, que fueron considerados en la tercera etapa del algoritmo para evaluar la confiabilidad del edificio (*Figura 1.6*).

Queda descrito en términos generales el algoritmo que se propone en *Díaz López & Esteva (2009)* para la búsqueda de un algoritmo eficiente para la generación de muestras de valores de Y_C para ser utilizados en la evaluación de la función de confiabilidad (*Ecuación 1.4*). La eficiencia de este algoritmo debe de ser medido con base al porciento de puntos que caen dentro de un intervalo, con respecto del total de puntos. Uno de los hechos identificados que presenta obstáculos para obtener mayor eficiencia en el algoritmo buscado, es el procedimiento para obtener el desplazamiento máximo en la azotea y su correspondiente cortante basal. A partir de la *Figura 1.2*, podemos observar que el desplazamiento en *x* va mucho más allá de *1.22m* obtenido en este estudio, y que su cortante basal va disminuyendo, de hecho tiende a cero cuando la estructura se encuentra cercana a la condición de colapso. El valor del cortante en la base correspondiente a un desplazamiento en la azotea, corresponde a un valor que se presenta en la etapa lineal-elástica del sistema estructural, y no de la etapa no lineal.

A partir de las *Ecuaciones 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4*, vemos que cuando *D=1, Z=0*, se da una concentración discreta de valores, y esto quiere decir que la estructura colapsa. Para valores de Z menores que cero, es decir, negativos, la estructura ya colapsó, debido a que la intensidad del sismo es mayor que la intensidad de colapso. Esta es una de las inconsistencias que están presentes en el algoritmo propuesto, como lo podemos observar con detalle en las *Figuras 1.4* y 1.6.

La eficiencia del algoritmo propuesto por *Díaz López & Esteva (2009)* medida en términos de la probabilidad de generar valores para I_{RRS} dentro de un intervalo previamente seleccionado (finalmente, $0.8 \leq i_{rrs} < 1.0$), donde se adopten valores límite, superior e inferior, (Z_{max}, Z_{min}), a partir de $E(Z_C) - \alpha_1\sigma(Z_C)$ y de $E(Z_C) + \alpha_2\sigma(Z_C)$. Esta eficiencia también está medida a partir de la sensibilidad de los parámetros $\alpha_1 \text{y}\, \alpha_2$, obtenida a partir de la sustitución de $i_{rrs} = 1$, y asignando para $\alpha_1 \text{y}\, \alpha_2$ en nueve combinaciones, sustituyendo con los valores 1.0, 1.5 y 2.0.

Para cada intervalo de valores (Z_{min}, Z_{max}) se generó una muestra de 40 combinaciones de historias del tiempo de movimientos de terreno con las propiedades

mecánicas del sistema estructural, las cuales fueron generadas a su vez desde la simulación Monte Carlo y que para cada caso, los valores adoptados para las intensidades de los movimientos de terreno fueron así mismo espaciados en el intervalo correspondiente. Los resultados de esta tercera etapa los resumen en la *Tabla 1.1* la cual muestra los porcentajes de los casos con valores de I_{RRS} que caen dentro del intervalo especificado. Los valores denominados como p_{NC1} y p_{NC2} son porcentajes de valores que caen dentro del intervalo para $I_{RRS} < 1$, lo cual indica una condición de no colapso para las muestras *S1* y *S2* respectivamente. Los valores denominados como $p_{\Delta 1}$ y $p_{\Delta 2}$ son porcentajes de valores que caen dentro del intervalo para $i_{rrs_1} \leq i_{rrs} < 1.0$, donde i_{rrs_1} ahora toma un valor de 0.8, para las muestras *S1* y *S2* respectivamente.

Tabla 1.1. Valores considerados para $\boldsymbol{\alpha_1}$y $\boldsymbol{\alpha_2}$; valores de los resultados para los límites inferior y superior, $\boldsymbol{Z_{min}}\mathbf{y}\boldsymbol{Z_{max}}$

	α_1	α_2	$E(Z) - \alpha_1\sigma(Z)$	$E(Z) + \alpha_2\sigma(Z)$
1	1.0	1.0	-0.38744	-0.16372
2	1.0	1.5	-0.38744	-0.10779
3	1.0	2.0	-0.38744	-0.05186
4	1.5	1.0	-0.44337	-0.16372
5	1.5	1.5	-0.44337	-0.10779
6	1.5	2.0	-0.44337	-0.05186
7	2.0	1.0	-0.49930	-0.16372
8	2.0	1.5	-0.49930	-0.10779
9	2.0	2.0	-0.49930	-0.05186

Díaz López & Esteva (2009) presentan resultados con el mismo tipo de información para otros nueve casos, donde en cada uno de ellos, la muestra *S1* se generó con el criterio de adoptar valores para Z dentro de los límites de $E(Z_C) - \alpha_1\sigma(Z_C)$ y de $E(Z_C) + \alpha_2\sigma(Z_C)$, con valores para $E(Z_C)$ y de $\sigma^2(Z_C)$ iguales a aquellos que fueron determinados a partir de la muestra inicial *S1*, y a su vez, fueron utilizados para obtener los valores de Z_{min}yZ_{max}. Surge de aquí un nuevo para de valores de$E(Z_C)$ y de $\sigma^2(Z_C)$ desde la muestra *S1* que a se vez fueron utilizados para generar l muestra *S2* de manera similar. A partir de los resultados obtenidos se establece que de manera general es aconsejable adoptar valores para α_1y α_2 no mayores que 1.5, encontrando la mayor eficiencia del algoritmo

propuesto para valores de $\alpha_1 = 1.0$ y para $\alpha_2 = 1.5$. Esto quiere decir que los porcentajes correspondientes para el intervalo correspondiente de valores de $D < 1.0$, y que los porcentajes correspondientes para el intervalo de valores $i_{rrs_1} \leq i_{rrs} < 1.0$ de la muestra *S1* fueron 50% y 25% respectivamente, *Tabla 1.2*; a su vez, para la muestra S2, los porcentajes de valores que cayeron dentro de los intervalos predefinidos, fueron de 65% y 47.5% respectivamente *Tabla 1.2*, para los valores asignados a los parámetros de $\alpha_1 = 1.0$ y para $\alpha_2 = 1.5$.

Tabla 1.2. Porcentajes de casos con valores de I_{RRS} dentro del intervalo especificado

	p_{NC1}	$p_{\Delta 1}$	p_{NC2} α_1			$p_{\Delta 2}$ α_2		
			1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0
1.0			67.5	65.0	57.5	47.5	47.5	40.0
1.5	50	25	70.0	67.5	62.5	45.0	42.5	40.0
2.0			70.0	67.5	62.5	40.0	40.0	35.0

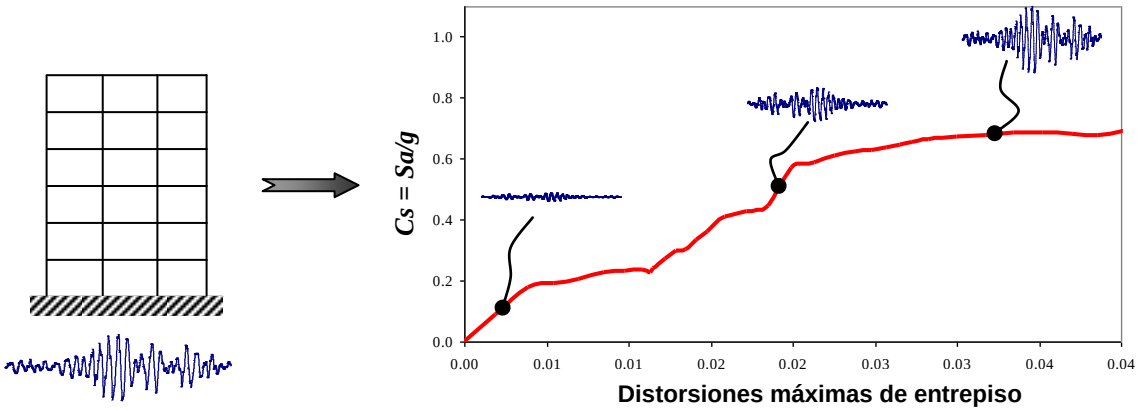
Este trabajo de investigación se une a la búsqueda de un algoritmo más eficiente que permita obtener de valores que estén dentro del rango $i_{rrs_1} \leq i_{rrs} < 1.0$ para $i_{rrs_1} = 0.8$ en un mayor porcentaje.

Fundamentación teórica

Parte de la sustentación teórica de este trabajo de investigación se desarrolla a continuación mediante los siguientes métodos:

Método del *ANÁLISIS DINÁMICO INCREMENTAL*

Uno de estos criterios es el Método del Análisis Dinámico Incremental *(MADI)*, el cual fue mencionado primeramente en la década de los 70´s y ha sido utilizado en diferentes formas por varios investigadores (p.e. Vamvatsikos y Cornell, 2002a, b; Nassar y Krawinkler, 1991). Recientemente este método resurgió de diferentes formas para evaluar más a fondo el funcionamiento estructural bajo cargas sísmicas. Esto involucra someter un modelo estructural a uno o más registros de sismos ocurridos, cada uno escalado a una cantidad considerable de niveles de intensidad, para así generar una o más parámetros de respuesta contra el nivel de intensidad (Vamvatsikos y Cornell, 2002). De esta manera, si se toma un sismo y se va escalando hasta que la estructura llegue a un cierto comportamiento asociado con algún nivel de desempeño se obtiene la curva de la figura 1.1. Este método considera también el concepto de la estimación de la intensidad de colapso *(Yc)* que con la ayuda de factores de escala adecuados aplicados a un acelerograma se puede alcanzar el colapso del sistema. Las posibilidades de visualizar la evolución de las amplitudes de la respuesta sísmica en la medida en que la intensidad crece y de observar los valores alcanzados por aquella intensidad antes de que la respuesta sísmica esté fuera de los límites, constituye una ventaja importante de estos análisis.



a) Aceleración en la base escalada b) Curva obtenida a partir de ADI´s

Figura 1.7 Ilustración de un análisis dinámico incremental (ADI).

El análisis dinámico incremental permite tomar en cuenta las características de la estructura y de la incertidumbre inherente a la solicitación sísmica que se espera en el sitio para edificios en donde los efectos dinámicos son importantes.

Este método se ha adoptado en las recomendaciones de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de E.U.A. (FEMA, 2000). Entre sus principales propósitos se encuentran:

1. Obtener un intervalo de respuesta o "demandas" estructurales contra un intervalo de niveles potenciales de movimiento del terreno.

2. Mejorar el entendimiento de las implicaciones estructurales que se tendrían con movimientos del terreno de diferentes intensidades.

3. Mejorar el entendimiento de los cambios en la naturaleza de la respuesta estructural al aumentar la intensidad del movimiento (p.e. cambios en la forma de la deformación máxima de los entrepisos con respecto a la altura de la estructura, degradaciones de rigidez y resistencia, etc.).

4. Obtener la capacidad dinámica global y de entrepiso de la estructura.

Los factores que pueden afectar las curvas obtenidas mediante ADI's son los siguientes:

1. Efectos P-Δ
2. Incremento de tiempo (Δt) utilizado en el análisis
3. Incremento en el factor de escala (ΔFE) del sismo
4. Movimientos sísmicos utilizados
5. Endurecimiento por deformación del material
6. Cambio en el periodo fundamental debido a la no linealidad
7. Efecto de modos superiores
8. Cambio en la localización de la máxima distorsión de entrepiso

A pesar de la simplicidad teórica del *ADI*, el desarrollo de este tipo de estudio puede llegar a requerir de grandes tiempos de cómputo al inicio. En este tipo de análisis lo ideal sería obtener representaciones casi continuas de las curvas de *ADI*; sin embargo, el costo de cada análisis dinámico no lineal hace necesario pensar en algoritmos para seleccionar el espaciamiento óptimo entre los puntos para cumplir con los objetivos deseados (*Vamvatsikos y Cornell, 2002*).

El análisis dinámico incremental requiere más específicamente los siguientes pasos:

1. Escoger un grupo de 10 a 40 acelerogramas representativos del lugar y nivel de peligro para los cuales se desea obtener las intensidades sísmicas que producen el colapso del sistema (Y_C).

2. Seleccionar uno de los acelerogramas, realizar un análisis dinámico no lineal del edificio. Determinar un factor de escala para el acelerograma. Obtener la respuesta correspondiente a la aceleración espectral S_aT_1 para este factor de escala (asociada al periodo fundamental de la estructura T_1).

3. Realizar una gráfica cuyo eje de las abscisas presentan el índice de daño *D(y)* y en el eje de las ordenadas la medida de intensidad *(y)*. Primeramente se dibuja el punto correspondiente resultante del índice de daño *D (y)* y de la medida de intensidad *(y)*, asociada al análisis con este factor de escala.

4. Incrementar el factor de escala del acelerograma, tal que produzca un suave comportamiento no lineal de la estructura. Realizar un análisis no lineal del edificio para este factor de escala del acelerograma. Determinar el siguiente punto de la curva asociado a este nuevo factor de escala. Este se llamará *punto 1*.

5. Incrementar ligeramente el factor de escala del acelerograma y repetir el paso anterior. Dibujar este punto, el cual se llamará punto 2. Dibujar una línea recta entre los *puntos 1* y *2*.

6. Repetir el paso anterior hasta que se dispare el desplazamiento máximo de azotea después de un pequeño incremento en el factor de escala. El desplazamiento máximo antes de que se dispare será el desplazamiento de colapso de la estructura, para el cual se determinará el índice de daño *D (y)* asociada a la intensidad de colapso del sistema (Y_C). La *Figura 1.18* presenta una serie típica de curvas obtenidas de un análisis semejante.

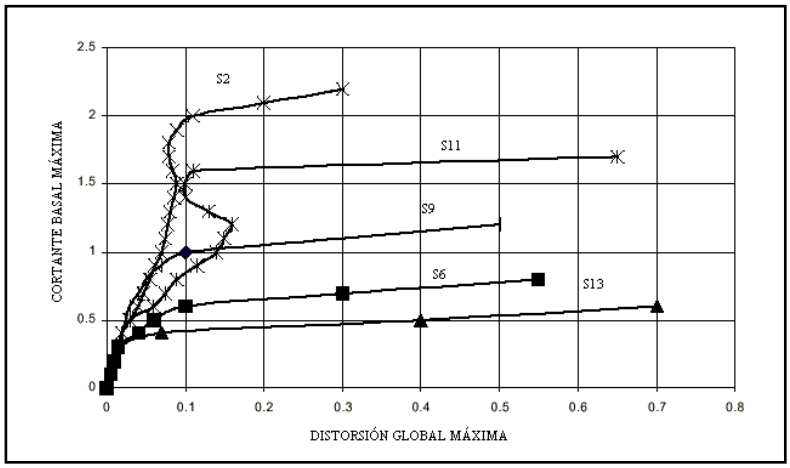


Figura 1.8 Curvas típicas de análisis dinámico incremental.

7. Se repite todo este proceso para todos los acelerogramas seleccionados como representativos del sitio de interés y se determina la capacidad de desplazamiento lateral de la estructura para cada acelerograma y la intensidad asociada. Lo cual conformaría un análisis dinámico incremental de varios registros, como por ejemplo los mostrados en la *Figura 1.19*.

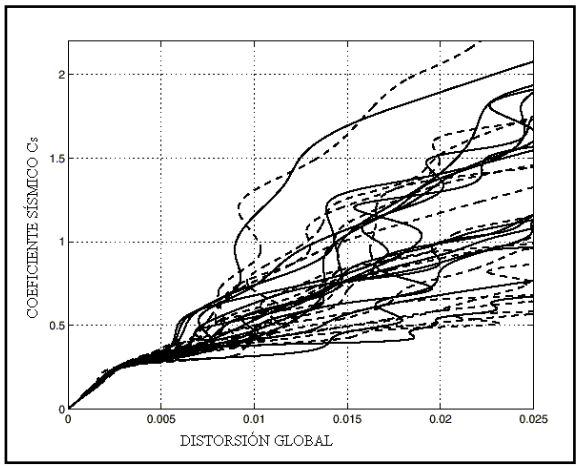


Figura 1.9 Análisis dinámico incremental de varios acelerogramas.

Índice de degradación de la rigidez secante *(ADI-IDRS)*

El Índice de Reducción de la Rigidez Secante*(IRRS) Ecuación 1.1*, de aquí en adelante será denominado como el Índice de Degradación de la Rigidez Secante *(IDRS)*, $D(y)$ *Ecuación 1.8*,debido a que se considera que si bien hay una reducción de la rigidez de un sistema estructural ante la presencia de un sismo, el termino degradación define con mayor precisión el fenómeno que ocurre debido a los efectos una acción ambiental como lo es un sismo. Por esta razón y por las razones anteriores, en esta tesis, la intensidad de colapso *(Yc)* es obtenida mediante Análisis Dinámicos Incrementales como se desarrolló anteriormente, pero aplicados al Índice de Degradación de la Rigidez Secante *(ADI-IDRS)*, haciendo hincapié a que este tipo de análisis no se han hecho previamente a este trabajo de investigación.

Este índice está dado por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{D(y) = 1 - \frac{K}{K_0}} \tag{1.8}$$

Donde las variables fueron ya descritas desde la *Ecuación 1.1*, remarcando que K_0 se obtiene a partir de un *Empuje Lateral Seudoestático (ELSE).*

Método del Empuje Lateral Seudoestático *(ELSE)*

El objetivo que se persigue al realizar un análisis del *ELSE* es evaluar el comportamiento de un sistema estructural estimando sus demandas de resistencia y deformación mediante una serie de análisis estáticos realizados de manera consecutiva. Este tipo de análisis puede verse como un método que permite predecir la fuerza sísmica y la demanda de deformación en una estructura, debido a que toma en cuenta la redistribución de las fuerzas internas que ocurre cuando la estructura se somete a fuerzas que sobrepasan el límite elástico de la estructura (Krawinkler et al., 1998).

El análisis estático no lineal consiste en representar la estructura mediante un modelo en 2D o 3D que tome en cuenta los principales parámetros que influyen en las respuestas lineal y no lineal del sistema. Posteriormente se aplican las cargas de gravedad seguidas de las cargas laterales. Estas últimas se encuentran distribuidas de acuerdo a formas predeterminadas que tratan de representar las fuerzas relativas de inercia generadas en los lugares donde se concentran las masas. La estructura se "empuja" mediante el incremento de este patrón de cargas laterales, realizando un análisis estático no lineal incremental para cada estado de fuerzas laterales hasta que la estructura llegue a un cierto desplazamiento objetivo asociado con un nivel de desempeño específico.

En la *Figura 1.10* se muestra un ejemplo esquemático de un análisis*ELSE*. Las cargas gravitacionales se aplican primeramente a la estructura y las cargas laterales se aplican de forma creciente hasta llegar a un desplazamiento objetivo.

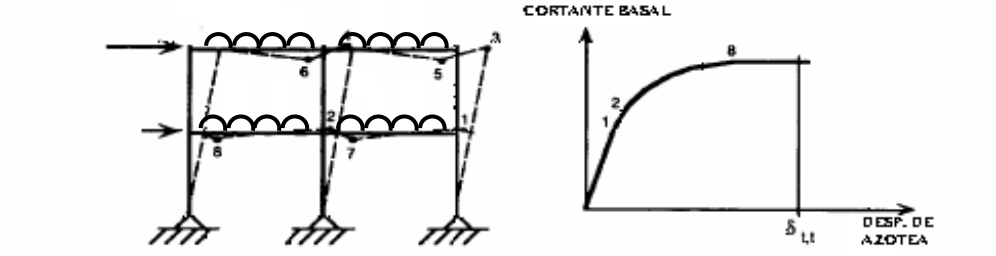


Figura 1.10 Ilustración de un *Empuje Lateral Seudoestático (ELSE).*

El análisis *ELSE* no tiene un fundamento teórico riguroso.Está basado en asumir que la respuesta de la estructura puede estar relacionada a la respuesta equivalente de un sistema de un grado de libertad*S1GDL* (*SDOF* por sus siglas en inglés)**.** Esto implica que la respuesta es controlada de un modo único, y que la forma de este modo permanece constante a través del tiempo. Obviamente ambas premisas son incorrectas, pero los estudios llevados a cabo por varios investigadores (Miranda, 1991; Lawson, 1994; Chandrasekaran, 2006; Huang, 2006; Wang, 2007; Jianmeng, 2008; Han, 2010; Huang, 2010; Causevic, 2011; Chandrasekaran, 2011) han indicado que estas premisas nos conducen a buenas predicciones de la máxima respuesta sísmica de múltiples de grados de libertad. Provistas sus respuestas, es dominada por un modo único.

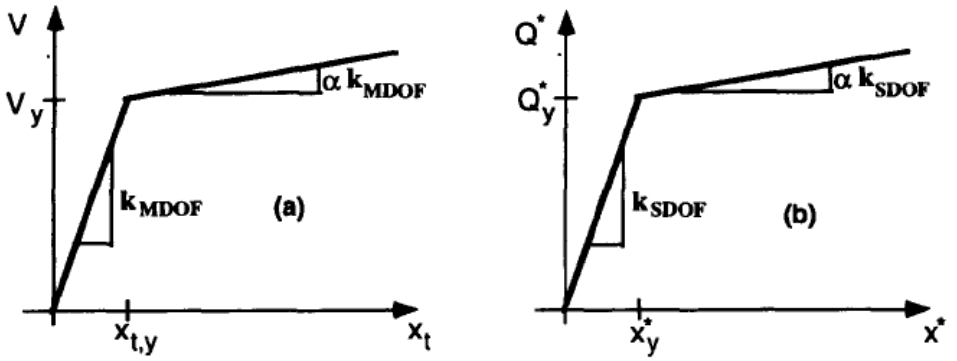


Figura 1.11 Curva característica fuerza-deformación de un *MDOF* y su equivalente para un *SDOF*.

De acuerdo con *Lawson (1994)* la formulación del *S1GDL*equivalente no es única, pero la suposición básica denota comúnmente a todas las aproximaciones por la forma de un vector $\{\phi\}$ que permanece constante a través del tiempo, sin importar el nivel de deformación. Aceptar esta premisa y definiendo el vector de desplazamiento relativo *X* de un sistema *MGDL* como $X = \{\phi\}x_t$(x_t= desplazamiento de azotea), la ecuación diferencial gobernante de un sistema MDOF se puede escribir como:

$$M\{\Phi\}\ddot{x}_t + C\{\Phi\}\dot{x}_t + Q = -M\{1\}\ddot{x}_g \tag{1.9}$$

Donde:

M y *C* son las matrices de masa y amortiguación, *Q* denota el vector de fuerza, y $\ddot{x}_g$ es la aceleración del suelo.

Si definimos como referencia el desplazamiento del *S1GDL x** como:

$$x^* = \frac{\{\Phi\}^T M\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T M\{1\}} x_t \tag{1.10}$$

y multiplicamos previamente por $\{\Phi\}^T$ y substituimos por x_t usando la ecuación, obtendremos la siguiente ecuación diferencial que corresponde a un sistema equivalente de un grado de libertad.

$$M^*\ddot{x}^* + C^*\dot{x}^* + Q^* = -M^*\ddot{x}_g \tag{1.11}$$

M, C** y *Q** denotan las propiedades del *S1GDL* equivalente y son dadas por las fórmulas siguientes:

$$M^* = \{\Phi\}^T M\{1\} \tag{1.12}$$

$$Q^* = \{\Phi\}^T Q \tag{1.13}$$

$$C^* = \{\Phi\}^T C\{\Phi\} = \frac{\{\Phi\}^T M\{1\}}{\{\Phi\}^T M\{\Phi\}} \tag{1.14}$$

Asumiendo que la forma del vector $\{\Phi\}$ se conoce, la característica fuerza-deformación del *S1GDL* (relación *Q*-x** ver *Figura 1.11*) puede ser determinada de los resultados de un análisis estático no lineal por incrementos de una estructura *MGDL*, la cual

generalmente produce un diagrama de cortante basal (V) – desplazamiento de azotea (x_t ò δ_t) del tipo mostrado en la *Figura 1.14*. Para identificar la fuerza nominal global y las cantidades de desplazamiento, el diagrama multilineal V - δi necesita ser representado por una relación bilineal que define una fuerza de fluencia, Vy, una rigidez `elástica` efectiva, $K_e=V_y/\delta_{t,y,}$ y una rigidez suavizada, $K_e=V_y/\alpha K_e$, para la estructura. Es necesario usar el criterio para definir estas propiedades. La curva de respuesta bilineal simplificada del desplazamiento del techo contra el cortante de entrepiso, la cual se muestra en la *Figura 1.12*, es necesaria para definir las propiedades del *S1GDL*equivalente.

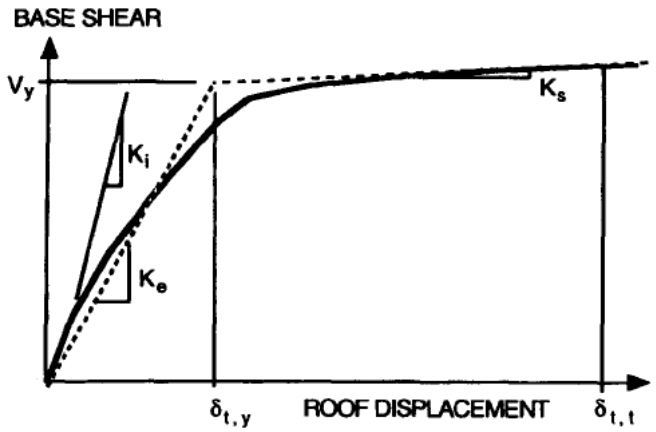


Figura 1.12 Cortante basal vs desplazamiento de azotea de un MDOF.

El valor del cortante basal de fluencia (V_y) y el desplazamiento correspondiente de azotea ($x_{t,y}$) de la *Figura 1.13* son usados para calcular la relación de la fuerza-desplazamiento para el sistema equivalente *S1GDL* como sigue:

$$x^* = \frac{\{\Phi\}^T M\{\Phi\}}{\{\Phi\}^T M\{1\}} x_{t,y} \quad Q_y^* = \{\Phi\}^T Q_y \tag{1.15}$$

donde es el vector de fuerza al momento de la fluencia.

El periodo inicial del *S1GDL*equivalente,T_{eq} se calcula como sigue:

$$T_{eq} = 2\pi \left[\frac{x_y^* M^*}{Q_y^*} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{1.16}$$

La relación por endurecimiento por deformación (α) de la relación de *V-xt* de la estructura *MDOF* define la relación por endurecimiento por deformación equivalente al sistema *S1GDL*.

Las propiedades básicas del sistema equivalente *S1GDL* son ahora conocidas. La pregunta fundamental en la ejecución del análisis *ELSE* es la magnitud del desplazamiento buscado a la cual la evaluación de desempeño sísmico tiene que ser alcanzado. El desplazamiento buscado sirve como un estimado del desplazamiento global de que la estructura espera experimentar en un terremoto de diseño. Una definición conveniente de desplazamiento objetivo es el desplazamiento de azotea en al centro de la masa de la estructura. Las propiedades del sistema equivalente *S1GDL* junto con la información espectral para el sistema no lineal *S1GDL*, el cual ha sido desarrollado y mejorado en los últimos años (*ATC, 2009*), proveen la información necesaria para estimar el desplazamiento objetivo.

El desplazamiento de azotea de la estructura, x_t, es relacionada al desplazamiento equivalente *S1GDL, x**, por medio de la *Ecuación 1.17*. Por lo tanto, el desplazamiento objetivo puede ser encontrado si la demanda de desplazamiento del sistema equivalente *S1GDL* puede ser estimado para el sismo de diseño. La demanda de un sistema elástico *S1GDL* de desplazamiento es dado por el desplazamiento espectral. Para la demanda los sistemas no lineales de desplazamiento *S1GDL* necesita ser obtenida desde el espectro inelástico. La utilización de la información de la demanda del espectro inelástico requiere el cálculo de la relación entre la capacidad de la resistencia elástica y la fuerza de fluencia del sistema equivalente *S1GDL*, generalmente referido como el factor – *R* desde que los espectros inelástico son generalmente obtenidos para los sistemas de masa unitaria, es

conveniente dividir la *Ecuación 1.17* por *M** para obtener la ecuación diferencial del sistema de unidad de masa equivalente *S1GDL*:

$$\ddot{x} + \frac{C^*}{M^*}\dot{x}_t + \frac{Q^*}{M^*} = -\ddot{x}_g \tag{1.17}$$

La ecuación (4.34) describe la respuesta de un sistema de masa unitaria *S1GDL* con periodo T_{eq} y fuerza de fluencia $F_{y,eq.}$ Dado por:

$$F_{y,eq} = Q_y^* / M^* \tag{1.18}$$

Si el espectro de la respuesta elástica es conocido, la demanda de fuerza elástica del sistema de masa unitaria equivalente *S1GDL* puede ser calculado como:

$$F_{e,eq} = S_a(T_{eq}) \tag{1.19}$$

Donde Sa (T_{eq}) es la ordenada espectral del espectro de aceleración elástica. El factor de reducción de fuerza R puede entonces ser obtenido de la relación:

$$R = \frac{F_{e,eq}}{F_{y,eq}} = \frac{S_a(T_{eq})}{Q_y^*} M^* \tag{1.20}$$

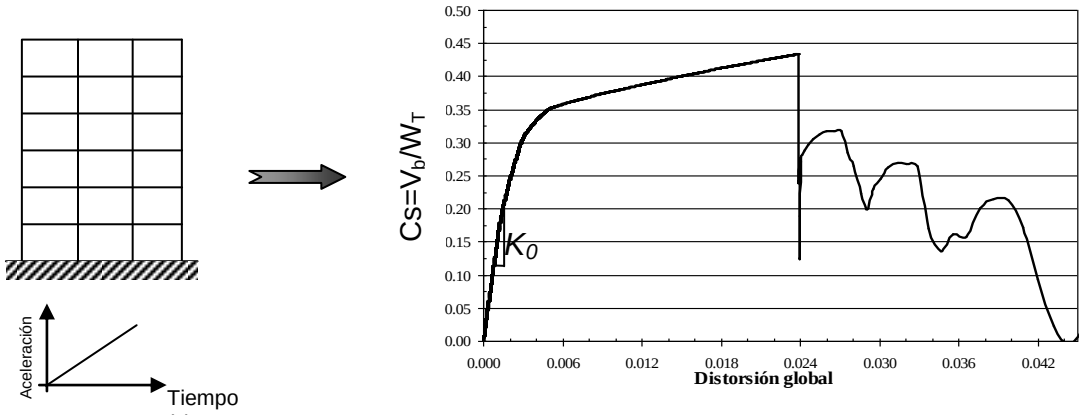
El *factor-R* y el desplazamiento objetivo dependen de la elección de la forma del vector $\{\Phi\}$.

La mayoría de los investigadores quienes han utilizado *ELSE* en estudios piloto han recomendado el uso del perfil normalizado de desplazamiento en el nivel del desplazamiento objetivo como la forma del vector. Desde que este desplazamiento no es conocido a priori, un proceso de iteración tendrá que ser llevado a cabo si esta forma de vector es seleccionado. El uso de T_{eq} y de la forma de vector anteriormente mencionada

para estimar las propiedades del sistema equivalente *S1GDL* y el desplazamiento objetivo requiere elaborar cálculos e iteraciones que consumen mucho tiempo. Al reconocer todos los supuestos y aproximaciones inherentes en el procedimiento del *ELSE*, no hay una buena justificación para ser riguroso en los cálculos que nos conducen a la estimación del desplazamiento objetivo, y la precisión puede ser con frecuencia sacrificada por el bien de la simplicidad.

Estudios de sensibilidad (*FEMA, 2005*) han mostrado que la diferencia entre T_i(primer modo de vibrar de la estructura) y T_{eq} es usualmente pequeño y su efecto sobre el desplazamiento objetivo puede ser despreciado a menos que el espectro de diseño sea muy sensible para pequeñas variaciones en el periodo.

En el presente estudio se realiza una metodología alterna equivalente al análisis "push-over". En vez de usar un patrón de cargas laterales concentradas en sus masas, se utiliza una aceleración en la base que crece de forma lineal con el tiempo (ver *Figura 1.13a*) hasta alcanzar la capacidad última de la estructura. Se realiza un análisis no lineal "paso a paso" en el tiempo mediante una versión modificada del programa *DRAIN 2D modificado por Campos y Esteva, (1997),* y se obtiene una curva como la que se muestra en la Figura 1.13b. A partir de esta curva se puede determinar de modo directo la capacidad última por medio de la caída de la fuerza resistente mediante un criterio (p.e. para el 80% de la capacidad de resistencia máxima, utilizado por *Díaz López & Esteva (2009))*y se determina el valor (para el cual ocupamos este análisis) de la rigidez elástica del sistema K_0, como la pendiente de la parte lineal de la curva.



a) Aceleración lineal en la base b) Curva del AENL equivalente

Figura 1.13 Ilustración de un análisis dinámico paso a paso con aceleración en la base que crece en forma lineal con el tiempo.

Rigidez secante degradada *(K)*

En un análisis dinámico incremental (*ADI*), conforme aumenta la intensidad de las aceleraciones del terreno, algunos elementos de la estructura alcanzan su resistencia elástica y fluyen; las características del movimiento sísmico son tales que las partes que fluyen de los elementos (trabes, columnas y/o muros) son una pequeña parte de los mismo y ubicadas normalmente en sus extremos. Lo anterior provoca un cambio (disminución) en la rigidez global del sistema. A medida que las aceleraciones se mantienen en cierto nivel o aumentan, el número de elementos con comportamiento inelástico puede aumentar, con un consecuente deterioro mayor en la rigidez del conjunto. Se puede considerar que el comportamiento del sistema durante la fase intensa es una sucesión de sistemas lineales en los cuales la rigidez de los mismos disminuye conforme la amplitud de la respuesta aumenta. En algunos sistemas (tal vez los menos), el comportamiento arriba descrito da lugar a ciclos de carga y descarga de forma más o menos constante (*Figura 14a*); es decir, no existe degradación importante de las propiedades. En la mayoría de los casos, a cada nuevo ciclo el sistema o elemento presenta una rigidez menor (rigidez secante); además no

alcanza la misma resistencia del ciclo anterior, lo que implica deterioro tanto en rigidez como en resistencia (*Figuras 14b* y *c*). Un aspecto muy importante en el comportamiento de los sistemas estructurales no lineales son las derivas o deformaciones permanentes. Desde el inicio del comportamiento no lineal la deriva se hace presente y puede ser importante sobre todo en la fase de mayor intensidad.

Posterior a la fase intensa del temblor, se ha observado que existe una recuperación parcial de la rigidez de los elementos que presentaron fluencia, pero no se alcanza la rigidez inicial.

Durante la fase intensa, la entrada de energía al sistema se incrementa. Ya dentro del sistema, la energía se libera en forma de deformaciones inelásticas (daño) y otras formas tales como calor en las juntas debido al proceso de cargas y descarga, fricciones internas, fricciones entre elementos estructurales y no estructurales, apertura y cierre de microgrietas, etc. Estos efectos hacen que los ciclos de histeréticos cambien en forma y tamaño con respecto a los que se tienen en el intervalo lineal. En general se presenta un incremento en el área de los ciclos (*Figuras 1.14b* y *c*), aunque en estructuras con un daño acumulado importante puede presentarse un adelgazamiento o estrangulamiento de éstos, provocado principalmente por la apertura y cierre de grietas en los elementos.

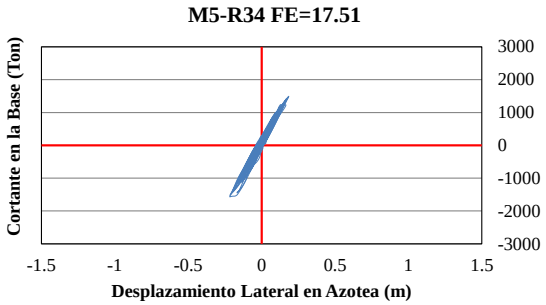
A partir de estos ciclos de histéresis se puede apreciar la rigidez secante K que se utiliza en las *Ecuaciones 1.1 y 1.8* para obtener el índice de degradación de K, donde este valor se encuentra asociado al desplazamiento máximo del ciclo de histéresis.

Por ejemplo: en la *Figura 1.14a*, se puede observar que para un factor de escala del sismo de *FE=17.51*, se tiene un comportamiento prácticamente lineal para este sismo y marco *(R34, M5)*, por lo que la rigidez secante *K=7196.92 ton/m* es del orden de la rigidez elástica: K_0*=9882.86 ton/m*, lo que el índice de daño resulta bajo: *D (y)=0.272*. Es decir, una estructura prácticamente elástica.

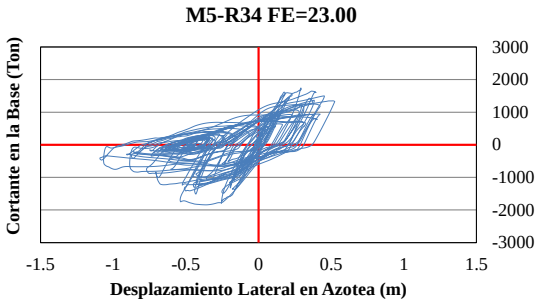
En la Figura 14b, para un *FE=23*, el comportamiento no lineal es considerable por lo que la rigidez secante es baja: *K=384.40 ton/m*, por lo cual resulta un índice de daño cercano a uno: *D (y)=0.9611*.

En la *Figura 1.14c*, para un *FE=26.30*, se puede observar que la estructura está colapsada, los desplazamientos se han disparado, lo que se obtiene una *K=0* por lo tanto un *D (y)=1*.

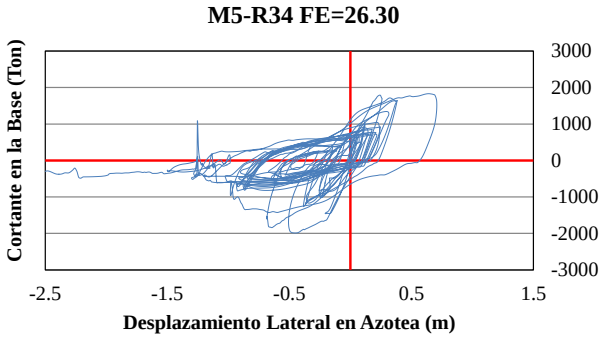
Desde luego que en los casos anteriores habrá *FE´s* intermedios que permitan ver la evolución del índice de daño *D (y)*, sus valores pueden verse en *Montiel & Diaz de León, 2011*, para diferentes niveles de la intensidad.



a) Estructura prácticamente elástica, *D (y)=0.272*.



b) Estructura cercana al colapso, *D (y)=0.9611*.



c) Estructura colapsada, *D (y)=1*.

Figura 1.14. Ciclos de histéresis de la respuesta global para diferentes niveles de la intensidad sísmica FE.

Índice de confiabilidad β de Cornell.

Para propósitos de aplicaciones para el diseño resistente a sismos basados en desempeño, la estimación de la confiabilidad sísmica para sistemascomplejos no-lineales de valores dados de la intensidad sísmica ha sido basada en distribuciones de probabilidad del margen de seguridad *Z*.

Para razones prácticas, la confiabilidad es no expresada en términos de la probabilidad de supervivencia (o su complemento, la probabilidad de falla), pero si en términos del índice de confiabilidad β de Cornell (1969), como vimos en párrafos anteriores:

$$\boldsymbol{\beta(y) = \frac{m_Z(y)}{\sigma_Z(y)}} \qquad \textbf{(1.21)}$$

Donde las variables fueron ya definidas desde la *Ecuación 1.2*.

Margen de seguridad *Z (Y)*

El indicador de daño presentado antes, es usado para estimar la confiabilidad sísmica de un grupo de sistemas estructurales. Para este propósito, cada sistema es sujeto a un conjunto de historias en el tiempo de movimientos sísmicos de diferentes intensidades; los resultados serán presentados por medio gráficos teniendo en las abscisas el valor del indicador de daño y en las ordenadas los valores del logaritmo natural de la intensidad necesaria para producir el nivel de daño requerido. Esto permite obtener la función de densidad de probabilidad de los valores de (*y)* correspondientes a cada valor de D. De este modo el problema de determinar $\beta(y)$ es transformado para estimar la media y desviación estándar del valor (aleatorio) del logaritmo natural de la mínima intensidad necesaria para obtener el valor de *D* igual a 1.

Una manera de ver como varían las estructuras conforme se acercan al colapso cuando *D(y)* alcanza su valor máximo *D(y)=1* es mediante la relación que guardan este índice *D(y)* con el margen de seguridad *Z(y)*, el cual está en función de la intensidad de colapso de la estructura *(Y_C)* y de la intensidad del sismo *(y)*.

El margen de seguridad se define como:

$$\boldsymbol{Z(y) = ln\frac{Y_C}{y} = lnY_C - lny} \tag{1.22}$$

y el índice de confiabilidad como: $\beta(y) = E(Z) / \sigma(Z) = E(lnY_C - lny) / \sigma(lnY_C - lny)$.

Para una *y* dada $E(lny)=lny$ y$\sigma(lny)=0$ y por lo tanto $\beta(y)= E(lnY_C) - lny / \sigma(lnY_C)$, donde $Z_C=lnY_C$. Esto es:

$$\boldsymbol{\beta(y) = \frac{E(lnY_C) - ln(y)}{\sigma(lnY_C)}} \tag{1.23}$$

Donde *E(lnYc)*, es el valor esperado del *lnYc*.

Para fines de diseño o evaluación, un índice de confiabilidad *β(y)* adecuado deberá ser positivo, alcanzando valores de hasta 5, *(Montiel y Diaz de León, 2011)* para un margen de seguridad *Z(y)=1*, lo que implica una estructura elástica. Para este fin, un índice de confiabilidad negativo es un índice no deseable, el cual indicará una alta probabilidad de que la estructura se colapse y esto sucede cuando el valor esperado del logaritmo natural de la intensidad de colapso es alcanzado y/o rebasado por la intensidad del sismo, es decir: $y_i \geq E(lnY_C)$. De esta manera, un margen de seguridad *Z(y)* será recomendable hasta que sea lo suficientemente alto para obtener un índice de confiabilidad positivo. Por ejemplo, de acuerdo con *Montiel y Díaz de León, 2011*, el mínimo *Z(y)* requerido deberá ser mayor a *0.6* para obtener un índice *β(y)*positivo.

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

La aplicación de una metodología de análisis dinámicos incrementales para la obtención de la respuesta no lineal de sistemas estructurales en la zona cercana al colapso y sus alrededores (*Ycc*), incluido el valor del colapso (*Yc*), permite obtener de manera eficiente pares de valores del margen de seguridad y el índice de daño ($z=Z$, $d=D$) para valores de d, dentro del rango $0.8 \leq d < 1$, cuyos resultados permiten evaluar eficazmente la intensidad de colapso del sistema, necesaria para poder evaluar la vulnerabilidad y como consecuencia la confiabilidad del sistema estructural.

Objetivo General

Establecer una metodología básica para la evaluación de la confiabilidad sísmica de edificaciones específicas, así como su contribución al conocimiento del riesgo sísmico de una región o localidad, teniendo en mente las aplicaciones a la formulación de criterios óptimos para diseño sísmico y a la generación de escenarios sobre daños probables ante eventos sísmicos de intensidades especificadas que puedan afectar una región o localidad, con miras a la formulación de planes para la prevención, mitigación y gestión del riesgo sísmico.

Objetivos Particulares

Revisar la literatura existente sobre diversos planteamientos disponibles para el desarrollo de funciones de vulnerabilidad y confiabilidad sísmica de edificaciones, cubriendo los modelos teóricos. Incluir los estudios sobre la influencia de daño inicial o acumulado a consecuencia de eventos sísmicos previos.

Describir los conceptos y metodologías asociados a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, haciendo énfasis en las nuevas estrategias para la evaluación y el diseño sísmico de edificaciones.

Obtener las funciones de vulnerabilidad con base en los criterios desarrollados para definir la condición de falla última.

Desarrollar una metodología que permite obtener de manera eficiente la confiabilidad sísmica de edificios para diferentes niveles de la intensidad sísmica, tomando en cuenta las incertidumbres asociadas con las propiedades del sistema estructural considerado y con las características detalladas de los registros sísmicos.

Obtener un algoritmo que nos permita aplicar de una manera eficiente una metodología para obtener el valor de la intensidad de colapso Y_C necesaria para evaluar el índice de confiabilidad β de Cornell en términos del margen de seguridad *Z*.

Evaluar el índice de confiabilidad β de Cornell en términos del margen de seguridad *Z* para su posible incorporación en el futuro en los reglamentos de construcción y de diseño.

Obtener el índice de daño *D* provocado por un sismo en términos de la degradación de la rigidez conforme se incrementa la intensidad.

Aplicar los conceptos anteriores a un edificio de diez niveles.

Formular recomendaciones sobre valores de la confiabilidad sísmica en términos del margen de seguridad para diferentes niveles de intensidad sísmica.

Grupo de trabajo

Durante esta investigación participarán principalmente dos instituciones el *Instituto de Ingeniería de la UNAM,* y el Posgrado de Ingeniería de la *Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).*

Integrantes:

Durante esta investigación participaron las siguientes personas:

- Dr. Luis Esteva Maraboto, Investigador emérito del Instituto de ingeniería, UNAM.
- Dr. Marco Antonio Montiel Ortega, Profesor-investigador de la División de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UAQ.
- Ing. Guillermo Arturo Díaz de León Piña, alumno de la Maestría en Ciencias (Estructuras) del Posgrado de Ingeniería, UAQ.

Productos derivados de la investigación:

Montiel *M.A.* and Díaz de León G.A. (**2011**). **Estimation of the seismic reliability of buildings using incremental dynamic analysis method of the secant stiffness degradation index (IDAM-SSDI).** Artículo publicado y presentado en: *COMPDYN 2011*: *3rd International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics & Earthquake Engineering*, llevado a cabo del 26-28 May 2011, Corfu, Greece.

Montiel M.A., and Díaz de León G.A. (**2011**). **Estimación de la confiabilidad sísmica de edificios utilizando el análisis dinámico incremental del índice de degradación de la rigidez secante. Parte I.** *Título del libro: Tendencias en ingeniería, tecnología y sociedad.*

*Primera Edición. ISBN: 978-607-707-327-7.*Libro de Trabajos con la Editorial Alfaomega, en el marco de las actividades del *VII Congreso Internacional de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UAQ.* Editorial *ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V*. México.

Marco Antonio Montiel Ortega y Guillermo Arturo Díaz de León Piña.(**2012**). **Estimación de la confiabilidad sísmica de edificios por medio de análisis dinámicos incrementales del índice de degradación de la rigidez secante, aplicado a un edificio de 10 niveles. Parte II.***VII Congreso Internacional de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UAQ.*México.

II. ESTRUCTURA ANALIZADA Y MODELACIÓN

La naturaleza del diseño estructural de un edificio no es determinista, debido entre otras razones a que las cargas que actúan sobre el sistema se deben a circunstancias y a fuerzas derivadas de fenómenos ambientales que ocurren en la naturaleza; el ingeniero civil estructurista no puede predecir con exactitud las cargas futuras, ya que estas también son cantidades de naturaleza incierta. De igual manera, la resistencia de los elementos estructurales tampoco se puede predecir con exactitud debido a varias causas, como la variabilidad inherente en al proceso constructivo de los mismos, a la no uniformidad de los componentes en los materiales desde su fabricación, que finalmente afectan a su resistencia y su habilidad para soportar cargas. Por lo anterior y con la finalidad de considerar el efecto que tienen tales incertidumbres en la respuesta estructural, es necesario realizar un planteamiento basado en conceptos probabilísticos que tome en cuenta la aleatoriedad en esos parámetros. La teoría de la probabilidad facilita una mayor precisión ingenieril cuando al modelar se realiza la representación de la realidad. Desde antes de que apareciera el artículo fundacional de *Cornell (1969)* y a la fecha, se ha escrito mucho acerca de la naturaleza incierta de las cargas actuantes y de las propiedades de los materiales; también se ha demostrado que tales incertidumbres en las fuerzas aplicadas y en las propiedades mecánicas como la resistencia estructural y la ductilidad implica incertidumbre en el desempeño estructural, y que esta incertidumbre solo puede ser analizada y valorada racionalmente utilizando la teoría de la probabilidad y a la estadística como su herramienta, para conocer cuantitativamente la respuesta de una estructura (*Cornell 1969*). Enseguida se presenta el tratamiento probabilista dado a los materiales y a las propiedades geométricas del edificio en estudio.

Descripción del Sistema Estructural Diseñado

A lo largo de este capítulo, se detallan las principales características geométricas y las más importantes propiedades mecánicas del edificio analizado. El sistema del edificio propuesto cuenta con 10 niveles y fue diseñado por el despacho de ingeniería estructural

GARCÍA JARQUE INGENIEROS, SC. Este despacho de cálculo está dirigido por el *Ing. Francisco García Jarque* y su trabajo de cálculo fue realizado como parte de una colaboración mediante convenio signado entre este despacho y el Instituto de Ingeniería de la *UNAM* para la realización del diseño de un edificio de diez niveles que serviría como soporte para este trabajo y para posteriores investigaciones y estudios académicos. Esta investigación tiene como objetivo principal la evaluación de la confiabilidad estructural sísmica de sistemas estructurales complejos no lineales de múltiples grados de libertad.

Para el diseño del edificio se propuso al despacho de cálculo que utilizara como término de referencia el *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal(RCDF, 2004)* por lo que se invocaron las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo(NTCS, 2004)*. A partir de ahí se consideran las normas para la aplicación de los métodos y de las prescripciones particulares para el diseño del sistema estructural y el dimensionamiento de sus elementos.

El edificio fue idealizado como una estructura regular construida a base de un sistema de marcos planos de concreto reforzado, los cuales se integran por elementos prismáticos con propiedades semejantes. El proyecto global debe de cumplir con el objetivo de dar servicio como un edificio dispuesto para oficinas. Por esta razón la estructura queda definida dentro del *grupo B*, según lo establece el *RCDF-2004* en el *Artículo139*. Se da por un hecho que la construcción se encuentra situada cerca de los edificios donde están ubicadas las oficinas de la *Secretaría de Comunicaciones y Transporte* (*SCT*). La estructura es un edificio convencionalcon muros no ligados, el cual está asentado en una zona geotécnica donde el terreno en su estratigrafía contiene suelo blando, es decir, según las *NTC (2004)*, está ubicado en la *zona IIIb*. En la *Figura 2.1* se muestra la zona de ubicación de la estructura dentro del mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de México. Se considera que la resistencia lateral es suministrada por marcos de concreto reforzado y que estos a su vez, cumplen con los requisitos necesarios establecidos en el reglamento para los marcos dúctiles. Debido al tipo de sistema estructural seleccionado, se utiliza un factor de comportamiento sísmico para el diseño del edificio con un valor de $Q = 3$, como se detalla más adelante, y un valor para el coeficiente sísmico de diseño elástico de $C_s = 0.45$. El

periodo fundamental del edificio es de $T_0 = 1.17\ seg$ y el coeficiente resistente de fluencia tiene un valor de $C_y = 0.4$, *(Montiel, 2006)*.

Para el diseño del edificio se especifica *concreto tipo I* por parte del proyectista, con una resistencia nominal a la compresión de $f_c^{'} = 250\ kg/cm^2$, el cual debe ser reforzado con acero *AR (Alta Resistencia)* con un valor nominal para el esfuerzo a la fluencia de $f_y = 4\,200\ kg/cm^2$.

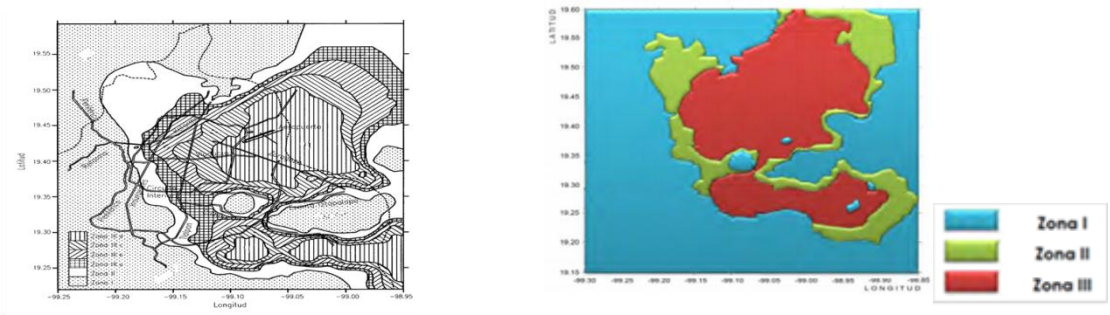


Figura 2.1 1Localización de la estructura analizada dentro del mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de México según las *NTCS*

Factor de Comportamiento Sísmico ***Q***

Las construcciones en general además de ser clasificadas en los reglamentos por el servicio que deberán brindar y por la zona en que se ubican, se clasifican de acuerdo con las propiedades internas de la estructura, es decir, se especifican además de acuerdo con la capacidad que tienen para disipar la energía sísmica mediante un proceso de deformación inelástica.

El factor de comportamiento sísmico incluye la capacidad de los elementos estructurales a resistir la fatiga producida por las cargas cíclicas presentes durante la acción de un sismo; incluye también la ductilidad, la resistencia y la capacidad de deformación de dichos elementos para no incurrir en una falla frágil en los miembros de la estructura

sometidos a movimientos sísmicos. El factor de comportamiento sísmico $\boldsymbol{Q}$ representa un constituyente fundamental en el proceso de diseño.

Debido a que la resistencia en todos los entrepisos está dada por los marcos de concreto reforzado junto con losas planas, como se establece en párrafos anteriores, se utiliza un factor de comportamiento *Q = 3* de acuerdo a las *NTCS (2004).*

Coeficiente Sísmico (c)

El valor del coeficiente sísmico requerido para el análisis sísmico del edificio, se determina con base en la clasificación y en la ubicación de la estructura.

Para este caso se utiliza un valor para el coeficiente sísmico de 0.45, el cual corresponde a estructuras del *Grupo B* que están ubicadas en la *Zona IIIb*, de acuerdo con las *NTCS (2004)*. El cortante horizontal que se produce en la base de la estructura es:

$$\boldsymbol{V_0 = \frac{c}{Q} W} \qquad (2.1)$$

Donde:

$\boldsymbol{V_0}$ = Cortante basal.

$\boldsymbol{c}$ = Coeficiente sísmico expresado como fracción de la aceleración de .la gravedad.

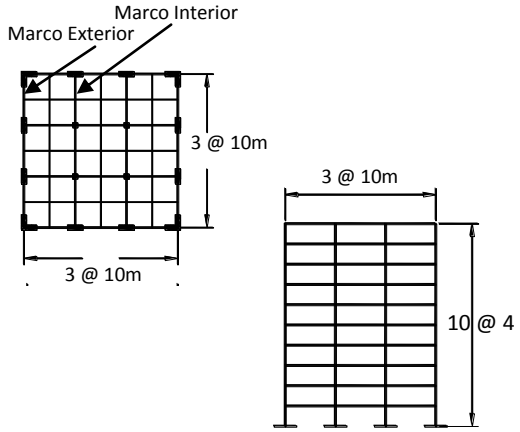
$\boldsymbol{W}$= Peso total de la estructura.

$\boldsymbol{Q}$= Factor de comportamiento sísmico, el cual se explica en la siguiente sección.

En la *Figura 2.2* se pueden observar las características geométricas del sistema estructural del edificio tanto en planta como en alzado, así como el valor correspondiente al periodo fundamental de la estructura T_0. En esta figura se hace referencia a un marco exterior y a un marco interior del edificio, los cuales se seleccionaron para ser utilizados en la modelación del sistema bidimensional al momento de realizar el análisis no lineal de la estructura recurriendo al programa *DRAIN 2D (1975) modificado* por *Campos y Esteva (1997),* como veremos posteriormente con detalle.

En la *Tabla 2.1* se muestran los valores nominales de las secciones de las trabes y de las columnas de ambos marcos de la estructura, el marco interior y el marco exterior. En esta tabla también se señalan los esfuerzos resistentes del concreto y del acero de refuerzo.

En la *Tabla 2.2* se muestran el periodo fundamental de vibración T_0 y el coeficiente sísmico resistente "real" C_r, cuando se consideran valores de las propiedades mecánicas de los materiales y de las cargas vivas máximas actuantes. Los coeficientes C_r fueron obtenidos a partir del análisis del *Empuje Lateral Seudo Estático (ELSE*) (*Análisis Pushover, APO,* en inglés).



T_0=1.17

Figura 2.2 Planta y alzado del edificio estudiado.

En las *Figuras 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6* se muestra la estructuración seleccionada, con dibujos esquemáticos de las secciones de las trabes y de las columnas, así como el detallado de los armados de los elementos estructurales para el edificio de 10 niveles, tanto para los miembros de un marco exterior como para los de un marco interior del edificio.

*Tabla 2. 1*Secciones nominales del marco de 10 niveles(*García Jarque, 2004; f'_c=250 kg/cm^2, f_y=4200 kg/cm^2*)

Marco	Nivel	Trabe cm	Columna Interior cm	Columna Exterior cm
Interior	1-7 8-10	35 x 90	110 x 110 90 x 90	150 x 50
Exterior	1-10	45 x 130	50 x 150	150 x 150 x 50 Sección "L"

Tabla 2. 2 Periodos fundamentales, modos de vibrar y coeficientes sísmicos resistentes de los marcos analizados.

Número de Niveles	Periodo Fundamental $T_0(seg)$	Coeficiente Sísmico Resistente C_r
10	1.17	0.40

Como quedó establecido previamente, el edificio cuenta con diez niveles, en el que cada nivel tiene una altura de 4 metros y cuenta con tres crujías en donde las distancias entre los ejes de las columnas son de 10 metros. El sistema estructural propuesto es a base de marcos de concreto. Se puede observar en las *Figuras 2.2* y *2.3*, que los marcos perimetrales del edificio disponen de columnas con secciones de diferente geometría a las de los marcos que se encuentran en el interior del cuerpo del edificio, por lo que ambos marcos, interiores y exteriores, tendrán una diferencia en la rigidez lateral. En las *Figuras 2.4, 2.5 y 2.6* se pueden observar las secciones nominales además de los armados de las trabes y de las columnas de los marcos interiores y exteriores correspondientes a todos los niveles, según la clasificación presentada en la *Figura 2.3*.

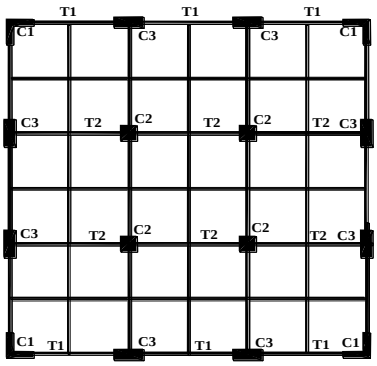
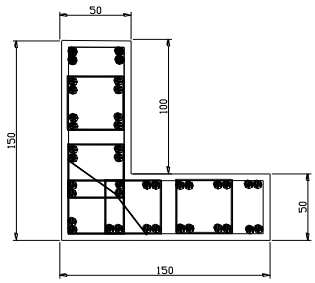


Figura 2.3 Clasificación adoptada para las secciones de columnas y trabes

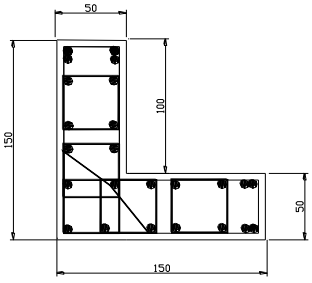
Columnas C1

40#12, 7E#4 @20



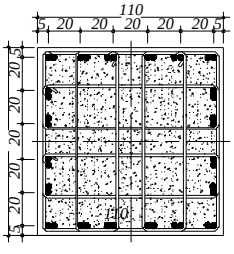
De Nivel 1 a Nivel 3

24#12, 7E#4 @20

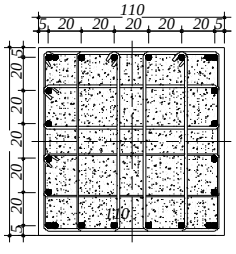


De Nivel 4 a Nivel 10

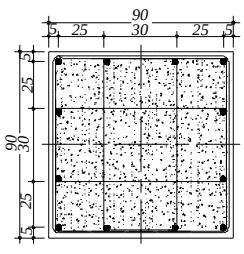
Columnas C2



Cimentación a Nivel 3

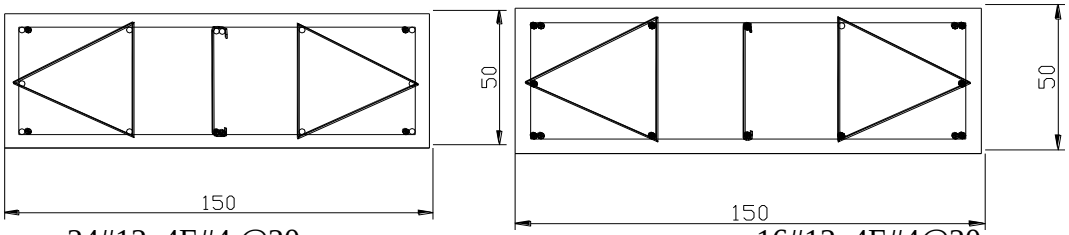


De Nivel 4 a Nivel 7



De nivel 8 a Nivel 10

Columnas C3

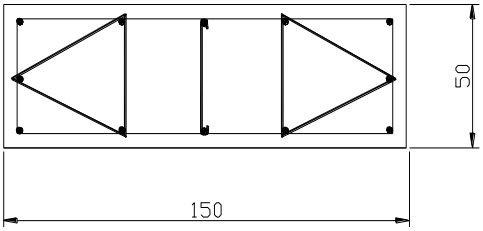


24#12, 4E#4 @20

Del Nivel 1 al Nivel 3

16#12, 4E#4@20

Del Nivel 4 al Nivel 7



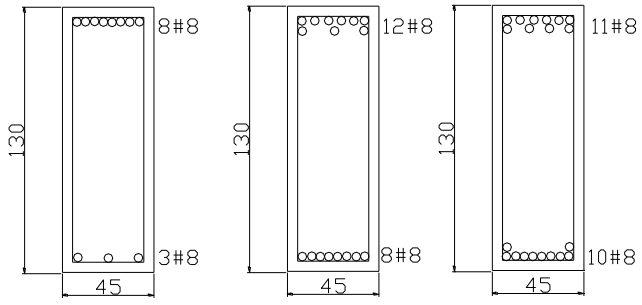
12#12, 4E#4 @20

Del nivel 8 al nivel 10

Figura 2. 4 Armados de columnas tipo C1, C2 y C3.

Trabes T1

Nivel 9 y 10, 10 E#4 @15 Nivel 7 y 8, 20 E#4 @15 Nivel 7 y 8, 20 E#4 @15



Nivel 5 y 6, 20 E#4 @10 Nivel 5 y 6, 25 E#4 @15 Nivel 1, 2, 3 y 4, 2 5E#4 @15

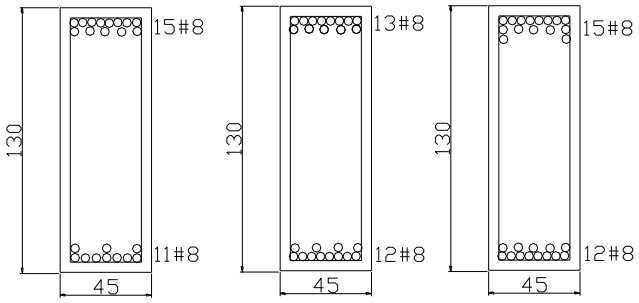
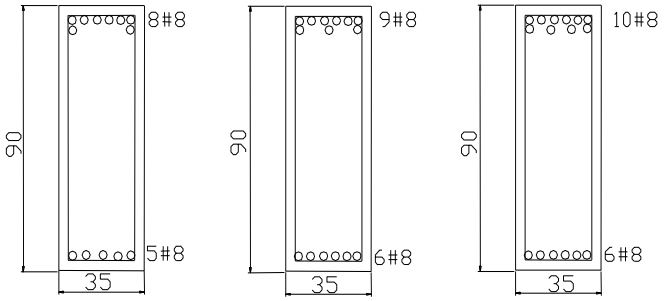


Figura 2. 5 Armados de trabes para un marco exterior.

Trabes T2

Nivel 9 y 10, 15 E#3 @10 Nivel 7 y 8, 15 E#3 @10 Nivel 1, 5, 6, 7 y 8 15 E#3 @10



Nivel 1,5 y 6, 20E#3 @10 Nivel 2,3 y 4, 10E#3 @10 Nivel 2,3 y 4,20E#3@10

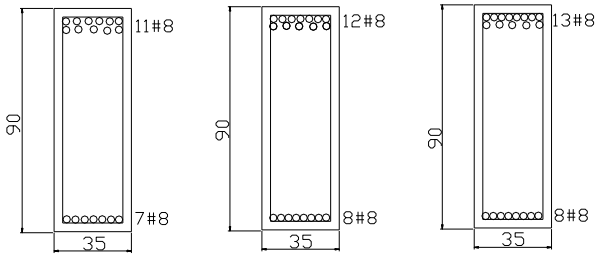


Figura 2. 6 Armados de trabes para un marco interior.

Valores Esperados de las Dimensiones en la Geometría de los Elementos

Los valores nominales en las dimensiones de trabes y columnas se tomaron de los resultados arrojados en el diseño de la estructura que fueron proporcionados por el despacho de cálculo y los cuales quedaron registrados en la *Tabla 2.1*. Para la obtención de los valores esperados en las propiedades geométricas de los elementos estructurales se trasformaron las dimensiones de sus secciones para el marco de la estructura utilizando los siguientes procedimientos:

Valores Esperados de las Dimensiones en las Trabes

Para las secciones de las trabes, *Mirza & Mc Gregor (1979a),* recomiendan que se utilice un valor promedio de las dimensiones geométricas de ancho y alto en el corte transversal de la trabe, igual al valor nominal que tenemos incrementando en *+0.254 cm* y considerar una desviación estándar de *+0.544 cm* para la dimensión del peralte.

Para los recubrimientos en el concreto de la trabe, se supone un valor esperado igual al valor nominal incrementando en *+0.16 cm* para el recubrimiento inferior, con una desviación estándar de *+1.11 cm (Ecuación 2.1)*; y para el recubrimiento superior de concreto suponen un valor esperado igual al valor nominal incrementado en *+0.32 cm*, con una desviación estándar de *+1.588 cm, (Ecuación 2.2)*.

$$\boldsymbol{r_{inf} = r_n + 0.16\ cm,\ \ con\ \sigma_{r_{inf}} = +1.11\ cm} \qquad (2.2)$$

Donde:

$\boldsymbol{r_{inf}}$ = valor medio del recubrimiento inferior.

$\boldsymbol{r_n}$= valor nominal del recubrimiento inferior.

$\boldsymbol{\sigma_{r_{inf}}}$ = desviación estándar del recubrimiento inferior.

$$r_{sup} = r_n + 0.32\ cm,\ \ con\ \sigma_{r_{sup}} = +1.588\ cm \qquad (2.3)$$

Donde:

r_{sup} = valor medio del recubrimiento superior.

r_n= valor nominal del recubrimiento superior.

$\sigma_{r_{sup}}$ =desviación estándar del recubrimiento superior.

Igualmente se sugiere que se utilice una función de distribución de probabilidad tipo normal para la obtención de los valores de todas las dimensiones mencionadas.

Valores Esperados de las Dimensiones en las Columnas

Mirza y *Mc Gregor (1979b)* recomiendan para las columnas un valor esperado para el ancho y el alto igual al valor nominal incrementado en *+0.159 cm* para la base y la altura, con una desviación estándar de *+0.635* cm para ambas.

Para la obtención del valor del recubrimiento se considera la siguiente relación:

$$r = r_n - 0.635 + 0.004h \qquad (2.4)$$

r = valor medio del recubrimiento

r_n= valor nominal del recubrimiento.

h= dimensión de la columnas para la cual existe el menor momento de inercia.

Se toma un valor para la desviación estándar de *+0.42 cm* para el recubrimiento. Igualmente *Mirzay Mc Gregor (1979b)*recomiendan considerar una función de distribución tipo normal para calcular todas las dimensiones mencionadas.

Modelación de las Propiedades Geométricas para el Análisis Dinámico de la Estructura.

Nuevamente, la altura de cada entrepiso del edificio analizado es de 4 m, la distancia entre ejes de las columnas es de 10 m. En las *Figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.4 y 2.5* se pueden observar tanto la elevación como la planta del edificio objeto de este estudio, así como el dimensionamiento de las secciones y los armados nominales de las trabes, las columnas y losa, sus ubicaciones y nomenclaturas como resultado del diseño.

Se estudian las trabes de acuerdo con una sección tipo "T" para los marcos interiores y con una sección tipo"L" para los marcos exteriores, debido a que se especifica que las trabes deben de ser coladas de manera monolítica con la losa, En la propuesta del despacho de cálculo queda especificado el anterior procedimiento para determinar posteriormente las relaciones momento-rotación necesarias y con ello modelar el edificio en el programa *DRAIN 2D modificado*. Las dimensiones de las trabes y de las columnas para un marco interior y uno exterior sin considerar secciones tipo "T" y tipo "L" se muestran respectivamente en las *Tabla 2.1*, además en las *Tablas 2.3 a 2.10* se señalan las dimensiones equivalentes considerando secciones "T" y "L" obtenidas atendiendo las recomendaciones de las *NTCC (2004)*. Un esquema descriptivo del significado de las variables que representan las dimensiones mostrados en las *Tablas 2.3 a2.10* se da en la *Figura 2.7*.

Tabla 2. 3 Secciones nominales y medias de trabes tipo "T" para un marco interior.

DIMENSIONES DE TRABES DEL MARCO INTERIOR DE SECCIÓN "T"				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medias	Niveles de Ubicación
Sección	$b_w(m)$	0.35	0.35254	1-10
	$h(m)$	0.90	0.89721	
	$b_t(m)$	1.95	1.95254	
	$t_{losa}(m)$	0.10	0.10000	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.05320	
	$r_i(m)$	0.05	0.05160	
	$h_{conf.}(m)$	0.80	0.79000	
Excentricidad$_{1\text{-}3}$	$exc_{centro}(m)$	0.55	0.55100	1-3
	$exc_{extremo}(m)$	0.25	0.25100	
Excentricidad$_{4\text{-}7}$	$exc_{centro}(m)$	0.50	0.50100	4-7
	$exc_{extremo}(m)$	0.25	0.25100	
Excentricidad$_{8\text{-}10}$	$exc_{centro}(m)$	0.45	0.45100	8-10
	$exc_{extremo}(m)$	0.25	0.25100	
Propiedades	$A(m^2)$	0.47500	0.47630	1-10
	$I(m^4)$	0.03840	0.03820	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.70000	0.70000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.02688	0.02674	
	$f_c^{'}(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
Tipo de Rigidez	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
	$EI(Ton \cdot m)$	59 501.42	61 285.37	
	$EA(Ton)$	1 051 457.32	1 091 636.92	
	$GA(Ton)$	438 107.22	454 848.72	

Tabla 2. 4 Secciones nominales y medias de trabes tipo "L" para un marco exterior.

DIMENSIONES DE TRABES DEL MARCO EXTERIOR DE SECCIÓN "L"				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medios	Niveles de Ubicación
Sección	$b_w(m)$	0.45	0.45254	1-10
	$h(m)$	1.30	1.29721	
	$b_t(m)$	1.25	1.25254	
	$t_{losa}(m)$	0.10	0.10000	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.05320	
	$r_i(m)$	0.05	0.05160	
	$h_{conf.}(m)$	1.20	1.19000	
Excentricidad$_{1\text{-}10}$	$exc_{centro}(m)$	0.75	0.75100	
	$exc_{extremo}(m)$	0.75	0.75100	
Propiedades	$A(m^2)$	0.66500	0.66700	
	$I(m^4)$	0.10800	0.10800	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.70000	0.70000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.07560	0.07560	
	$f_c'(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
Tipo de Rigidez	$EI(Ton \cdot m)$	167 347.73	173 267.55	
	$EA(Ton)$	1 472 040.25	1 528 786.82	
	$GA(Ton)$	613 350.10	636 994.51	

Tabla 2. 5 Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-1" para un marco interior. Niveles 1-3.

DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS C-1 CENTRO DEL MARCO INTERIOR				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medios	Niveles de Ubicación
Sección	$b(m)$	1.10	1.10159	1-3
	$h(m)$	1.10	1.10159	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.06076	
	$r_i(m)$	0.05	0.06076	
	$h_{conf.}(m)$	1.00	0.98000	
Excentricidad1-3	$exc(m)$	0.90	0.89700	
Propiedades	$A(m^2)$	1.21000	1.21350	
	$I(m^4)$	0.12201	0.12272	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.75000	0.75000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.09151	0.09204	
	$f_c^{'}(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
Tipo de Rigidez	$EI(Ton \cdot m)$	202 557.72	210 938.27	
	$EA(Ton)$	2 678 449.18	2 781 220.38	
	$GA(Ton)$	1 116 020.49	1 158 841.82	

Tabla 2. 6 Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-1" para un marco interior.Niveles 4-7.

DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS C-1 CENTRO DEL MARCO INTERIOR				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medios	Niveles de Ubicación
Sección	$b(m)$	1.00	1.00159	4-7
	$h(m)$	1.00	1.00159	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.06036	
	$r_i(m)$	0.05	0.06036	
	$h_{conf.}(m)$	0.90	0.88000	
Excentricidad$_{4-7}$	$exc(m)$	0.90	0.89700	
Propiedades	$A(m^2)$	1.00000	1.00320	
	$I(m^4)$	0.08333	0.08386	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.75000	0.75000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.06250	0.06290	
	$f_c^{'}(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
Tipo de Rigidez	$EI(Ton \cdot m)$	138 349.65	144 156.88	
	$EA(Ton)$	2 213 594.36	2 299 192.81	
	$GA(Ton)$	922 330.98	957 997.00	

Tabla 2. 7 Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-1" para un marco interior.Niveles 8-10.

DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS C-1 CENTRO DEL MARCO INTERIOR				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medios	Niveles de Ubicación
Sección	$b(m)$	0.90	0.90159	8-10
	$h(m)$	0.90	0.90159	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.05996	
	$r_i(m)$	0.05	0.05996	
	$h_{conf.}(m)$	0.80	0.78000	
Excentricidad$_{8\text{-}10}$	$exc(m)$	0.90	0.89700	
Propiedades	$A(m^2)$	0.81000	0.81290	
	$I(m^4)$	0.05468	0.05506	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.75000	0.75000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.04010	0.04130	
	$f_c^{'}(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
Tipo de Rigidez	$EI(Ton \cdot m)$	90 771.20	94 648.08	
	$EA(Ton)$	1 793 011.43	1 863 003.22	
	$GA(Ton)$	747 088.10	776 251.34	

Tabla 2. 8 Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-2" para un marco interior.

DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS C-2 EXTREMOS DEL MARCO INTERIOR				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medios	Niveles de Ubicación
Sección	$b(m)$	1.50	1.50159	1-10
	$h(m)$	0.50	0.50159	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.05836	
	$r_i(m)$	0.05	0.05836	
	$h_{conf.}(m)$	1.40	1.38000	
Excentricidad$_{1\text{-}10}$	$exc(m)$	0.90	0.89700	
Propiedades	$A(m^2)$	0.75000	0.75320	
	$I(m^4)$	0.01563	0.01579	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.75000	0.75000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.01172	0.01184	
	$f_c^{'}(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
Tipo de Rigidez	$EI(Ton \cdot m)$	25 940.56	27 143.97	
	$EA(Ton)$	1 660 195.77	1 726 218.11	
	$GA(Ton)$	691 748.24	719 257.55	

Tabla 2. 9 Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-3" para un marco exterior.

DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS C-3 ESQUINAS DEL MARCO EXTERIOR				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medios	Niveles de Ubicación
Sección	$b(m)$	1.50	1.50159	1-10
	$h(m)$	0.50	0.50159	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.05836	
	$r_i(m)$	0.05	0.05836	
	$h_{conf.}(m)$	1.40	1.38000	
Excentricidad$_{1\text{-}10}$	$exc(m)$	1.30	1.29700	
Propiedades	$A(m^2)$	0.75000	0.75320	
	$I(m^4)$	0.14060	0.14150	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.75000	0.75000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.10547	0.10614	
	$f_c^{'}(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
Tipo de Rigidez	$EI(Ton \cdot m)$	233 465.03	243 264.32	
	$EA(Ton)$	1 660 195.77	1 726 218.11	
	$GA(Ton)$	691 748.24	719 257.55	

Tabla 2. 10 Secciones nominales y medias de columnas tipo "C-2" para un marco exterior.

DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS C-2 ESQUINAS DEL MARCO EXTERIOR				
Valores para capturar en el *DRAIN 2D*		Valores Nominales	Medios	Niveles de Ubicación
Sección	$b(m)$	1.50	1.50159	1-10
	$h(m)$	0.50	0.50159	
Recubrimientos	$r_s(m)$	0.05	0.05836	
	$r_i(m)$	0.05	0.05836	
	$h_{conf.}(m)$	1.40	1.38000	
Excentricidad$_{1\text{-}10}$	$exc(m)$	1.30	1.29700	
Propiedades	$A(m^2)$	0.75000	0.75320	
	$I(m^4)$	0.14060	0.14150	
	$Factor_{agrietamiento}$	0.75000	0.75000	
	$0.7 \times I(m^4)$	0.10547	0.10614	
	$f_c^{'}(kg/cm^2)$	250.000	268.000	
	$E(Ton/m^2)$	2 213 594.36	2 291 898.78	
	$G(Ton/m^2)$	922 330.98	954 957.82	
Tipo de Rigidez	$EI(Ton \cdot m)$	233 465.03	243 264.32	
	$EA(Ton)$	1 660 195.77	1 726 218.11	
	$GA(Ton)$	691 748.24	719 257.55	

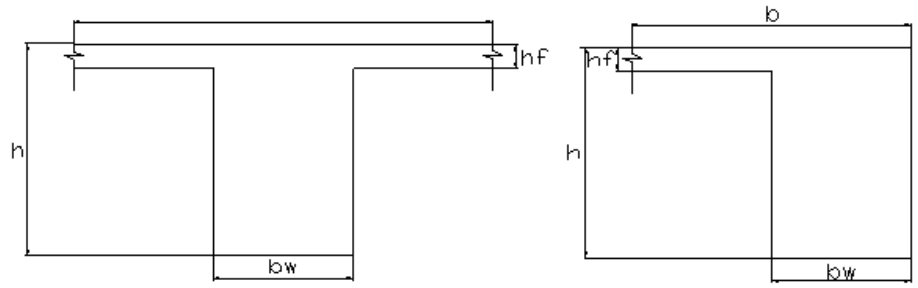


Figura 2.7 Representación esquemática de las variables para el dimensionamiento de trabes con sección tipo "T" y tipo "L" mostradas en las *Tablas 2.3* a *2.10*

Modelación de los Marcos para su Análisis Dinámico.

Para tener en cuenta el efecto que sobre la respuesta dinámica del edificio tiene el considerar valores inciertos en las propiedades mecánicas de los materiales y en las cargas vivas actuantes, se analizan 8 modelos diferentes que se designan por *M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8.* En los ocho modelos (*M1-M8*) se considera que cuentan con valores inciertos en las propiedades mecánicas de los materiales y en las cargas vivas actuantes. A continuación se describe el fundamento de los valores inciertos de tales parámetros.

Parámetros que definen la curva esfuerzo-deformación del acero propuesta por Park y Paulay (modificado).

En el estudio realizado por *Villanueva y Meli (1984)* se concluye que para f_{su}, los valores para el acero de la media y de la desviación estándar son respectivamente de *7600 kg/cm*^{2} y *750 kg/cm*^{2}. Para la deformación en el inicio de la etapa de endurecimiento del acero ε_{sh}, el valor de la media es de *0.01175* y el de su desviación estándar de *0.0024*. Para la deformación última ε_{su} el valor de la media es de *0.1175* y el de su desviación estándar es de *0.0148*. La función de distribución de probabilidades se considera del tipo normal para todos los valores de la curva.

Tabla 2. 11 Valores inciertos correspondientes a $\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$, $\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$, $\boldsymbol{p}$, y $\boldsymbol{f_{su}}$utilizados en el trabajo de investigación para los modelos *M1 a M8.*

MARCO	$\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$	$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$	$\boldsymbol{p}$	$\boldsymbol{f_{su}}$
M1	0.0042	0.0925	2.880	7 083
M2	0.0055	0.0991	3.057	7 193
M3	0.0065	0.1047	3.149	7 286
M4	0.0080	0.1131	3.268	7 424
M5	0.0087	0.1164	3.341	7 478
M6	0.0100	0.1236	3.513	7 599
M7	0.0105	0.1268	3.700	7 652
M8	0.0115	0.1319	3.800	7 736

Continuando con el procedimiento para la obtención de valores aleatorios dada una $\boldsymbol{fdp}$, un valor de la media y un valor de la desviación estándar, se obtienen valores de $\boldsymbol{f_y}$ para cada uno de los ocho modelos de edificio con los valores inciertos de $\boldsymbol{f_{su}}$, $\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$,$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$, empleados para el análisis estructural del edificio. Los resultados los podemos ver en la *Tabla 2.3*.

Las gráficas correspondientes a las funciones de distribución de probabilidad generadas al tomar los valores de medias y desviaciones estándar correspondientes a los valores generados para el acero de refuerzo que al sustituirlas en la expresión que define la función de distribución normal o Gaussiana detallada en la *Ecuación 2.15*, así como los rectángulos obtenidos, se muestra en las *Figuras 2.8, 2.9* y *2.10*.

Para la *Tabla 2.11* se utiliza la nomenclatura anteriormente definida *(M1-M8)* para mostrar los valores inciertos de las propiedades mecánicas en los materiales y de las cargas vivas actuantes para realizar el análisis del edificio.

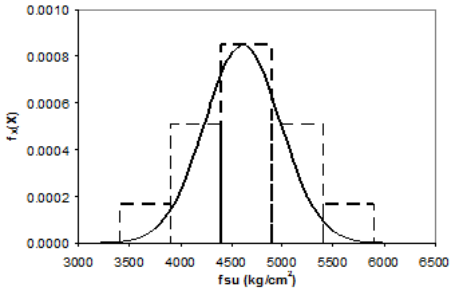


Figura 2.8 Histograma para el último del acero.

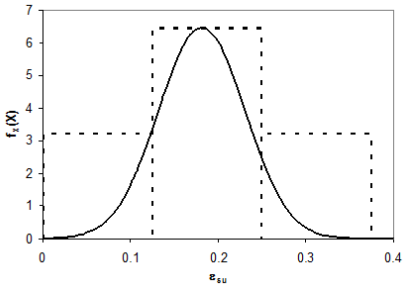


Figura 2.9 Histograma para la deformación correspondiente endurecimiento por deformación del acero.

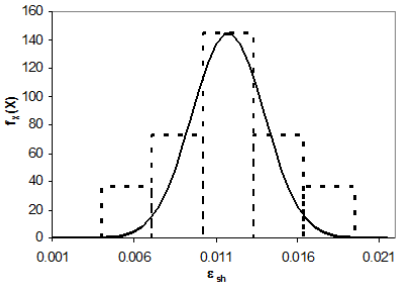


Figura 2.10 Histograma para la deformaciónúltima del acero de refuerzo.

Propiedades Mecánicas de los Materiales

A continuación se presentan las propiedades mecánicas del concreto y del acero de refuerzo, que son los materiales especificados por el diseñador para la construcción de los marcos de la estructura del edificio, así como los modelos del comportamiento mecánico de estos materiales que se utilizan con el objeto de definir las relaciones carga-deformación de cada uno de los materiales. Estos datos son de interés para el modelado de la estructura en el programa *DRAIN 2D modificado*.

Tabla 2. 12 Valores de las propiedades mecánicas del concreto.

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	
Peso volumétrico	2 400 kg/m^3
Resistencia a la compresión	250 kg/cm^2
Módulo de elasticidad (clase 1) $\boldsymbol{E_c = 14\,000 \times \sqrt{f'_c}}$	221 359.44 kg/cm^2

Para el modelado del edificio y su posterior análisis sísmico por el método paso a paso es necesario determinar las relaciones momento-rotación de los elementos de concreto reforzado. Es por ello que se establecen diagramas de comportamiento esfuerzo-deformación para los materiales. Algunos estudios experimentales han demostrado que el confinamiento provisto por el acero lateral aumenta la resistencia y ductilidad de la zona de concreto confinada. Para tener en cuenta este hecho, se emplea el modelo que para el concreto confinado proponen *Kent y Park (1982*), el cual supone que el corazón de concreto confinado está cubierto por estribos transversales. La gráfica esfuerzo deformación correspondiente a este modelo se muestra en la *Figura 2.11*.

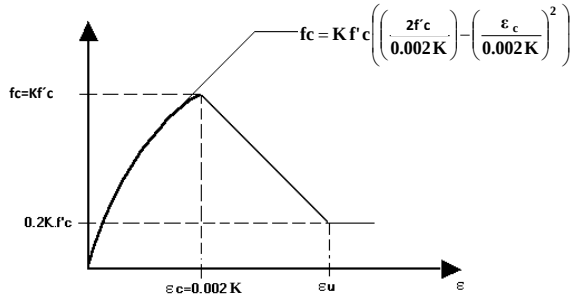


Figura 2. 11 Modelo para concreto confinado *Kent y Park (1982).*

El modelo de *Kent y Park (1982)* representado en la gráfica consiste en dos segmentos: un segmento parabólico ascendente y un segmento lineal descendente, como se puede observar en la *Figura 2.11*. El esfuerzo del concreto *K f'c*, se obtiene cuando el valor de la deformación corresponde a $\mathbf{0.002}\boldsymbol{K}$, donde $\boldsymbol{K}$ se obtiene de:

$$\boldsymbol{K} = \frac{\mathbf{1}+\boldsymbol{\rho_s f_{yh}}}{\boldsymbol{f_c'}} \qquad (2.5)$$

Donde:

f_{yh}= es el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo confinante.

ρ_s= es la relación volumétrica entre el acero lateral y el volumen de concreto confinado.

f'_c= es la resistencia a la compresión del concreto no confinado.

Con este valor de K se verifica la relación esfuerzo deformación, la cual es:

Para $\epsilon_c \leq 0.002K$, cuyo valor corresponde al segmento parabólico ascendente:

$$f_c = Kf'_c\left(\left(\frac{2\varepsilon_c}{0.002K}\right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.002K}\right)^2\right) \quad (2.6)$$

Para $\varepsilon_c \geq 0.002K$, cuyo valor corresponde al segmento lineal descendente:

$$f_c = Kf'_c\left(1 - Z_m(\varepsilon_c - 0.002K)\right) \geq 0.2Kf'_c \quad (2.7)$$

Donde:

f_c= es el esfuerzo a la compresión en el concreto.

ε_c= es la deformación en el concreto sujeto a compresión, y donde:

$$Z_m = \left(\frac{0.5}{\left(\frac{3+0.0284f'_c}{14.211f'_c-1000}\right)+\left(\frac{3}{4}\rho_s\sqrt{\frac{h'}{sh}}\right)-0.002K}\right) \quad (2.8)$$

Donde:

sh= es la separación de centro a centro de los estribos.

h'= es el peralte efectivo confinado.

Z_m = define la pendiente del segmento lineal descendiente. Esta pendiente se especifica por la deformación presente cuando el esfuerzo ha caído.

Acero de Refuerzo

Tabla 2. 13 Valores de las propiedades mecánicas de los aceros de refuerzo longitudinal y transversal.

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO	
Esfuerzo de fluencia del acero f_y	4 200 kg/cm^2
Módulo de elasticidad del acero E	2 100 000 kg/cm^2

Para obtener la capacidad resistente y la capacidad de deformación de la estructura de concreto reforzado mediante el análisis estructural, una herramienta de gran utilidad lo es la curva *esfuerzo–deformación* para el acero de refuerzo. En este sentido, para representar el comportamiento esfuerzo-deformación del acero, se utiliza el modelo de *Mander (1984)*modificado para concreto confinado. Este modelo puede ser observado en la *Figura 2.13*.

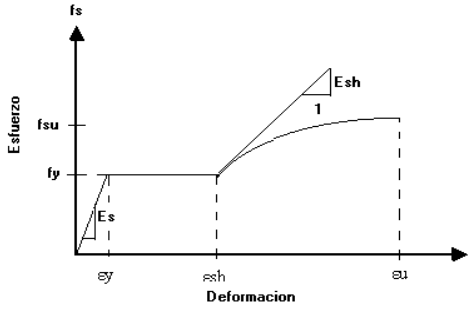


Figura 2. 12 Curva *esfuerzo-deformación* para el acero según el modelo de *Mander (1984).*

Las funciones que definen las diferentes zonas de la curva *esfuerzo-deformación* para el acero de refuerzo son las siguientes:

Zona elástica

Esta zona de la curva, donde ocurre el comportamiento elástico del acero, está comprendida dentro del intervalo $\mathbf{0} \leq \boldsymbol{\varepsilon_s} \leq \boldsymbol{\varepsilon_y}$ donde $\boldsymbol{\varepsilon_s}$ es la deformación unitaria de la barra de refuerzo. Si el módulo de elasticidad del acero es $\boldsymbol{E_s}$, el esfuerzo en este intervalo de deformaciones puede ser evaluado utilizando la *Ecuación 2.6* de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{f_s = E_s \varepsilon_s} \tag{2.9}$$

Zona de fluencia

Ocurre en el intervalo $\boldsymbol{\varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}}$ en el que $\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$ es la deformación del acero correspondiente al inicio de la zona de endurecimiento por deformación. El esfuerzo en esta zona es calculado como sigue:

$$\boldsymbol{f_s = f_y} \tag{2.10}$$

Zona de endurecimiento por deformación

Ocurre en el intervalo $\boldsymbol{\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}}$ donde $\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$es la deformación asociada a la resistencia máxima del acero.

La zona de endurecimiento por deformación está definida como:

$$\boldsymbol{f_s = f_{su} + (f_y - f_{su})\left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}}\right)^P} \tag{2.11}$$

Donde P es obtenida a partir de:

$$\boldsymbol{P} = \left(\frac{log\left(\frac{f_{su}-f_{sh1}}{f_{su}-f_y}\right)}{log\left(\frac{\varepsilon_{su}-\varepsilon_{sh1}}{\varepsilon_{su}-\varepsilon_{sh}}\right)} \right) \tag{2.12}$$

Donde:

$\boldsymbol{f_{sh1}}$ y $\boldsymbol{\varepsilon_{sh1}}$ son las coordenadas de un punto experimental de la zona de endurecimiento por deformación; por ejemplo pueden ser empleados los valores de $\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$ y $\boldsymbol{f_{sh}}$. La nomenclatura de los parámetros nos indica.

$\boldsymbol{f_{su}}$, esfuerzo último

$\boldsymbol{f_y}$, esfuerzo de fluencia

$\boldsymbol{\varepsilon_y}$, deformación unitaria de fluencia

$\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$, deformación unitaria donde se inicia la zona de endurecimiento

$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$, deformación unitaria última

Tabla 2.14 Valores de los parámetros para el acero de refuerzo.

$\boldsymbol{f_{su}}$	7 200 kg/cm^2
$\boldsymbol{f_y}$	4 200 kg / cm^2
$\boldsymbol{\varepsilon_y}$	0.002
$\boldsymbol{\varepsilon_{sh}}$	0.010
$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$	0.13

Valores nominales de cargas gravitacionales.

Cargas muertas

Las cargas muertas se calculan de acuerdo con los pesos volumétricos de los materiales, con las secciones de los elementos y con sus alturas. Se estima una carga muerta de $472\,\mathrm{kg/m^2}$ actuando en entrepisos y de $512\,\mathrm{kg/m^2}$ en azotea. Esta carga muerta considera el peso de la losa y de todos los elementos que gravitan sobre ella e incluye el peso propio de columnas, trabes principales y trabes secundarias.

Cargas vivas

Las cargas vivas máximas instantáneas se consideran de acuerdo con las *NTCS (2004)*. Habiendo definido que el uso que tendrá el edificio es para oficinas, resulta un valor para cargas vivas instantáneas, para un análisis sísmico de la siguiente manera:

$W_{v_{ins}}$entrepiso = $180\,kg/cm^2$

$W_{v_{ins}}$para azotea = $70\,kg/cm^2$

Las cargas anteriores se transmiten a los elementos de los marcos del sistema estructural según el área tributaria de la losa, de las trabes que integran dicho marco a las columnas, donde las cargas se suponen uniformemente repartidas a lo largo de toda su longitud. Dichas cargas se utilizan para llevar a cabo el análisis dinámico con el programa *DRAIN 2D, Powell (1973)* modificado por *Campos y Esteva (1997).*

Los valores resultantes se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 2.**15*** Valores nominales de las cargas gravitacionales actuantes en el edificio.

CARGAS GRAVITACIONALES		
CARGAS	Nominales	
	Entrepiso	Azotea
$\boldsymbol{W_m(kg/m^2)}$	472	512
$\boldsymbol{W_{v_{ins}}(kg/m^2)}$	180	70

Valores inciertos y medios de propiedades mecánicas de los materiales y de cargas vivas actuantes en el edificio

Enseguida se dará tratamiento a las incertidumbres relacionadas con las propiedades geométricas y con las propiedades mecánicas de los elementos estructurales, adicionalmente con las incertidumbres relacionadas con las cargas gravitacionales que actúan sobre el sistema estructural, y modelando su comportamiento.

Para representar a la realidad mediante un modelo, puede hacerse utilizando técnicas alternativas de la misma naturaleza probabilista como lo es la simulación estadística usando el método de *Monte Carlo. Fishman (1996).* El método de simulación de *Monte Carlo* consiste en reproducir un experimento un gran número de veces obteniendo igual número de resultados, para posteriormente determinar las propiedades estadísticas de estos últimos. En este trabajo se simulan ocho modelos de un edificio real sometidos a sismos escalados con distintos periodos de retorno, con incertidumbres en los valores de las propiedades mecánicas de los materiales, en las cargas vivas actuantes y en la geometría de las secciones de los elementos trabe-columna de los marcos de concreto, con el objeto de obtener posteriormente la respuesta sísmica promedio del edificio. Utilizando el método de simulación de *Monte Carlo* se tiene que a medida que el número de experimentos crece, el promedio de los resultados obtenidos se acercan al valor exacto.

Incertidumbres y valor medio de cargas vivas actuantes en el edificio

Meli (1976) considera que la carga viva actuante posee una función de distribución de probabilidad tipo Gamma, con un valor esperado igual a:

$$\overline{W}_v = \frac{W_v}{1+2C_{V_v}} \tag{2.13}$$

Donde:

$\overline{W}_v$= valor medio de la carga viva máxima instantánea.

W_v= valor nominal de la carga viva máxima instantánea.

C_{V_v}= coeficiente de variación de la carga viva máxima instantánea.

El valor del coeficiente de variación de la carga viva actuante, varía de acuerdo con el área tributaria. Basados en ese estudio *Meli (1976),* se propone en este trabajo un valor del coeficiente de variación de la carga viva máxima de 0.3.

La función de distribución de probabilidad Gamma está dada por:

$$f_{X_k}(x) = \frac{\lambda(\lambda_X)^{k-1}e^{-\lambda x}}{(k-1)!} \tag{2.14}$$

En donde $k = \lambda m_X$, $\lambda = m_X/\sigma_X^2$, y donde m_X y σ_X^2 son la media y desviación estándar, respectivamente.

El procedimiento mediante el cual es posible obtener los valores de $W_{v_{ins}}$ inciertos o aleatorios por medio de la generación de algunos valores que se ajustan a la distribución Gamma con un valor medio de $75\,kg/cm^2$y desviación estándar $22.5\,kg/cm^2$se describe a continuación.

El procedimiento para la obtención de los valores aleatorios de una función de distribución probabilística dada su media y desviación estándar y dada la función de distribución es como sigue:

1. Con los valores de la media $\boldsymbol{m_x}$, y de la desviación estándar $\boldsymbol{\sigma_x}$ y utilizando la *Ecuación 2.14* es posible trazar la función de probabilidad continua correspondiente a la función de distribución de probabilidad (*fdp*) Gamma.

2. De la *fdp* se toman valores aleatorios en un número tal que abarque las regiones de toda la *fdp* de manera suficiente.

3. De entre todos los valores de la muestra solo se tomarán en consideración ocho valores, una para cada marco con incertidumbres, tratando de que cada uno de estos valores abarque una región de la *fdp*. Es necesario dividir la muestra en intervalos con un ancho tal que la frecuencia de datos que contenga cada intervalo se ajuste a la *fdp*.

Para lo anterior se procede como sigue:

4. Entre el número total de datos aleatorios de la muestra se ordenan y se seleccionan el de mayor y el de menor valor y se realiza una diferencia entre ellos para definir el rango de valores. El valor del rango de dicha diferencia servirá como base para elegir un número de intervalos entre los cuales se dividirá la muestra.

5. Para elegir el número de intervalos entre los cuales se habrá de dividir la muestra, se toma el valor de la diferencia obtenida previamente y se divide entre un número impar de tal manera que un intervalo contenga al valor medio de la muestra y tenga a la derecha e izquierda igual número de intervalos lo cual redunda en que formemos una distribución simétrica de intervalos. El valor de dicha división será la base de un rectángulo que se graficará posteriormente.

6. Para cada intervalo medimos la frecuencia de datos que concurren dentro de dicho valor de frecuencia y será la altura del rectángulo.

7. Se grafican todos los rectángulos observando qué forma de la función distribución de probabilidad asociada describen.

8. Se toma un valor o los necesarios (según el número de intervalos obtenido) para tener en los ocho modelos con incertidumbre valores de todos los intervalos de la *fdp*.

9. Finalmente se grafica la *fdp* continua obtenida con la *Ecuación. 2.14* y se compara con la distribución de rectángulos para verificar la coincidencia entre ambas distribuciones.

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente se obtienen los valores de la carga viva máxima instantánea para cada uno de los ocho modelos de los edificios utilizando los valores inciertos de carga viva máxima instantánea empleados para el análisis estructural del sistema. La gráfica correspondiente a la función de distribución de probabilidad Gamma así como los rectángulos obtenidos se muestra en la *Figura 2.13*.

En la *Tabla 2.16* se muestran estos valores obtenidos con características inciertas y adicionalmente se muestran también los valores nominales y los valores medios invocados desde el *RCDF (2004)* y desde lo publicado por *Meli (1976)*, respectivamente. En esta tabla se utiliza la nomenclatura definida anteriormente para indicar los modelos empleados en el análisis de confiabilidad del edificio (*M1- M8*) para los modelos con valores inciertos en propiedades mecánicas de los materiales y cargas vivas actuantes.

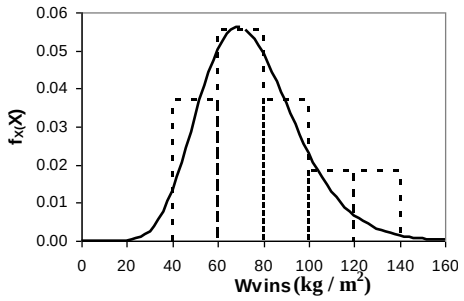


Figura 2.13 Histograma de la carga viva máxima instantánea.

Tabla 2.16 Valores inciertos correspondientes a la carga viva máxima instantánea utilizados en el estudio para los modelos *M1* a *M8.*

VALORES INCIERTOS CARGA VIVA MÁXIMA INSTANTÁNEA $W_{v_{ins}}$								
Marco	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
$W_{v_{ins}}(kg/cm^2)$	78	134	40	89	57	99	104	180

Incertidumbres y valor medio de las propiedades mecánicas de los materiales

Resistencia a compresión del concreto

La variación en la resistencia del concreto se debe, entre muchos factores, a la variación de las propiedades de los materiales pétreos y aglutinantes que lo componen, en el entendido que son materiales extraídos directamente de la naturaleza con algunos procesos industriales para su transformación y para su clasificación; a la variación en su proporcionamiento; a la variación en el mezclado de los materiales que integran el concreto, en la transportación, en el proceso de colado y en el sistema de curado seleccionado.

Meli y Mendoza (1991) recomiendan los siguientes parámetros para modelar de manera probabilística el comportamiento de la resistencia a compresión del concreto:

Para *f'c: 250 kg/cm^2* valor medio: *268 kg/cm^2* desviación estándar: *45.6 kg/cm^2*

Además, proponen utilizar una función de distribución de probabilidades del tipo normal o Gaussiana, la cual está definida como:

$$\boldsymbol{f_X(x) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2\right]} \qquad (2.15)$$

En donde:

$\boldsymbol{\sigma_x}$= desviación estándar

$\boldsymbol{m_x}$= mediana

$\boldsymbol{x}$= valor al cual se quiere asociar una probabilidad con distribución normal o Gaussiana

Siguiendo el procedimiento para la obtención de valores aleatorios dada la *fdp* a la que se ajusta el parámetro $\boldsymbol{f'_c}$, los valores de su media y desviación estándar, se obtienen los valores de $\boldsymbol{f'_c}$ para cada uno de los ocho modelos con valores inciertos de $\boldsymbol{f'_c}$ empleados para el análisis estructural del edificio.

La gráfica correspondiente a la función de distribución de probabilidad normal o Gaussiana dada por la *Ecuación 2.12* con media de *268 kg/cm*^{2} y desviación estándar de *45.6 kg/cm*^{2}así como los rectángulos obtenidos se muestra en la *Figura 2.14*.

En la *Tabla 2.17* se muestran estos valores y dados por el diseño y por *Meli y Mendoza (1991)* respectivamente; en esta tabla se utiliza la nomenclatura definida anteriormente para mostrar los modelos empleados en el análisis de confiabilidad del edificio (*M1-M8*) para los modelos con valores inciertos en propiedades mecánicas de los materiales y en cargas vivas actuantes.

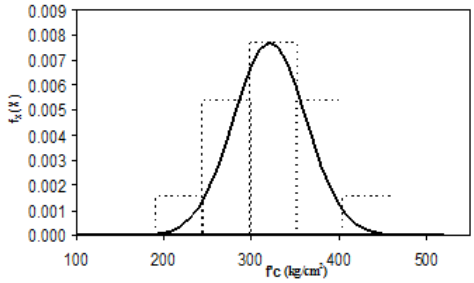


Figura 2.14 Histograma del esfuerzo a compresión del concreto $\boldsymbol{f'_c}$.

Tabla 2.17 Valores inciertos para la resistencia a la compresión del concreto utilizados en el trabajo de investigación para los modelos *M1* a *M8*.

VALORES INCIERTOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO								
Marco	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
$f_c^{'}(kg/cm^2)$	308	246	287	234	250	199	330	304

Esfuerzo de fluencia del acero longitudinal y transversal

La variación en la resistencia del acero de refuerzo también obedece a distintos orígenes como lo son: su composición química, el proceso de su fabricación, las condiciones de enfriamiento al finalizar el proceso de fundición, las variaciones en el área transversal, entre otras. Para la resistencia de barras de acero con un valor nominal de *4200 kg/cm^2*, *Villanueva y Meli (1984)* recomiendan que el valor esperado para el esfuerzo de fluencia, $\boldsymbol{f_y}$ se considere igual a *4 680 kg/cm^2*, con una desviación estándar de *450 kg/cm^2*. Adicionalmente recomiendan que se utilice una distribución de tipo normal para representar su distribución probabilística.

Siguiendo el procedimiento para la obtención de valores aleatorios, dada la *fdp* a la que se ajusta el parámetro f_y, los valores de su media y de su desviación estándar, se obtienen los valores de f_y para cada uno de los ocho modelos con valores inciertos de f_y empleados para el análisis estructural del edificio. La gráfica correspondiente a la función de distribución de probabilidad normal o Gaussiana con media de *4 680 kg/cm^2* y desviación estándar de *450 kg/cm^2* así como los rectángulos obtenidos se muestra en la *Figura 2.15*.

En la *Tabla 2.18*se pueden ver los valores obtenidos por el diseño y por *Meli y Mendoza (1991)* respectivamente, utilizando en esta tabla la nomenclatura definida anteriormente para indicar los modelos empleados en el análisis estructural del edificio (*M1-M8*) para los modelos con valores inciertos en propiedades mecánicas de los materiales y cargas vivas actuantes.

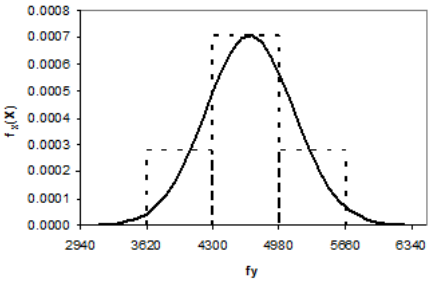


Figura 2.15 Histograma que representa la deformación última del acero de refuerzo.

Tabla 2.18 Valores inciertos para el esfuerzo de fluencia del acero utilizados en el trabajo de investigación para los modelos *M1* a *M8*.

VALORES INCIERTOS ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO								
Marco	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
$f_y(kg/cm^2)$	5 090	4 445	3 970	4 816	4 055	5 553	5 974	4 407

Análisis dinámico de la estructura

Integración de la ecuación de movimiento no lineal

Se cuenta con la posibilidad de seleccionar alguno de entre muchos métodos para llevar a cabo la integración paso a paso de la ecuación de movimiento; por ejemplo, los métodos basados en interpolación de la excitación; los métodos de diferencias centrales y los métodos de la β de Newmark. De entre los métodos de la β deNewmark, los dos casos especiales más utilizados son el método de la aceleración constante y el método de la aceleración lineal. Como sus nombres lo indican, en el primero de estos métodos se supone que la variación de la velocidad durante el intervalo de tiempo Δt es constante, mientras que en el segundo se supone que la variación de la aceleración es lineal. Uno de los métodos más efectivos para resolver la ecuación no lineal de equilibrio dinámico es el método de integración paso a paso, al cual lo podemos seleccionar de entre los varios métodos de solución existentes.

En este método, la respuesta se calcula para distintos incrementos de tiempo Δt, con la misma duración, por conveniencia de cálculo. Al comienzo de cada intervalo se establecen las condiciones de equilibrio dinámico y enseguida se calcula la respuesta para un incremento de tiempo Δt suponiendo que las matrices de coeficientes de rigideces y de amortiguamiento, $K(y)$ y $C(\dot{y})$ respectivamente, permanecen constantes durante Δt. La no-linealidad de estas matrices se considera en el análisis mediante su recálculo al comienzo de cada incremento de tiempo.

Evidentemente la respuesta se obtiene utilizando tanto el vector desplazamiento como el vector velocidad calculados al final del intervalo de tiempo anterior, como condiciones iniciales del intervalo de tiempo siguiente.

Como anteriormente se ha mencionado, en cada intervalo de tiempo la matriz de rigidez $K(y)$ y la matriz de amortiguamiento $C(\dot{y})$ se calculan ambos al inicio de cada paso y se suponen constantes hasta el paso siguiente. De esta manera el comportamiento no lineal del sistema es dado por una secuencia en los sistemas lineales.

<u>Consideraciones e hipótesis utilizadas para el análisis dinámico paso a paso de la estructura</u>

1. Se considera la degradación de la resistencia y de la rigidez de los elementos estructurales.
2. Para la obtención de la capacidad de deformación y de la resistencia de las trabes se considera la contribución de la losa.
3. Se toma en cuenta la capacidad última de rotación de los elementos.
4. No se consideran los efectos $P - \Delta$.
5. No se consideran los efectos bidireccionales de las fuerzas sísmicas, ni sus efectos de torsión.
6. No se considera el efecto de la interacción suelo-estructura.

El edificio y el modelo que se utilizan para llevar a cabo dicho análisis, se pueden observar en la *Figura 2.1*. Considerando como parámetro a la rigidez lateral, el cual es un

factor que afecta en alguna medida la respuesta sísmica que alcanza la estructura cuando está sometida a un sismo, y por consiguiente debe ser utilizado un modelo que tome en consideración las diferencias de las rigideces entre los marcos exteriores y los marcos interiores para así obtener un buen acercamiento a la respuesta dinámica del edificio.

Una forma de representar el edificio es por medio de un modelo tridimensional integrado por elementos esqueleto que tengan las propiedades mecánicas de los elementos que representan. Un modelo más simple del edificio es aquel que representa el edificio por medio de marcos planos, es decir, un modelo bidimensional. Cada marco se supone sujeto a las cargas que le corresponden según su área tributaria y su rigidez lateral; en esta idealización se ignora la interacción entre marcos constitutivos de la estructura real, debida por ejemplo a la rigidez torsional de los elementos que la conectan.

En este trabajo y atendiendo a la necesidad de modelar el edificio en el programa *DRAIN 2D modificado* cuyo alcance es para analizar estructuras bidimensionales, se utiliza un modelo a base de marcos planos que toma en cuenta la interacción entre los marcos de distinta rigidez, es decir, un modelo formado por un marco exterior y uno interior que están unidos por medio de elementos conectores que simulan el efecto de liga que existe entre ambos debido a su unión por medio de trabes. El modelo se muestra en la *Figura 2.17*.

Ecuación del movimiento

Un edificio simple puede definirse como un edificio en el cual no se producen rotaciones en los miembros horizontales a la altura de los pisos. A este respecto, un edificio simple, sometido a excitaciones que producen desplazamientos horizontales, tiene muchas de las características de una viga en voladizo deformada solamente por el esfuerzo de corte. Para conseguir esa deformación en un edificio debemos de considerar las siguientes condiciones:

1. Que toda la masa del edificio está concentrada al nivel de los pisos.
2. Que la rigidez de las vigas es mucho mayor que la de las columnas por lo cual no se permite una rotación de las últimas con relación al entrepiso.
3. Que la deformación de la estructura es independiente de las fuerzas axiales en las columnas.

La primera condición transforma el problema de un sistema con un número infinito de grados de libertad, en uno con tantos grados de libertad como masas concentradas en los pisos se consideren. La segunda establece la condición de que las uniones entre las vigas permanezcan fijas sin rotación. La tercera que las vigas rígidas en los entrepisos permanezcan horizontales durante el movimiento de la estructura.

Consideremos como ejemplo en la *Figura 2.16* el modelo para un sistema con dos grados de libertad. Obviamente se puede considerar un modelo con un número mucho más grande de grados de libertad, sin que las ecuaciones presentadas pierdan validez. En la *Figura 2.16* se muestra también el correspondiente diagrama del cuerpo libre.

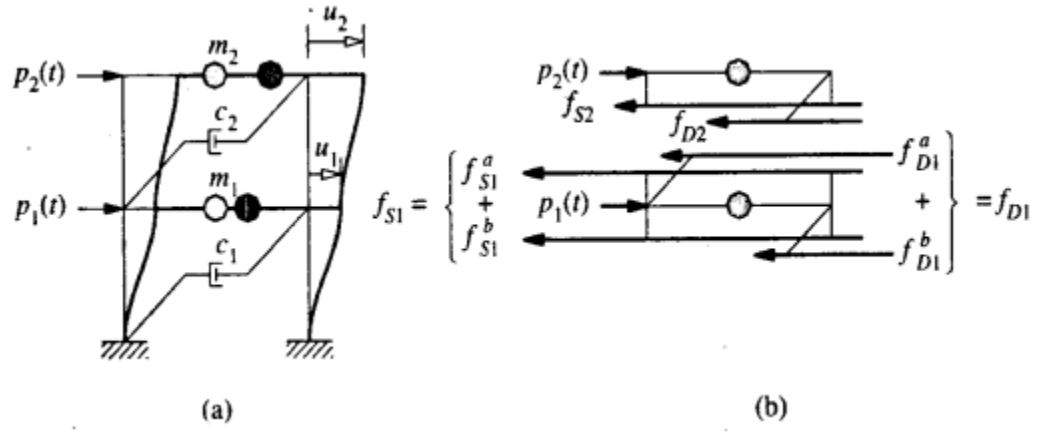


Figura 2.16 Diagrama del cuerpo libre de un edificio de dos niveles sometido a fuerzas concentradas en los entrepisos.

Las fuerzas de inercia f_I *(t)* las fuerzas de rigidez f_S *(t),* las fuerzas de amortiguamiento f_D *(t)* y las fuerzas externas *f(t),* son las fuerzas actuando en cada piso *j*, donde se supone concentrada la masa m_j para un instante de tiempo $t = i$.

El equilibrio dinámico del sistema para un instante i, se obtiene igualando la suma de las fuerzas actuantes en el sistema, las cuales son las fuerzas de inercia $F_{Ij}(t_i)$, las fuerzas de amortiguamiento $F_{Dj}(t_i)$, las fuerzas elásticas o inelásticas en el resorte $F_{kj}(t_i)$ y las fuerzas exteriores $F_j(t)$. Por lo tanto, en el instante t_i el equilibrio de estas fuerzas se expresa como:

$$F_{Ij}(t_i) + F_{kj}(t_i) + F_{Dj}(t_i) = F_j(t) \tag{2.16}$$

La ecuación anterior contiene dos ecuaciones para *j=1* y *j=2*, y estas pueden ser escritas en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1(t_i) \\ y_2(t_i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{D1}(t_i) \\ f_{D2}(t_i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{S1}(t_i) \\ f_{S2}(t_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(t_i) \\ f_2(t_i) \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

Considerando la masa como constante (invariante en el tiempo), la ecuación anterior puede ser escrita en forma simplificada para un instante t_i como:

$$[F_I(t_i)] + [F_D(t_i)] + [F_S(t_i)] = [F(t_i)] \tag{2.18}$$

y después de un pequeño incremento en el tiempo, digamos Δt, tenemos:

$$[F_I(t_1 + \Delta t)] + [F_D(t_1 + \Delta t)] + [F_S(t_1 + \Delta t)] = [F(t_1 + \Delta t)] \tag{2.19}$$

restando el sistema de ecuaciones 2.19 anterior del sistema de ecuaciones 2.18, resulta el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales en función de los incrementos:

$$[\Delta F_I] + [\Delta F_D] + [\Delta F_S] = [\Delta F_i] \tag{2.20}$$

donde las matrices de fuerzas incrementales de este sistemas de ecuaciones se define como sigue:

$$[\Delta F_I] = [F_I(t_i - \Delta T)] - [F_I(t_i)] \tag{2.21}$$

$$[\Delta F_D] = [F_D(t_i + \Delta T)] - [F_D(t_i)] \tag{2.22}$$

$$[\Delta F_S] = [F_S(t_i + \Delta T)] - [F_S(t_i)] \tag{2.23}$$

$$[\Delta F_i] = [F_i(t_i + \Delta T)] - [F_i(t_i)] \tag{2.24}$$

Si suponemos que la fuerza de amortiguamiento es función de la velocidad y que la fuerza en el resorte es función del desplazamiento, mientras que la fuerza de inercia permanece proporcional a la aceleración, podemos entonces expresar las fuerzas incrementales del sistema por las *Ecuaciones 2.22, 2.23* y *2.24* como:

$$[\Delta F_I] = [M] \cdot [\Delta \ddot{y}_i] \tag{2.25}$$

$$[\Delta F_D] = [C] \cdot [\Delta \dot{y}_i] \tag{2.26}$$

$$[\Delta F_S] = [K] \cdot [\Delta y_i] \tag{2.27}$$

donde el desplazamiento incremental Δy, el vector velocidad incremental $\Delta \dot{y}$ y el vector aceleración incremental $\Delta \ddot{y}$, están dados por:

$$[\Delta y_i] = [y(t_i + \Delta t)] - [y(t_i)] \tag{2.28}$$

$$[\Delta \dot{y}_i] = [\dot{y}(t_i + \Delta t)] - [\dot{y}(t_i)] \tag{2.29}$$

$$[\Delta \ddot{y}_i] = [\ddot{y}(t_i + \Delta t)] - [\ddot{y}(t_i)] \tag{2.30}$$

Finalmente, la ecuación incremental de equilibrio dinámico queda como:

$$[M] \cdot [\Delta \ddot{y}_i] + [C] \cdot [\Delta \dot{y}_i] + [K] \cdot [\Delta y_i] = [\Delta F_i] \tag{2.31}$$

Donde la matriz de rigidez $[K]$ es la matriz de rigidez lateral del edificio. Cada uno de los coeficientes que forman esta matriz definidos como K_{IJ} se define como la fuerza en la coordenada *i* cuando la coordenada *j* se desplaza una unidad, mientras que todas las otras coordenadas permanecen fijas.

Excitación Sísmica

Para movimientos sísmicos la ecuación de equilibrio dinámico incremental cambia a:

$$[M]\{\Delta \ddot{y}_a\} + [C_T]\{\Delta \dot{y}_r\} + [k_T]\{\Delta y_r\} = -[M]\{\Delta \ddot{y}_g\} \tag{2.32}$$

en donde $\{\Delta \ddot{y}_a\}$ es el incremento de aceleración absoluta; $\{\Delta \dot{y}_r\}$ y $\{\Delta y_r\}$son los incrementos de velocidad y desplazamiento relativos al terreno, respectivamente.

Modelación de las condiciones de continuidad en uniones y apoyos de la estructura

El modelo analítico debe especificar las condiciones de continuidad entre un elemento y otro y la continuidad de la estructura y los apoyos. La suposición hecha en el modelo analítico es congruente con el tipo de conexión especificada en planos para los elementos en cuestión. Con base en el diseño (realizado por la compañía *Jarque y Asociados*) son considerados como nodos rígidos las uniones viga-columna en el modelo estructural empleado para el análisis dinámico del edificio. Además se consideran a los entrepisos como diafragmas rígidos de tal manera que todos los nodos que se encuentran en el mismo nivel (para cada uno de los dos tipos de marcos empleados), son tomados en consideración con un desplazamiento lateral idéntico. Las condiciones de apoyo de la estructura se consideran como empotramientos perfectos, debido a que así se supuso en el

diseño y debido a que no se contempla, como queda establecido anteriormente, la interacción suelo-estructura por lo que el desplazamiento en los nodos de apoyo es igual a cero.

La metodología descrita arriba es aplicada a una muestra de *8* edificios de *10* niveles resultantes de una simulación Monte Carlo cuyo origen es el edificio diseñado por el despacho de cálculo mencionado anteriormente, para lo cual se tomaron en cuenta las incertidumbres asociadas a la resistencia del concreto *($f_c^{'}$)*, a la fluencia del acero *(f_y)*, a las cargas vivas *($W_{v_{max}}$)* y a los *40* acelerogramas registrados en el Valle de la Cd. de México.

Para la realización del análisis no lineal de la estructura, los edificios simulados se modelan en el programa *DRAIN 2D* utilizando una versión modificada por *Campos y Esteva (1997)*. Como quedó establecido anteriormente, cada edificio contiene dos marcos diferentes: un marco exterior y otro interior. Ambos son conectados por medio de un diafragma rígido. Esta conexión entre marcos, fue tomada en consideración por medio de un modelo estructural bidimensional ligando a los marcos utilizando conectores biarticulados (ver *Figura 2.6*). Los marcos están integrados por columnas y vigas a flexión, y la relación momento-rotación para cada elemento estructural fue calculada asumiendo el modelo que para el concreto confinado fue propuesto originalmente por *Kent and Park (1971)* y modificado por *Park et al (1982)*. La relación esfuerzo-deformación axial para las barras de acero fue representada por medio del modelo de Mander *(Mander, 1984)*. El comportamiento estructural histerético fue asumido como bilineal con una relación de post-fluencia a la rigidez inicial del *3.0%*.

En la *Tabla 2.19*se muestran los valores correspondientes a las incertidumbres asociadas para los ocho modelos de los edificios. En esta tabla se utiliza la nomenclatura *M1-M8* para denotar los modelos con valores inciertos en propiedades mecánicas de los materiales y cargas vivas actuantes. Los valores inciertos de cada parámetro *($f_c^{'}$, f_y y $W_{v_{max}}$)* son obtenidos a partir de simulaciones, (ver *Rangel et al, 2005)*.

En esta idealización se verifica que la masa del modelo y su rigidez lateral correspondientes a un marco exterior y a uno interior, respondan al mismo periodo de vibrar que el edificio en tres dimensiones. En la *Figura 2.17* se muestra el modelo estructural que fue utilizado para los análisis.

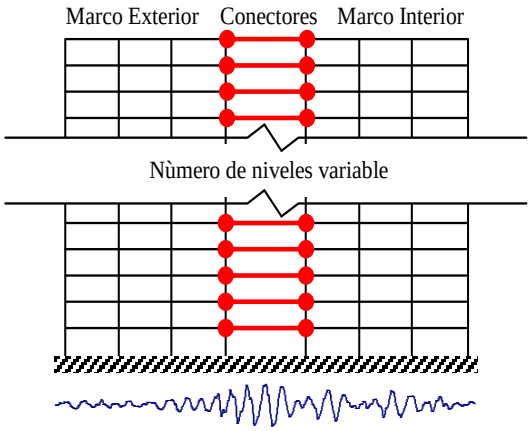


Figura 2. 17 Modelo estructural empleado en los análisis.

Tabla 2. 19 Valores para $f_c^{'}$, f_y y $W_{v_{max}}$ utilizados en el análisis de los marcos.

MARCO	$f_c^{'}$ kg/cm^2	f_y kg/cm^2	$W_{v_{max}}$ kg/m^2
M1	308	5 090	78
M2	246	4 445	134
M3	287	3 970	40
M4	234	4 816	89
M5	250	4 055	57
M6	199	5 553	99
M7	330	5 974	104
M8	304	4 407	67

Modelo de comportamiento histerético de elementos de concreto reforzado

En la práctica, las estructuras se instrumentan con pocos aparatos que miden su respuesta ante sismos fuertes. Durante sismos severos (y en ocasiones aunque no sean tan fuertes), las estructuras pueden presentar cambios importantes en sus propiedades y por lo

tanto exhibir un comportamiento no lineal. Dos aspectos principales se presentan en la práctica: poca información y un comportamiento estructural complejo por modelar.

La construcción de modelos de sistemas reales a partir de observaciones de los mismos requiere de la propuesta de un conjunto de modelos posibles. Las condiciones de la práctica restringen el espectro de posibles modelos que puedan representar en forma adecuada al sistema real. Se trata de representar un comportamiento complejo con un modelo que no necesite mucha información para el ajuste de sus parámetros. Dichos parámetros no deben ser numerosos, para permitir su estimación. Pero, a la vez, el modelo no debe ser tan simple como para dejar fuera de su formulación las principales características del sistema real.

La no linealidad en el comportamiento del material tiene influencia en la redistribución de momentos en la estructura, en la capacidad de deformación y resistencia en los elementos de manera local y en la estructura de manera global. Estos aspectos se tienen en cuenta empleando en el análisis dinámico del edificio un modelo histerético de los elementos de concreto reforzado que considera degradación de resistencia y rigidez en los mismos y que fue desarrollado por *Díaz, Esteva y García (1997).* El modelo se muestra en las *Figuras 2.18, 2.19 y 2.20.*

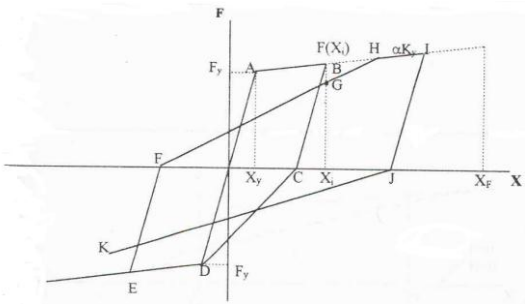


Figura 2. 18 Gráfica de la curva carga *vs* desplazamiento.

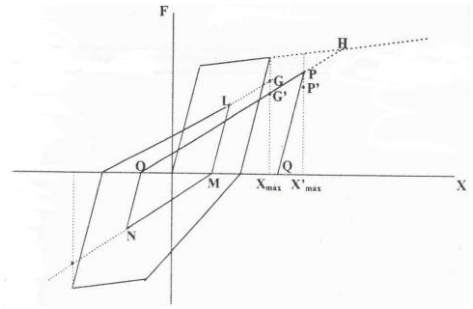


Figura 2.19 Comportamiento no lineal sin alcanzar la fluencia.

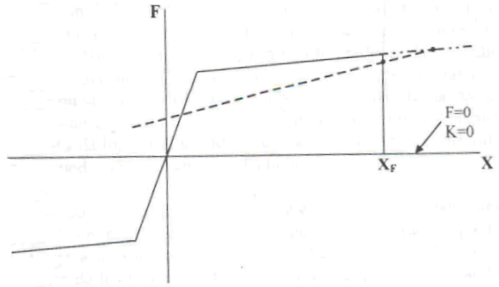


Figura 2. 20 Pérdida total de la rigidez y de la resistencia.

El modelo queda definido por seis parámetros: F_y, K_y, α, X_F, C y n. Los tres primeros parámetros definen la forma de la curva primaria de la relación carga-desplazamiento y los otros tres parámetros definen la extensión relativa del daño. Está considerado que el daño en el elemento estructural depende de los desplazamientos máximos que soporta el elemento en cada ciclo de carga; este efecto está representado por el coeficiente de daño β, el cual está definido como:

$$\beta = C \sum_{i=1}^{N} \frac{X_i}{X_F} \tag{2.33}$$

El cual es diferente para cada dirección en la que se deforma el elemento. $X_i$es el desplazamiento máximo en el i-ésimo ciclo, X_F es el desplazamiento a la falla bajo carga

monotónica y C es una constante cuyo valor es menor que la unidad. En este modelo se supone que la variación del daño como una función de β está dada por la expresión:

$$D = f(\beta) = 1 - e^{-\alpha\beta} \tag{2.34}$$

Donde el valor del coeficiente $\alpha = 0.602$ se obtiene a partir de datos experimentales. La expresión anterior supone que la falla del elemento estructural cuando $D = 1$ no sucede cuando $\beta = 1$, sino que el elemento puede soportar aún más daño el cual se incrementa con la expresión dada por la *Ecuación 2.34*. Esta modificación permite que el daño en el elemento se acumule en forma más lenta y su comportamiento se aproxime al mostrado en las estructuras reales. El efecto del daño en el elemento seleccionado bajo carga cíclica se introduce como una disminución en la habilidad para soportar cargas del elemento a la fluencia. Esta reducción, que realmente es una degradación de la capacidad de resistir cargas del sistema estructural, se define como:

$$F_D(X_i) = F(X_i)(1 - D) \tag{2.35}$$

Donde X_i es el desplazamiento máximo en la estructura en el ciclo i y $F(X_i)$ es la carga correspondiente al desplazamientoX_i en la curva primaria de la relación carga-desplazamiento.

La curva de histéresis para la carga-desplazamiento que representa el comportamiento del elemento, *Figura 2.18,* está definida de la siguiente manera:

1. Una curva primaria bilineal definida por F_Y, X_Y y α. F_Y y X_Y son la carga y el desplazamiento a la fluencia y αK_Y es la rigidez después de la fluencia donde $K_Y = F_Y/X_Y$ es la rigidez inicial.

2. La rigidez a la descarga es igual a K_Y.

3. El punto *G* se determina usando la *Ecuación 2.34*, con *D* calculada con la *Ecuación 2.35*. Este punto representa el nuevo nivel de carga que alcanza el elemento para el nivel de deformación máxima en ese ciclo para la siguiente carga en esa dirección.

4. Cuando el signo de la carga se invierte, la rigidez en ese sentido está dada por la pendiente de la línea que conecta al punto sobre el eje de las deformaciones en que se invierte la carga (*punto C* o *F* de la *Figura 2.18*), al punto del nuevo nivel de carga que alcanza el elemento para el nivel de deformación máxima en la otra dirección (*punto D* o *G*).

5. Cuando el desplazamiento máximo que se tuvo en el ciclo anterior se alcanza en cualquiera de las direcciones y se continúa deformando en esa dirección, la respuesta carga-desplazamiento sigue una trayectoria en la que se supone la misma rigidez que traía, hasta alcanzar la curva primaria (*punto H*).

6. Una vez alcanzada la curva primaria se mueve sobre ella hasta que sucede una nueva descarga (*punto I*).

7. Si en un ciclo cualquiera (*Figura 2.19*) la descarga sucede antes de alcanzar el punto de máxima deformación en ese sentido (*puntoL*), se acumula daño en ese ciclo si se alcanza el punto *M*. Cuando se presente nuevamente recarga en esa dirección, la rama de comportamiento del elemento se dirige hacia el punto de máxima deformación en esa dirección (*líneaOG´*) con una resistencia disminuida por el daño en el ciclo anterior (*puntoG´*).

8. Si la descarga (*punto P*) sucede después de alcanzar el punto de máxima deformación (*punto G´*) y antes de alcanzar la nueva curva primaria (*punto H*), se acumula el daño en ese ciclo si se alcanza el punto *Q* y la deformación en el punto *P* será la nueva deformación máxima en esa dirección (*Figura 2.19*).

9. Solo se toma en cuenta el incremento de daño en una dirección cuando la deformación de descarga en cualquier rama es de cualquier signo que la del sentido en la que se dirigía y se calcula como la diferencia de la deformación de descarga y la deformación de recarga justamente anterior (esta última deformación será cero cuando su signo sea contrario al signo de la deformación de descarga).

10. La rigidez y resistencia del elemento en un sentido se hace nula cuando se alcanza su deformación de falla, ya sea moviéndose por la curva primaria o por cualquier rama de recarga en que se alcance esa deformación antes de llegar a la curva primaria (*Figura 2.20*).

Descripción del programa *DRAIN 2D* modificado por *Campos y Esteva* (*1997*).

El programa está limitado a análisis de estructuras en dos dimensiones, debido a la gran simplificación de análisis que resulta en escala y complejidad, pero los principios básicos son también aplicables a estructuras tridimensionales.

La estructura se idealiza como un ensamble de elementos planos discretos, los cuales pueden formar configuraciones variables. El análisis se realiza por medio del método directo de rigidez, con los desplazamientos nodales como incógnitas. Cada nodo posee tres grados de libertad, como en un análisis común de marco plano. Sin embargo se pueden combinar o borrar grados de libertad, tal que el número total de incógnitas puede ser mucho menor que el número de nodos por tres. Debido a que algún grado de libertad puede especificarse como completamente restringido (tener desplazamiento cero con respecto al terreno por ejemplo “empotrado”).

Por otro lado, los desplazamientos rotacionales o traslacionales de un grupo de nodos pueden ser señalados para tener un mismo valor de desplazamiento. La masa de la estructura se define como concentrada en los nodos y como consecuencia la matriz de masa es diagonal.

La excitación sísmica se define por medio de acelerogramas que pueden ser diferentes en la dirección horizontal y vertical.

Todos los puntos de soporte se supone que se mueven en fase (diafragmas rígidos). Las cargas estáticas pueden aplicarse con anterioridad a las cargas dinámicas, pero no se permite la fluencia de los elementos bajo cargas estáticas.

Los elementos estructurales pueden ser de tipo virtual, se pueden incluir nuevos elementos si se desea. Es decir, que las subrutinas de las que el programa está compuesto pueden ser enriquecidas con otras, haciendo el programa muy versátil.

Los tipos de elementos base que maneja el programa son:

1. Armaduras que pueden fluir en tensión y/o pandearse elásticamente y fluir inelásticamente en compresión.
2. Elementos viga-columna, que pueden ser de sección variable y que fluyen debido a la formación de articulaciones plásticas en los extremos de dichos elementos. La interacción entre fuerzas axiales y momentos se puede tener en cuenta para secciones de acero o concreto reforzado. Los valores de fuerzas y momentos pueden especificarse. Los efectos P-Δ se pueden tener en cuenta incluyendo una rigidez geométrica basada en las fuerzas axiales bajo cargas estáticas.

3. Conexiones semi-rígidas, con relaciones momento-rotación bilineal.

La respuesta dinámica se determina por integración paso a paso, con la suposición de aceleración constante dentro de un paso.

En este caso el modelo de degradación de rigidez y resistencia es el de *Díaz, Esteva y García (1997),* y se acepta un comportamiento lineal de la estructura durante el paso de tiempo.

Las correcciones derivadas de estas suposiciones se llevan a cabo internamente mediante la adición de una carga virtual que actúa durante un corto tiempo en el siguiente paso para satisfacer la condición de equilibrio dinámico.

Método β de Newmark

El método que emplea el programa *DRAIN 2D modificado* para encontrar la solución de la ecuación de movimiento para excitaciones sísmicas es la integración numérica mediante un análisis paso a paso.

El análisis paso a paso se lleva a cabo utilizando el método β de Newmark que por simplicidad se presenta a continuación para un sistema con un grado de libertad y que puede extenderse a sistemas con múltiples grados de libertad.

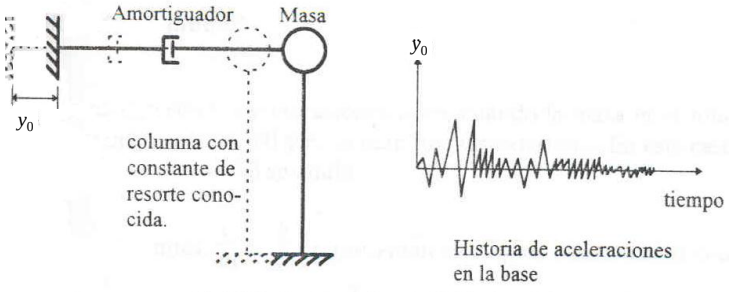


*Figura 2.21*Modelo de un sistema de un grado de libertad.

Para un sistema con un grado de libertad, como el de la *Figura 2.21*, cuyo comportamiento es no lineal, las fuerzas de amortiguamiento y de rigidez ya no son proporcionales a la velocidad y al desplazamiento relativo $(\dot{y},$ y $y)$; en general f_a y f_r serán funciones temporales (funciones del amortiguamiento y rigidez respectivamente), por lo que la condición de equilibrio dinámico está expresada como:

$$m\ddot{y} + f_a(t) + f_r(t) = -m\ddot{y}_g \qquad (2.36)$$

Sin embargo para el diseño de edificios es frecuente considerar en los cálculos solamente la no linealidad en las fuerzas de rigidez y aceptar que el amortiguamiento es viscoso. Así, la ecuación anterior queda como sigue:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + f_r(t) = -m\ddot{y}_g \tag{2.37}$$

Además es común que las fuerzas f_r sean expresadas como funciones no lineales del desplazamiento y se pueda escribir $f_r(t)$ como $f_r(y)$. Para resolver la *Ecuación 2.38*, Newmark propuso el siguiente procedimiento:

1. Sean y_i, $\dot{y}_i$ y $\ddot{y}_i$los valores del desplazamiento, la velocidad y de la aceleración del terreno en el instantet_i. El subíndice $i + 1$denota las cantidades correspondientes al tiempo$t_i + 1 = t_i + \Delta t$. Supóngase el valor dey_{i+1}.
2. Calcúlese $\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + (\ddot{y}_i + \ddot{y}_{i+1})\,\Delta_t/2$
3. Calcúlese $y_{i+1} = y_i + \dot{y}_i\Delta t + (1/2 -)\,\ddot{y}_i(\Delta_t)^2 + \ddot{y}_{i+1}(\Delta_t)^2$
4. Calcúlese un nuevo valor de $\ddot{y}_{i+1}$ con la *Ecuación 2.38*.
5. Compárese el valor obtenido en el paso 4 con el supuesto. Si se les considera suficientemente parecidos, se procede a efectuar los cálculos para el siguiente incremento de tiempo; en caso contrario, se repiten los pasos 2 a 5 con el valor de $\ddot{y}_{i+1}$ calculado en 5.

El valor de β se asocia a la forma en que se supone que varía la aceleración en el intervalo Δt. Si $\beta = 1/6$ dicha variación es lineal entre $\ddot{y}_i$ y $\ddot{y}_{i+1}$; si $\beta = 1/4$, la aceleración es constante, igual a $(\ddot{y}_i + \ddot{y}_{i+1})/2$. Por otra parte, el método queda establecido incondicionalmente estable cuando β es menor o igual que $1/4$.

En el programa se toma $\beta = 1/4$, es decir se considera que la aceleración es constante dentro de cada paso de integración por lo que el método es estable para sistemas de cualquier período de vibración en cualquier paso de integración. Al tomar este valor se tiene la ventaja de que no se introduce ningún amortiguamiento espurio dentro del sistema.

El proceso iterativo se elimina al sustituir los valores de $\dot{y}_{i+1}$ y y_{i+1}, dados en los pasos 2 y 3, en la *Ecuación 2.35*; y despejar el valor de $\ddot{y}_{i+1}$.

Dado que pueden presentarse cambios en el estado de la estructura durante un paso de integración, el nuevo estado al final de cualquiera de ellos, obtenido al resolver la *Ecuación 2.38* puede ser que no satisfaga exactamente el equilibrio; para arreglar esto, el procedimiento utilizado en el programa consiste en resolver la Ecuación mencionada, después determinar cualquiera de los errores que puedan ser introducidos y compensar estos errores aplicando cargas coercitivas durante el paso siguiente.

Resumiendo el procedimiento de análisis del programa *DRAIN 2D modificado* para cualquier incremento de tiempo dado se hace lo que se describe a continuación:

1. Se obtiene la matriz de rigidez instantánea de los elementos.
2. Se forma matriz de rigidez instantánea global de la estructura.
3. Se plantea la ecuación de movimiento de acuerdo con las condiciones de equilibrio de las fuerzas inerciales, disipativas, restitutivas y externas.
4. Se obtienen los incrementos de los desplazamientos de cada nodo, los cuales se transforman en incrementos en los extremos de los miembros. El incremento de fuerzas en los miembros se calcula utilizando la matriz de rigidez instantánea y los incrementos anteriores más el calculado en el intervalo en cuestión.
5. Si es necesario, calcular las cargas correctivas aplicables en el paso siguiente.

III. MOVIMIENTOS SÍSMICOS SELECCIONADOS

El desarrollo de la sismología ha permitido conocer cada vez con mayor profundidad el comportamiento de un sismo desde su origen, propagación de onda, las leyes de atenuación o de amplificación del mismo. Este avance trajo un desarrollo a la par, la Ingeniería Sísmica, la cual estudia las fuerzas que actúan sobre las edificaciones durante el desarrollo de un sismo. Es por ello que la captura de los datos generados por la actividad sísmica, es de gran importancia para analizar las estructuras potencialmente afectadas por un movimiento de terreno de cierta magnitud. La calidad de los resultados de un análisis depende en gran medida de las características y de la calidad de la señal sísmica usada en el mismo. Con la finalidad de tomar en cuenta la variabilidad de la señal sísmica, el análisis sísmico confiable de estructuras necesita considerar un conjunto adecuado de acelerogramas.

Para realizar el análisis de nuestra estructura y evaluar su confiabilidad es necesario seleccionar un conjunto de acelerogramas de movimientos sísmicos con las características de los que se espera sucedan en el sitio, así como una descripción detallada del sistema estructural en estudio (*Capítulo II*).

Selección de los Movimientos Sísmicos Utilizados

Para este estudio se seleccionaron 40 registros sísmicos, los cuales corresponden a eventos generados en la zona de subducción de la República Mexicana, cuya localización de epicentros se muestra en la *Figura 3.1*. Estos eventos seleccionados, presentaron magnitudes mayores que 6.0. Los movimientos fueron registrados en diferentes las estaciones (*Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Deportivo Tláhuac (TD), Alameda (Al), Garibaldi (Gar), Sector Popular (SP), Tlatelolco (Tl), Liconsa (Li), Plutarco Elías Calles (PEC) Cibeles (Ci), CU Juárez (CUJ), Centro Urbano Presidente Juárez (CuJ), Córdoba (Cb), Liberpool (Lb), Valle Gómez (VG), García Campillo (GC), Estación No. 10 Roma A (E10), Estación No. 11 Roma B (E11))* localizadas en la *zona IIIb* del valle de México, según zonificación sísmica de las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCS, 2004) del RCDF*.



Figura 3.1. Localización de los epicentros de los sismos considerados en este estudio.

Los eventos sísmicos de subducción son los que históricamente han provocado los daños más severos en estructuras ubicadas en el valle de México. Son los sismos de mayor intensidad registrados en la Ciudad de México, particularmente porque el tipo de ondas que llegan son caracterizadas por contar con periodos largos que sufren menos atenuación y experimentan una gran amplificación al atravesar las arcillas del lago (*Reinoso, 1996*). Por esta razón, son los más estudiados en México, que por su frecuencia y magnitud podrían superar el efecto destructivo a lo ocurrido a causa del sismo del 19 de septiembre de 1985 (*Jaimes, 2007*).

Los movimientos sísmicos de mayor intensidad registrados en la *zona IIIb* son en general movimientos de banda angosta o estrecha; es decir, su contenido de frecuencias se centra en un intervalo de frecuencias reducido; mientras que los movimientos sísmicos de menor intensidad registrados en esta misma zona presentan características de movimientos con un ancho de banda mayor.

En las *Tablas 3.1* y *3.2* se muestran las características principales de los movimientos sísmicos de subducción seleccionados para el presente estudio. En esta se presenta: la numeración secuencial del registro, el nombre que se le dio en los gráficos de resultados, la clave de la estación donde se registraron los datos del acelerograma, la institución encargada, las coordenadas donde se localiza la estación, el nombre de la

estación, así como la fecha de ocurrencia y la magnitud del sismo. En un principio se tenían contemplados 31 sismos correspondientes a la *Tabla 3.1*, pero se consideró adecuado completar a 40 registros correspondientes a la *Tabla 3.2*.

Tabla 3. 1 Características de los registros sísmicos seleccionados, Muestra 1.

No. Reg.	Nomen-clatura en gráficos	Clave de Estación	Institución Encargada	Coordenadas de la Estación		Nombre de la Estación	Fecha del Evento	Magnitud
				Latitud N	Longitud W			
1	R1	SCT1	iiunam	19.292	99.147	SCT	85-09-19	8.1
2	R4	TLHD	iiunam	19.293	99.035	TD	85-09-21	7.6
3	R22	ALO1	Fica	19.436	99.145	Al	89-04-25	6.9
4	R23	GA62	Cires	19.439	99.14	Gar	89-04-25	6.9
5	R24	SCT2	iiunam	19.393	99.147	SCT	89-04-25	6.9
6	R25	SP51	Cires	19.366	99.119	SP	89-04-25	6.9
7	R26	TL08	Cires	19.45	99.134	Tl	89-04-25	6.9
8	R27	TL55	Cires	19.436	99.143	Tl	89-04-25	6.9
9	R13	AL01	Fica	19.436	99.145	Al	95-09-14	7.3
10	R14	GA62	Cires	19.439	99.14	Gar	95-09-14	7.3
11	R15	LI33	Cires	19.306	98.963	Li	95-09-14	7.3
12	R16	PE10	Cires	19.39	99.132	PEC	95-09-14	7.3
13	R17	SP51	Cires	19.366	99.119	SP	95-09-14	7.3
14	R18	TL08	Cires	19.45	99.134	Tl	95-09-14	7.3
15	R19	TL55	Cires	19.436	99.143	Tl	95-09-14	7.3
16	R5	CI05	Fica	19.419	99.165	Ci	95-10-09	7.5
17	R6	CJ03	Fica	19.41	99.157	CUJ	95-10-09	7.5
18	R7	CJ04	iiunam	19.41	99.157	CuJ	95-10-09	7.5
19	R8	CO56	Cires	19.422	99.159	Cb	95-10-09	7.5
20	R9	LI58	Cires	19.426	99.157	Li	95-10-09	7.5
21	R10	PE10	Cires	19.39	99.132	PEC	95-10-09	7.5
22	R11	SP51	Cires	19.366	99.119	SP	95-10-09	7.5
23	R12	VGO9	Cires	19.454	99.123	VG	95-10-09	7.5
24	R28	CJ03	Fica	19.41	99.157	CUJ	97-01-11	6.9
25	R29	CJ04	iiunam	19.41	99.157	CuJ	97-01-11	6.9
26	R30	GC38	Cires	19.316	99.106	GC	97-01-11	6.9
27	R31	PE10	Cires	19.39	99.132	PEC	97-01-11	6.9
28	R32	RMAS	Cenapred	19.42	99.155	E10	97-01-11	6.9
29	R33	RMBS	Cenapred	19.42	99.154	E11	97-01-11	6.9
30	R34	TL08	Cires	19.45	99.134	Tl	97-01-11	6.9
31	R35	TL55	Cires	19.436	99.143	Tl	97-01-11	6.9

Tabla 3. 2 Características de los registros sísmicos utilizados, complemento Muestra 2.

Registro	Nomenclatura en Gráficos	Fecha y Componente	Magnitud *M*	Distancia Epicentral (km)	Periodo Dominante *Ts (s)*	Coordenada Epicentral	
						Latitud *N*	Longitud *W*
32	R3	19-sep-85 EW	8.1	441.69	2.03	18.081	102.942
33	R2	19-sep-85 NS	8.1	441.69	2.05	18.081	102.942
34	R20	25-abr-89 EW	6.9	308.16	2.07	16.603	99.400
35	R21	25-abr-89 NS	6.9	308.16	4.19	16.603	99.400
36	R36	24-oct-93 EW	6.6	314.37	1.83	16.540	98.980
37	R37	24-oct-93 NS	6.6	314.37	1.73	16.540	98.980
38	R38	10-dic-94 EW	6.3	305.39	1.87	18.020	101.560
39	R39	10-dic-94 NS	6.3	305.39	2.02	18.020	101.560
40	R40	22-may-97 EW	6.0	314.25	1.90	18.410	101.810

Los acelerogramas y espectros de respuesta de los registros listados en las tablas se muestran en las siguientes secciones, pero primero se mencionarán algunos conceptos básicos sobre cómo se registran los sismos, los aparatos que se utilizan para ese fin y algunas características de las señales sísmicas.

Una de las aplicaciones más importantes de la dinámica estructural es el análisis de la respuesta de las estructuras ante movimientos provocados por sismos. Por definición, los sistemas lineales son sistemas elásticos, y nos podemos referir a estos como sistemas lineales elásticos para enfatizar ambas propiedades. Los sismos como los utilizados en este trabajo pueden causar daños a muchas estructuras, por lo que también resulta de interés la respuesta de sistemas inelásticos.

Excitación Sísmica

Conceptos básicos

Para fines ingenieriles, la variación de la aceleración del suelo en el tiempo es la forma más común para definir los movimientos de la tierra durante un sismo. La aceleración del suelo $u_g(t)$ gobierna la respuesta de las estructuras sometidas a excitaciones sísmicas. Por esto, para una aceleración dada del suelo, el problema a resolver es definido completamente por un sistema *Masa Resorte AmortiguadorMRA*, con propiedades de masa, de rigidez y de amortiguamiento conocidos.

El instrumento básico para recopilar los tres componentes del suelo durante un terremoto es el acelerógrafo (*Figuras 3.2, 3.3 y 3.4*), el cual no es de funcionamiento continuo pero es activado por las primeras ondas del terremoto en su llegada. El hecho de que no sea de operación continua un acelerógrafo, es porque, incluso en regiones muy proclives a sismos, como lo son, California o México, puede no haber ningún movimiento fuerte de la tierra para ser registrado en meses, o incluso en años. Como consecuencia, la recopilación continua de cientos de estos instrumentos sería un desperdicio de esfuerzo y de recursos. Después de activado, el registro continúa por algunos minutos o hasta que el movimiento de la tierra disminuye a niveles imperceptibles. Claramente, los instrumentos deben estar bajo constante mantenimiento para que registren el terremoto cuando éste ocurra.



Figura 3. 2 Acelerógrafo Kinemetriks K-2.



Figura 3. 3 Acelerógrafo FBA-23.

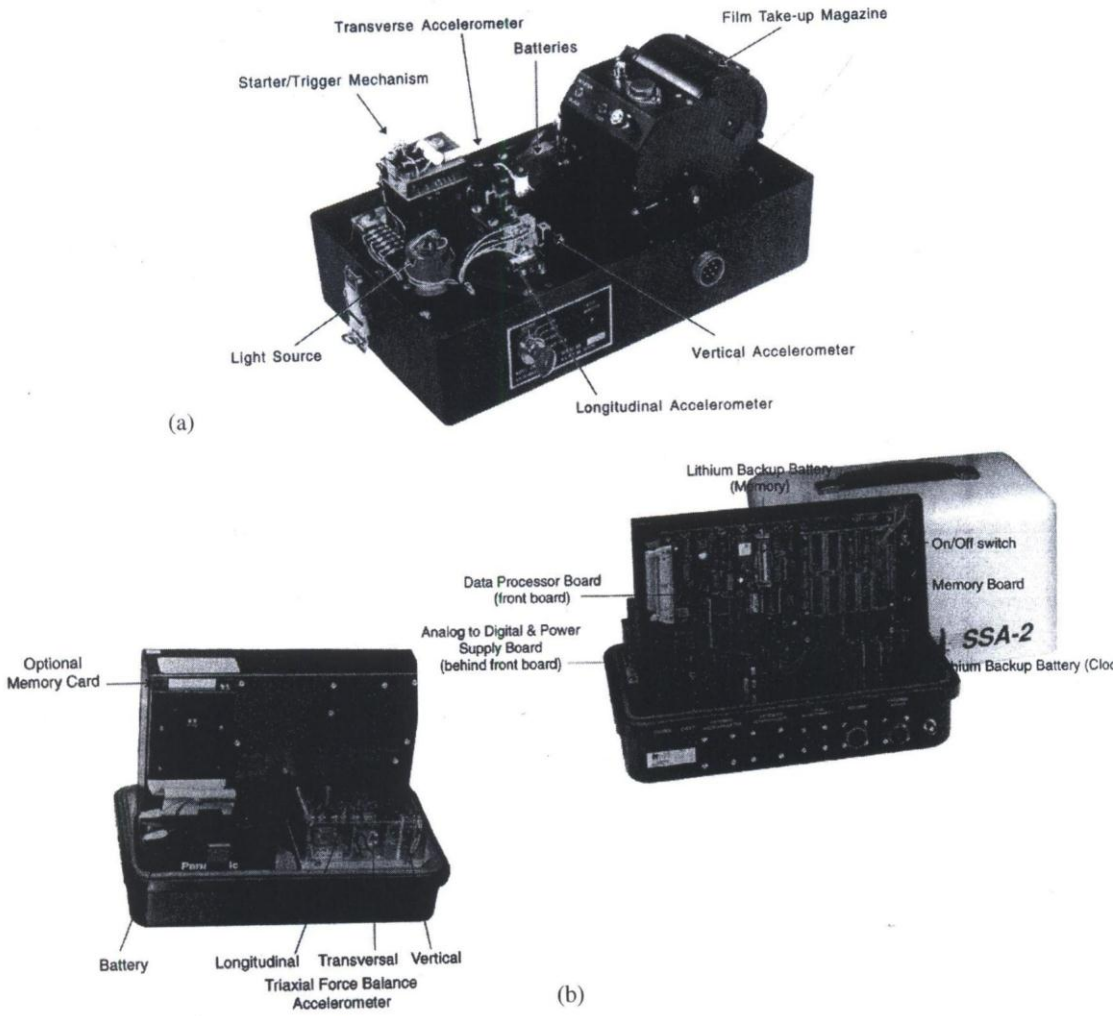


Figura 3. 4 Acelerógrafos para movimientos de terreno de gran intensidad: (a) SMA-1, instrumento análogo-recopilador con frecuencia natural de amortiguamiento de 25 Hz y amortiguamiento crítico del 60%; (b) SSA-2, instrumento digital recopilador con frecuencia natural de amortiguamiento de 50 Hz y amortiguamiento crítico del 70%.

El elemento básico de un acelerógrafo es un elemento transductor, el cual en su forma más simple es un sistema de *Masa-Resorte-Amortiguador (MRA).* Es por esto, que el elemento transductor es caracterizado por su frecuencia natural f_n y la relación del amortiguamiento viscoso ζ ; típicamente el valor de la frecuencia natural de un elemento transductor es de $f_n = 25\,Hz$ y el valor del amortiguamiento viscoso es $\zeta = 60\%$ para

acelerógrafos análogos modernos; para acelerógrafos digitales modernos, los valores correspondientes son $f_n = 50\,Hz$para la frecuencia natural y $\zeta = 60\%$ para el amortiguamiento viscoso. Estos parámetros transductores habilitan al instrumento digital a registrar sin distorsión excesiva funciones de tiempo-aceleración, incluyendo frecuencias muy bajas de hasta *30 Hz*. El instrumento análogo es preciso sobre un rango de frecuencia muy estrecho de hasta *15 Hz*.

Desafortunadamente, el registro instrumental de movimientos fuertes del terreno en el mundo, fueron escasos y por muchos años e incluso hoy no es posible obtener los registros de un terremoto de características muy destructivas en algunas partes del mundo.

Por otra parte, hay registros de movimientos débiles que causaron mucha destrucción. Por ejemplo, fueron obtenidos los registros de dos terremotos en 1993: el de Killari, Maharashtra, en la India, el 30 de septiembre de 1993; y el de Guam, en los EU, el 8 de Agosto de 1993. Lo deseable, cuando un terremoto fuerte ocurre, es contar con muchas estaciones instrumentadas para registrar el movimiento de la tierra. Sin embargo, como no es posible saber con exactitud, y debido a su naturaleza incierta cuándo y exactamente en dónde ocurrirán los terremotos, además añadiendo las restricciones propias de los gobiernos para la asignación de recursos en los presupuestos para el suministro, la instalación y el mantenimiento de estos instrumentos de medición, solo es posible obtener dichos registros ocasionalmente en las regiones donde se presentan movimientos más fuertes y con mayor frecuencia. Muchos registros más se han obtenido en regiones en donde han ocurrido movimientos moderados. En el caso de la Ciudad de México, el sismo más fuerte que ha sido registrado es el ocurrido el 19 de Septiembre de 1985 con magnitud de 8.1. Este fuerte sismo produjo la caída de una gran cantidad de edificios y, oficialmente, la muerte de más de 20 mil personas. Acelerogramas de este sismo y de otros más son utilizados durante este estudio.

El primer acelerograma fuerza-movimiento, fue registrado durante el temblor en Long Beach en 1933, y desde entonces, varios cientos de registros más se han obtenido. Como es de esperarse, la mayoría de estos registros son pequeños movimientos y solo una

pequeña fracción de ellos ha tenido una aceleración de 0.50g o mayor. En el caso del sismo de 1985 en la Ciudad de México, éste alcanzó una aceleración de 1g. La distribución geográfica de los registros de estos movimientos es muy dispersa. Por ejemplo en EU, más de la mitad de los sismos son registrados en el estado de California, la mayoría de los cuales provienen de tres regiones con terremotos importantes como los sucedidos en San Fernando el 9 de febrero de 1971, el de Loma Prieta el 17 de octubre de 1989 y el de Northridge el 17 de enero de 1994. En México, la mayoría de los sismos se originan en las costas del Pacífico (Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas) y se registran en toda la red acelerográfica que existe para ese fin, alrededor de 200 acelerógrafos distribuidos en toda la zona centro-sur del país, controlados por el Servicio Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM y otras instituciones como el CENAPRED (Centro Nacional para la Prevención de Desastres), CIRES (Centro de Instrumentación y Registro Sísmico) y la empresa ICA (Ingenieros Civiles Asociados) principalmente.

La *Figura 3.5* muestra una colección de registros representativos tiempo-aceleración de movimientos de tierra fuertes. La componente horizontal se da para cada movimiento. Todos han sido impresos a la misma aceleración y escala. La amplitud y la variabilidad real de la amplitud, duración y apariencia general de los diferentes registros se puede ver claramente. Uno de estos registros se encuentra amplificado en la *Figura 3.6*. Esta es la componente Norte-Sur del movimiento del suelo registrado en el sitio en El Centro, California durante el terremoto de Imperial Valley, el 18 de mayo de 1940. En esta escala se hace evidente que la aceleración del suelo varía con el tiempo de una manera irregular. No importa que tan irregular sea el movimiento del suelo, se supone conocido e independiente de la respuesta estructural. Esto es equivalente a decir que el suelo de la cimentación es rígido, lo que implica que no existe interacción suelo-estructura. Si la estructura fue cimentada en un suelo muy flexible, el movimiento de la estructura y las fuerzas resultantes impuestas en el suelo subyacente pueden modificar el movimiento de la base.

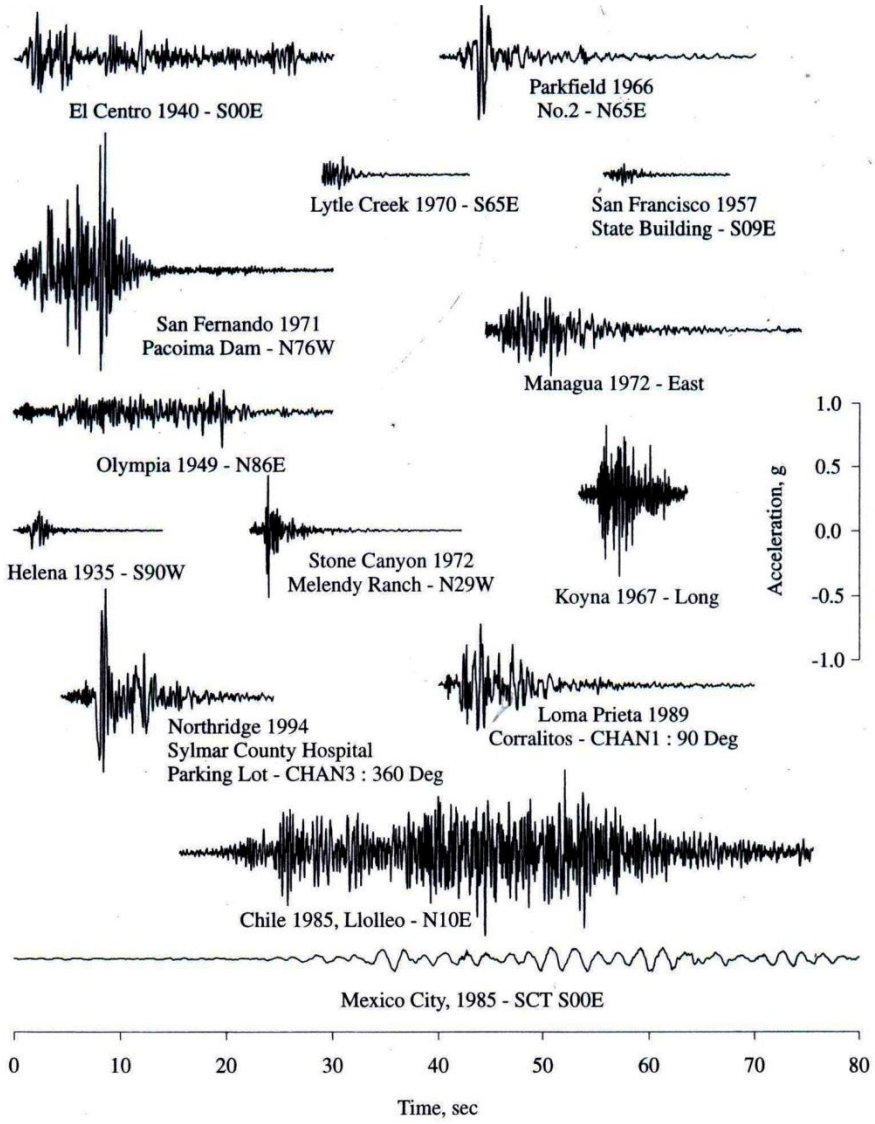


Figura 3. 5 Movimientos de la tierra registrados durante diversos terremotos.

Debido al hecho de que la aceleración del suelo se presenta de manera continua, sin embargo es definida por valores numéricos en instantes de tiempo discretizados. Estos instantes de tiempo deben ser espaciados con intervalos muy reducidos para describir de manera precisa la alta variación irregular de la aceleración con respecto al tiempo. Es común, que el intervalo de tiempo sea elegido entre 1/100 y 1/50 de segundo, requiriendo de 1500 a 3000, incluso más ordenadas para describir el movimiento del suelo de la *Figura 3.6.*

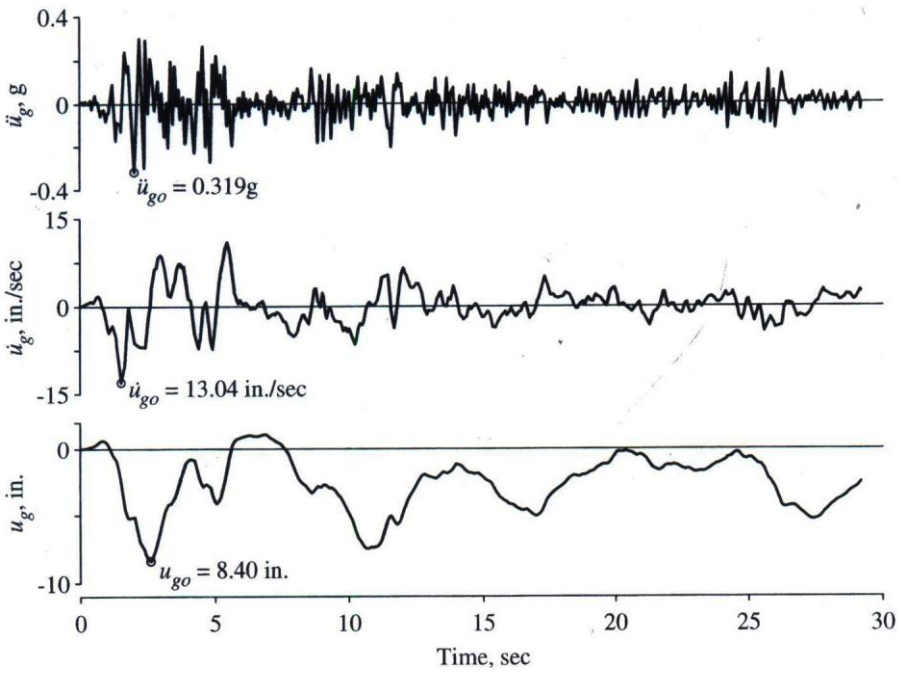


Figura 3. 6 Componente Norte-Sur de los movimientos horizontales de la tierra registrados en la subestación Imperial Valley Irrigation District, El Centro, California, durante el terremoto Imperial Valley del 18 de Mayo de 1940. La velocidad y desplazamiento del suelo se obtuvieron por integración de la aceleración del suelo.

El primer gráfico de la *Figura 3.6* se muestra la variación de la aceleración con respecto del tiempo para el sismo ocurrido en 1940 en El Centro, California en EU. La mayor aceleración del suelo $\ddot{u}_{go}$ tiene un valor de 0.319g. La segunda curva es la velocidad del suelo, la cual se obtiene por medio de la integración de la función de aceleración con respecto al tiempo. El valor de la máxima velocidad del suelo $\dot{u}_{go}$ es de 13.04 in/seg. De la integración de la velocidad del suelo se obtiene el valor para el desplazamiento máximo del suelo, cuyo gráfico está presentado en la parte inferior de la *Figura 3.6*. El valor del máximo desplazamiento del suelo u_{go} es de 8.40 in. Es difícil determinar adecuadamente la velocidad del suelo y el desplazamiento ya que los acelerógrafos análogos no registran la parte inicial (hasta que el acelerógrafo es accionado) de la función aceleración-tiempo, y por eso, la línea base (aceleración cero) no es conocida. Los acelerógrafos digitales, resuelven este problema al proveer una memoria corta para que sea medido el comienzo del movimiento del suelo.

Existen diferentes versiones del movimiento del suelo presentado en El Centro. Las variaciones entre ellas surgen de diferencias como:

El trazo análogo original de la aceleración contra tiempo fue digitalizado a datos numéricos.

El procedimiento elegido para introducir la línea base faltante en el registro.

A partir de los registros de los acelerógrafos digitales se muestran una serie de acelerogramas (tiempo-aceleración) que son utilizados en este estudio (*Figura 3.7*) para someter las estructuras a diferentes movimientos sísmicos para obtener su respuesta dinámica y posteriormente evaluar la confiabilidad sísmica de los edificios.

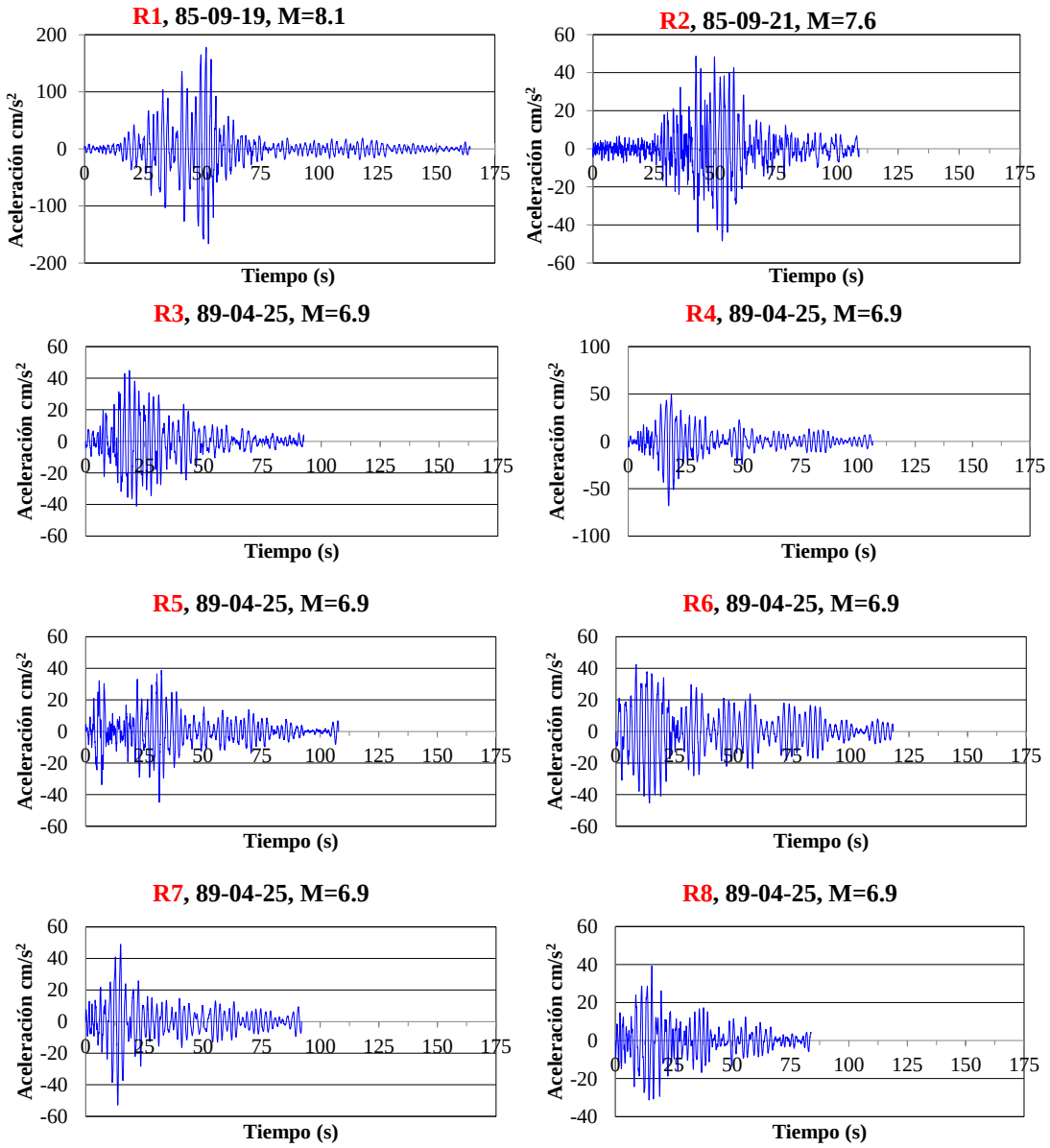
Como se mencionó anteriormente, los acelerogramas fueron registrados en diferentes estaciones ubicadas en el suelo blando de la Ciudad de México correspondiente a la *zona III*.

La variabilidad de los acelerogramas se puede apreciar en cuanto a amplitud máxima, duración y contenido de frecuencia lo cual afecta de manera distinta la respuesta estructural. Entre más grande sea la amplitud, mayor será la intensidad del sismo y por tanto mayor la respuesta en la estructura. A mayor duración del sismo, mayor será el daño acumulado en la estructura y el contenido de frecuencia afectará de diferente manera dependiendo del periodo de vibrar fundamental de la estructura.

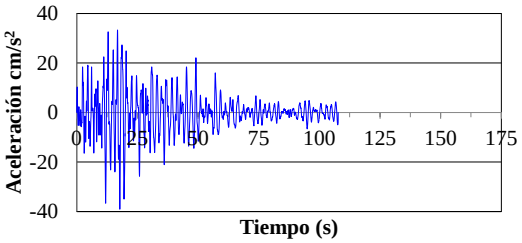
Los registros sísmicos presentados corresponden a la componente horizontal del sismo, es decir Norte-Sur o Este-Oeste.

En estos registros también se muestra la fecha de ocurrencia del sismo, su magnitud y el lugar donde fueron registrados. Como se puede observar a mayor magnitud mayor la amplitud de la aceleración máxima del suelo. Las magnitudes van desde 6 hasta 8.1. Es

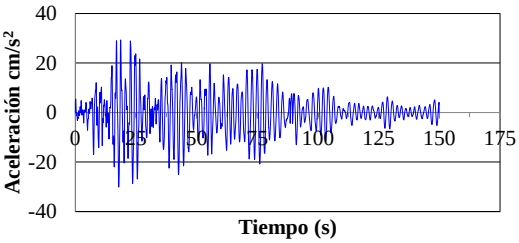
decir, la mayoría son movimientos fuertes ocurridos en las costas del Pacífico de nuestro país. En las *Tablas 3.1* y *3.2* se pueden observar más características de estos sismos.



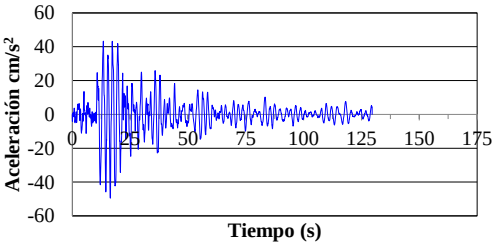
R9, 95-09-14, M=7.3



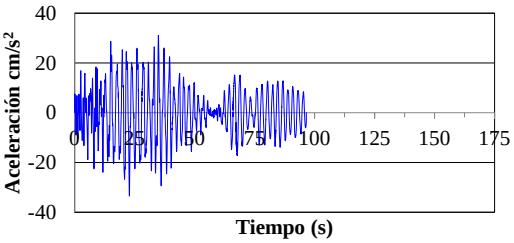
R10, 95-09-14, M=7.3



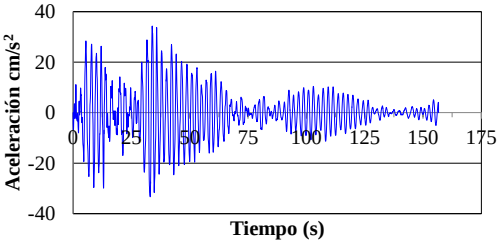
R11, 95-09-14, M=7.3



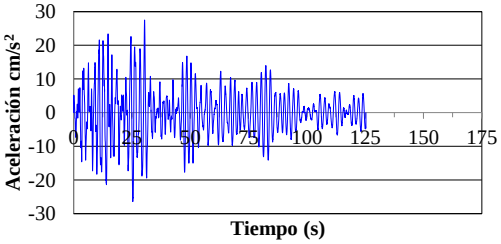
R12, 95-09-14, M=7.3



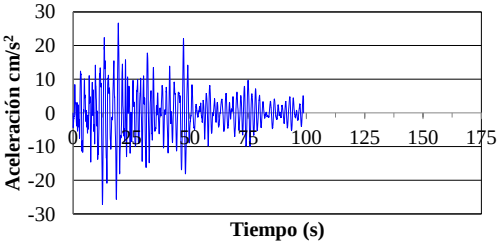
R13, 95-09-14, M=7.3



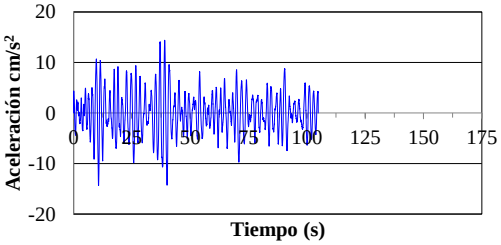
R14, 95-09-14, M=7.3



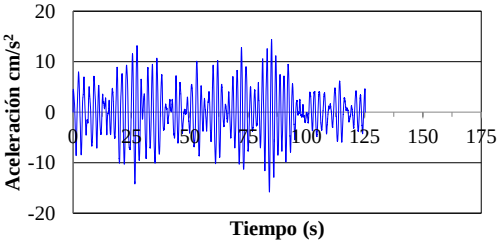
R15, 95-09-14, M=7.3



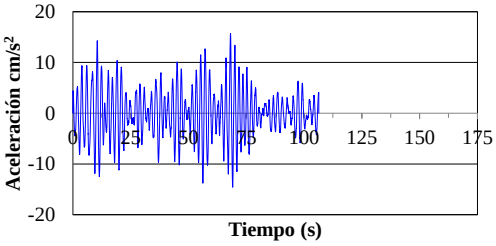
R16, 95-10-09, M=7.5



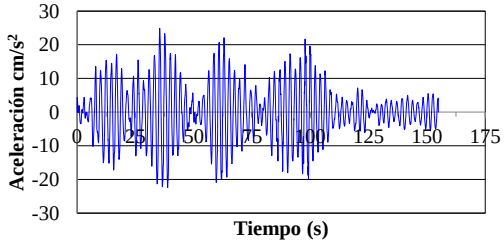
R17, 95-10-09, M=7.5



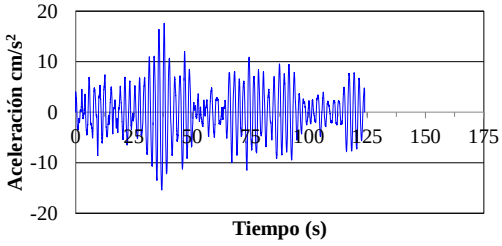
R18, 95-10-09, M=7.5



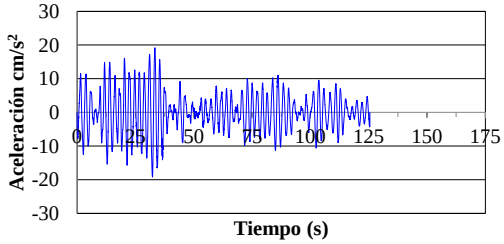
R19, 95-10-09, M=7.5



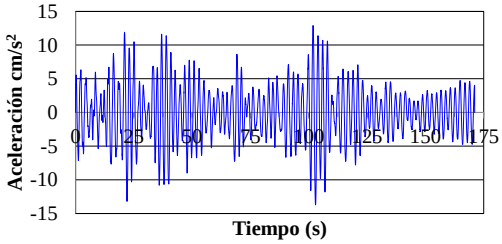
R20, 95-10-09, M=7.5



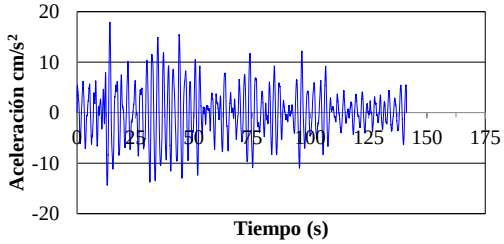
R21, 95-10-09, M=7.5



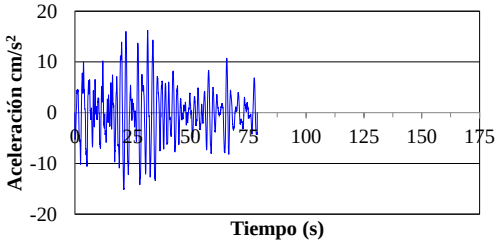
R22, 95-10-09, M=7.5



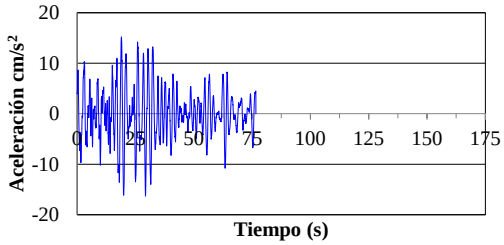
R23, 95-10-09, M=7.5



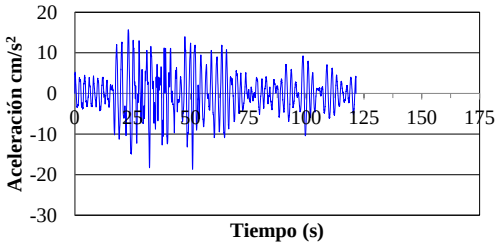
R24, 97-01-11, M=6.9



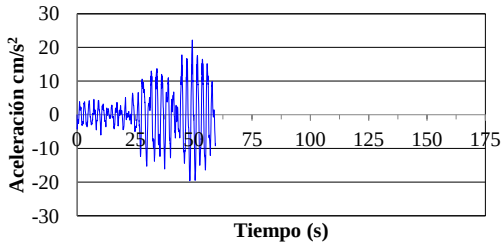
R25, 97-01-11, M=6.9



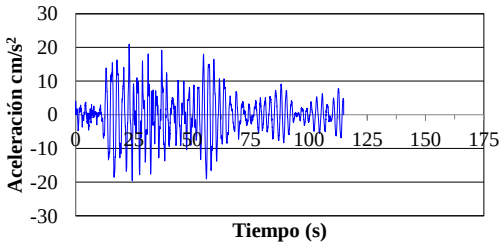
R26, 97-01-11, M=6.9



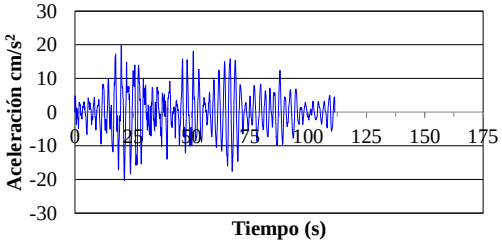
R27, 96-01-11, M=6.9



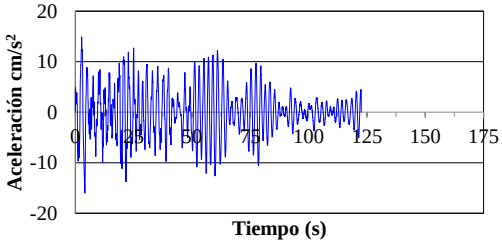
R28, 97-01-11, M=6.9



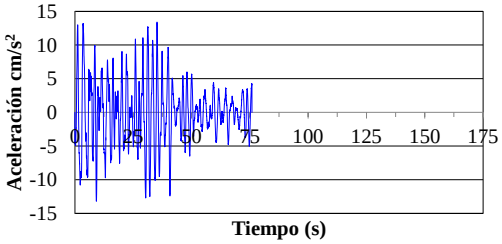
R29, 97-01-11, M=6.9



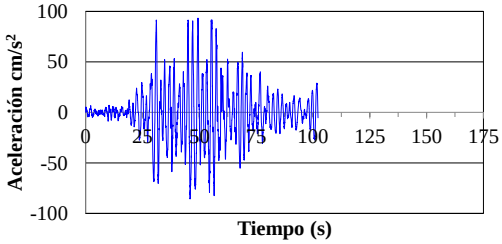
R30, 97-01-11, M=6.9



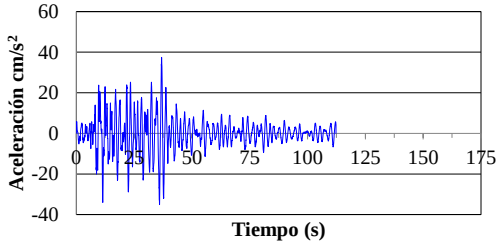
R31, 97-01-11, M=6.9



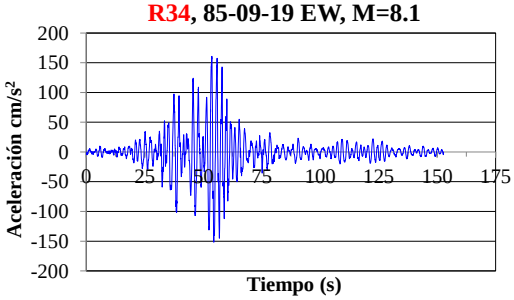
R32, 85-09-19 NS, M=8.1



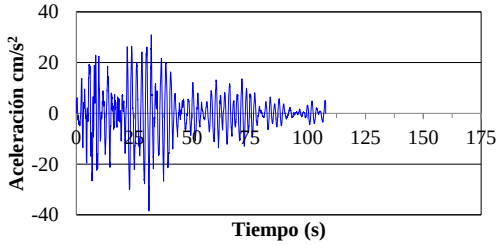
R33, 89-04-25 NS, M=6.9



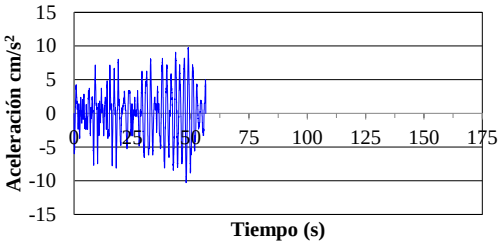
R34, 85-09-19 EW, M=8.1



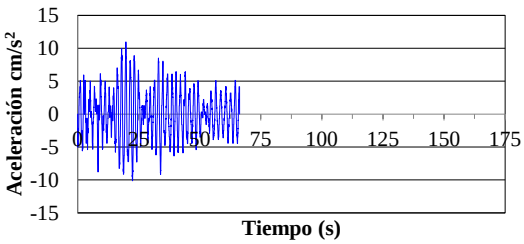
R35, 89-04-25 EW, M=6.9



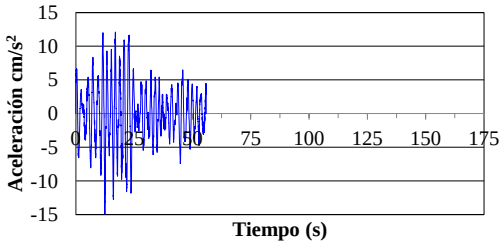
R36, 93-10-24 EW, M=6.6



R37, 93-10-24 NS, M=6.6



R38, 94-12-10 EW, M=6.3



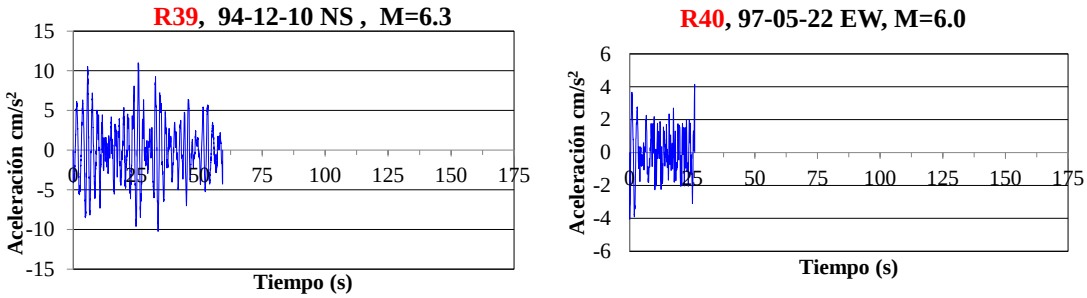


Figura 3. 7. Registros sísmicos utilizados en este estudio. Se muestra numeración (R), fecha de ocurrencia y magnitud (M).

Espectros de respuesta lineal

A partir de los acelerogramas seleccionados se obtienen los espectros de respuesta asociados a cada sismo. En primer lugar se dan algunos conceptos importantes que describen el procedimiento para obtener los espectros de respuesta lineal. El espectro de respuesta lineal, como herramienta, es una de las más utilizadas para conocer el efecto de un sismo sobre una estructura.

La ecuación de movimiento

La ecuación de movimiento de una estructura de un sistema de un grado de libertad *S1GL* sometida ante un sismo está dada por:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \qquad (3.1)$$

Esta ecuación describe la respuesta lineal de una estructura bajo una excitación sísmica $\ddot{u}_g(t)$. Para una aceleración del suelo dada, el problema por resolver está definido por un sistema de un grado de libertad (*S1GL*), con masa (*m*), con rigidez (*k*) y con propiedades de amortiguamiento (*c*) conocidas.

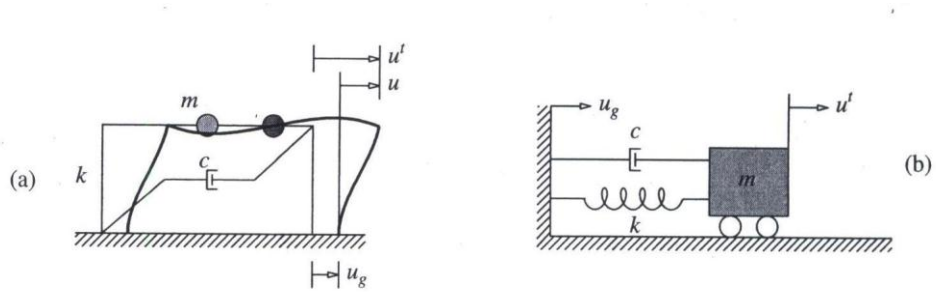


Figura 3.8 Sistema de un grado de libertad.

Dividiendo la *Ecuación 3.1* entre *m* se tiene:

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u = -\ddot{u}_g(t) \tag{3.2}$$

Se puede ver que para una excitación sísmica $u_g(t)$ dada, la respuesta de desplazamiento $u(t)$ de un sistema solo depende de la frecuencia natural ω_n, o el periodo natural del sistema $T_n = 2\pi/\omega_n$ y de una fracción de amortiguamiento crítico ζ; escrito formalmente $u \equiv u(t, T_n, \xi)$.

La aceleración del suelo durante un sismo varía irregularmente por lo que es difícil resolver analíticamente la ecuación de movimiento. Por lo tanto, se requiere la utilización de métodos numéricos para determinar la respuesta estructural.

Es de gran importancia para la ingeniería estructural el desplazamiento del sistema, o desplazamiento $u(t)$ de la masa debido al movimiento del suelo.

Puede utilizarse una solución numérica para dar resultados de cantidades relativas tanto de $u(t)$, $\dot{u}(t)$ y $\ddot{u}(t)$, como también de las respuestas totales $u^t(t)$, $\dot{u}^t(t)$ y $\ddot{u}^t(t)$.

Historia de respuesta y concepto de pseudo-aceleración

La *Figura 3.9* muestra la respuesta de desplazamiento de tres sistemas diferentes debido a un movimiento sísmico.

En la *Figura 3.9 (derecha)* el periodo de vibración T_n es el mismo para los tres sistemas, y la diferencia radica en el amortiguamiento. A mayor razón de amortiguamiento, menor es el desplazamiento.

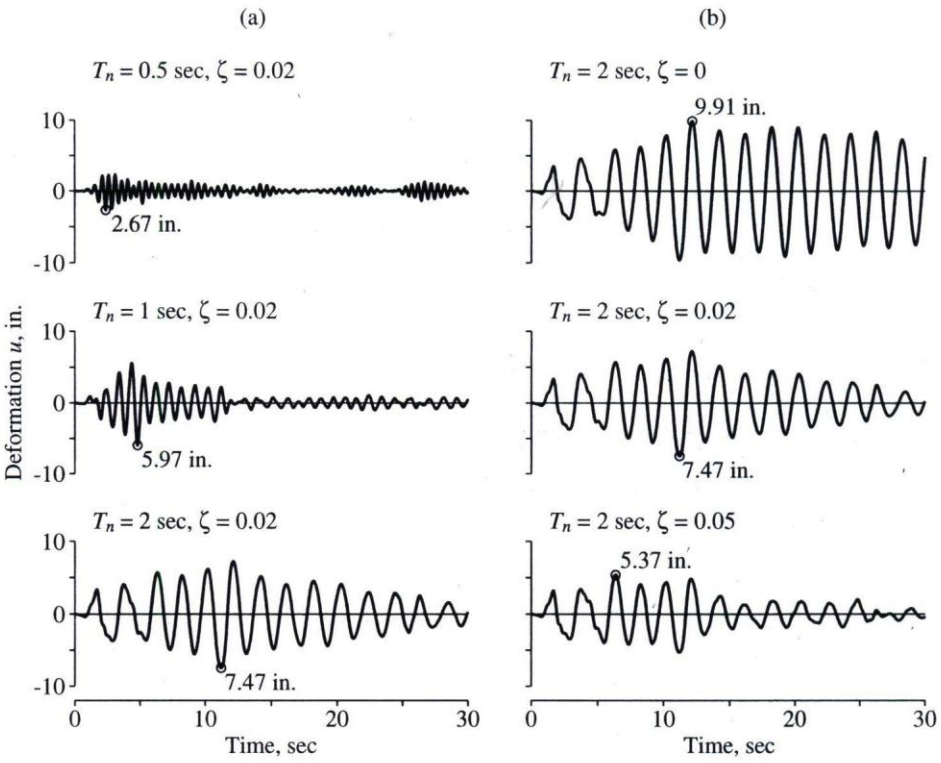


Figura 3.9 Respuesta de desplazamiento de tres sistemas diferentes debidos a un movimiento sísmico.

Una vez que la historia del desplazamiento $u(t)$ ha sido evaluada por medio del análisis dinámico de la estructura, las fuerzas internas pueden determinarse por métodos estáticos en cada momento.

$$f_s(t) = ku(t) \tag{3.3}$$

Donde: k es la rigidez lateral del sistema. Expresando k en términos de la masa *m.*

$$f_s(t) = m\omega_n^2 u(t) = mA(t) \tag{3.4}$$

Donde:

$$A(t) = \omega_n^2 u(t) \tag{3.5}$$

La fuerza estática equivalente es m veces $A(t)$, no m veces la aceleración total $\ddot{u}_g(t)$.

Es decir, la pseudo-aceleración $A(t) = S_A$, puede obtenerse a partir de la respuesta de desplazamiento $u(t)$.

Multiplicando cada respuesta $u(t)$ correspondiente a los tres sistemas de la *Figura 3.10* por su respectivo valor $\omega_n^2 = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2$, se obtiene la respuesta de pseudo-aceleración de los sistemas.

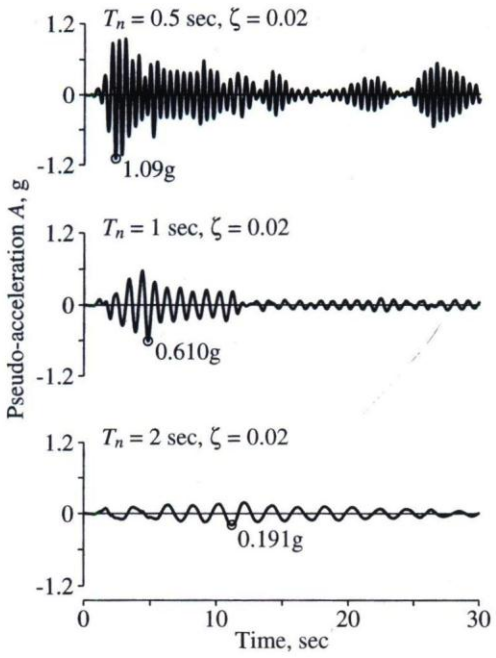


Figura 3.10 Respuesta Pseudo-aceleración.

Historia sobre los espectros de respuesta

Los espectros de respuesta fueron inicialmente propuestos por Biot en el año de 1932 y luego fueron desarrollados por Housner, Newmark y muchos otros investigadores. Actualmente, el concepto de espectro de respuesta es una importante herramienta de la dinámica estructural, de gran utilidad en el área del diseño sismo-resistente de la ingeniería sísmica. En forma general, podemos definir espectro de respuesta como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad. En estos gráficos, se representa en abscisas el periodo propio de la estructura (o la frecuencia) y en ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento ζ .

El concepto de los espectros comenzó a desarrollarse gracias a una idea de Kyoji Suyehiro, Director del Instituto de Investigaciones de la Universidad de Tokyo, quien en 1920 ideó un instrumento de medición formado por seis péndulos con diferentes periodos de vibración, con el objeto de registrar la respuesta de los mismos ante la ocurrencia de un terremoto. Unos años después, Hugo Benioff publicó un artículo en el que proponía un instrumento similar al de Suyehiro, destinado a medir el desplazamiento registrado por diferentes péndulos con los cuales se podría determinar el valor máximo de respuesta y construir una curva (lo que hoy conocemos como espectro de desplazamiento elástico) cuya área sería un parámetro indicador de la destructividad del terremoto. Finalmente, fue Maurice Biot en el Instituto Tecnológico de California, quien propuso formalmente la idea de espectros de respuesta elástica. *Figura 3.11.*

La importancia de los espectros en el diseño de estructuras radica en el hecho de que estos gráficos condensan la compleja respuesta dinámica en un parámetro clave: los valores de respuesta máxima. Estos parámetros son usualmente los requeridos por el ingeniero estructurista para el diseño de estructuras. Debemos aclarar, sin embargo, que los espectros de respuesta omiten información importante dado que los efectos del terremoto

sobre la estructura dependen no solo de la respuesta máxima sino también de la duración del movimiento y del número de ciclos con demanda significativa de desplazamientos.

La realización de un espectro de respuesta requiere de la ejecución de numerosos cálculos, dado que es necesario resolver la ecuación de equilibrio dinámico para determinar la historia (variación en el tiempo) de desplazamientos, velocidades y aceleraciones para una gran cantidad de estructuras con diferentes periodos de vibración, *T*, y factores de amortiguamiento ζ. En la actualidad, esto no representa un problema de importancia debido a la gran capacidad de cálculo que hoy en día poseen las computadoras modernas, las cuales pueden realizar los cálculos para obtener un espectro de respuesta elástica en décimas de segundo. Sin embrago, cuando estos tipos de gráficos se desarrollaron en su etapa inicial, hace varias décadas, la situación era muy diferente. Como anécdota, es interesante mencionar que Housner calculaba los espectros mediante un procedimiento gráfico que requería aproximadamente de un día de trabajo para calcular un punto del espectro. Posteriormente, se desarrolló un método más rápido usando un péndulo de torsión ("computadora analógica") que permitía determinar los espectros mediante una analogía matemática entre los dos fenómenos. En este caso, el tiempo requerido para calcular un punto del espectro se redujo a 15 minutos.

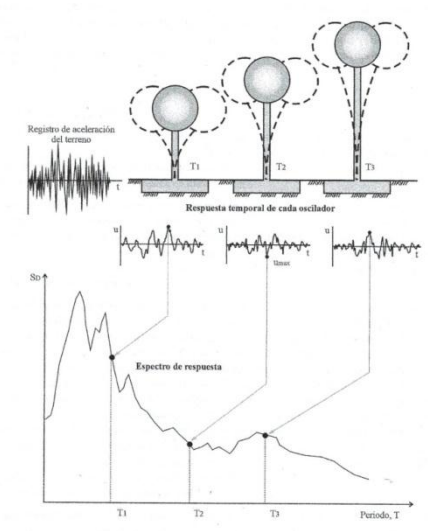


Figura 3.11 Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta.

El espectro muestra la respuesta de valores máximos de un *S1GL* de una componente en particular del movimiento del suelo, como se muestra en la *Figura 3.12*. También provee un acercamiento práctico para aplicar el conocimiento de la dinámica estructural al diseñar una estructura y para definir la magnitud de las fuerzas laterales actuantes sobre el edificio.

A la gráfica que representa el valor máximo de una respuesta en función del periodo natural de vibrar T_n del sistema o a la frecuencia circular ω_n o a la frecuencia cíclica f_n se le llama Espectro de Respuesta. Cada gráfica para un *S1GL* cuenta con una fracción de amortiguamiento ζ dada.

El espectro de respuesta de desplazamiento es la gráfica de u_0 vs T_n dado un valor de ζ. De igual forma para $\dot{u}_0$ es el espectro de respuesta de velocidad, para $\ddot{u}_0^t$ es el espectro de respuesta de aceleración.

Es decir:

$$\begin{aligned} u_0(T_n,\zeta) &\equiv máx_t\left|u(t,T_n,\zeta)\right| \\ \dot{u}_0(T_n,\zeta) &\equiv máx_t\left|\dot{u}(t,T_n,\zeta)\right| \\ \ddot{u}_0(T_n,\zeta) &\equiv máx_t\left|\ddot{u}(t,T_n,\zeta)\right| \end{aligned} \tag{3.6}$$

Para encontrar las fuerzas internas sólo se necesita el desplazamiento $u(t)$. Entonces, el espectro de desplazamiento da la información necesaria para encontrar los valores del desplazamiento y de las fuerzas internas.

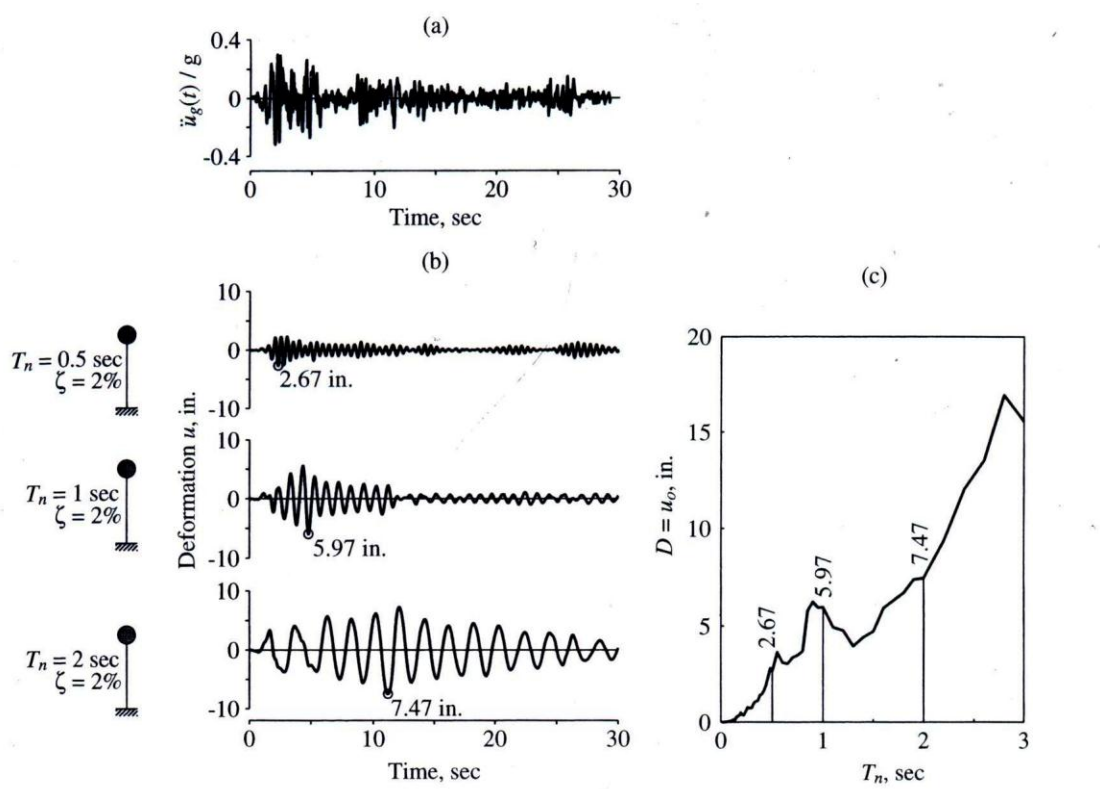


Figura 3.12 Procedimiento para determinar el espectro de respuesta *D.*

La pseudo-velocidad (S_V) se evalúa mediante la siguiente expresión:

$$S_V = \omega_n D = \frac{2\pi}{T_n} D \tag{3.7}$$

En donde ω_n es la frecuencia natural del sistema.

El prefijo pseudo es utilizado porque (S_V) no es igual al valor máximo de velocidad $\dot{u}_0$.

El espectro de respuesta de pseudo-velocidad es la gráfica de S_V como función del periodo T_n o la frecuencia f_n del sistema, *Figura 3.13b*.

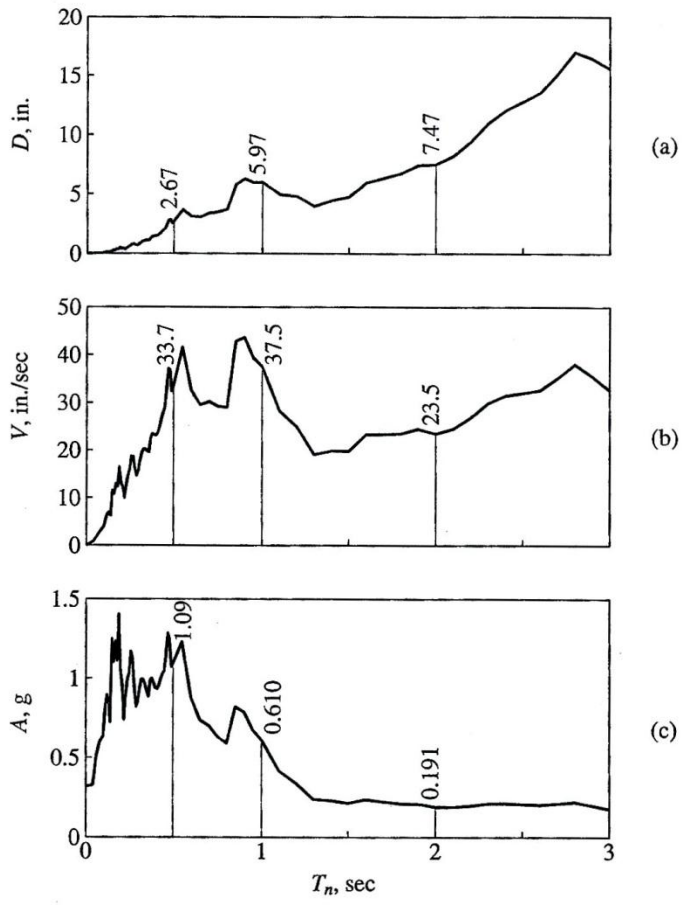


Figura 3.13 Espectros de desplazamiento, pseudo-velocidad y pseudo-aceleración lineal.

La pseudo-aceleración S_A del *S1GL* con frecuencia natural ω_n se relaciona con su desplazamiento máximo $D \equiv u_0$ mediante:

$$S_A = \omega_n^2 D = \left(\frac{2\pi}{T_n} \right)^2 D \tag{3.8}$$

La cantidad S_A tiene unidades de aceleración y se relaciona con el valor máximo del cortante basal V_{bo} (o al valor máximo de la fuerza estática equivalente f_{so}).

$$V_{bo} = f_{so} = mS_A \tag{3.9}$$

El cortante basal máximo puede ser escrito como:

$$V_{bo} = \frac{S_A}{g} w \tag{3.10}$$

y $\frac{S_A}{g}$ es el coeficiente de cortante basal o coeficiente de fuerza lateral.

Donde g es el valor de la gravedad y w es el peso de la estructura.

Construcción de espectros de respuesta

El espectro de respuesta para una componente $\ddot{u}_g(t)$ puede desarrollarse siguiendo los pasos que a continuación se describen:

1. Se establece un intervalo de muestreo.
2. Se selecciona un periodo natural T_n y una fracción de amortiguamiento ζ del *S1GL*.
3. Se procesa por medio de métodos numéricos (método de las ocho constantes, integral de Duhamel, etc.), la información y se obtiene la respuesta de desplazamiento $u(t)$ debido a una aceleración $\ddot{u}_g(t)$.
4. Se determina u_0, el valor máximo de $u_g(t)$.
5. Las ordenadas espectrales son $D = u_0$, $S_V = \frac{2\pi}{T_n} D$ y $S_A = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D$.
6. Se repiten los pasos 2 al 5 para un intervalo de valores T_n y ζ abarcando los sistemas posibles de interés.
7. Se presentan los resultados de los pasos 2 al 6 gráficamente para producir espectros como los de la *Figura 3.13*.

Resultados sobre los espectros de respuesta

A continuación se muestran los espectros de respuesta (*Figura 3.14*) como resultado de la aplicación del procedimiento descrito en la sección anterior, pero con la ayuda de un programa de cómputo llamado *DEGTRA* elaborado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM por Mario Ordaz y colaboradores. Este programa aplica el método numérico de las 8 constantes para encontrar la historia de desplazamientos de un *S1GDL*.

Cada uno de los espectros mostrados enseguida, pertenece a cada uno de los registros sísmicos mostrados anteriormente, los cuales se identifican con una *R* y un número correspondiente del sismo (R5, por ejemplo). También se muestra la fecha de ocurrencia del sismo y su magnitud.

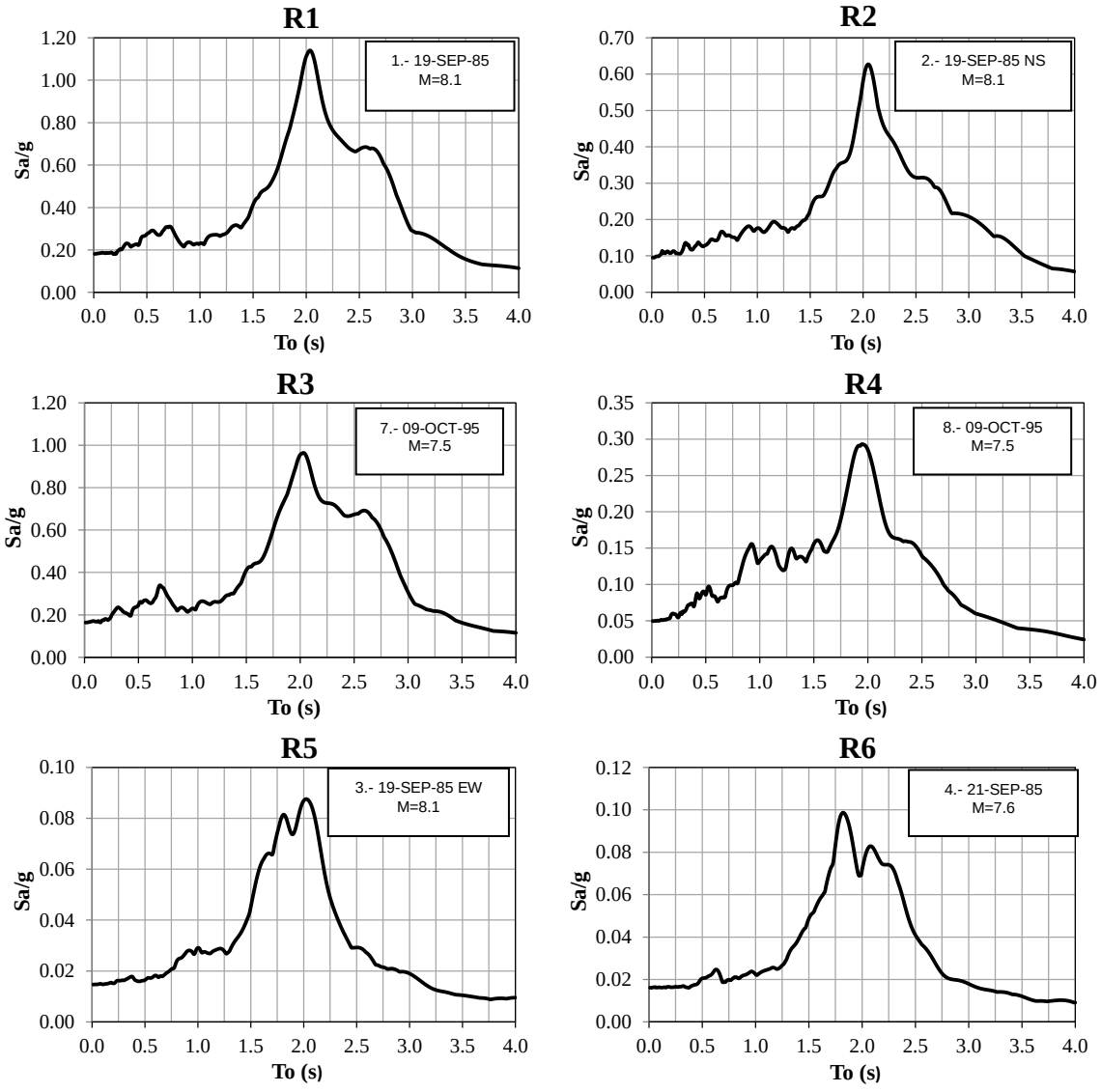
Estos espectros corresponden a espectros de respuesta de pseudo-aceleración, para 5% de amortiguamiento en la estructura, para un *S1GDL* con diferentes periodos de vibrar (T_o).

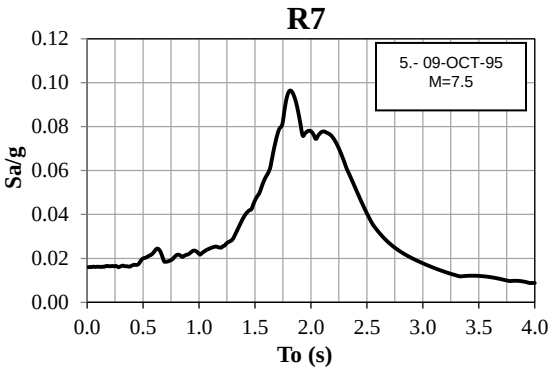
La característica principal de los espectros asociados a sismos registrados en suelo blando es que resultan en su mayoría espectros de banda angosta es decir la máxima pseudo-aceleración (S_a) se concentra en un T_o muy particular. En este caso se puede observar que la máxima ordenada espectral se asocia a un periodo (T_o) alrededor de *2s*. Por lo que para estructuras cercanas a este periodo se debe tener cuidado en evitar caer en una situación de resonancia de la estructura. Por lo que en general en el caso del diseño, cuando la estructura se encuentra en esta zona, se busca detallar muy bien el diseño de la estructura y reforzándola adecuadamente, para evitar en un futuro el daño estructural debido a un sismo.

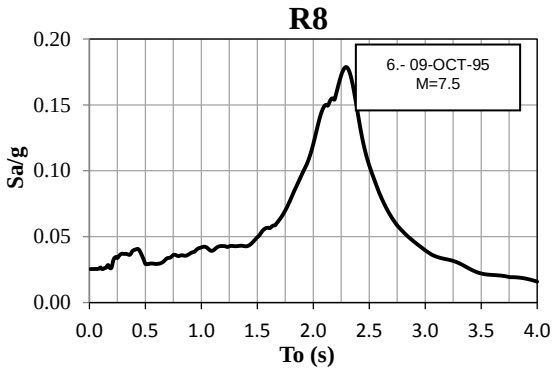
En la última *Figura 3.15*, se muestran todos los espectros de respuesta en la misma gráfica con fines de comparación. En donde se puede apreciar que habrá espectros muy bajos, que son aquellos que están asociados a los sismos de menor magnitud usados en este

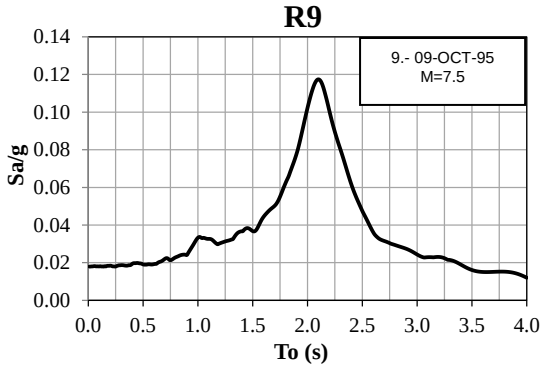
estudio y espectros cuya mayor ordenada es alrededor es de 1.2, los cuales están asociados a los sismos de mayor magnitud, sismos de 8.1.

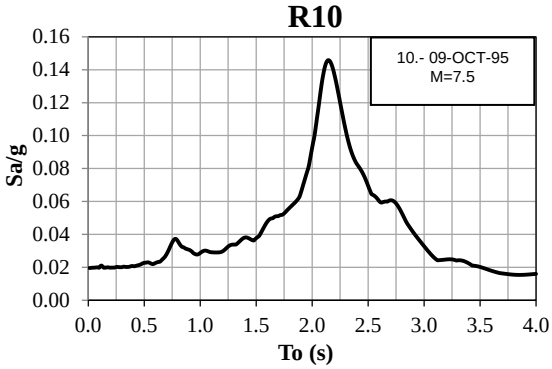
A partir de los espectros de respuesta se obtiene la Pseudoaceleración espectral (*Sa/g*) como una medida de la intensidad sísmica que afecta a la estructura para el periodo fundamental de vibrar del edificio en estudio. Esta intensidad sísmica se utiliza a la hora de obtener los análisis dinámicos incrementales, para conocer el nivel de la intensidad de colapso de la estructura, la cual se utiliza para obtener la confiabilidad mediante el índice β de Cornell y un margen de seguridad Z, obtenidos en el siguiente capítulo de resultados.

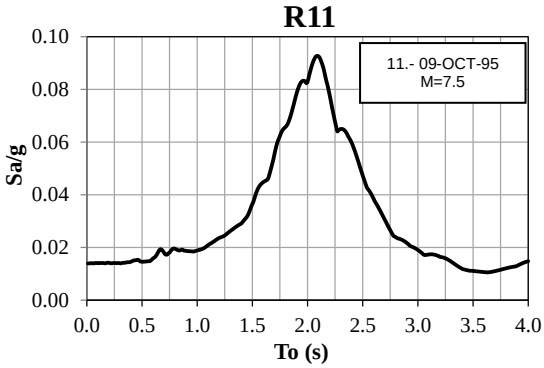


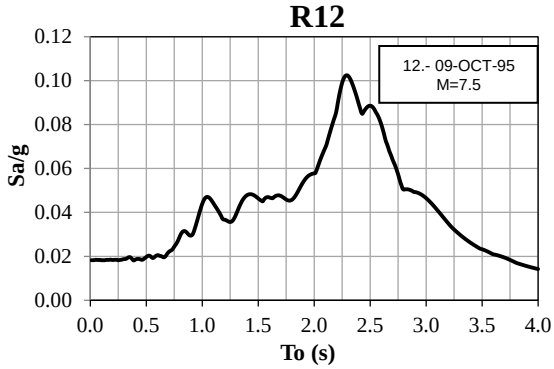

R7
5.- 09-OCT-95
M=7.5
Sa/g
To (s)

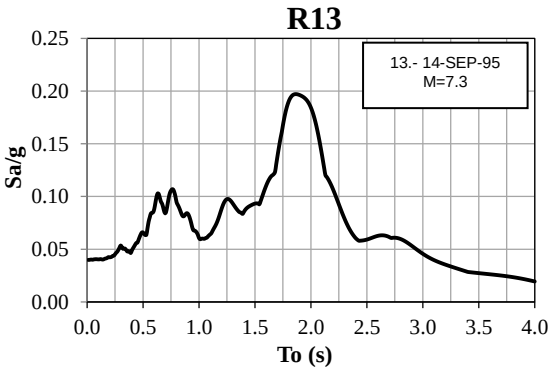

R8
6.- 09-OCT-95
M=7.5
Sa/g
To (s)

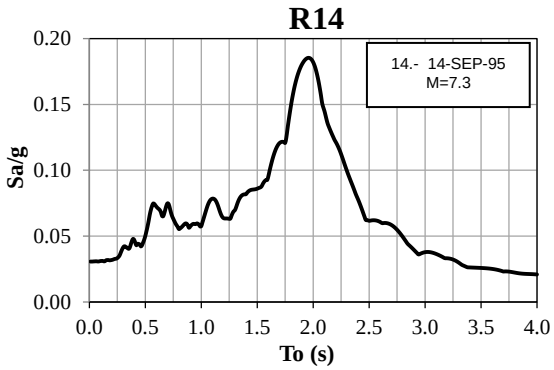

R9
9.- 09-OCT-95
M=7.5
Sa/g
To (s)

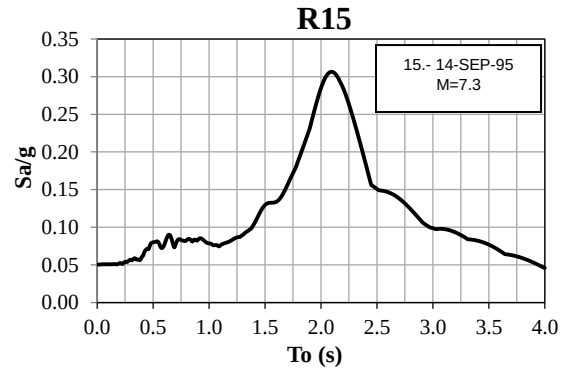

R10
10.- 09-OCT-95
M=7.5
Sa/g
To (s)

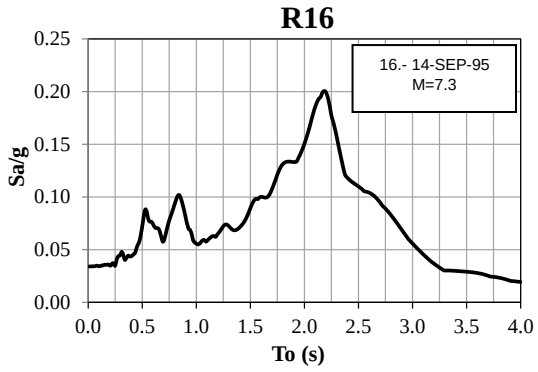

R11
11.- 09-OCT-95
M=7.5
Sa/g
To (s)

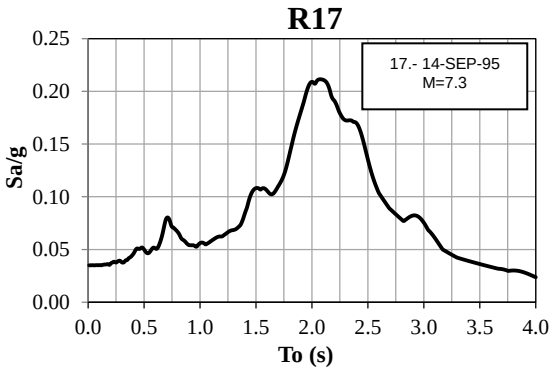

R12
12.- 09-OCT-95
M=7.5
Sa/g
To (s)

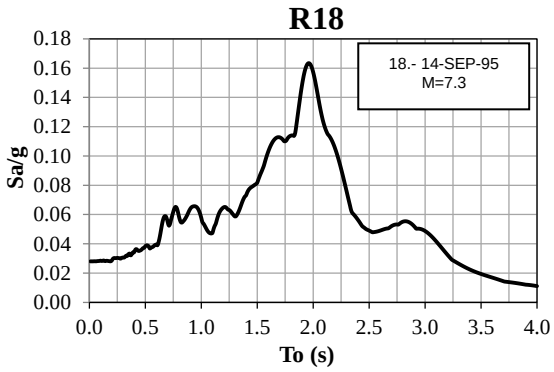

R13
13.- 14-SEP-95
M=7.3
Sa/g
To (s)

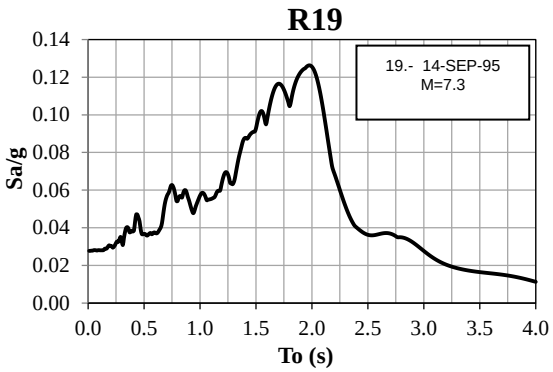

R14
14.- 14-SEP-95
M=7.3
Sa/g
To (s)

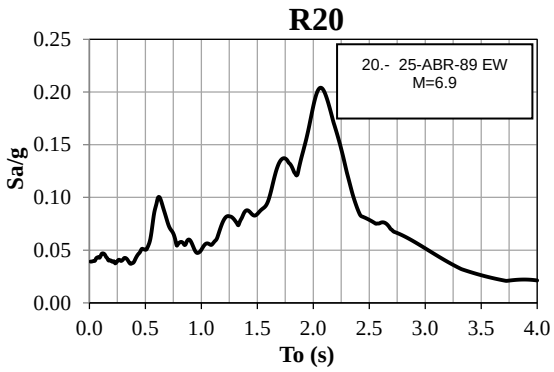

R15
15.- 14-SEP-95
M=7.3
Sa/g
To (s)

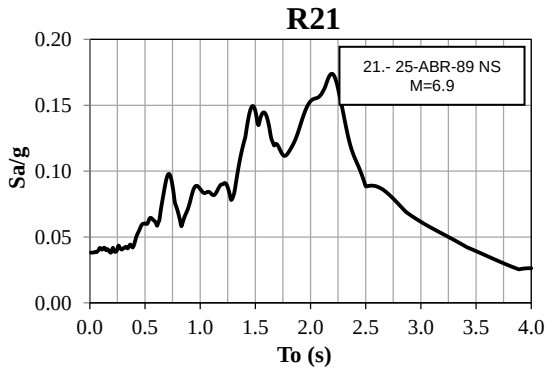

R16
16.- 14-SEP-95
M=7.3
Sa/g
To (s)

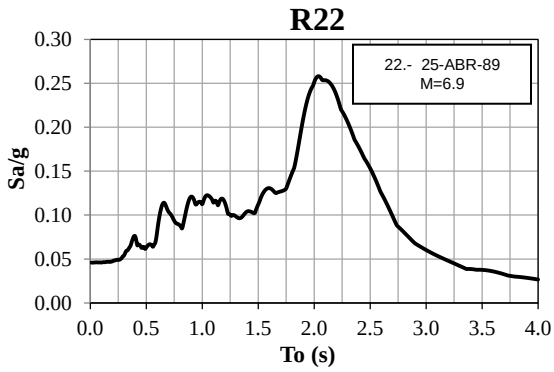

R17
17.- 14-SEP-95
M=7.3
Sa/g
To (s)

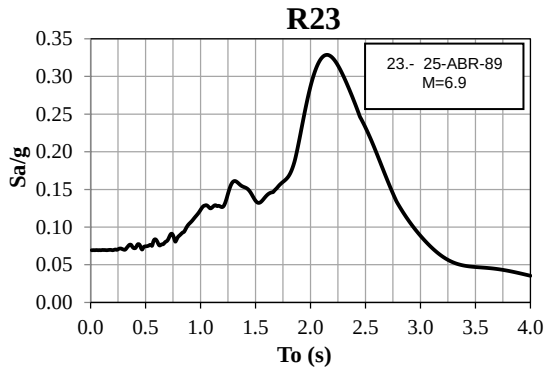

R18
18.- 14-SEP-95
M=7.3
Sa/g
To (s)

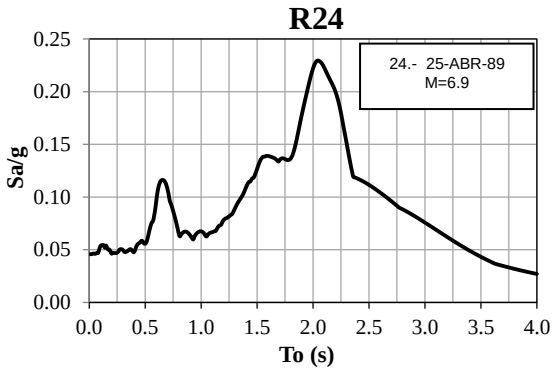

R19
19.- 14-SEP-95
M=7.3
Sa/g
To (s)

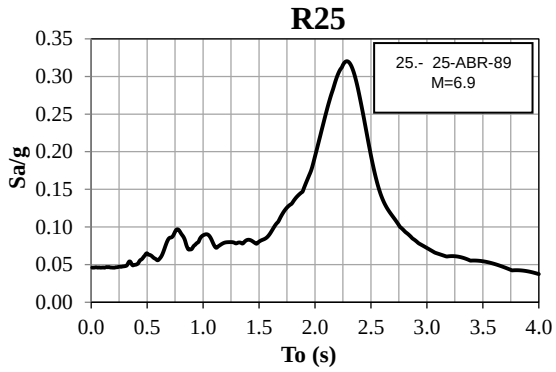

R20
20.- 25-ABR-89 EW
M=6.9
Sa/g
To (s)

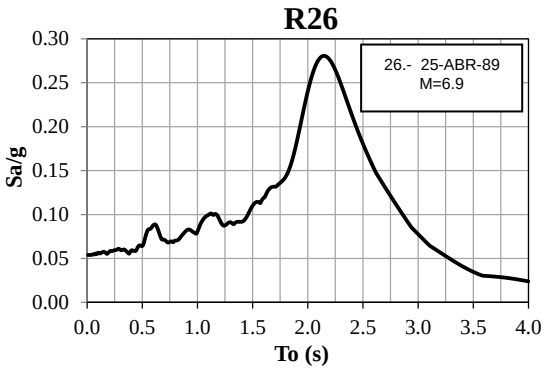

R21
21.- 25-ABR-89 NS
M=6.9
Sa/g
To (s)

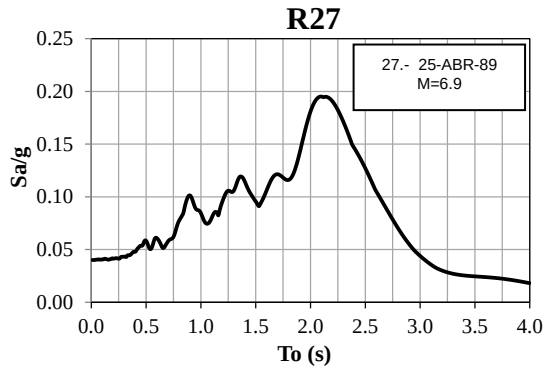

R22
22.- 25-ABR-89
M=6.9
Sa/g
To (s)

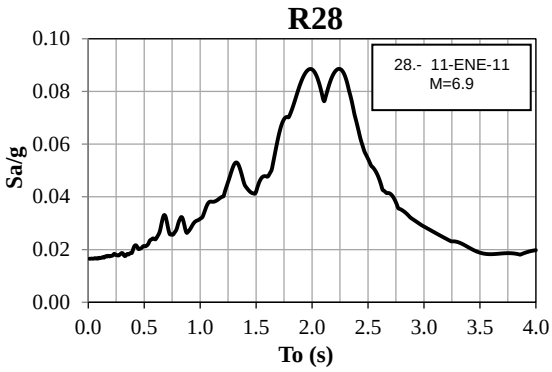

R23
23.- 25-ABR-89
M=6.9
Sa/g
To (s)

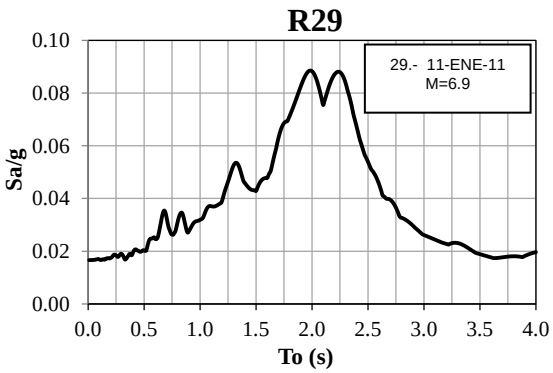

R24
24.- 25-ABR-89
M=6.9
Sa/g
To (s)

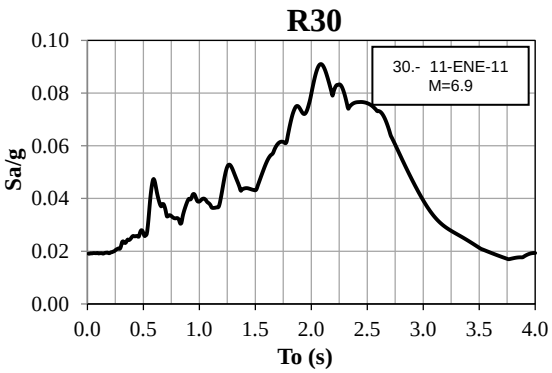

R25
25.- 25-ABR-89
M=6.9
Sa/g
To (s)

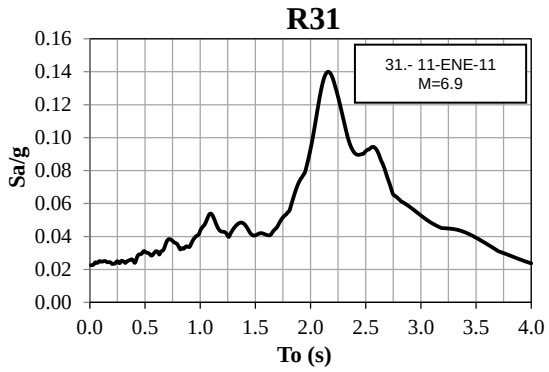

R26
26.- 25-ABR-89
M=6.9
Sa/g
To (s)

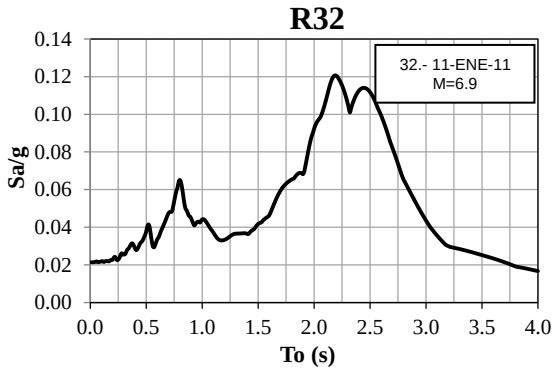

R27
27.- 25-ABR-89
M=6.9
Sa/g
To (s)

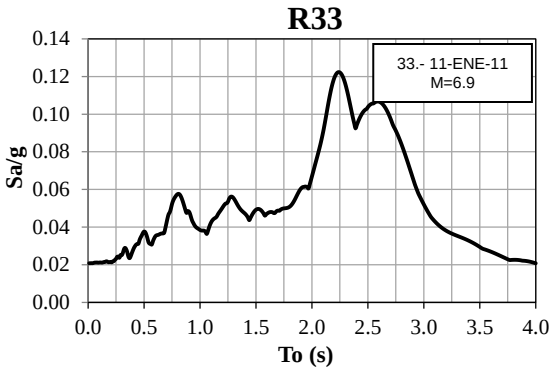

R28
28.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)

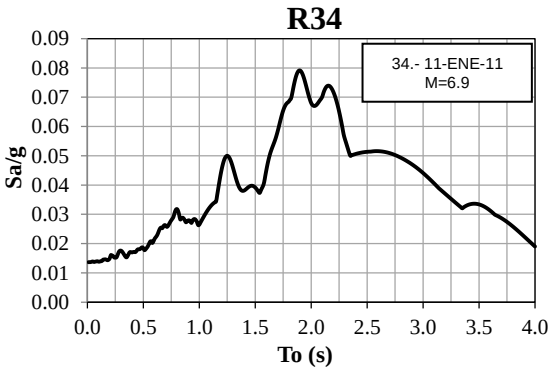

R29
29.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)

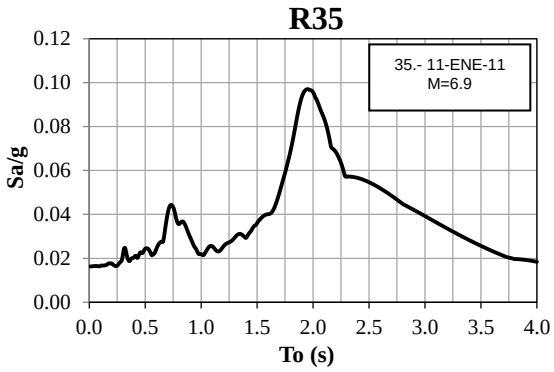

R30
30.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)

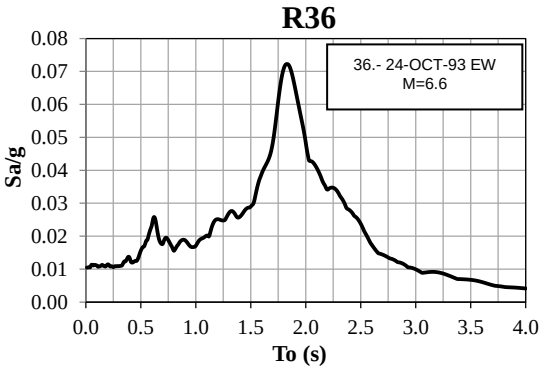

R31
31.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)


R32
32.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)


R33
33.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)


R34
34.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)


R35
35.- 11-ENE-11
M=6.9
Sa/g
To (s)


R36
36.- 24-OCT-93 EW
M=6.6
Sa/g
To (s)

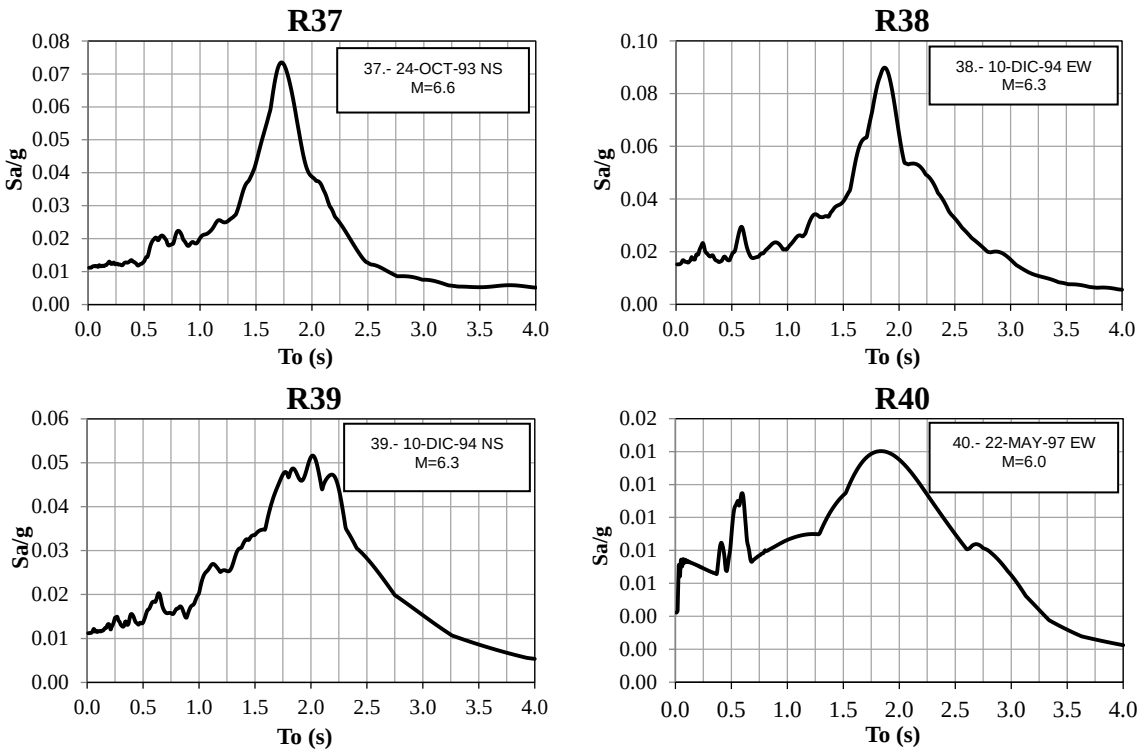


Figura 3. 14. Espectros de respuesta individuales, asociados a cada uno de los sismos utilizados en este estudio.

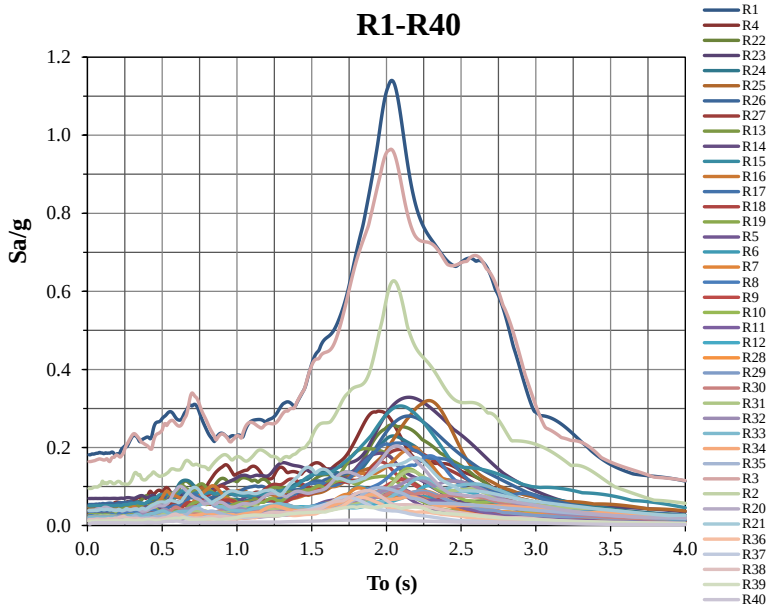


Figura 3. 15. Conjunto de espectros de respuesta lineales, para 5% de amortiguamiento.

IV. RESULTADOS

Índice de la degradación de la rigidez secante

Como quedó establecido anteriormente, el objetivo de este trabajo es el de colaborar con aportaciones que sean herramientas eficaces para la mitigación de los riesgos que trae consigo un fenómeno ambiental que ha sido evidenciado como de gran severidad por sus efectos y que puede provocar el fin del ciclo de vida de una estructura en el lapso de unos cuantos segundos como lo es un movimiento sísmico. El colapso de una estructura trae consigo la pérdida de vidas humanas y de bienes materiales, secuelas que vienen asociadas a este tipo de desastres naturales. El estudio y los trabajos de investigación del análisis de la confiabilidad sísmica de una estructura, como una propiedad intrínseca de todo sistema estructural, tiene sus inicios en los años 1960´s y ha servido como base para el desarrollo de los métodos de diseño en ingeniería estructural que se utilizan en la actualidad y para la elaboración de los códigos, reglamentos y de los manuales que son empleados por los ingenieros para el diseño y la construcción de estructuras seguras en todo el mundo, las cuales durante su desempeño están asociadas a los efectos de los fenómenos naturales y a sus incertidumbres.

La estimación de la confiabilidad estructural con referencia al colapso originado por la acción de algún movimiento sísmico, encuentra sus bases en la capacidad de deformación lateral del sistema estructural, de tal manera que este colapso ocurre cuando la amplitud máxima de la respuesta sísmica estructural (demanda) rebasa la capacidad de la estructura. El concepto de capacidad de deformación, como un indicador de la variable que determina la condición de colapso, cuenta con serias limitaciones en su uso práctico al ser utilizado en términos cuantitativos. Estas limitaciones van desde la sensibilidad de los resultados al definir el instante en que ocurre para impedir el colapso, hasta la definición de variables tales como el patrón de deformación lateral del sistema y las reducciones de resistencia y de rigidez asociadas con el daño producido por los ciclos previos de respuesta, correspondientes a eventos sísmicos anteriores o por otros agentes generadores de tales

daños como lo son los asentamientos diferenciales. Estas limitaciones han impulsado nuevos esfuerzos de investigación encaminados hacia el desarrollo de criterios alternativos, orientados a obtener estimaciones probabilísticas de los valores de las intensidades sísmicas que conducen al colapso del sistema *(Yc)*, pero para que sea adecuado, como indicador este criterio, la intensidad de colapso *Yc* debe de tener una alta correlación con la respuesta sísmica de la estructura. De aquí la importancia de contar con un algoritmo que permita obtener con eficiencia valores de la intensidad de colapso a partir de una muestra de factores de escala con valores adecuados para que aplicados a los acelerogramas conduzca a la obtención de la condición de colapso del sistema estructural y así obtener la confiabilidad de la estructura.

Uno de estos criterios, es el *Método del Análisis Dinámico Incremental(MADI)*, propuesto por *Vamvatsikos y Cornell (2002)*, el cual está basado en el concepto de la estimación de la intensidad de colapso *(Yc)* con la ayuda de un factor de escala adecuado que debe ser aplicado a un acelerograma. Las posibilidades de visualizar la evolución de las amplitudes de la respuesta sísmica en la medida en que la intensidad crece, y de observar los valores alcanzados por aquella intensidad antes de la aparición de la amplitud de la respuesta sísmica fuera de los límites, constituye una ventaja importante de éste método. Por estas razones, en este trabajo, la intensidad de colapso *(Yc)* se obtiene mediante el *Análisis Dinámico Incremental* pero aplicado al *Índice de Degradación de la Rigidez Secante(ADI-IDRS)*. Este índice está dado por la siguiente ecuación, la cual fue definida desde la *Ecuación 1.8:*

$$\boldsymbol{D(y) = 1 - \frac{K}{K_0}} \qquad \textbf{(4.1)}$$

De este modo, la intensidad de colapso *(Yc)* se obtiene cuando *D(Yc)=1*.

El nivel de confiabilidad sísmica se obtiene mediante el índice de confiabilidad β de *Cornell (1969)*, definida desde la *Ecuación 1.2* como:

$$\boldsymbol{\beta(y) = \frac{m_Z(y)}{\sigma_Z(y)}} \quad \textbf{(4.2)}$$

Y el margen de seguridad Z, definido desde la Ecuación *1.3*:

$$\boldsymbol{Z(y) = ln\frac{Y_C}{y} = lnY_C - lny} \quad \textbf{(4.3)}$$

El colapso se presenta cuando *Z(y)=0*, para *D(y)=1*. Un enfoque alternativo para la obtención del índice de confiabilidad $\beta(y)$, definido la *Ecuación 1.4*, es el siguiente:

$$\boldsymbol{\beta(y) = \frac{E(lnY_C) - ln(y)}{\sigma(lnY_C)}} \quad \textbf{(4.4)}$$

Donde *E(lnYc)*, es el valor esperado del *lnYc*.

Estructuras analizadas

Resumiendo lo que se presentó en el Capítulo II, en la metodología descrita que se aplicó a una muestra de *ocho* edificios de *10* niveles resultantes de una simulación de *Monte Carlo* tomando en cuenta las incertidumbres asociadas a la resistencia del concreto *(f´c)*, a la fluencia del acero *(fy)*, a las cargas vivas *($W_{vmáx}$)* y a *40* acelerogramas registrados en el Valle de la Cd. de México. Las propiedades geométricas del edificio original son mostradas en la *Figura 4.1a*. El edificio fue diseñado de acuerdo con el *Reglamento de Construcción del Distrito Federal RCDF (2004)* para uso de oficinas *(Grupo B)*. El periodo fundamental del edificio es de *To = 1.17s* y con un coeficiente resistente de fluencia de *Cy=0.4, (Montiel, 2006)*.

Los edificios simulados se modelaron en el programa *DRAIN 2D modificado* por *Campos y Esteva (1997)*, para su análisis no lineal. Cada edificio contiene un marco

exterior y uno interior, conectados por un diafragma rígido. El acoplamientos entre los marcos fue tomado en cuenta por medio de un modelo estructural de dos dimensiones ligando a los marcos por medio de conectores biarticulados (*Figura 4.1b*). Los marcos fueron formados por columnas y vigas a flexión. La relación momento-rotación para cada elemento fue calculada asumiendo el modelo para concreto confinado originalmente propuesto por *Kent and Park (1971)* y modificado por *Park et al (1982)*. La relación esfuerzo-deformación axial para las barras de acero fueron representados por medio del modelo de *Mander (Mander, 1984)*. El comportamiento estructural histerético se asumió bilineal con la relación de post-fluencia a la rigidez inicial del *3.0%*.

En la *Tabla 4.1* se muestran los valores asignados para los ocho modelos, tomando en cuenta las incertidumbres en las propiedades mecánicas de los materiales *(f´c* y *fy)* y en las cargas vivas máximas actuantes *($W_{vmáx}$),* adicionalmente se muestran también los valores nominales *(MN)* y medios *(MM).* En esta tabla se utiliza la nomenclatura *(M1-M8)* para denotar los modelos con valores inciertos en propiedades mecánicas de los materiales y cargas vivas actuantes, *(M9)* para el modelo con valores medios y *(M10)* para el modelo con valores nominales. Los valores inciertos de cada parámetro *(f´c, fy* y *$W_{vmáx}$)* son obtenidos a partir de simulaciones, *Rangel et al, (2005).*

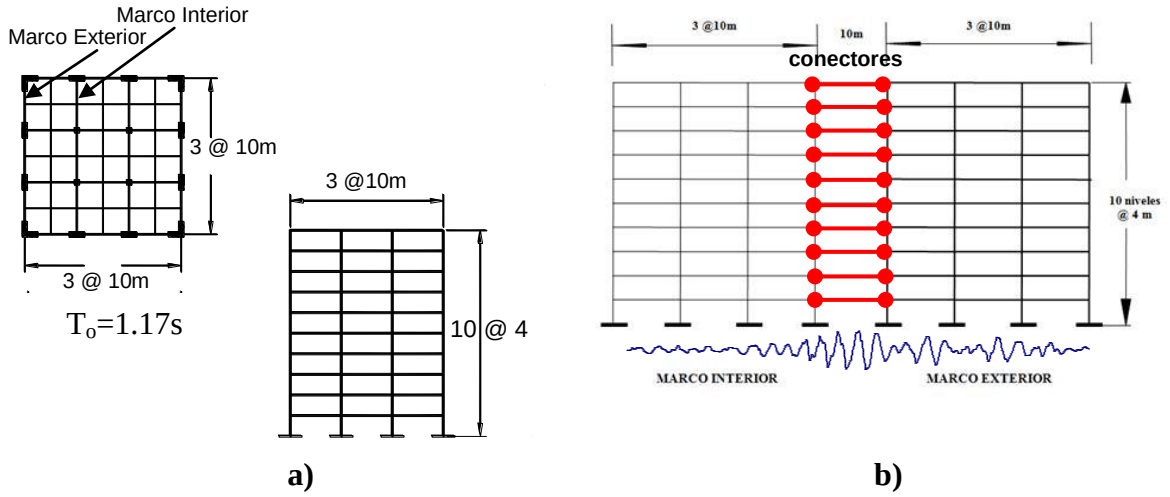


Figura 4.1. a) Planta y elevación del edificio original y *b*) Modelo bidimensional usado para el análisis no lineal.

Tabla 4.1. Valores de $f'c$,fy y $W_{vmáx}$ utilizados en el análisis de los marcos.

Marco	f'_c (kg/cm^2)	f_y (kg/cm^2)	$W_{vmáx}$ (kg/m^2)
M1	308	5090	78
M2	246	4445	134
M3	287	3970	40
M4	234	4816	89
M5	250	4055	57
M6	199	5553	99
M7	330	5974	104
M8	304	4407	67
M9=MM	268	4680	75
M10=MN	250	4200	180

Movimientos sísmicos seleccionados para los análisis

El análisis de la confiabilidad sísmica requiere la selección y el uso de registros sísmicos que puedan reflejar adecuadamente las características dinámicas y el contenido de energía de los movimientos sísmicos que se espera ocurran en el sitio de la construcción. Para esto, fueron seleccionados *40* sismos de banda angosta registrados en la Zona de Lago de la Ciudad de México. Todos los movimientos sísmicos fueron registrados durante eventos de subducción con los epicentros localizados en las Costas del Pacífico de México (ver *Figura 4.2a*), los cuales presentan magnitudes *(Mw)* desde *6.0* hasta *8.1* grados. Los correspondientes espectros elásticos de pseudo-aceleración se muestran en la *Figura 4.2b*, para un porcentaje de amortiguamiento crítico *(ξ)*del *5%*. Se puede ver que los espectros de los movimientos sísmicos presentan periodos dominantes entre *1.5* y *2.2s*.

a) **b)**

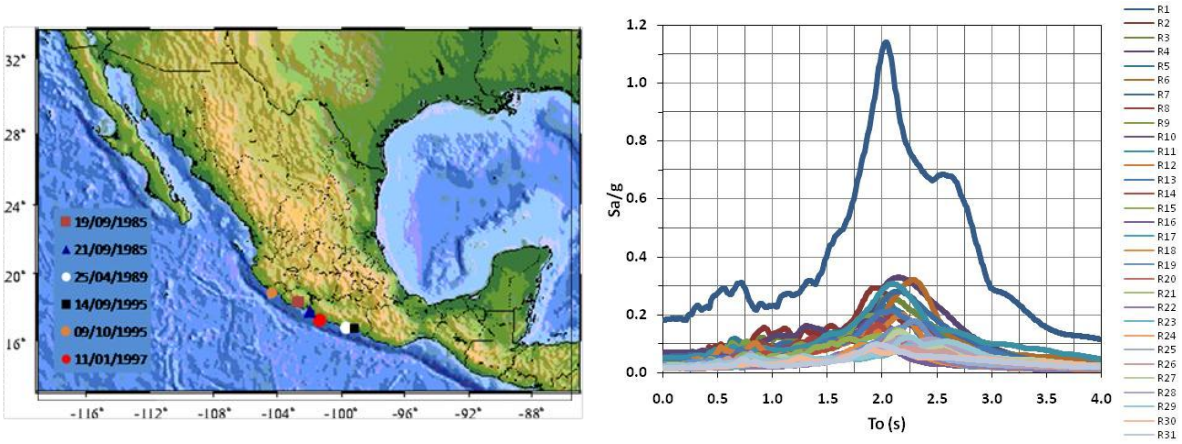


Figura 4.2. *a*) Epicentros de los sismos de subducción usados para los análisis y *b*) los correspondientes espectros elásticos de pseudo-aceleración para *5%* de amortiguamiento.

Resultados importantes a partir del *ADI-IDRS*.

Para poder obtener las estimaciones probabilísticas de los valores de las intensidades sísmicas que conducen al colapso del sistema para evaluar la confiabilidad estructural, se realizaron Análisis Dinámicos Incrementales del Índice de la Degradación de la Rigidez Secante *(ADI-IDRS)*. Estos análisis se muestran en la *Figura 4.3* relacionados con los *40* sismos y con los *ocho* marcos de *10* niveles usados, tomando en cuenta las incertidumbres asociadas a los sismos y a las propiedades mecánicas de los materiales.En esta figura, se grafica en el eje de las ordenadas el nivel de intensidad sísmica medido por medio de la pseudoaceleración espectral asociada al periodo fundamental de la estructura *(To=1.17s)* para un amortiguamiento *(ξ)* del *5%* del crítico *(Sa/g)* dividido entre la gravedad *(g)*, el cual a su vez ha sido afectado por un factor de escalamiento adecuado para llevar a la estructura a la condición de colapso *(Y_C)*. Para la obtención de la gráfica de la *Figura 4.3*, se realizaron una gran cantidad de corridas, cuyos resultados se pueden apreciar en el *Anexo 1*. Ahí mismo, en el *Anexo 1*, se puede advertir cómo es que se obtienen y se seleccionan de manera manual las respuestas máximas de cada una de las estructuras. Este

tipo de trabajos son candidatos a buscar la programación en computadora de sus procedimientos buscando la optimización de recursos.

En el eje de las abscisas se grafica el desempeño de la estructura medido por el Índice de Degradación de la Rigidez Secante *D(y)*, el cual es un índice propuesto como un indicador del daño que sufre una estructura a causa de un sismo conforme se incrementa la intensidad, (cuyos efectos merman las propiedades mecánicas del edificio y disminuyen la capacidad de la estructura para soportar cargas futuras dejando al sistema en condiciones de mayor vulnerabilidad hasta llegar al colapso).

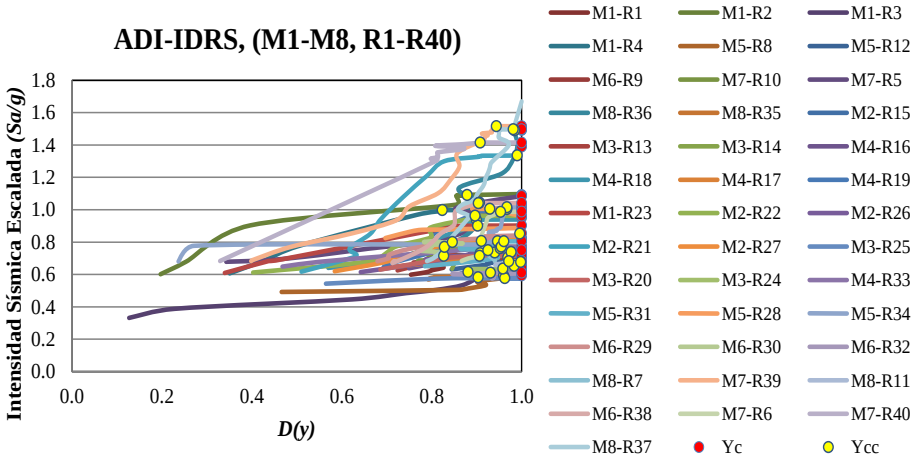


Figura 4.3. Análisis Dinámicos Incrementales del Índice de Degradación de la Rigidez Secante *(ADI-IDRS)* para *40* sismos y *8* marcos en estudio. Círculos amarillos indican la intensidad cercana al colapso *(Y_{Cc})* y círculos rojos la intensidad de colapso *(Y_C)*.

Las formas de las curvas en la *Figura 4.3* varían dependiendo del sismo, del marco y del grado de no-linealidad de la estructura. La condición de colapso se muestra en la *Figura 4.3* mediante los círculos rojos *(Y_C)*, lo cual sucede cuando el valor de la rigidez secante degradada adoptado por el sistema (en el instante cuando el desplazamiento lateral en la azotea alcanza su valor máximo) es cero, es decir : *K=0*, o lo que es lo mismo, cuando el Índice de Degradación de la Rigidez Secante es igual a la unidad *(D(Yc)=1) (Ecuación 4.1)*, el cual corresponde a un cortante en la base en términos de capacidad con valor de cero. Un instante antes de que se presente la condición de colapso *(Y_C)* se obtienen las

intensidades sísmicas cercanas al colapso *(Y_{Cc})* mostradas en la *Figura 4.3* con círculos amarillos, cuyos valores asociados al índice de daño varían entre $0.823 \leq D(y) < 1.0$.

Este índice *D(y)* como un indicador del colapso es muy útil debido a que elimina la dificultad para definir la condición de colapso a partir de un desplazamiento máximo en la azotea. Por medio del análisis *ADI-IDRS* puede obtenerse información valiosa del comportamiento del sistema estructural en el rango entre $0.8 \leq d < 1.0$ asociado al estado límite cercano al colapso.

Los valores de Y_{CC} se pueden utilizar en la evaluación de la confiabilidad para un estado límite cercano al colapso, mientras que Y_C se puede utilizar para evaluar el margen de seguridad *Z* y el índice de confiabilidad.

Los valores estadísticos de los parámetros correspondientes al promedio y a la desviación estándar del estado límite de colapso *(Y_C)* y del cercano al colapso *(Y_{Cc})* para la intensidad *(y)* y el índice de daño *D(y)* se muestran en la *Tabla 4.2*.

Tabla 4.2. Parámetros estadísticos del estado límite cercano al colapso (Y_{Cc}) y colapso *(Y_C)*.

	Y_{Cc} *Sa/g*	Y_C *Sa/g*	$D(Y_{Cc})$	$D(Y_C)$
Promedio	0.8832	0.8898	0.9308	1.00
Desv. Estándar	0.2610	0.2620	0.0470	0.00

Se puede observar que no existen diferencias significativas entre las intensidades Y_{Cc} y Y_C para los estados límite cercanos al colapso y del colapso necesario para evaluar la confiabilidad. No así para $D(Y_{Cc})$ y $D(Y_C)$, cuyos valores de $D(Y_{Cc})$varían dependiendo de la sensibilidad de la estructura en la zona cercana al colapso (Y_{Cc})la desviación estándar de $D(Y_C)=0$ debido a que el colapso siempre se presenta cuando $D(y)=1$, o sea, no hay variación. Por eso la efectividad de esta metodología que permite obtener una intensidad de colapso Y_C cuando el daño es total. Los valores de YC se utilizan en la Ecuación 4.4 para la obtención del índice de confiabilidad β.

Por otro lado, en la *Figura 4.4* se presentan los resultados de los Análisis Dinámicos Incrementales correspondientes a los factores de escala *(FE)* utilizados en los escalamientos de los acelerogramas.

Se puede observar que para algunos sismos son necesarios factores de escala muy bajos desde 3 o 4, hasta factores mayores del orden de *70* u *80*, lo que indica la variabilidad de este factor debido a la naturaleza incierta en la magnitud delsismo y a la variación en las propiedades mecánicas de los materiales en los marcos modelados. En la *Figura 4.4*, las curvas con mayor pendiente requieren de un factor de escala *(FE)* mayor (que el requerido en las curvas de menor pendiente).

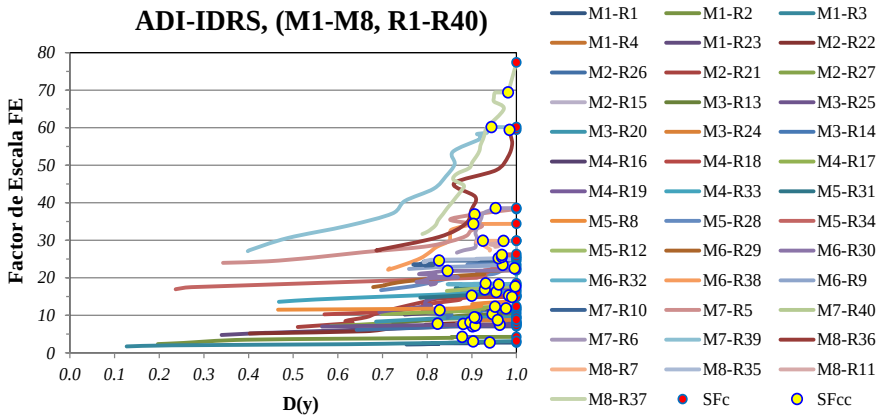


Figura 4.4. Análisis Dinámicos Incrementales del Índice de Degradación de la Rigidez Secante *(ADI-IDRS)*, en función del factor de escala *(FE)*.

Por otro lado, se puede observar también que el rango de valores de las intensidades sísmicas de colapso van desde *0.594g* como un valor mínimo en la *Figura 4.3* para el Marco *M8* y sismo *R35* con un factor de escalamiento *FE* de *25.21* en la *Figura 4.4*, hasta el valor máximo encontrado de *1.52g* en el Marco *M7* para el registro sísmico *R39* correspondiente a un *FE* de *60.17*, por lo que la menor intensidad no está necesariamente asociada a un menor factor de escala, ya que no guardan entre sí una relación lineal. Un sismo de intensidad alta, necesita un factor de escala pequeño para lograr la intensidad cercana al colapso Y_{CC}y de colapso Y_C.

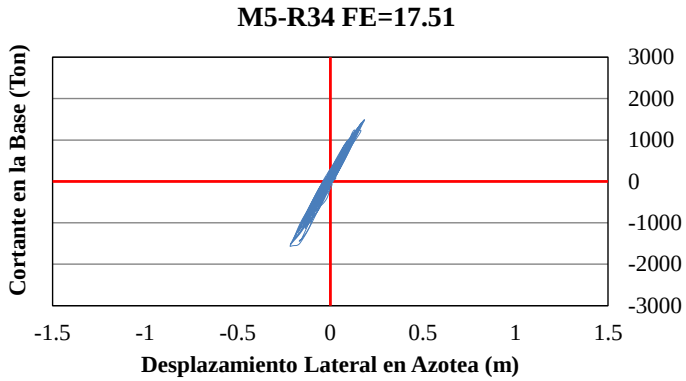
Consecuentemente, en las *Figuras 4.5a, b* y *c*, se puede observar el efecto que el factor de escala *(FE)* tiene en la respuesta global de la estructura representada por medio de los ciclos de histéresis del cortante en la base y el desplazamiento máximo de azotea, de los cuales se obtiene la rigidez secante *(K)* necesaria para obtener el índice de daño *D(y).* Esta rigidez se obtuvo a partir de la pendiente de la recta que une el origen con el desplazamiento máximo en la azotea. La pendiente se obtuvo al dividir el cortante basal entre el correspondiente desplazamiento máximo de azotea.

En la *Figura 4.5a*, se puede observar que para un *FE=17.51*, se tiene un comportamiento prácticamente lineal para este sismo y marco *(R34, M5)*, por lo que la rigidez secante *K=7196.92 ton/m* es del orden de la rigidez elástica: K_0*=9882.86 ton/m*, lo que el índice de daño resulta bajo: *D(y)=0.272 (ver Ecuación 4.1)*. Es decir, una estructura prácticamente elástica.

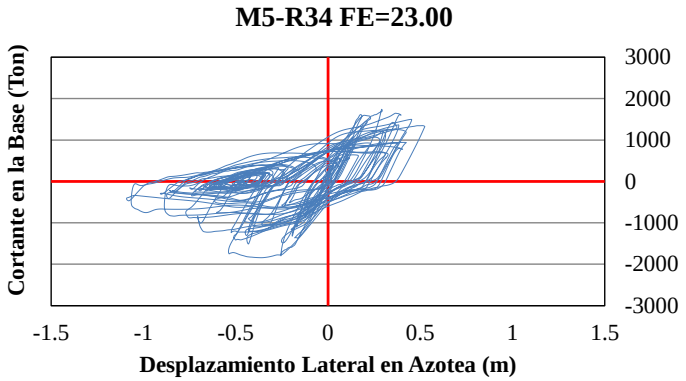
En la *Figura 4.5b*, para un *FE=23*, el comportamiento no lineal es considerable por lo que la rigidez secante es baja: *K=384.40 ton/m*, por lo cual resulta un índice de daño cercano a uno: *D(y)=0.9611*.

En la *Figura 4.5c*, para un *FE=26.30*, se puede observar que la estructura está colapsada, los desplazamientos se han disparado, lo que se obtiene una *K=0* por lo tanto un *D(y)=1*.

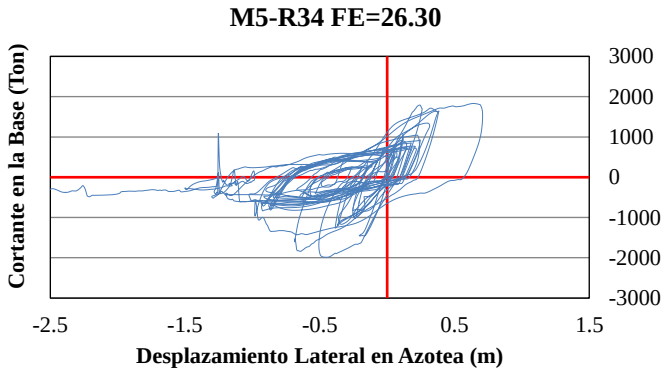
Desde luego que en los casos anteriores habrá *FE´s* intermedios que permitan ver la evolución del índice de daño *D(y)*, sus valores pueden verse en las *Figuras 4.3* y *4.4* para diferentes niveles de la intensidad, y del factor de escala. La representación de la evolución del comportamiento no lineal de las estructuras mediante los ciclos de histéresis conforme el factor de escala se incrementa se puede observar en el Apéndice 1 donde se muestran todos los resultados. En el Apéndice 1 se puede observar la gran cantidad de tiempo invertido y del trabajo que está detrás de esta tesis, que posibilita el entendimiento de todo el procedimiento. Aquí se presentan de manera sintética estos resultados, por ser repetitivos.



a) Estructura prácticamente elástica, *D(y)=0.272*.



b) Cercana al colapso, *D(y)=0.9611*.



c) Estructura colapsada, *D(y)=1*.

Figura 4.5. Ciclos de histéresis de la respuesta global para diferentes factores de escala *FE*.

Las rigideces elásticas *(K_0)* usadas para obtener el índice de daño *D(y)* de la *Ecuación 4.1* para los marcos simulados (M1-M8) se obtuvieron a partir de los análisis del Empuje Lateral Seudo Estático *(ELSE)*, los cuales se muestran en la *Figura 4.6*. Aquí se puede ver la diferencia tanto en rigidez y resistencia de los diferentes marcos simulados a partir de las propiedades mecánicas de los materiales y cargas vivas mostradas en la *Tabla 4.1*. Cada marco (*M1-M8*) por lo tanto estará representado por gráficas de formas de comportamiento diferentes (*Figura 4.6*), ante los 40 sismos seleccionados. A cada uno de los ocho marcos le correspondieron cinco sismos diferentes, lo que nos arroja cuarenta curvas diferentes.

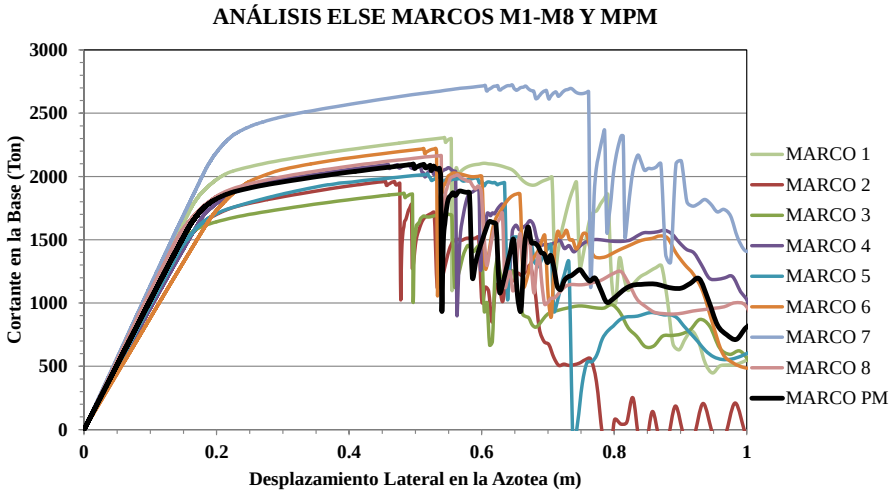


Figura 4.6. Análisis *ELSE* para los ocho marcos de 10 niveles *(M1-M8)*. La línea negra corresponde al marco con propiedades mecánicas medias *(MPM)*.

Relación entre el índice de daño *D(y)* y el margen de seguridad *Z(y)*

Otra manera de ver como varían las estructuras conforme se acercan al colapso cuando *D(y)* alcanza su valor máximo *D(y)=1* es mediante la relación que guardan este índice *D(y)* con el margen de seguridad *Z(y)*, el cual está en función de la intensidad de colapso de la estructura (Y_C) y de la intensidad del sismo *(y)*, es decir: $Z(y)=ln(Y_C)-ln(y)$.

Los pares de valores de estas variables se obtienen en la *Figura 4.7* para los diferentes marcos y sismos analizados. Se puede observar que el margen de seguridad disminuye conforme la estructura se acerca al colapso, es decir para cuando tiende *D(y)=1* y *Z(y)=0*. Esta tendencia puede ser vista por medio de la curva en color azul, la cual representa el valor esperado del margen de seguridad *E(Z)*.

Es posible notar que esta curva inicia en una zona elástica de la estructura, (es decir valores de $Z \gg 0$ lejanos del colapso y para valores de *D(y)* cercanos a cero), hasta valores de colapso *(*cuando*D=d=1, Z=z=0)*, o lo que es lo mismo para *lnD=0* y *Z=0*.

En esta figura cuando *Z(y)* es negativo *(Z(y)<0)* indica que la intensidad de colapso *(Y_C)* de la estructura fue rebasada por la intensidad del sismo *(y)*, es decir colapsó: *D(y)=1*. Esto sucede cuando la resistencia al cortante en la base del edificio ocasiona una rigidez secante degradada igual a cero.

En la *Figura 4.8* se muestra la tendencia de la varianza del margen de seguridad *Z(y)* relacionado con los valores del Índice de Degradación de la Rigidez Secante *D(y)* y su curva de tendencia producto de una regresión lineal. Se puede observar que en general los valores son bajos, conforme la estructura se acerca al colapso *D(y)⇒1* la varianza $\sigma^2(Z)$ tiende a cero.

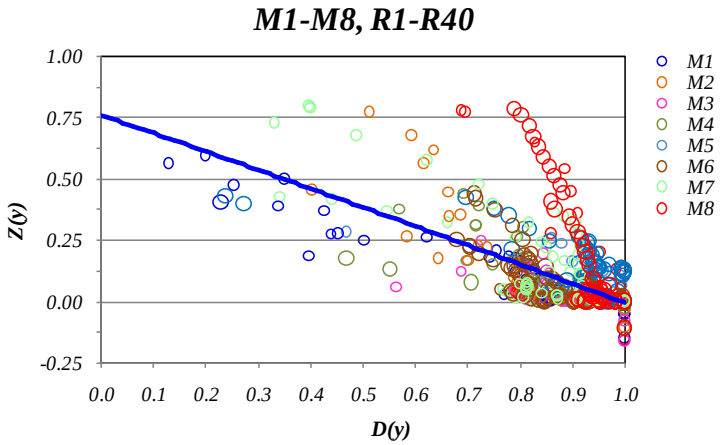


Figura 4.7. Relación entre el índice de daño *D(y)* y el margen de seguridad *Z(y)*. Línea azul corresponde al valor esperado de *E(Z)*.

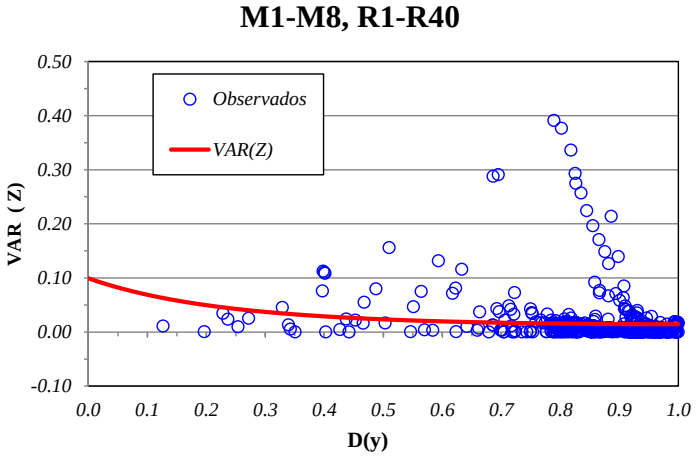


Figura 4.8. Valores del error cuadrático medio utilizado para estimar la varianza de *Z* y su línea de tendencia en rojo.

Obtención de la relación de la confiabilidad sísmica y del margen de seguridad de los edificios: *β(y)* vs *Z(y)*

Con las intensidades de colapso *(Y_C)* obtenidas de los *ADI´s* es posible calcular la confiabilidad sísmica de los edificios en función del margen de seguridad *Z(y)*. Estos resultados se muestran en la *Figura 4.9*. En la *Figura 4.10* podemos observar el comportamiento de la curva correspondiente a la intensidad de colapso promedio $Y_{Cpromedio,}$ la cual no solo conserva la misma pendiente, sino que adicionalmente es colineal. Las rectas de la *Figura 4.9* son obtenidas mediante el índice de Cornell *β(y)* (en el eje vertical) correspondientes a los ocho marcos de 10 niveles y los 40 sismos usados para los análisis y la relación que guardan con el margen de seguridad correspondiente *Z(y)* (eje horizontal), desde la condición de colapso del sistema cuando $Z(y=Y_C)=0$, hasta valores de $Z(y<<Y_C)=1$, cuando la intensidad del sismo *(y)* está muy por debajo que la de colapso *(Y_C)*. Como se puede observar la relación que guardan es lineal, lo que a mayor margen de seguridad *Z(y)* en el sistema mayor índice de confiabilidad *β(y)* en la estructura.

Se hace notar en la *Figura 4.9* que a menor resistencia en el marco y a mayor intensidad del sismo se obtiene una recta con menor índice de confiabilidad. Dicho de otra manera, para un mismo *Z(y)*, se obtienen diferentes niveles de confiabilidad dependiendo del nivel de incertidumbres en el marco y del sismo en cuestión.

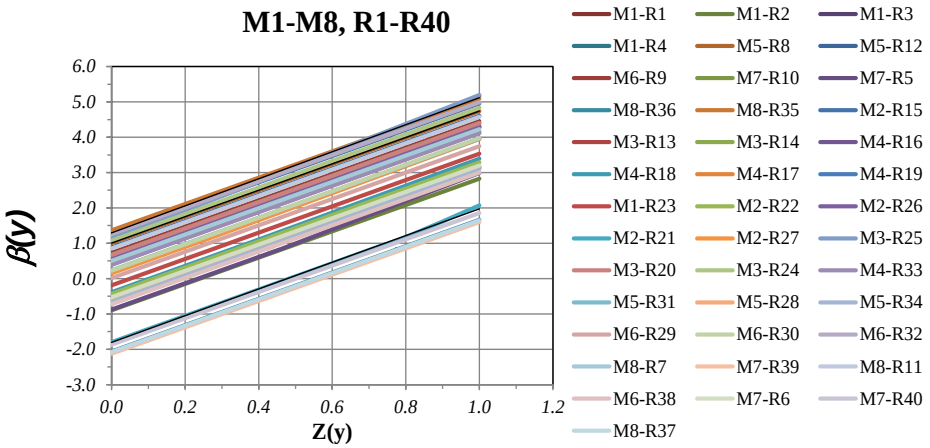


Figura 4.9. Índice de Confiabilidad *β(y)* de Cornell para diferentes valores del Margen de Seguridad *Z(y)* correspondientes a los ocho marcos de *10* niveles simulados y *40* sismos usados en los análisis.

Obtener las funciones de confiabilidad fue uno de los principales objetivos de este trabajo. Una gran cantidad de corridas fueron realizadas para obtener esta gráfica que permite trabajar sobre de ella con mucha facilidad (*Figura 4.9*), y obtener los valores del índice de confiabilidad β correspondientes a un determinado margen de seguridad de un edificio de concreto reforzado, y viceversa, diseñado de acuerdo con RCDF, lo que no se conocía antes con la claridad presentada aquí. De aquí surge la necesidad de conocer las variaciones en otro tipo de edificios de diferentes niveles y para diferentes tipos de materiales, en futuras aplicaciones.

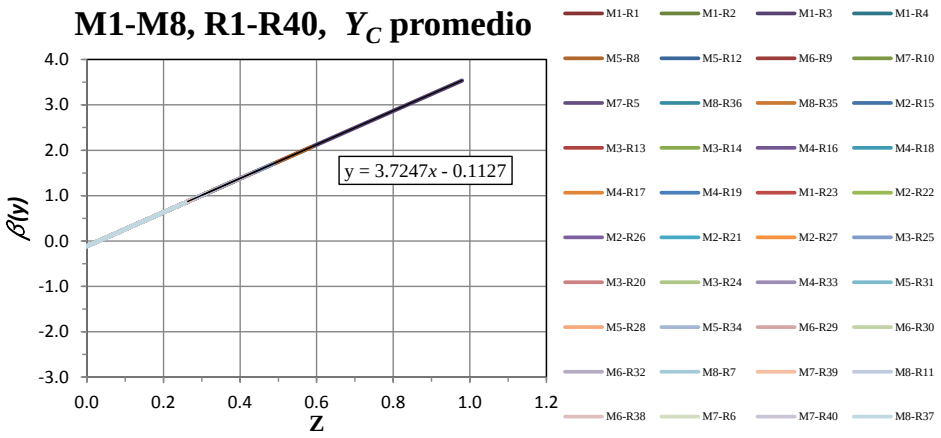


Figura 4.10. Índice de Confiabilidad *β(y)* de Cornell para diferentes valores del *Margen de Seguridad Z(y)* correspondientes a los ocho marcos de 10 niveles simulados y 40 sismos usados en los análisis, considerando el valor promedio de la intensidad de colapso Y_{Cprom}.

Para fines de diseño o evaluación, un índice de confiabilidad *β(y)* adecuado deberá ser positivo, alcanzando valores de hasta 5 como se muestra en la *Figura 4.9* para un margen de seguridad *Z(y)=1*, lo que implica una estructura elástica. Para este fin, un índice de confiabilidad negativo es un índice no deseable, el cual indicará una alta probabilidad de que la estructura se colapse y esto sucede cuando el valor esperado del logaritmo natural de la intensidad de colapso es alcanzado y/o rebasado por la intensidad del sismo, es decir: $y_i \geq E(lnY_C)$. De esta manera, un margen de seguridad *Z(y)* será recomendable hasta que sea lo suficientemente alto para obtener un índice de confiabilidad positivo. Por ejemplo, para las

rectas de más abajo en la *Figura 4.9*, el mínimo *Z(y)* requerido deberá ser mayor a *0.6* para obtener un índice $\beta(y)$positivo.

Las cuarenta rectas de la *Figura 4.9* todas son paralelas entre sí, y en la *Figura 4.10* las cuarenta rectas son colineales, *Montiel y Díaz de León (2012)*, razón por la cual comparten la misma pendiente *m*, mostrando las diferencias entre cada una en los valores correspondientes a $\beta(Y_C)$ cuando $Z(Y_C)=0$, cuando no se utiliza la $Y_{Cpromedio,}$. Debido a la relación lineal que guardan, en términos generales las rectas en la figura se pueden expresar como sigue:

$$\beta(y)=\beta_{Z=0}(Y_C)+m\bullet Z(y) \tag{4.5}$$

Donde: $\beta_{Z=0}(Y_C)$, es la ordenada en el origen. Es decir, el valor de $\beta(y)$ cuando se presenta el colapso: $Z(y)=0$.

También podemos encontrar una expresión particular que nos permita obtener el índice de confiabilidad o bien, el margen de seguridad que queramos asignar a la estructura en cuestión considerando que $\beta_{Z=0}(Y_C)$ es conocida o fácil de obtener a partir de los resultados ya obtenidos. Para el caso de los edificios de *10* niveles, en donde *m=3.698*, tenemos que:

$$\beta(y)=\beta_{Z=0}(Y_C)+3.698\ Z(y) \tag{4.6}$$

$$\beta(y)=\beta_{Z=0}(Y_{Cprom})+3.724\ Z(y) \tag{4.7}$$

En donde $\beta_{Z=0}(Y_C)$ indica el nivel de incertidumbres asociadas al sismo, a las propiedades mecánicas de los materiales y a las cargas vivas del edificio, consideradas en este estudio. Para el caso particular en el que la ordenada en el origen sea cero: $\beta_{Z=0}(Y_C)=0$, el índice $\beta(y)$ tendrá una relación de *3.7* veces el margen de seguridad *Z(y)*, es decir:

$$\beta(y)= 3.7\ Z(y) \tag{4.8}$$

Índice de confiabilidad *β(y)* de Cornell en función del índice de degradación de la rigidez secante *D(y)*

Otra manera de relacionar el índice de confiabilidad *β(y)* de Cornell, es en función del índice de daño *D(y)*, tal como se muestra en la *Figura 4.10*. Como se puede observar, el nivel de confiabilidad disminuye conforme el índice de daño se acerca al colapso para *D(y)=1*.

De igual forma que en la *Figura 4.9*, cuando *β(y)* es negativo indicará que la intensidad de colapso en promedio ha sido rebasada por la intensidad del sismo. En el caso de que la intensidad de colapso coincidiera con la del promedio de todos los marcos y sismos analizados entonces el índice de confiabilidad sería cero: *β(y)=0*, para el margen de seguridad: *Z(y)=0*, cuando *D(y)=1*. Pero por definición *β(y)* toma en cuenta el promedio de todas las intensidades de colapso (*ver Ecuación 4)* y no la intensidad de colapso de cada sismo como *Z(y) (ver Ecuación 3)*.

Esta relación nos lleva a observar que para un *β(y)=0* o negativo, no se ha presentado el colapso de la estructura en algunos casos y que en otros para un *β(y)* positivo ya se presentó el colapso real de la estructura.

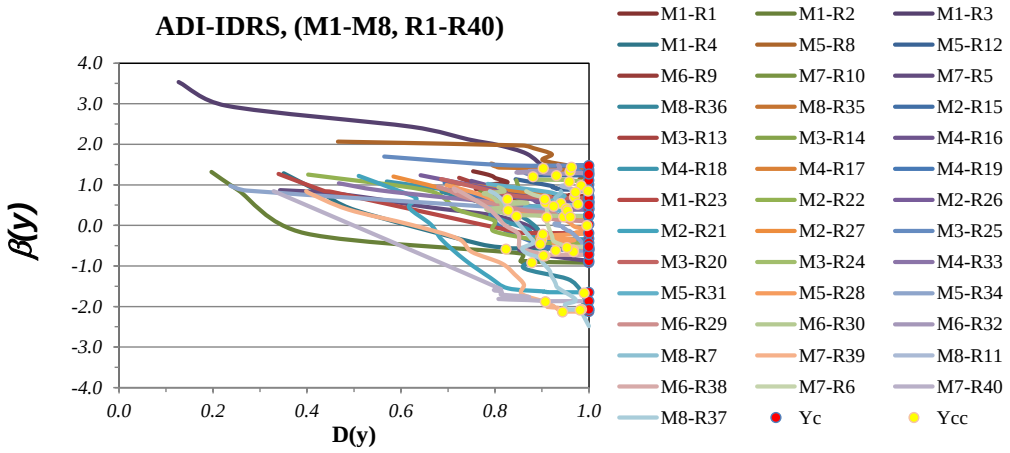


Figura 4.11. Índice de Confiabilidad *β(y)* de Cornell en función del índice de daño *D(y)* correspondientes a los ocho marcos de *10* niveles y *40* sismos.

V. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

Durante este trabajo de investigación se llevó a cabo la evaluación de la confiabilidad sísmica estructural de sistemas de múltiples grados de libertad. Para ello se realizaron análisis no lineales paso a paso de varias estructuras. Esto es, para tomar en cuenta las diferentes incertidumbres asociadas con las propiedades mecánicas de los materiales (*f´c* y *fy*) y las cargas vivas actuantes $w_{v_{max}}$, se generaron 8 edificios de 10 niveles con diferentes valores de estas propiedades como se puede ver en la *Tabla 4.1* y en la *Figura 4.6.* En esta última se presentan las diferentes curvas de resistencia lateral (V_b) contra desplazamiento de azotea para cada uno de estos edificios generados. En esta figura se puede observar que cada marco posee diferente resistencia, rigidez y capacidad de deformación lateral. Para su análisis no lineal estos edificios fueron modelados en el programa de cómputo *DRAIN 2D*, cuyo programa toma en cuenta la degradación de rigidez y resistencia que sufre la estructura conforme la intensidad del sismo se va incrementando.

Para tomar en cuenta las incertidumbres en la respuesta sísmica de los ocho diferentes marcos generados, se utilizaron 40 acelerogramas registrados en la zona donde se supone fue ubicada la estructura (correspondiente a la zona de lago del D.F.). Por lo que los ocho edificios se distribuyeron de la siguiente manera para hacer corridas con los 40 acelerogramas: al marco *M1* le correspondió los primero 5 acelerogramas, al *M2* los siguientes 5 acelerogramas y así sucesivamente hasta que al *M8* le correspondió los últimos 5 acelerogramas, por lo tanto se obtuvieron, 40 curvas de resultados asociadas a los 40 sismos. De esta manera se tomaron en cuenta las incertidumbres asociadas a los sismos, a las propiedades mecánicas de los materiales y a las cargas vivas actuantes.

Con estos edificios y sismos, el primer paso fue realizar Análisis Dinámicos Incrementales (*ADI's*), los cuales consisten en tomar un edificio y un sismo e ir escalando el sismo hasta realizar tantos análisis no lineales como sea necesario para lograr obtener el colapso de la estructura. El principal problema de estos análisis es el tiempo de cómputo que se consume para obtener el colapso y el tiempo en recabar de manera manual los datos que se necesitan para cada corrida. Una persona inicialmente se puede llevar meses en

realizar todas las corridas necesarias para este tipo de análisis. Una curva por ejemplo de la figura 4.3 puede tener desde 40 hasta 1000 puntos dependiendo de la calidad de los resultados que se quieran. Actualmente se diseñó un programa de computadora en lenguaje Fortran para obtener este tipo de curvas, pero para esta tesis se tuvo que hacer todo de manera manual y mecánica mientras se entendía el procedimiento. Actualmente se están obteniendo resultados de este tipo ya con el programa y aun así se ha llevado algunas semanas en obtener todas las curvas para los 40 sismos y ocho marcos analizados.

Cabe aclarar que en un principio no sabíamos cómo obtener la capacidad de colapso de la estructura, ya que existen muchos procedimientos no muy claros en la literatura. Este tipo de análisis nos permitió, una vez entendido, obtener esta capacidad de colapso de manera efectiva, clave en la evaluación de la confiabilidad de acuerdo con el método utilizado. Una contribución adicional fue que es la primera vez que se hicieron este tipo de análisis en función del índice de daño de la rigidez secante (ver *Ecuación 4.1*), es decir saber de qué manera se va degradando la rigidez de la estructura conforme se llega al colapso. Esto último también fue importante ya que existen diferentes formas no muy claras, de saber en qué momento se presenta el colapso de la estructura.

Obteniendo estos análisis a partir de los *ADI´s* fue relativamente sencillo aplicar las *Ecuaciones 4.3* y *4.4* para obtener las funciones de confiabilidad obtenidas en las *Figuras 4.9* y *4.11*. Una de las contribuciones de estas figuras fue conocer del orden de cuanto son los valores del índice de confiabilidad β de Cornell y del margen de seguridad Z para edificios de concreto reforzados ubicados en una zona sísmica específica. Esto se tendría que hacer además, para edificios con diferentes niveles y con diferentes tipos de materiales para obtener valores para diferentes familias de estructuras para conocer un rango más amplio de estos parámetros para su posible propuesta para futuros criterios de diseño y/o evaluación que se puedan incluir en futuros manuales o códigos de diseño, como se ha venido haciendo en otros países.

A partir de las *Figuras 4.9 y 4.10* se pudieron establecer límites adecuados para fines de criterio de diseño y/o evaluación de $\beta(y)$ de 0.0-0.5 y Z(y) de 0.6-1.0, para un edificio de 10 niveles y dependiendo del estado límite que se quiera evaluar.

Además, se obtuvieron cuatro expresiones (*Ecuaciones 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8*) que en lo general y de manera particular nos permite evaluar directamente la confiabilidad de un edificio de 10 niveles a partir de un determinado margen de seguridad que podremos predefinir, las cuales pueden ser aplicadas a la evaluación o en su caso al diseño estructural de edificios de varios pisos para un estado límite determinado.

Cabe aclarar que se presentan muchos de los resultados intermedios o de cálculos realizados en el Anexo I, los cuales detallan todo el procedimiento descrito. Y que por practicidad el capítulo de resultados fue hecho con base a uno de los artículos internacionales publicados: *Montiel M.A. and Díaz de León G.A. (2011)*.

VI. RFERENCIAS

Alamilla, J. L. & Esteva, L. 2006. Seismic reliability functions for multistory frame and wall-frame systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics,* 35**:** 1899-1924.

Alamilla, J. L. 2001. Reliability-based seismic design criteria for frame systems. PhD Thesis, *Graduate School of Engineering, National University of Mexico* (in Spanish).

Campos-Arias D. y Esteva L., (1997). Modelo de comportamiento histerético y de daño para vigas de concreto reforzado. *XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Veracruz, Ver. México, pp 567-573.

Cornell, C. A. 1969. A probability based structural code. *Journal of the American Concrete Institute* 66 (12).

Díaz-López, O. & Esteva, L. 2006. Seismic reliability analysisof complex nonlinear systems, using secant-stiffness reduction indicators. Proc. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland.

Díaz-López, O. & Esteva, L. 2009. About efficient estimation of the seismic reliability of complexstructural systems.ICOSSAR 2009, (International Conference on Structural Safety and Reliability), Osaka, Japón.

Díaz-López, O., Ismael-Hernández, E. & Esteva, L. 2008.About efficient algoritmhs for the determination of seismicreliability functions of multistory buildings.Proc. *International Federation for Information Processing (IFIP) 14th WG7.5 Working Conference*, Toluca, Mexico.

Esteva, L. & Díaz-López, O. 2006. Seismic reliability functionsfor complex systems based on a secant-stiffness reductionindex. Proc. *International Federation or Information Processing (IFIP) 13th WG7.5 Working Conference*, Kobe, Japan.

Esteva, L. & Ismael, E. 2003.A maximum likelihood approachto system reliability with respect to seismic collapse.Proc. *International Federation or Information Processing (IFIP) 11th WG7.5 Working Conference*, Banff, Canada.

Esteva, L. 1992. Nonlinear seismic response of soft-story buildings subjected to narrow-band accelerograms. *Earthquake Spectra,* 8**,** 3: 373-389.

Krawinkler, Helmut, G. D. P. K. 1998. Seneviratna. Pros and cons analysis of a pushoveranalysis of seismicperformance evaluation.*Engineering Structures,* Vol. 20, Nos 4-6, pp. 452-464.

McGuire, Robin K.2008. Probabilistic seismic hazard analysis: Early history. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; **37**: 329–338.

Meli, R., 1976. Bases para los criterios de diseño estructural del proyecto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Bases for earthquake resistant design criteria for the draft of México City Building Code. *Institute of Engineering, National University of Mexico*, Report 375.

Miranda, E.1991.'Seismic evaluation and upgrading of existing buildings',Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, University ofCalifornia, Berkeley, CA, Lawson.

Mirza, SA, and McGregor, J. 1979. Variation in dimensions of reinforced concrete members.*J. Struct Div, ASCE* 105 (ST4) 751-766.

Montiel M.A. and Díaz de León G.A. (2011).Estimation of the seismic reliability of buildings using incremental dynamic analysis method of the secant stiffness degradation index (IDAM-SSDI).*COMPDYN 2011: 3rd International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics & Earthquake Engineering*, 26-28 May 2011, Corfu, Greece.

Montiel M.A., (2006). Confiabilidad implícita en estructuras convencionales como base para establecer criterios para el diseño sísmico de estructuras reforzadas con disipadores de energía. *Tesis de Doctorado. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México*.

Montiel M.A., y Díaz de León G.A. (2011). Estimación de la confiabilidad sísmica de edificios utilizando el análisis dinámico incremental del índice de degradación de la rigidez secante. Parte I. *Título del libro: Tendencias en ingeniería, tecnología y sociedad. Primera Edición. ISBN: 978-607-707-327-7. Libro de Trabajos con la Editorial Alfaomega, en el marco de las actividades del VII Congreso Internacional de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UAQ. Editorial ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V*. México.

Montiel M.A., y Díaz de León G.A. (2012). Estimación de la confiabilidad sísmica de edificios por medio de análisis dinámicos incrementales del índice de degradación de la rigidez secante, aplicado a un edificio de 10 niveles. Parte II.*VIII Congreso Internacional de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la UAQ*. Santiago de Querétaro, Qro. México.

Nassar A., and Krawinkler H., (1991), Seismic demands for SDOF and MDOF systems, *John Blume Earthquake Engineering*. Ctr. Dept. of Civil Engineering, Rep. 95, Stanford University, Stanford, California.

NTC DF – Sismo, (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Park, Y.J. and Ang, H.S., 1984. Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete.*Journal of Structural Division, ASCE*, 110, 722-739.

Vamvatsikos D., y Cornell C.A., (2002). Incremental dynamic analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31 (3): 491-514.

ANEXO I

En la primera parte del encabezado de las siguientes tablas y gráficas, se muestra la información de la Intensidad de Colapso Y_C, la Magnitud del sismo M_w, la Rigidez Inicial K_0 y la Seudo-aceleración $\left(\frac{S_a}{g}\right)_{(T_0=1.17\ seg)}$ en la primera, segunda, tercera y cuarta columna respectivamente. En la segunda parte del encabezado se muestra en la primera columna la Intensidad Escalada y_i; en la segunda columna el Factor de Escala *FE* del sismo para su captura en el programa *DRAIN 2D modificado por Campos & Esteva*; en la tercera columna el tiempo de la duración del sismo en segundos cuando se presenta el desplazamiento máximo en la azotea; en la cuarta columna el valor del desplazamiento máximo en la azotea del edificio $d_{max_{az}}$; en la quinta columna el valor del Cortante Basal Máximo V_b arrojado por el *DRAIN 2D* en sus resultados cuyo valor corresponde al desplazamiento máximo en la azotea del edificio; en la sexta columna se presenta el valor de la Rigidez Secante K_{y_i}; en la séptima columna se presenta el valor del Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}; en la octava columna se presenta el valor del Margen de Seguridad Z_{y_i} y en la novena y última columna se presenta el Índice de Confiabilidad $\beta(y_i)$ de Cornell. Los valores correspondientes a la intensidad de colapso Y_C en el cuerpo de la segunda parte, están resaltados en color amarillo. Posteriormente a los valores contenidos en la tabla, se presentan las gráficas de los ciclos de histéresis graficando los pares de valores tiempo-históricos del desplazamiento en la azotea del edificio contra el cortante basal correspondiente para cada factor de escala hasta obtener la condición de colapso. Enseguida se describen brevemente cada columna de la tabla.

Magnitud del sismo *Mw* > 6.5

La Magnitud de un sismo es un solo valor, único para cada evento sísmico, la cual manifiesta la energía sísmica intrínseca que ha sido liberada durante la ocurrencia del fenómeno. Los valores de la energía liberada son registrados por medio de instrumentos sísmicos y el cálculo de la magnitud se realiza a partir de estos. El valor presentado en cada

tabla, corresponde al resultado obtenido por los sismólogos a partir de los registros sísmicos de la estación ubicada en las instalaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en la Ciudad de México y corresponde a magnitudes mayores que 6.5.

Intensidad de Colapso Y_C

La Intensidad de Colapso Y_C es una variable aleatoria que representa a la capacidad sísmica de un sistema estructural por medio de un valor mínimo de intensidad requerido para provocar el colapso de la estructura. El valor correspondiente a esta variable aleatoria es el número de veces del valor de la gravedad g que contiene la seudo-aceleración espectral S_a correspondiente a un periodo fundamental de la estructura T_0, que en nuestro caso $T_0 = 1.17\ seg$, multiplicado por un Factor de Escala FE, adecuado para obtener el valor mínimo requerido para obtener la intensidad de cada sismo en particular donde el sistema estructural colapsa.

$$Y_{C=}\left(\frac{S_a}{g}\right)_{T_0=1.17\ seg} \times FE_{colapso}$$

Rigidez Inicial K_0

K_0 es el valor de la tangente de la rigidez inicial del sistema estructural, cuando el sistema estructural presenta un comportamiento lineal, asociado con la función que relaciona al cortante basal correspondiente al desplazamiento lateral en la azotea obtenido a partir del análisis ELSE (Empuje Lateral Seudo Estático).

Seudo-aceleración$\left(\frac{S_a}{g}\right)_{(T_0=1.17\ seg)}$

Los valores de las seudo-aceleraciones se presentan considerando el amortiguamiento del 5% del crítico para estructuras de concreto de un solo grado de libertad con frecuencia natural ω_n relacionada a las deformaciones máximas d_{max}, debido a una intensidad sísmica dada.

Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$

El coeficiente de correlación de Pearson, es un índice que mide el grado de asociación entre distintas variables relacionadas linealmente, en este caso, el Índice de Degradación de la Rigidez Secante D(y) y el Margen de Seguridad Z(y). Sus valores oscilan entre -1 y 1. Tenemos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como $r_{D(y)-Z(y)}$ entonces:

$$-1 \leq r_{D(y)-Z(y)} \leq 1$$

La magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de +1 como de -1. En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa.

La correlación entre las dos variables D(y) y Z(y) es positiva cuando su valor es muy cercano a la unidad o es la unidad. Por el contrario, se dice que la relación es negativa cuando su valor es muy cercano a menos uno o es menos uno. Por último, si el conjunto de puntos adopta una configuración de tal forma que no pueda especificarse ningún tipo de relación, nos encontramos con una correlación nula o poca correlación cuando su valor es cero o se acerca a cero. Se presenta una gráfica del coeficiente de correlación para cada Marco-Registro Sísmico (M-R).

Intensidad Escalada y_i

La Intensidad Escalada y_i es una variable aleatoria que representa a la capacidad sísmica de un sistema estructural por medio de un valor de intensidad requerido por un sismo. El valor correspondiente a esta variable aleatoria es el número de veces del valor de la gravedad g que contiene la seudo-aceleración espectral S_a correspondiente a un periodo fundamental de la estructura T_0, que en nuestro caso $T_0 = 1.17\ seg$, el cual está multiplicado por un Factor de Escala FE lo suficientemente adecuado para obtener la intensidad de cada sismo en particular donde el sistema estructural está sujeto a esta acción, previo al colapso de la estructura.

$$y_{i=}\left(\frac{S_a}{g}\right)_{T_0=1.17\ seg} \times FE$$

Factor de Escala *FE* del sismo *DRAIN*

Son los valores propuestos para incrementar, en este caso, la intensidad sísmica hasta obtener un valor adecuado de intensidad que lleve al colapso a la estructura. Estos valores son los capturados en el programa *DRAIN 2D Modificado por Campos & Esteva*.

Tiempo *(seg)*

Duración del sismo cuando se presenta el desplazamiento máximo en la azotea, correspondiente a una intensidad escalada.

Desplazamiento máximo en azotea $d_{max_{az}}$

Es el deslizamiento máximo en términos absolutos que se presenta en la azotea del edificio medido en metros, debido a la deformación de la estructura provocada por el sismo de una determinada intensidad, la cual puede haber sido escalada. Este dato proviene de los resultados arrojados por el *DRAIN 2D*.

Cortante Basal Máximo V_b (Ton)

Es la fuerza cortante en la base correspondiente al desplazamiento máximo en la azotea del edificio debido a la intensidad de un sismo. Este dato proviene de los resultados arrojados por el *DRAIN 2D*.

Rigidez Secante K_{y_i} (Ton/m)

La Rigidez Secante es el valor de la pendiente que va en relación directa con el valor del cortante basal V_b y en relación inversa con el desplazamiento máximo en la azotea $d_{az_{max}}$ producida por un sismo de una intensidad y_i:

$$K_{y_i} = \frac{V_b}{d_{az_{max}}}$$

Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}

Este índice está dado por la ecuación propuesta por Díaz-López O. y Esteva L. (2009):

$$D_{y_i} = 1 - \frac{K_{y_i}}{K_0}$$

Donde D_{y_i} es el Índice de la Degradación de la Rigidez Secante asociado a la intensidad del movimiento sísmico, K_0 es el valor que adquiere *K* cuando es lineal, y K_{y_i} es el valor de la rigidez secante degradada adoptado por el sistema en el instante cuando el desplazamiento lateral en la azotea alcanza su valor máximo. De este modo, la intensidad de colapso *(Y_C)* se obtiene cuando $D(Y_C) = 1$.

Margen de Seguridad Z_{y_i}

Para valorar el Margen de Seguridad se utilizó un enfoque alternativo propuesto por *Díaz y Esteva (2009)*, en donde este margen de seguridad Z_{y_i} está definido como el logaritmo natural de la razón de Y_C y de la intensidad de la excitación del movimiento del suelo y_i que actúan sobre el sistema, es decir:

$$Z_{y_i} = ln\frac{Y_C}{y_i} = lnY_C - lny_i$$

De tal manera que el colapso de la estructura se presenta cuando $lnY_C = lny_i$, es decir, $Z_{Y_C} = Z_{y_i} = 0$ correspondiente a una concentración discreta cuando el valor de $D_{y_i} = D_{Y_C} = 1$. Margen de Seguridad para la Intensidad de Colapso Z_{Y_C} está resaltado en la tabla con color amarillo

Índice de Confiabilidad de Cornell $\beta_{Y_C} = \frac{E(lnY_C) - lny}{\sigma(lnY_C)}$

Para la estimación del índice $\beta(y_i)$ de Cornell para el presente trabajo, se utilizó un enfoque alternativo propuesto por *Díaz y Esteva, (2009),*

$$\beta(y_i) = \frac{E(lnY_C) - lny_i}{\sigma(lnY_C)}$$

Donde $\beta(y_i)$ es el índice de confiabilidad para la excitación del terreno y_i, $E(lnY_C)$ es el logaritmo natural del valor esperado para la intensidad de colapso y $\sigma(lnY_C)$ su desviación estándar.

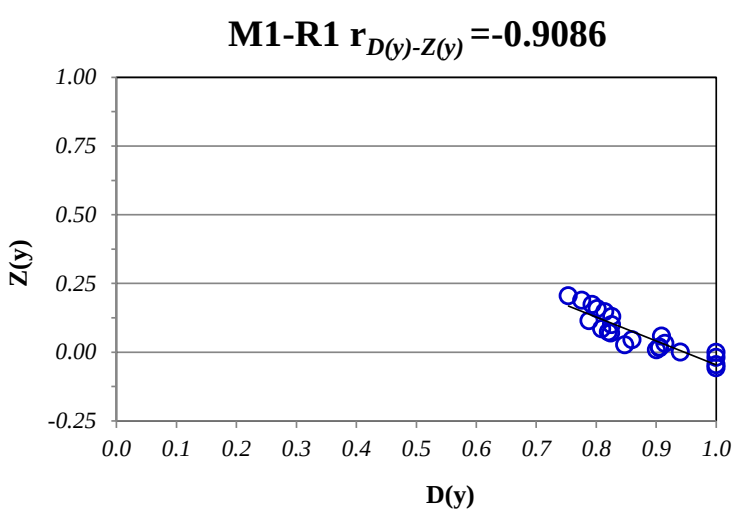
Acelerogramas escalados

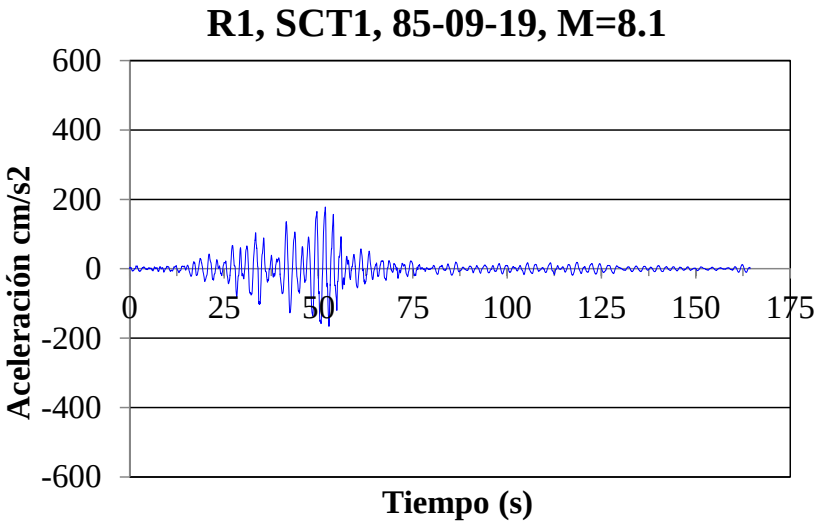
Se presentan las gráficas de las historias del tiempo de los registros sísmicos utilizados en este trabajo, afectados por el mismo factor de escala utilizado para obtener la intensidad sísmica que conduzca al colapso de la estructura. Las gráficas se presentan a la par de las gráficas de los ciclos de histéresis para efectos de comparación.

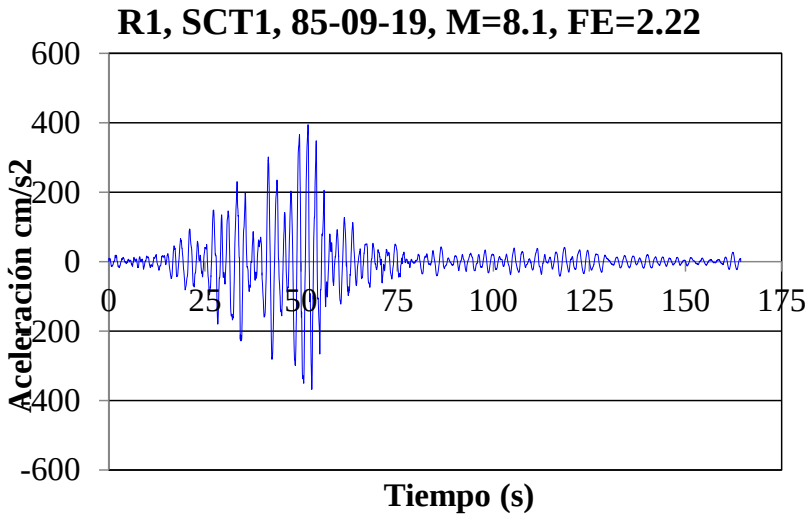
M1-R1

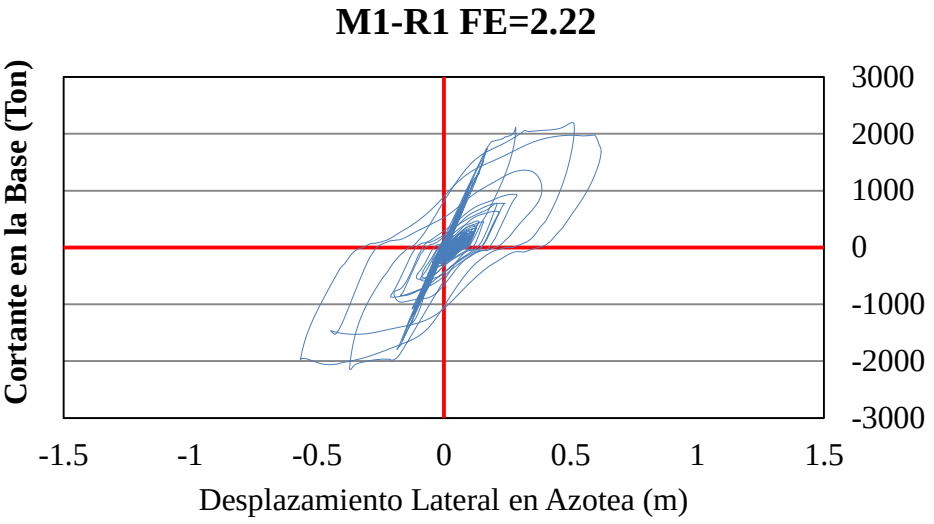
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
8.1	**6.83**	**10 987.77**	**0.270**	**-0.9086**

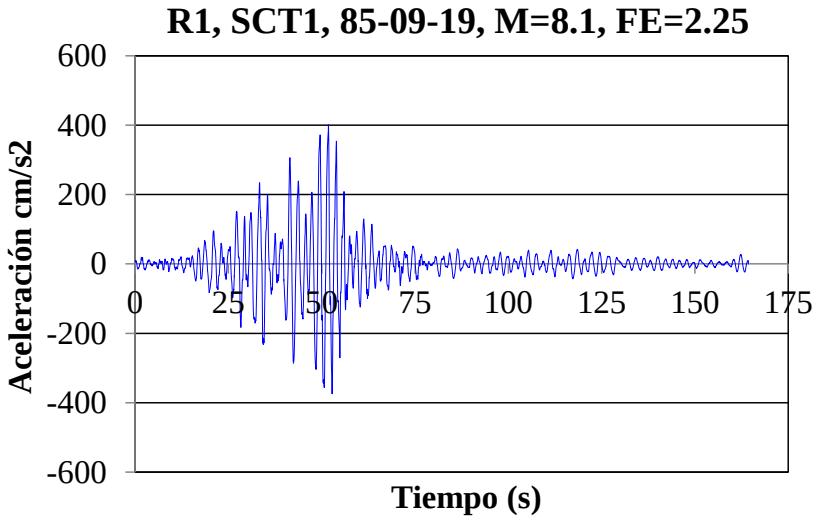
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo (seg)	Desplazamiento Máximo Absoluto (m)	Cortante Basal Máximo (Ton)	Rigidez Secante k_{y_i} (Ton/m)	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.5988	2.220	53.20	0.6205	0.000	2 709.17	0.7534	0.132
0.6082	2.250	54.34	0.6608	1625.478	2 459.86	0.7761	0.116
0.6177	2.290	54.37	0.7091	1609.646	2 269.98	0.7934	0.101
0.6271	2.320	54.42	0.7508	1636.819	2 180.10	0.8016	0.085
0.6344	2.350	54.44	0.7759	1581.352	2 038.09	0.8145	0.074
0.6457	2.390	54.46	0.7971	1525.074	1 913.28	0.8259	0.056
0.6552	2.430	52.20	0.8050	1875.559	2 329.89	0.7880	0.042
0.6646	2.460	52.26	0.7979	1527.677	1 914.62	0.8257	0.027
0.6749	2.500	52.29	0.8391	1759.449	2 096.83	0.8092	0.012
0.6830	2.530	52.31	0.8641	1705.785	1 974.06	0.8203	0.000
0.6857	2.540	52.32	0.8741	1691.023	1 934.59	0.8239	-0.004
0.6930	2.570	53.52	0.9137	-911.929	0 998.06	0.9092	-0.015
0.7022	2.600	51.19	0.8740	-1349.042	1 543.53	0.8595	-0.028
0.7116	2.640	51.22	0.9174	-862.857	0 940.55	0.9144	-0.041
0.7154	2.650	51.23	0.9235	-1544.420	1 672.36	0.8478	-0.046
0.7211	2.670	51.24	0.9397	-980.436	1 043.35	0.9050	-0.054
0.7235	2.680	51.25	0.9514	-987.653	1 038.10	0.9055	-0.058
0.7289	2.700	51.26	0.9446	-1034.290	1 094.95	0.9003	-0.065
0.7348	2.722	52.54	1.0160	665.730	0 655.25	0.9404	-0.073
0.7351	2.723	0.00	0.0000	0.000	0 000.00	1.0000	-0.074
0.7494	2.776	117.27	457.6008	0.002	0 000.00	1.0000	-0.093
0.7694	2.850	51.41	1.0602	-755.114	0 712.24	0.9352	-0.119
0.7775	2.880	111.24	27.9473	0.000	0 000.00	1.0000	-0.130

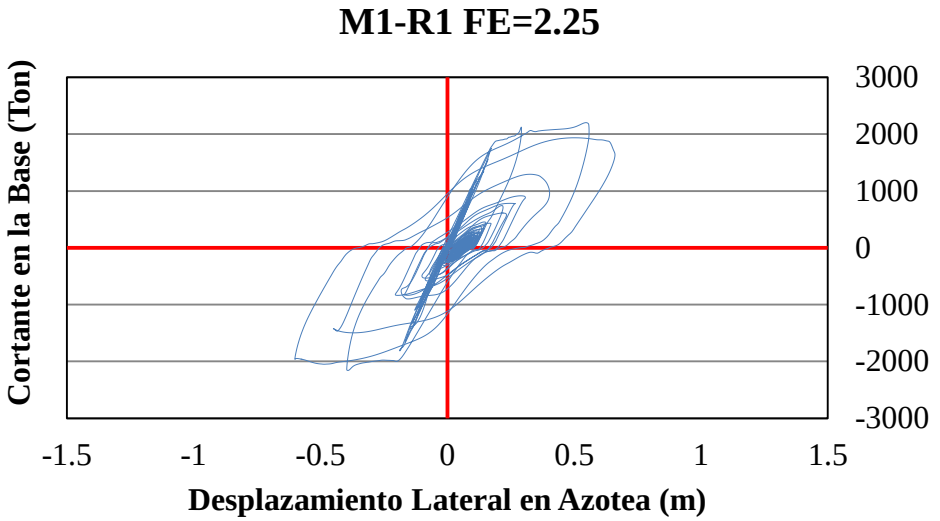

M1-R1 r D(y)-Z(y) =-0.9086
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

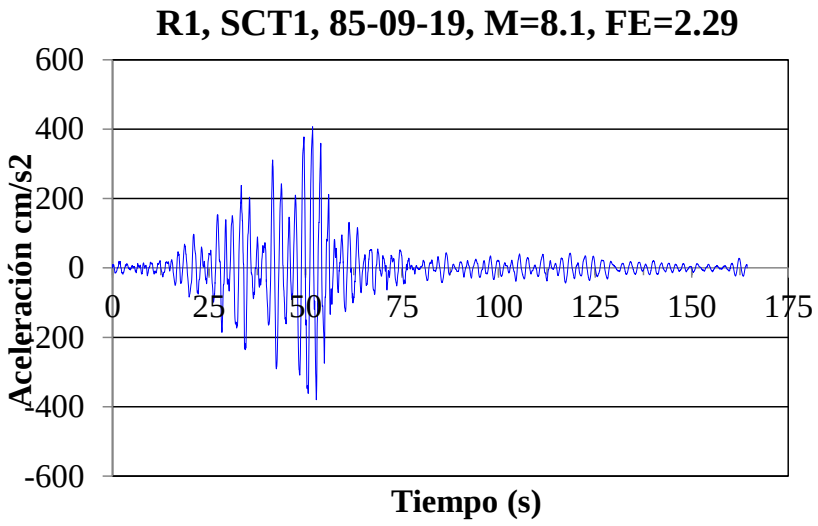

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

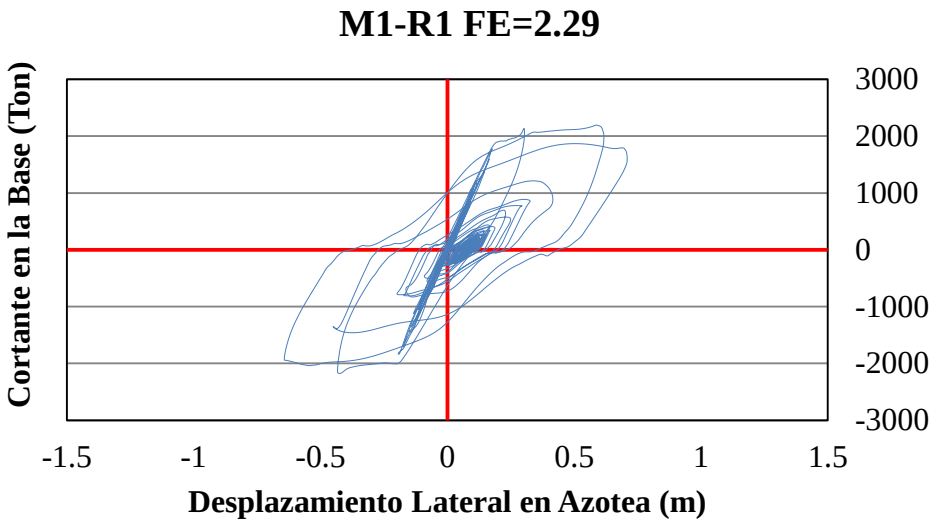

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.22
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

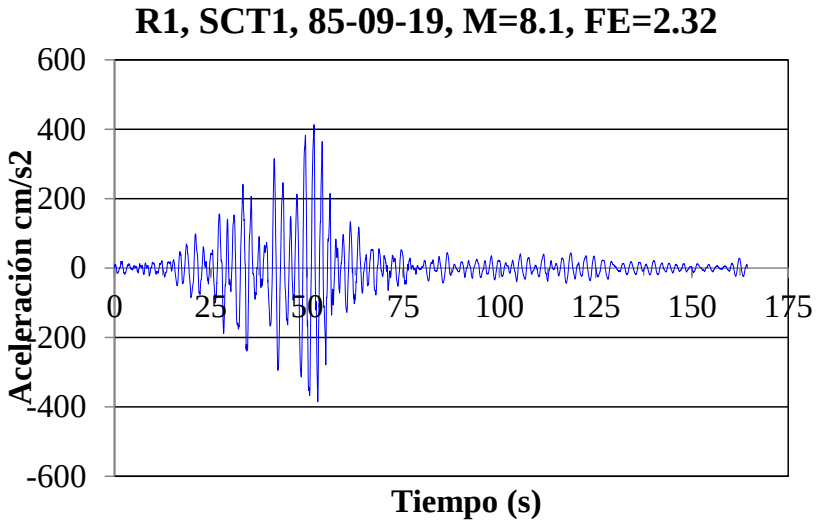

M1-R1 FE=2.22
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

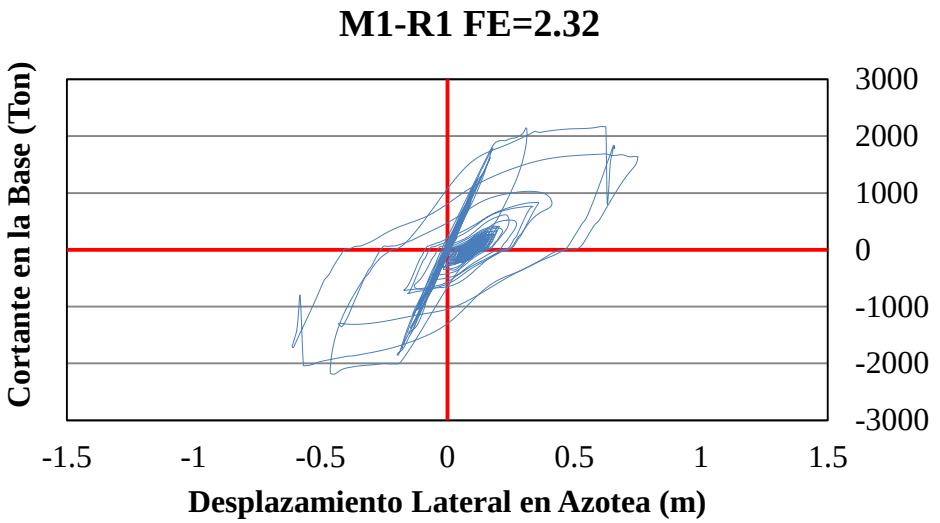

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

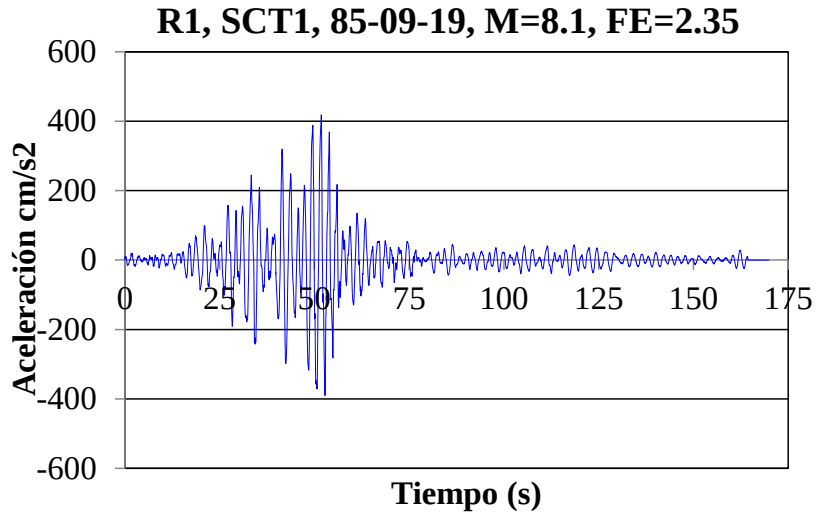

M1-R1 FE=2.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

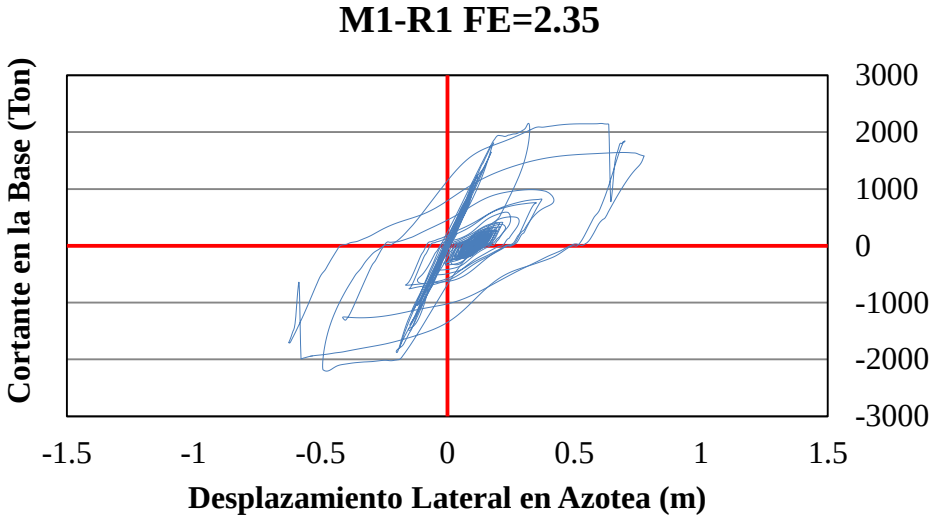

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

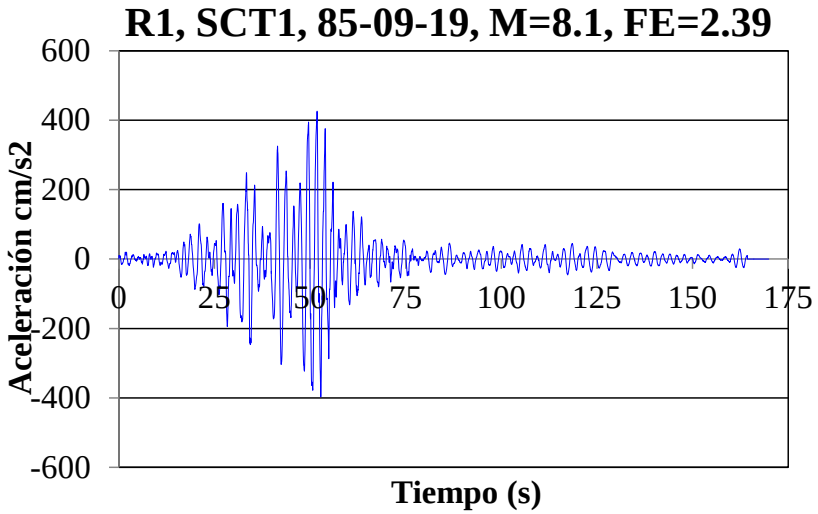

M1-R1 FE=2.29
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

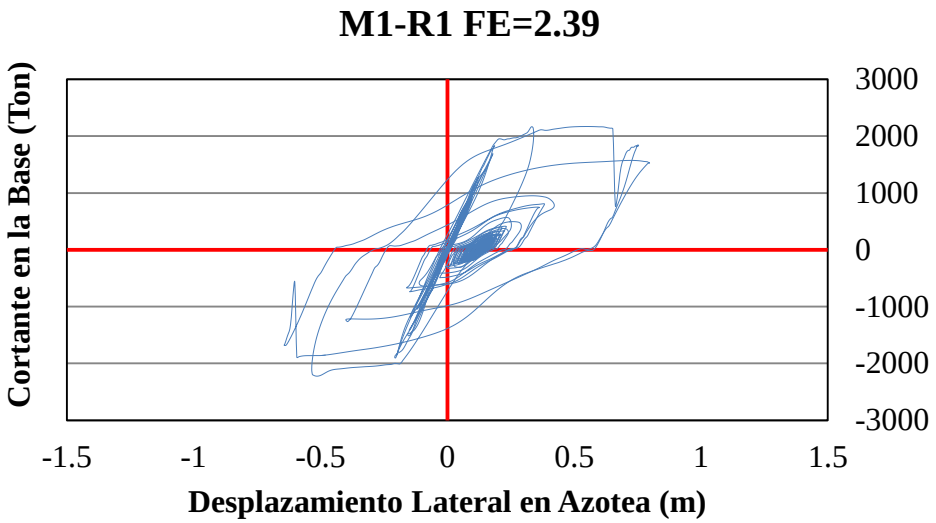

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.32
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

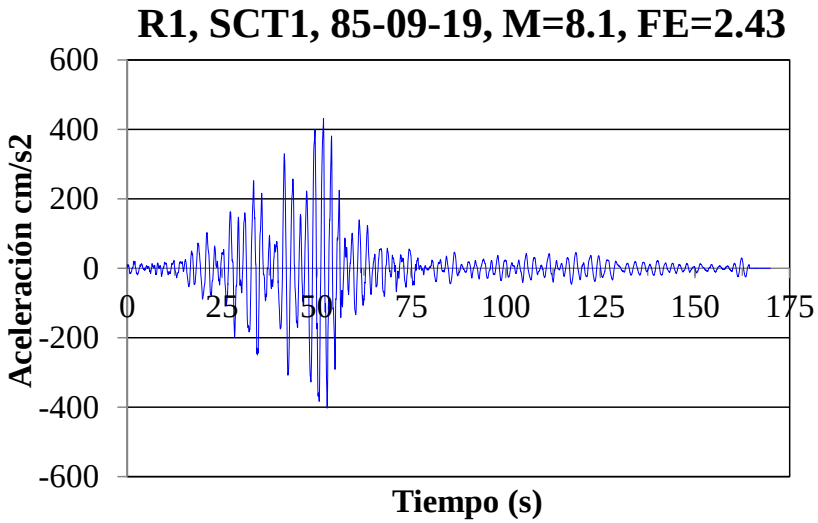

M1-R1 FE=2.32
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

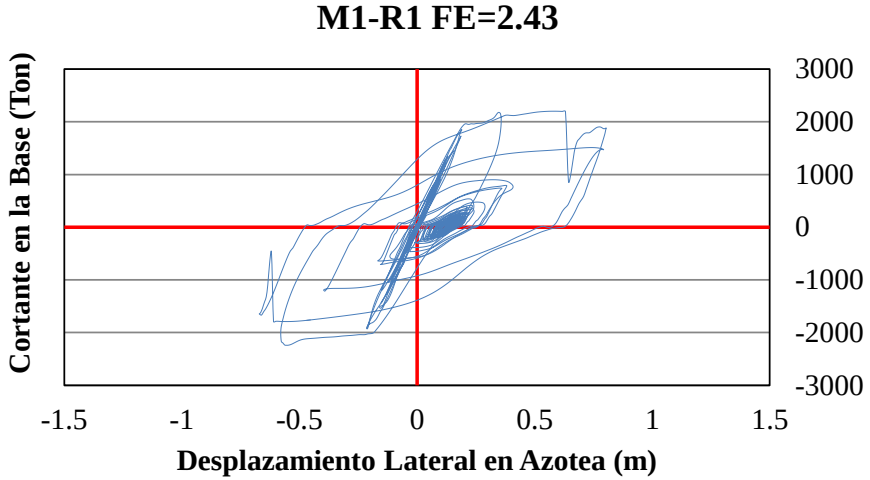

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

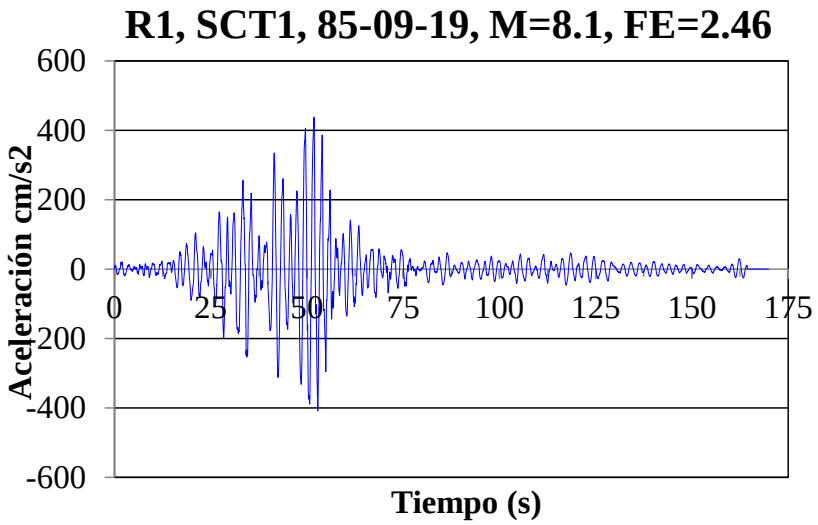

M1-R1 FE=2.35
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

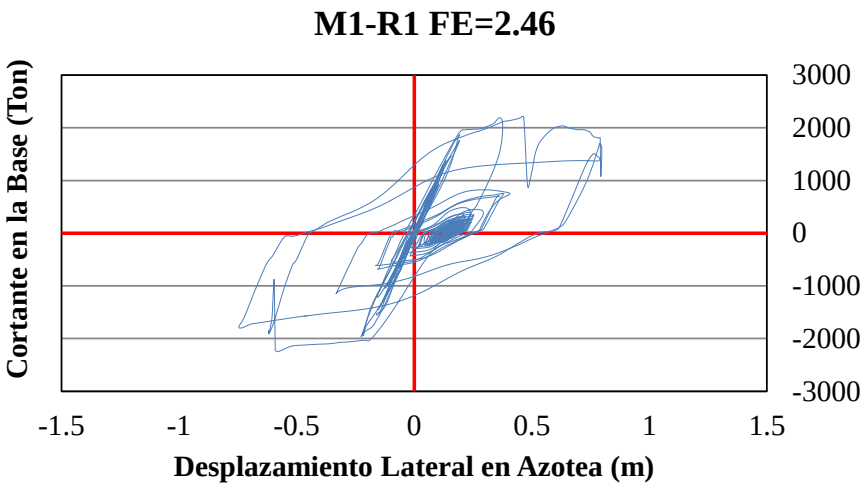

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.39
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

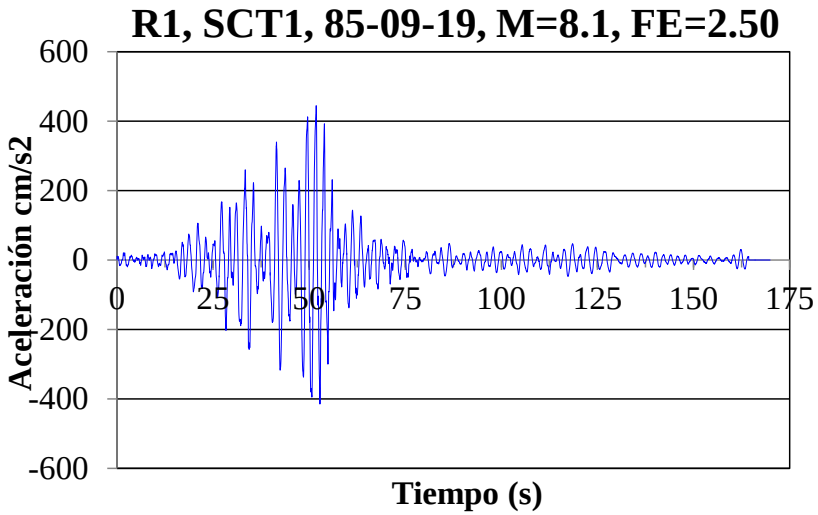

M1-R1 FE=2.39
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

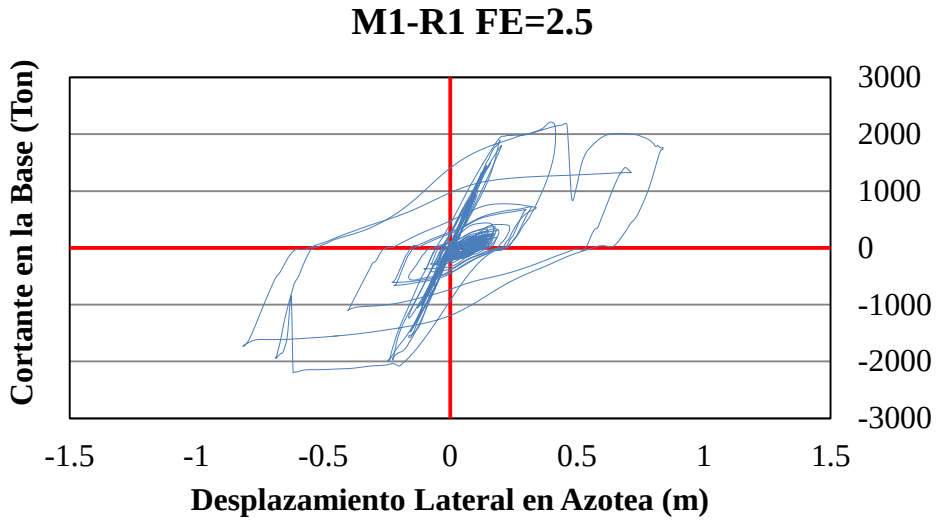

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.43
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

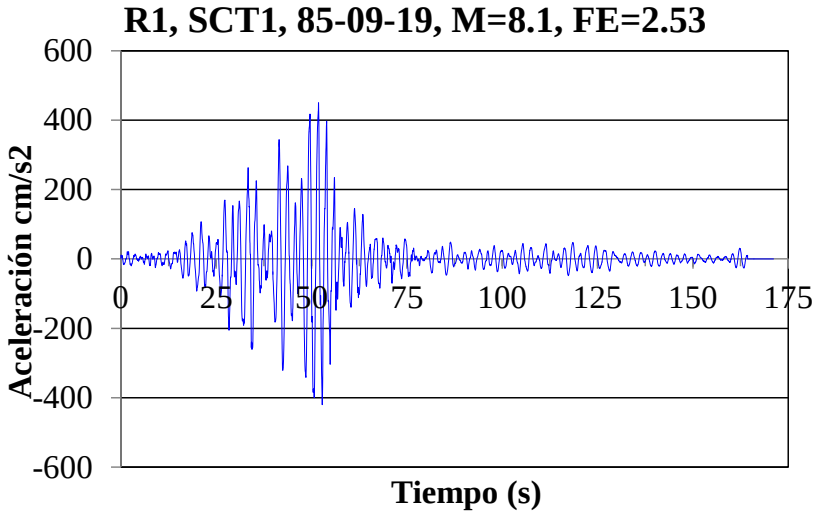

M1-R1 FE=2.43
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

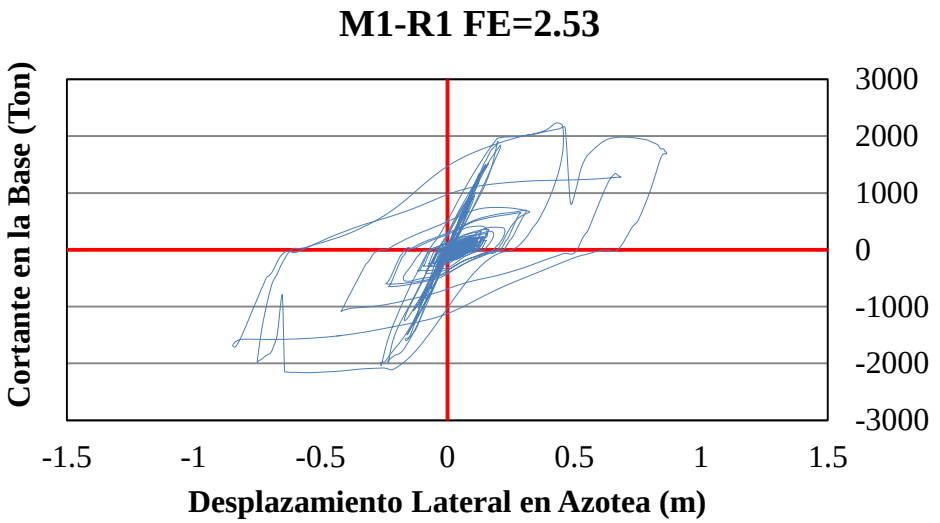

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.46
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

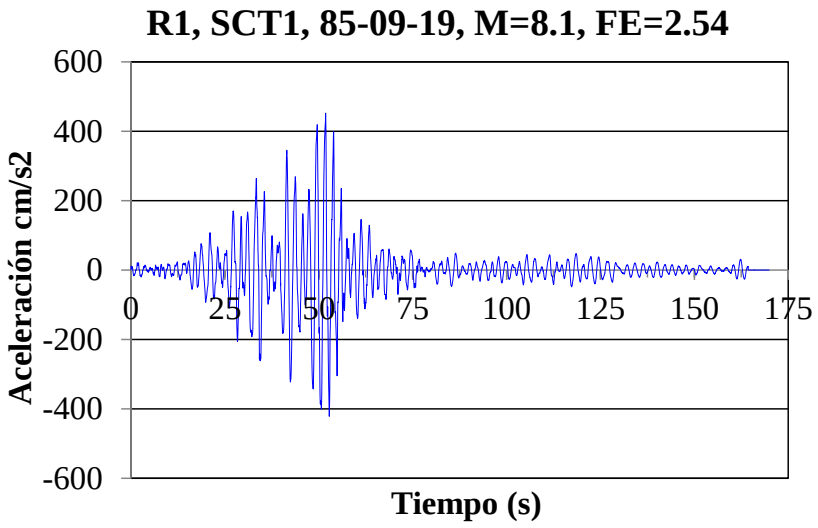

M1-R1 FE=2.46
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

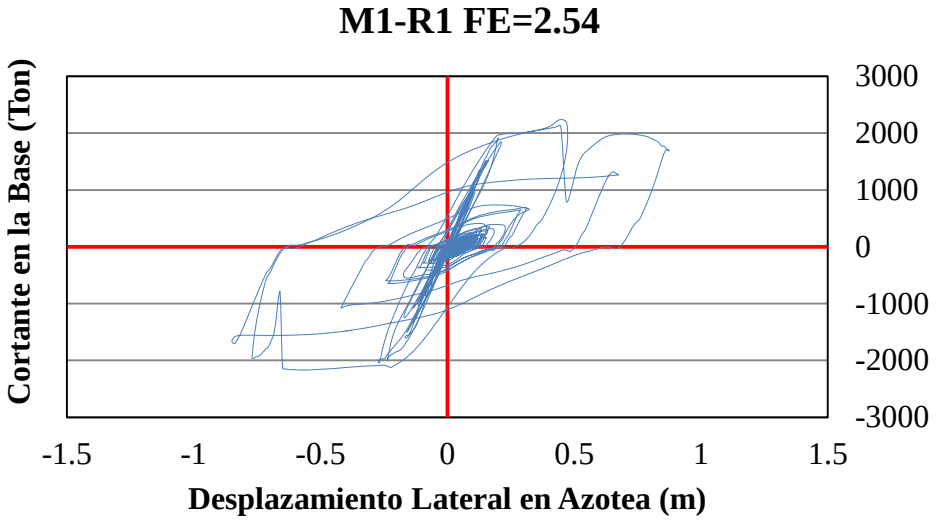

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

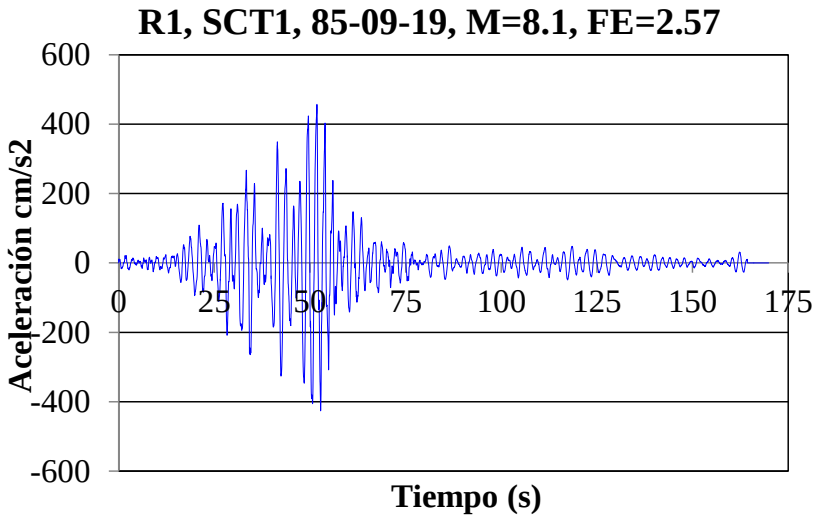

M1-R1 FE=2.5
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

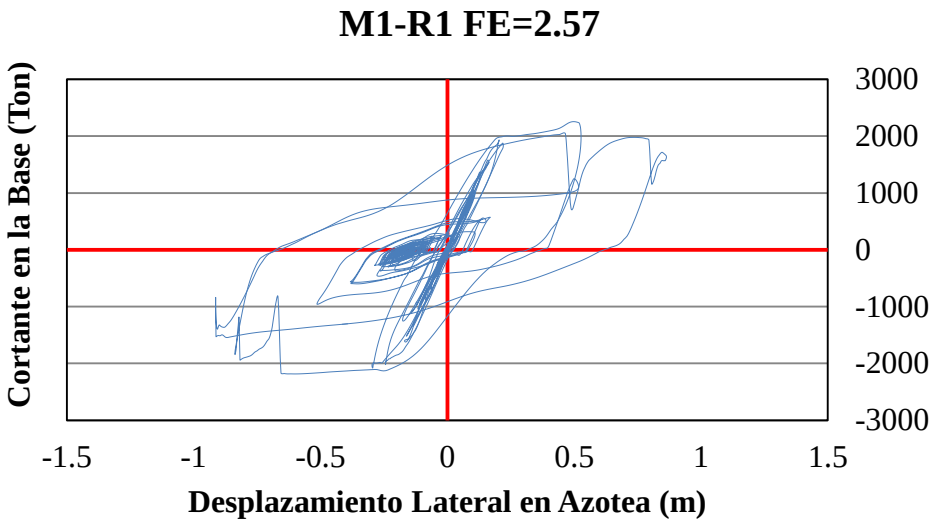

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.53
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

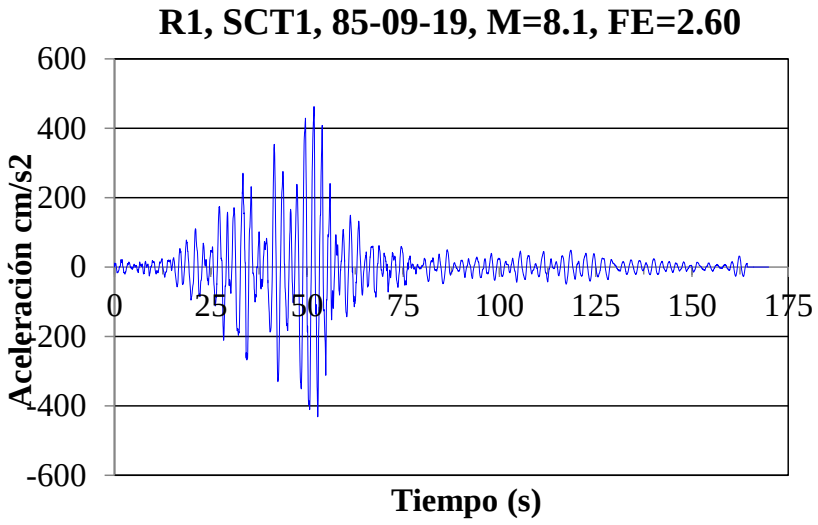

M1-R1 FE=2.53
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

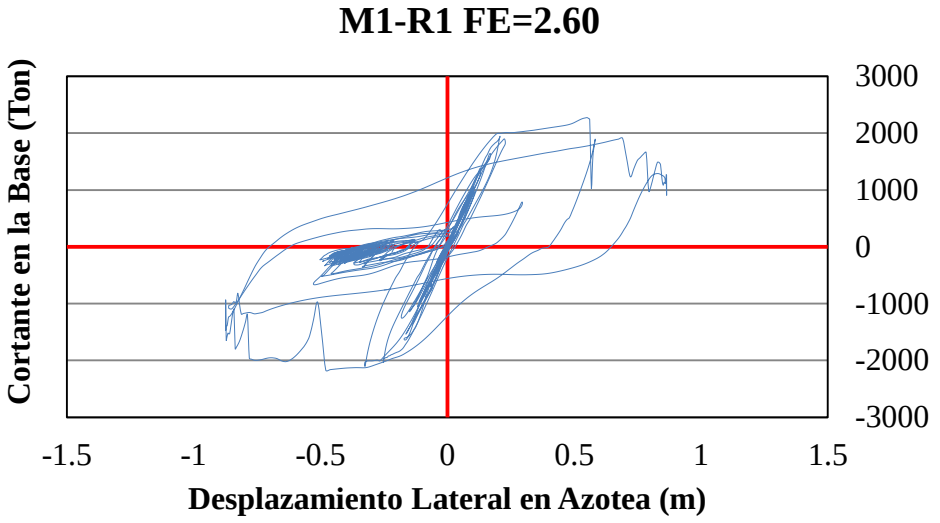

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.54
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

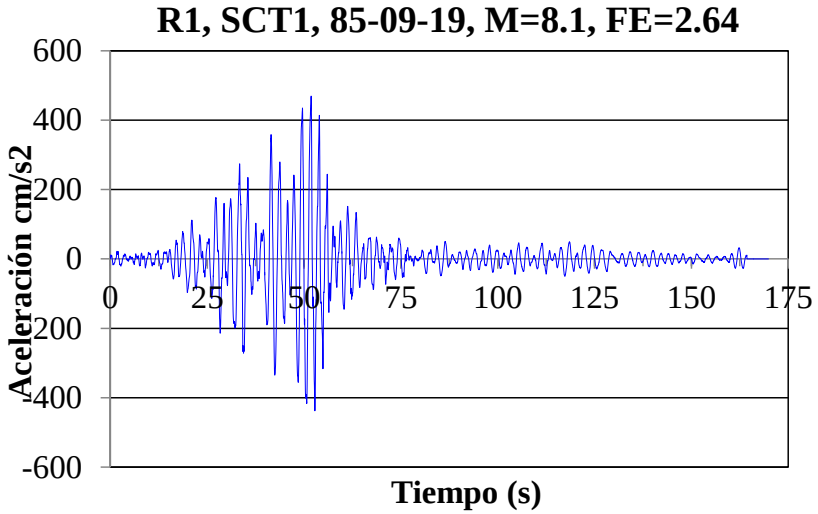

M1-R1 FE=2.54
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

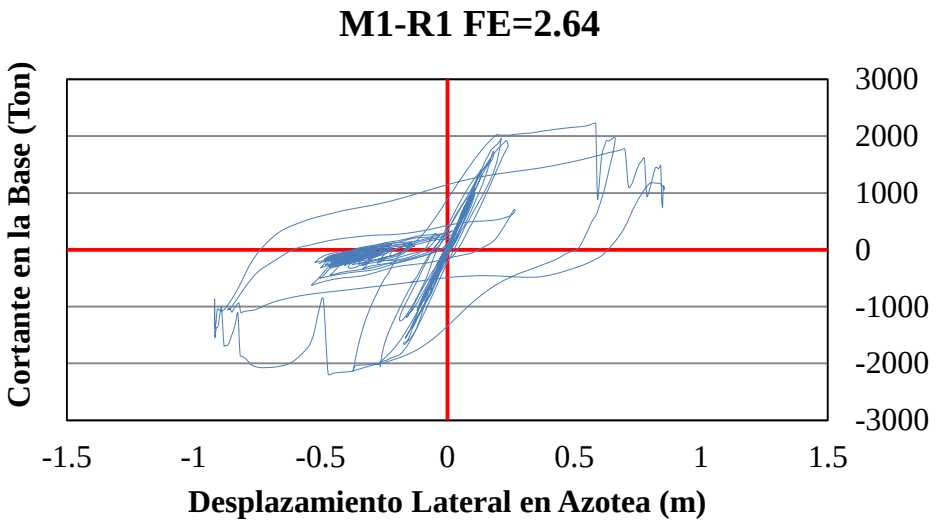

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.57
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

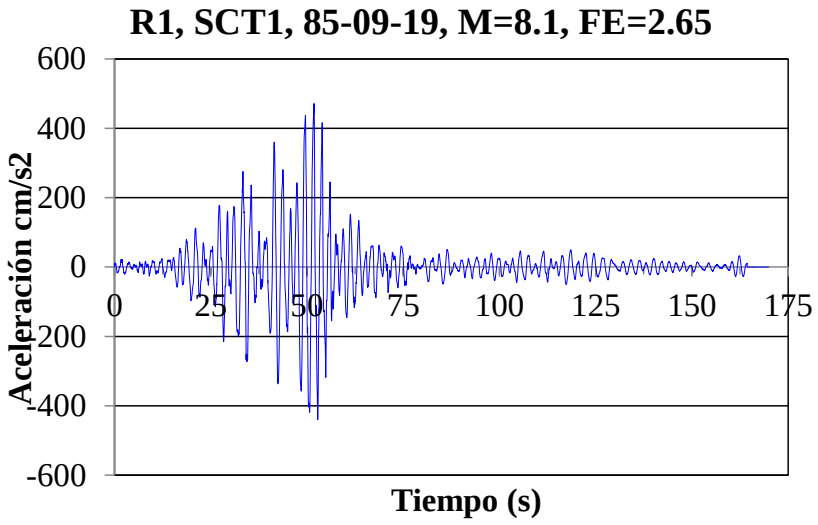

M1-R1 FE=2.57
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

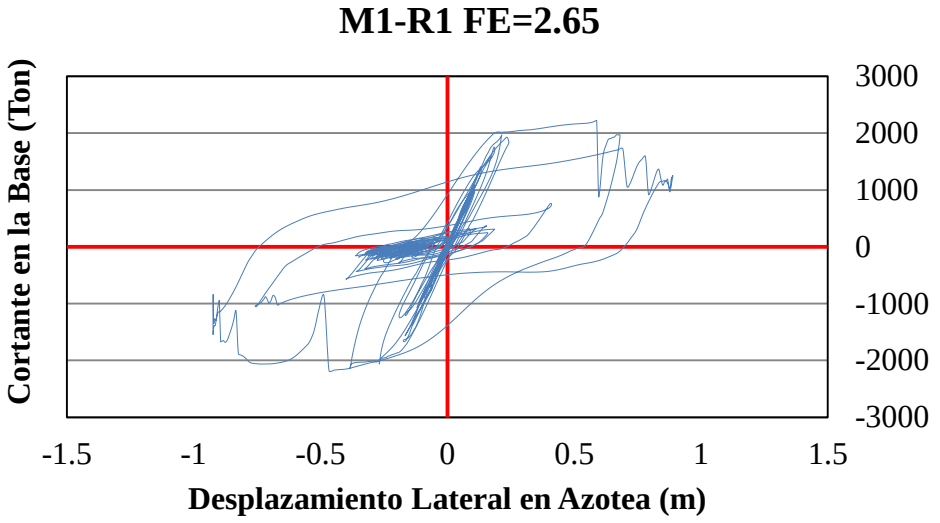

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

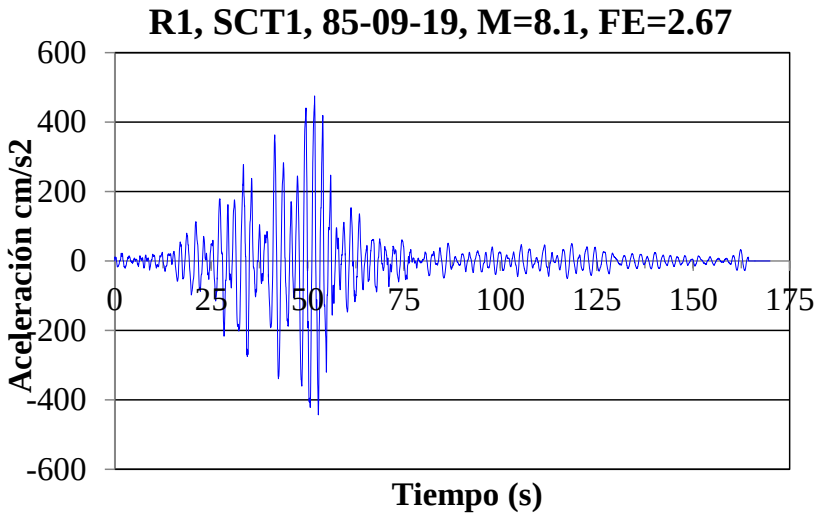

M1-R1 FE=2.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

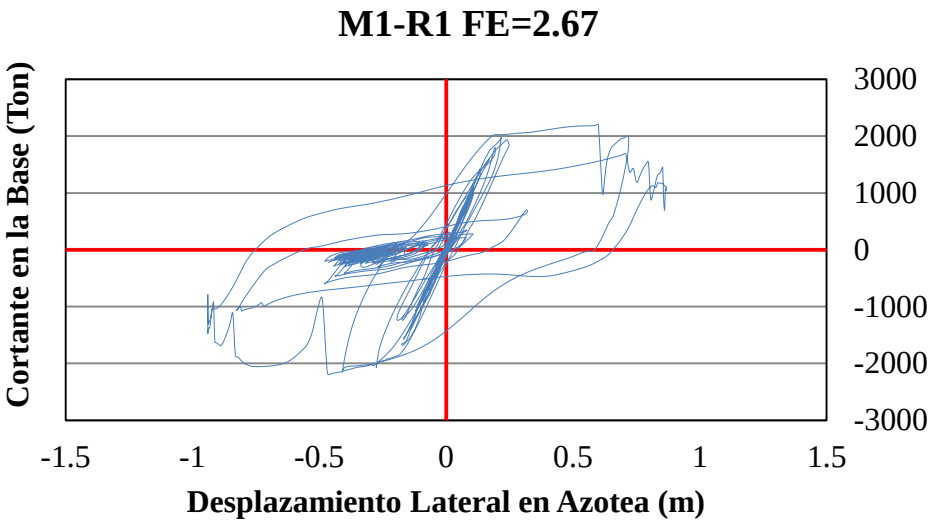

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.64
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

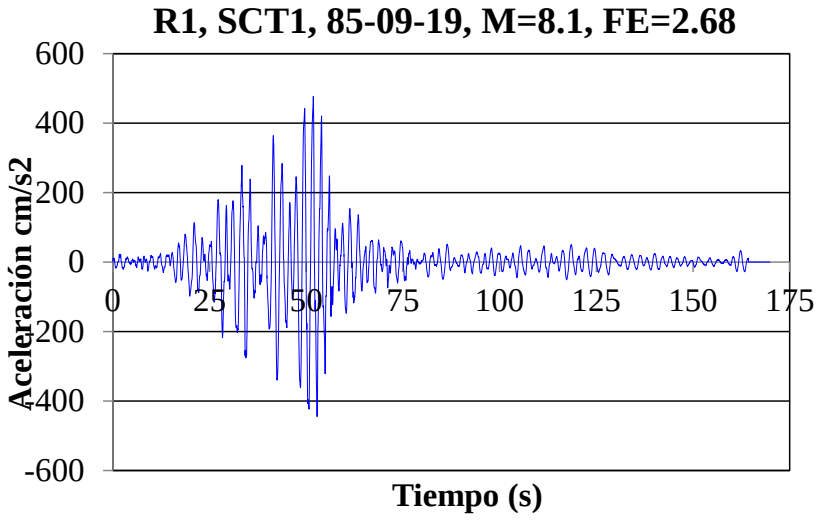

M1-R1 FE=2.64
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

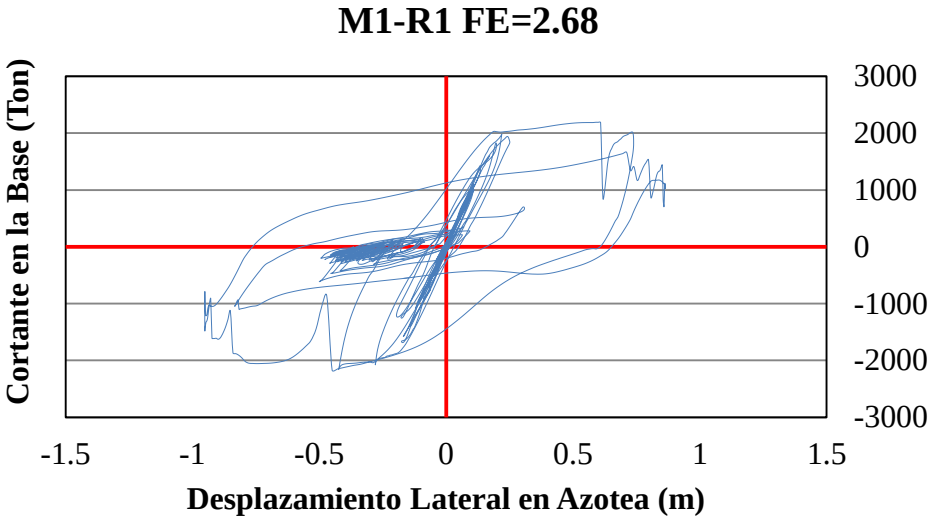

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.65
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

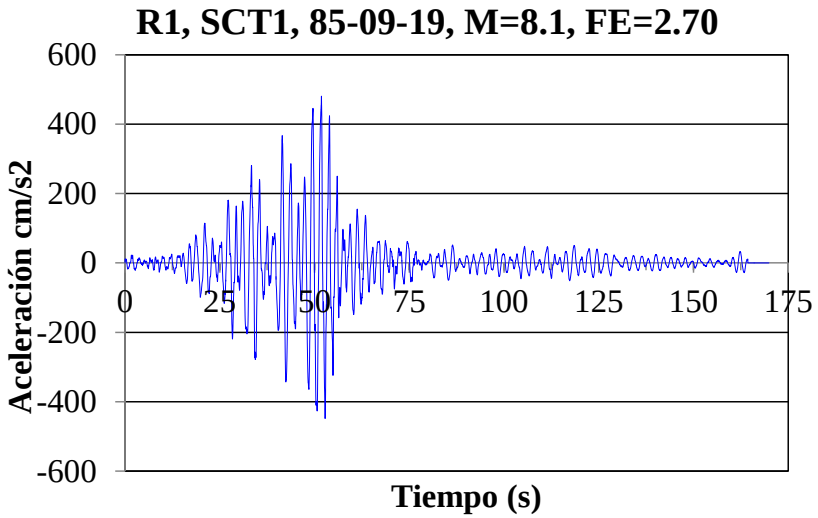

M1-R1 FE=2.65
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

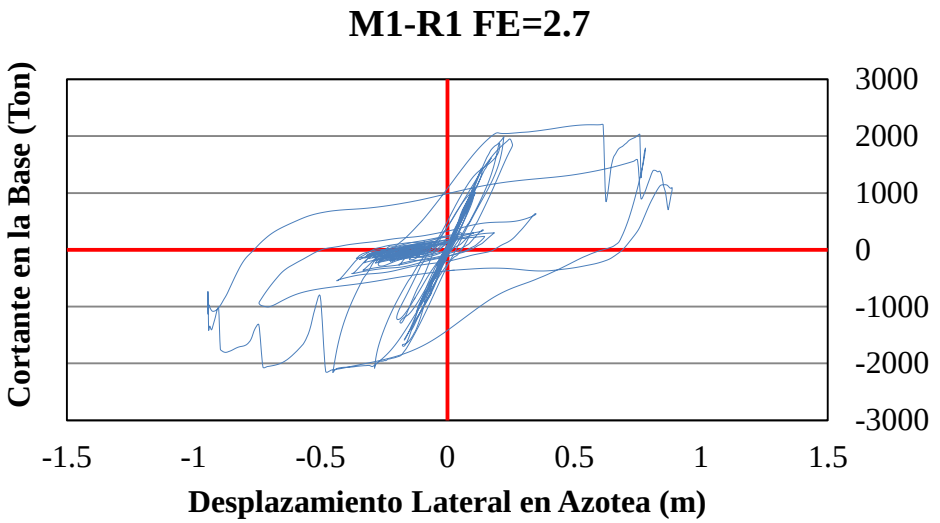

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.67
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

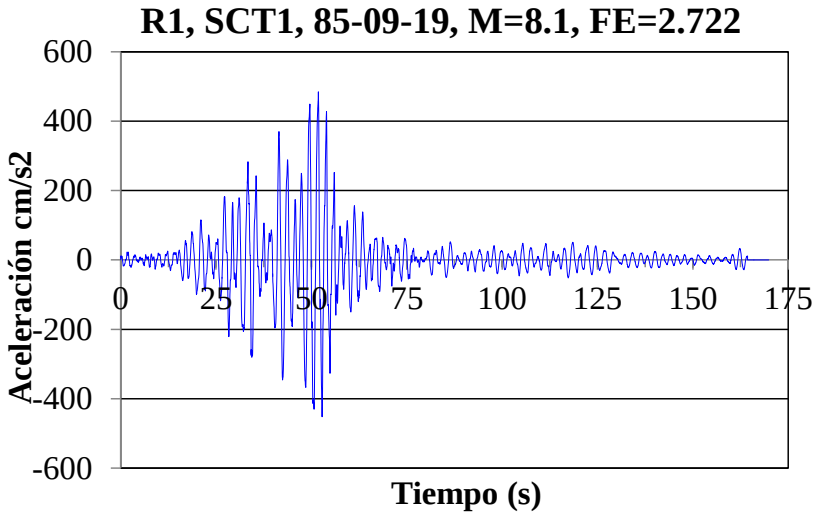

M1-R1 FE=2.67
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

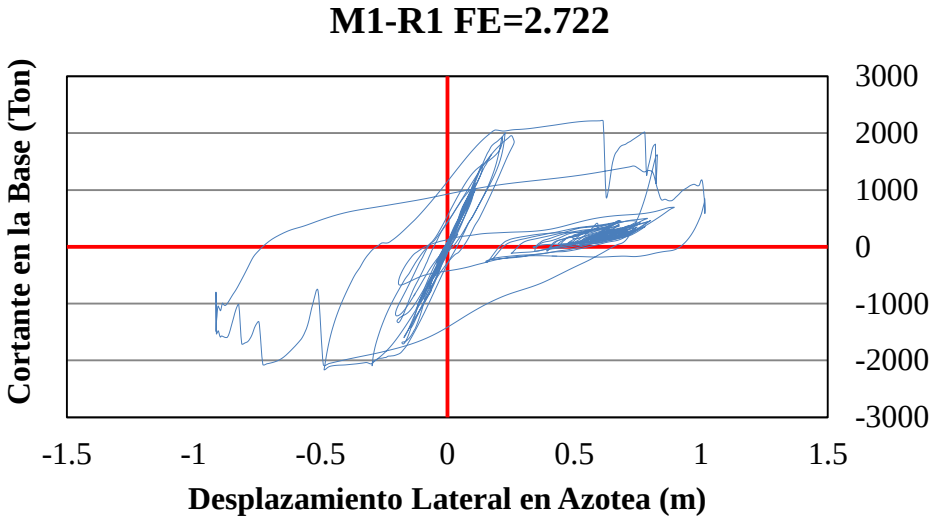

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.68
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

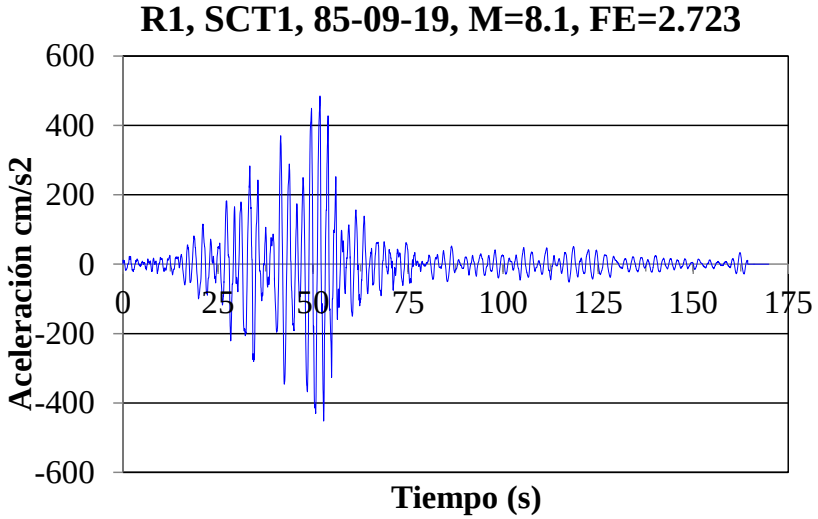

M1-R1 FE=2.68
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

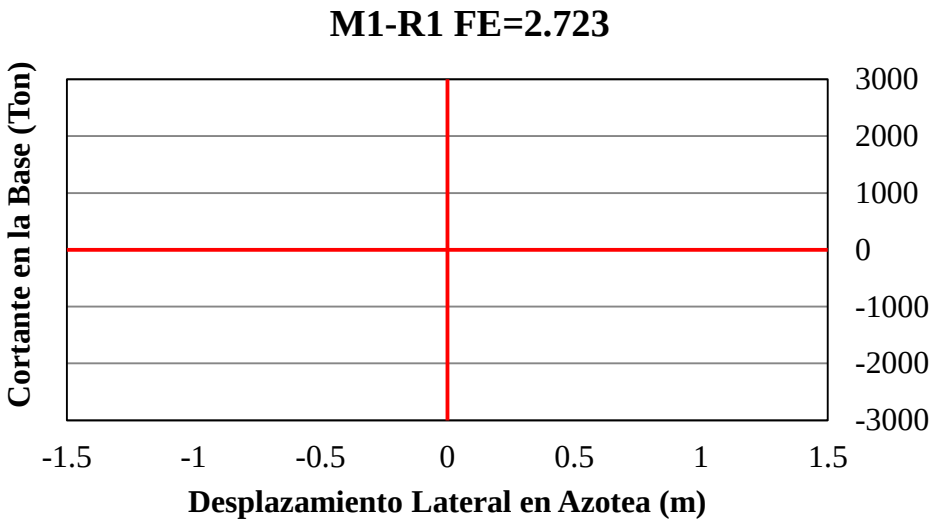

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

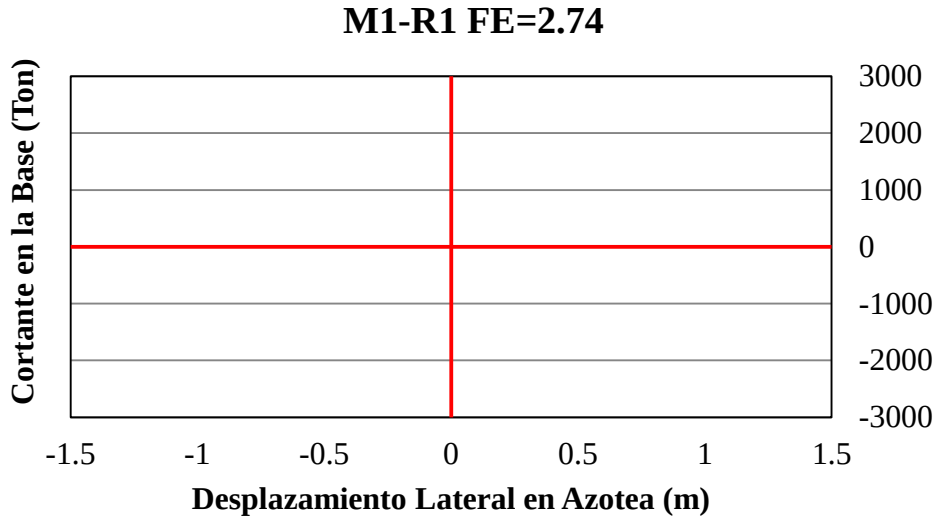

M1-R1 FE=2.7
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

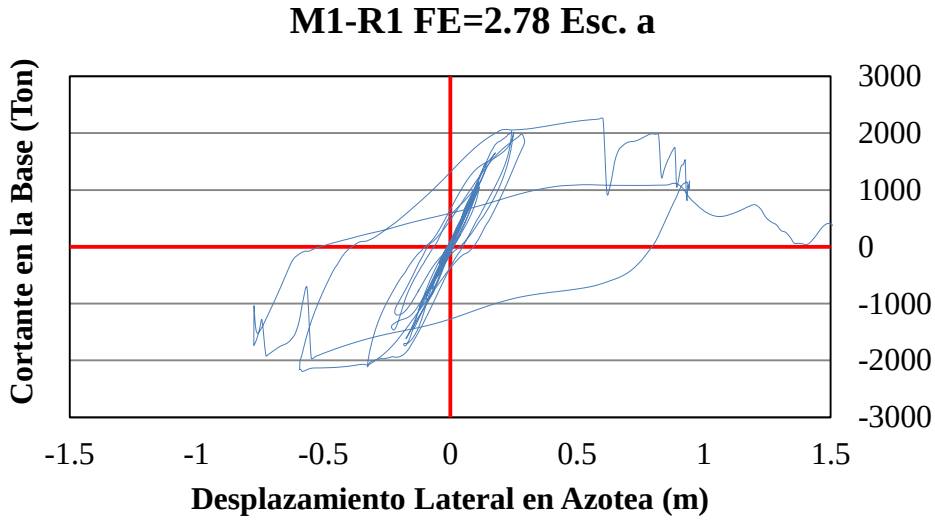

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.722
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

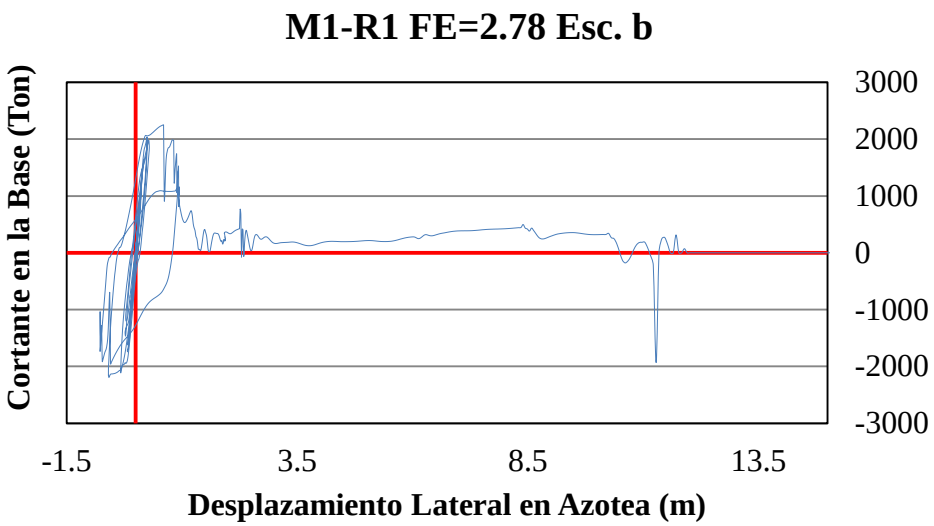

M1-R1 FE=2.722
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

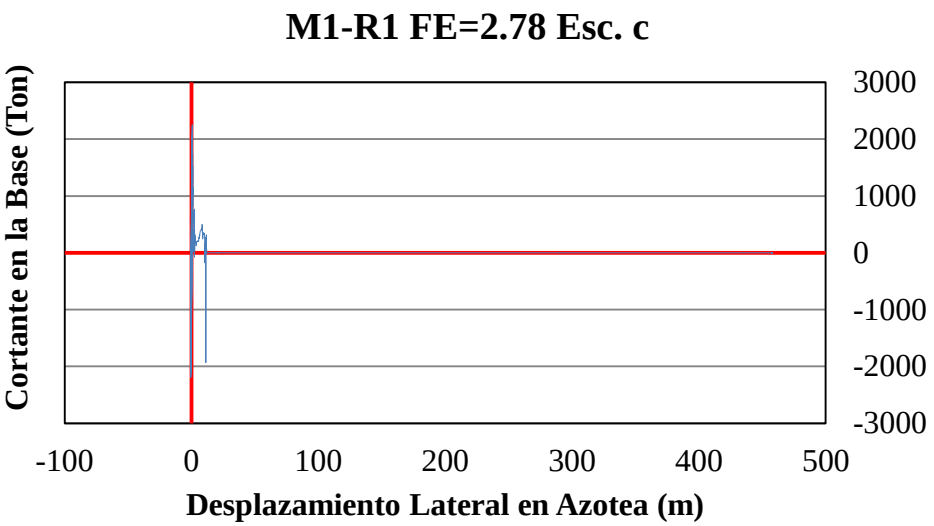

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=2.723
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

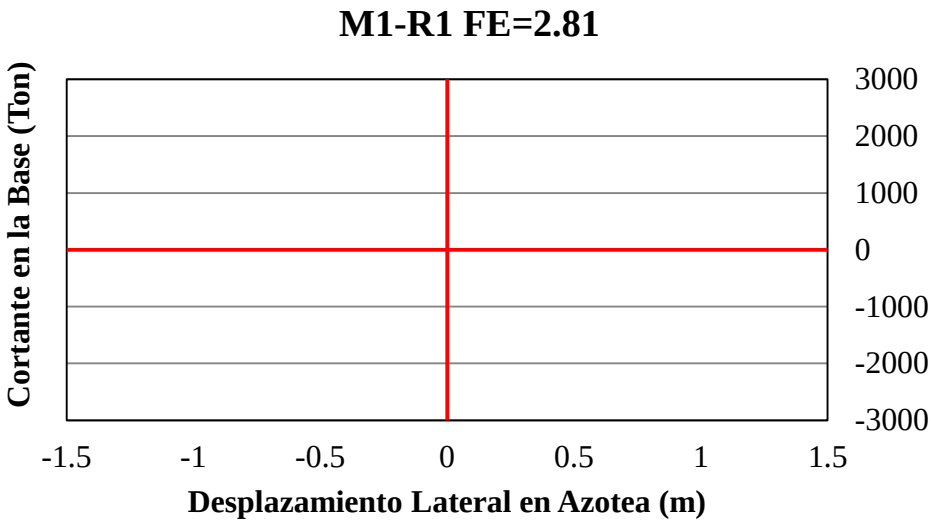

M1-R1 FE=2.723
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

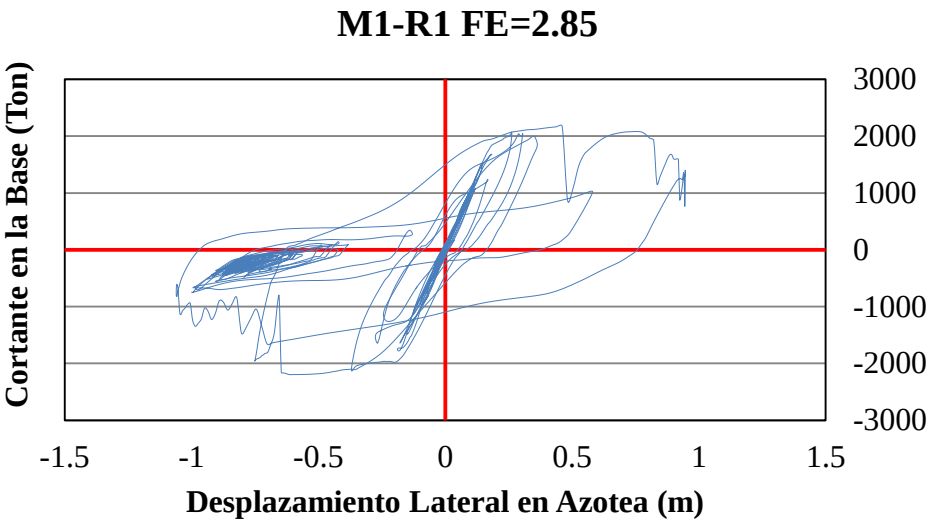

M1-R1 FE=2.74
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


M1-R1 FE=2.78 Esc. a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

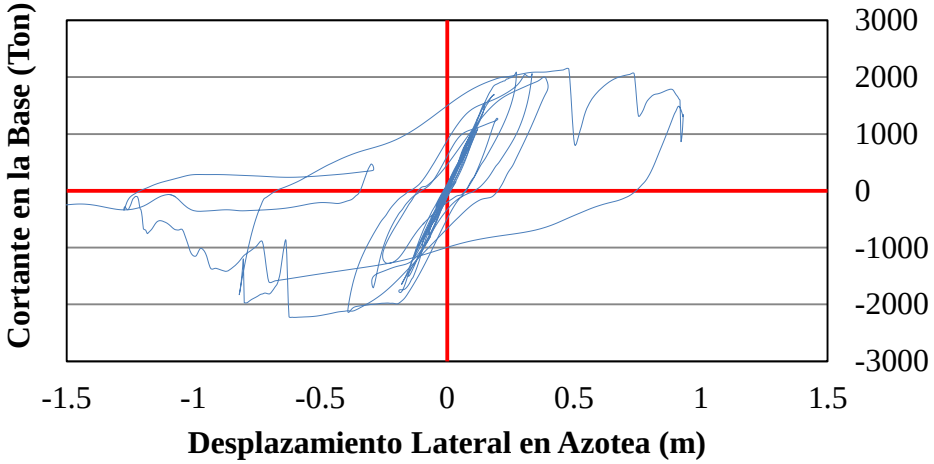

M1-R1 FE=2.78 Esc. b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
3.5
8.5
13.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


M1-R1 FE=2.78 Esc. c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
0
100
200
300
400
500
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

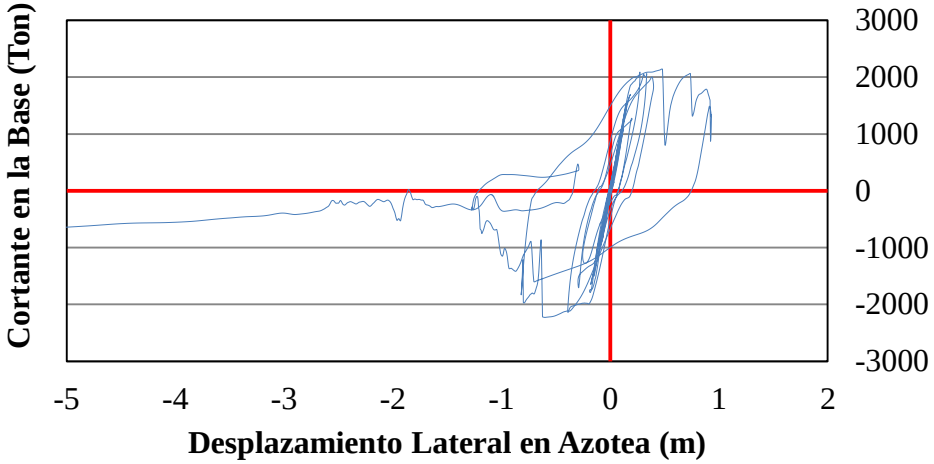

M1-R1 FE=2.81
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


M1-R1 FE=2.85
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

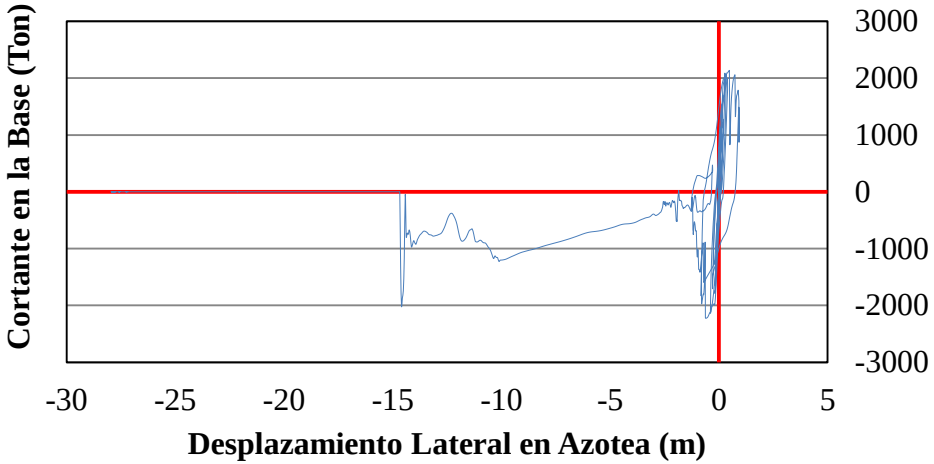
M1-R1 FE=2.88 Esc. a



M1-R1 FE=2.88 Esc. b



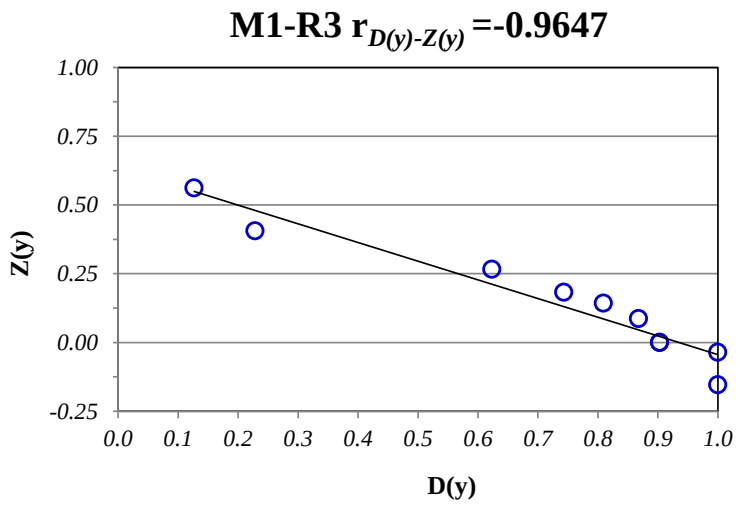
M1-R1 FE=2.88 Esc. c

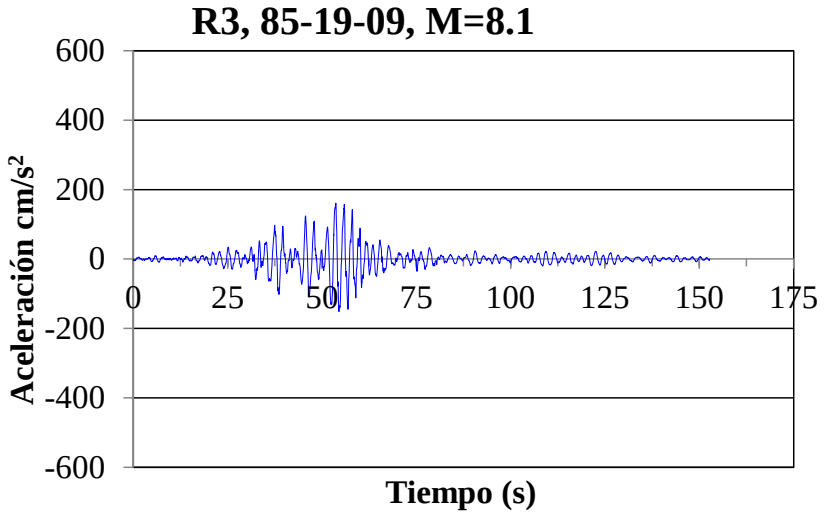


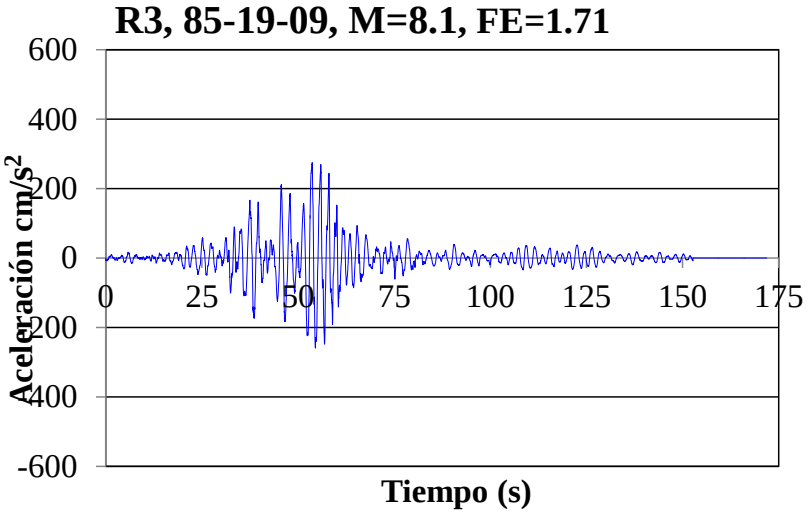
M1-R3

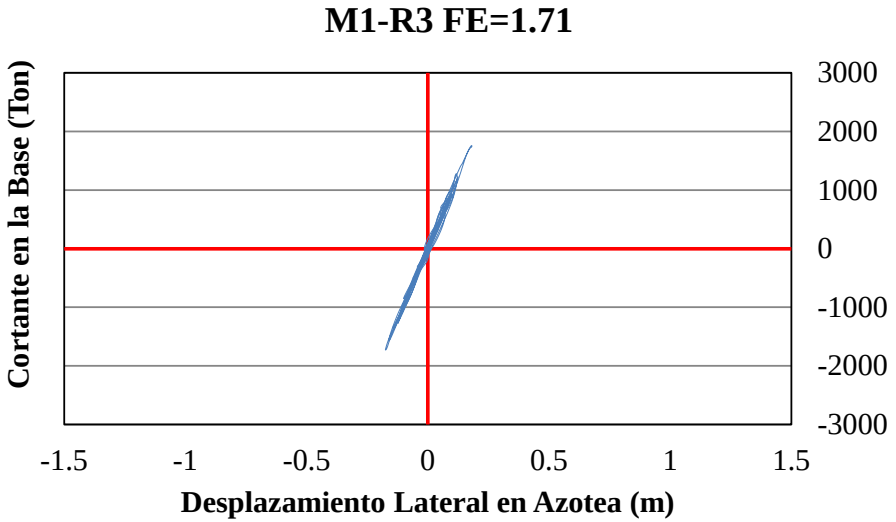
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 **(Ton/m)**	**Seudo Aceleración** $\frac{S_a}{g}$	**Coeficiente de Correlación** $r_{D(y)-Z(y)}$
8.1	**6.86**	**10 987.77**	**0.1940**	**-0.9647**

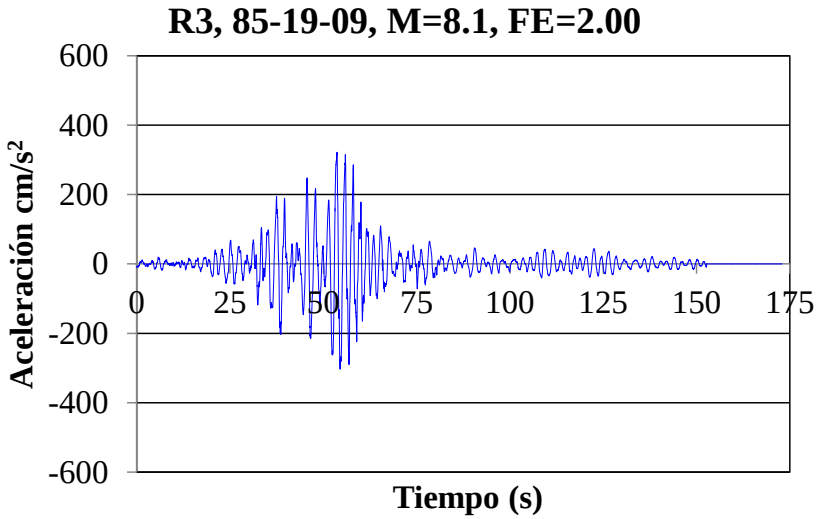
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.2270	1.71	53.59	0.1823	1 749.14	9 594.82	0.1268	0.722
0.3880	2.00	54.64	0.2288	1 940.42	8 480.86	0.2282	0.566
0.4850	2.30	59.18	0.4344	1 798.21	4 139.52	0.6233	0.426
0.4850	2.50	57.35	0.6659	1 879.00	2 821.74	0.7432	0.342
0.5044	2.60	57.47	0.8139	1 704.68	2 094.46	0.8094	0.303
0.5335	2.75	56.48	0.9311	1 352.74	1 452.84	0.8678	0.247
0.5820	3.00	54.23	0.9801	1 044.59	1 065.80	0.9030	0.160
0.6042	3.11	152.70	362.99	0 000.00	0 000.00	1.0000	0.123
0.679	3.50	152.7	146.88	146.8	1.00	0.9999	0.001

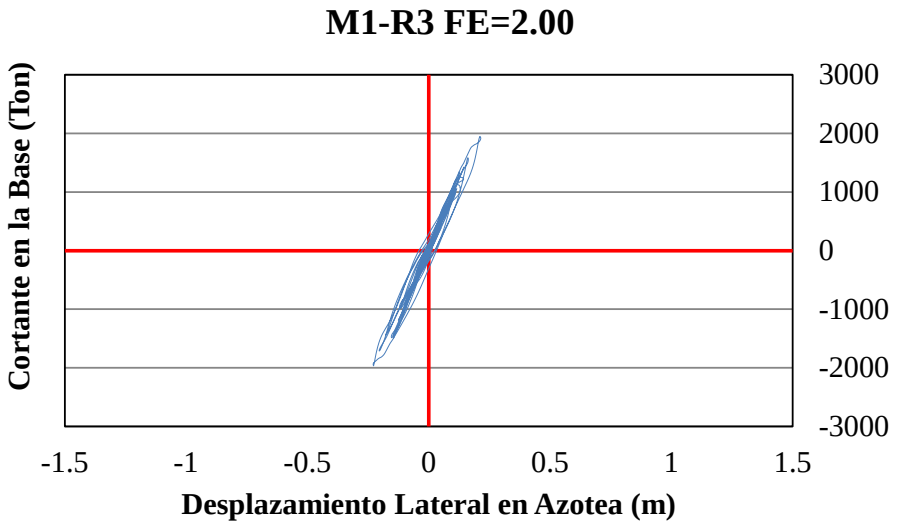

M1-R3 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.9647
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

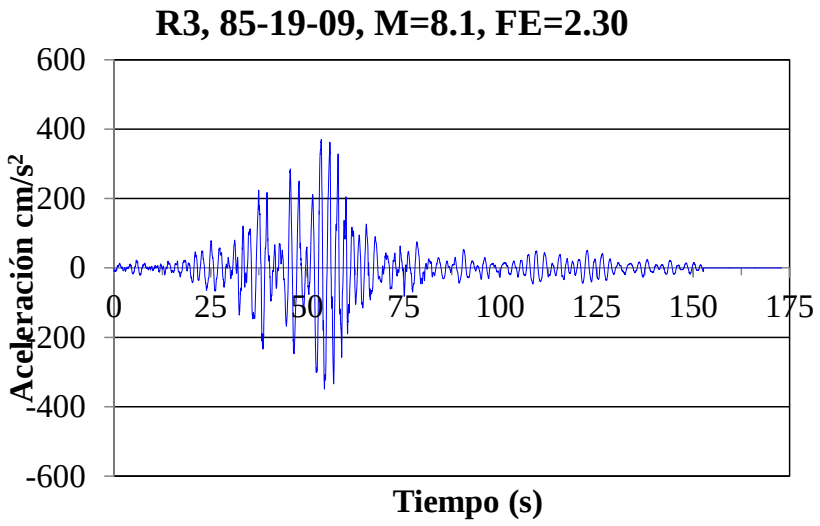

R3, 85-19-09, M=8.1
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

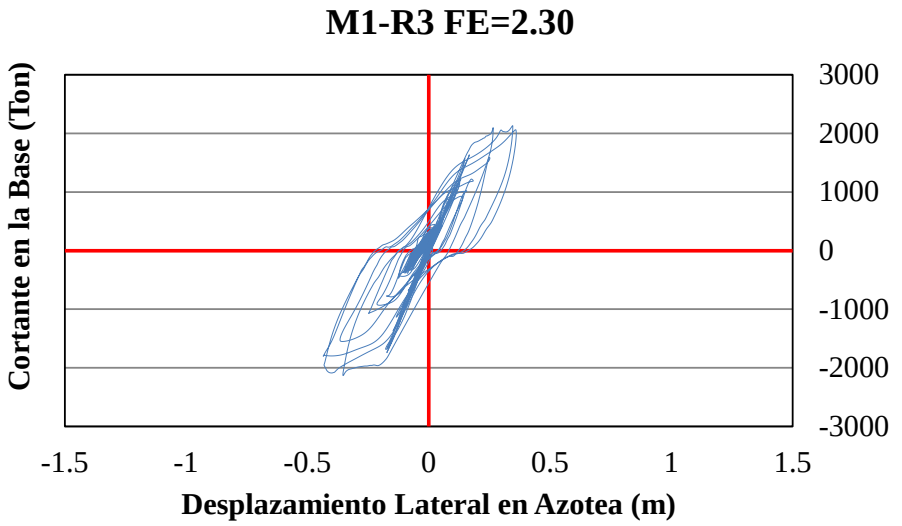

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=1.71
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

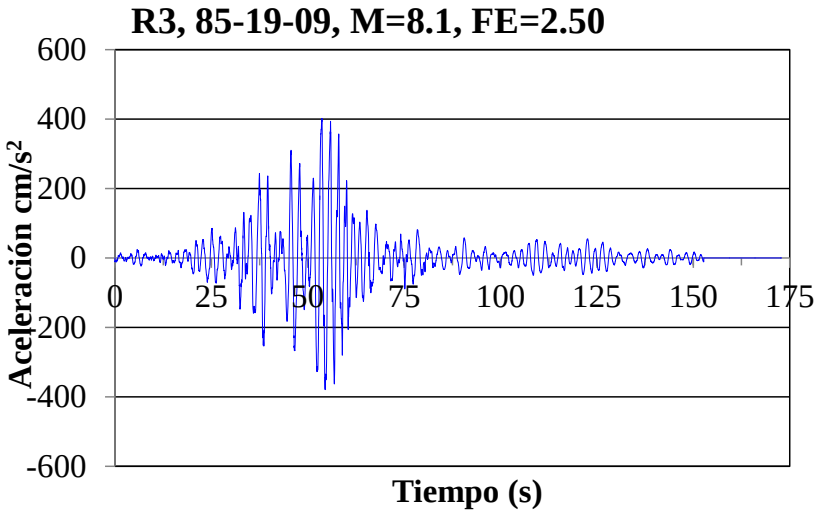

M1-R3 FE=1.71
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

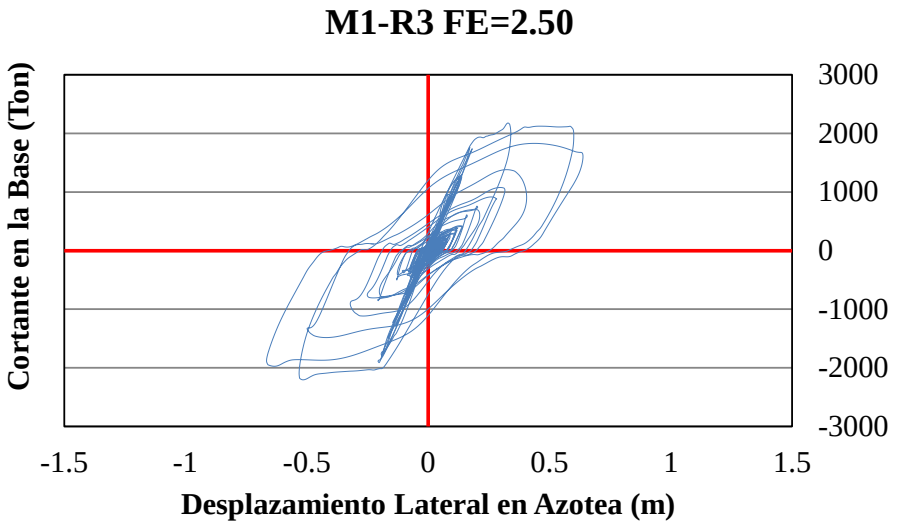

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=2.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

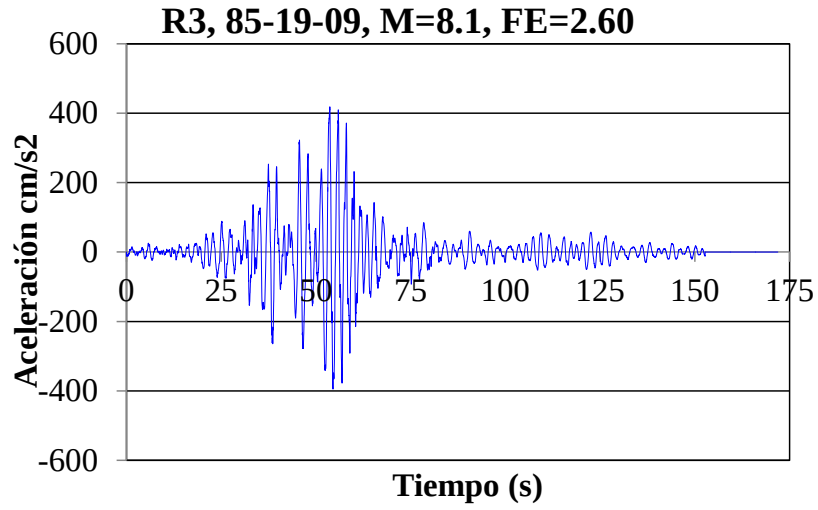

M1-R3 FE=2.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

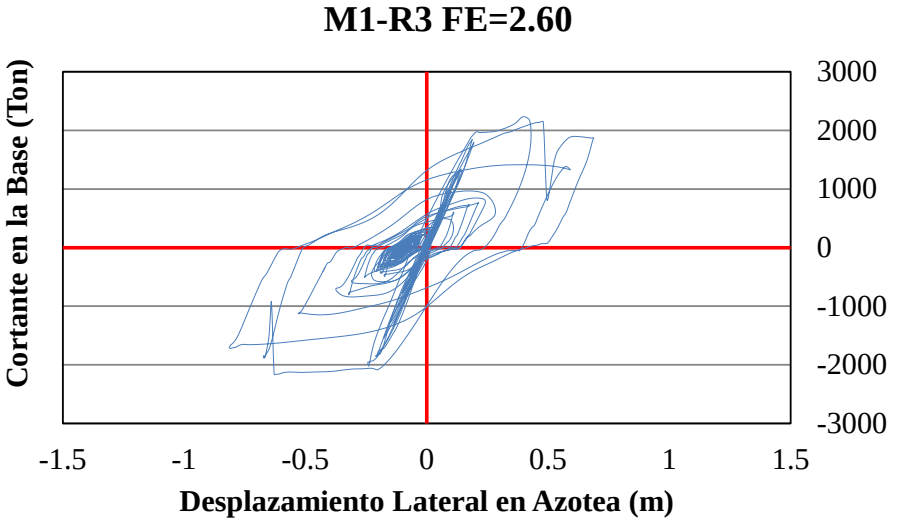

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=2.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

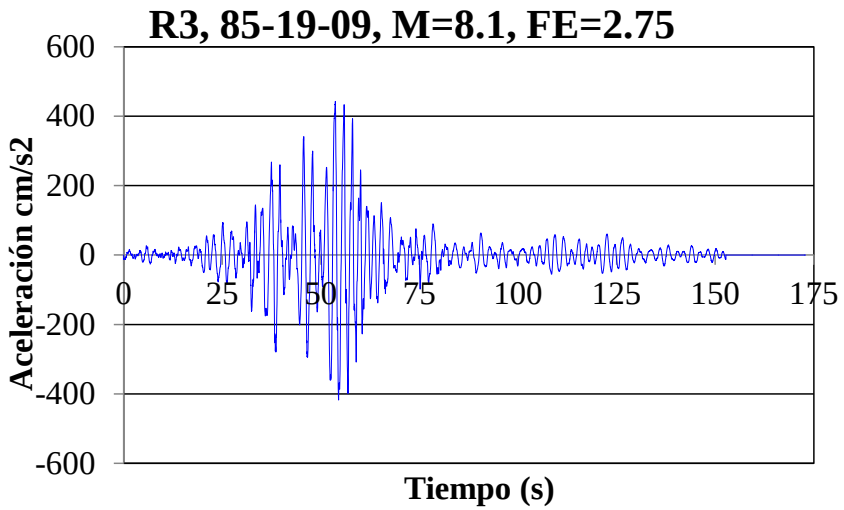

M1-R3 FE=2.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

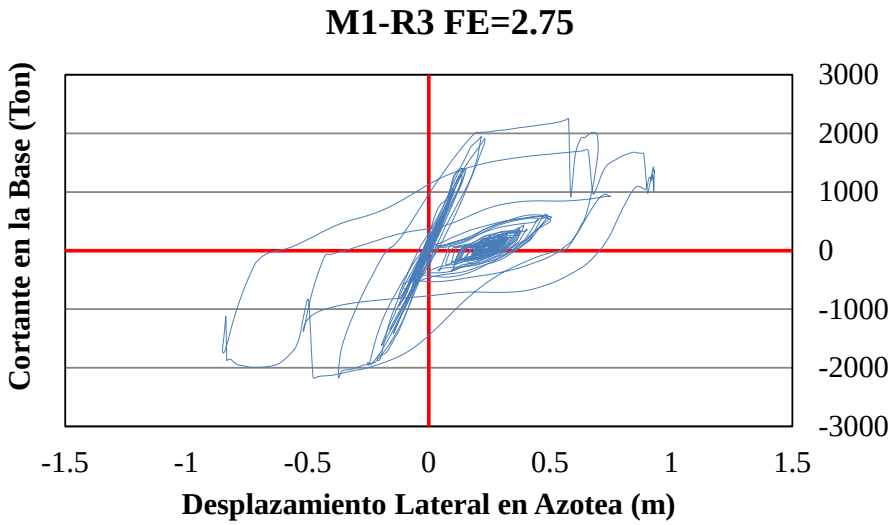

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=2.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

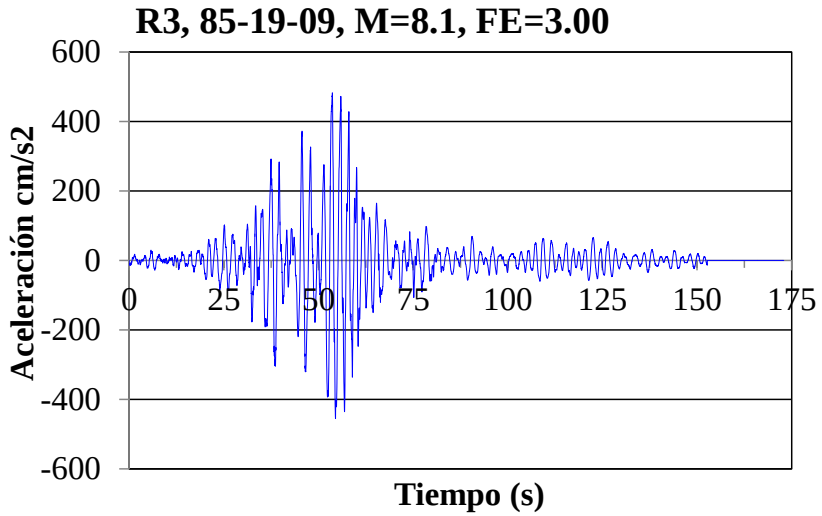

M1-R3 FE=2.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

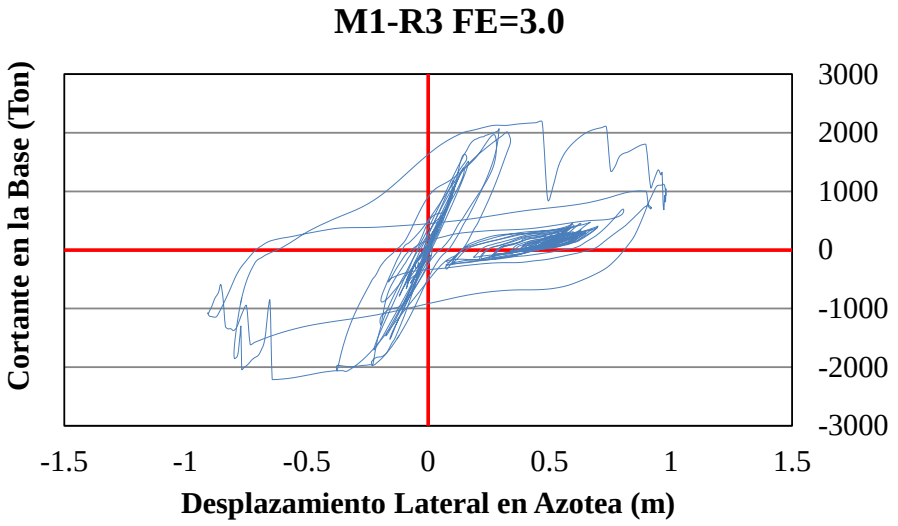

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=2.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

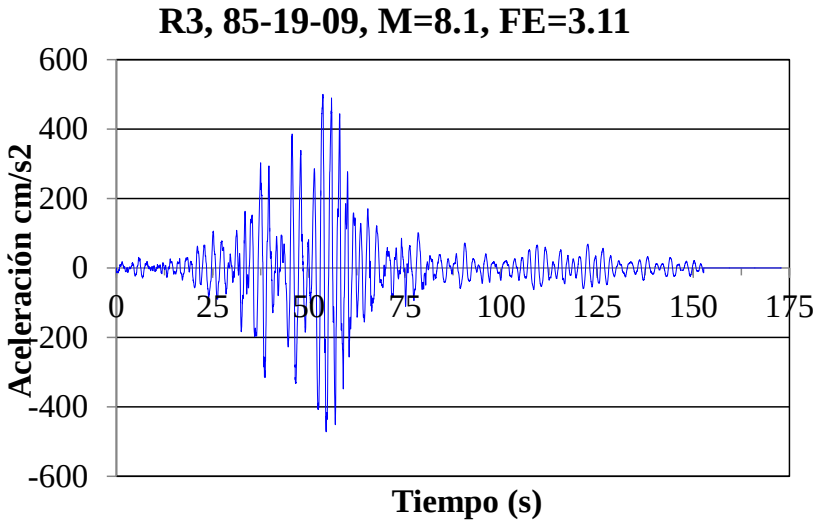

M1-R3 FE=2.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

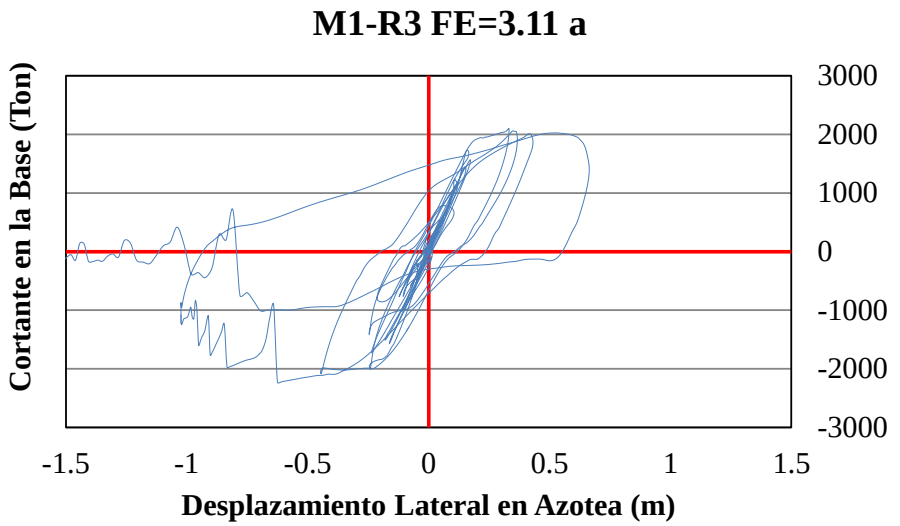

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=2.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

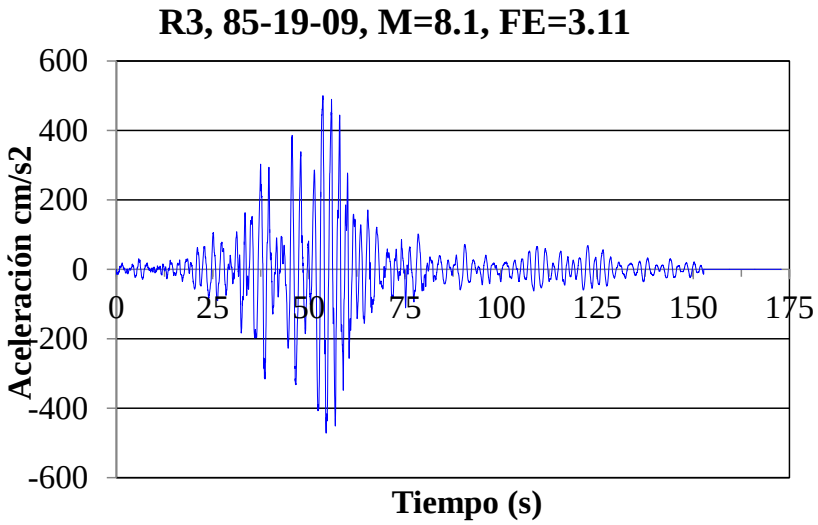

M1-R3 FE=2.75
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

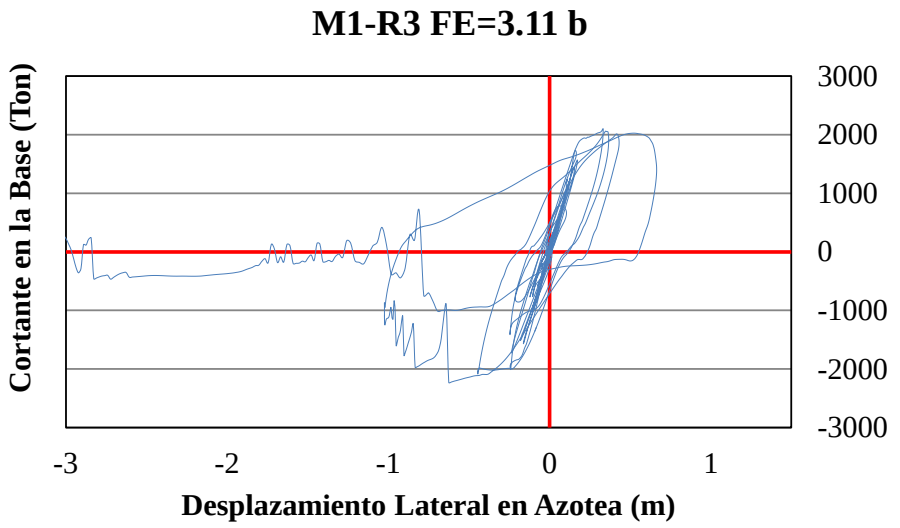

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=3.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

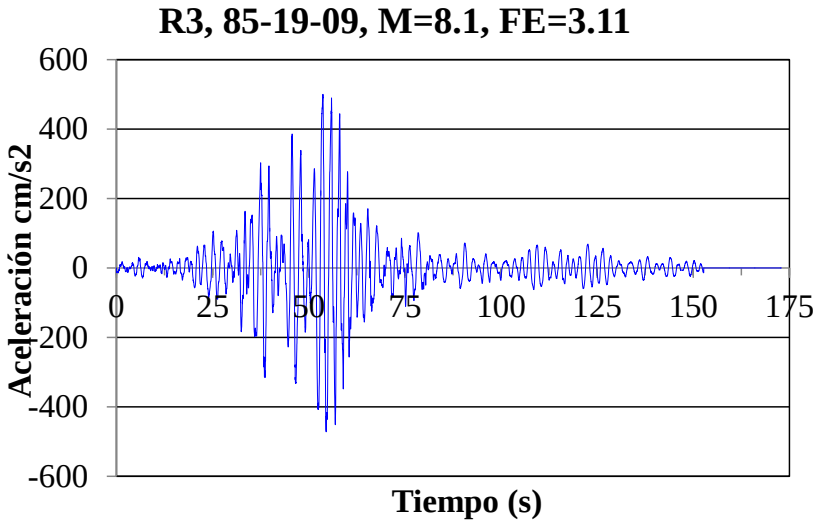

M1-R3 FE=3.0
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

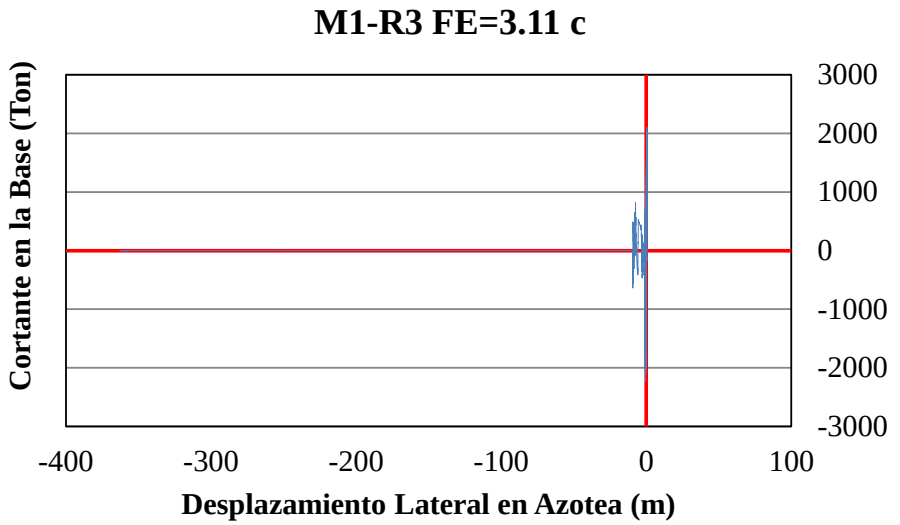

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=3.11
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

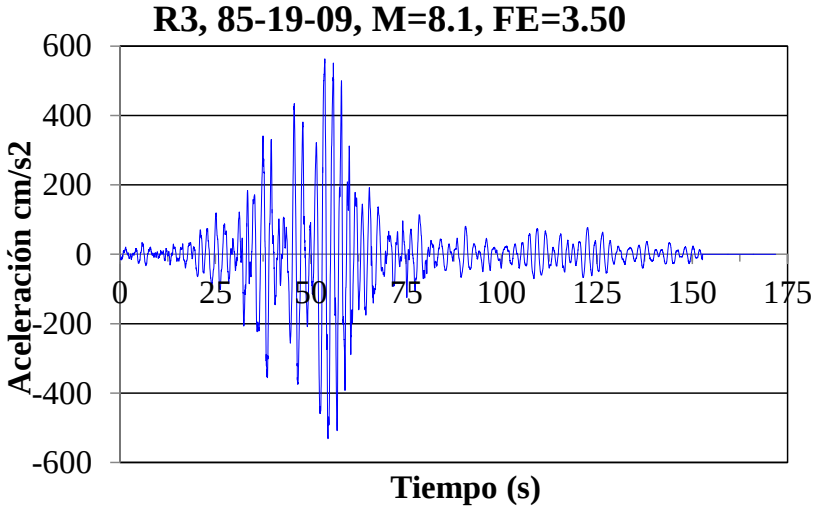

M1-R3 FE=3.11 a
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

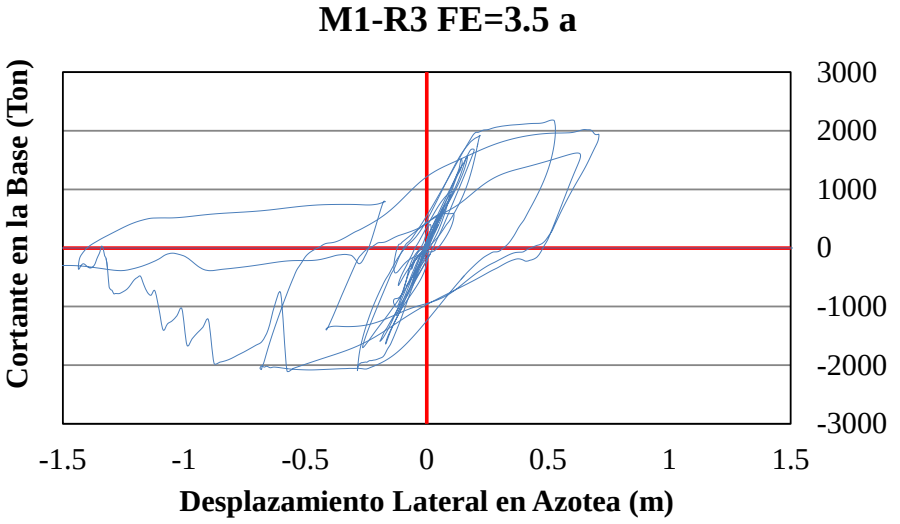

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=3.11
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

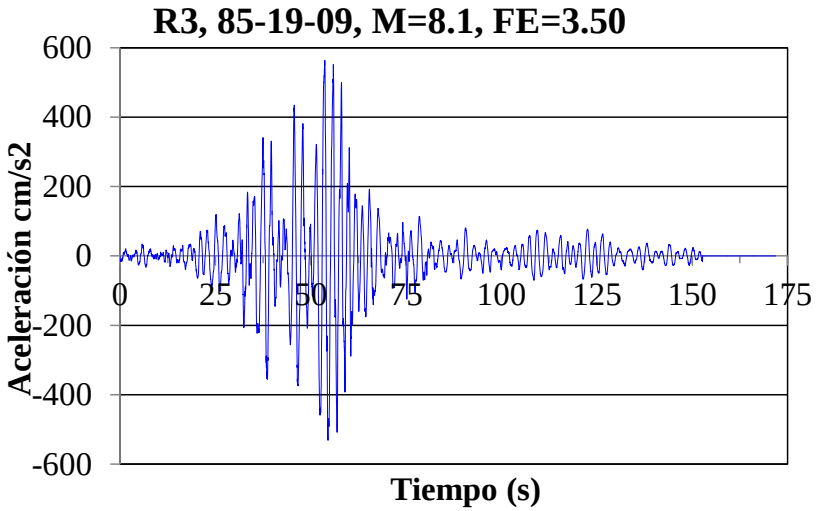

M1-R3 FE=3.11 b
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2
-1
0
1
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

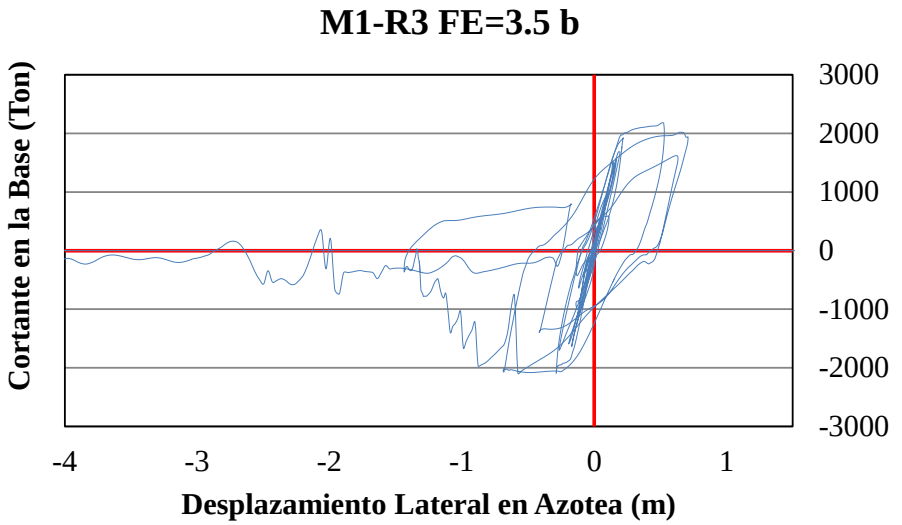

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=3.11
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

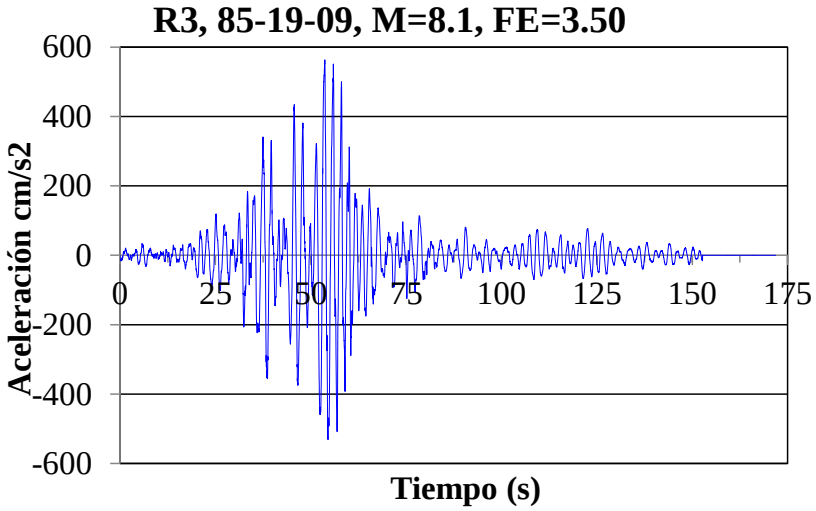

M1-R3 FE=3.11 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-400
-300
-200
-100
0
100
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

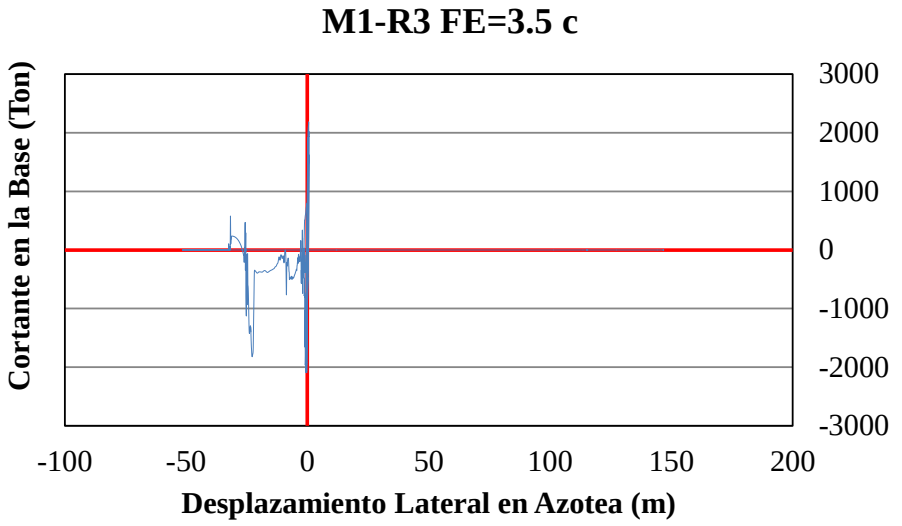

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=3.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M1-R3 FE=3.5 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R3, 85-19-09, M=8.1, FE=3.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M1-R3 FE=3.5 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4
-3
-2
-1
0
1
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

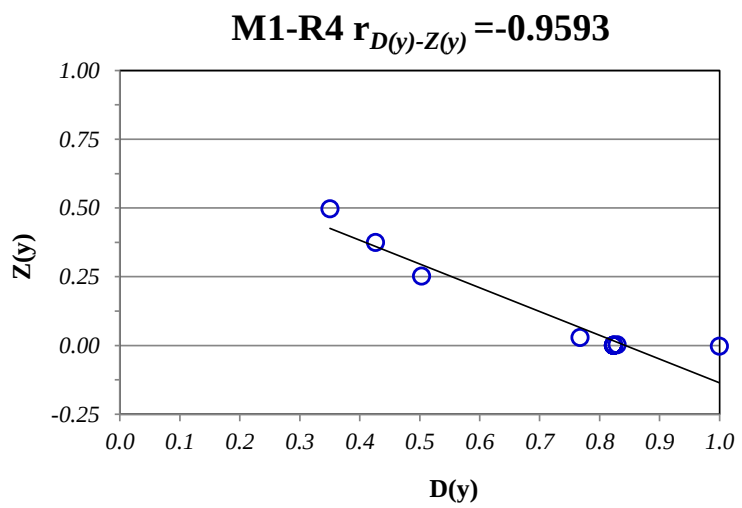

R3, 85-19-09, M=8.1, FE=3.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

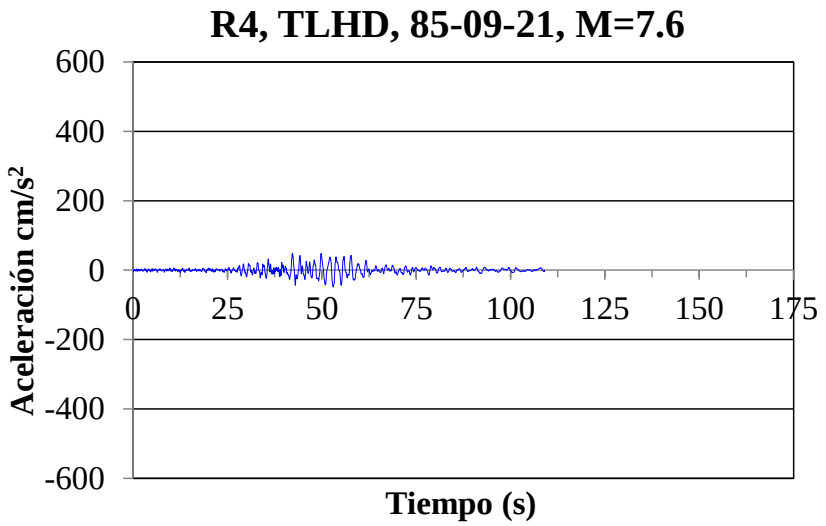

M1-R3 FE=3.5 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
-50
0
50
100
150
200
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

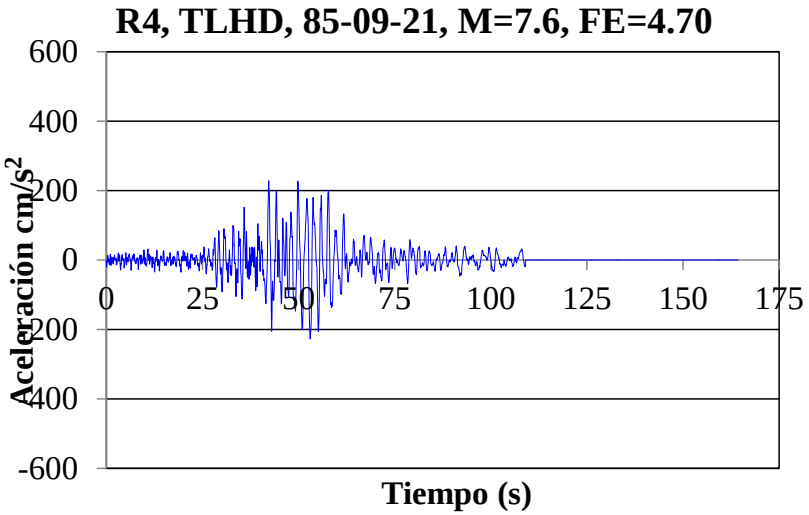
M1-R4

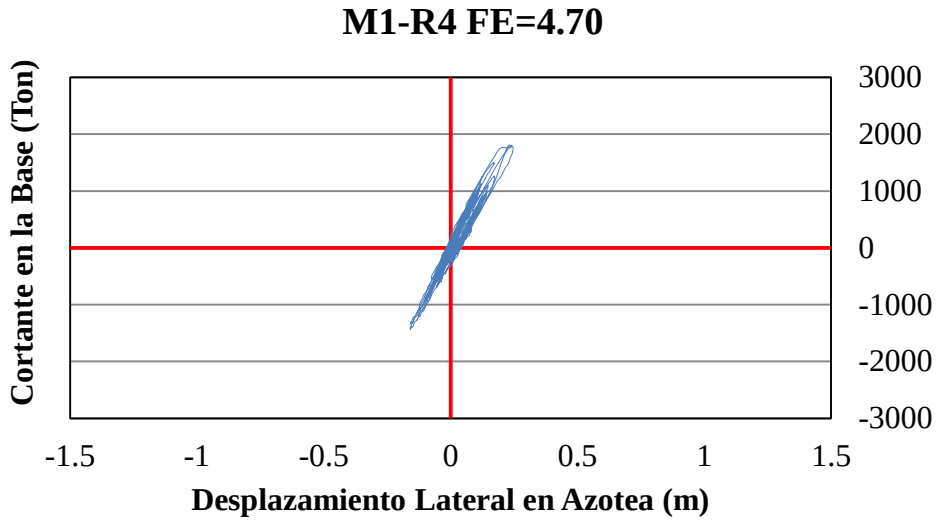
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
8.1	**6.86**	**10 987.77**	**0.1292**	**-0.9593**

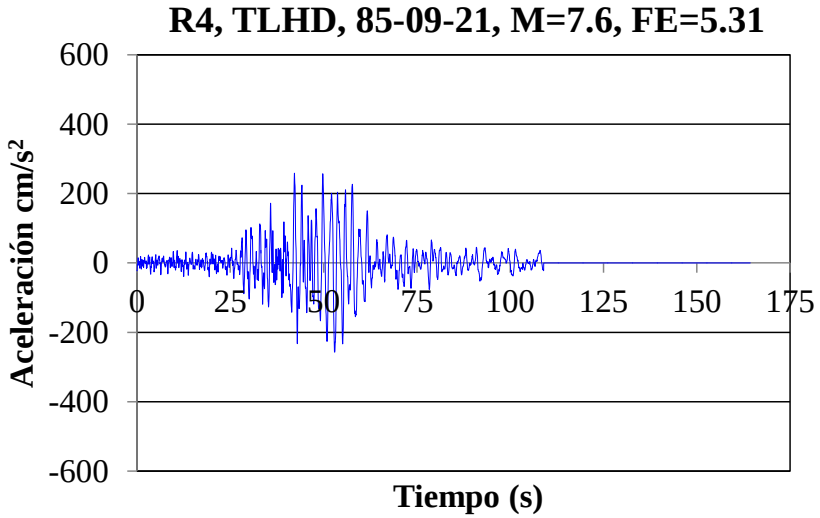
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6068	4.70	56.14	0.2464	1 758.970	7 138.25	0.3503	0.118
0.6860	5.31	56.15	0.2808	1 769.320	6 300.68	0.4266	-0.004
0.7752	6.00	56.14	0.3421	1 867.750	5 459.66	0.5031	-0.127
0.9690	7.50	62.05	0.6881	1 758.960	2 556.26	0.7674	-0.350
0.9948	7.70	68.02	0.8654	1 620.880	1 872.98	0.8295	-0.376
0.9974	7.72	62.09	0.8870	1 721.180	1 940.45	0.8234	-0.379
1.0000	7.74	109.03	252.43	0.003	0.00	1.0000	-0.381

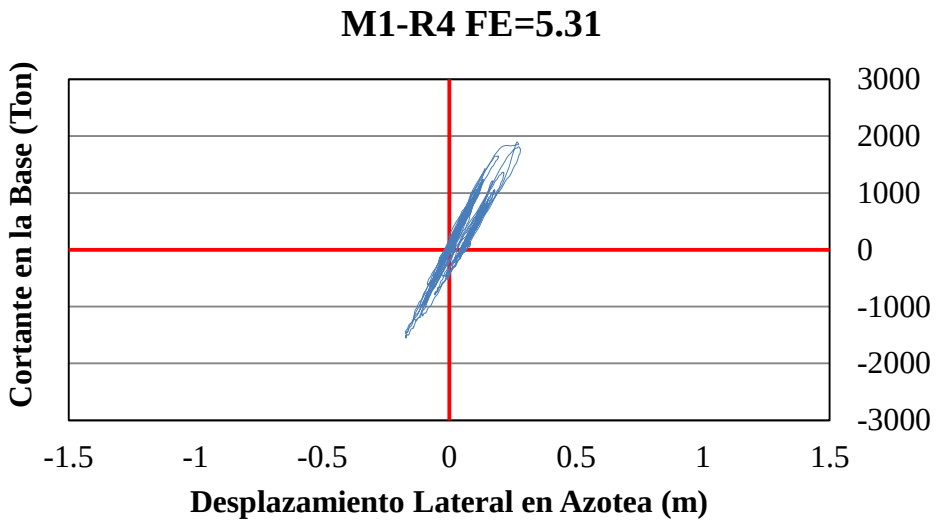

M1-R4 r D(y)-Z(y) =-0.9593
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

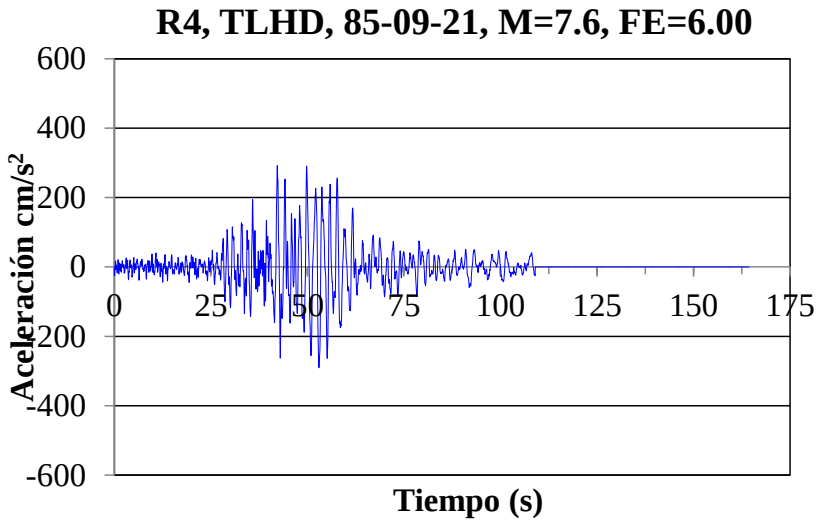

R4, TLHD, 85-09-21, M=7.6
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

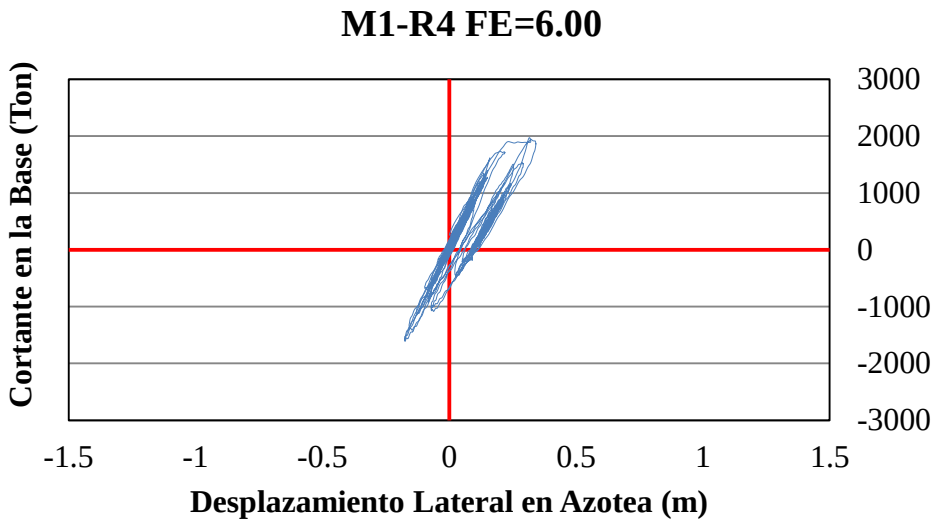

R4, TLHD, 85-09-21, M=7.6, FE=4.70
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

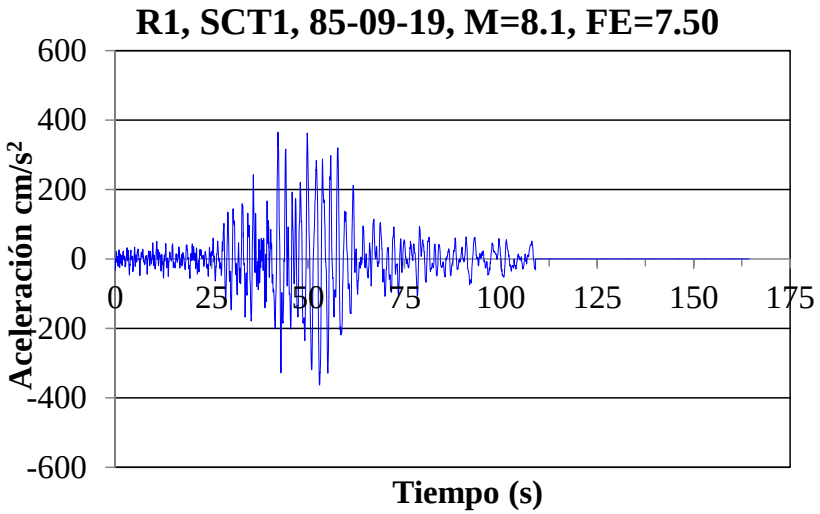

M1-R4 FE=4.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

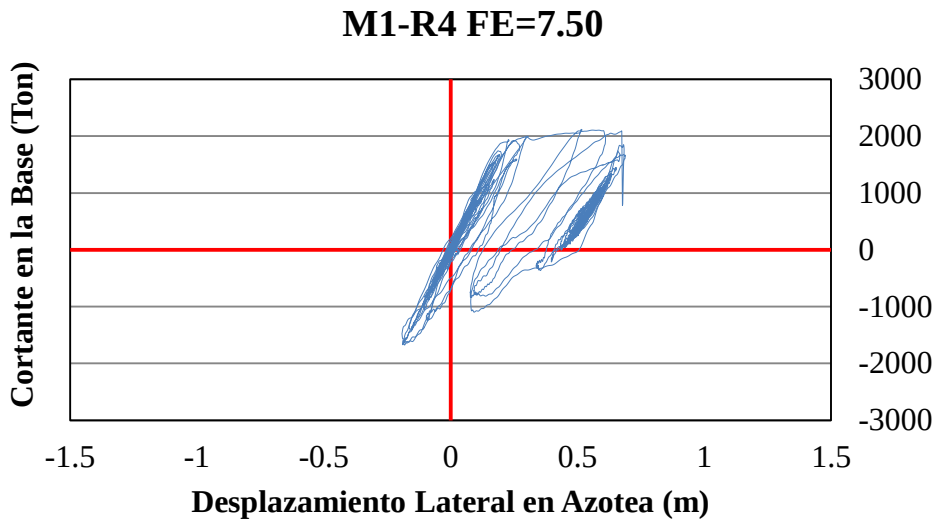

R4, TLHD, 85-09-21, M=7.6, FE=5.31
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

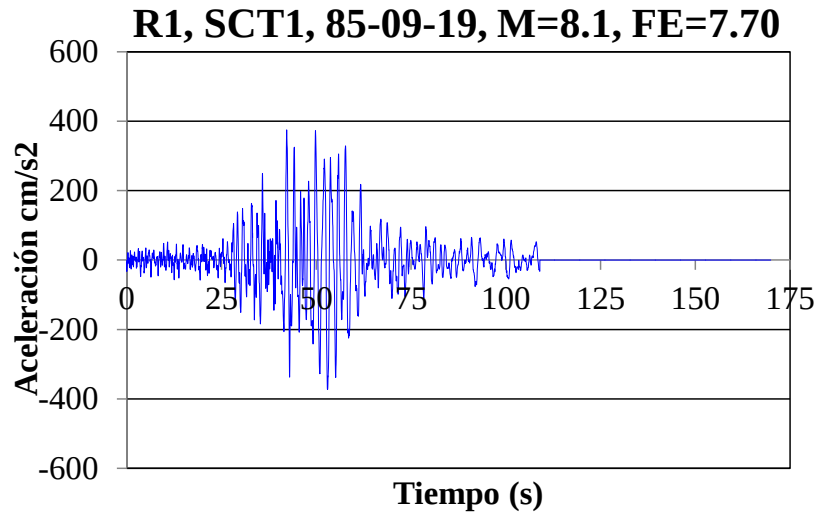

M1-R4 FE=5.31
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

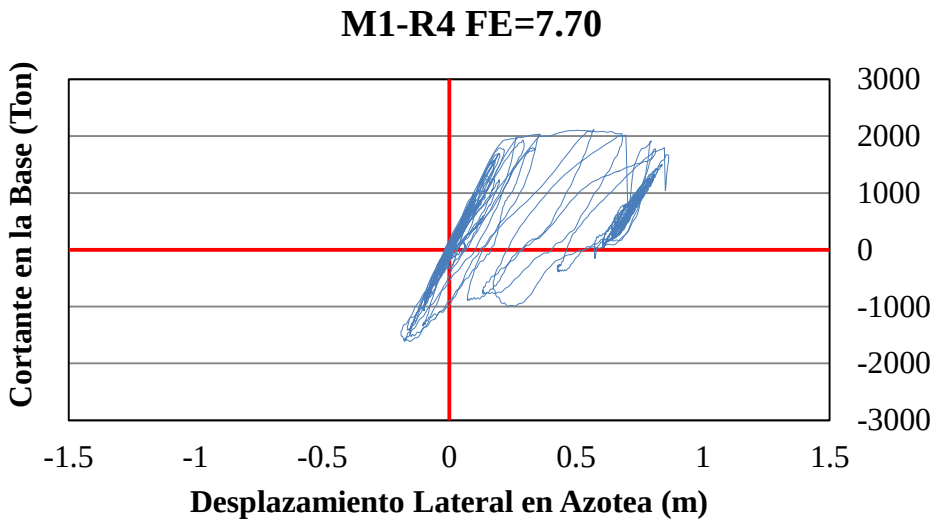

R4, TLHD, 85-09-21, M=7.6, FE=6.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

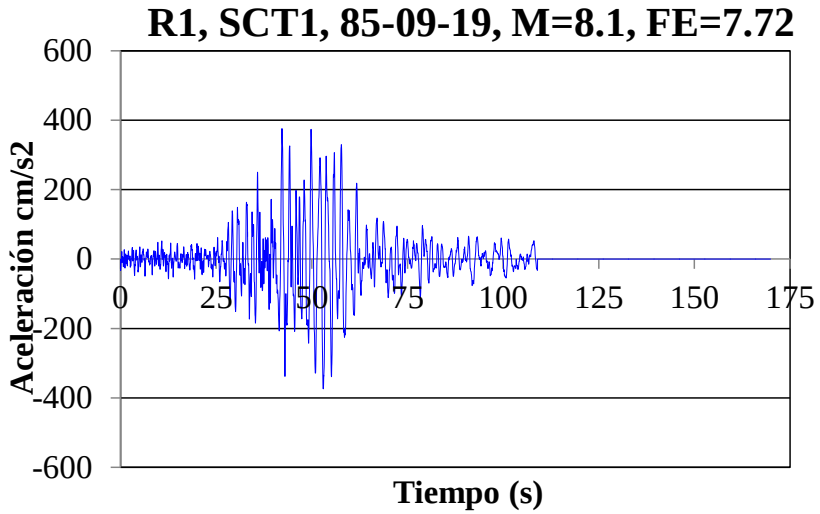

M1-R4 FE=6.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

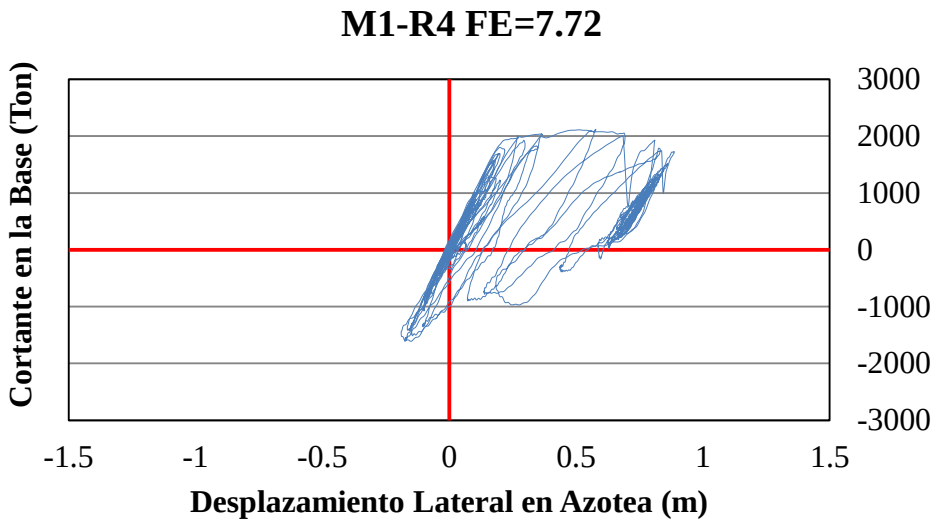

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=7.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

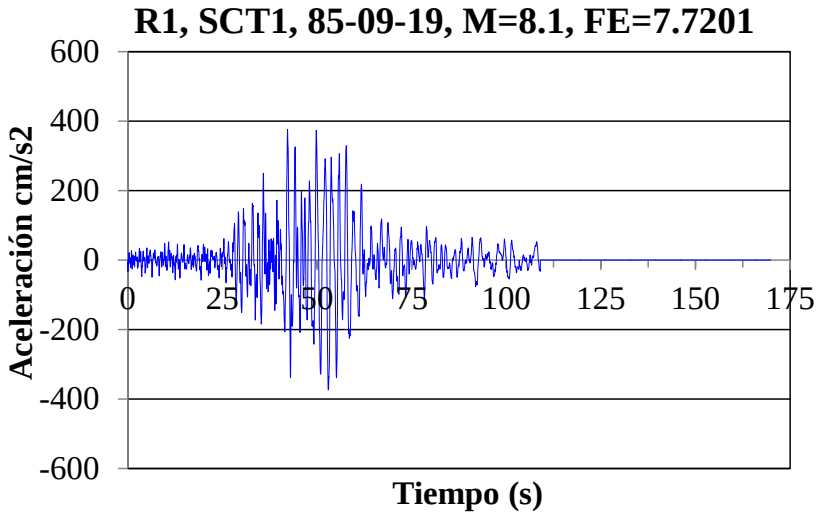

M1-R4 FE=7.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

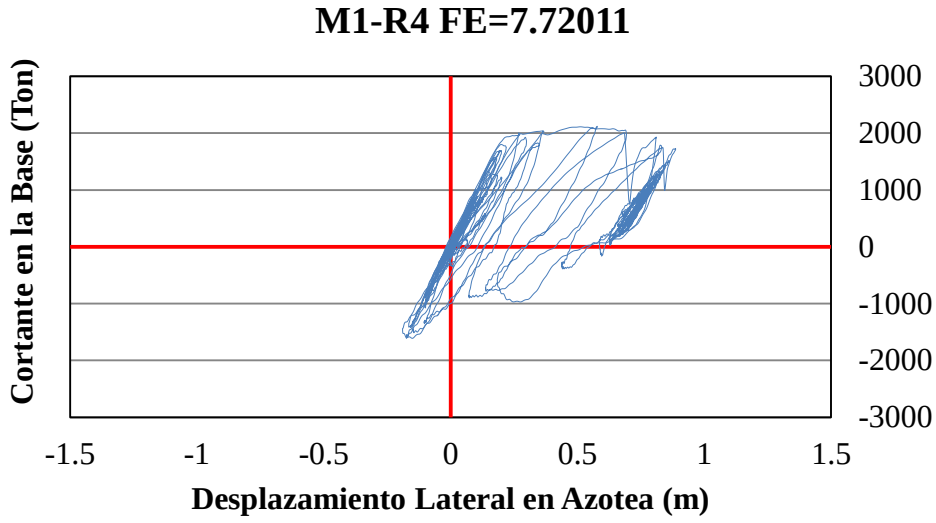

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=7.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

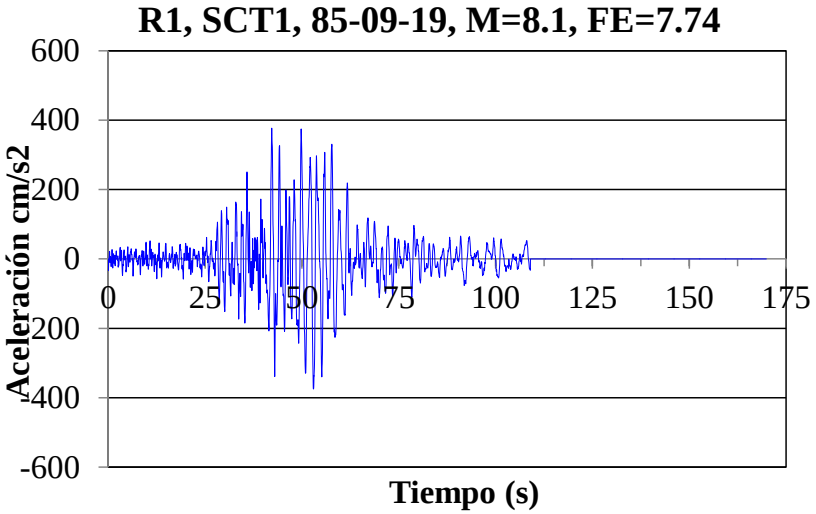

M1-R4 FE=7.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

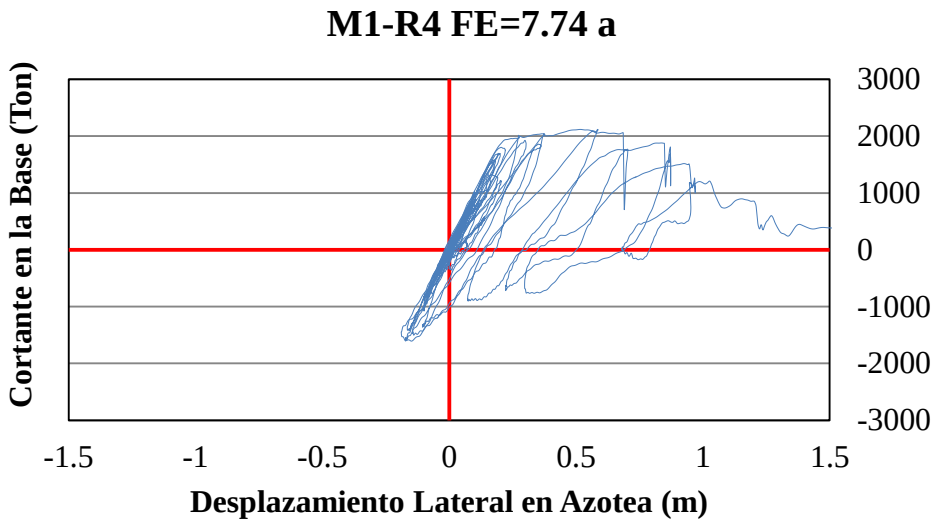

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=7.72
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

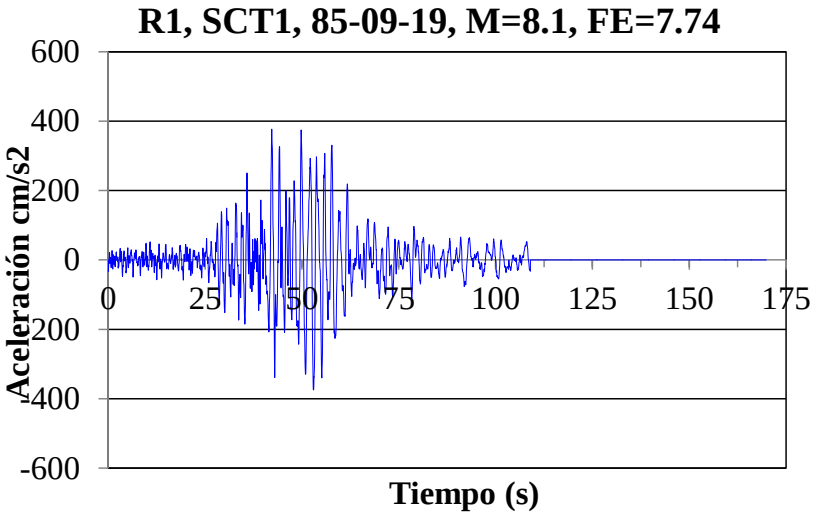

M1-R4 FE=7.72
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

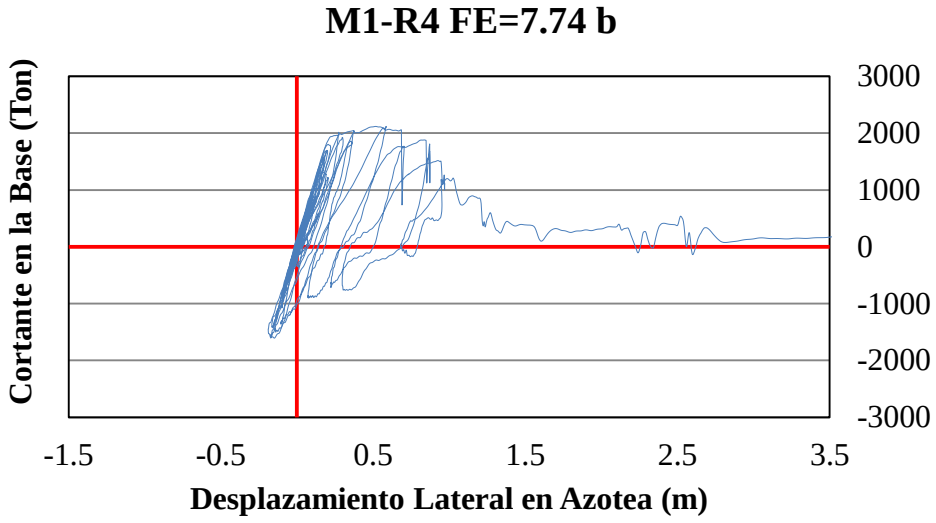

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=7.7201
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

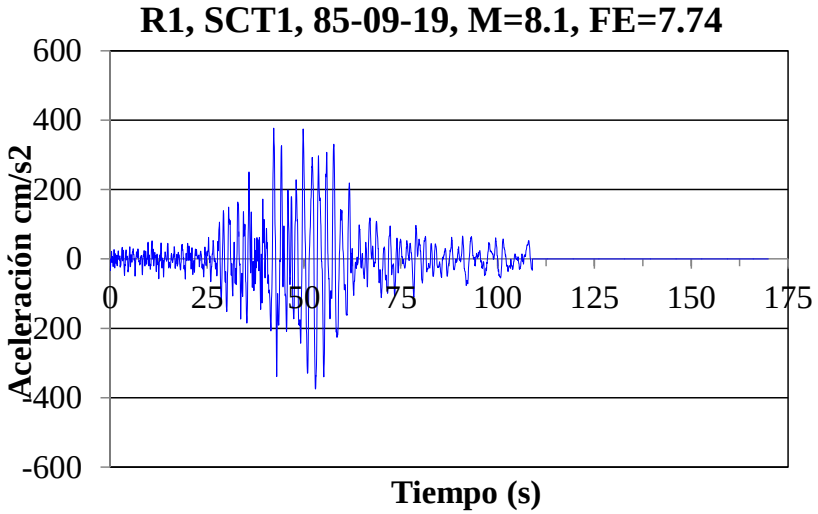

M1-R4 FE=7.72011
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

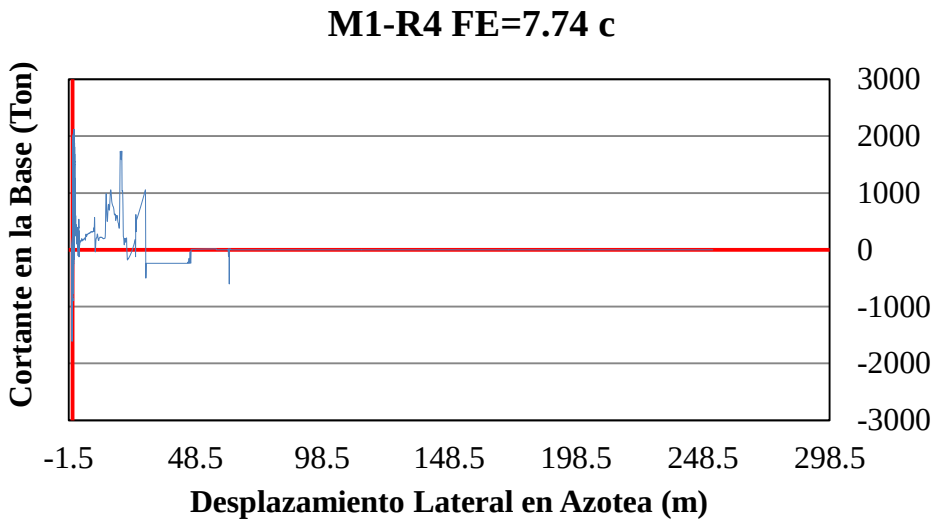

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=7.74
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M1-R4 FE=7.74 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=7.74
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M1-R4 FE=7.74 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-0.5
0.5
1.5
2.5
3.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

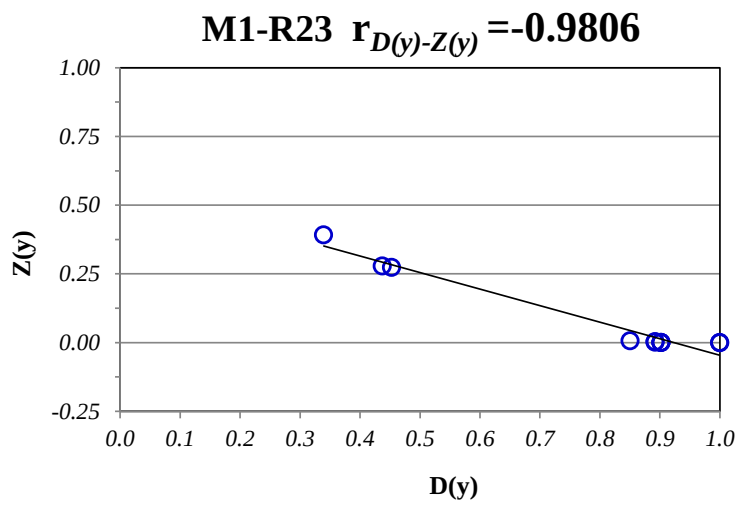

R1, SCT1, 85-09-19, M=8.1, FE=7.74
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

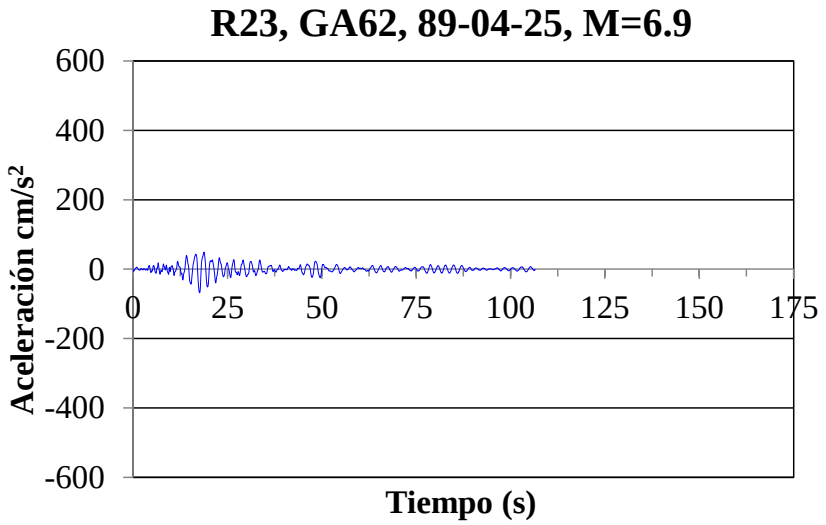

M1-R4 FE=7.74 c
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
48.5
98.5
148.5
198.5
248.5
298.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

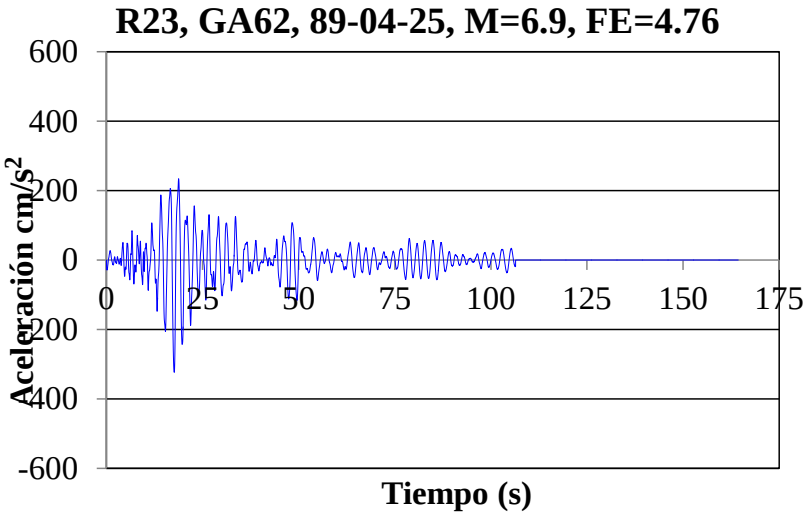
M1-R23

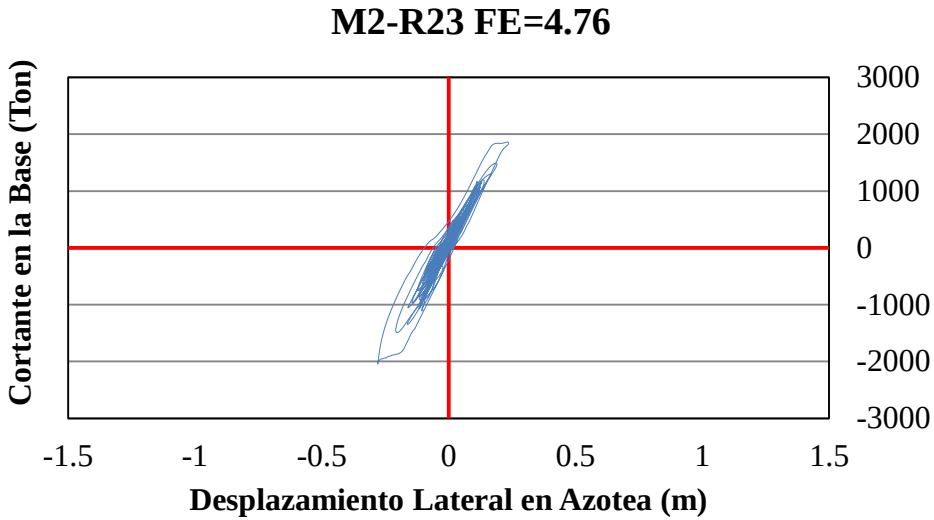
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**10 987.77**	**0.1281**	**-0.9806**

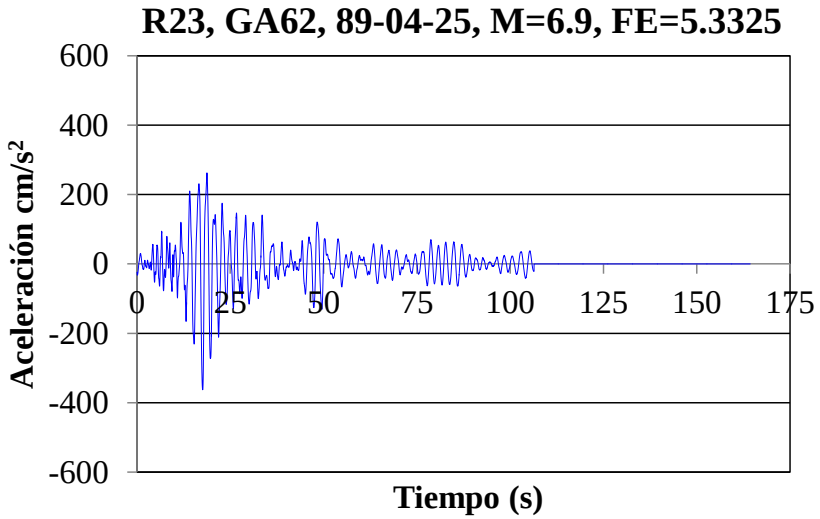
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6095	4.76	17.84	0.2795	0.000	7 258.33	0.3394	0.114
0.6830	5.3325	17.90	0.3372	-2 085.025	6 183.35	0.4373	0.000
0.6865	5.36	17.90	0.3403	0.000	6 011.23	0.4529	-0.005
0.8966	7.00	20.34	0.9008	0.000	1 646.24	0.8502	-0.272
0.8991	7.02	22.65	0.9177	0.000	1 186.43	0.8920	-0.275
0.9004	7.03	22.65	0.9178	0.000	1 187.41	0.8919	-0.276
0.9017	7.040	22.66	0.9304	0.000	1 077.64	0.9019	-0.278
0.9018	7.041	22.66	0.9305	-1 002.418	1 077.29	0.9020	-0.278
0.9020	7.042	22.66	0.9306	-1 002.158	1 076.89	0.9020	-0.278
0.9021	7.043	85.94	191.6053	0.000	0 000.00	1.0000	-0.278
0.9030	7.05	85.94	335.7354	0.000	0 000.00	1.0000	-0.279

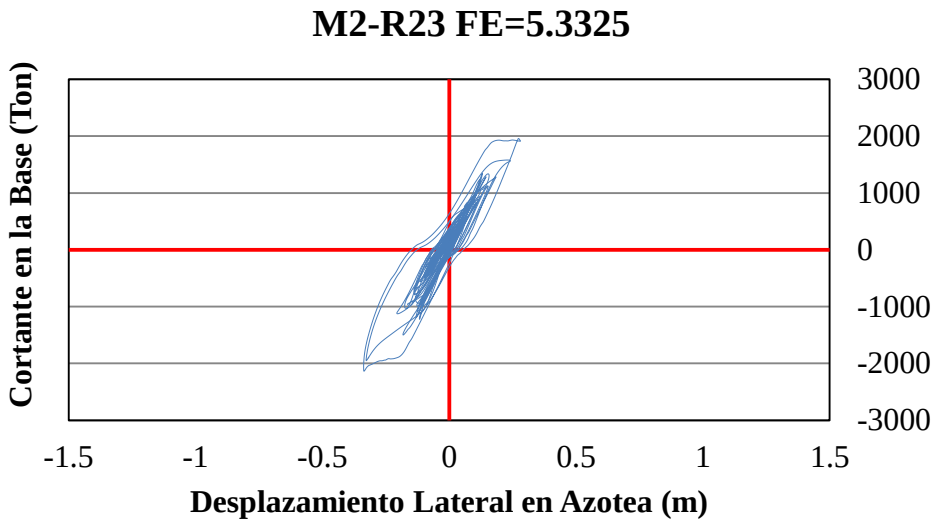

M1-R23 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.9806
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

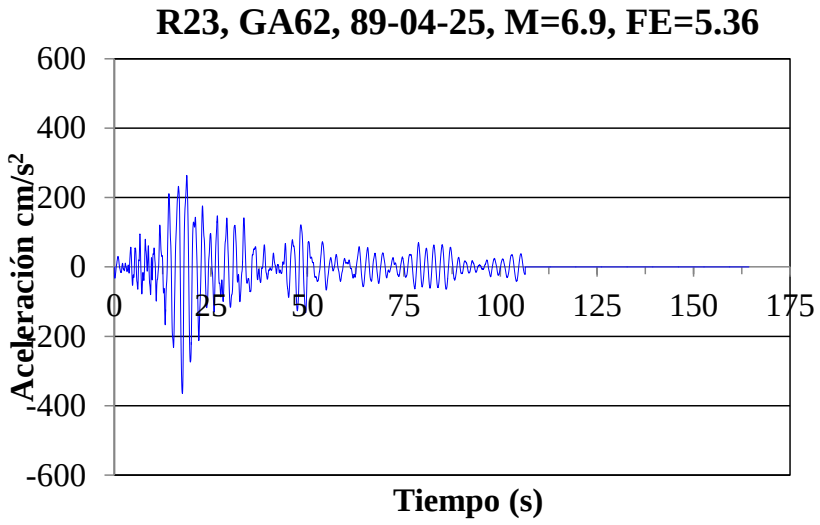

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

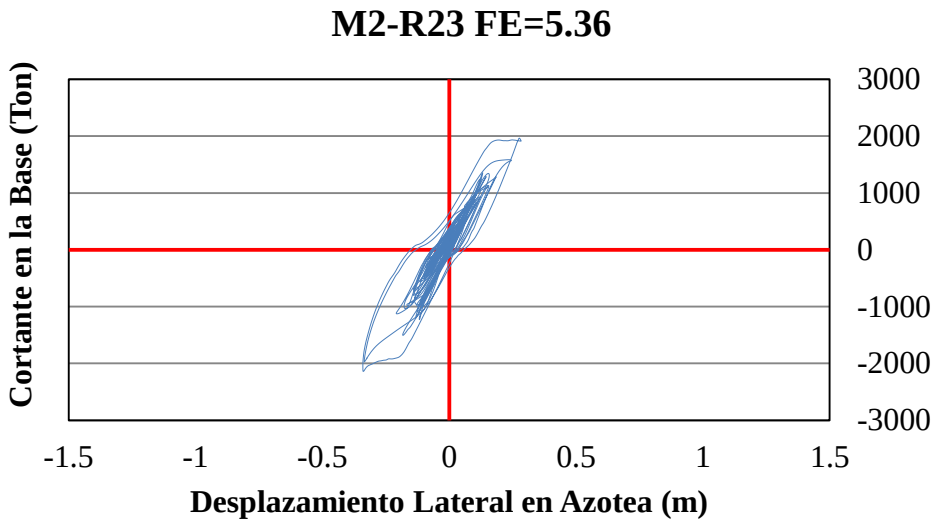

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=4.76
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

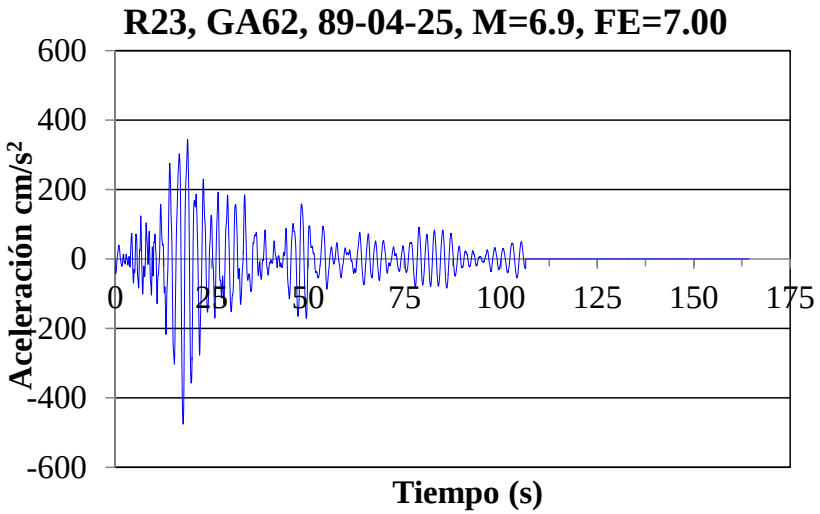

M2-R23 FE=4.76
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

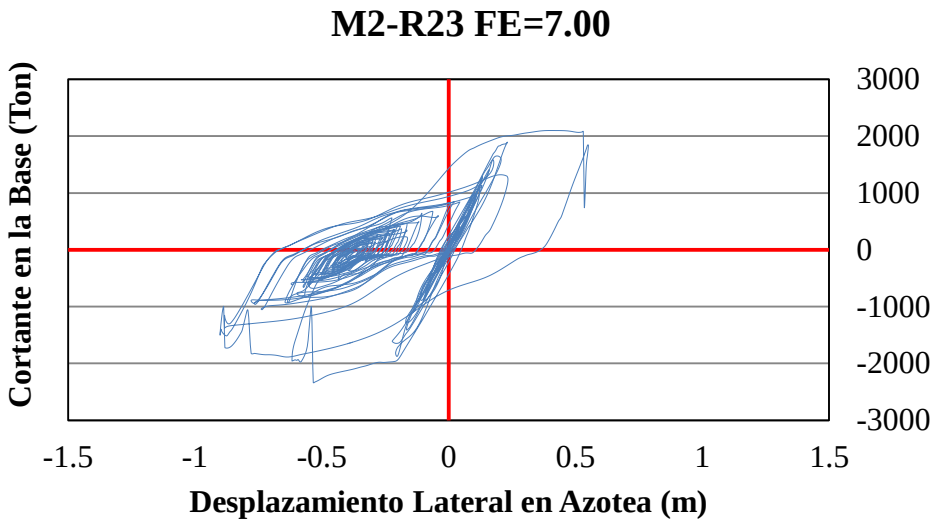

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=5.3325
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

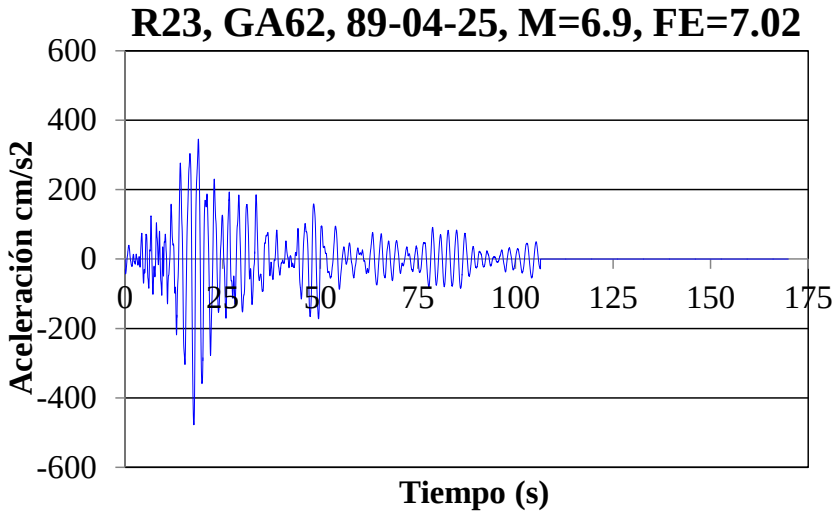

M2-R23 FE=5.3325
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

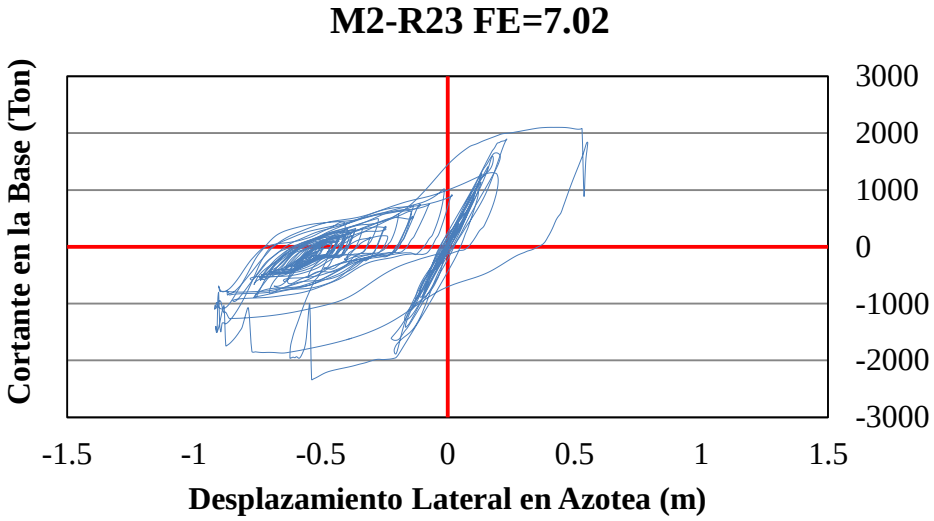

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=5.36
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

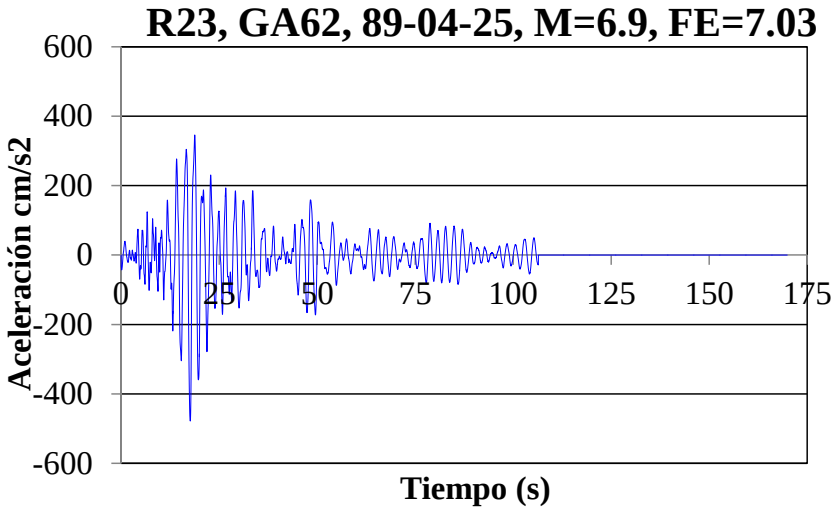

M2-R23 FE=5.36
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

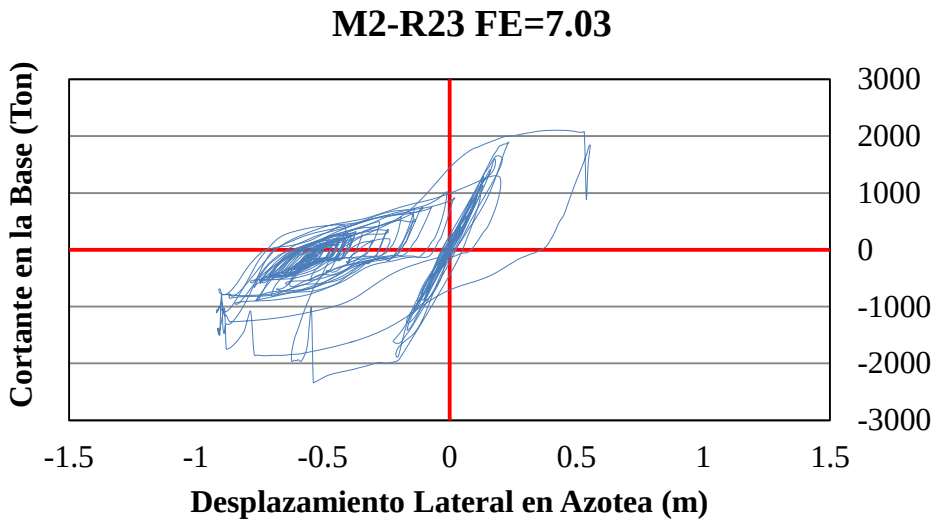

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

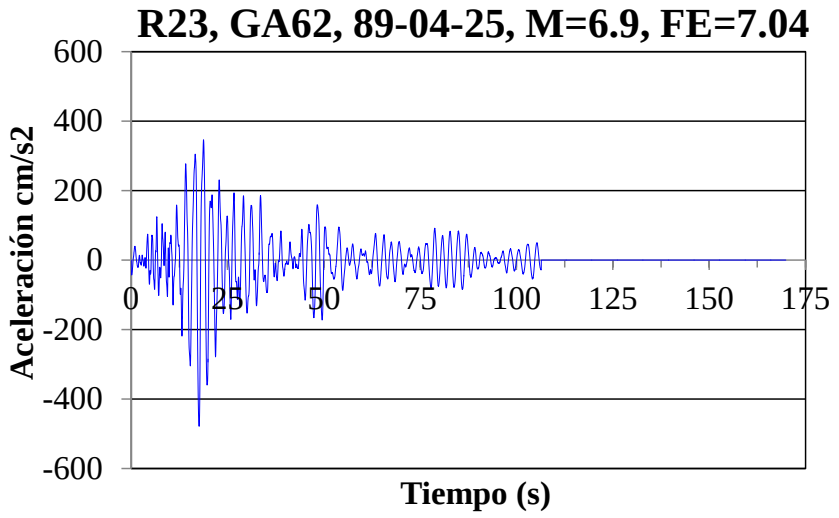

M2-R23 FE=7.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

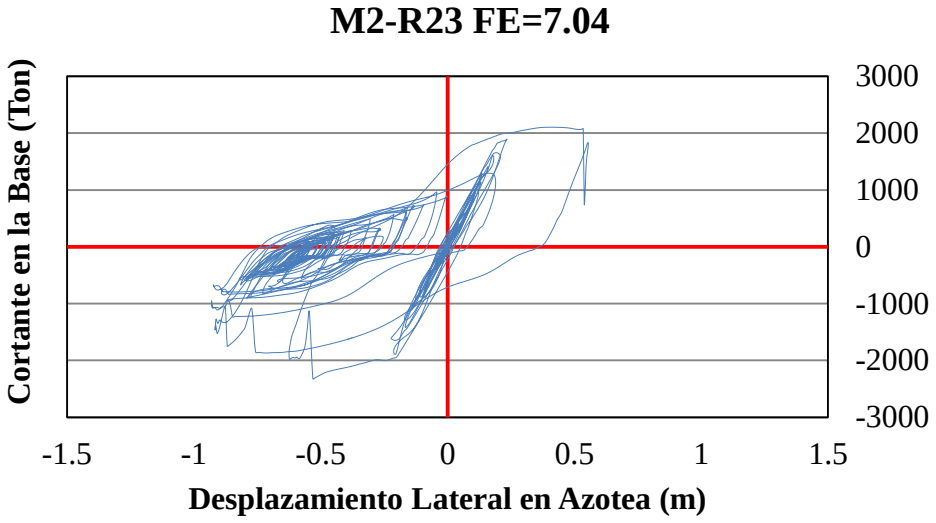

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.02
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

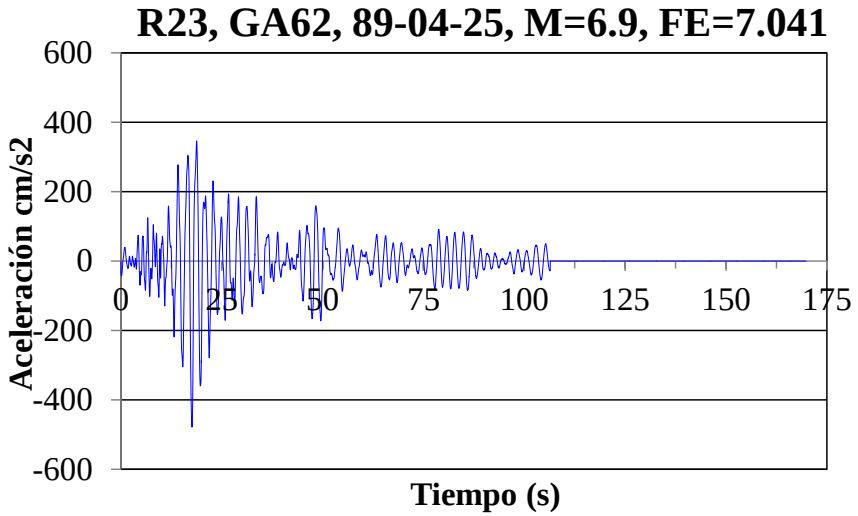

M2-R23 FE=7.02
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

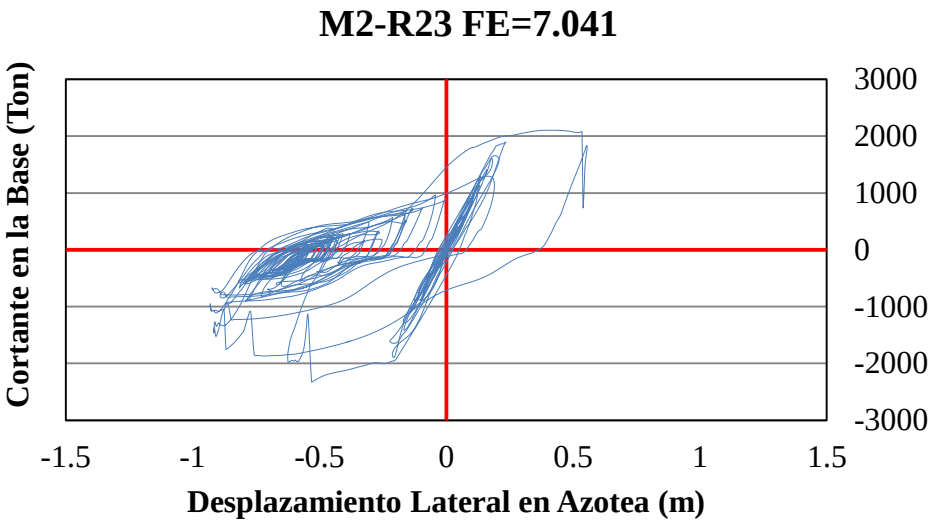

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.03
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

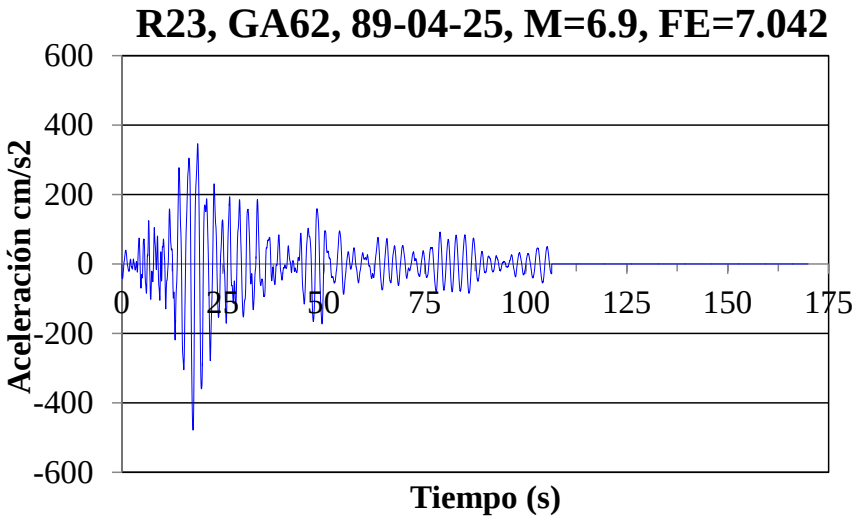

M2-R23 FE=7.03
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

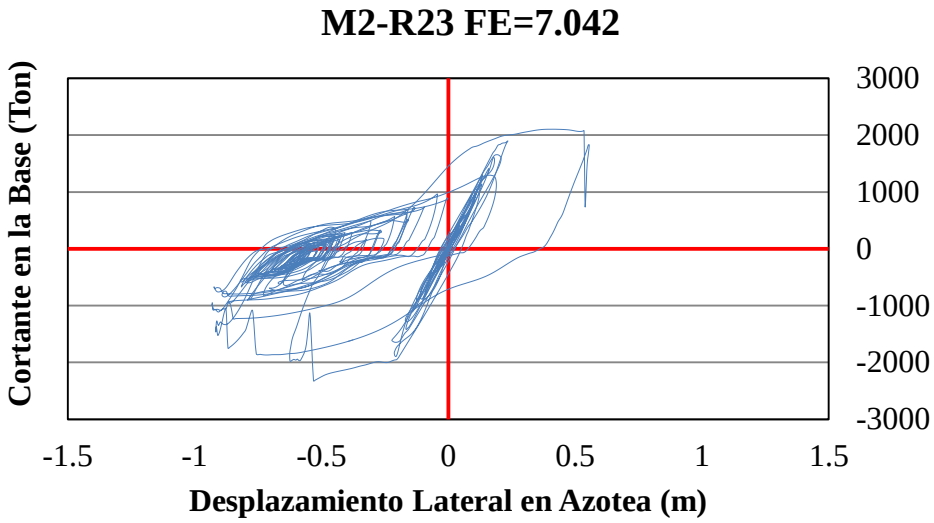

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.04
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

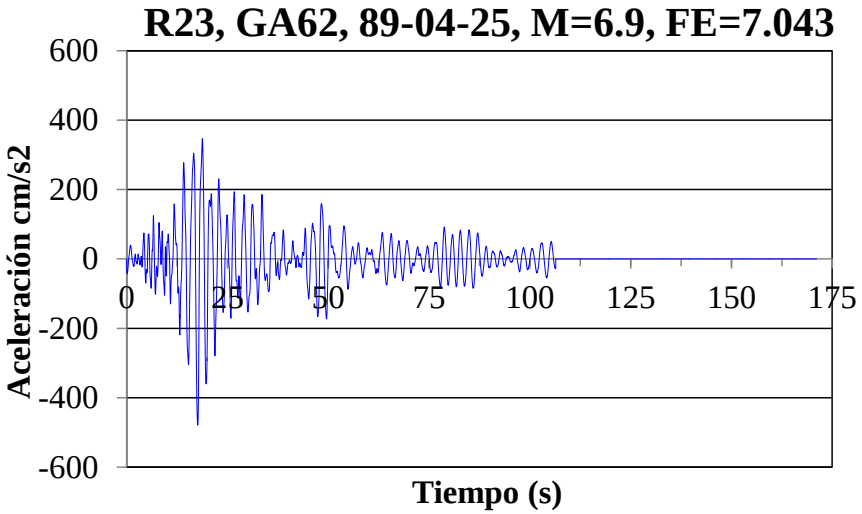

M2-R23 FE=7.04
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

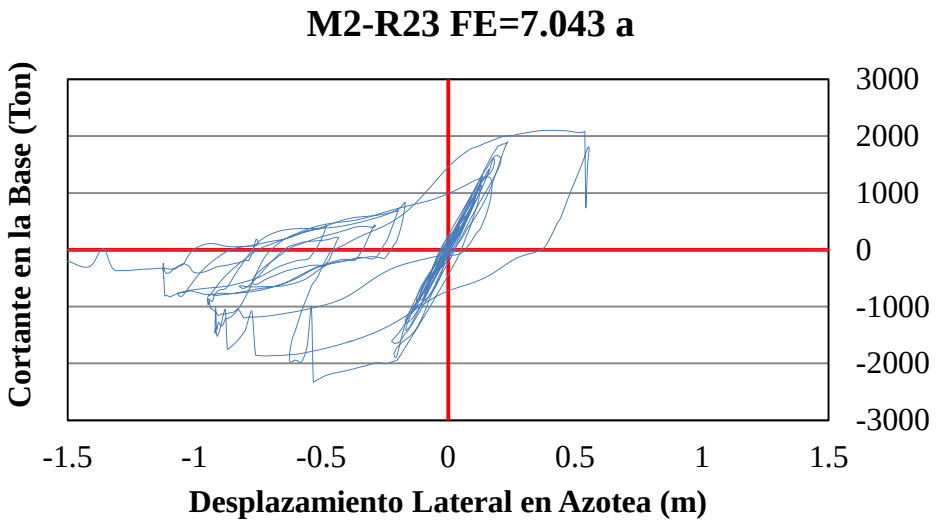

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.041
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

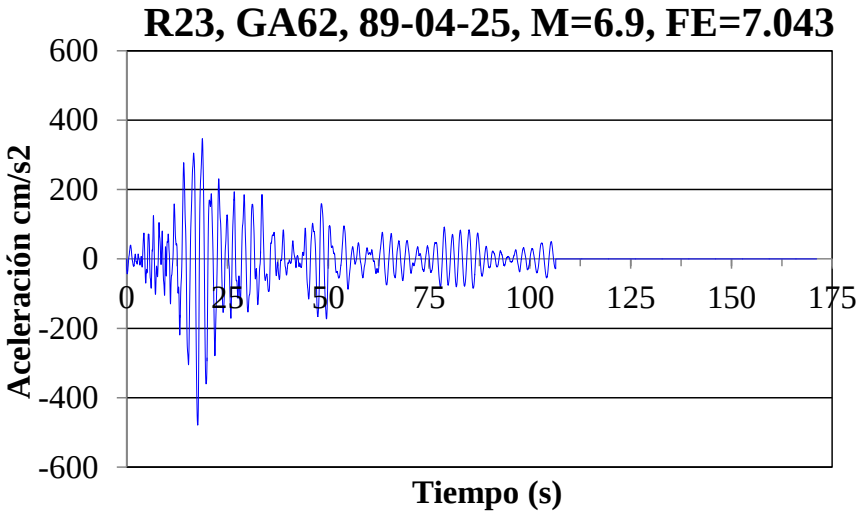

M2-R23 FE=7.041
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

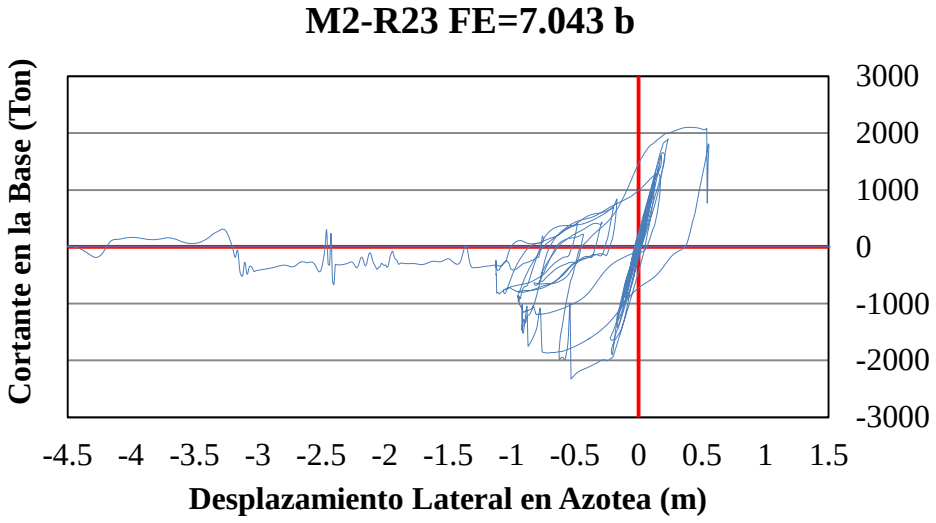

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.042
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

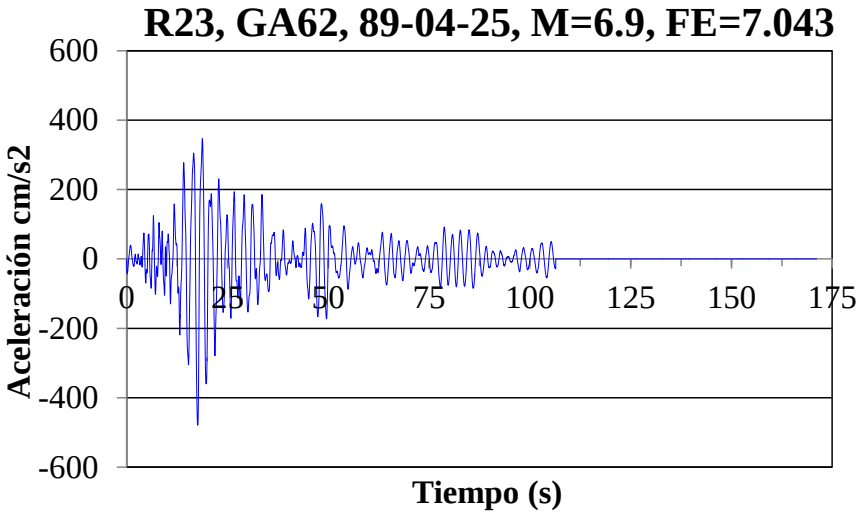

M2-R23 FE=7.042
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

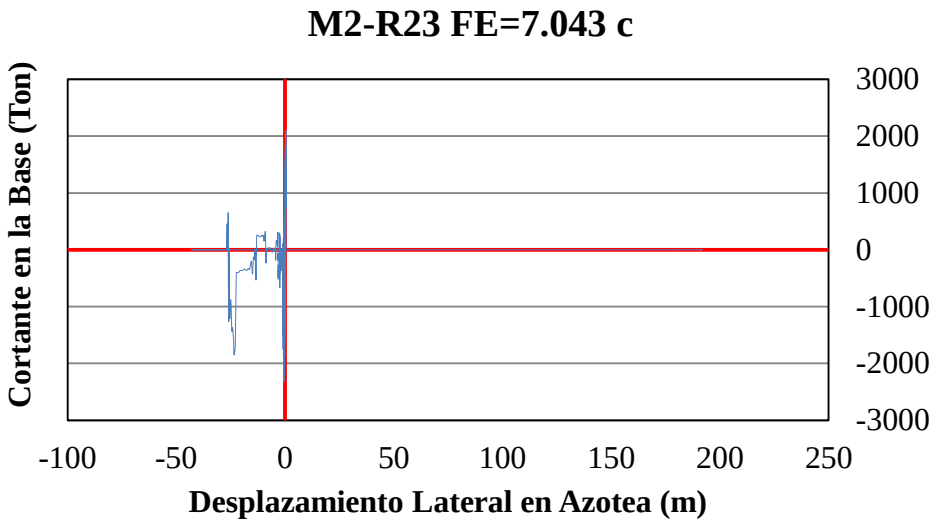

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.043
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

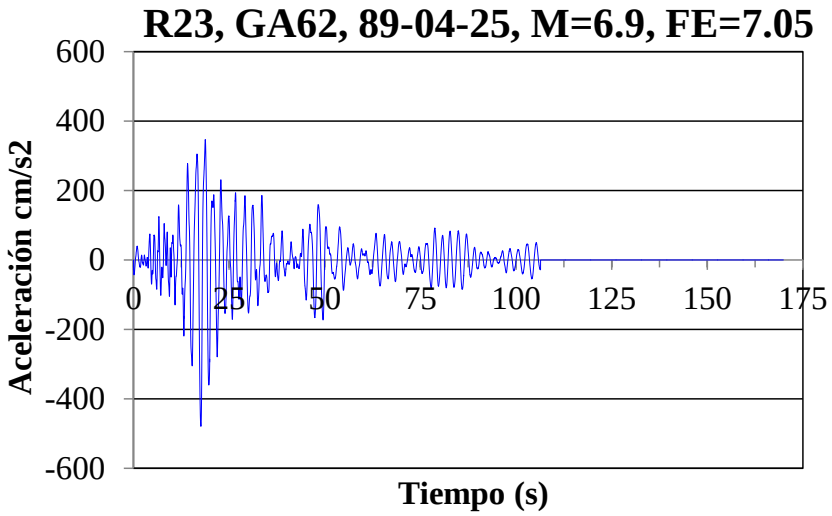

M2-R23 FE=7.043 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

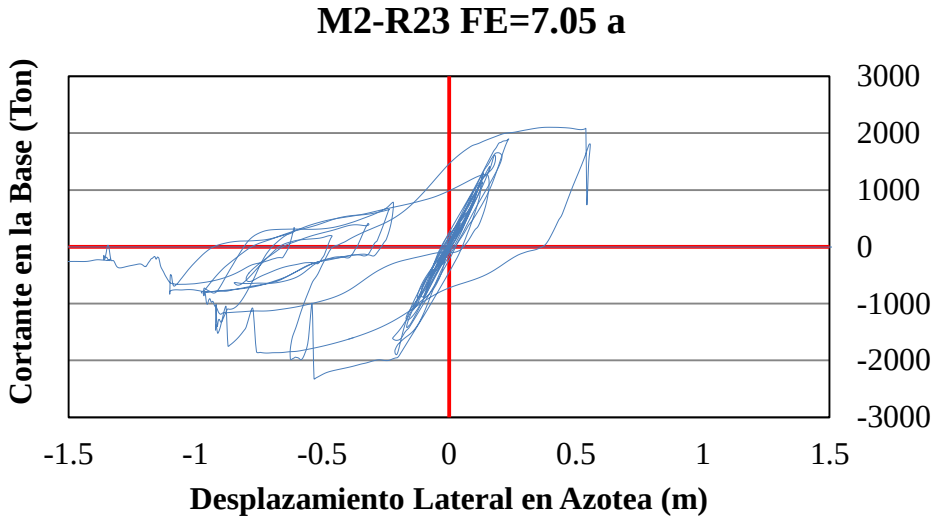

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.043
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

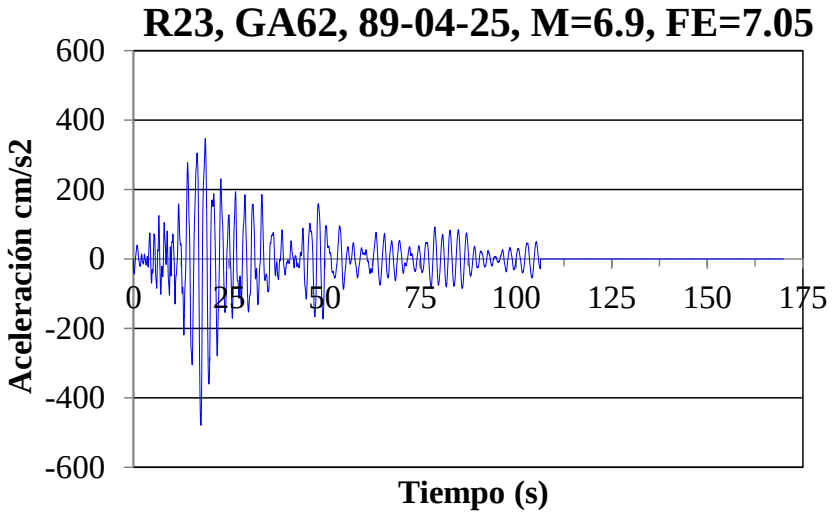

M2-R23 FE=7.043 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4.5
-4
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

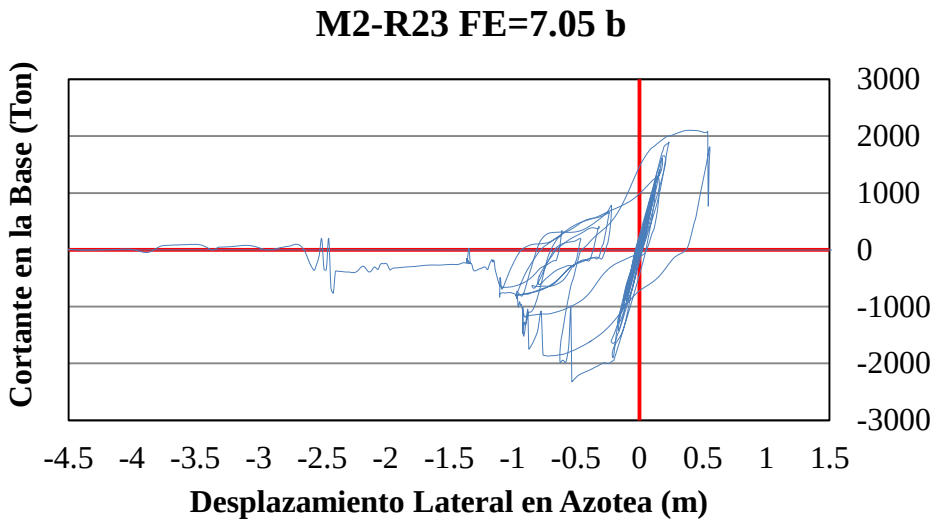

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.043
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175

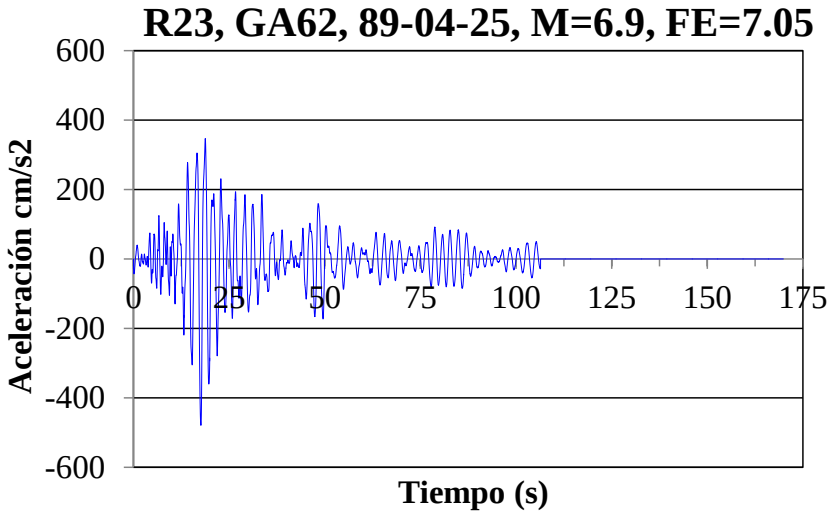

M2-R23 FE=7.043 c
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
-50
0
50
100
150
200
250

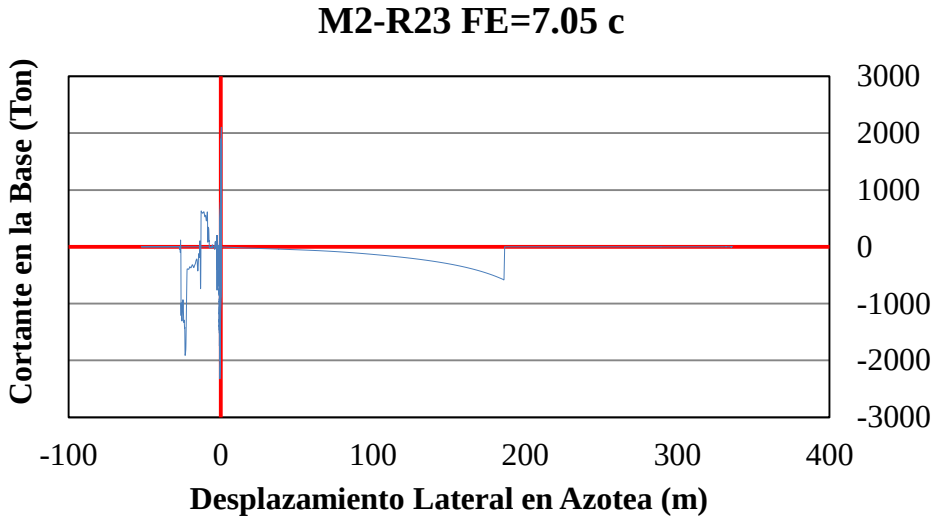

R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.05
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175


M2-R23 FE=7.05 a
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5


R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.05
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R23 FE=7.05 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4.5
-4
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R23, GA62, 89-04-25, M=6.9, FE=7.05
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

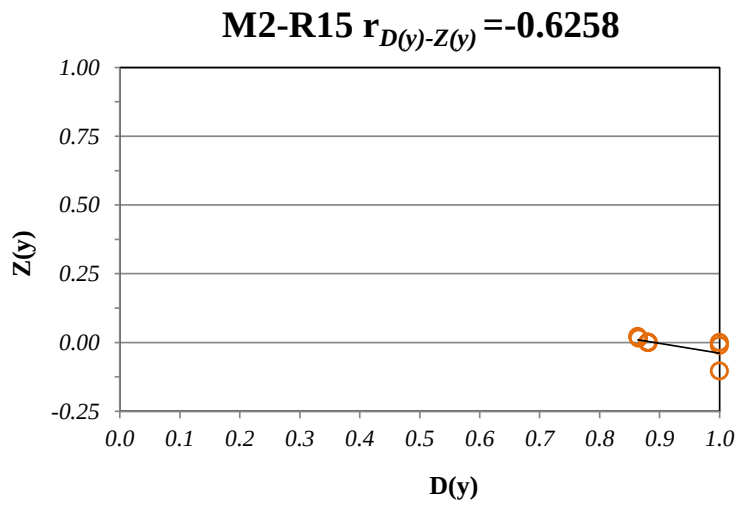

M2-R23 FE=7.05 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
0
100
200
300
400
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

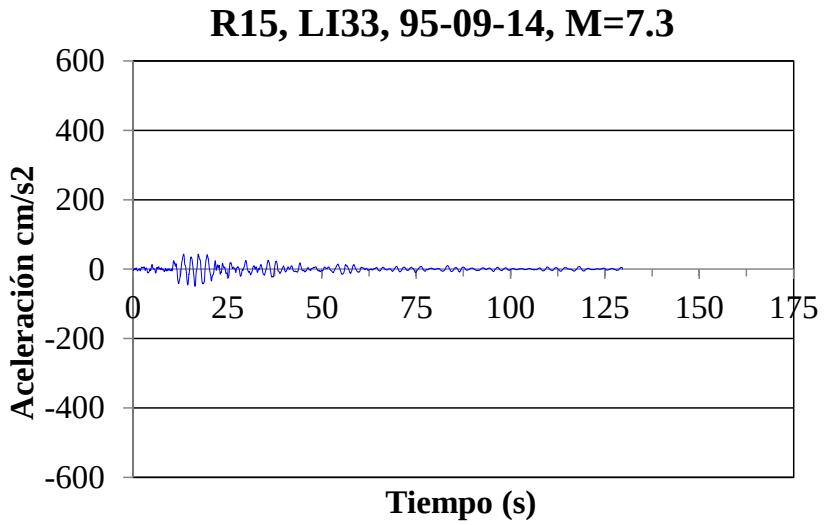
M2-R15

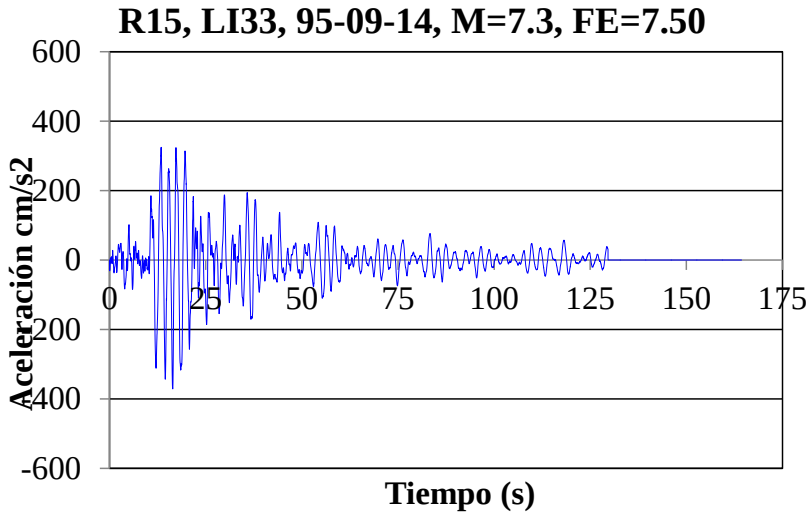
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.3	**6.83**	**9 796.10**	**0.080**	**-0.6258**

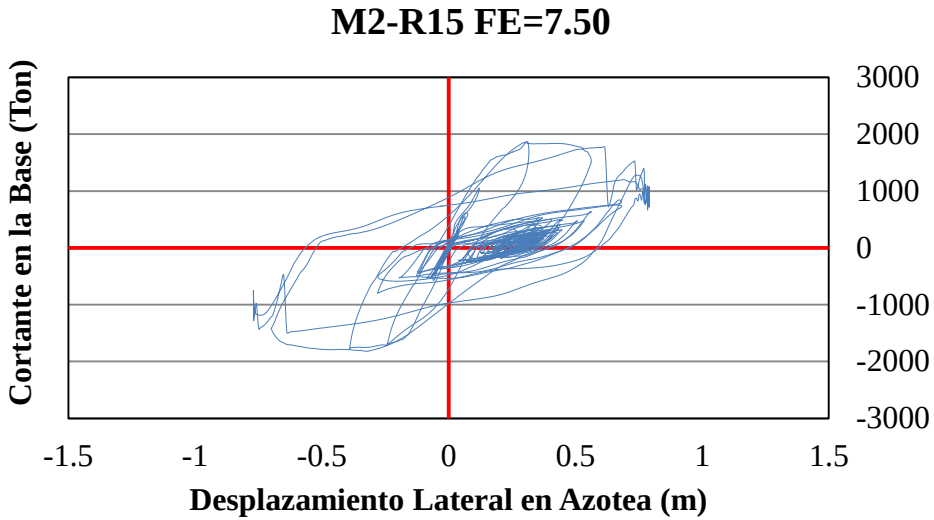
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6023	7.500	20.55	0.7916	0.000	1 335.64	0.8637	0.126
0.6063	7.550	20.56	0.8598	0.000	1 324.47	0.8648	0.119
0.6151	7.660	20.57	0.8513	0.000	1 166.76	0.8809	0.105
0.6152	7.661	20.57	0.8513	993.218	1 166.71	0.8809	0.105
0.6153	7.662	20.57	0.8513	993.191	1 166.68	0.8809	0.104
0.6154	7.663	20.57	0.8511	993.364	1 167.15	0.8809	0.104
0.6155	7.664	20.57	0.8511	993.511	1 167.33	0.8808	0.104
0.6155	7.665	20.57	0.8512	993.244	1 166.88	0.8809	0.104
0.6156	7.666	0.00	0.0000	0.000	0 000.00	1.0000	0.104
0.6224	7.750	129.33	56.2870	0.000	0 000.00	1.0000	0.093
0.6830	8.50509	118.10	118.2642	0.000	0 000.00	1.0000	0.000

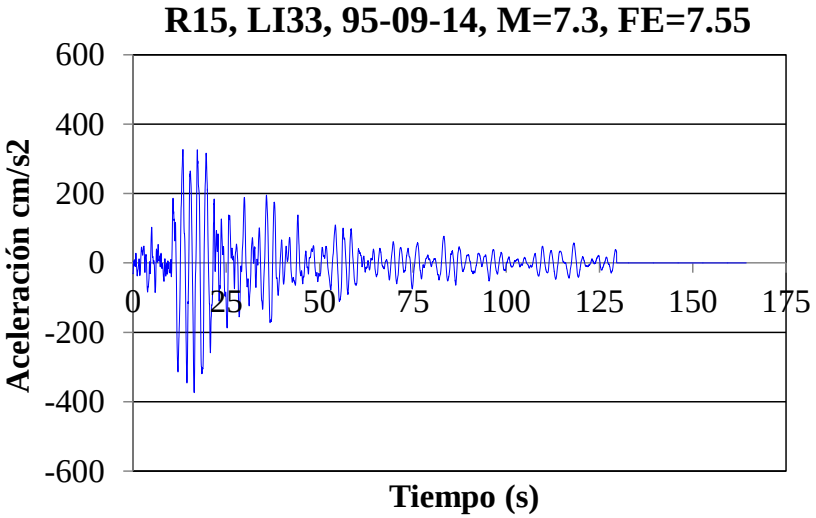
No fue posible obtener resultados con valores para D_y entre 0.9 y 1.0. Con un factor de escalamiento (FE) de 8.50509, obtenemos una Z de cero, pero arroja valores de desplazamiento muy elevados en la corrida en el DRAIN, a su vez, con un factor de 7.75, obtenemos valores para D_y igual a la unidad pero con Z positivo y diferente de cero**.** La concentración discreta de valores para *Z=0* cuando $D_y=1$ no sucede en este caso. El valor de D_y cercano al colapso es de 0.8809 con un FE= 7.665, pero con un FE= 7.666, apenas una milésima más grande, la estructura colapsa.

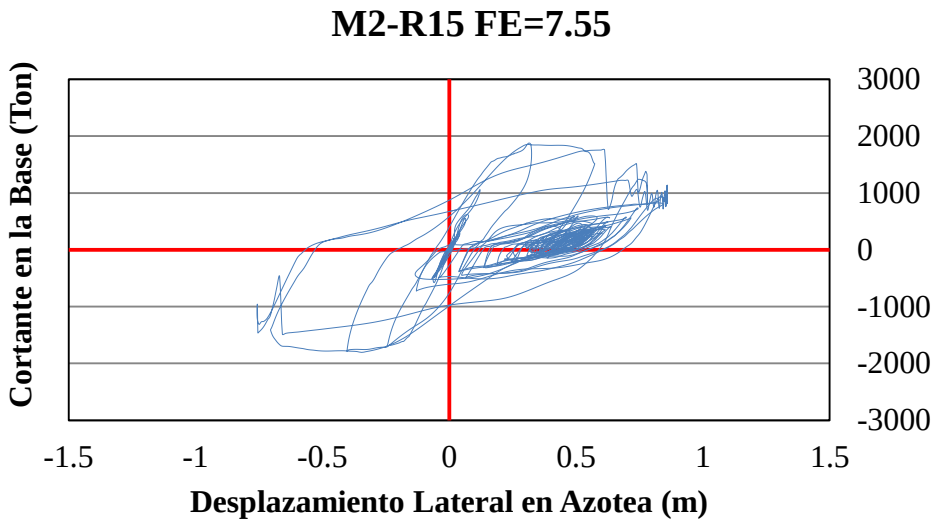

M2-R15 r D(y)-Z(y) =-0.6258
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

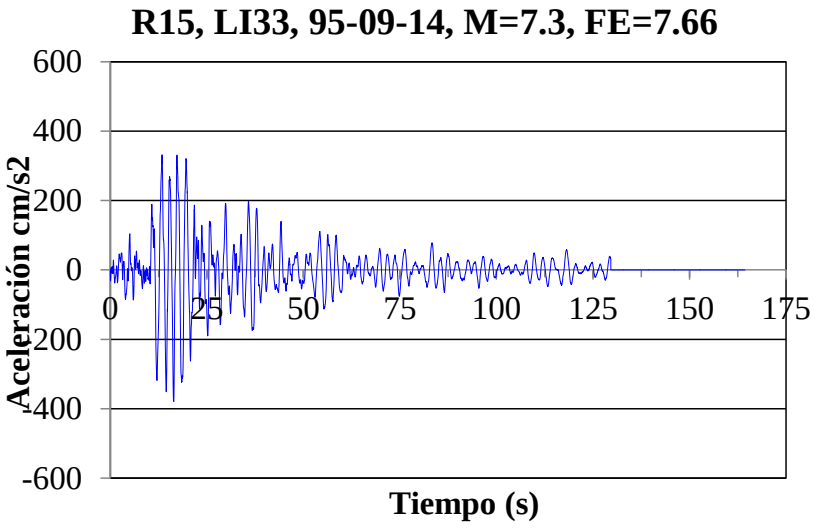

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

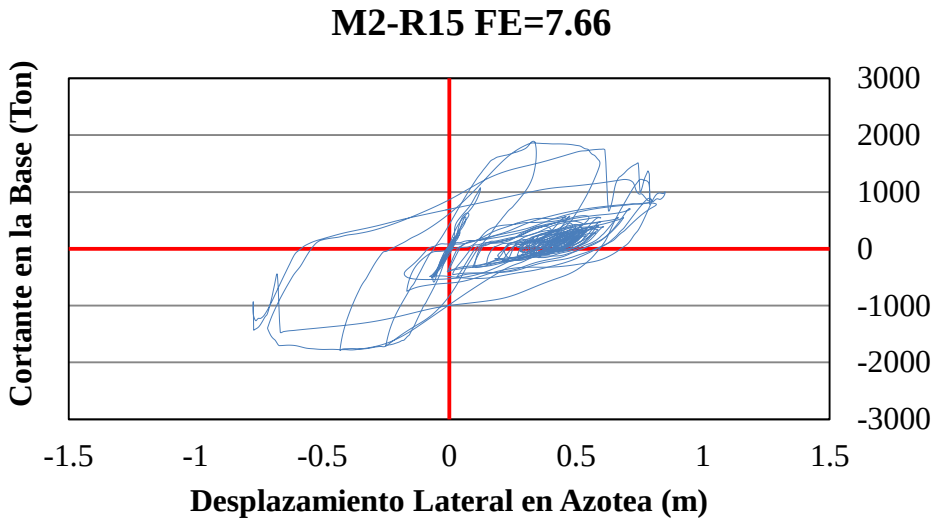

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.50
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

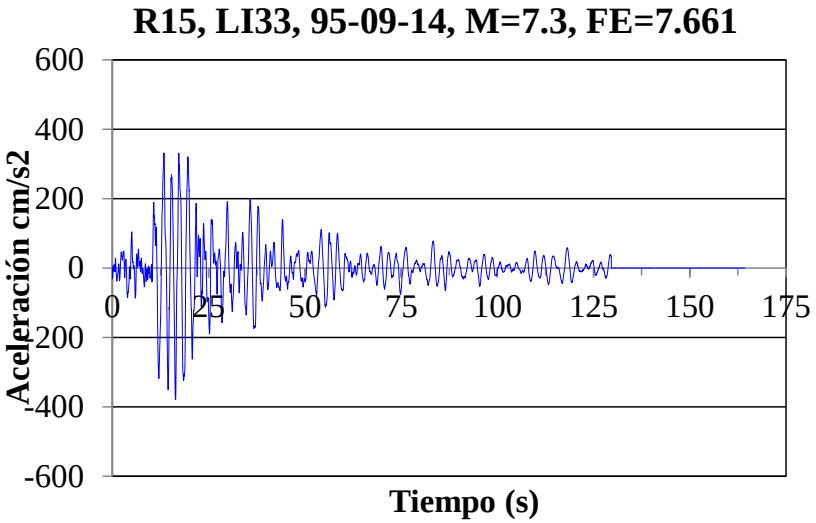

M2-R15 FE=7.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

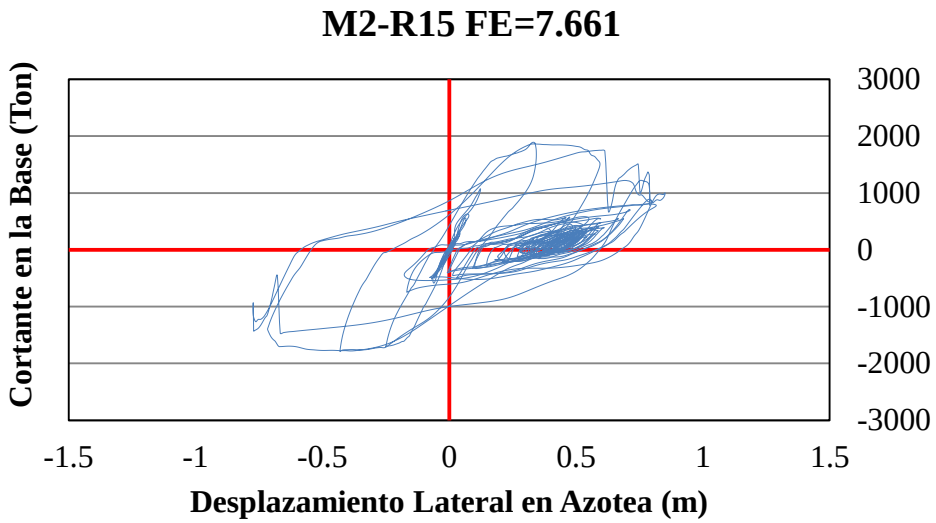

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

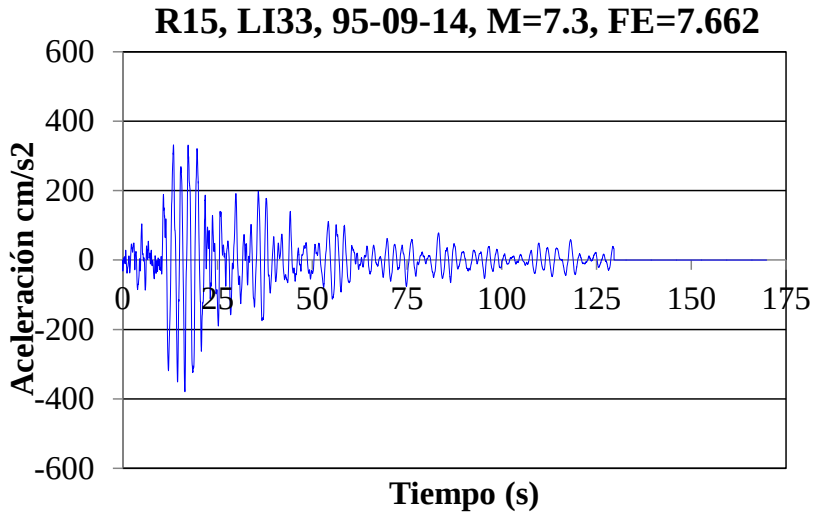

M2-R15 FE=7.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

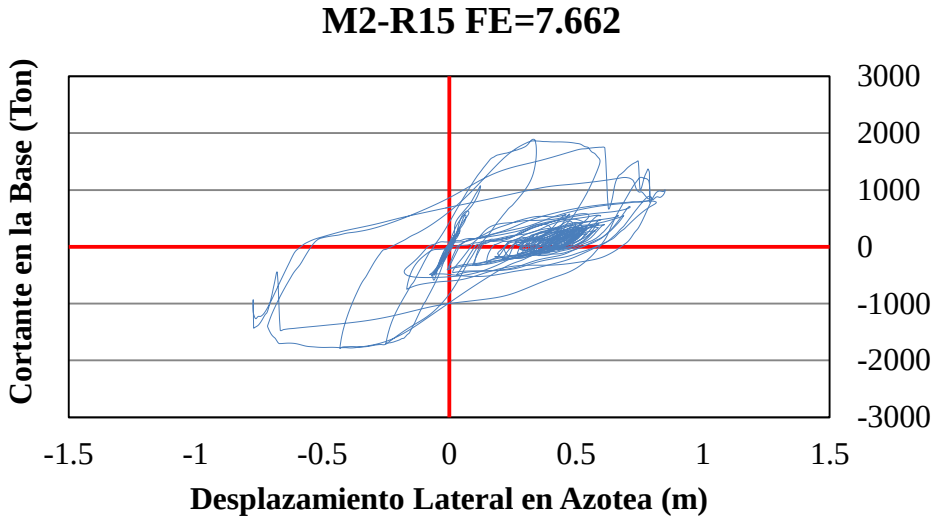

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.66
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

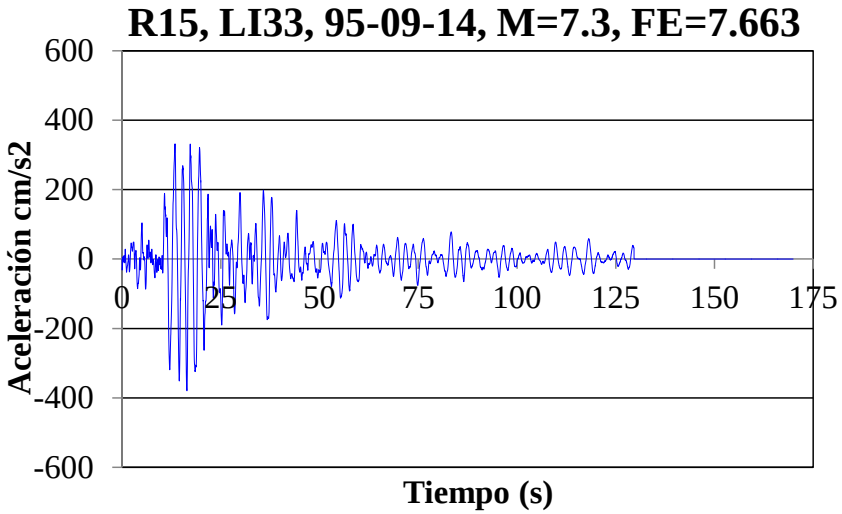

M2-R15 FE=7.66
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

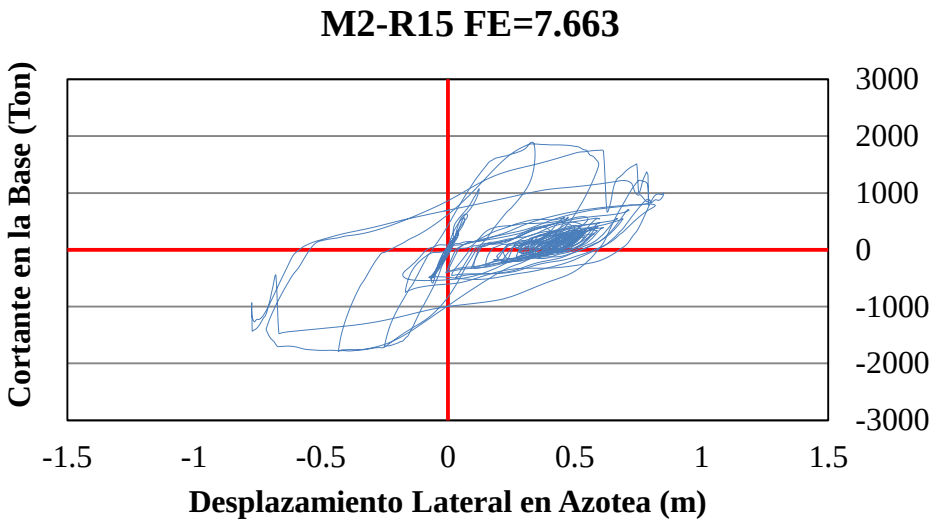

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.661
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

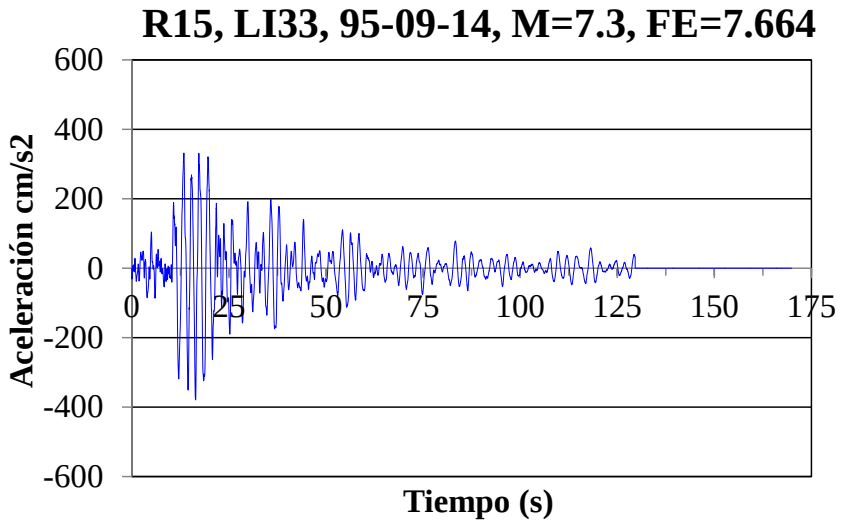

M2-R15 FE=7.661
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

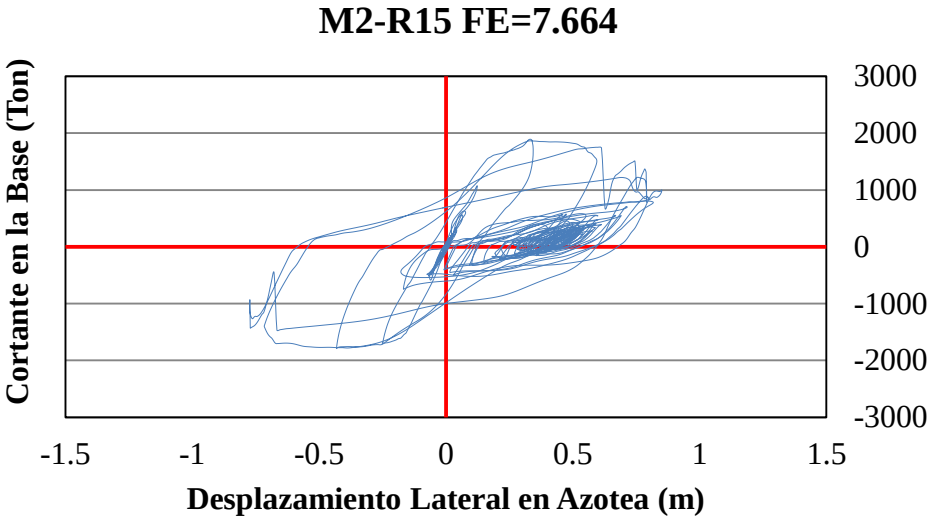

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.662
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

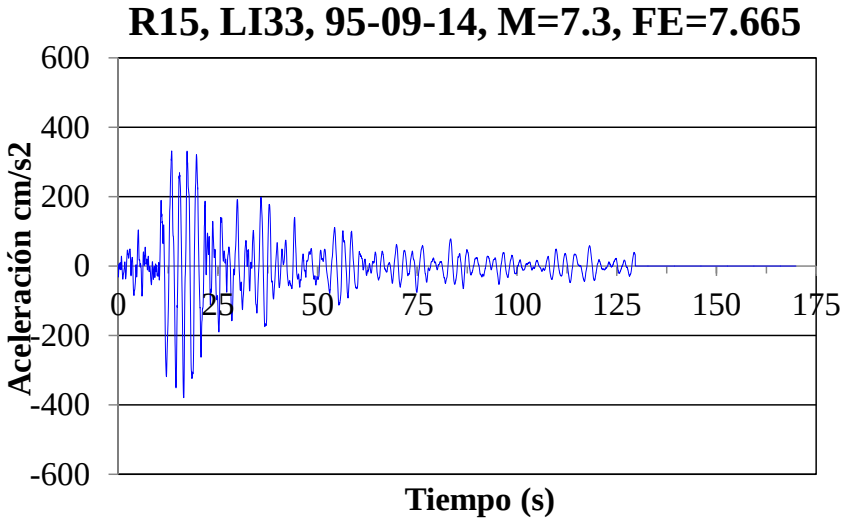

M2-R15 FE=7.662
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

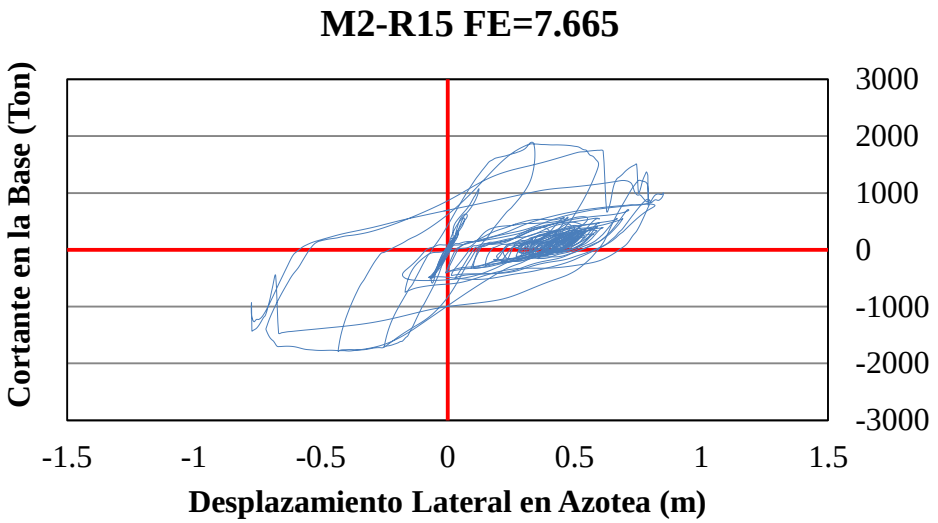

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.663
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

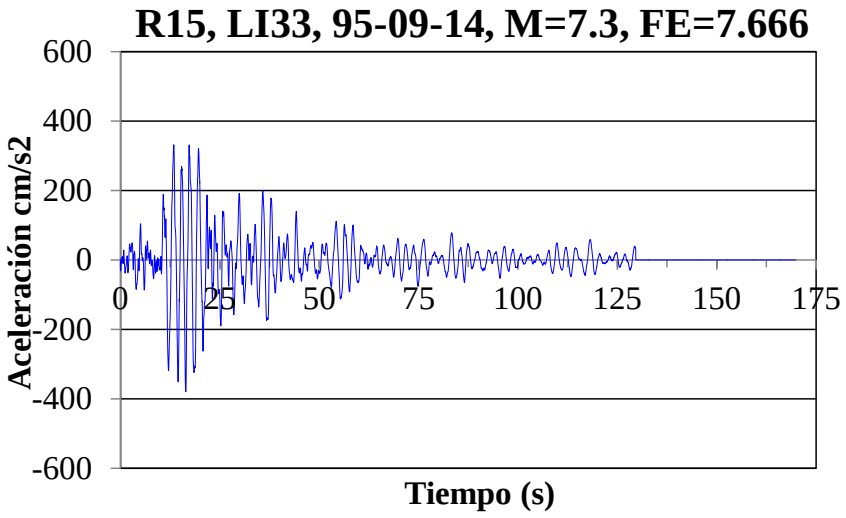

M2-R15 FE=7.663
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

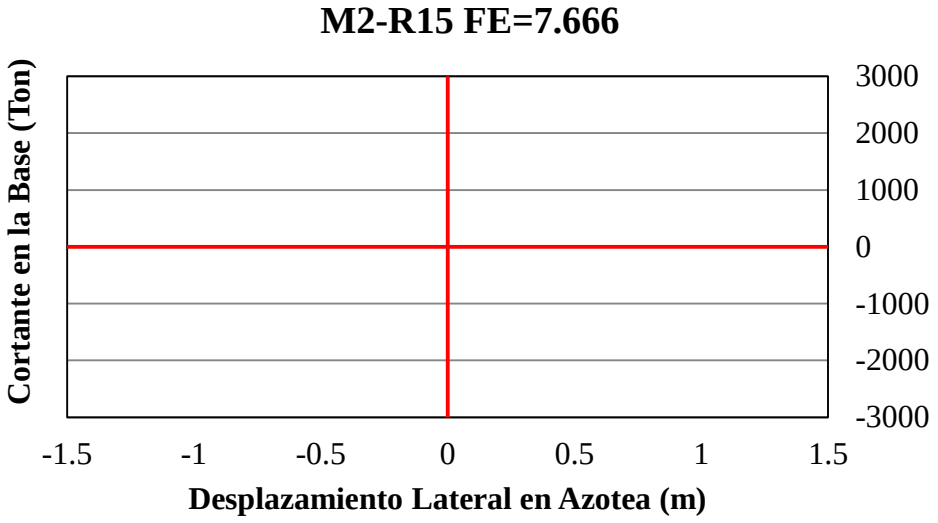

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.664
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

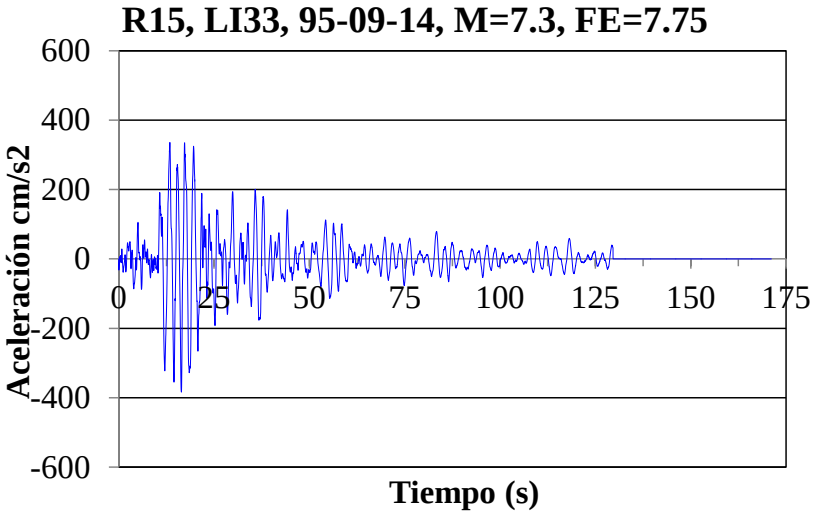

M2-R15 FE=7.664
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

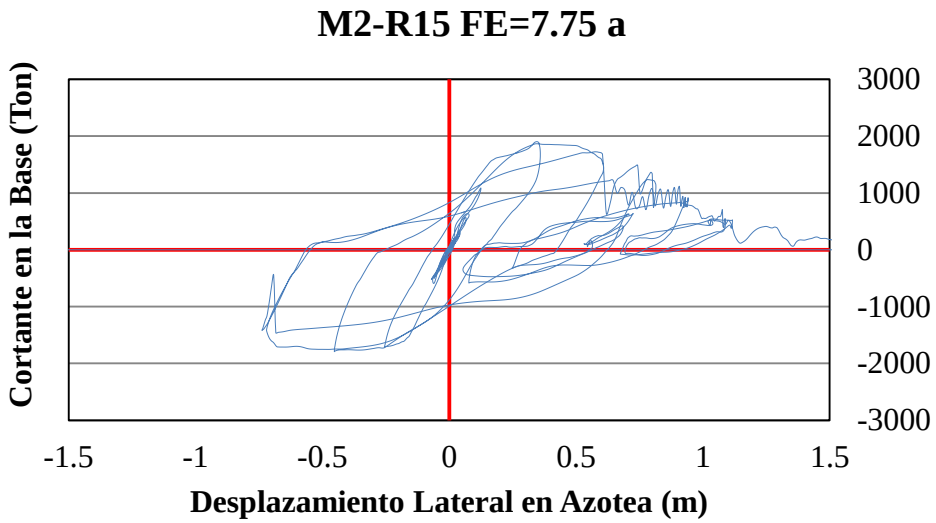

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.665
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

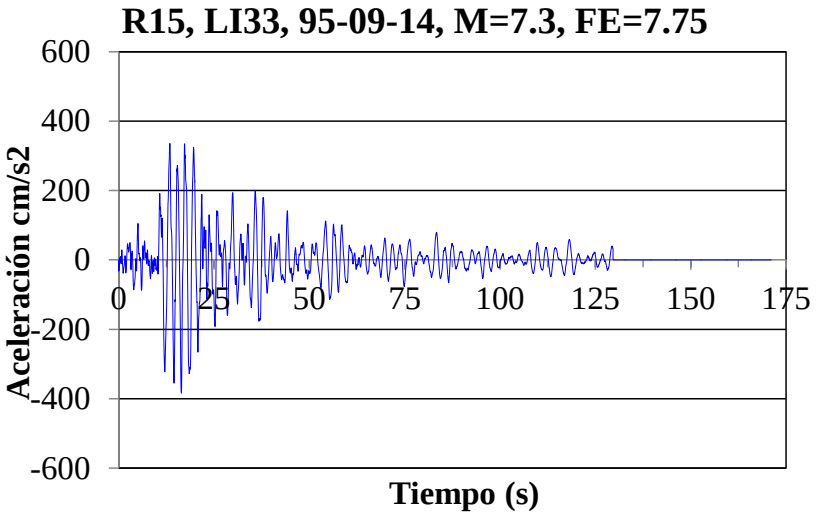

M2-R15 FE=7.665
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

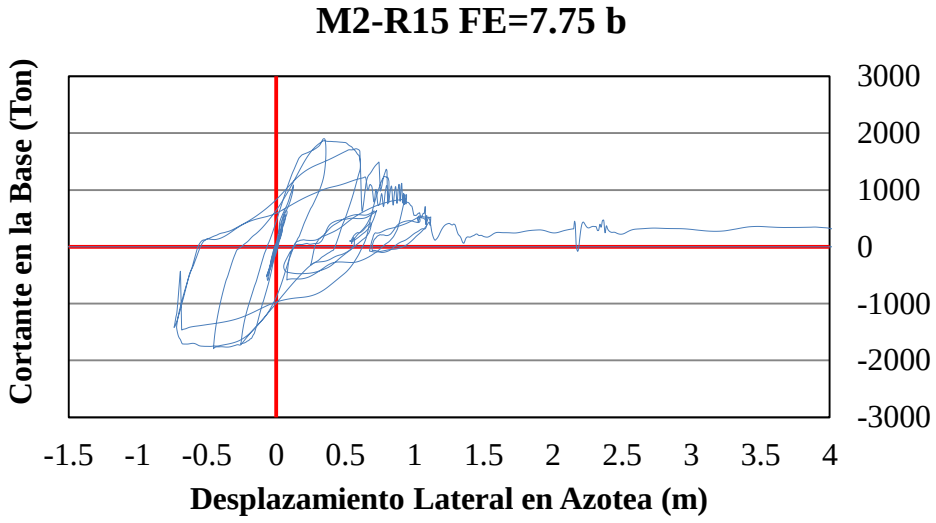

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.666
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

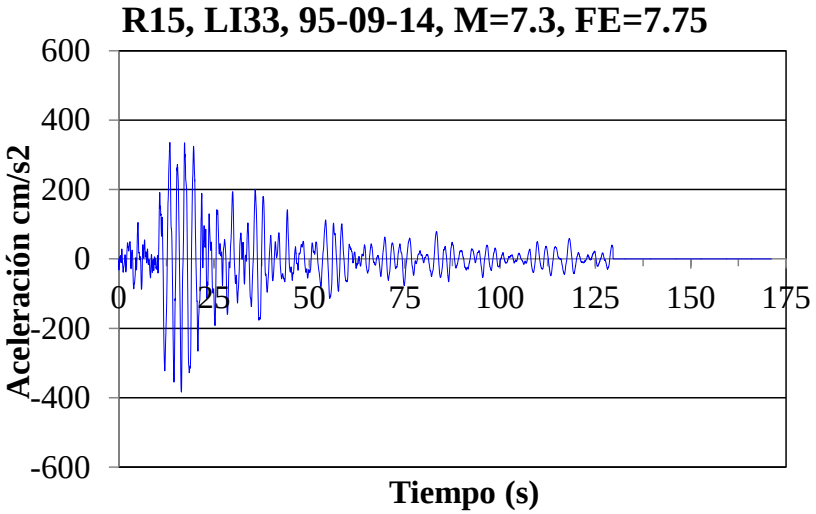

M2-R15 FE=7.666
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

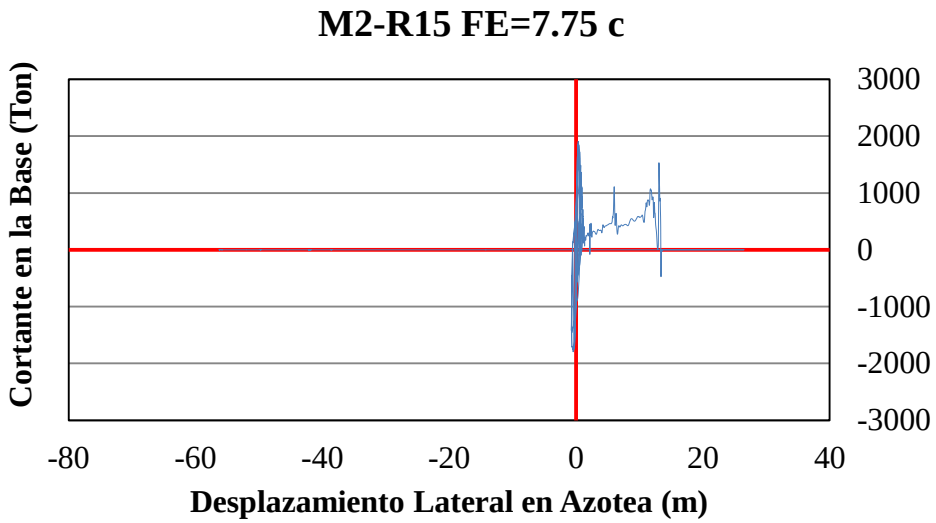

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

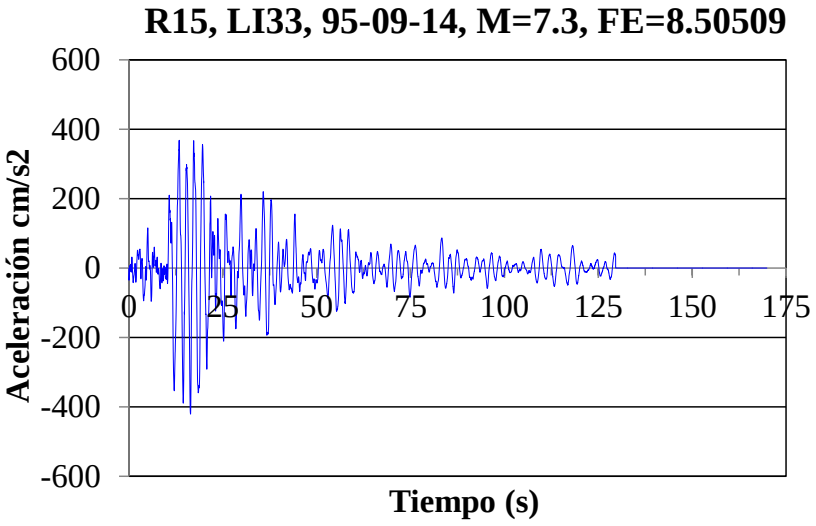

M2-R15 FE=7.75 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

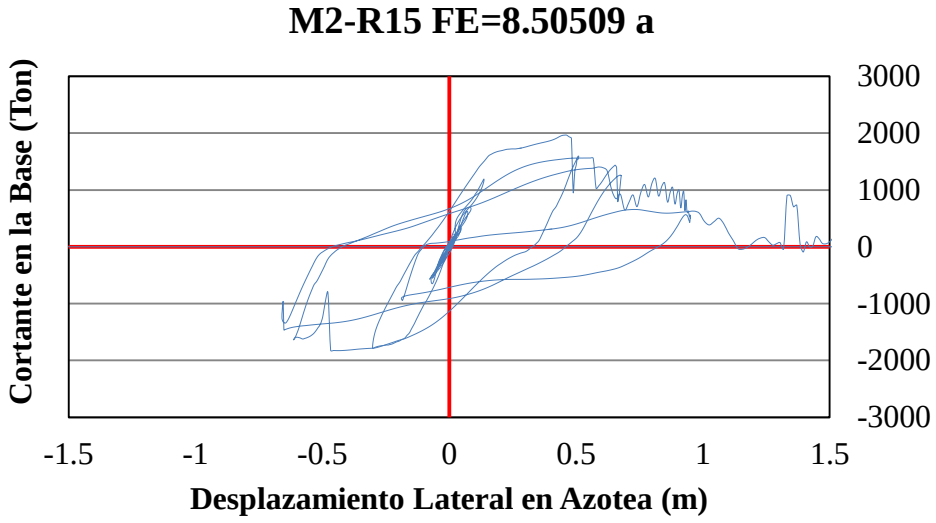

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

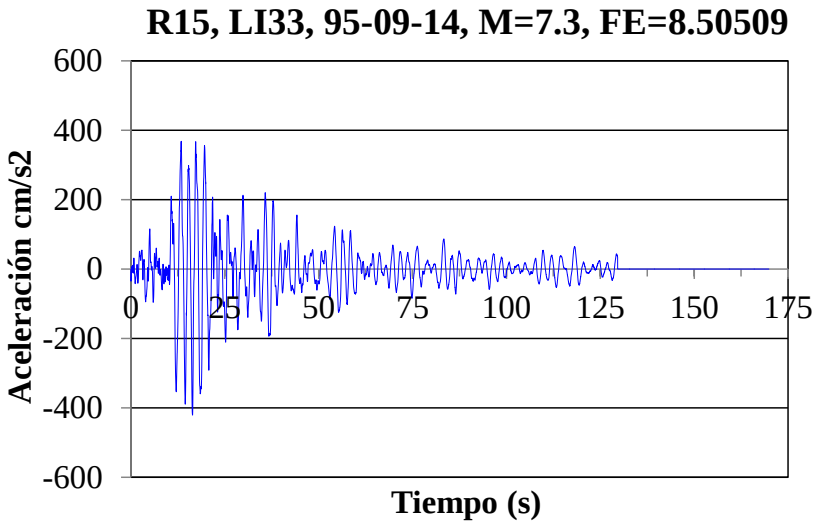

M2-R15 FE=7.75 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

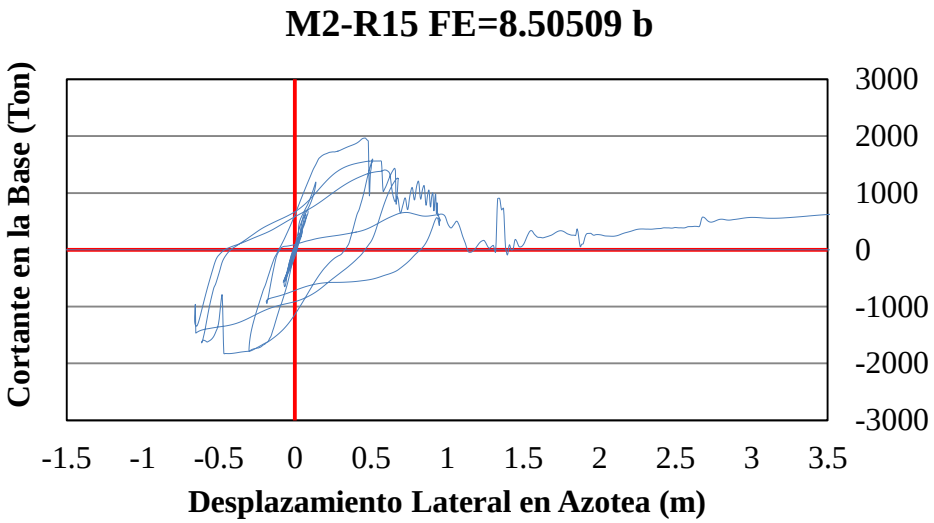

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=7.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

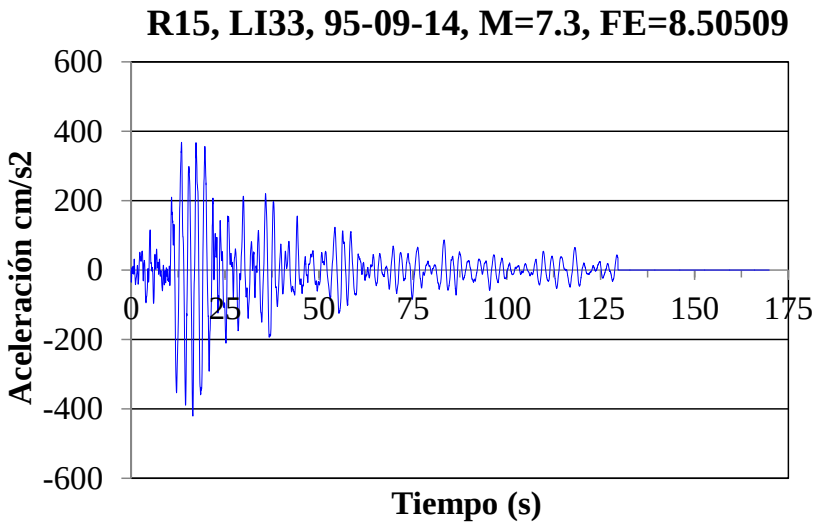

M2-R15 FE=7.75 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-80
-60
-40
-20
0
20
40
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

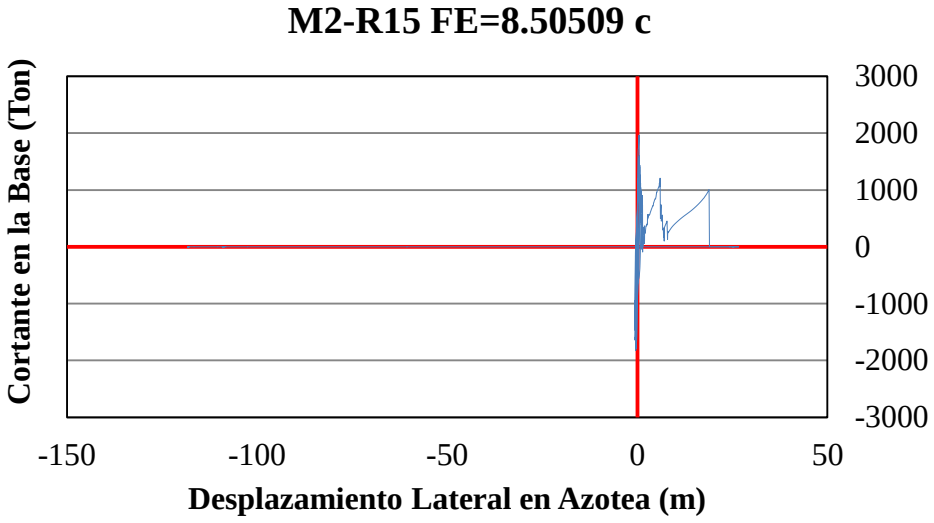

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=8.50509
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R15 FE=8.50509 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=8.50509
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R15 FE=8.50509 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

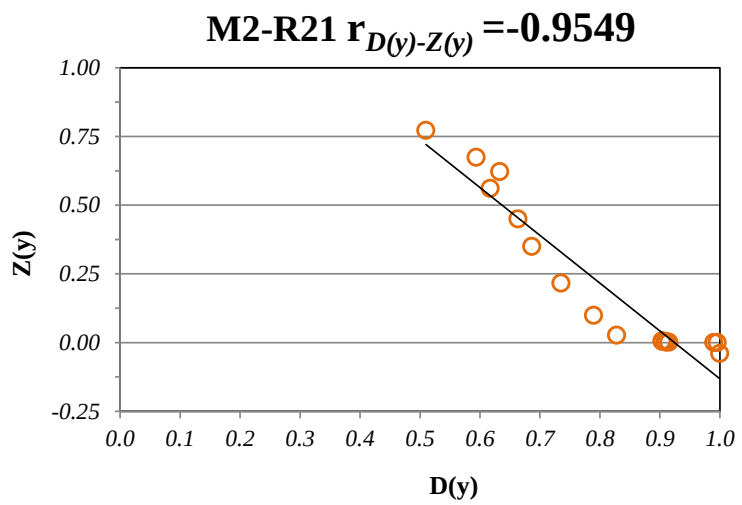

R15, LI33, 95-09-14, M=7.3, FE=8.50509
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

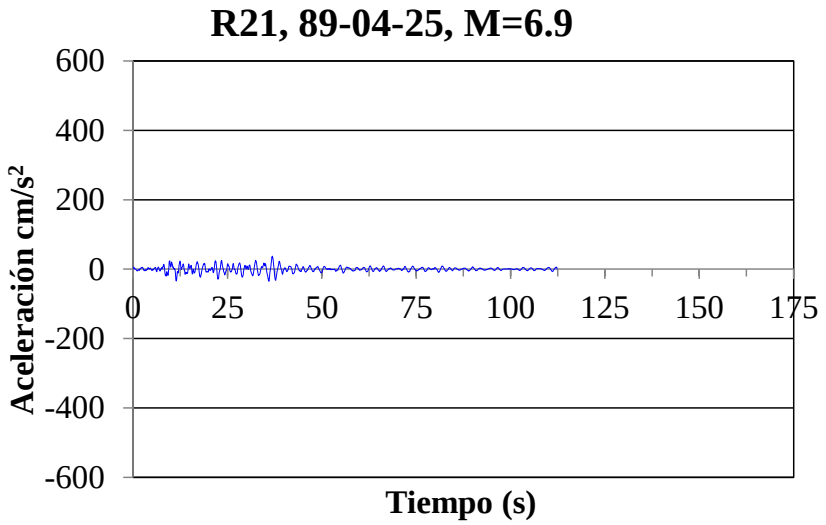

M2-R15 FE=8.50509 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

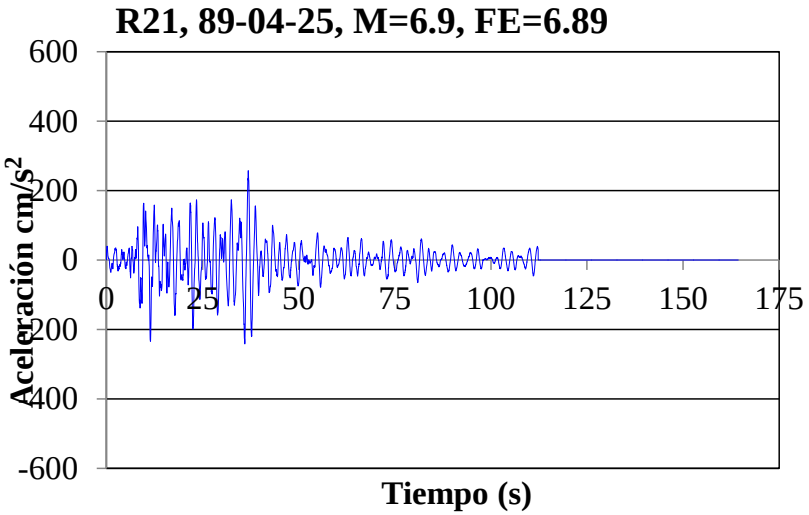
M2-R21

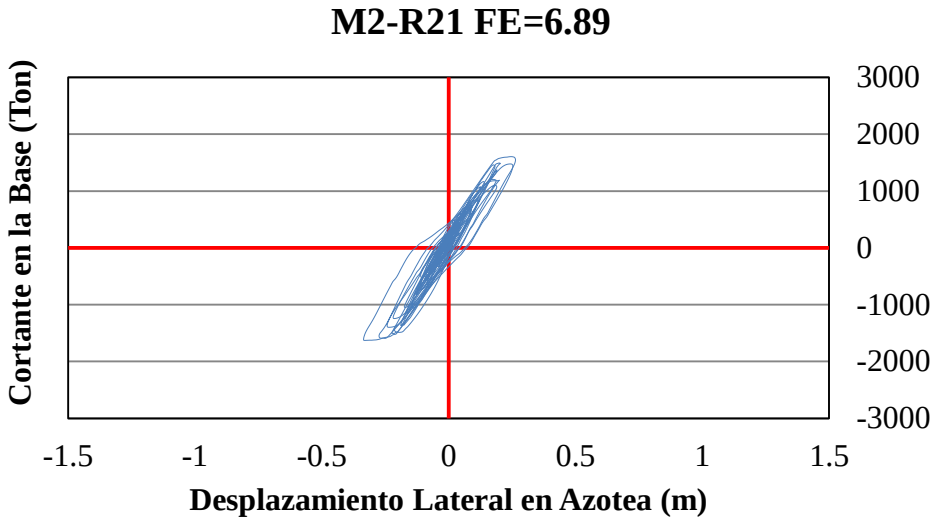
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.86**	**9 796.10**	**0.090**	**-0.9549**

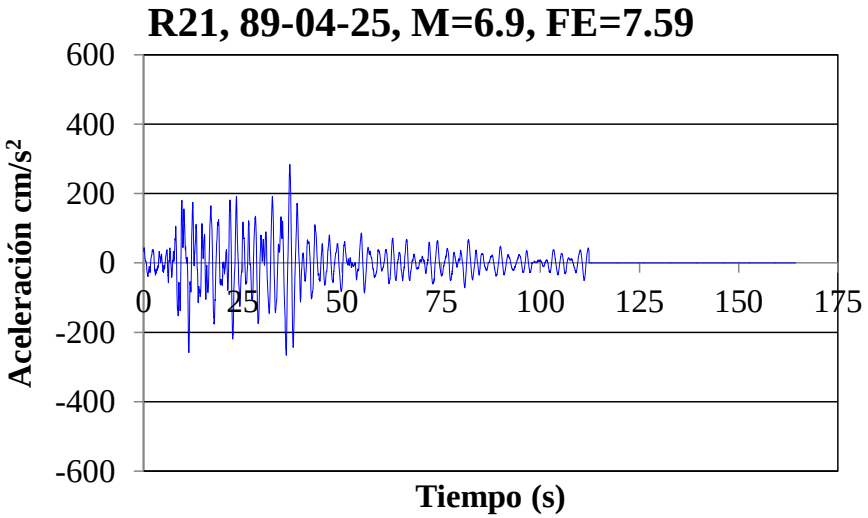
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6174	6.89	29.2900	0.3351	0.000	4 800.11	0.5100	0.101
0.6804	7.59	29.3900	0.3908	0.000	3 981.18	0.5936	0.004
0.7171	8.00	29.4300	0.4107	0.000	3 596.92	0.6328	-0.049
0.7619	8.50	22.9700	0.4450	0.000	3 748.70	0.6173	-0.109
0.8516	9.50	23.0800	0.4890	0.000	3 297.68	0.6634	-0.221
0.9412	10.50	23.1300	0.5096	0.000	3 070.43	0.6866	-0.321
1.0757	12.00	23.1800	0.5602	0.000	2 593.47	0.7353	-0.454
1.2101	13.50	23.2300	0.6454	0.000	2 063.74	0.7893	-0.572
1.2998	14.50	23.2600	0.7416	0.000	1 687.64	0.8277	-0.643
1.3267	14.80	29.7500	0.9476	0.000	0 943.42	0.9037	-0.664
1.3293	14.83	29.7600	0.9426	-889.140	0 943.28	0.9037	-0.666
1.3302	14.84	29.7600	0.9767	-869.275	0 890.01	0.9091	-0.667
1.3311	14.85	29.7600	0.9774	-867.927	0 888.00	0.9094	-0.667
1.3320	14.86	29.7600	0.9786	-861.315	0 880.15	0.9102	-0.668
1.3329	14.87	29.7600	0.9797	-865.934	0 883.88	0.9098	-0.669
1.3338	14.88	29.7600	0.9680	-806.928	0 833.60	0.9149	-0.669
1.3347	14.89	31.2000	2.9168	-119.911	0 041.11	0.9958	-0.670
1.3356	14.90	31.2000	5.6291	-548.805	0 097.49	0.9900	-0.671
1.3894	15.50	31.2000	84.6398	0.000	0 000.00	1.0000	-0.710

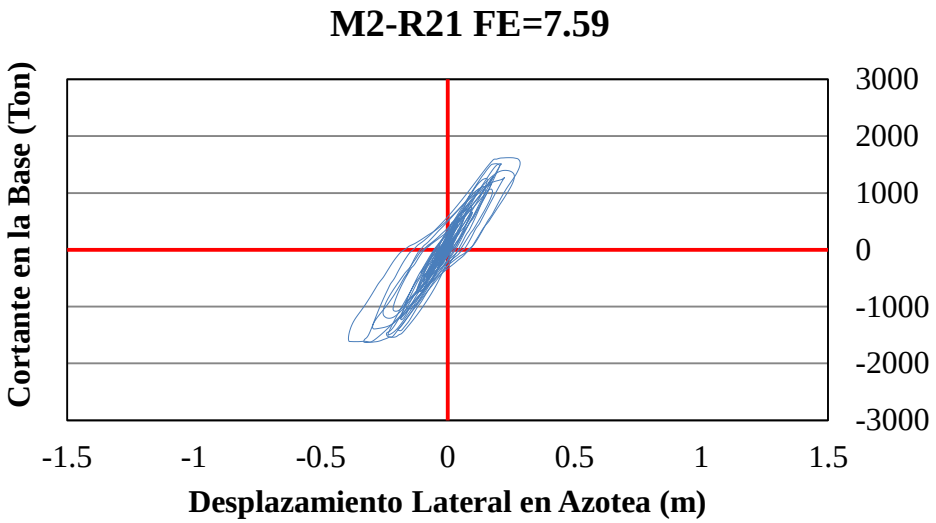

M2-R21 r D(y)-Z(y) =-0.9549
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

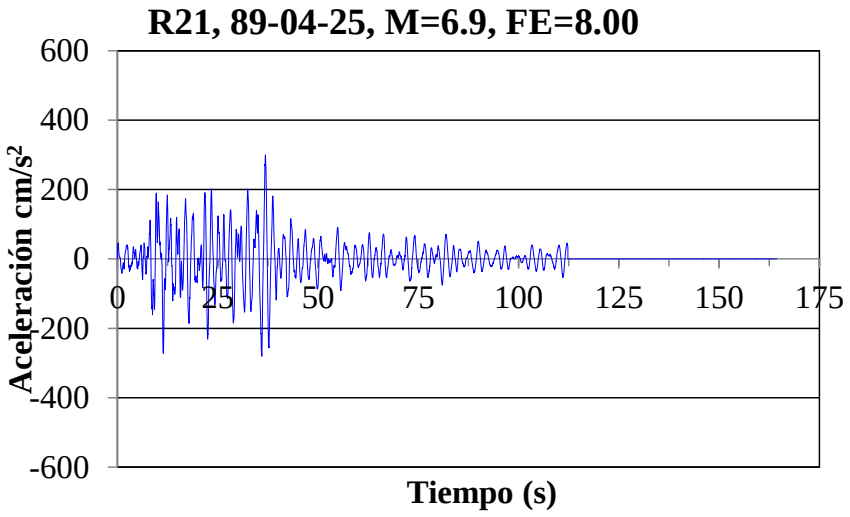

R21, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

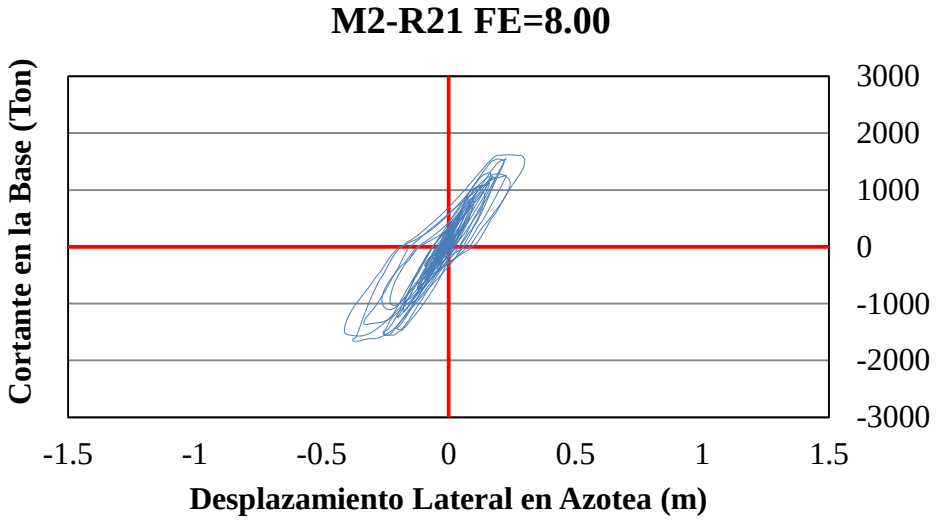

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=6.89
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

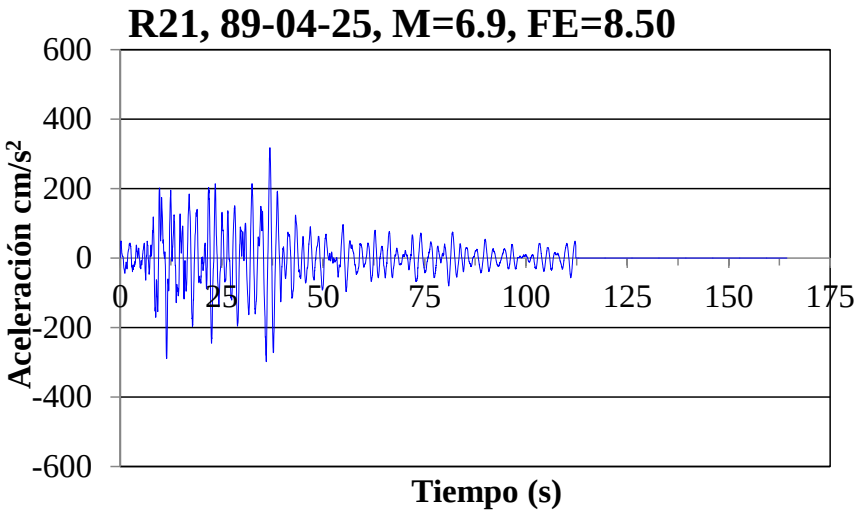

M2-R21 FE=6.89
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

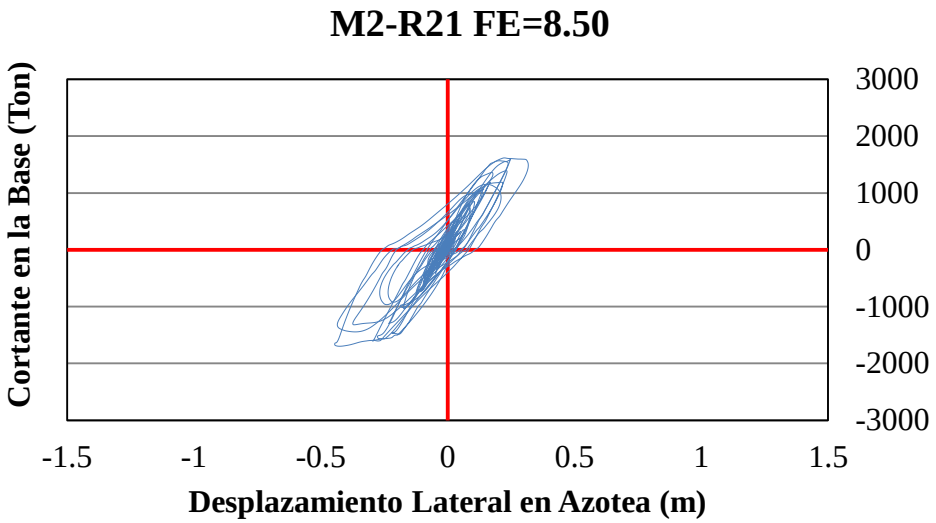

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=7.59
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

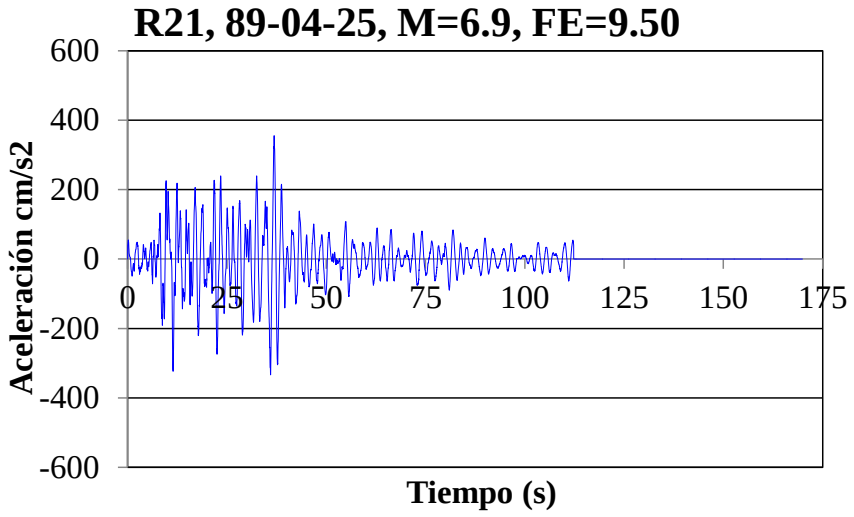

M2-R21 FE=7.59
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

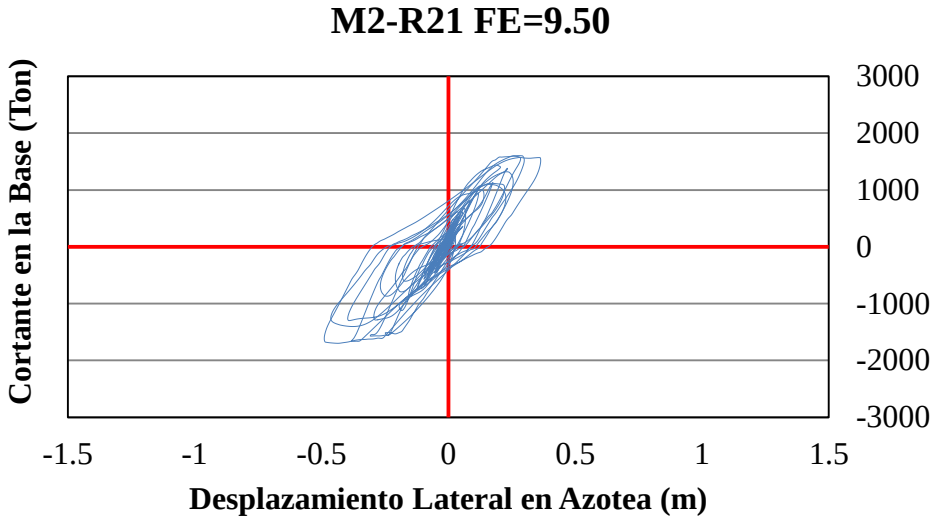

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=8.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

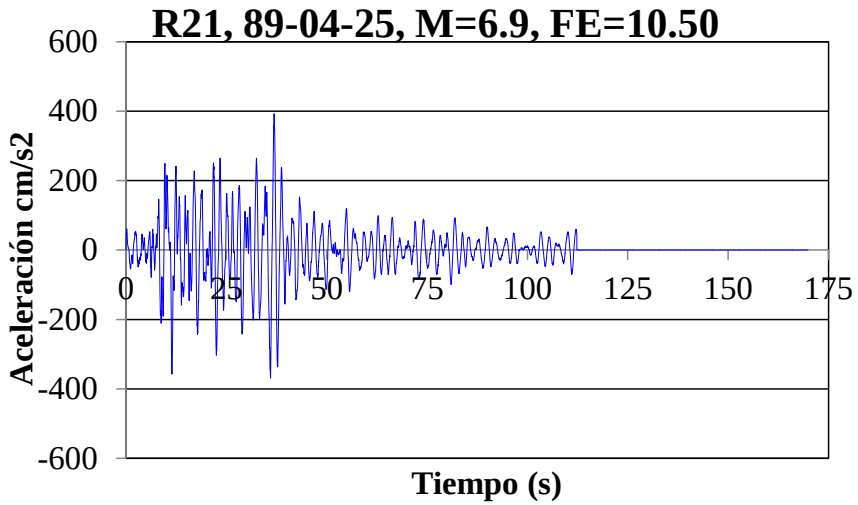

M2-R21 FE=8.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

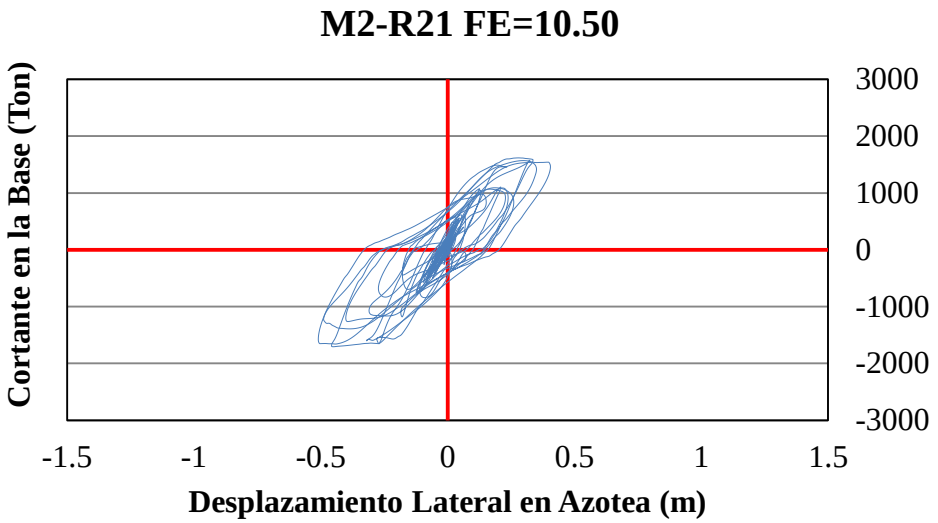

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=8.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

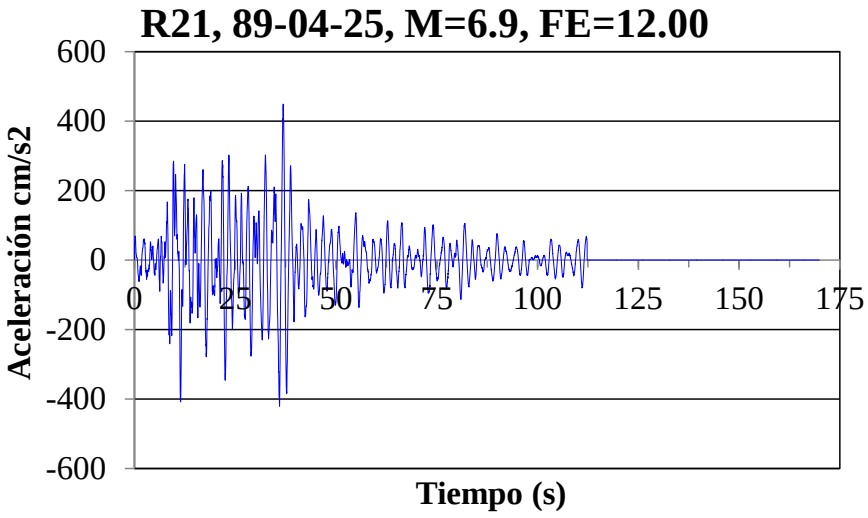

M2-R21 FE=8.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

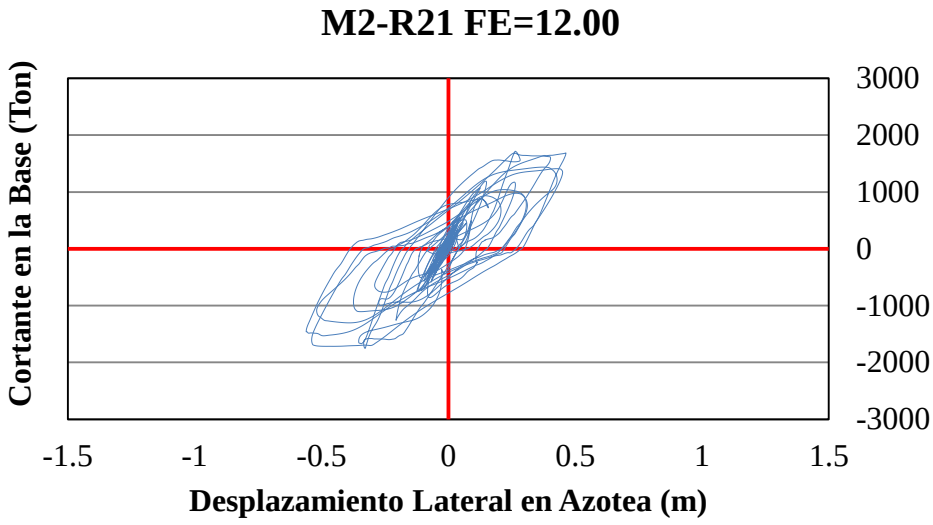

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=9.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

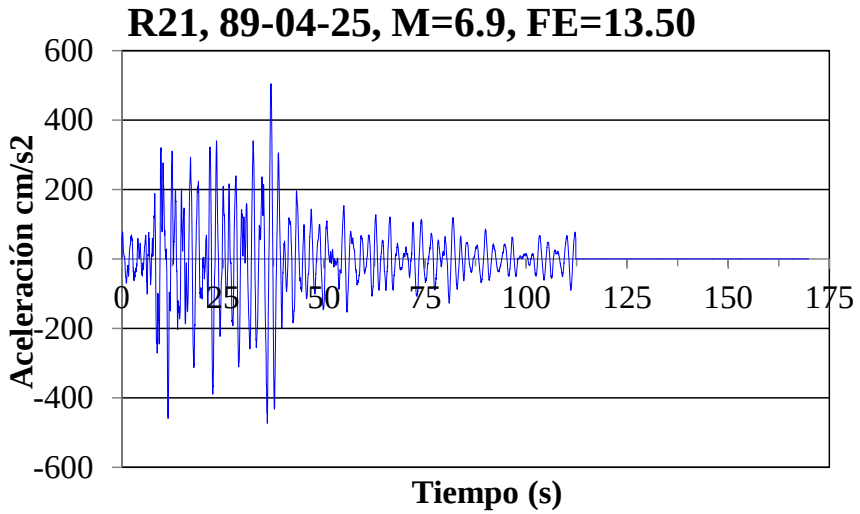

M2-R21 FE=9.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

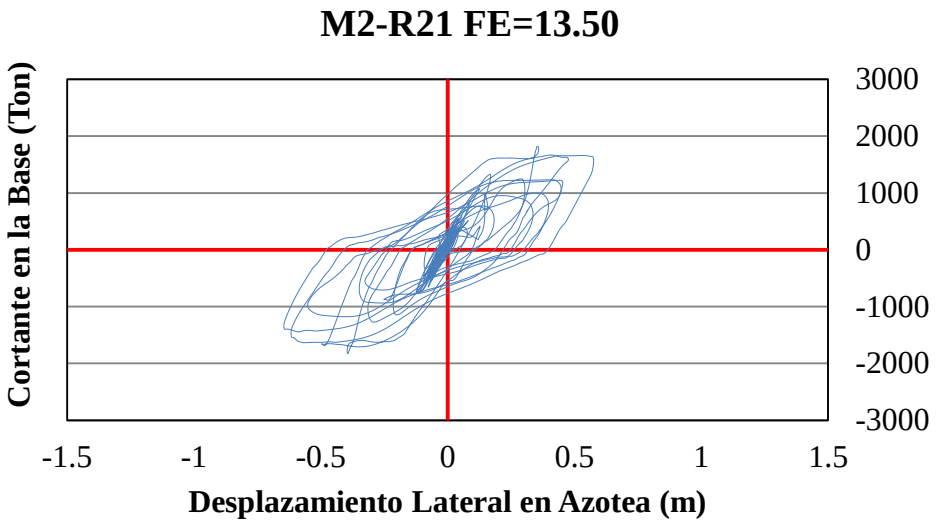

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=10.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

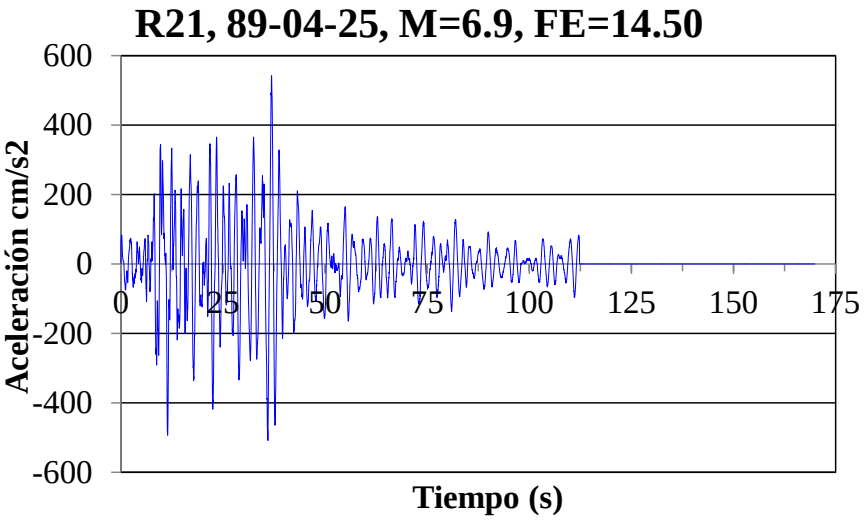

M2-R21 FE=10.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

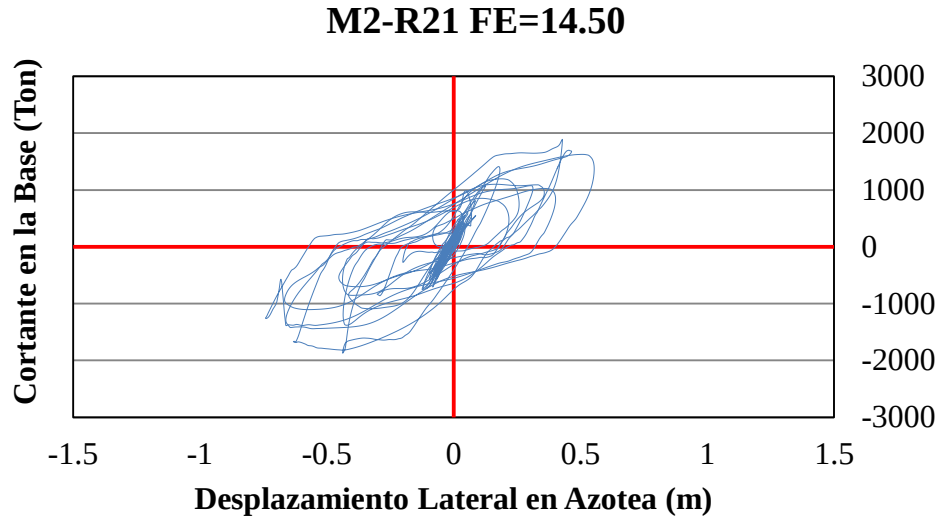

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=12.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

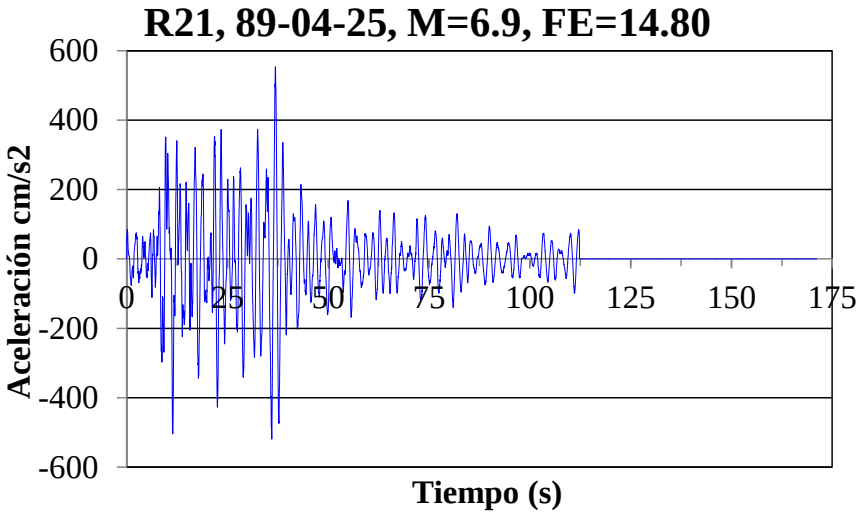

M2-R21 FE=12.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

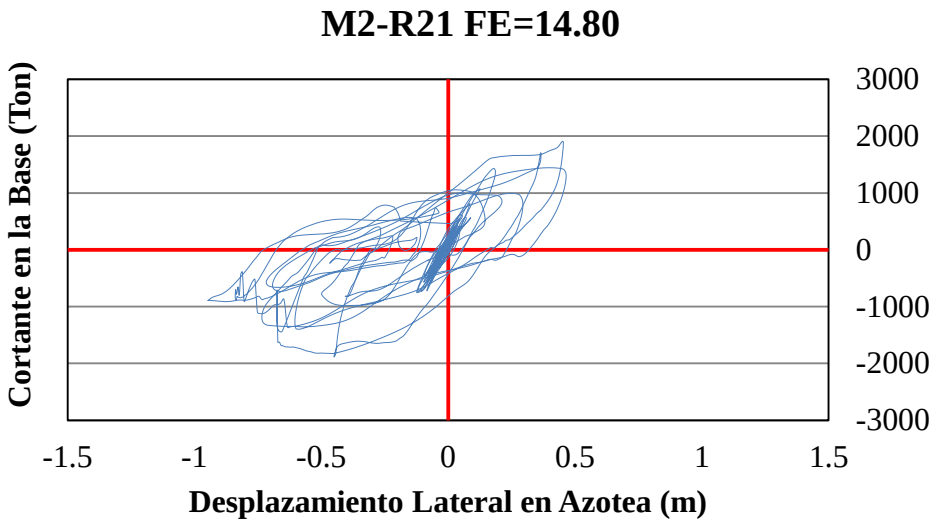

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=13.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

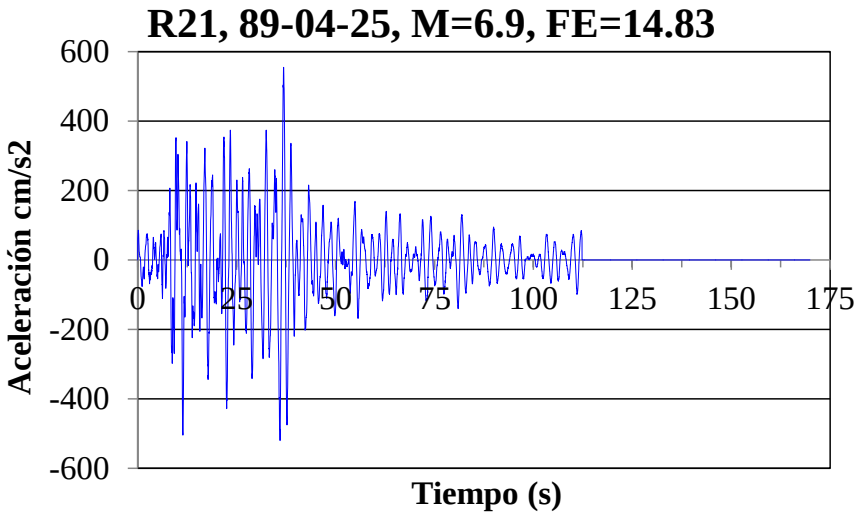

M2-R21 FE=13.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

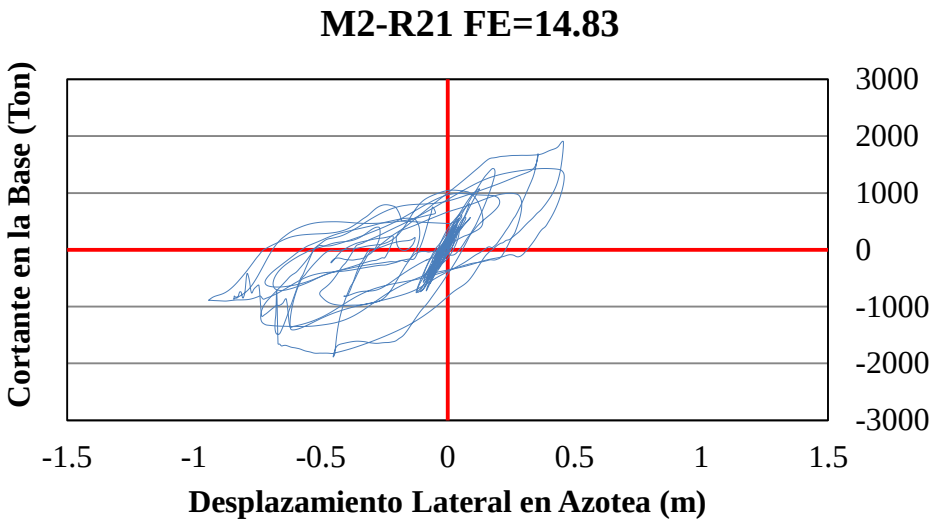

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

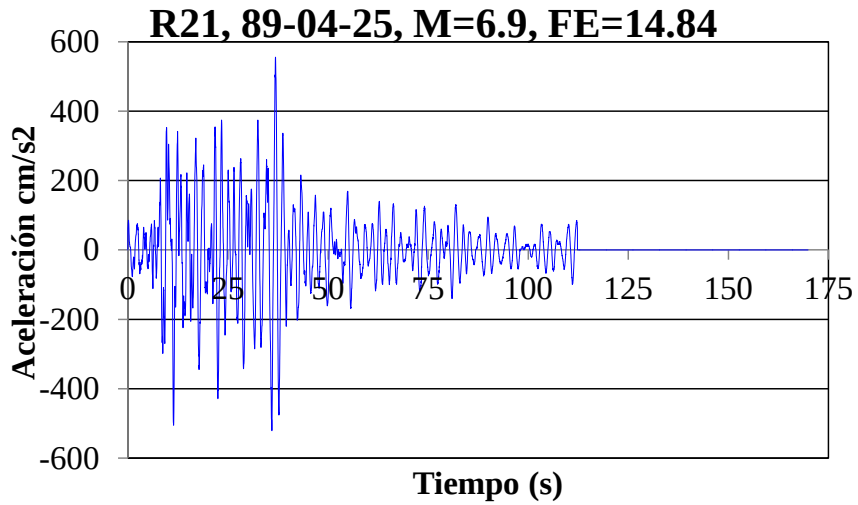

M2-R21 FE=14.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

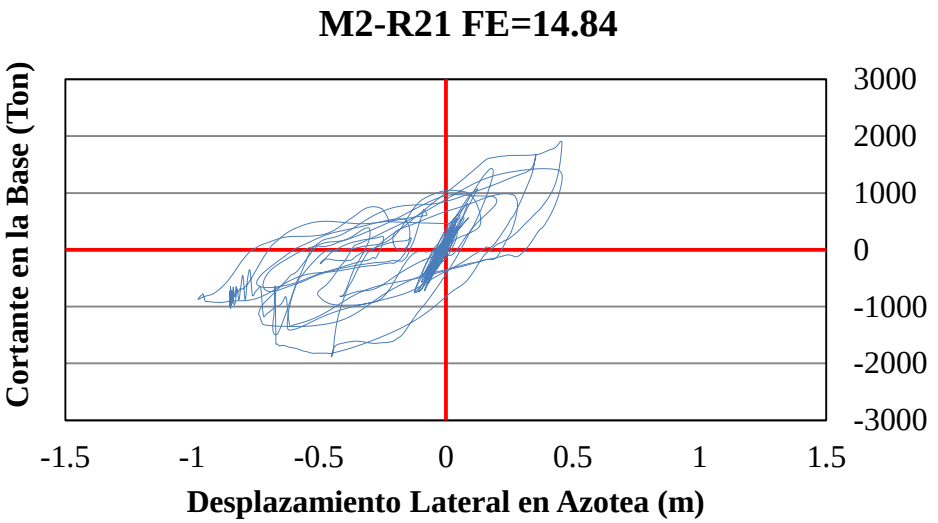

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

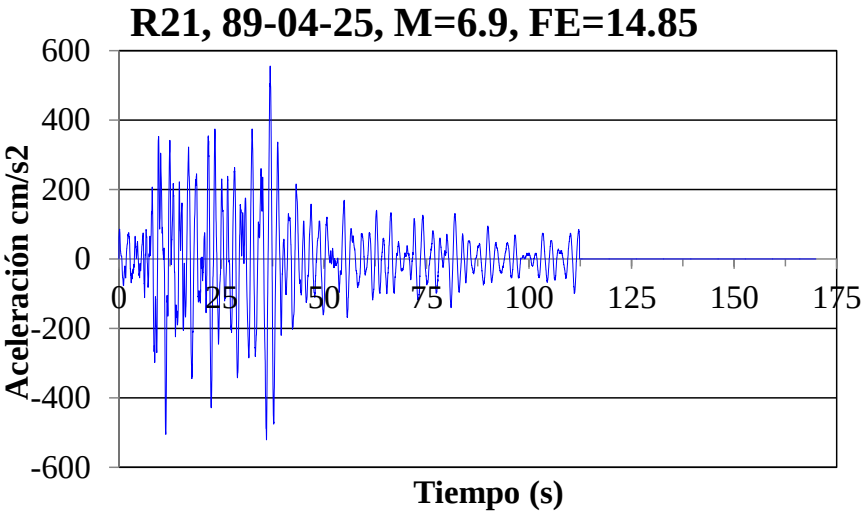

M2-R21 FE=14.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

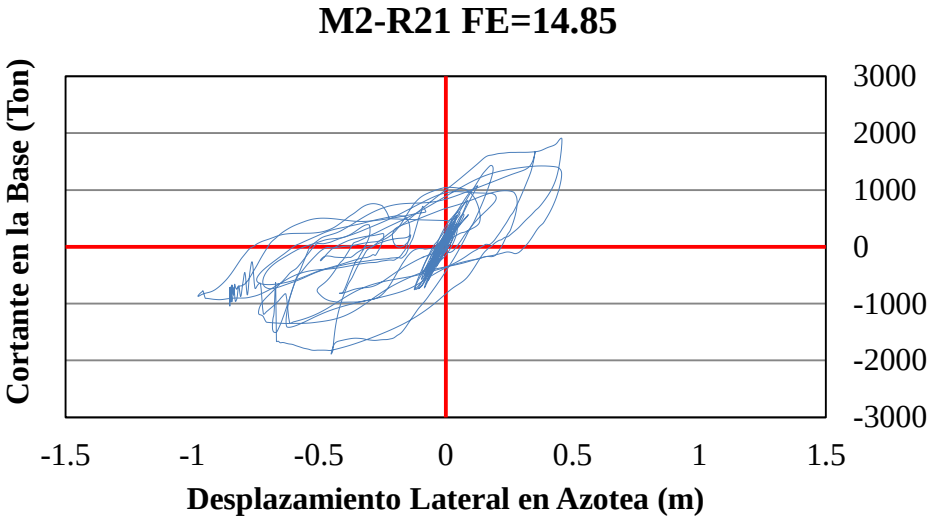

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.83
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

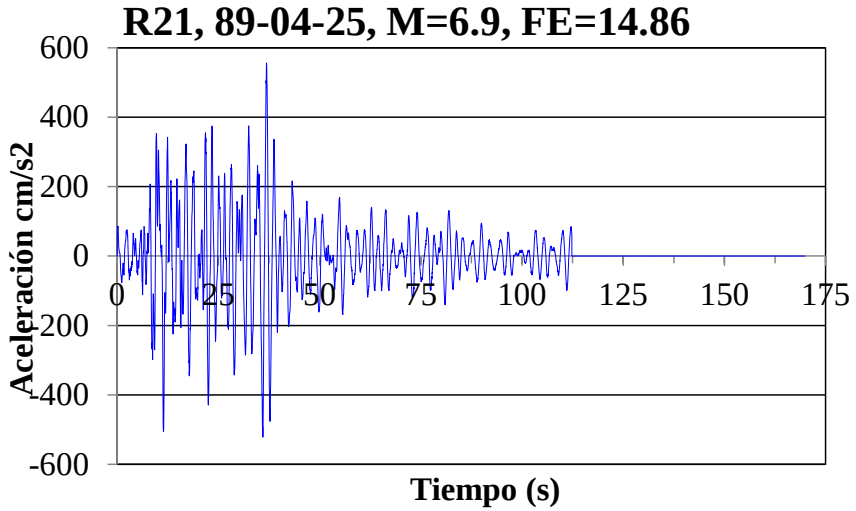

M2-R21 FE=14.83
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

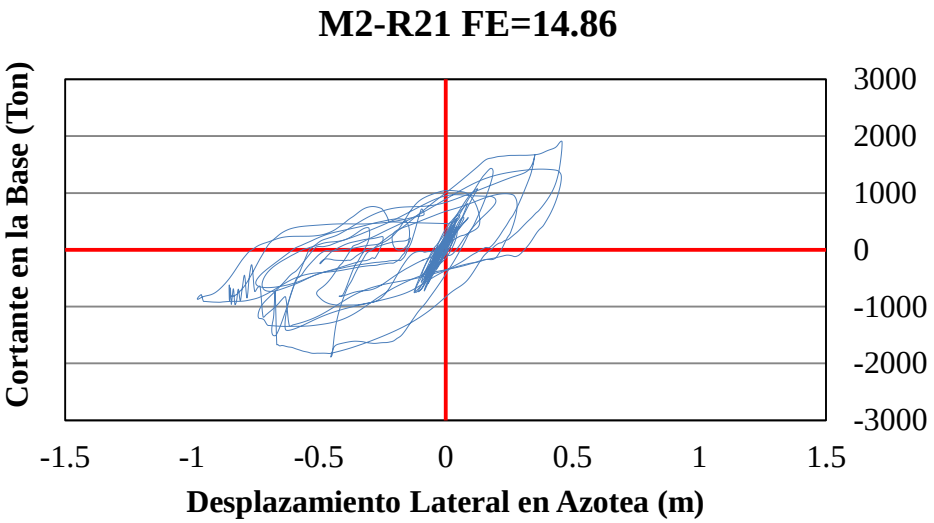

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.84
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

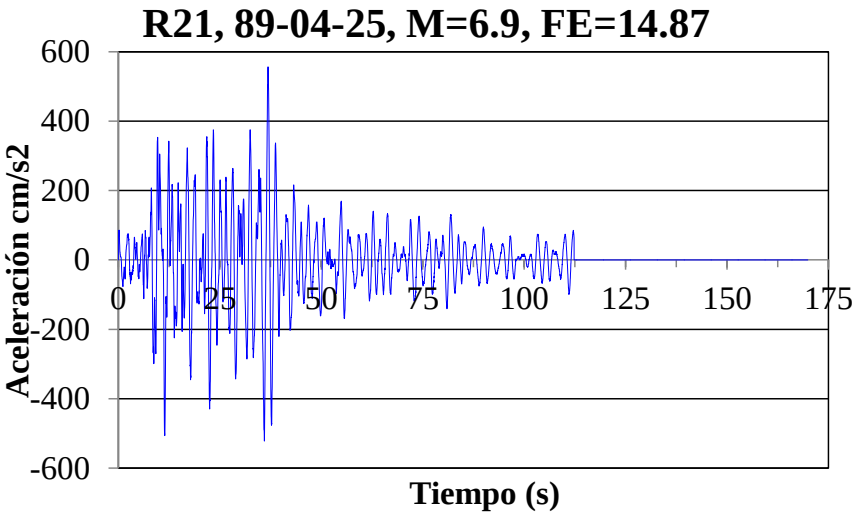

M2-R21 FE=14.84
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

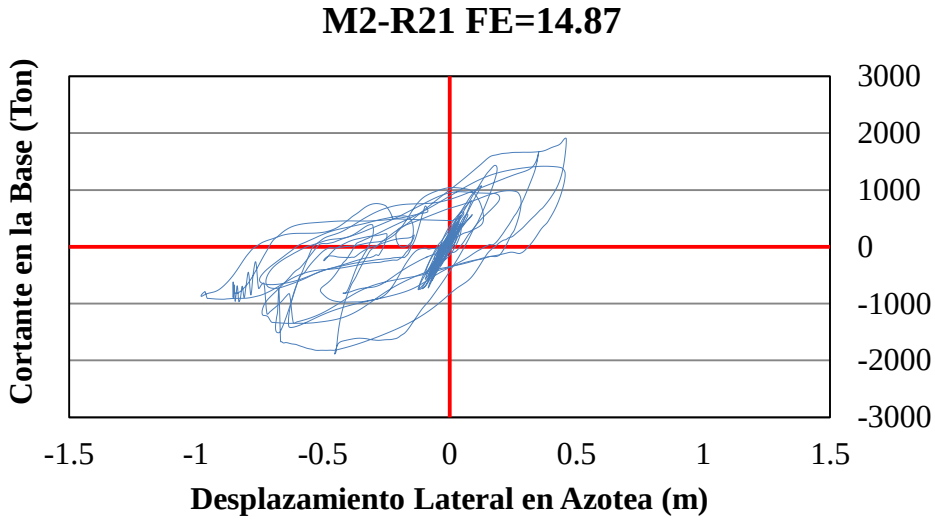

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.85
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

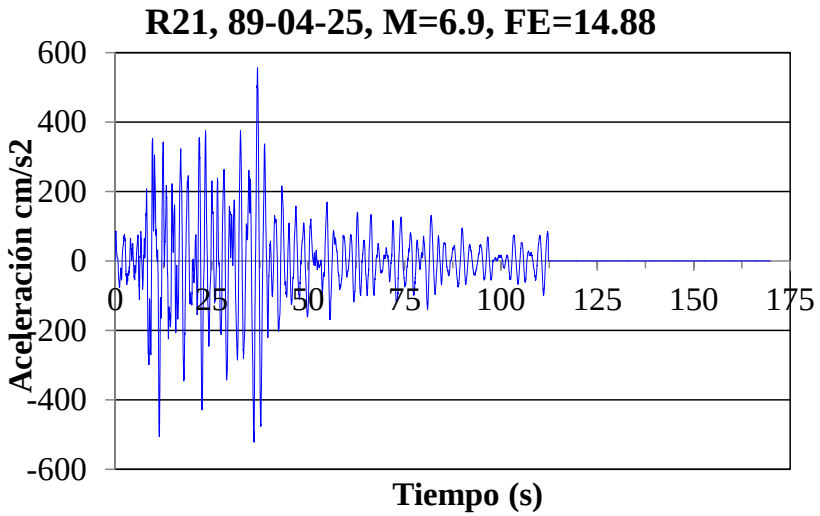

M2-R21 FE=14.85
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

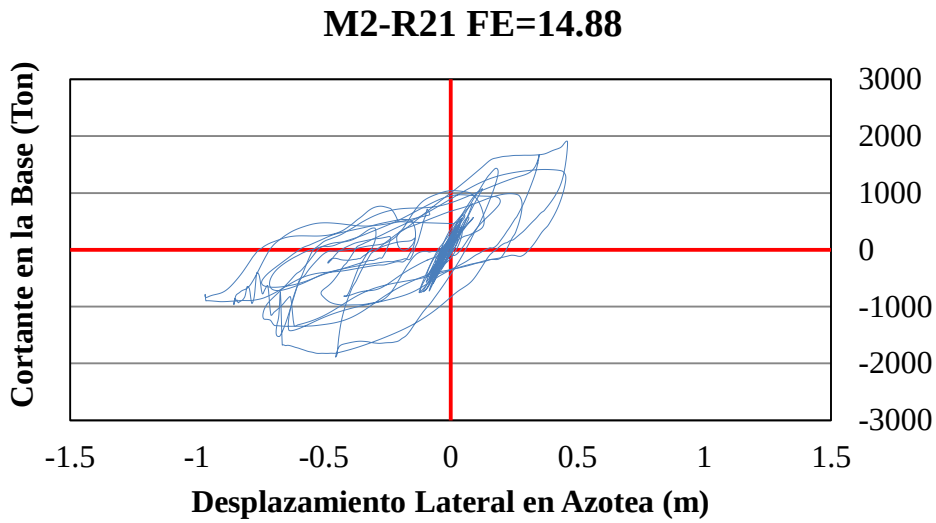

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.86
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

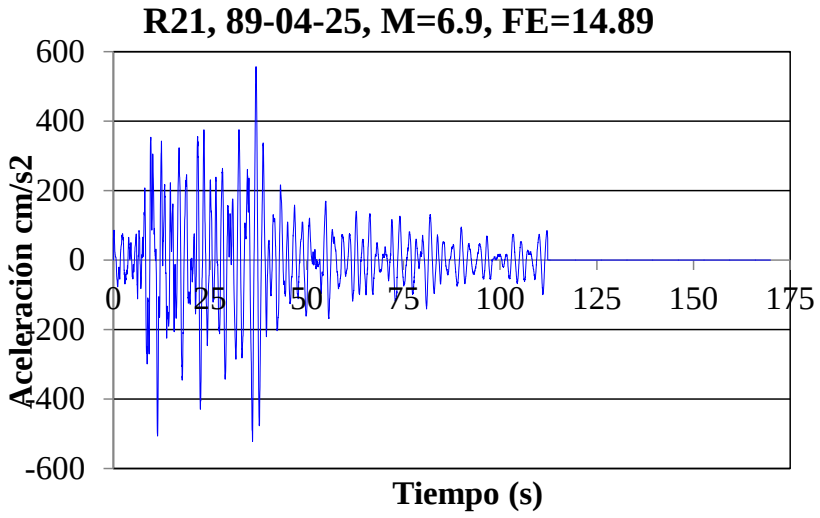

M2-R21 FE=14.86
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

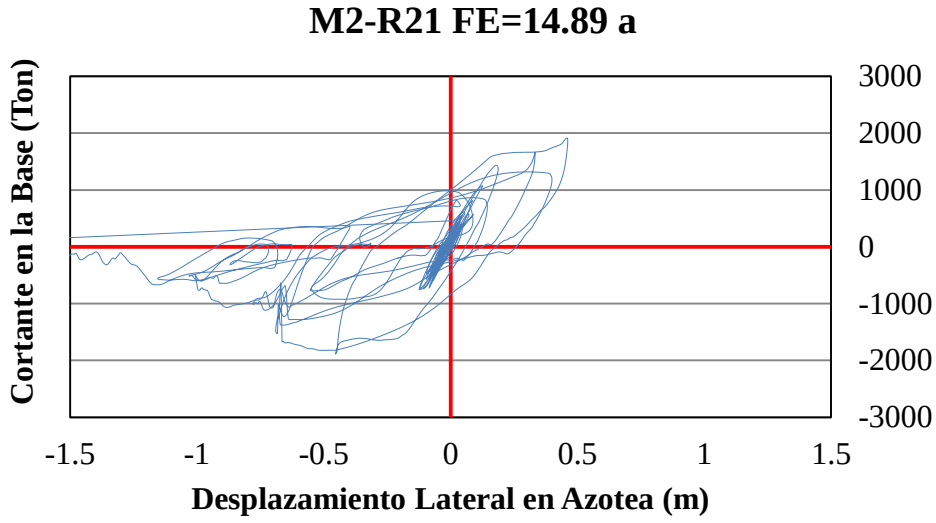

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.87
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

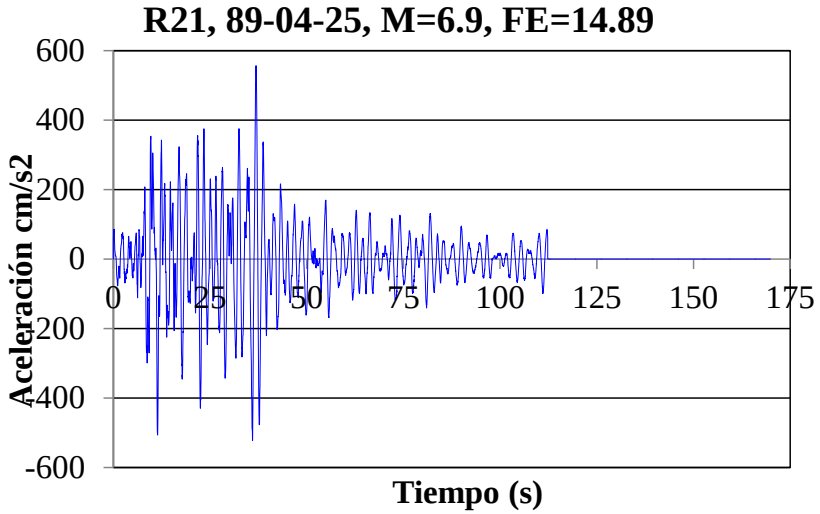

M2-R21 FE=14.87
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

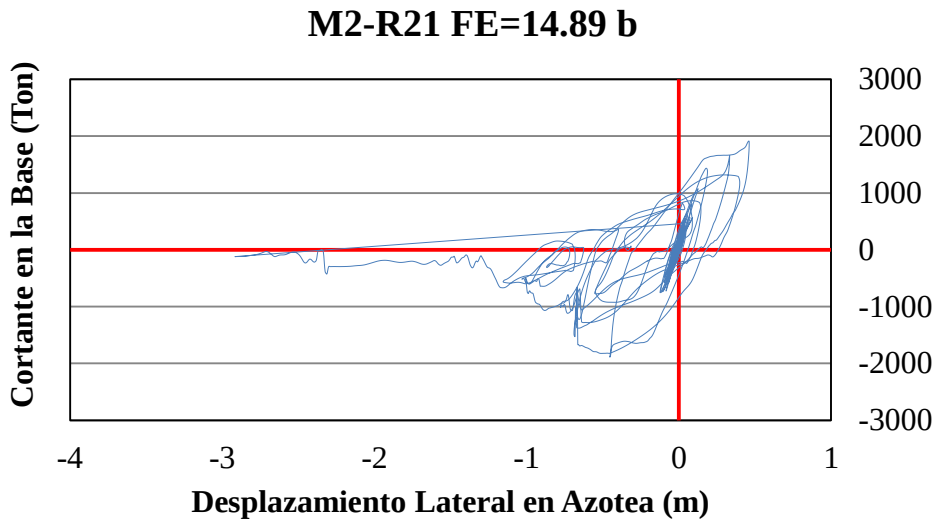

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.88
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

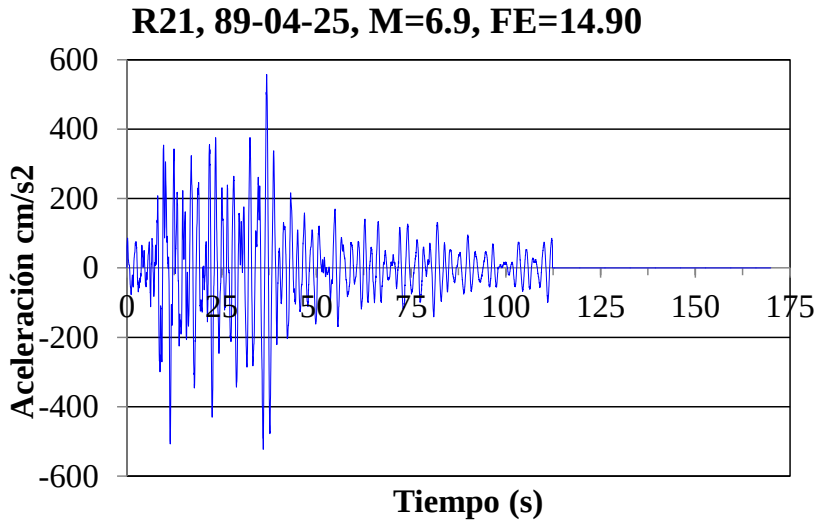

M2-R21 FE=14.88
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

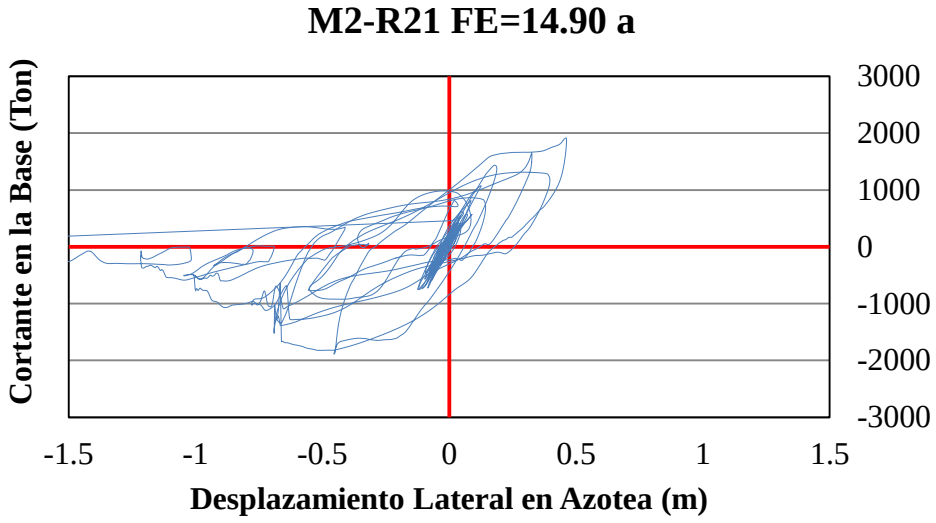

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.89
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

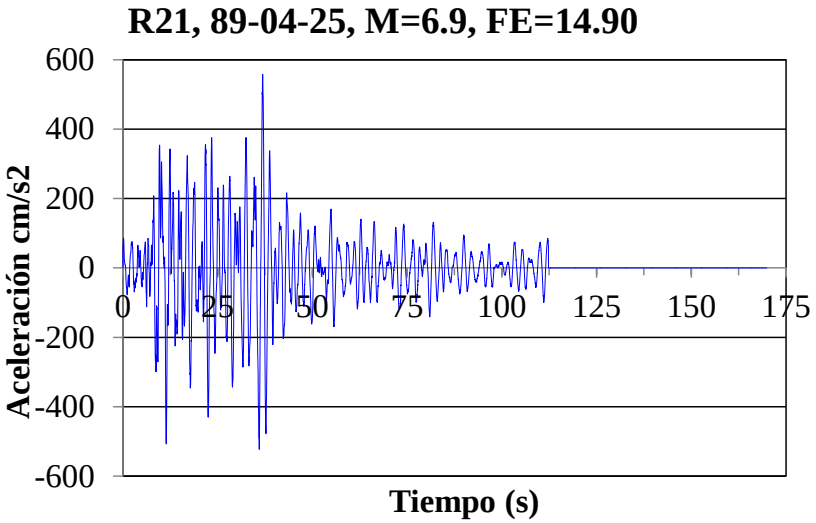

M2-R21 FE=14.89 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

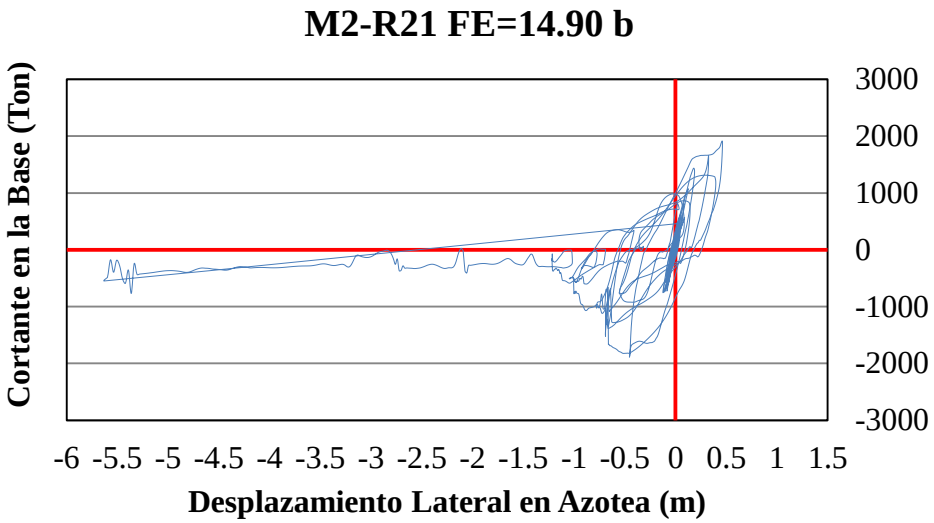

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.89
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

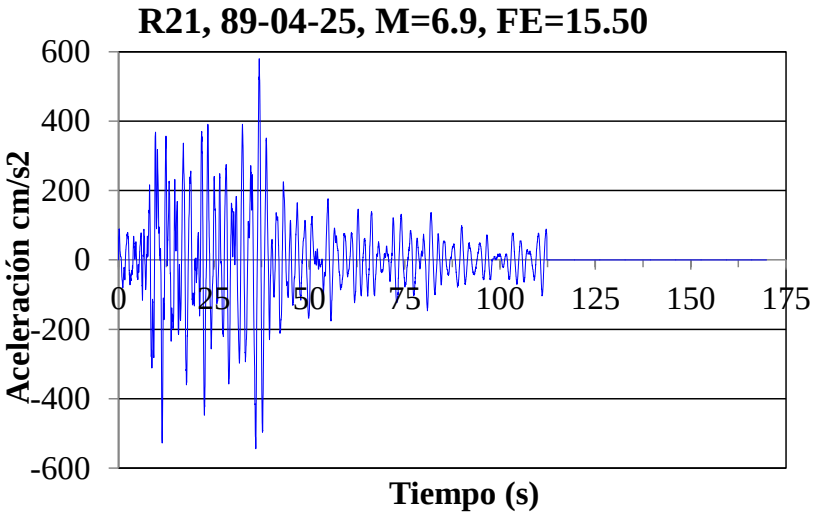

M2-R21 FE=14.89 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4
-3
-2
-1
0
1
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

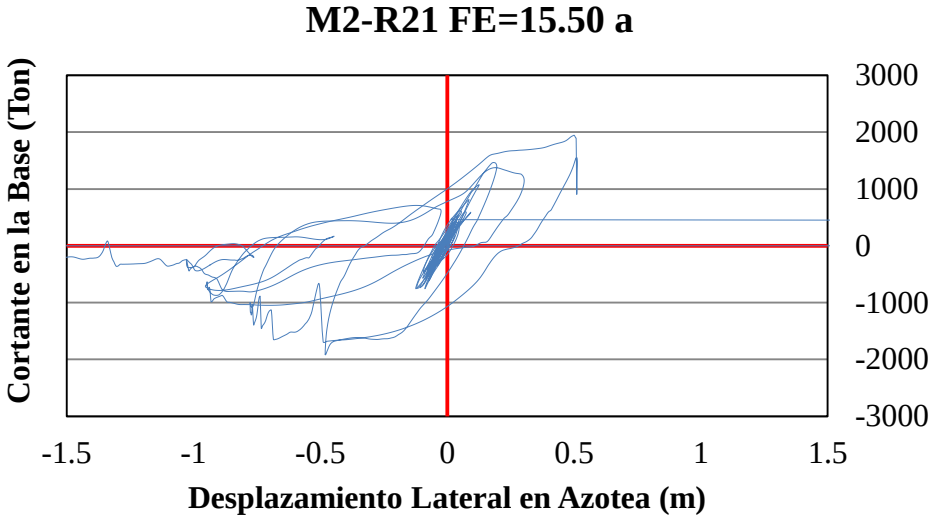

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

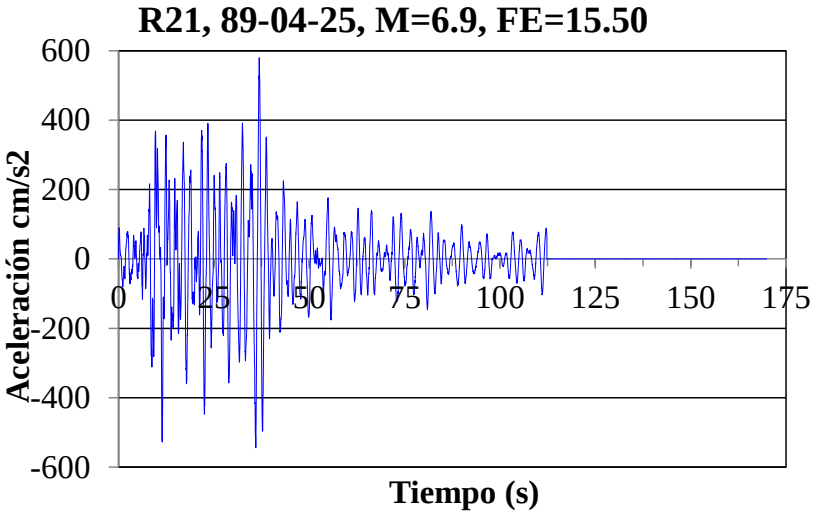

M2-R21 FE=14.90 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

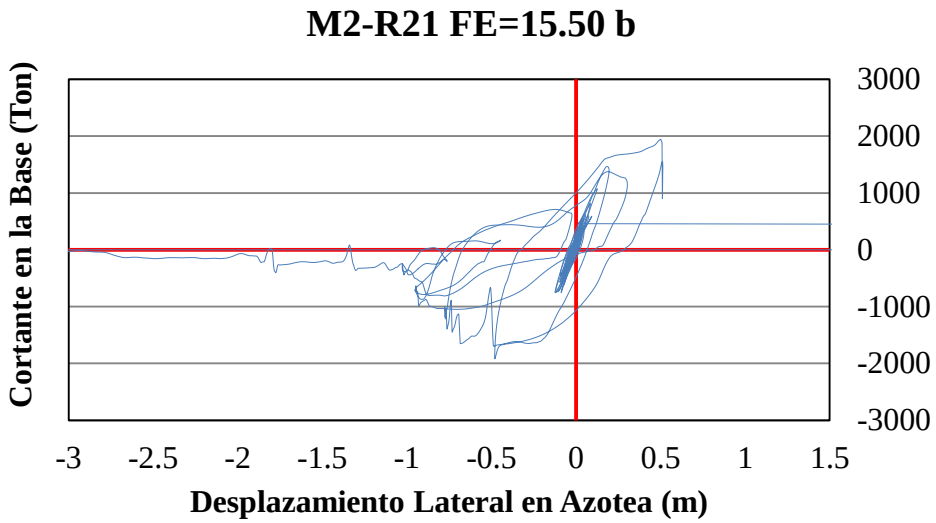

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=14.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

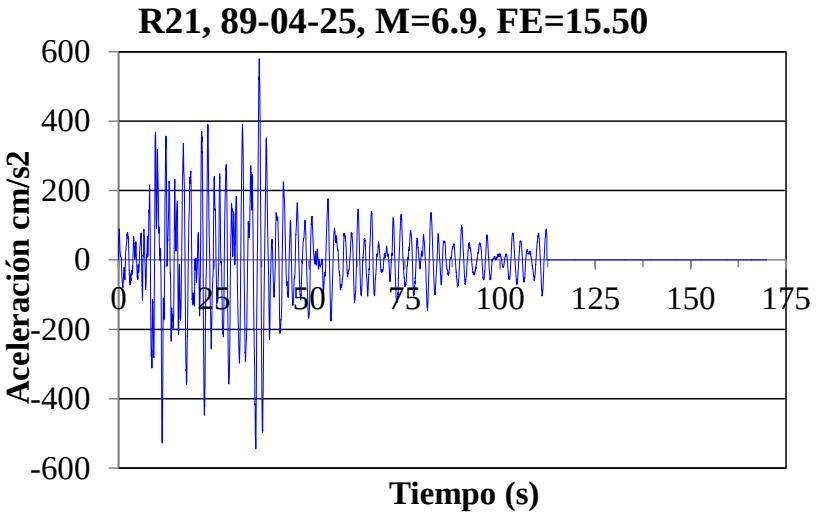

M2-R21 FE=14.90 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-6 -5.5 -5 -4.5 -4 -3.5 -3 -2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

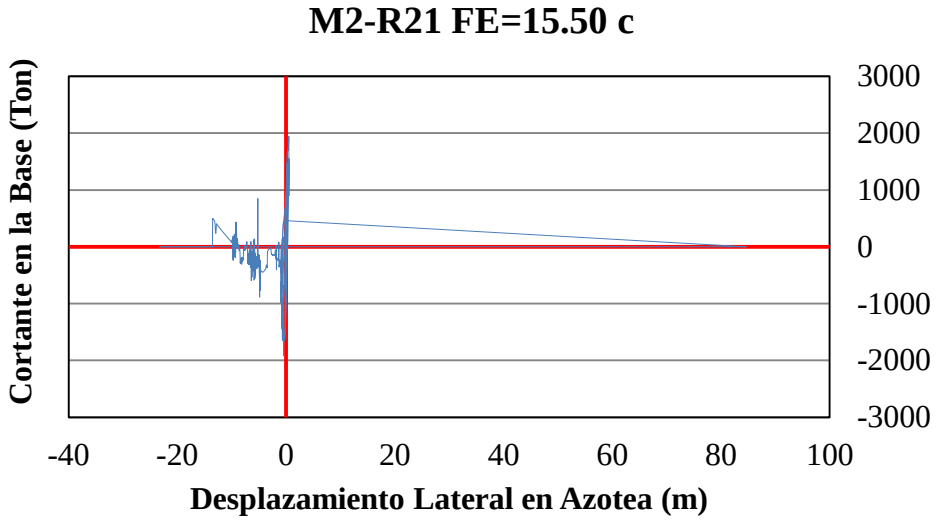

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=15.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R21 FE=15.50 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R21, 89-04-25, M=6.9, FE=15.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R21 FE=15.50 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

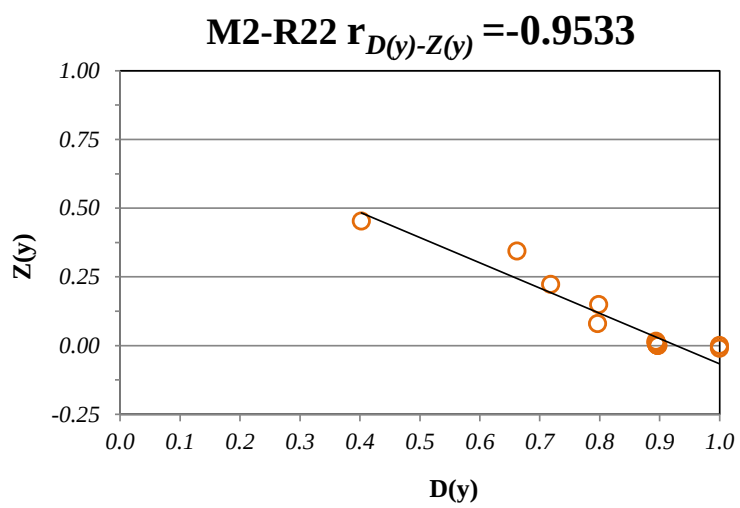

R21, 89-04-25, M=6.9, FE=15.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

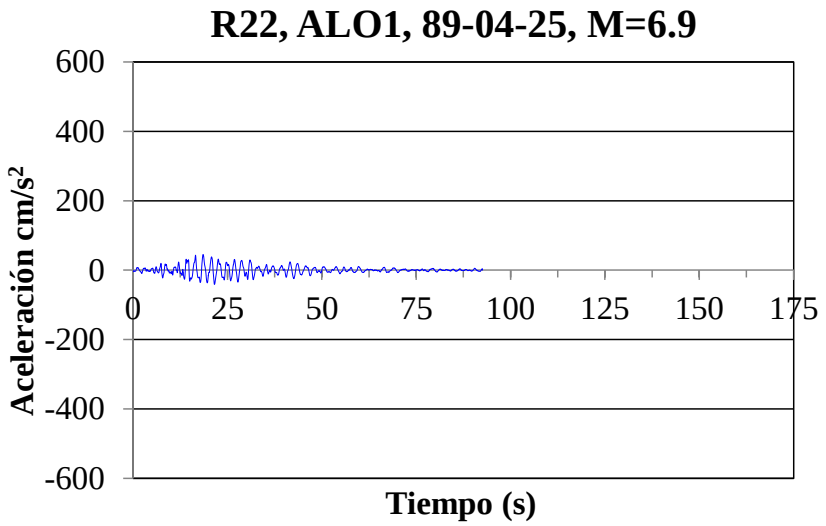

M2-R21 FE=15.50 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-40
-20
0
20
40
60
80
100
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

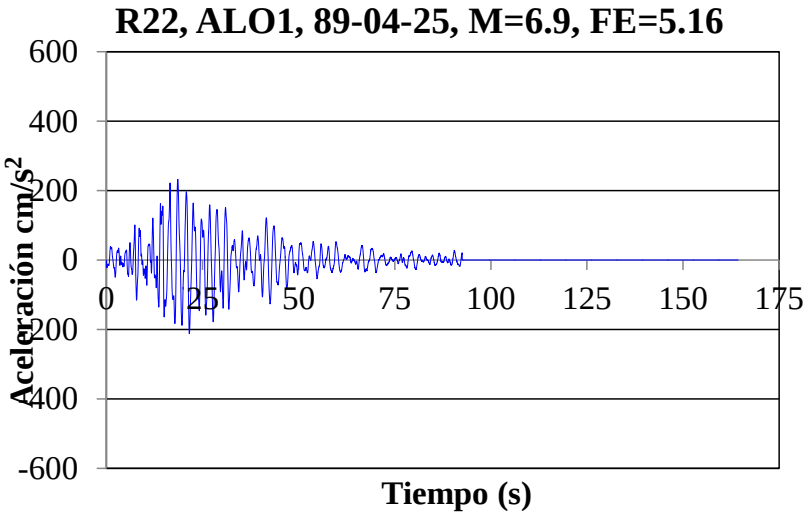
M2-R22

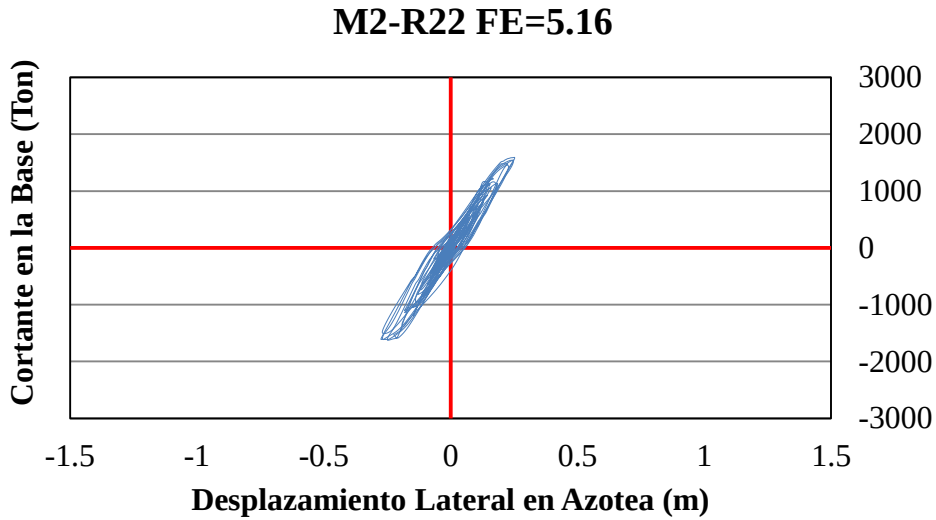
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**9 796.10**	**0.119**	**-0.9533**

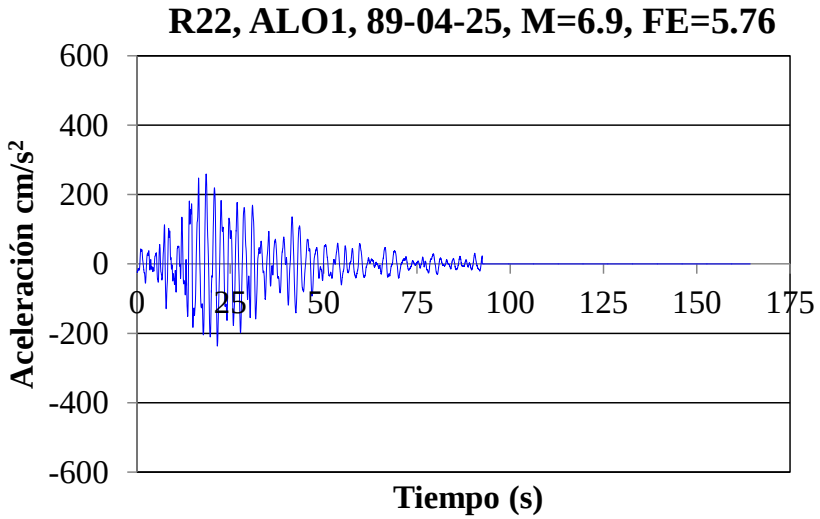
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6121	5.16	27.98	0.2744	0.000	5 853.98	0.4024	0.110
0.6829	5.76	28.21	0.4875	0.000	3 311.78	0.6619	0.000
0.7707	6.50	22.24	0.5733	0.000	2 758.78	0.7184	-0.121
0.8299	7.00	21.37	0.6877	0.000	1 973.22	0.7986	-0.195
0.8892	7.50	19.22	0.6772	0.000	1 994.01	0.7964	-0.264
0.9485	8.00	24.73	0.8384	0.000	1 037.52	0.8941	-0.328
0.9509	8.02	24.73	0.8294	-855.988	1 032.06	0.8946	-0.331
0.9532	8.04	24.73	0.8361	-864.713	1 034.22	0.8944	-0.333
0.9556	8.06	24.73	0.8382	-865.690	1 032.80	0.8946	-0.336
0.9580	8.08	24.73	0.8439	-868.182	1 028.77	0.8950	-0.338
0.9604	8.10	24.73	0.8506	-871.140	1 024.15	0.8955	-0.341
0.9615	8.11	24.74	0.8568	-876.081	1 022.50	0.8956	-0.342
0.9627	8.12	24.74	0.8633	-870.628	1 008.49	0.8971	-0.343
0.9630	8.122	24.74	0.8633	-874.559	1 013.04	0.8966	-0.344
0.9631	8.123	92.40	235.5770	0.000	0 000.00	1.0000	-0.344
0.9722	8.20	69.00	317.5870	0.000	0 000.00	1.0000	-0.353

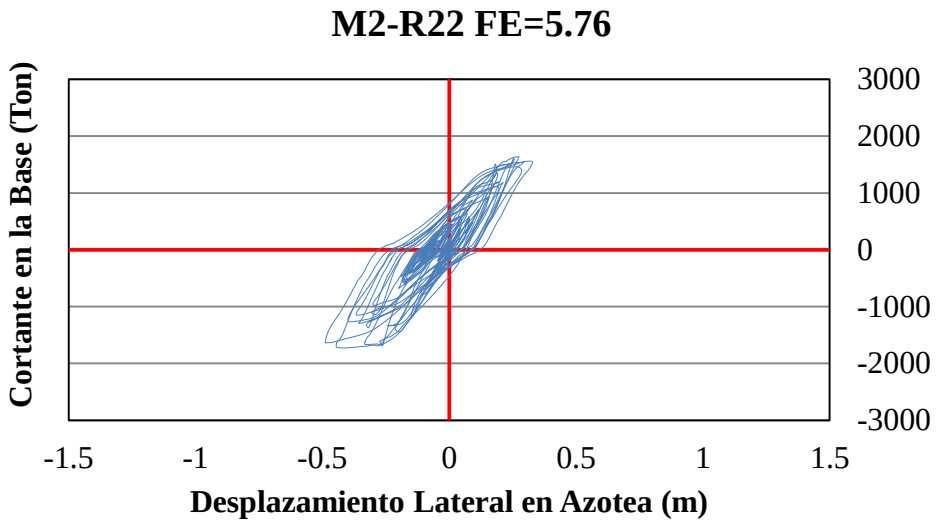

M2-R22 r D(y)-Z(y) =-0.9533
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

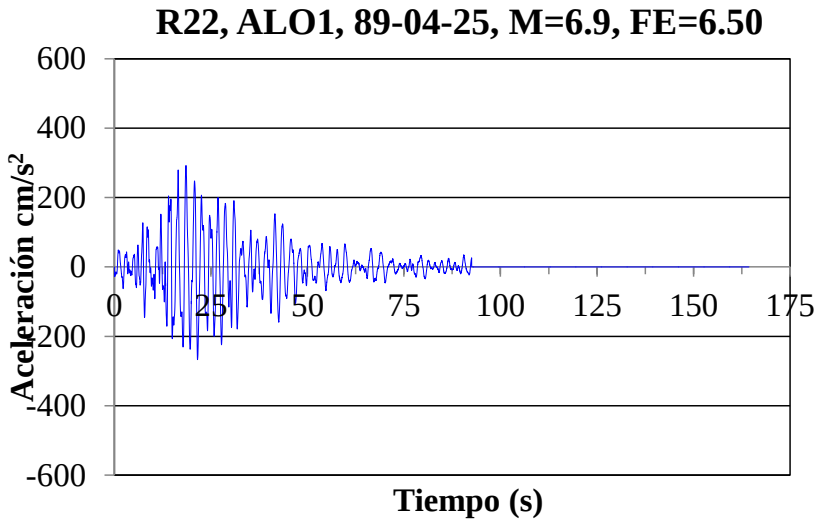

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

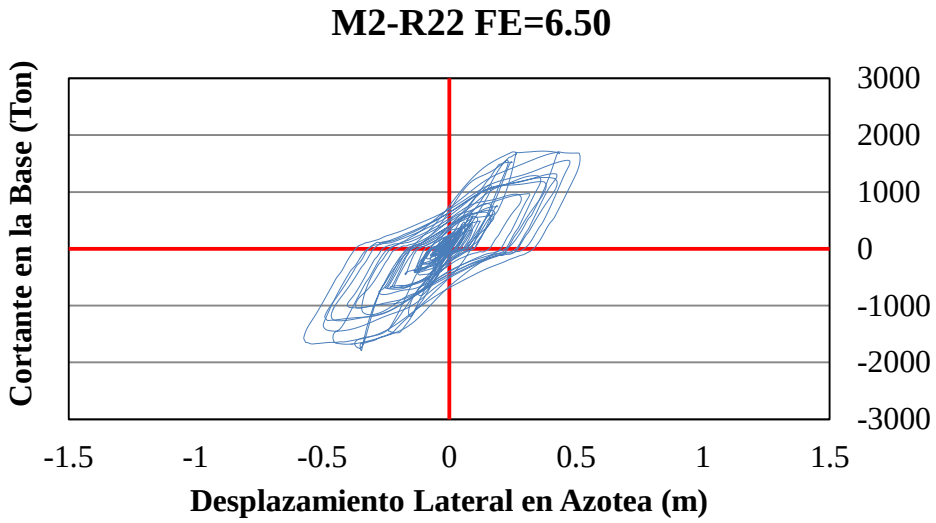

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=5.16
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

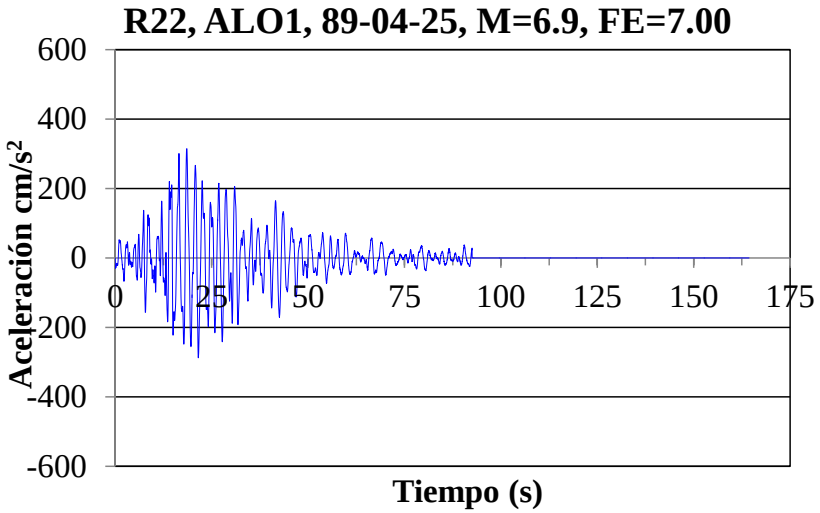

M2-R22 FE=5.16
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

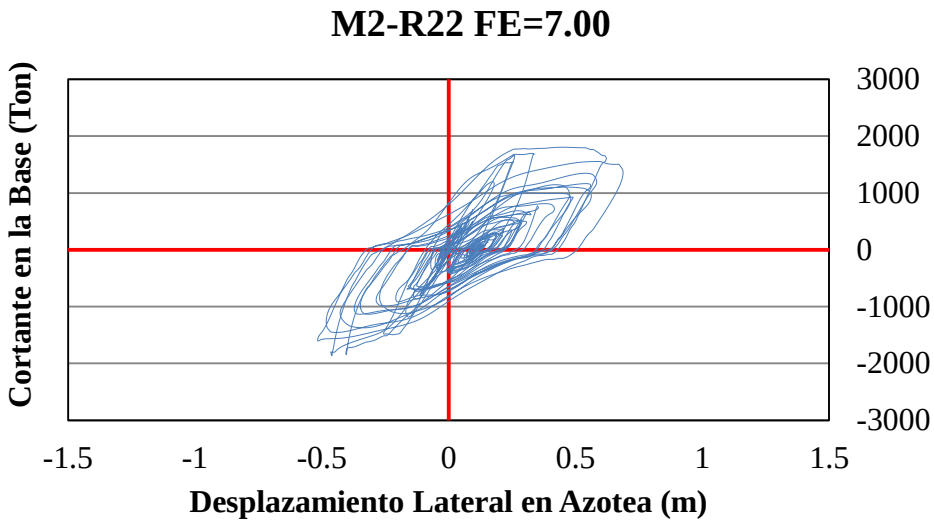

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=5.76
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

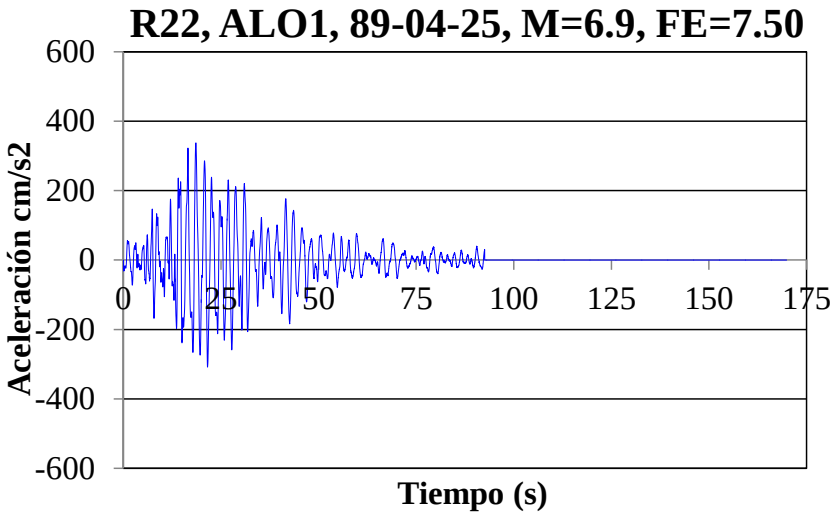

M2-R22 FE=5.76
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

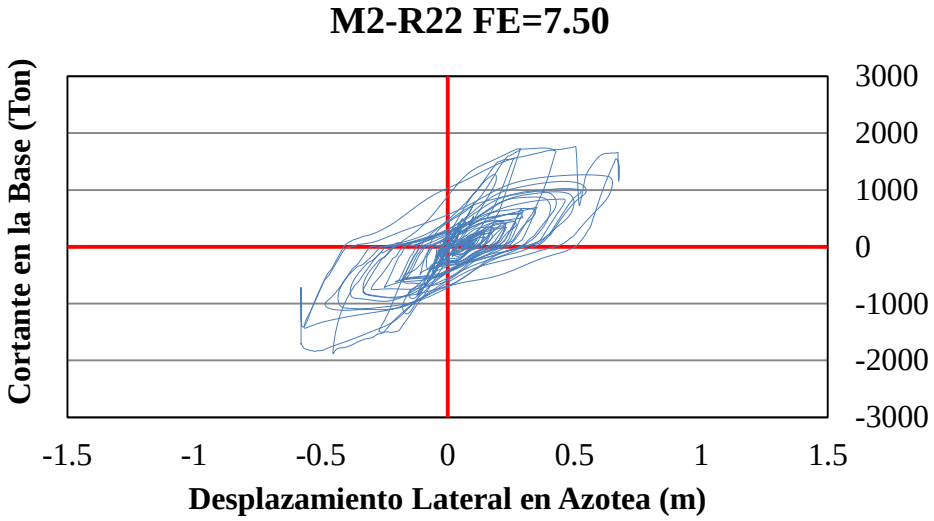

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=6.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

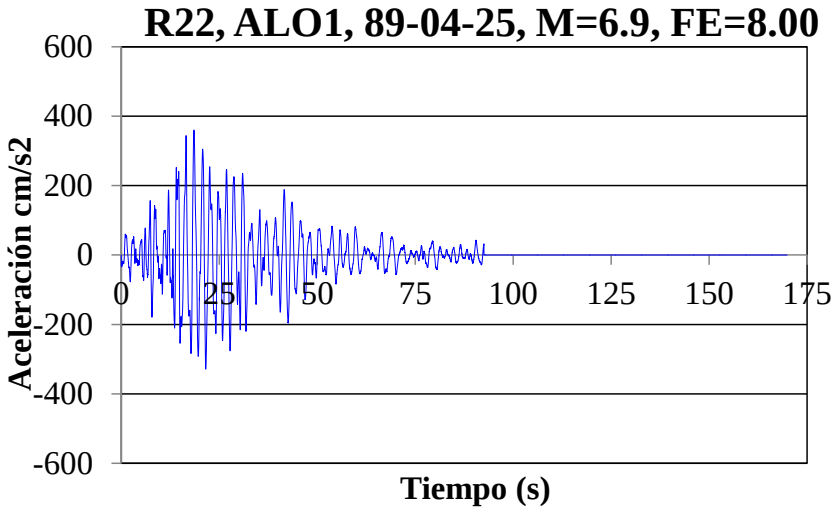

M2-R22 FE=6.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

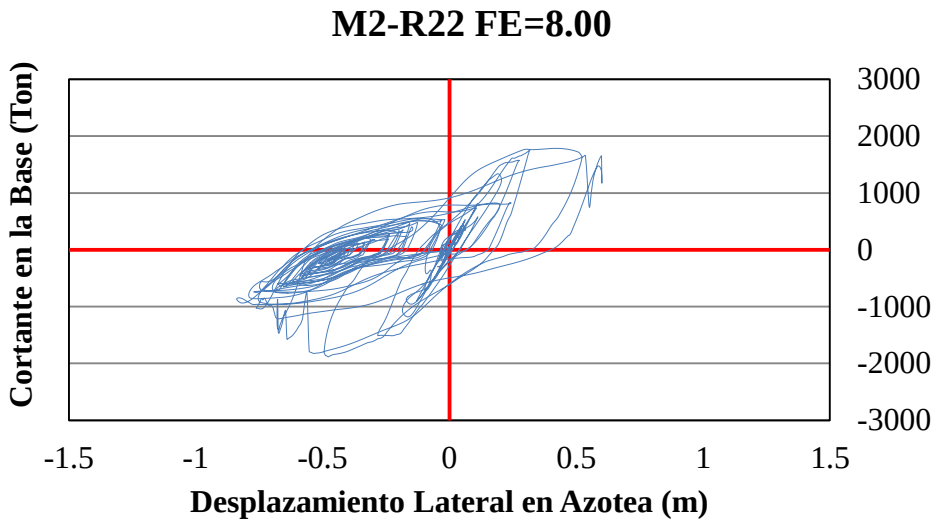

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=7.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

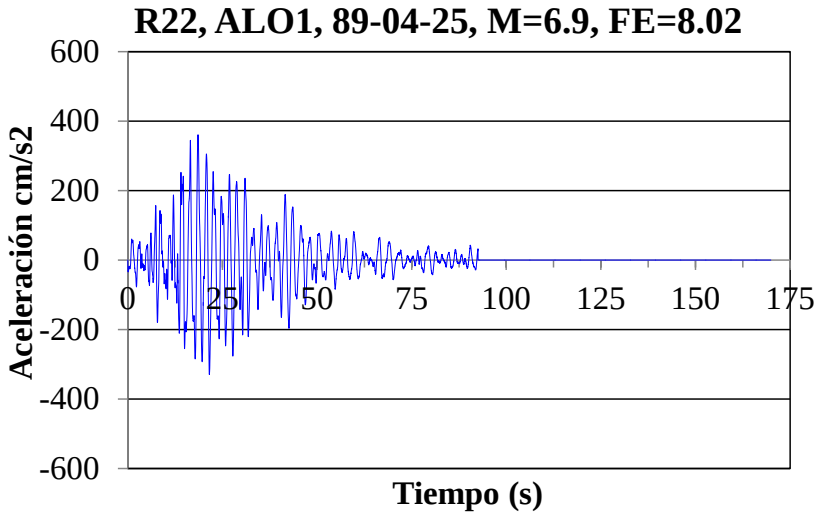

M2-R22 FE=7.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

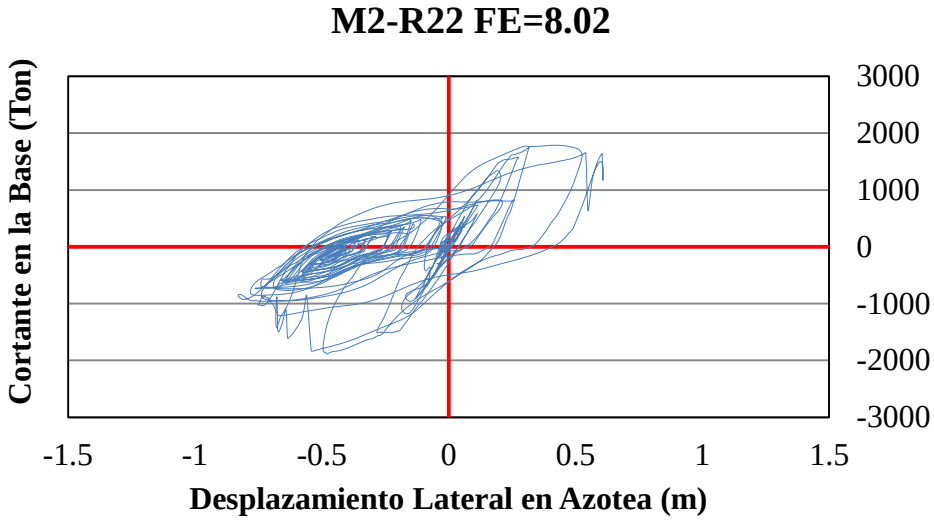

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=7.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

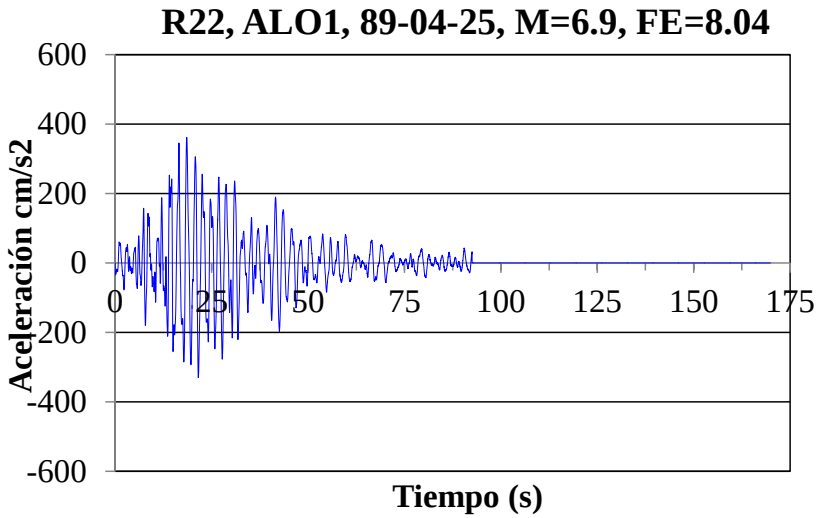

M2-R22 FE=7.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

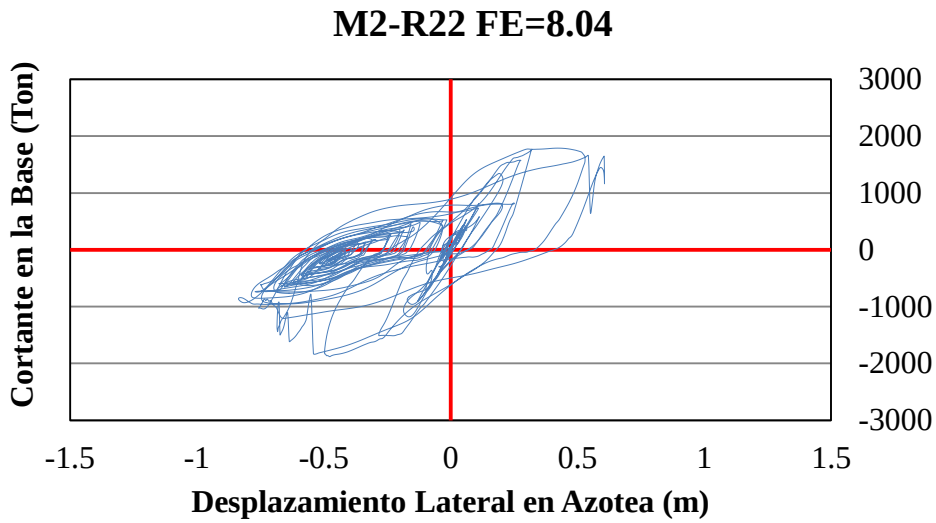

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

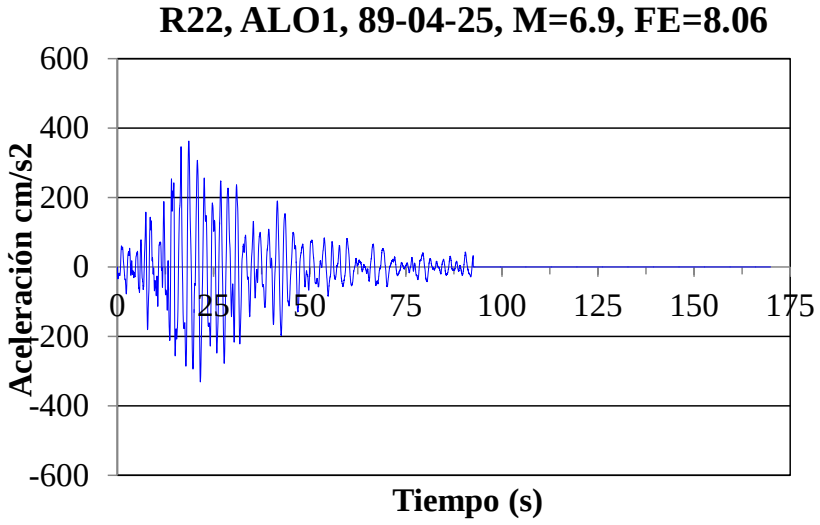

M2-R22 FE=8.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

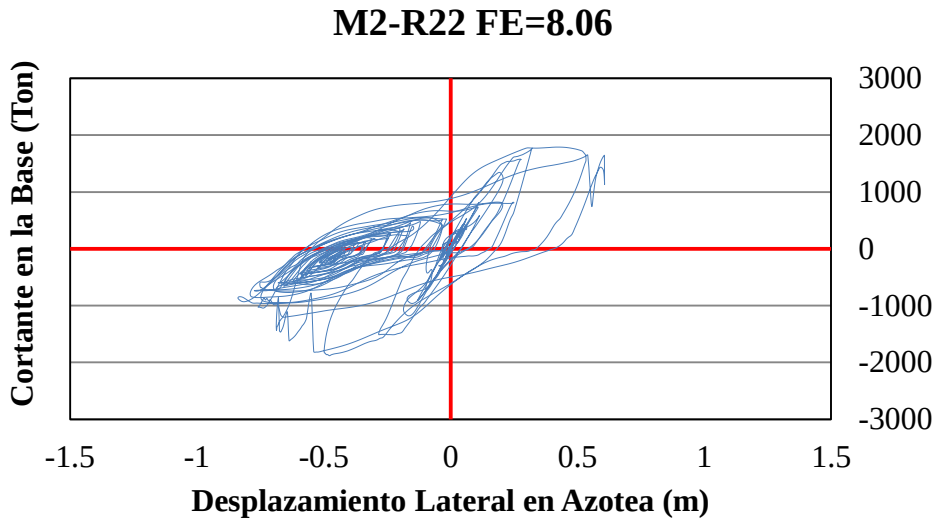

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.02
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

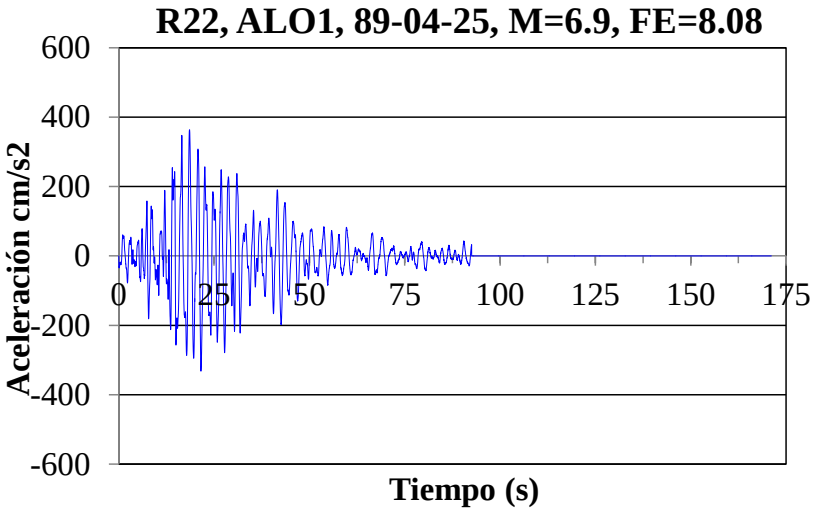

M2-R22 FE=8.02
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

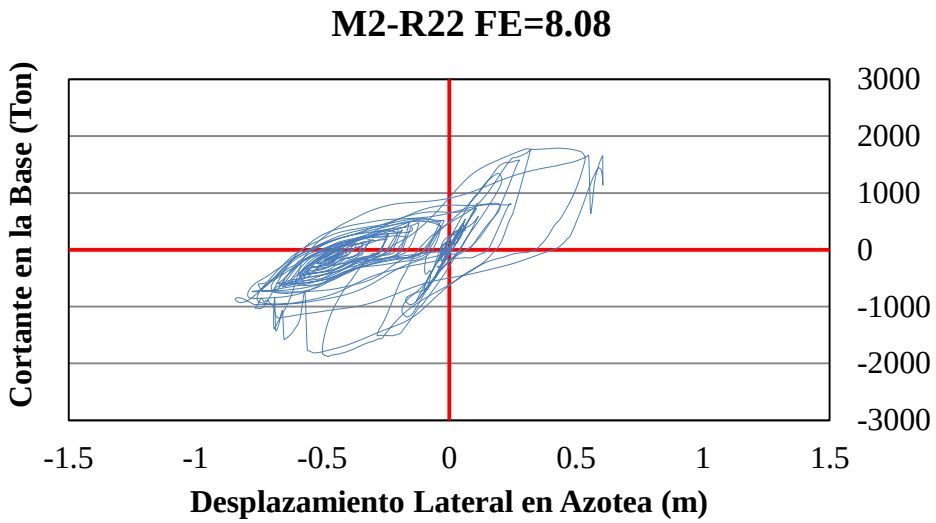

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.04
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

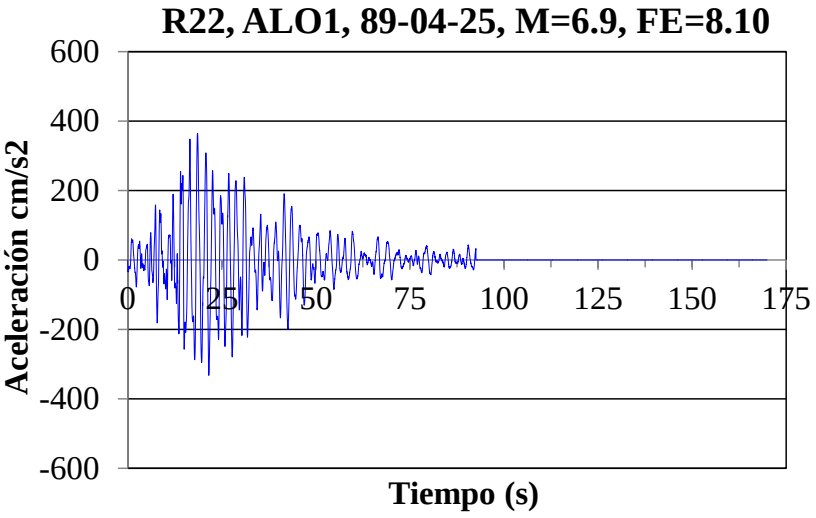

M2-R22 FE=8.04
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

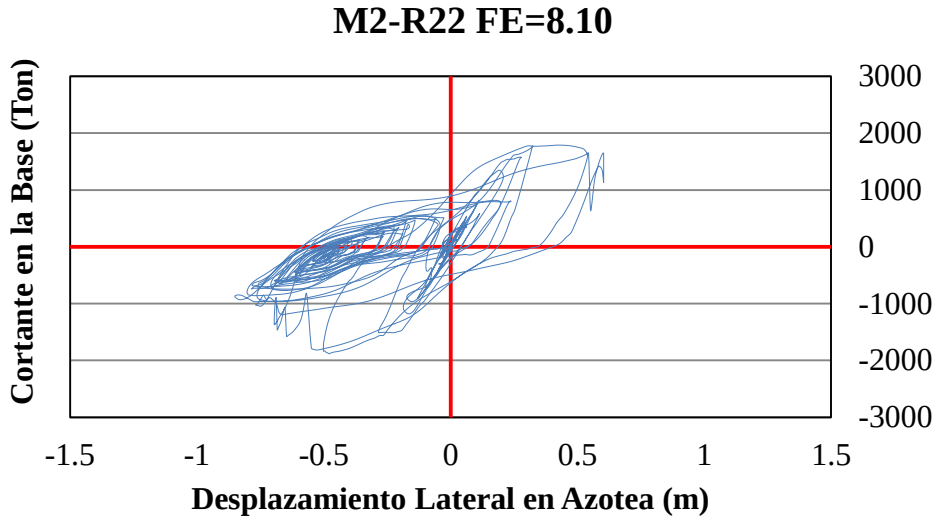

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.06
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

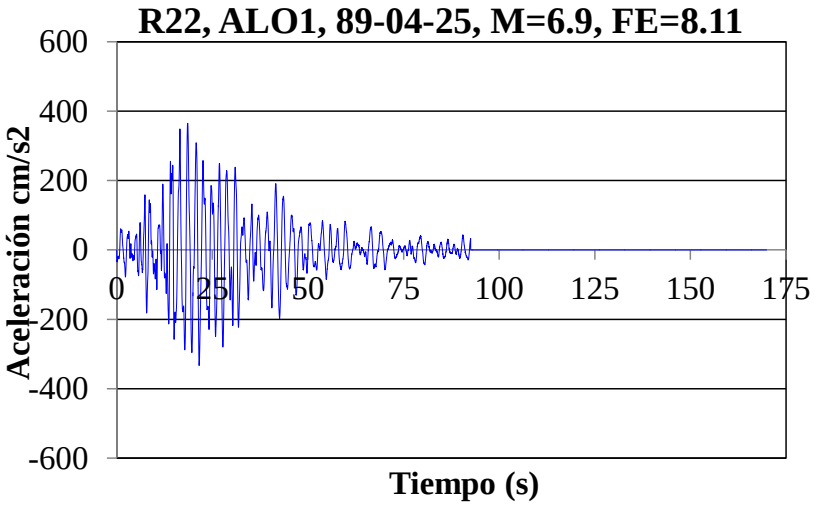

M2-R22 FE=8.06
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

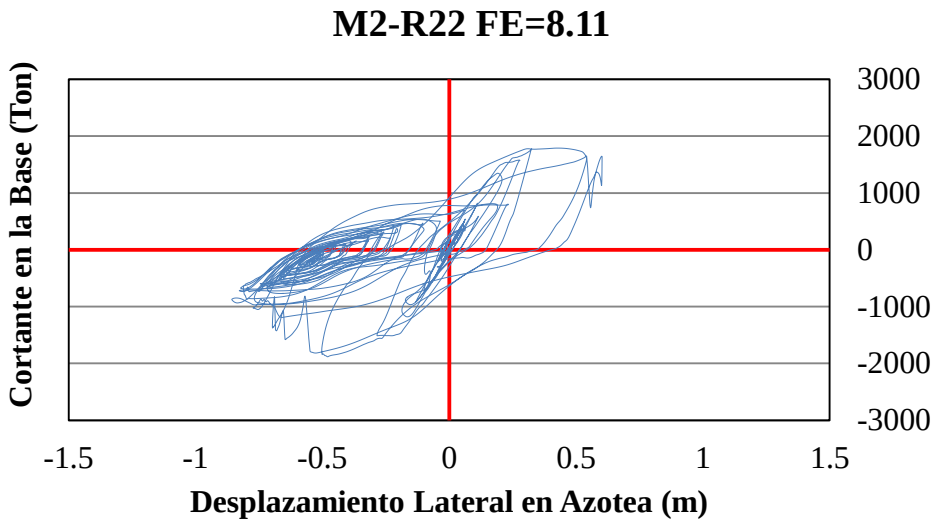

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.08
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

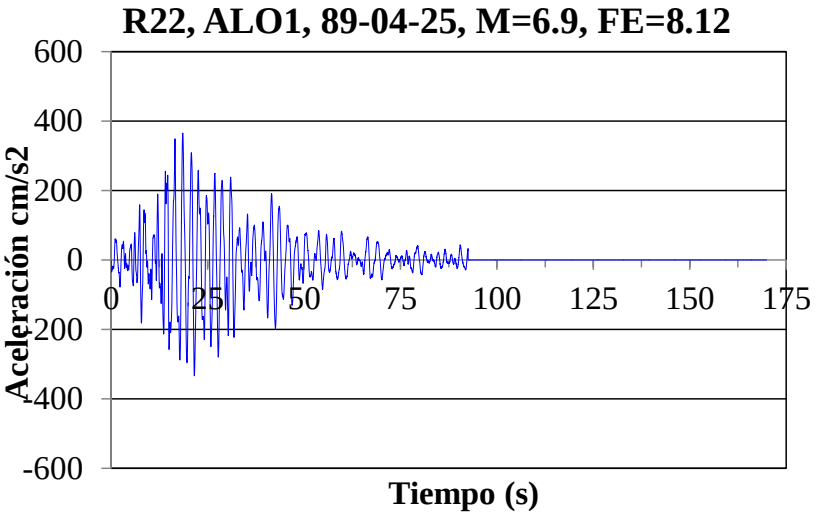

M2-R22 FE=8.08
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

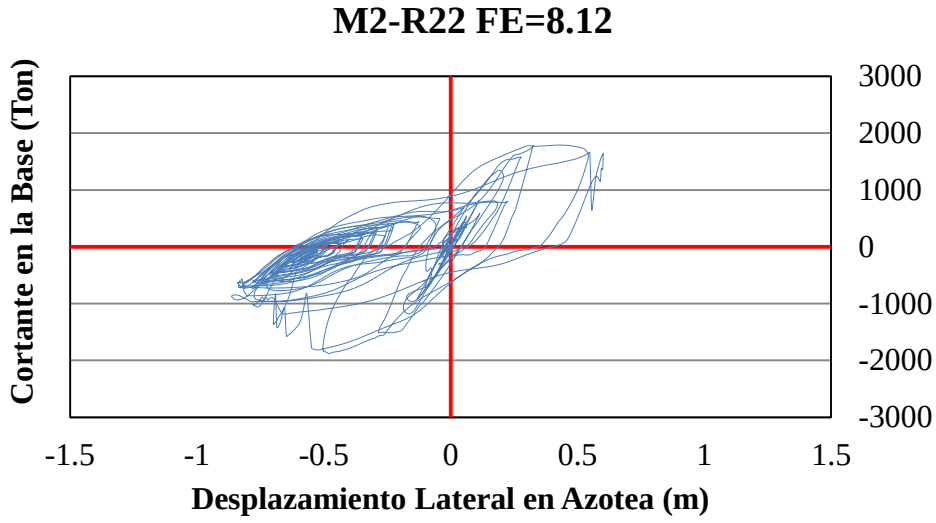

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.10
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

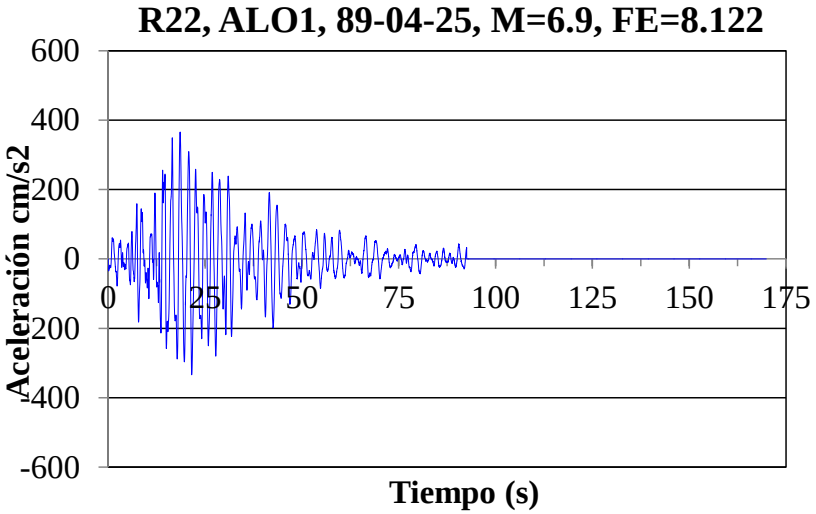

M2-R22 FE=8.10
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

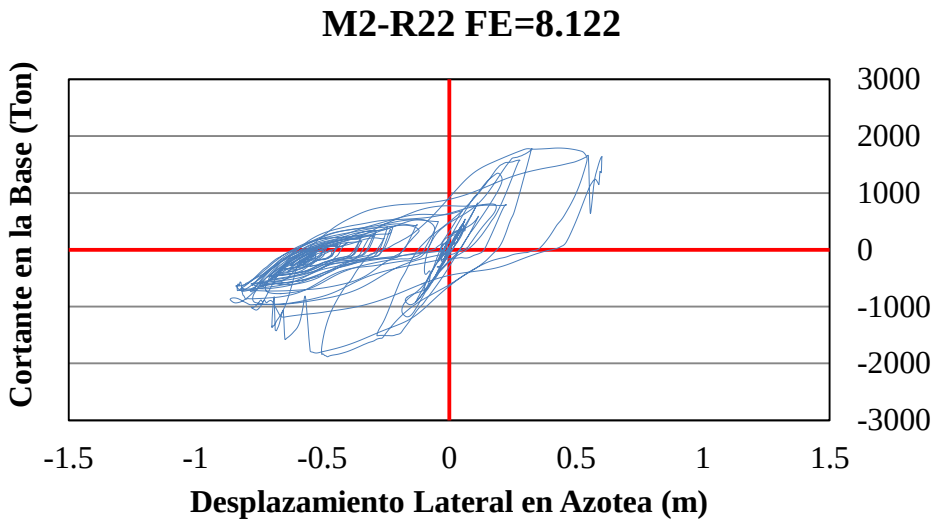

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.11
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

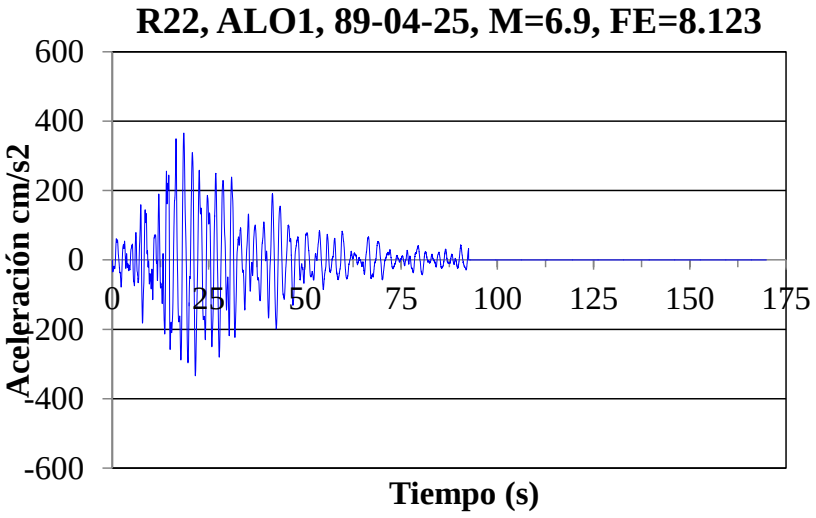

M2-R22 FE=8.11
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

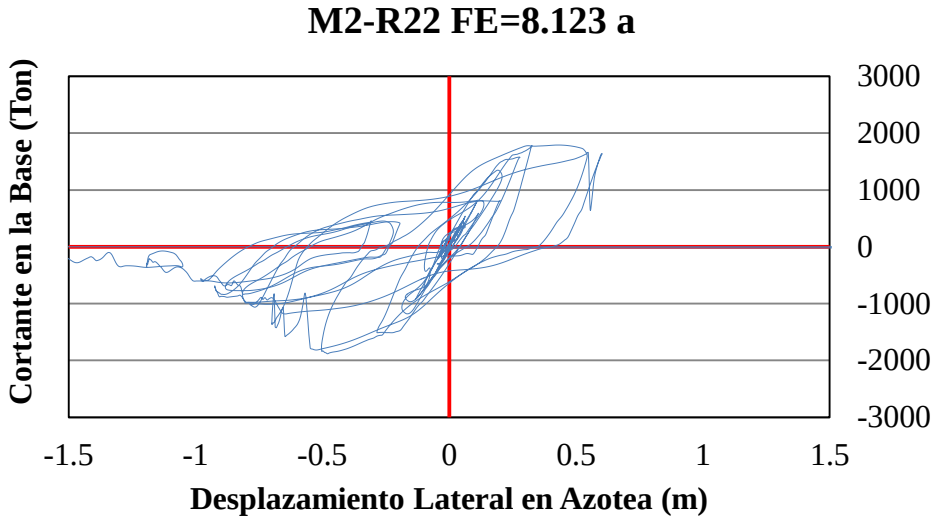

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.12
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

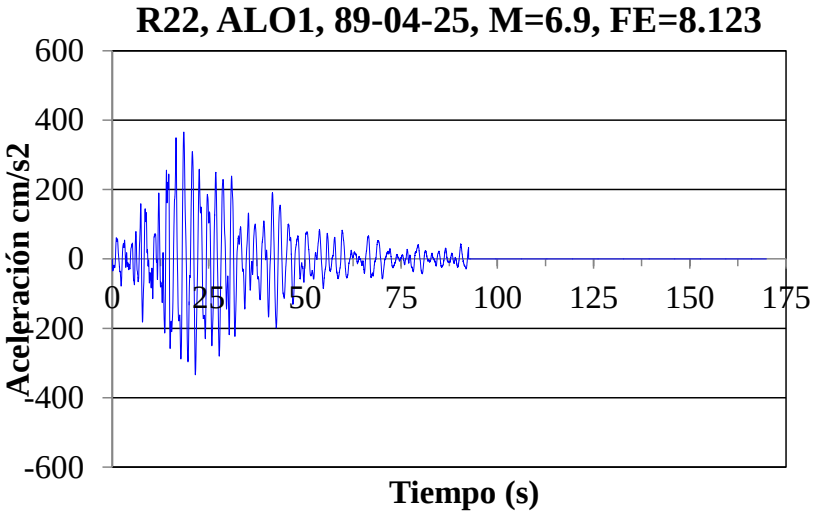

M2-R22 FE=8.12
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

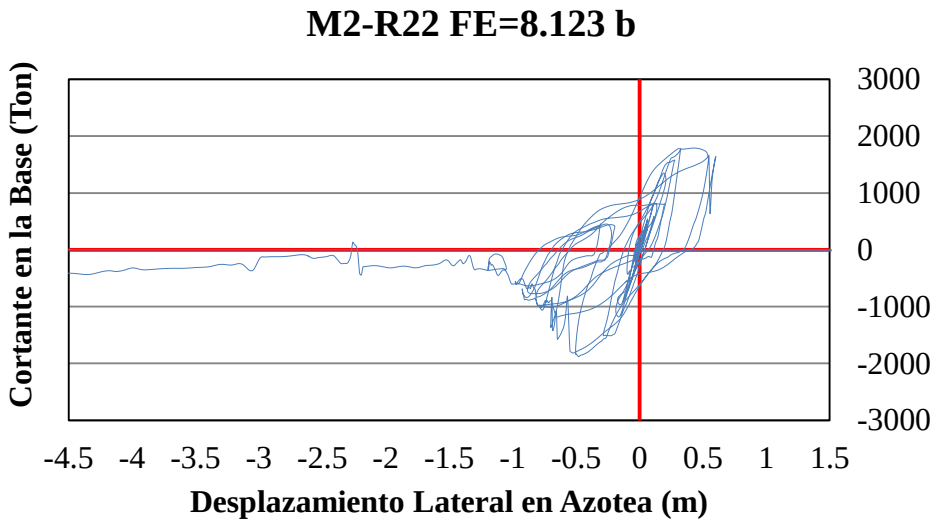

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.122
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

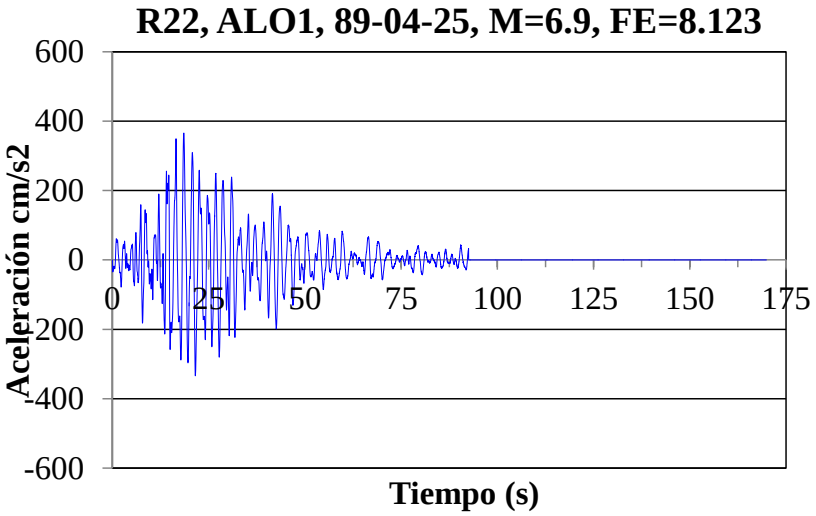

M2-R22 FE=8.122
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

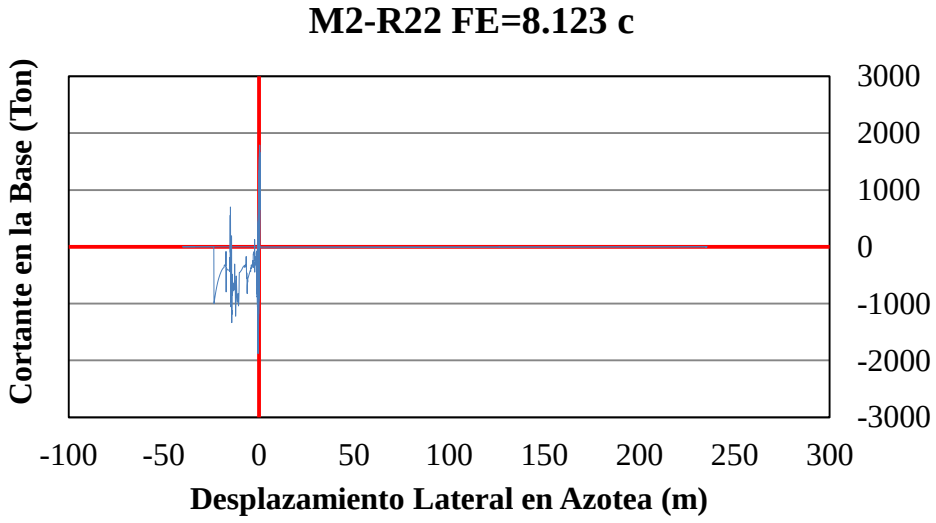

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.123
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

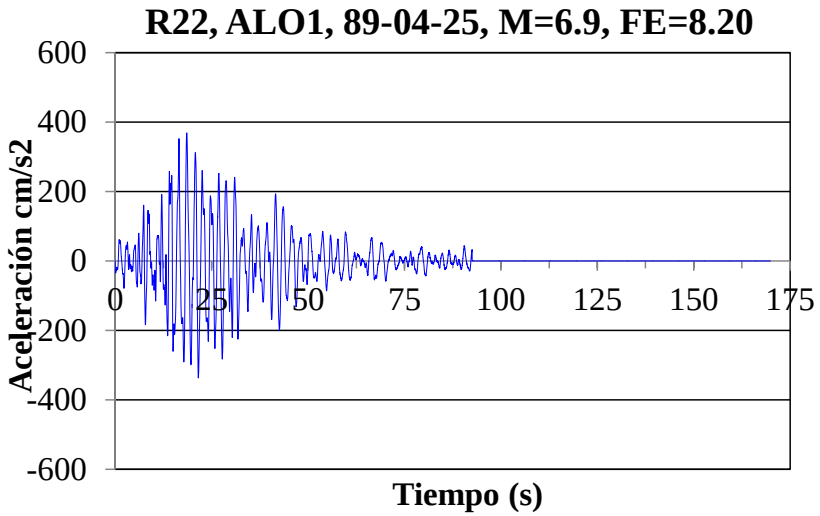

M2-R22 FE=8.123 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

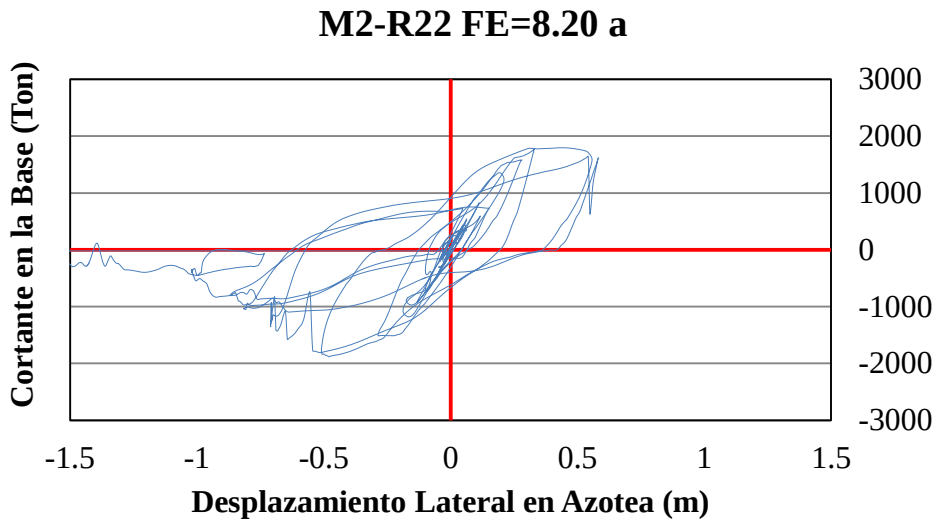

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.123
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

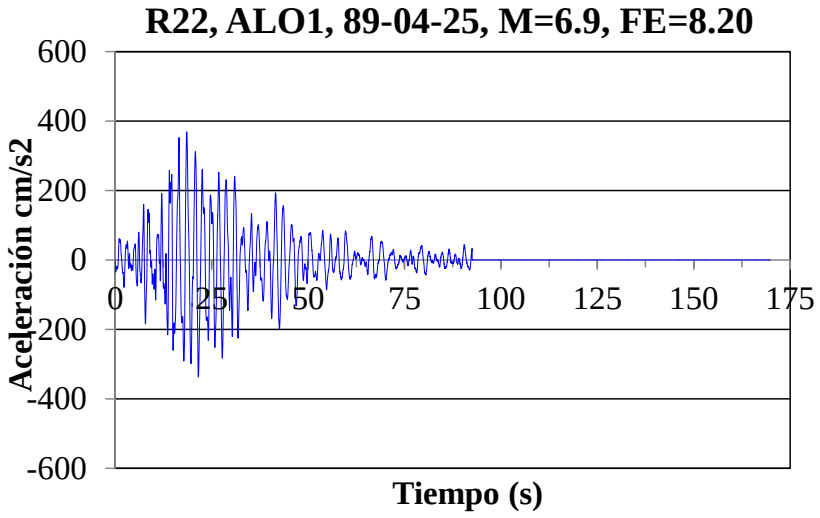

M2-R22 FE=8.123 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4.5
-4
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

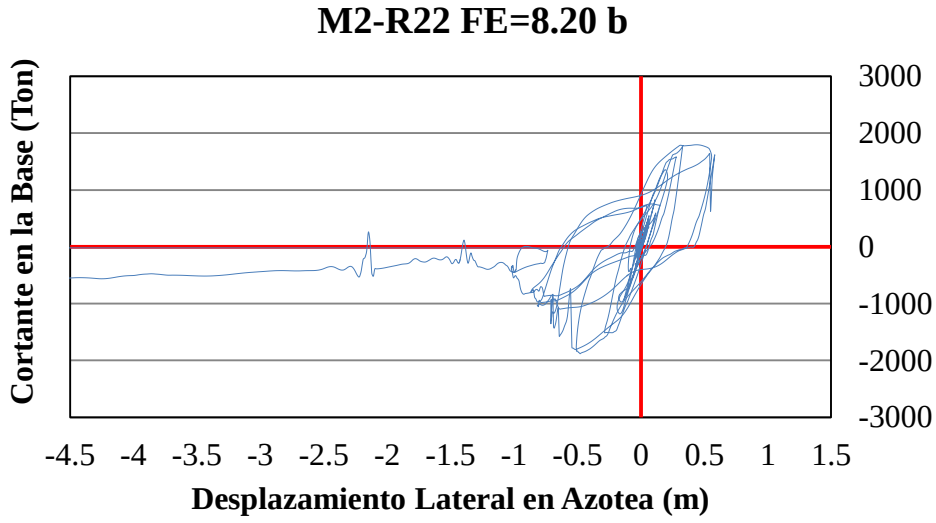

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.123
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

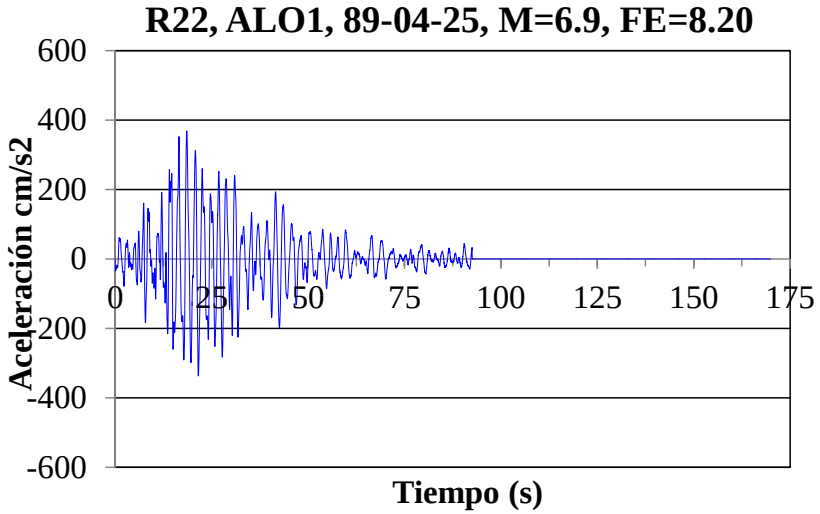

M2-R22 FE=8.123 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
-50
0
50
100
150
200
250
300
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

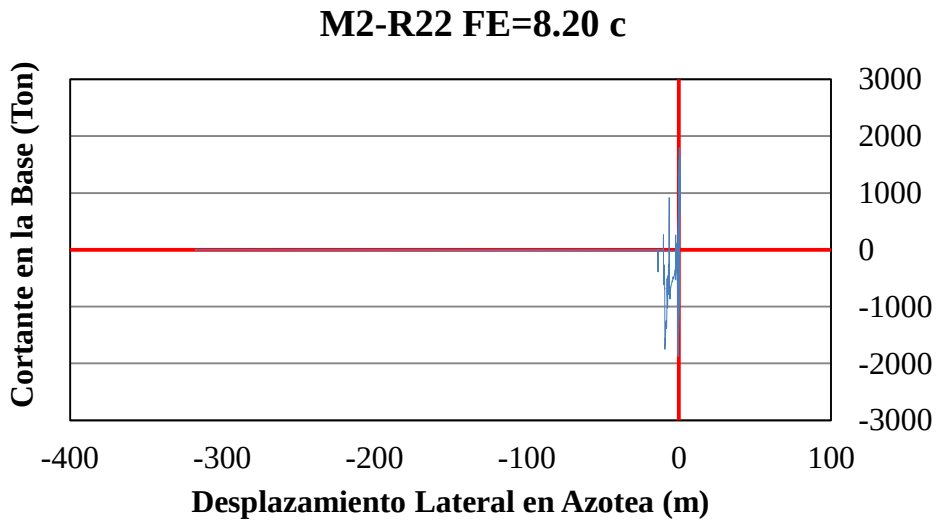

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R22 FE=8.20 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R22 FE=8.20 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4.5
-4
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

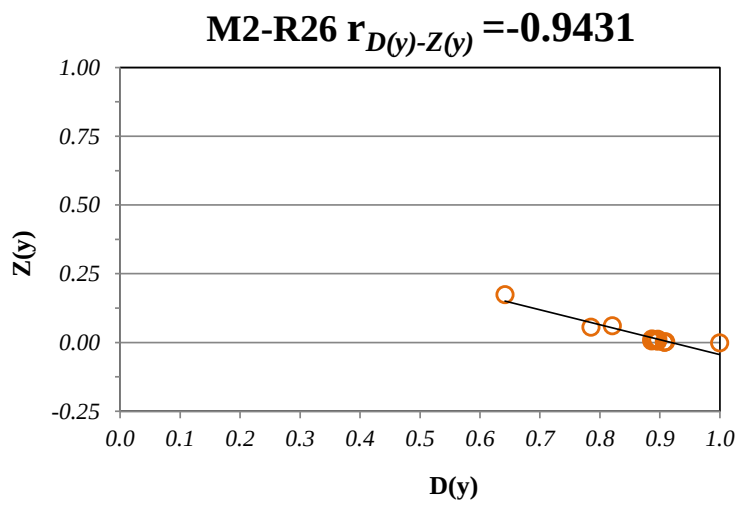

R22, ALO1, 89-04-25, M=6.9, FE=8.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

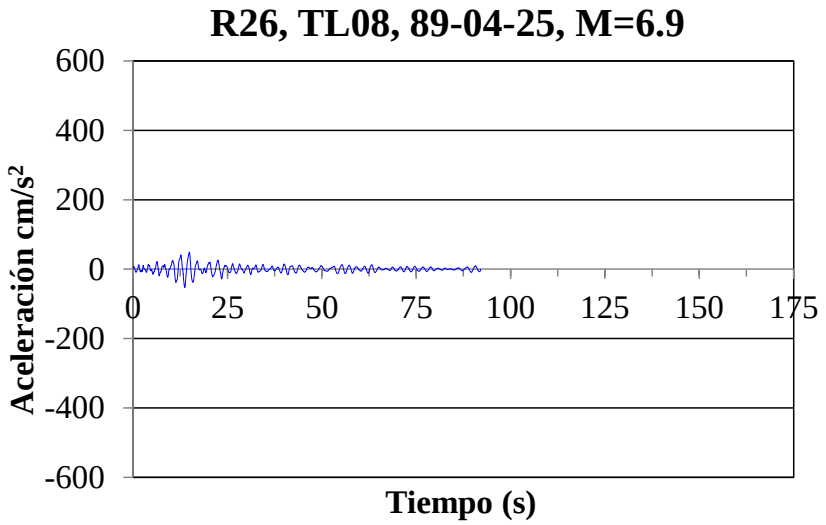

M2-R22 FE=8.20 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-400
-300
-200
-100
0
100
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

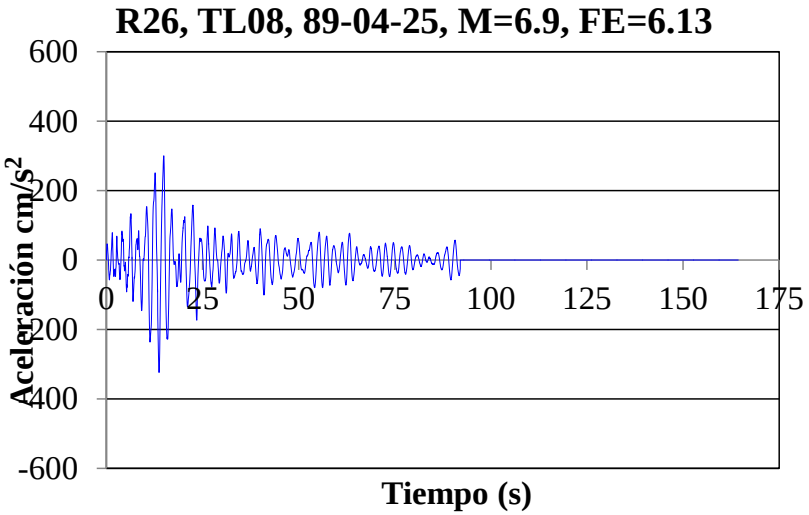
M2-R26

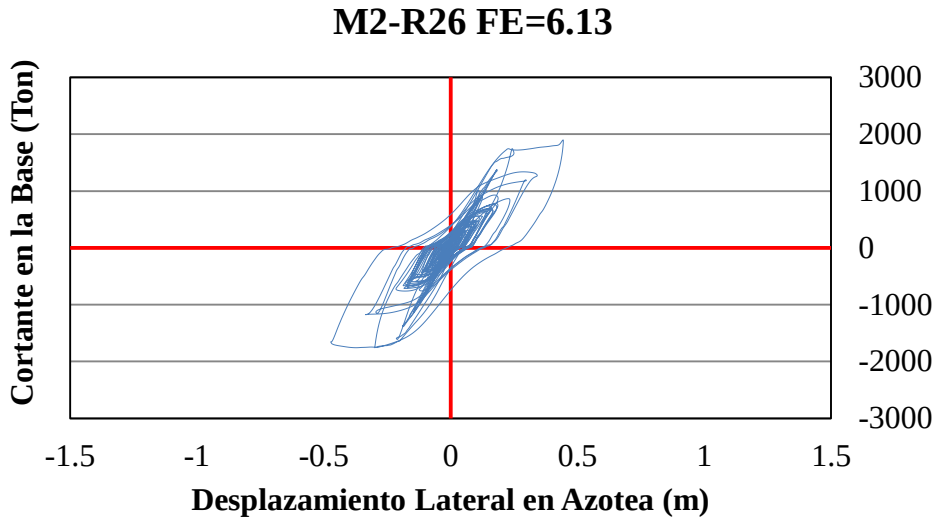
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.86**	**9 796.10**	**0.100**	**-0.9431**

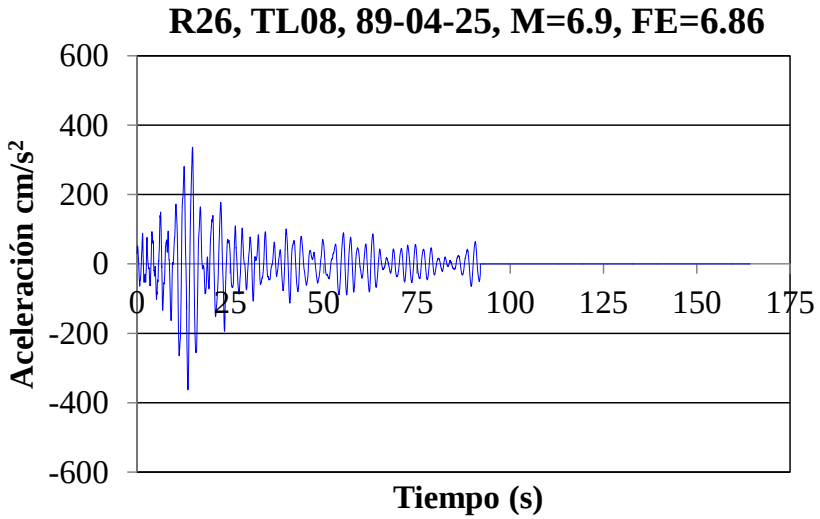
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6148	6.13	16.3000	0.4721	0.000	3 509.66	0.6417	0.105
0.6882	6.86	15.3800	0.7392	0.000	1 752.85	0.8211	-0.008
0.6922	6.90	15.4100	0.6844	0.000	2 103.26	0.7853	-0.013
0.7223	7.20	16.7300	0.8378	0.000	1 109.79	0.8867	-0.056
0.7233	7.21	16.7200	0.8329	-842.111	1 011.06	0.8968	-0.057
0.7243	7.22	16.7400	0.8433	-897.819	1 064.65	0.8913	-0.059
0.7253	7.23	16.7400	0.8449	-903.609	1 069.49	0.8908	-0.060
0.7263	7.24	16.7400	0.8453	-898.320	1 062.72	0.8915	-0.062
0.7274	7.25	16.7400	0.8462	-941.975	1 113.18	0.8864	-0.063
0.7284	7.26	16.7400	0.8498	-862.683	1 015.16	0.8964	-0.064
0.7294	7.27	22.2100	0.9214	-811.525	0 880.75	0.9101	-0.066
0.7304	7.28	22.2300	0.9188	-833.721	0 907.40	0.9074	-0.067
0.7314	7.29	22.2300	0.9214	-831.549	0 902.48	0.9079	-0.068
0.7324	7.30	89.5100	199.0500	0.000	0 000.00	1.0000	-0.070

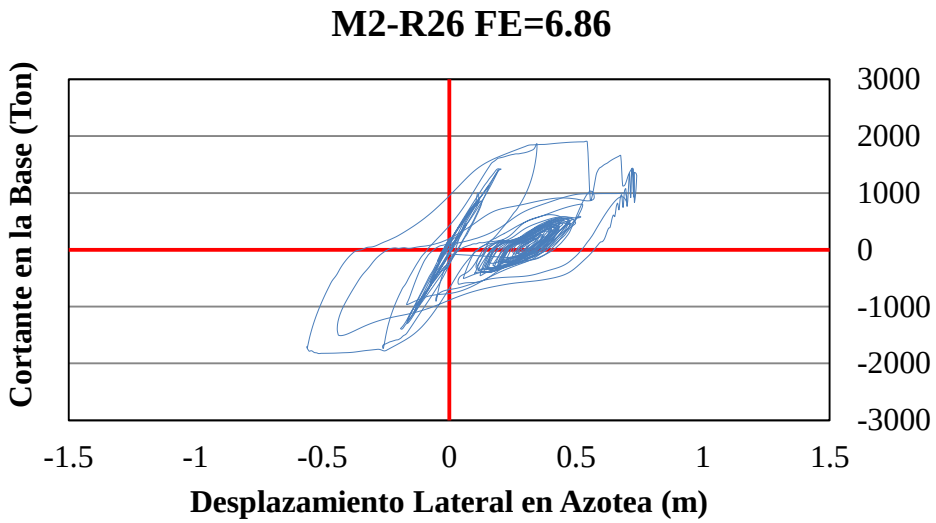

M2-R26 r D(y)-Z(y) =-0.9431
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

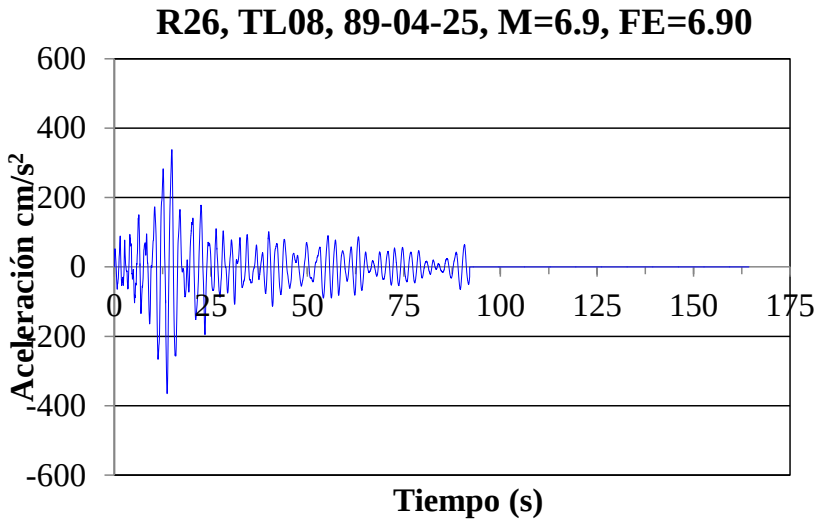

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

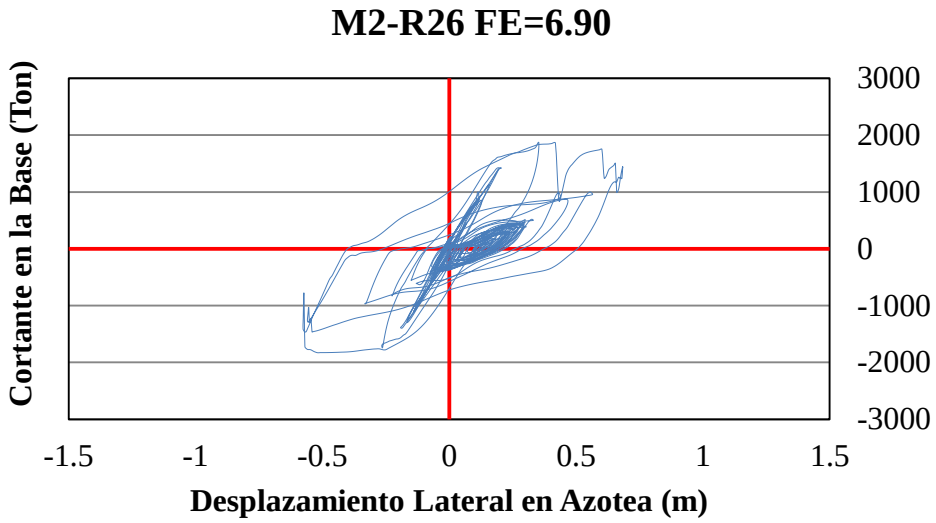

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=6.13
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

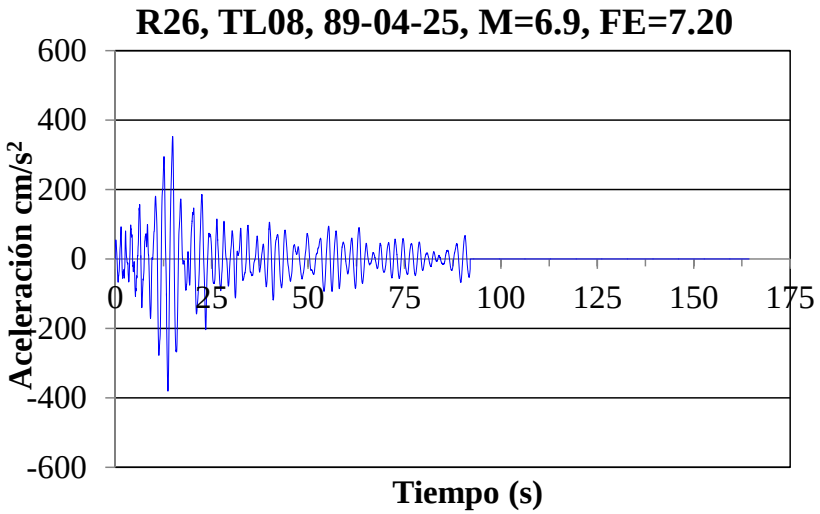

M2-R26 FE=6.13
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

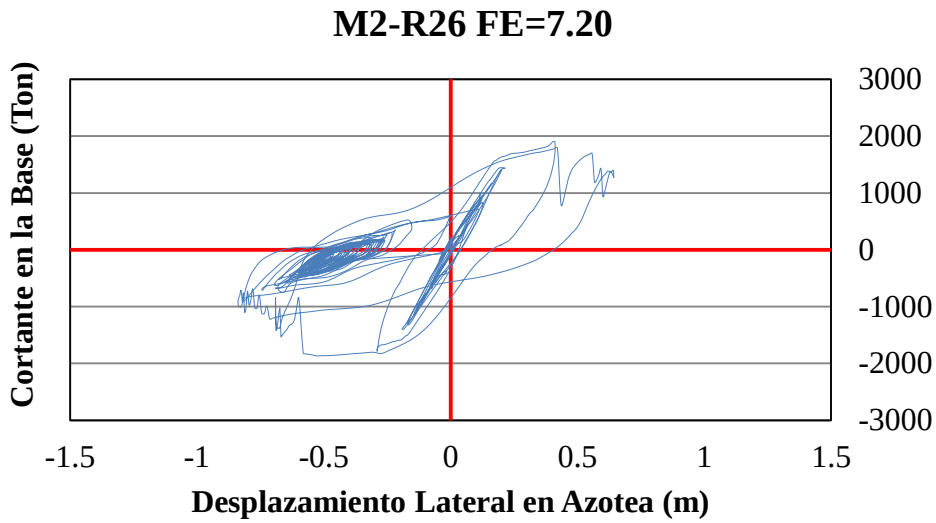

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=6.86
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

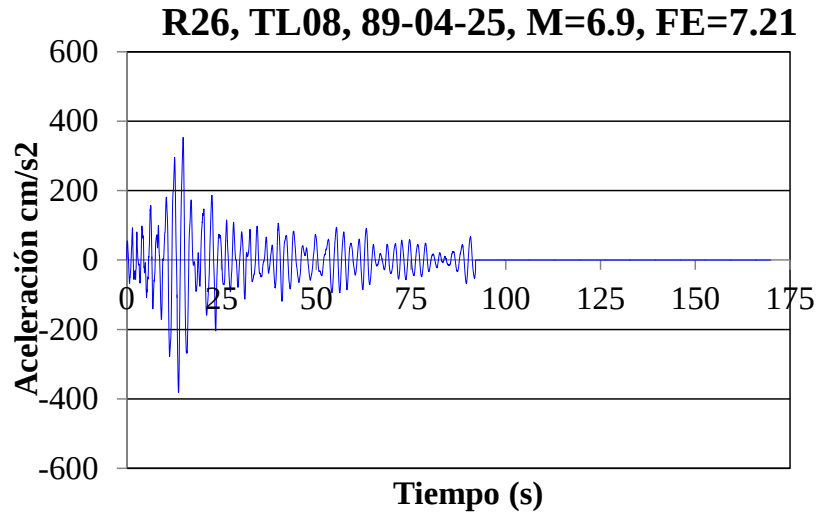

M2-R26 FE=6.86
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

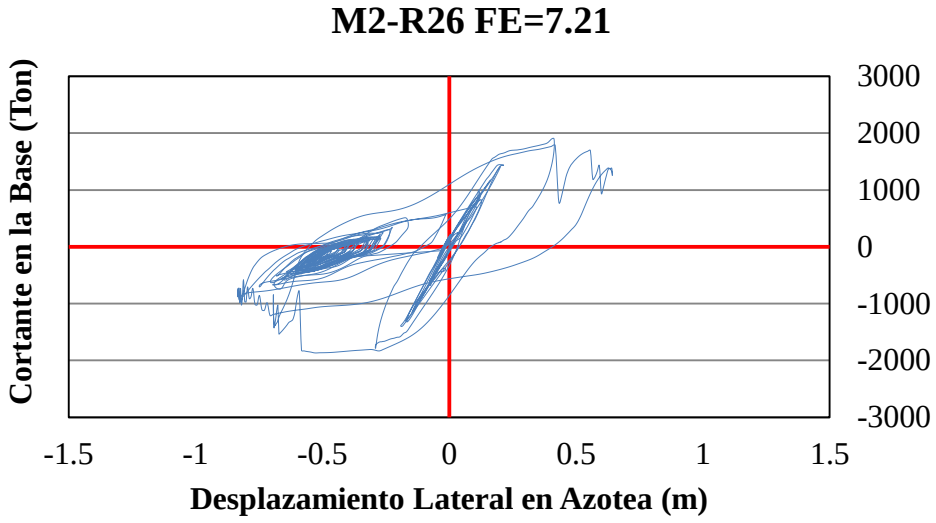

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=6.90
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

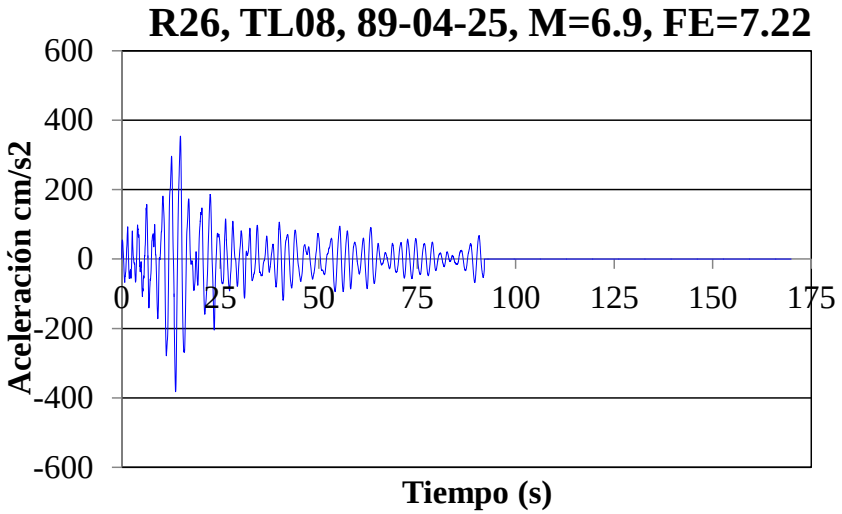

M2-R26 FE=6.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

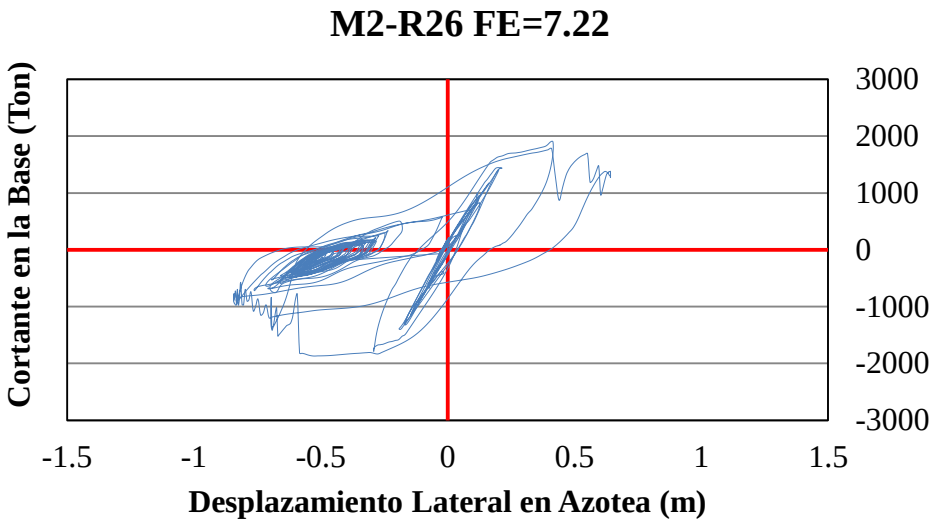

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.20
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

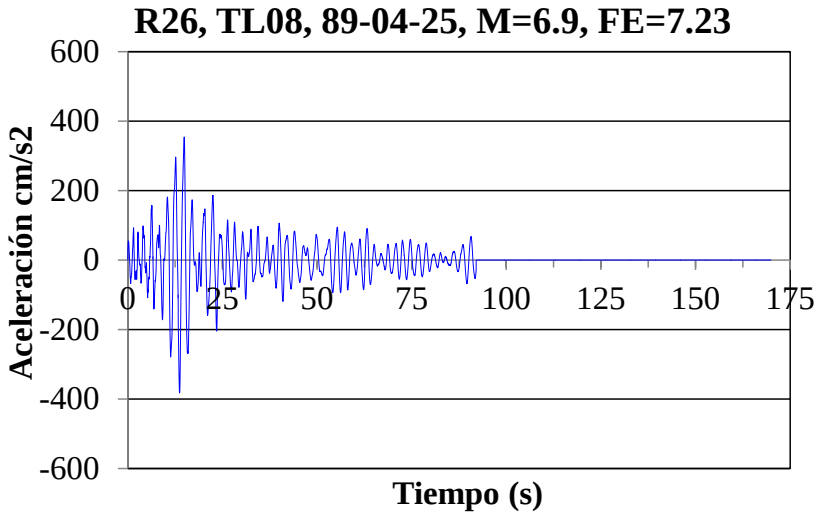

M2-R26 FE=7.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

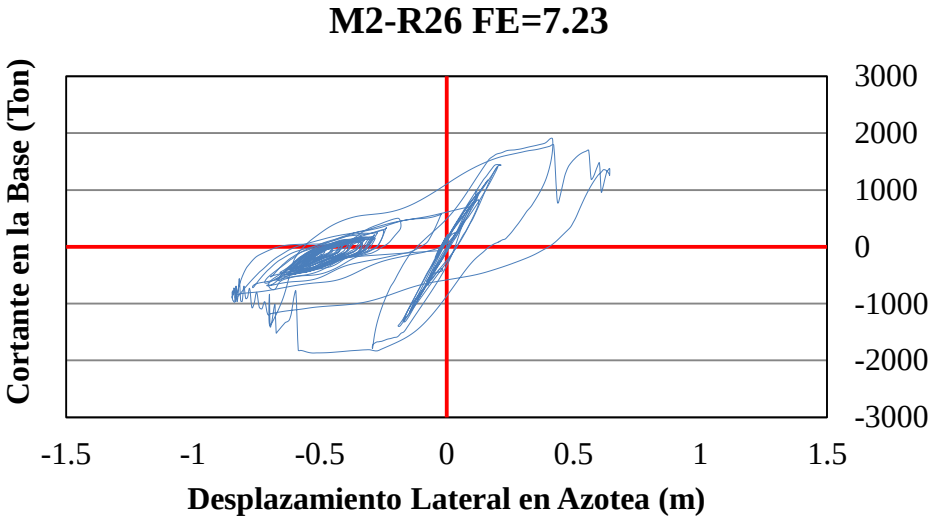

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.21
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

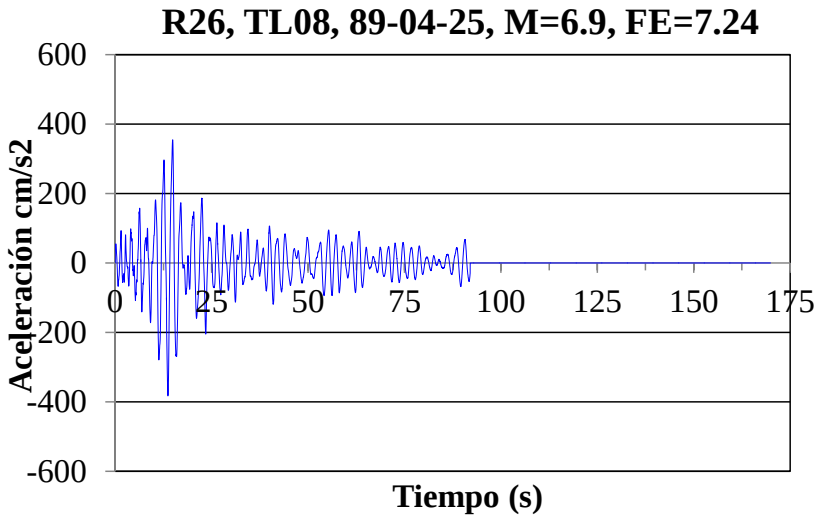

M2-R26 FE=7.21
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

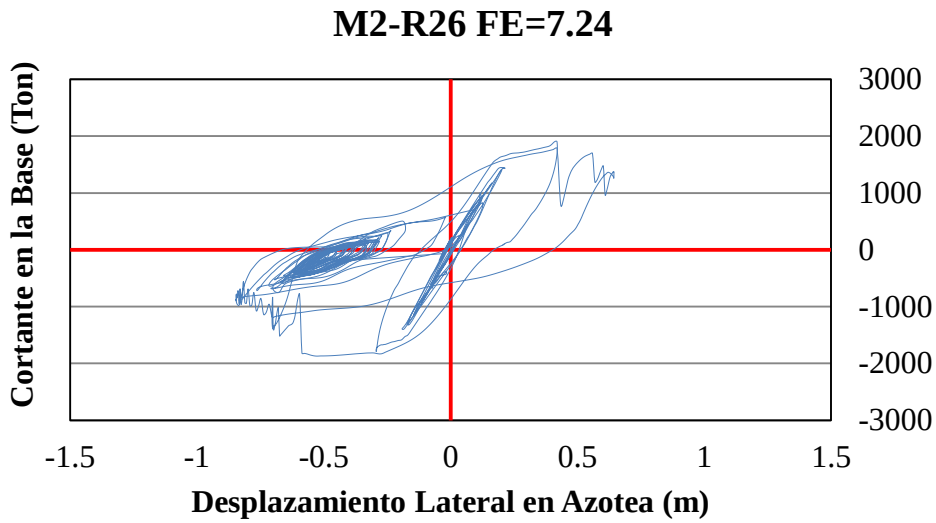

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.22
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

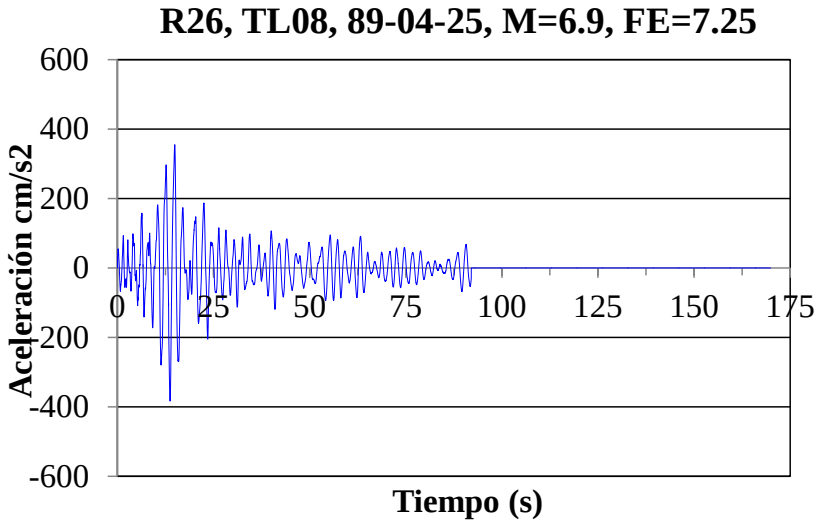

M2-R26 FE=7.22
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

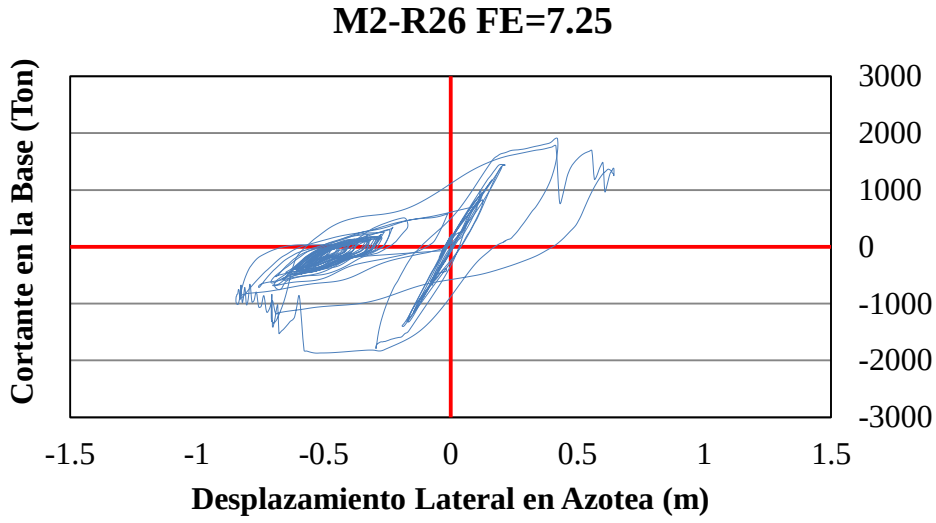

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.23
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

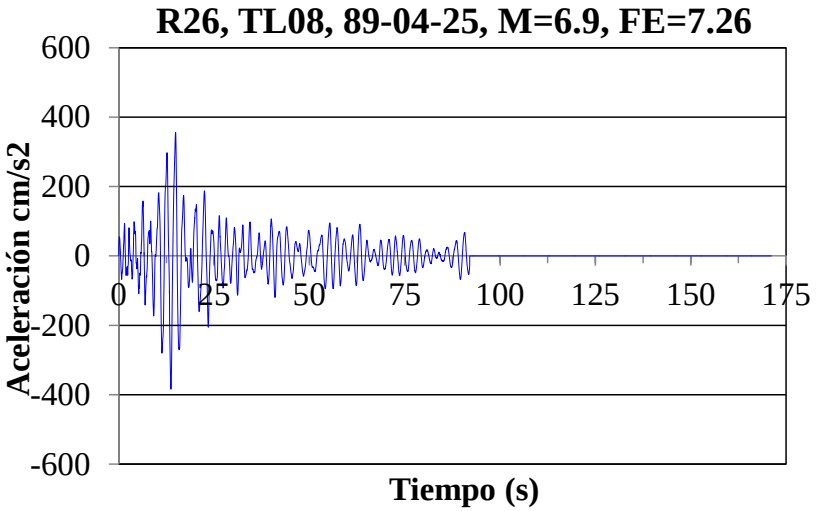

M2-R26 FE=7.23
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

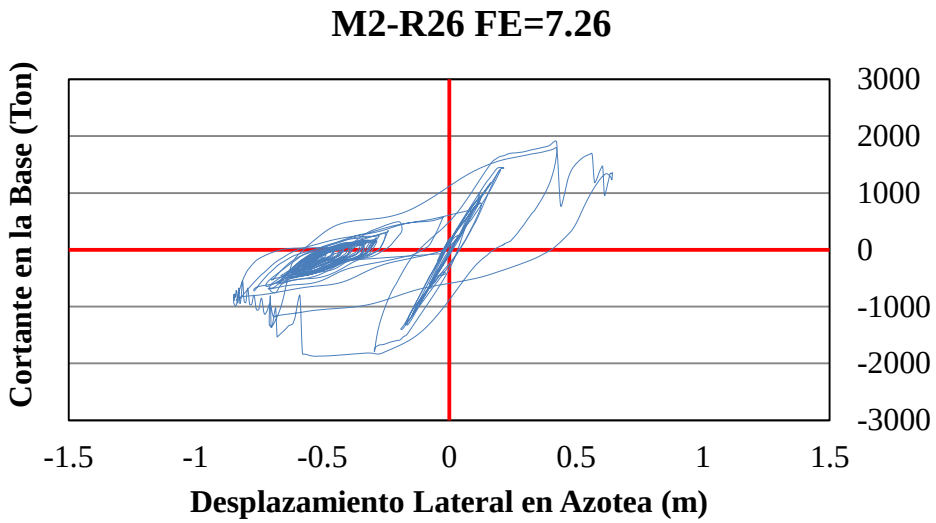

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.24
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

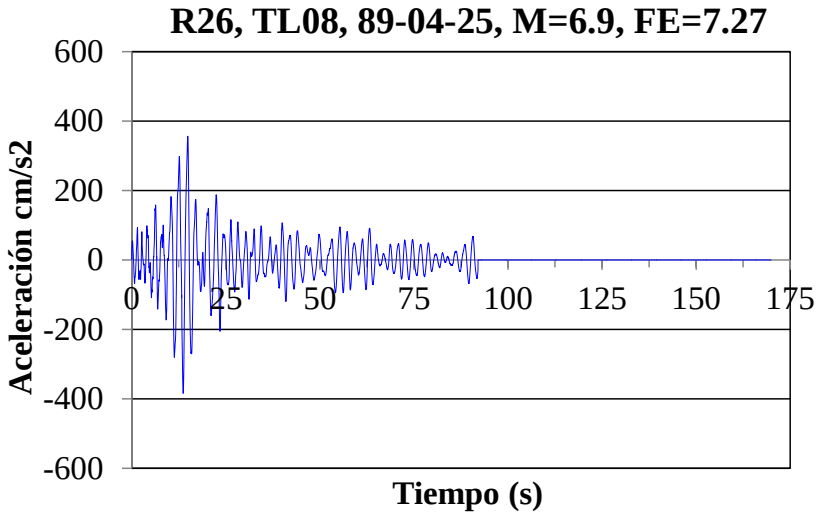

M2-R26 FE=7.24
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

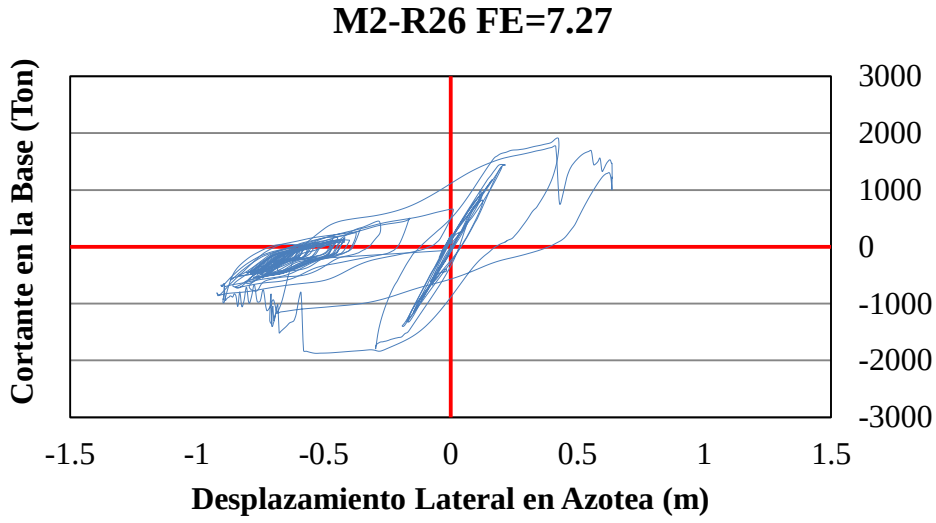

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

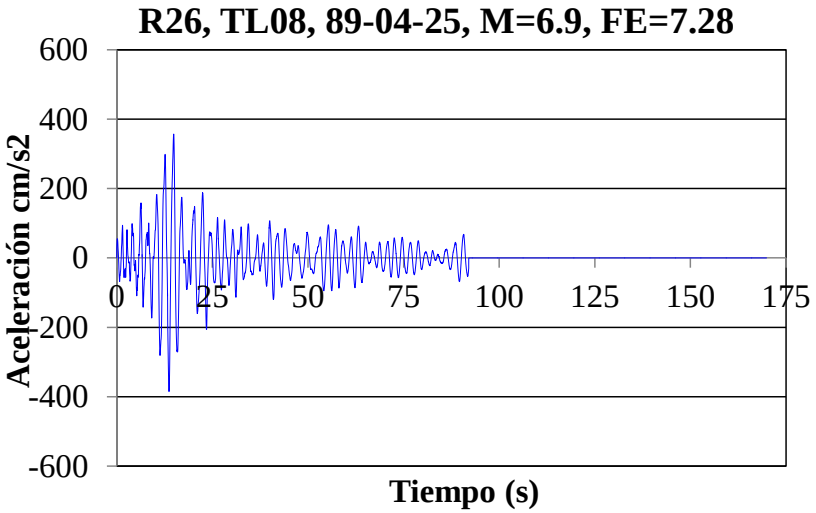

M2-R26 FE=7.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

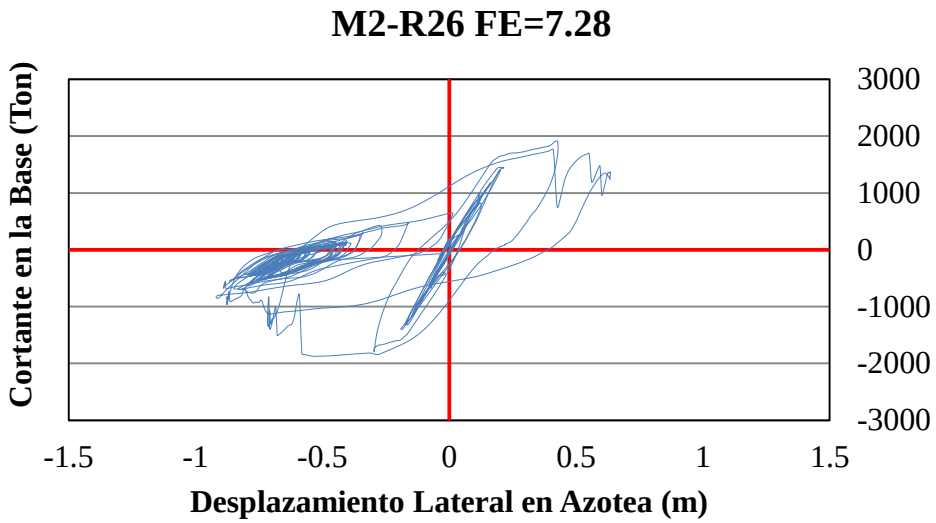

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.26
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

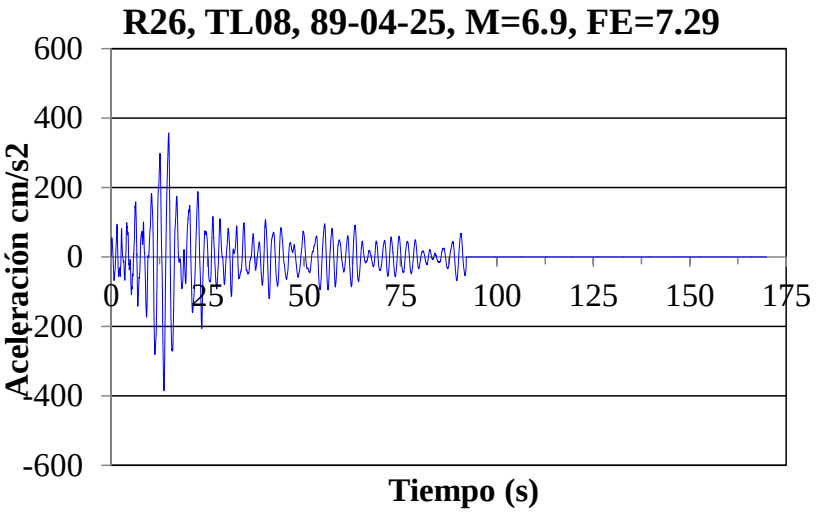

M2-R26 FE=7.26
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

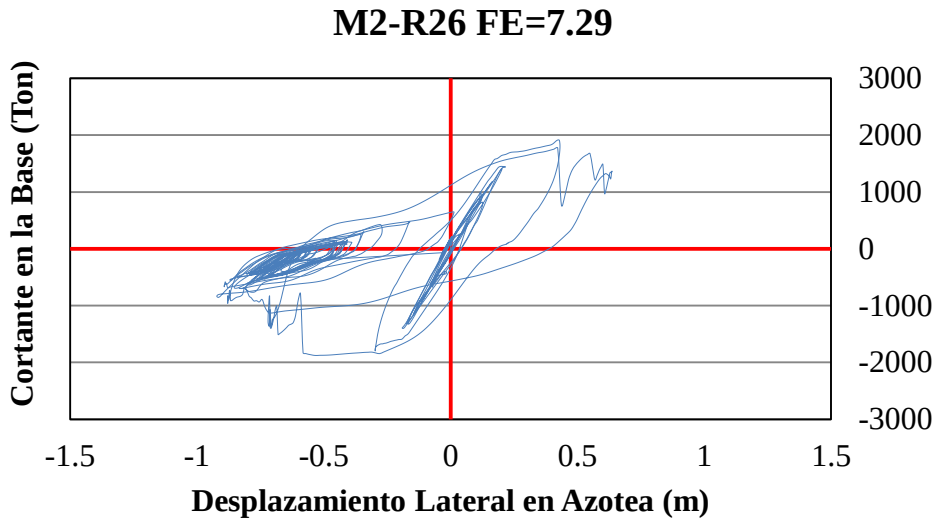

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.27
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

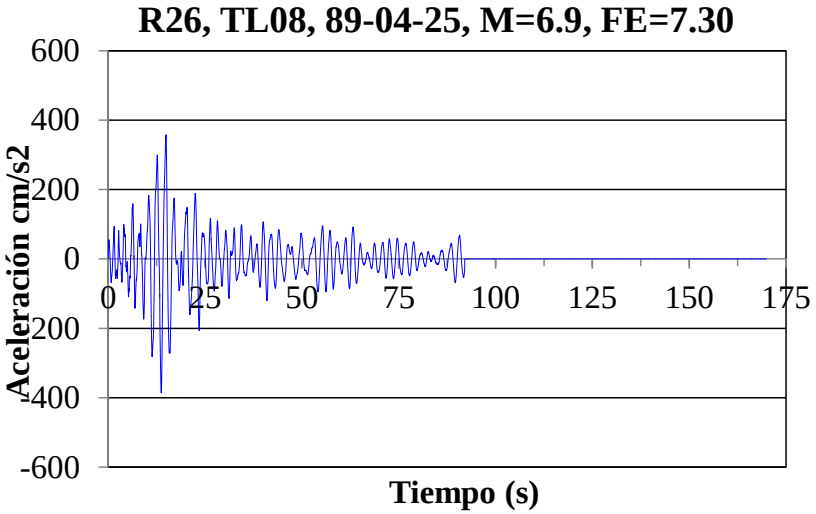

M2-R26 FE=7.27
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

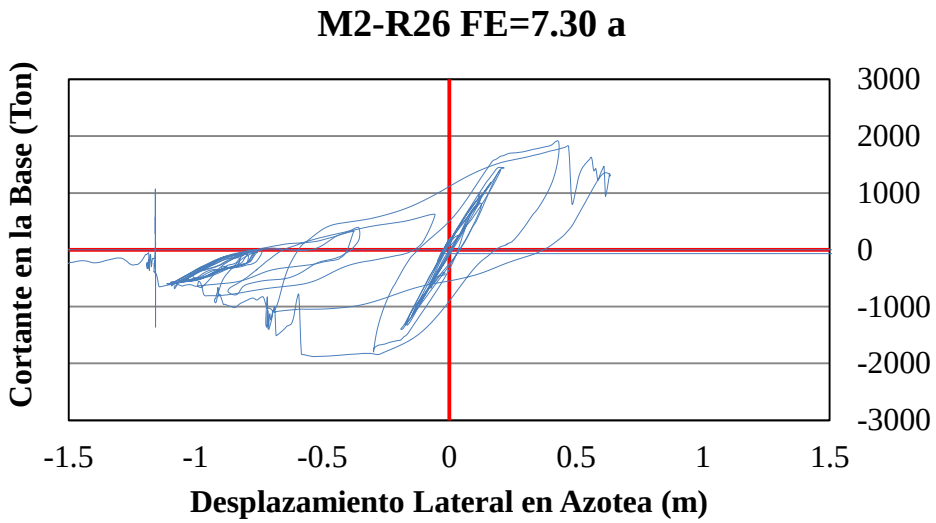

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.28
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

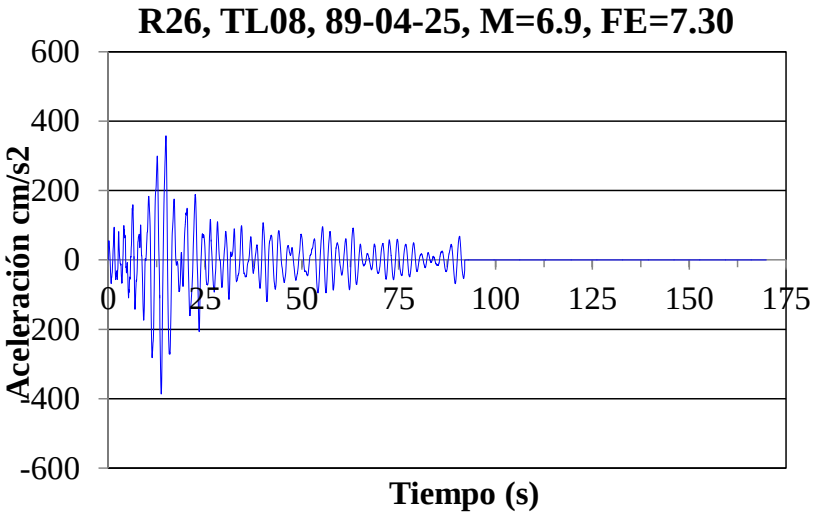

M2-R26 FE=7.28
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

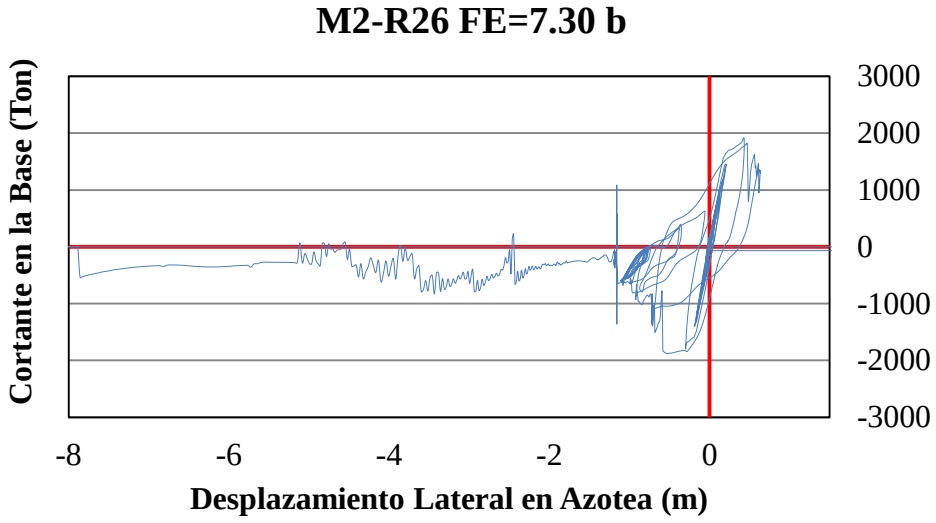

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

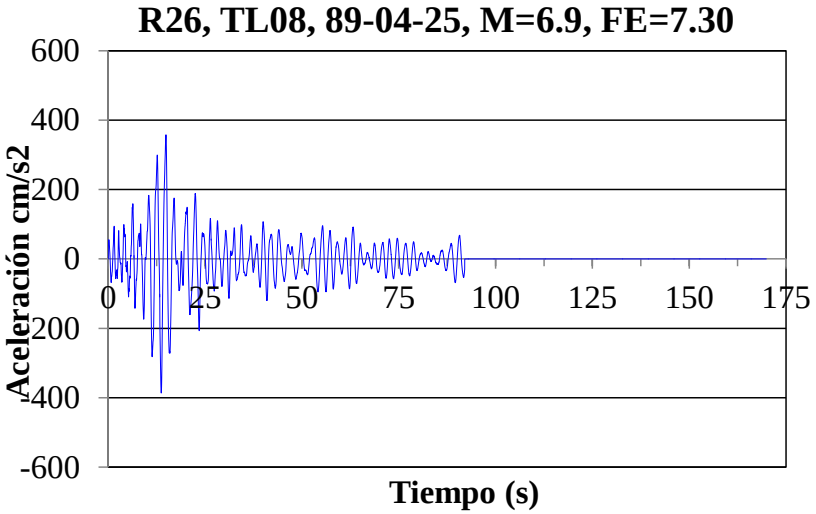

M2-R26 FE=7.29
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

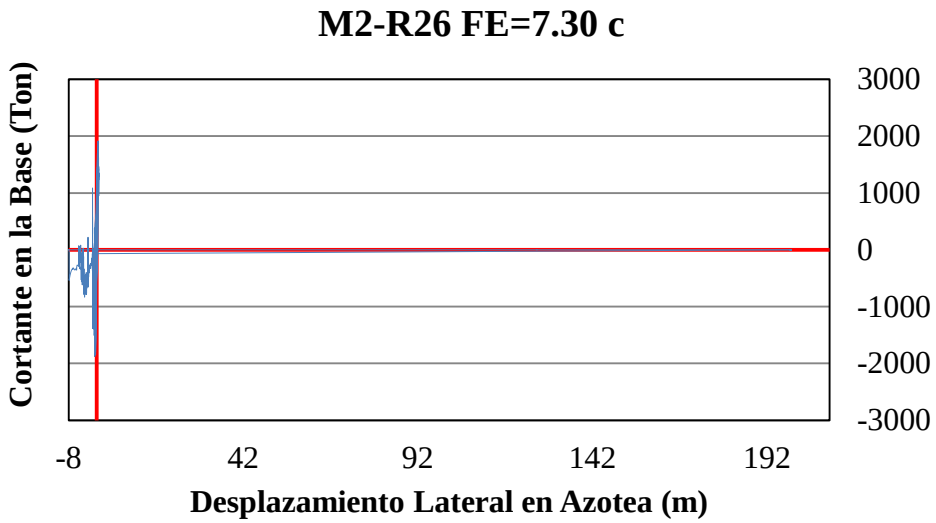

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R26 FE=7.30 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R26 FE=7.30 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-8
-6
-4
-2
0
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

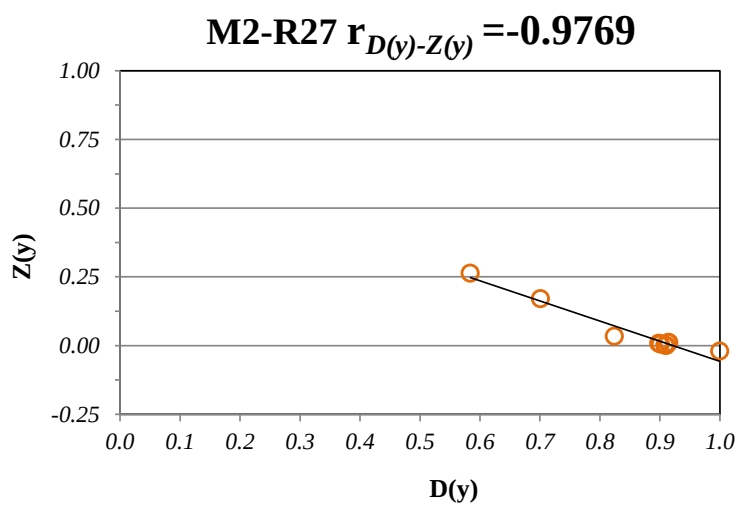

R26, TL08, 89-04-25, M=6.9, FE=7.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

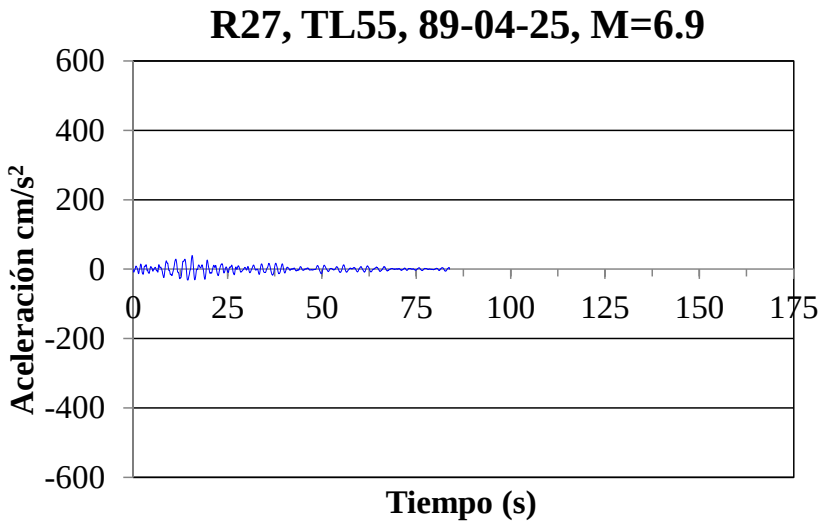

M2-R26 FE=7.30 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-8
42
92
142
192
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

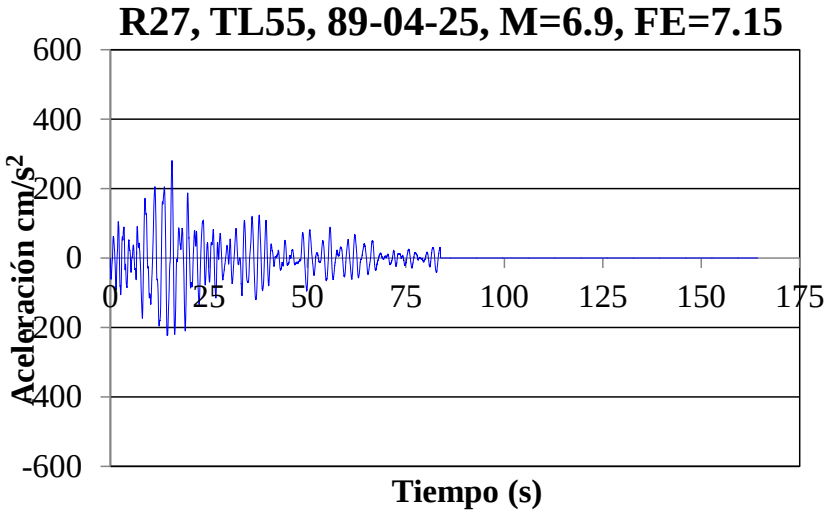
M2-R27

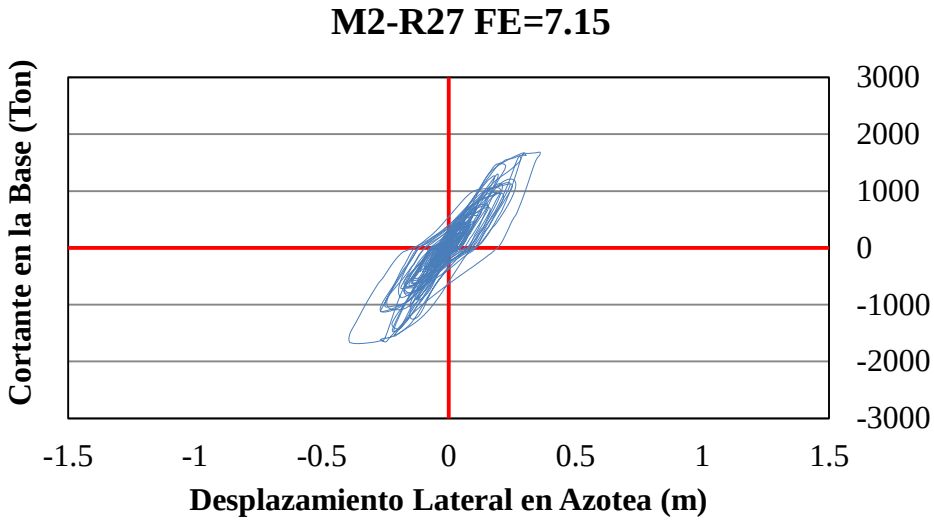
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**9 796.10**	**0.087**	**-0.9769**

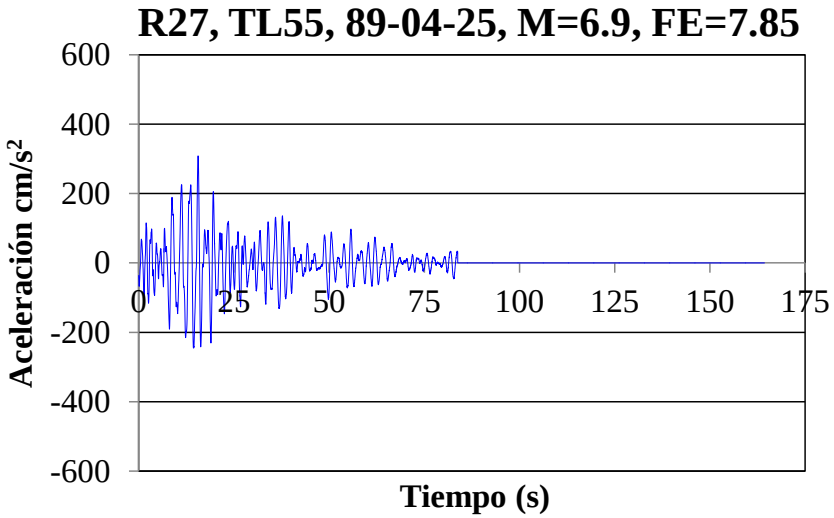
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6200	7.15	16.8200	0.3930	0.000	4 075.67	0.5839	0.097
0.6804	7.85	16.0500	0.5218	0.000	2 929.75	0.7009	0.004
0.7801	9.00	16.2300	0.7670	0.000	1 723.53	0.8241	-0.133
0.7974	9.20	16.2400	0.8667	0.000	0 834.11	0.9149	-0.155
0.7983	9.21	16.2400	0.8675	734.966	0 847.22	0.9135	-0.156
0.8000	9.23	16.2600	0.8979	895.689	0 997.54	0.8982	-0.158
0.8026	9.26	16.2600	0.9002	874.438	0 971.38	0.9008	-0.161
0.8061	9.30	16.2800	0.9127	817.174	0 895.34	0.9086	-0.166
0.8069	9.31	16.2800	0.9165	801.320	0 874.33	0.9107	-0.167
0.8234	9.50	64.3700	228.5230	0.000	0 000.00	1.0000	-0.187

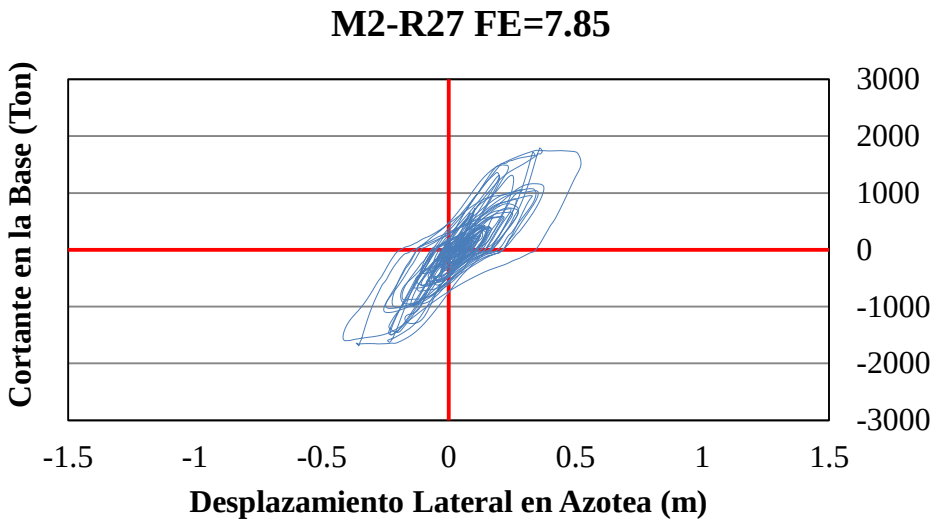

M2-R27 r D(y)-Z(y) =-0.9769
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

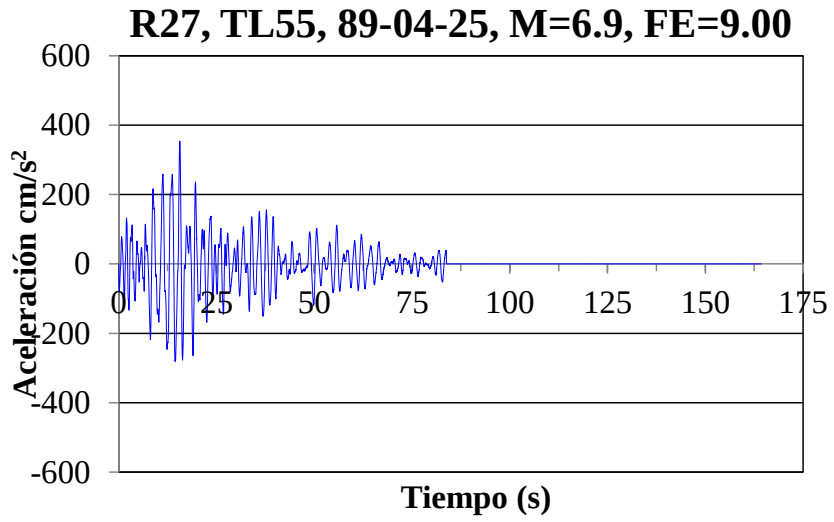

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

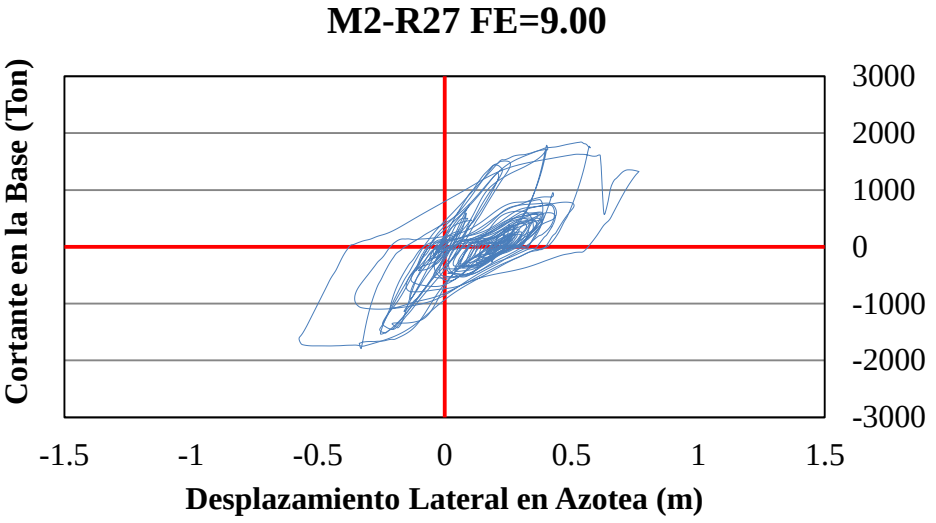

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=7.15
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

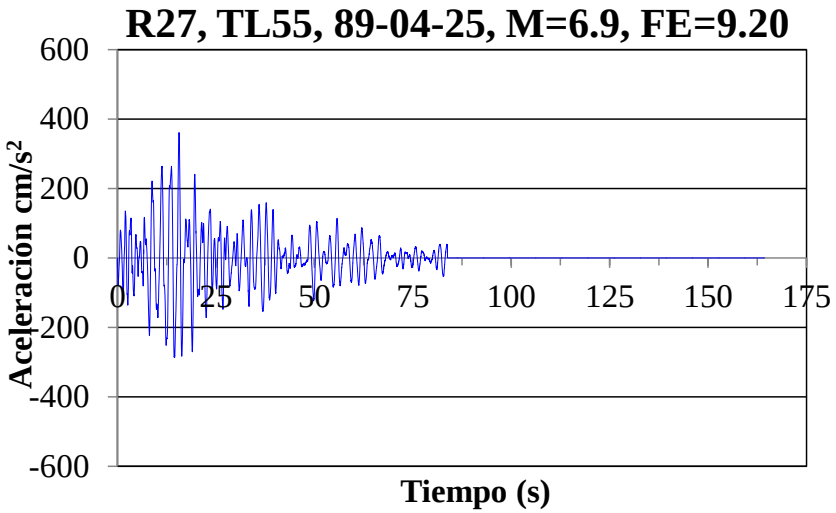

M2-R27 FE=7.15
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

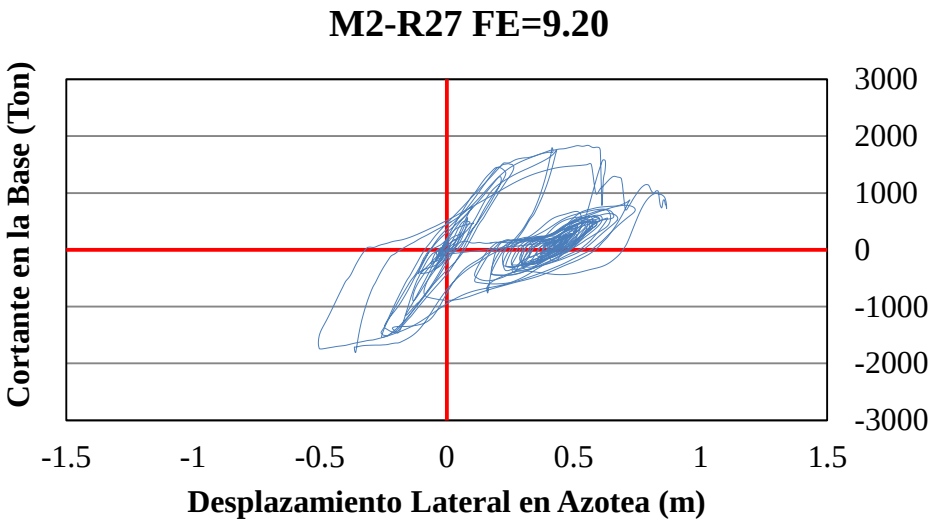

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=7.85
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

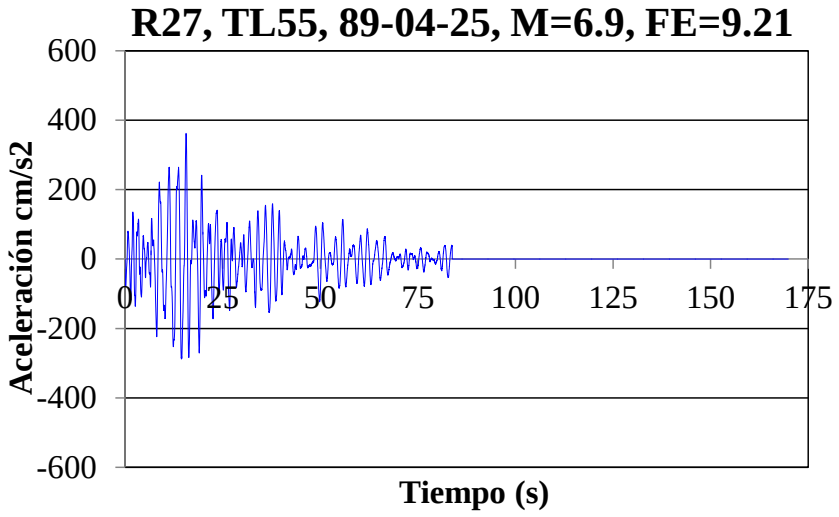

M2-R27 FE=7.85
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

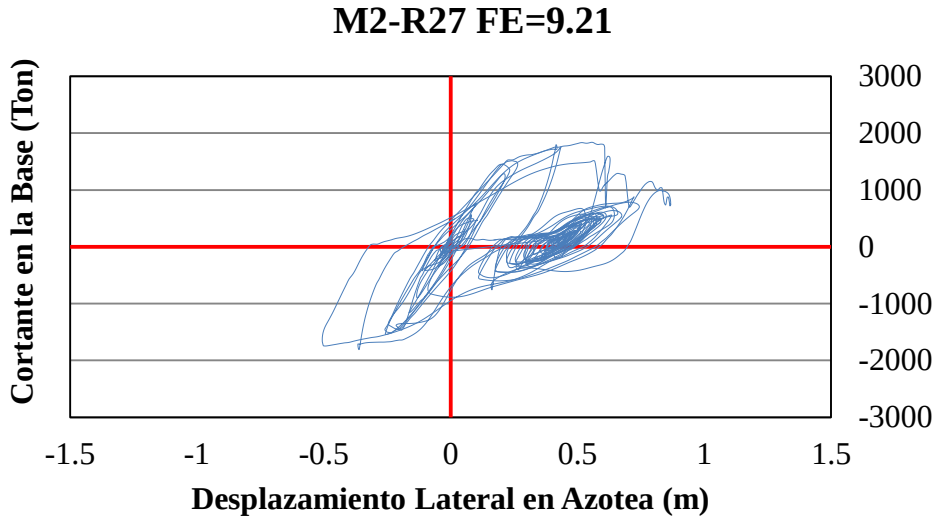

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

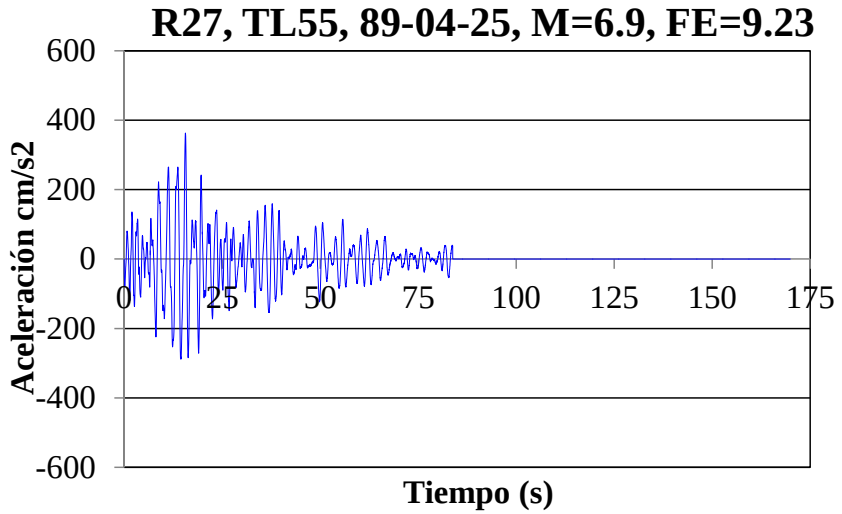

M2-R27 FE=9.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

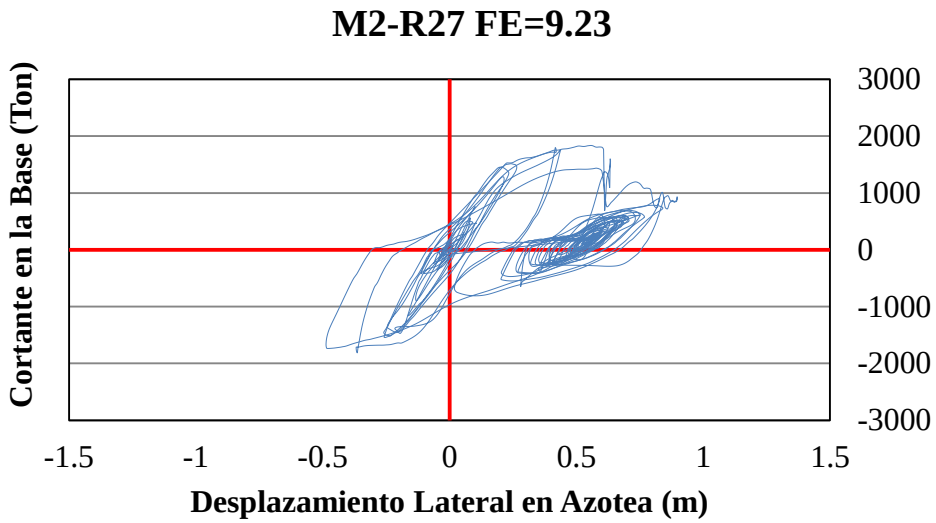

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.20
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

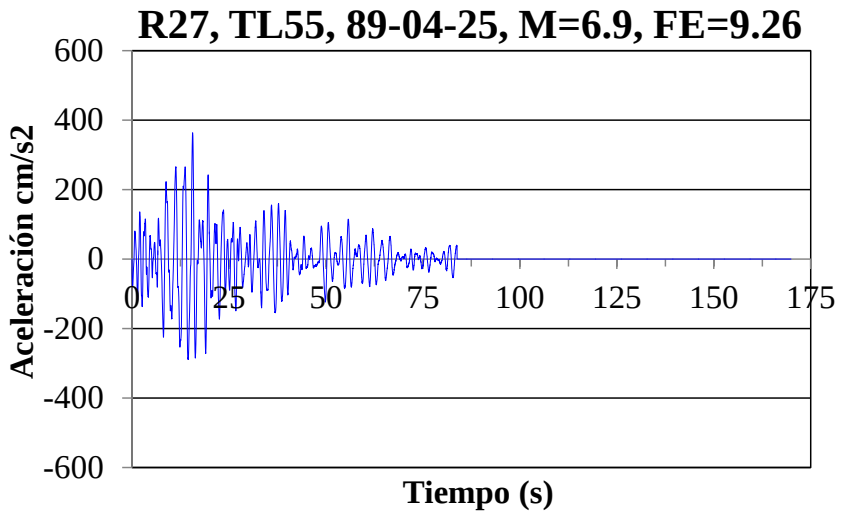

M2-R27 FE=9.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

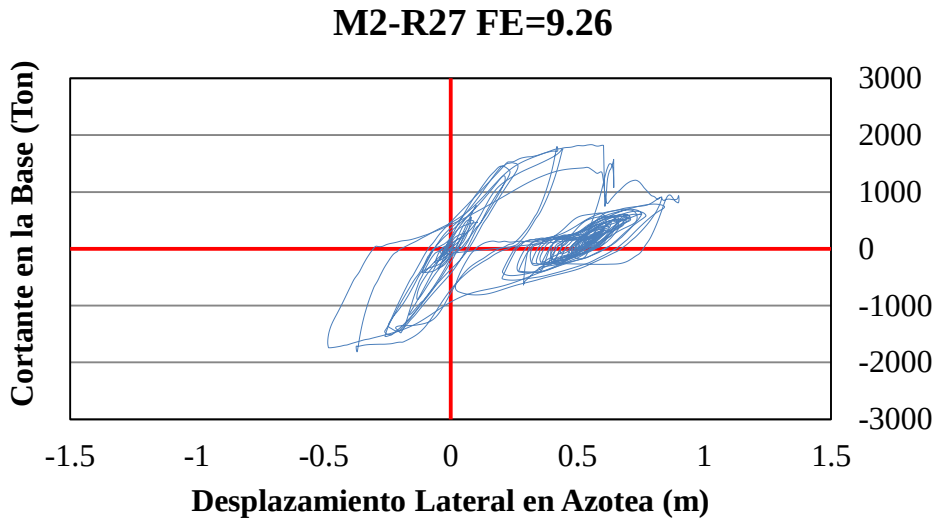

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.21
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

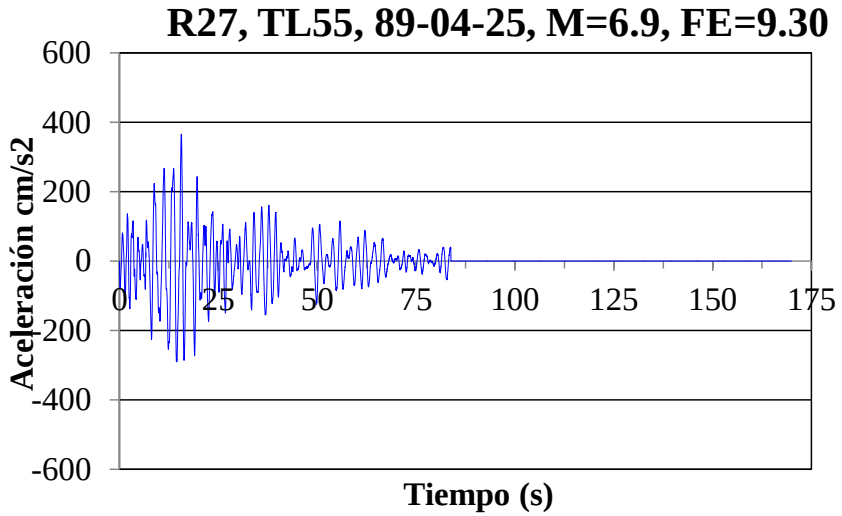

M2-R27 FE=9.21
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

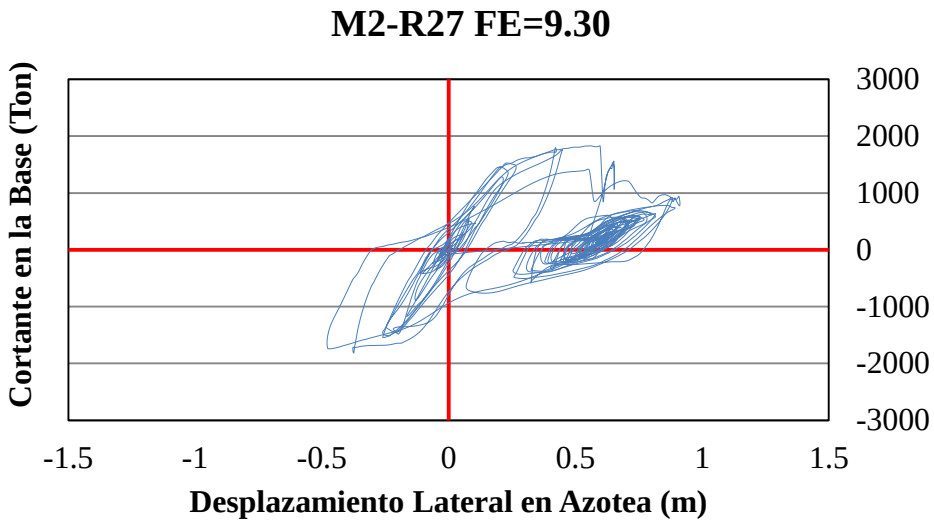

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.23
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

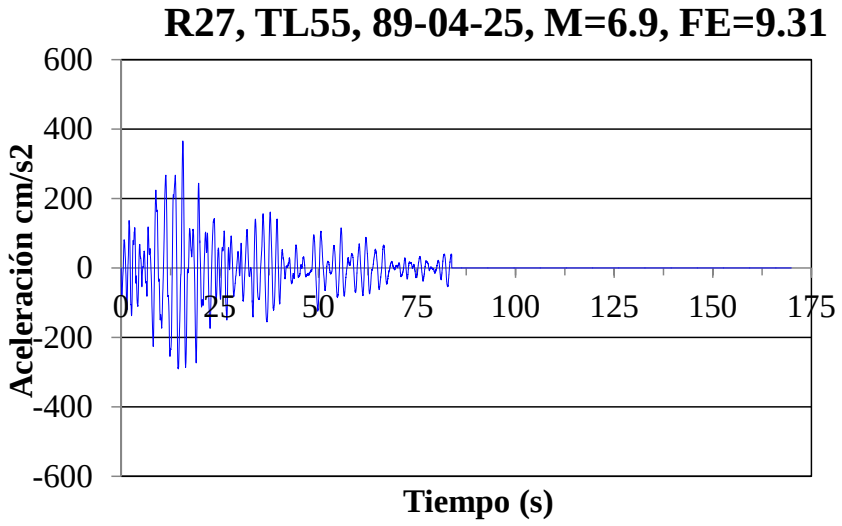

M2-R27 FE=9.23
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

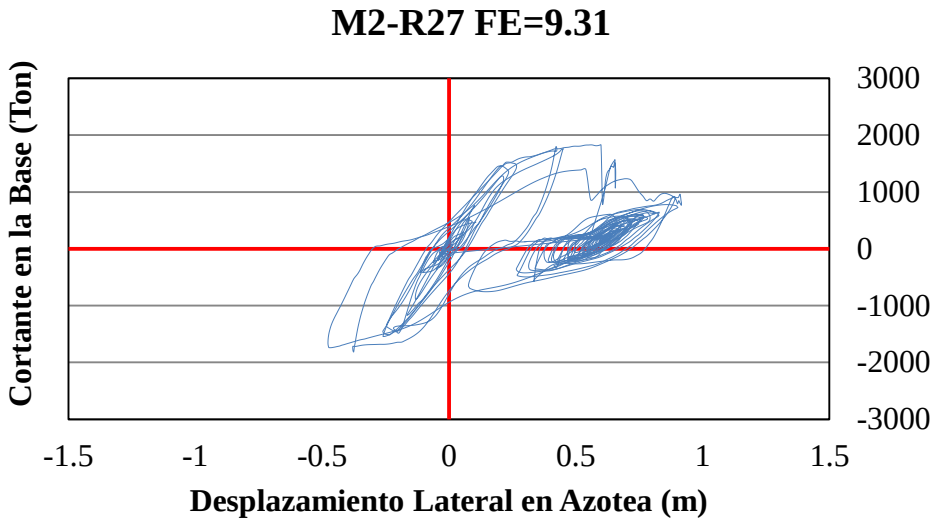

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.26
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

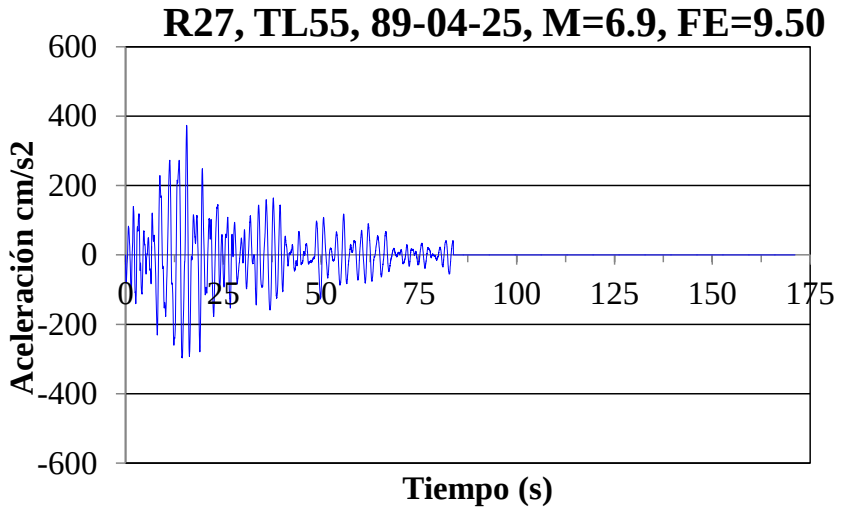

M2-R27 FE=9.26
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

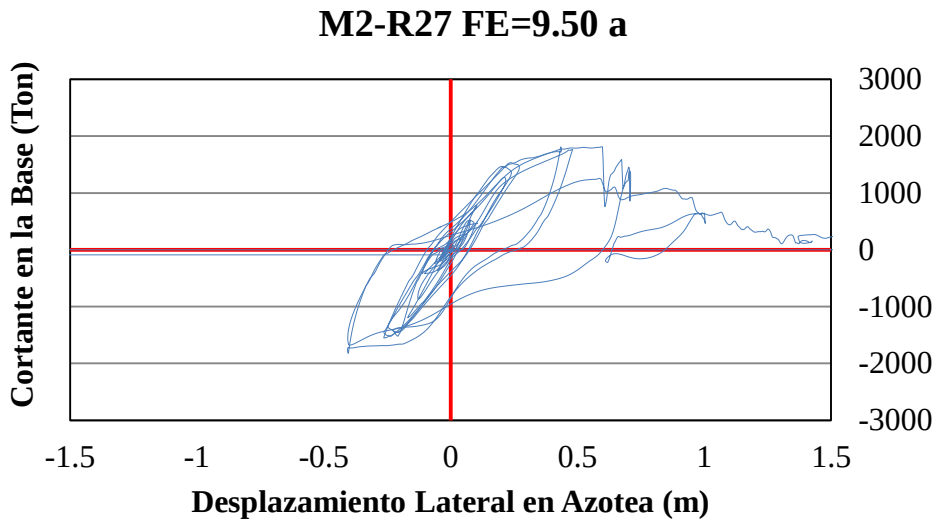

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

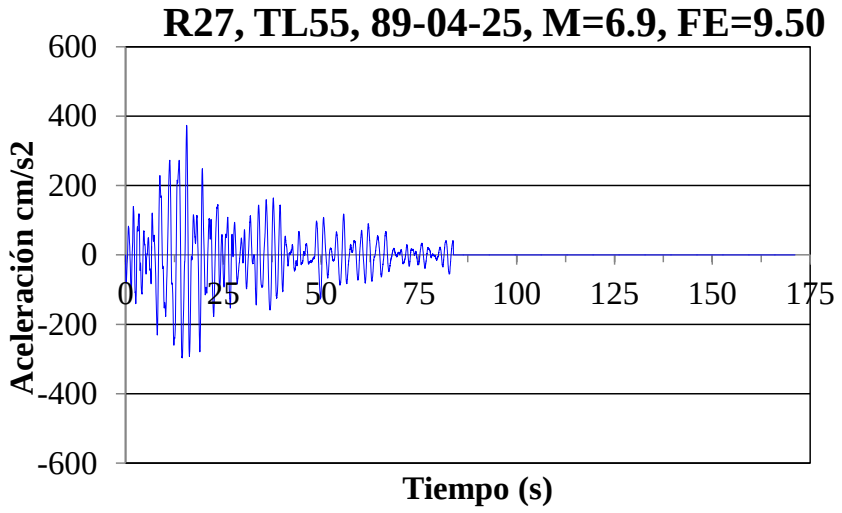

M2-R27 FE=9.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

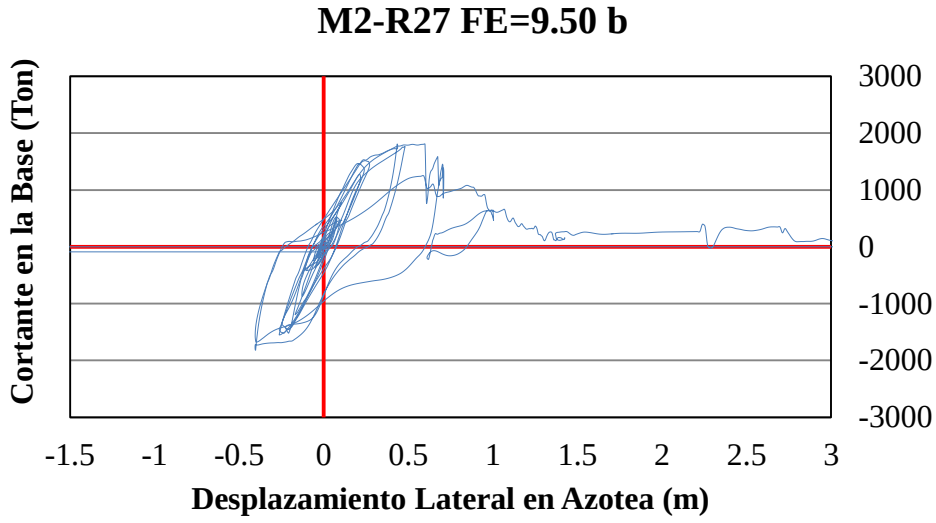

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.31
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

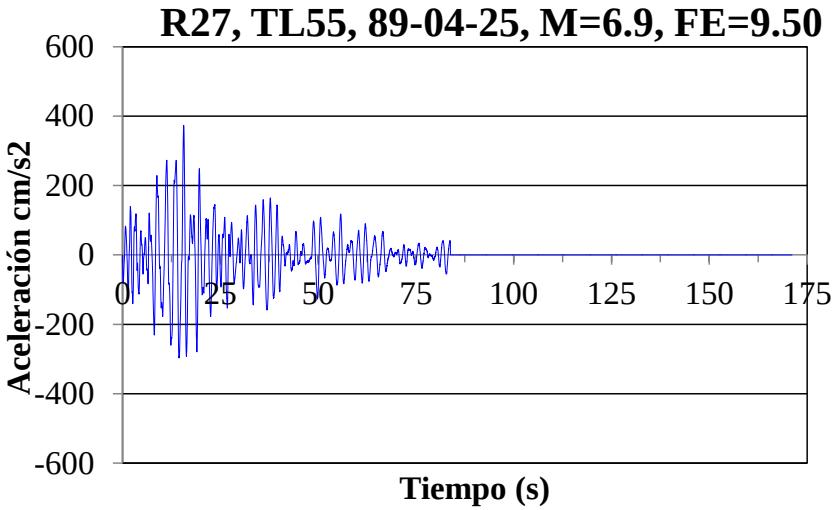

M2-R27 FE=9.31
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

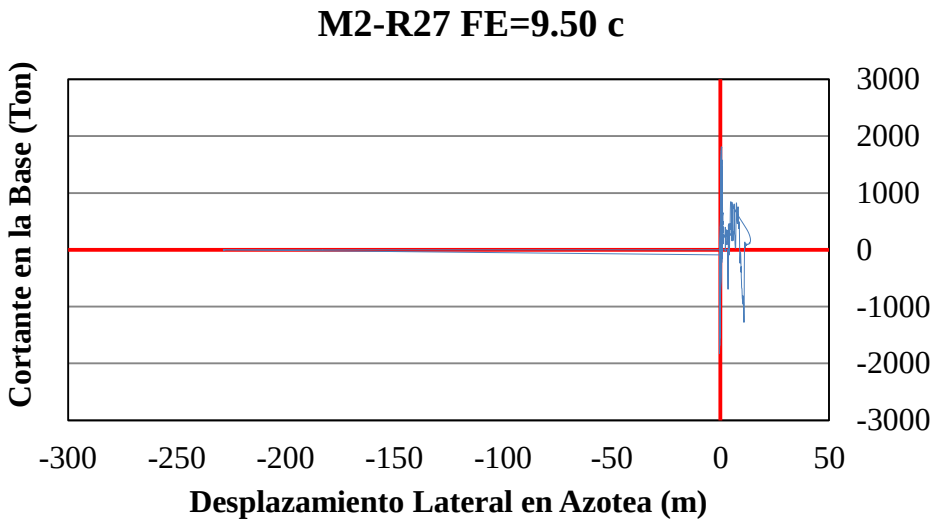

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R27 FE=9.50 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M2-R27 FE=9.50 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

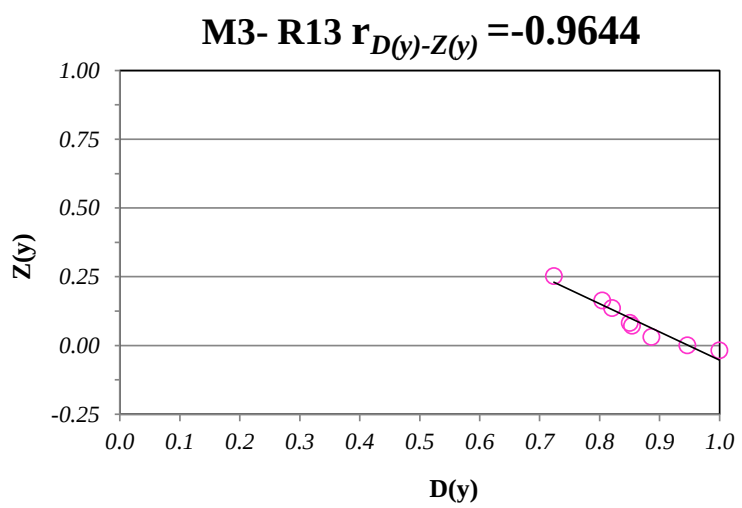

R27, TL55, 89-04-25, M=6.9, FE=9.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

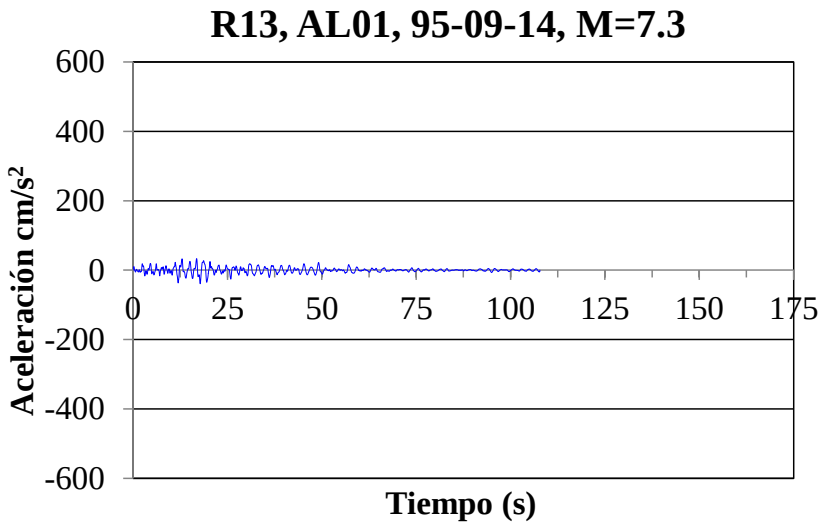

M2-R27 FE=9.50 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-300
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

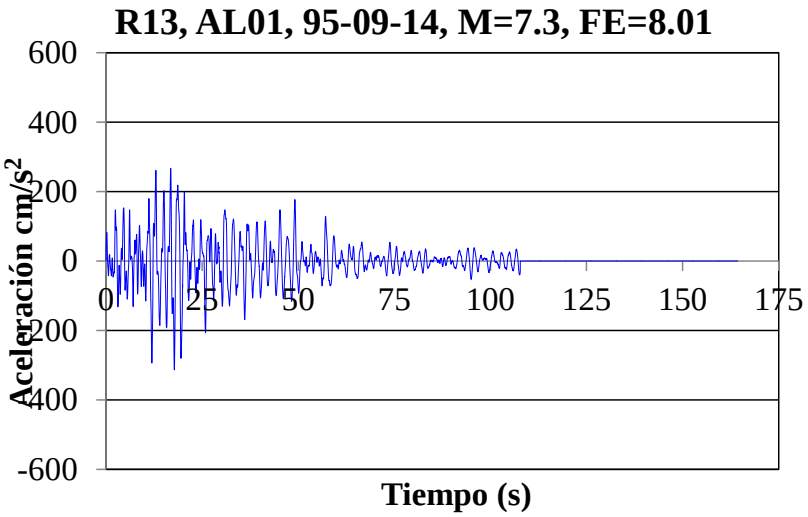
M3-R13

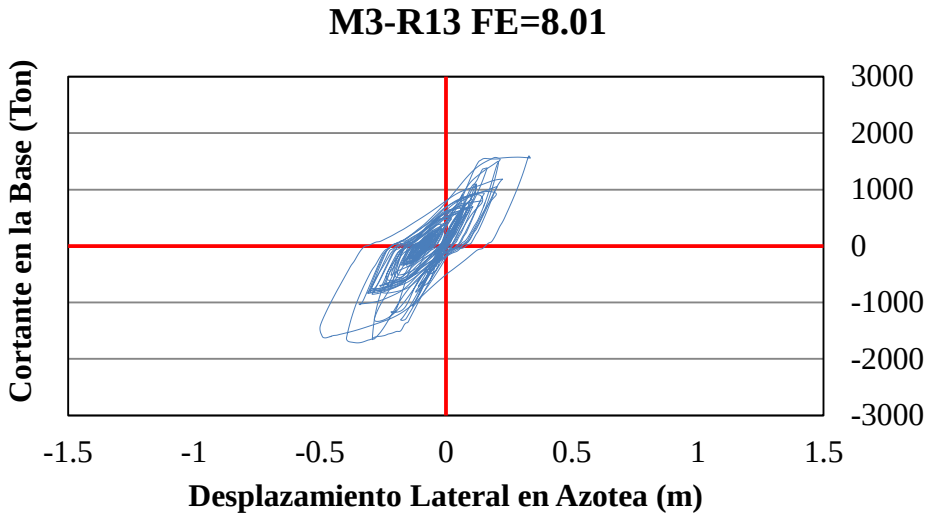
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.3	**6.86**	**10 586.41**	**0.078**	**-0.9644**

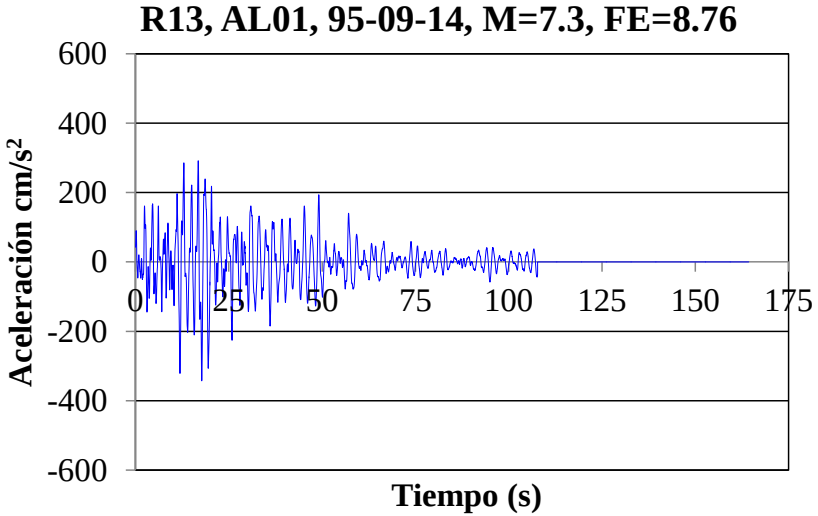
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6253	8.01	20.06	0.4999	1 462.34	2 925.27	0.7237	0.088
0.6835	8.76	20.21	0.6784	1 403.23	2 068.43	0.8046	-0.001
0.7023	9.00	20.24	0.7068	1 341.49	1 897.98	0.8207	-0.028
0.7413	9.50	20.28	0.7597	1 203.68	1 584.41	0.8503	-0.082
0.7491	9.60	20.28	0.7674	1 183.99	1 542.85	0.8543	-0.092
0.7803	10.00	20.32	0.8125	978.2	1 203.94	0.8863	-0.133
0.8045	10.31	20.34	0.8165	464.43	568.80	0.9463	-0.164
0.8193	10.50	94.95	525.2724	0.00	0.00	1.0000	-0.182

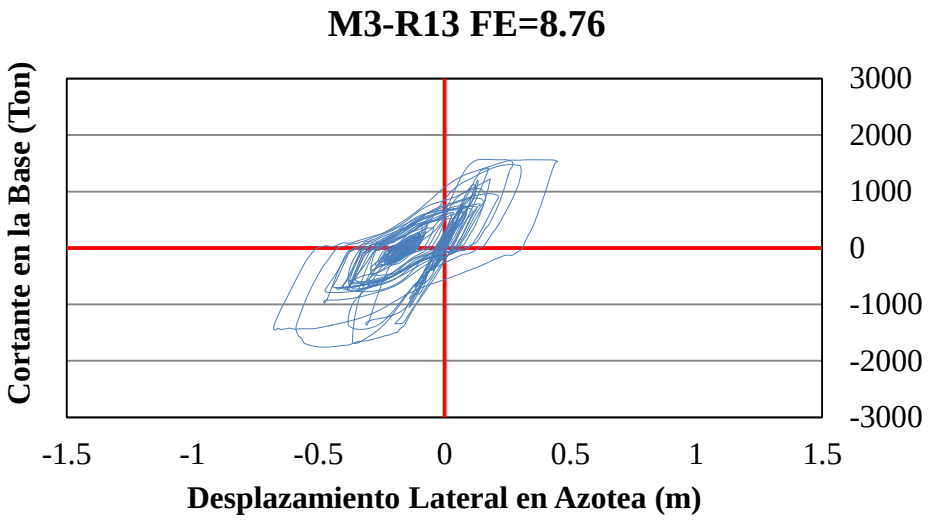

M3- R13 r D(y)-Z(y) =-0.9644
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

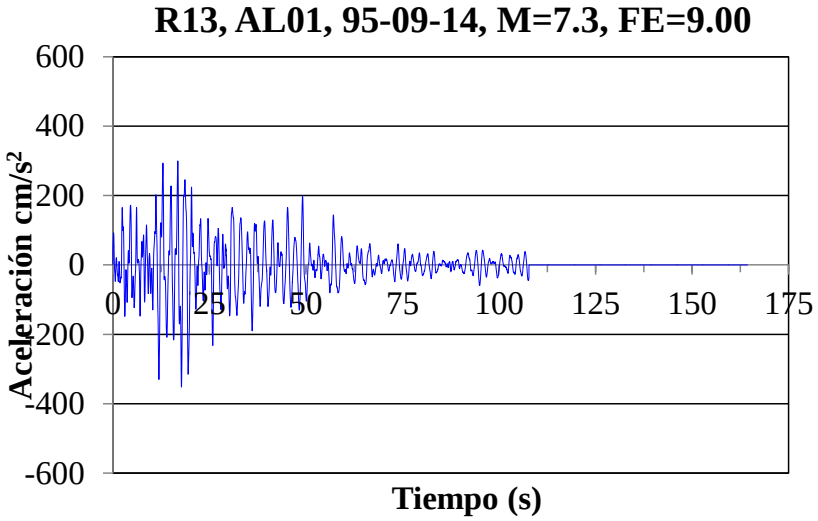

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

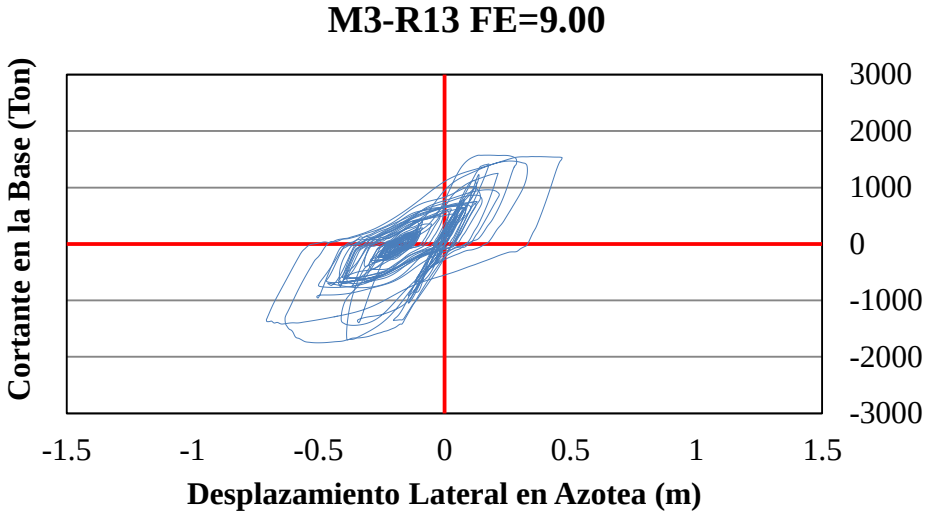

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=8.01
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

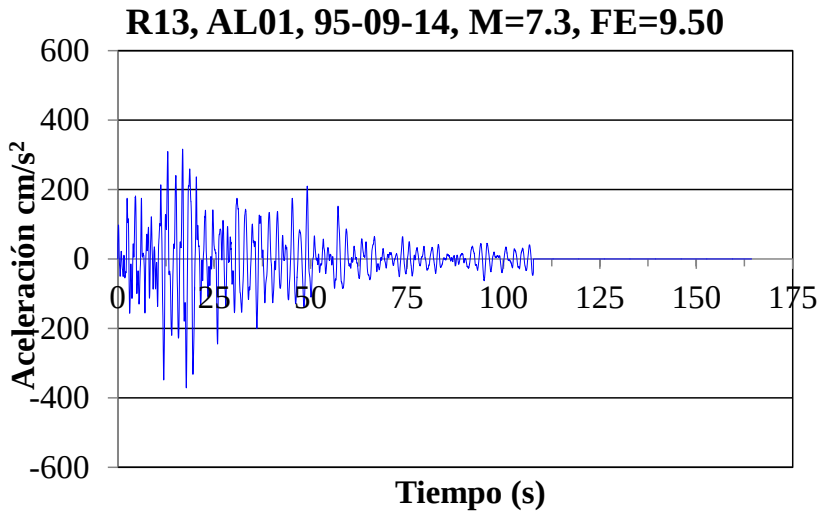

M3-R13 FE=8.01
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

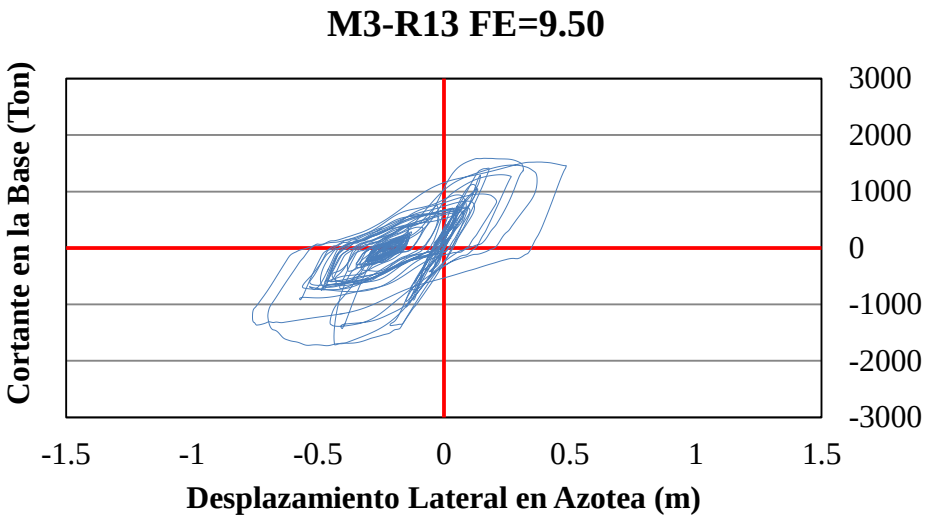

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=8.76
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s²
Tiempo (s)

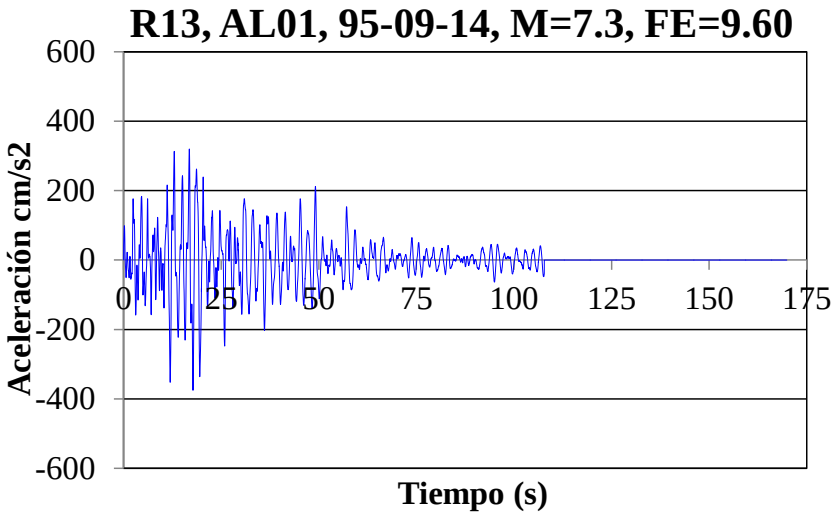

M3-R13 FE=8.76
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

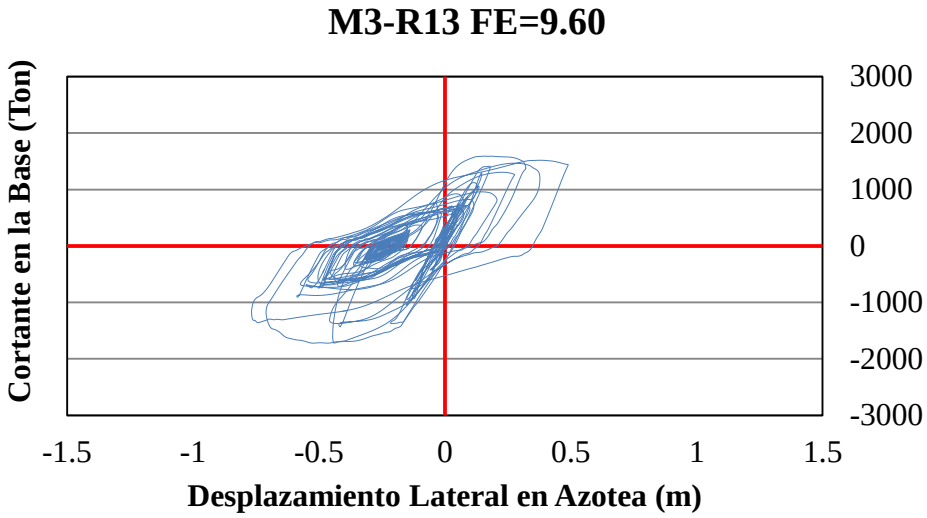

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=9.00
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s²
Tiempo (s)

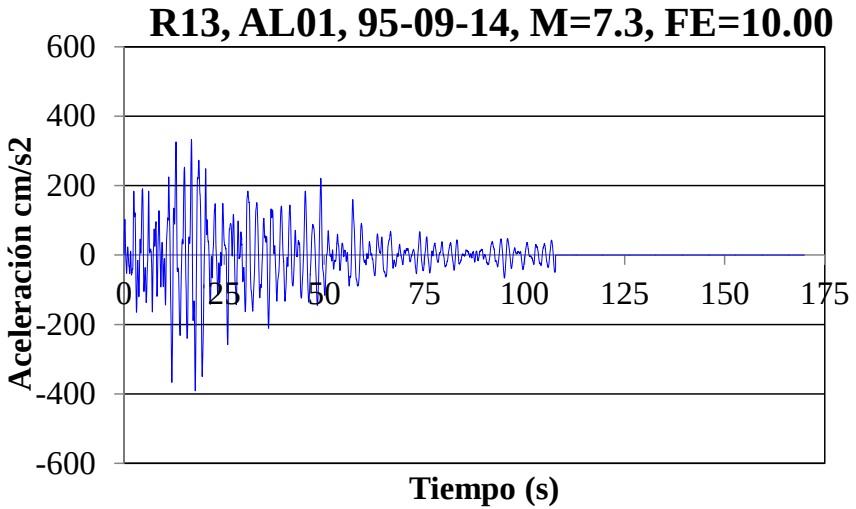

M3-R13 FE=9.00
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

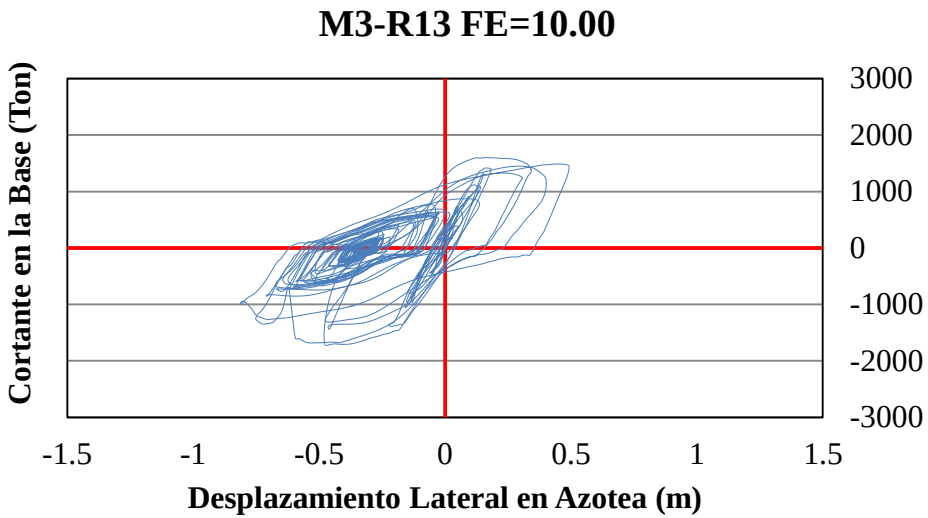

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=9.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

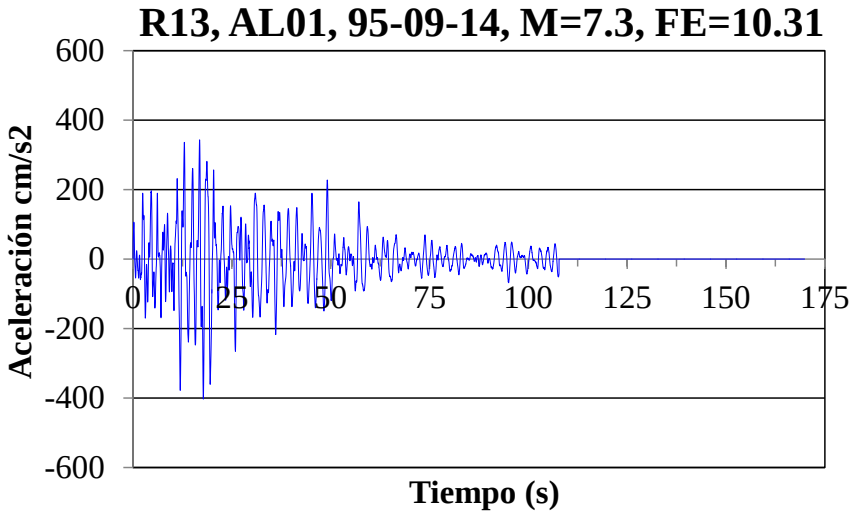

M3-R13 FE=9.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

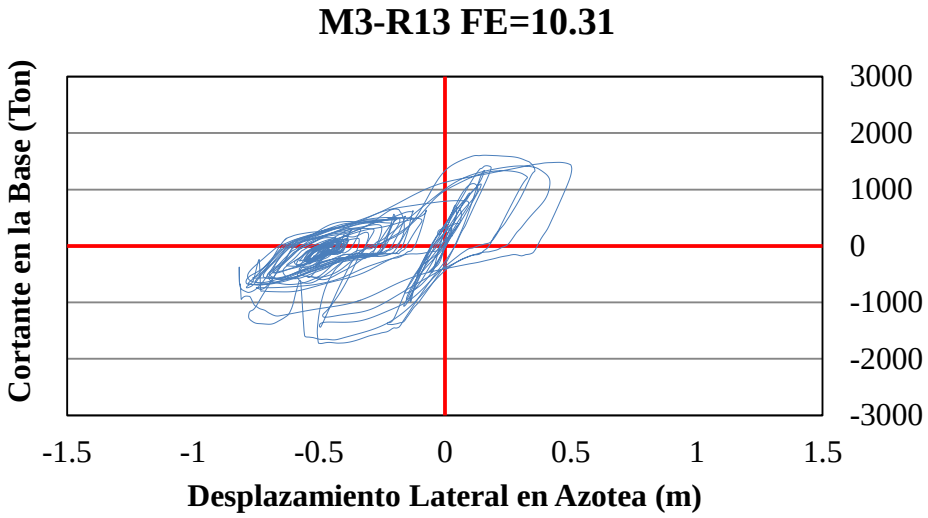

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=9.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

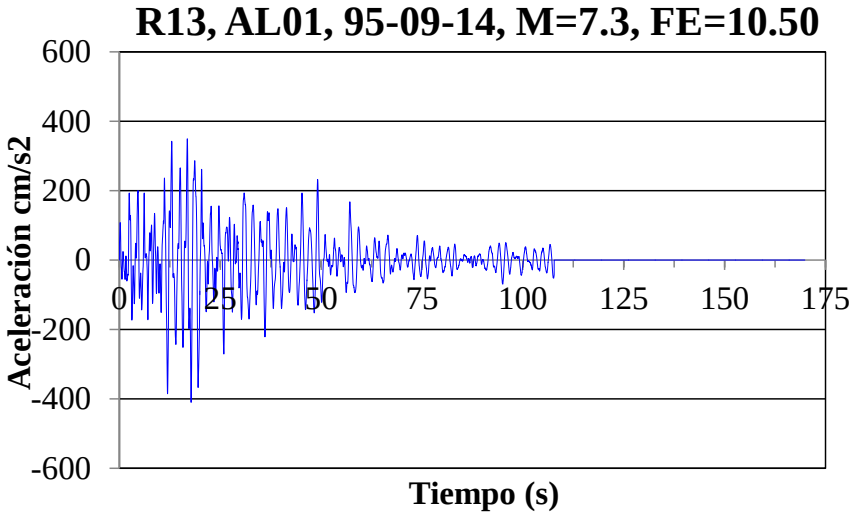

M3-R13 FE=9.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

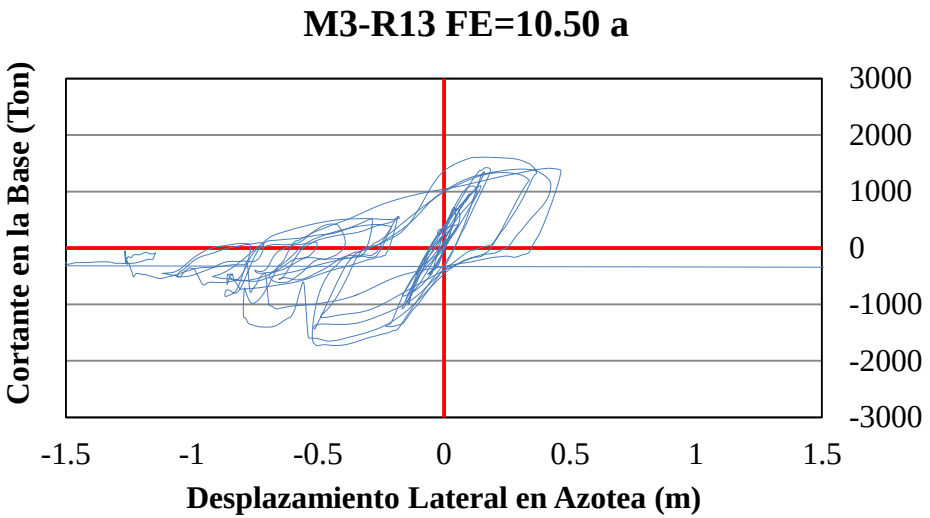

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=10.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

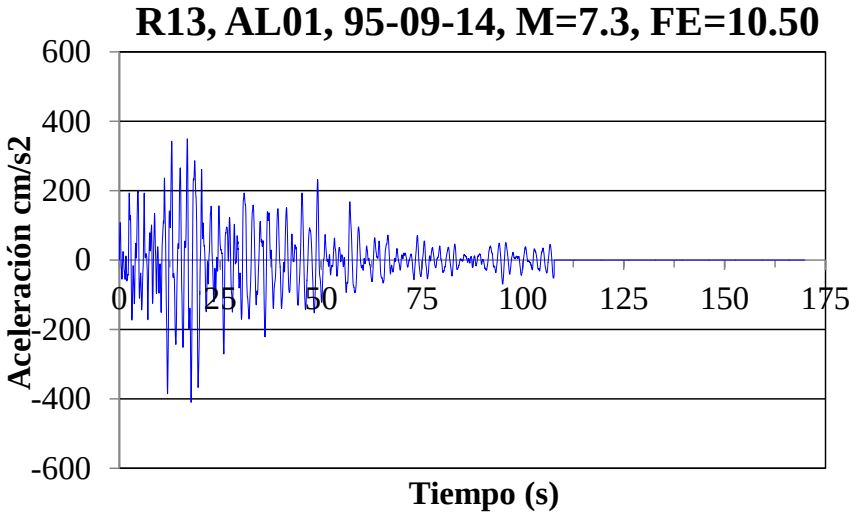

M3-R13 FE=10.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

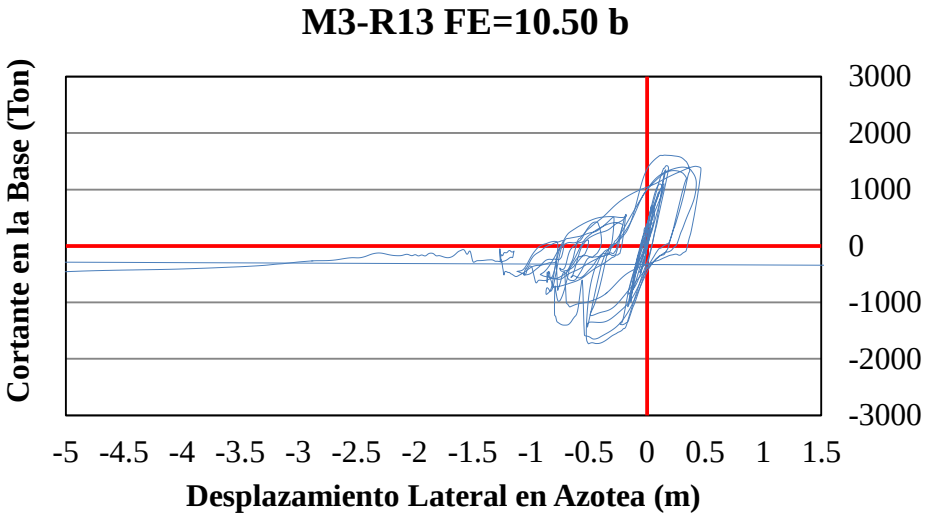

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=10.31
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

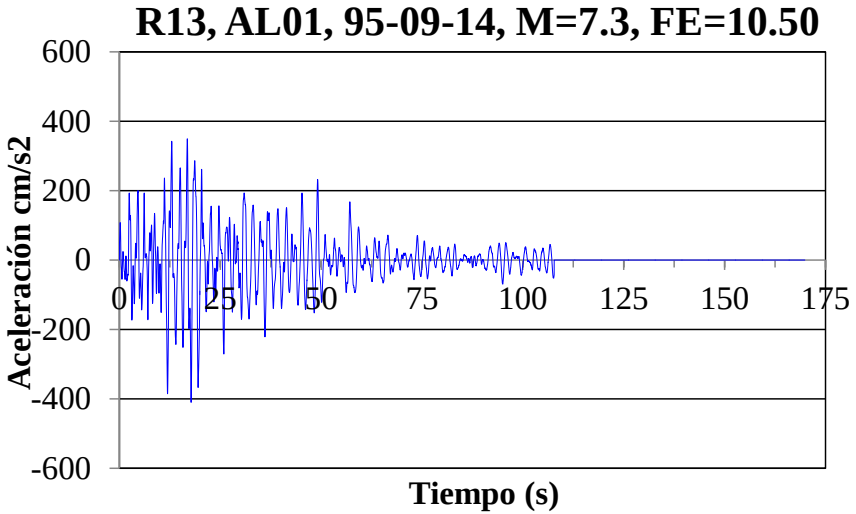

M3-R13 FE=10.31
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

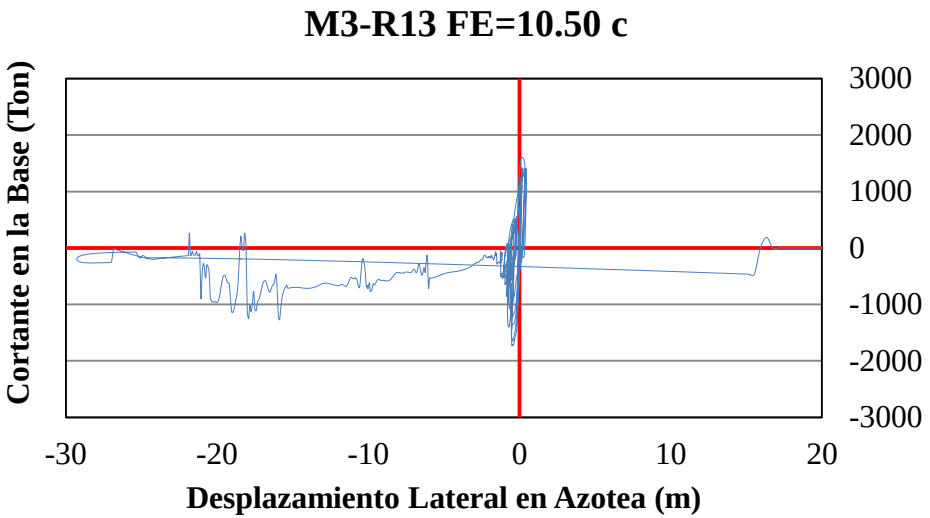

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=10.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R13 FE=10.50 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=10.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R13 FE=10.50 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-5
-4.5
-4
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

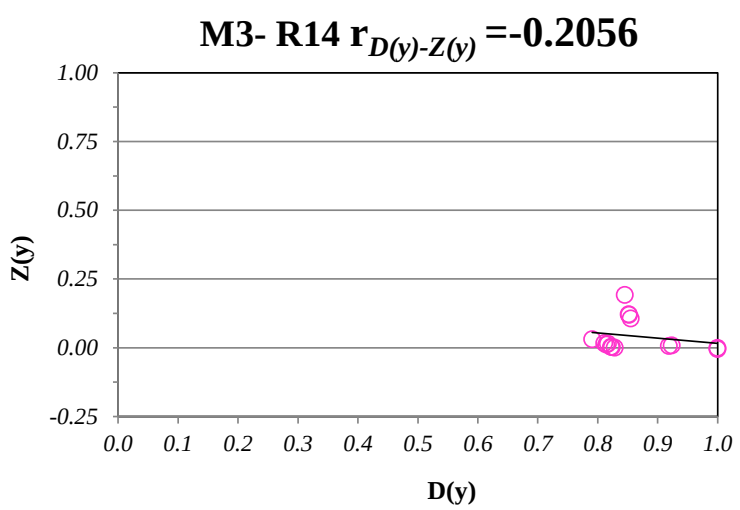

R13, AL01, 95-09-14, M=7.3, FE=10.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

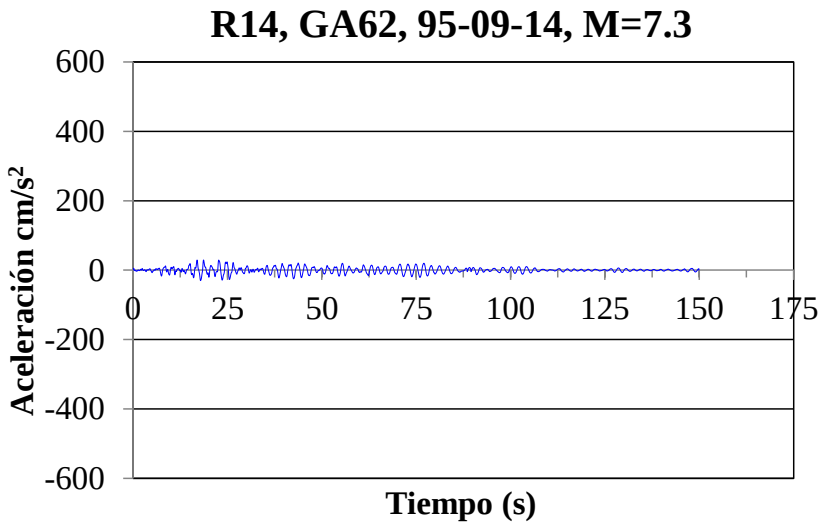

M3-R13 FE=10.50 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-30
-20
-10
0
10
20
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

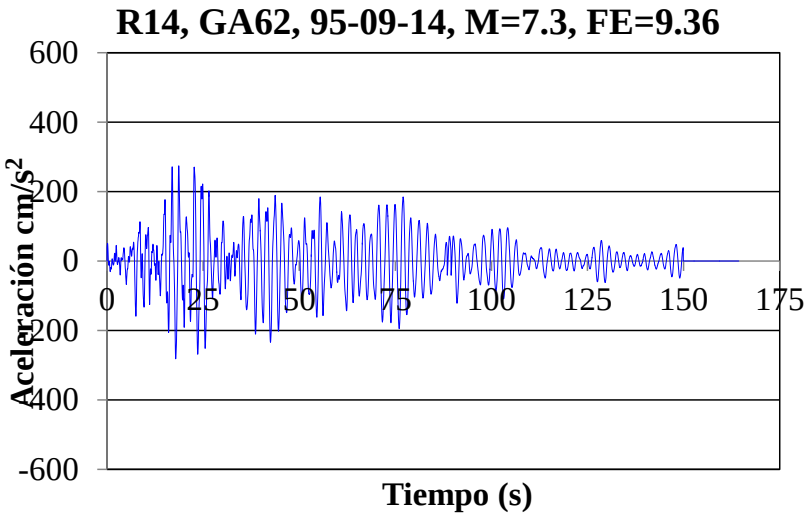
M3-R14

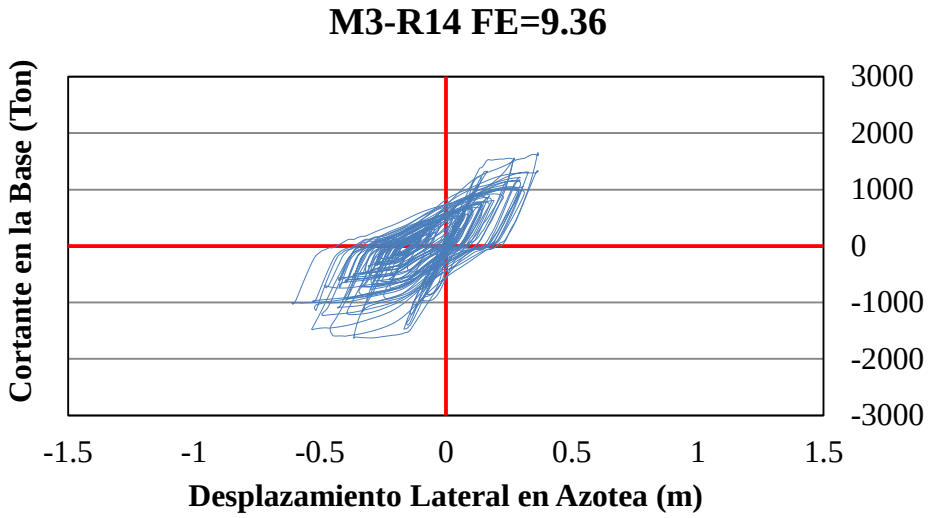
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.3	**6.83**	**10 586.41**	**0.068**	**-0.2056**

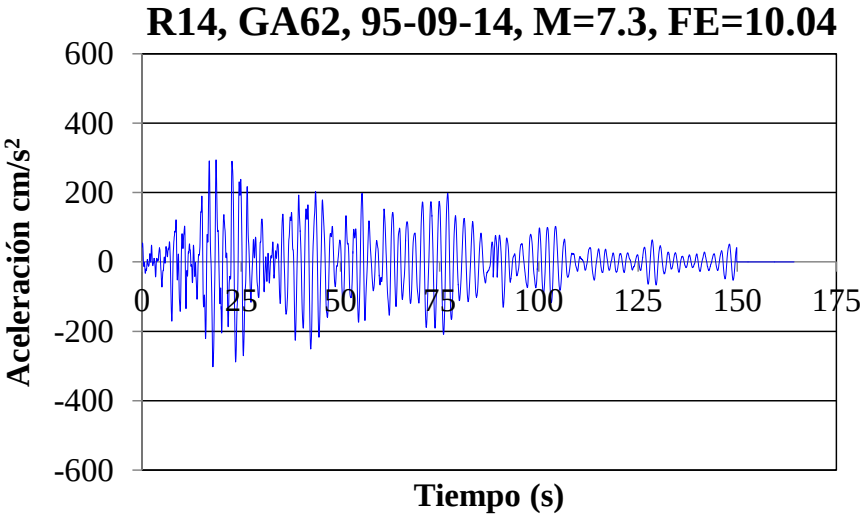
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6356	9.36	25.08	0.6124	-1002.360	1 636.77	0.8454	0.072
0.6815	10.04	76.70	0.5877	-920.677	1 566.58	0.8520	0.002
0.6830	10.06	76.70	0.5865	-917.712	1 564.73	0.8522	0.000
0.6924	10.20	76.71	0.5733	-880.782	1 536.34	0.8549	-0.014
0.7467	11.00	25.31	0.6520	1444.771	2 215.91	0.7907	-0.089
0.7569	11.15	25.33	0.6833	1365.242	1 998.01	0.8113	-0.103
0.7589	11.18	25.34	0.6893	1334.385	1 935.86	0.8171	-0.105
0.7609	11.21	25.34	0.6949	1364.342	1 963.36	0.8145	-0.108
0.7630	11.24	77.85	0.7070	573.317	0 810.92	0.9234	-0.111
0.7650	11.27	77.85	0.7040	605.697	0 860.37	0.9187	-0.113
0.7670	11.30	25.35	0.7086	1333.425	1 881.77	0.8222	-0.116
0.7684	11.32	25.36	0.7121	1330.209	1 868.01	0.8235	-0.118
0.7698	11.340	25.36	0.7155	1301.151	1 818.52	0.8282	-0.120
0.7704	11.350	149.90	218.6009	0.000	0 000.00	1.0000	-0.120
0.7738	11.40	149.90	281.2544	0.001	0 000.00	1.0000	-0.125

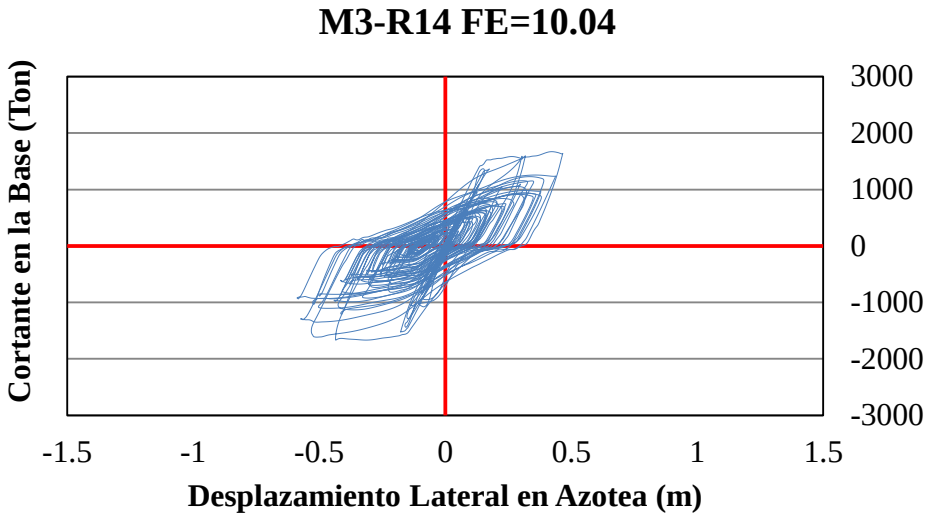

M3- R14 r D(y)-Z(y) =-0.2056
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

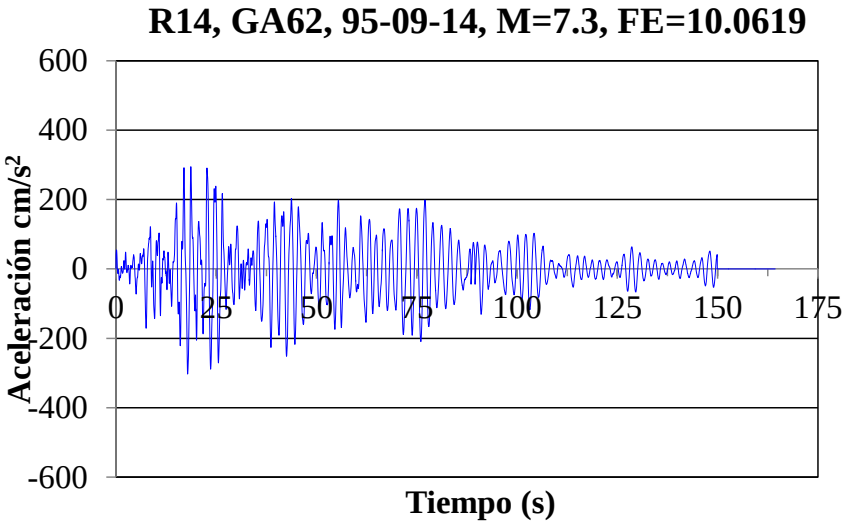

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

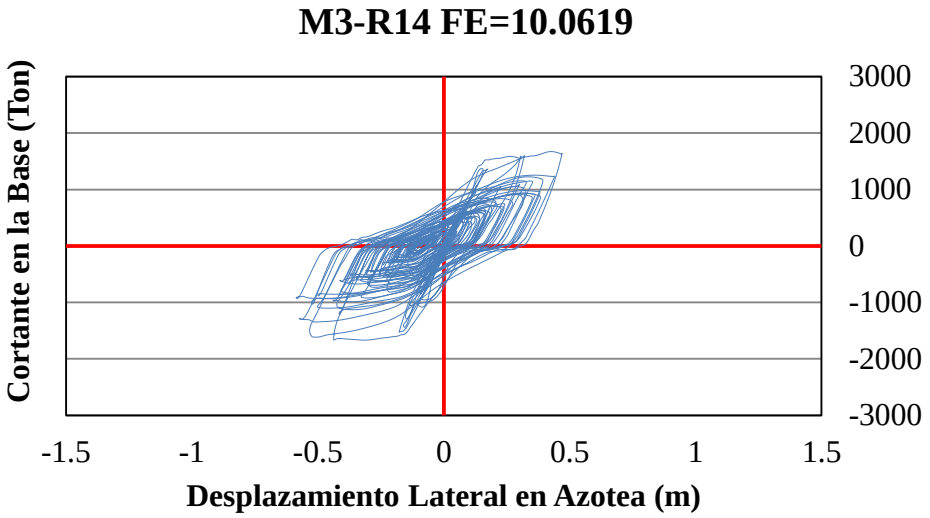

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=9.36
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

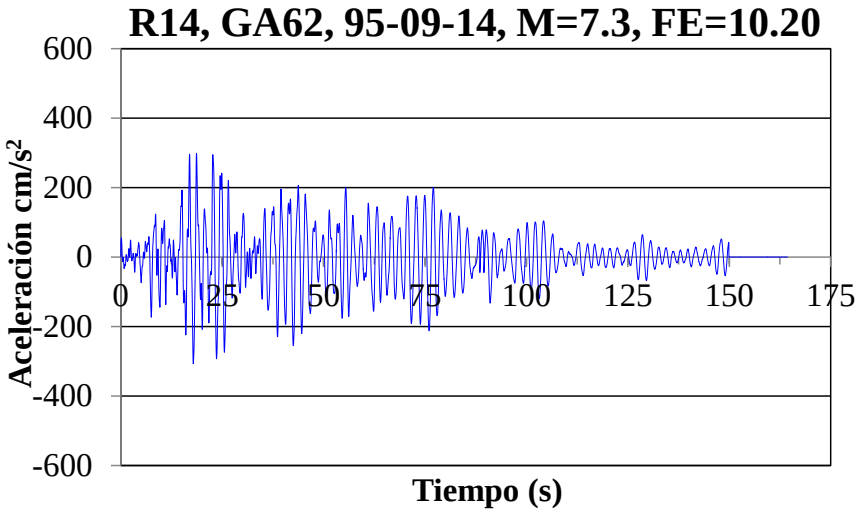

M3-R14 FE=9.36
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

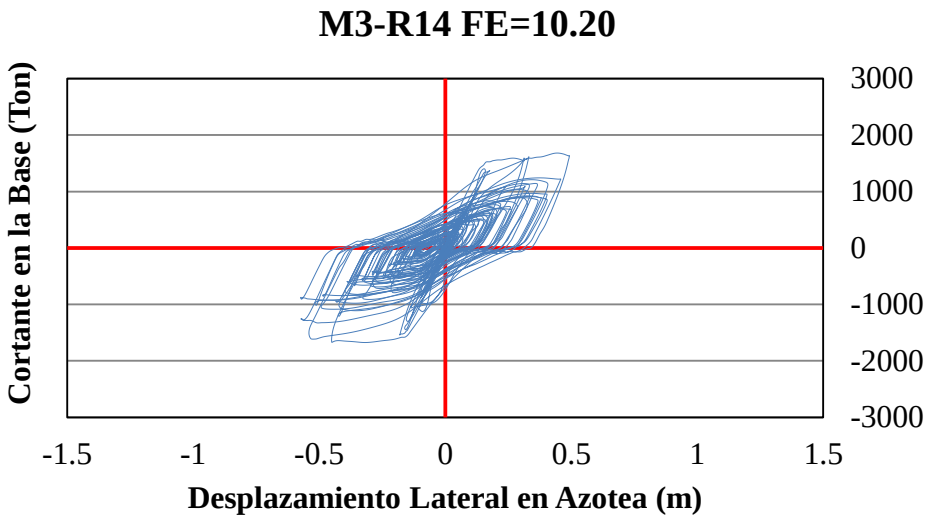

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=10.04
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

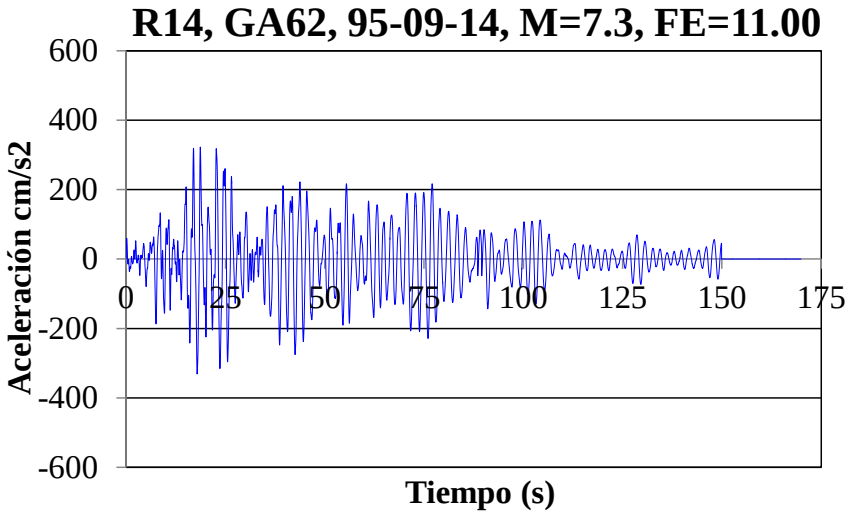

M3-R14 FE=10.04
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

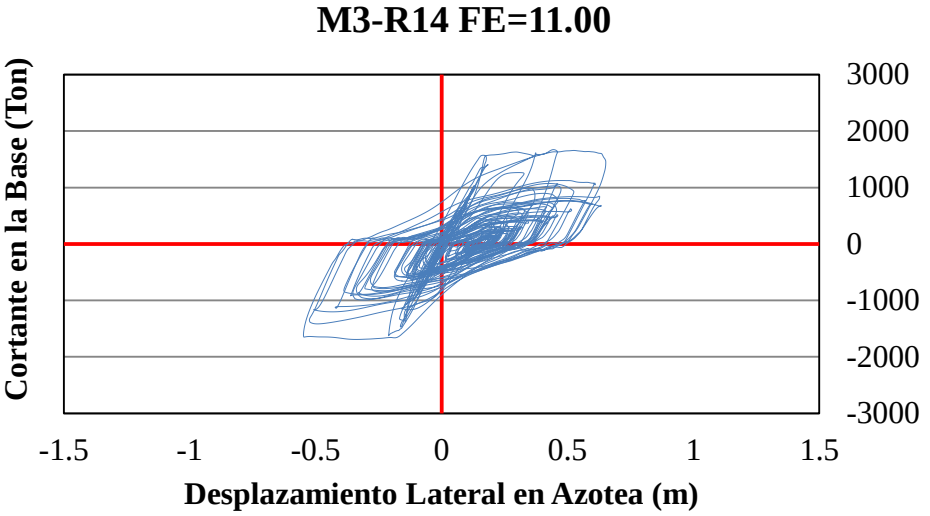

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=10.0619
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

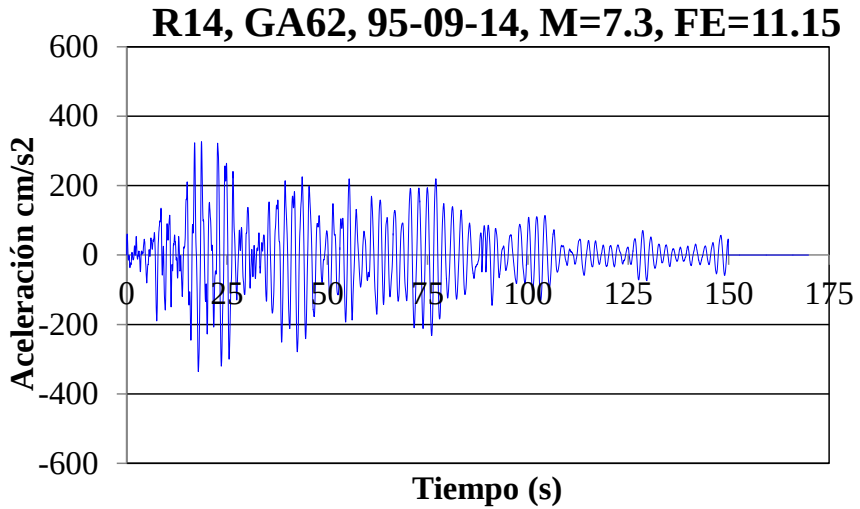

M3-R14 FE=10.0619
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

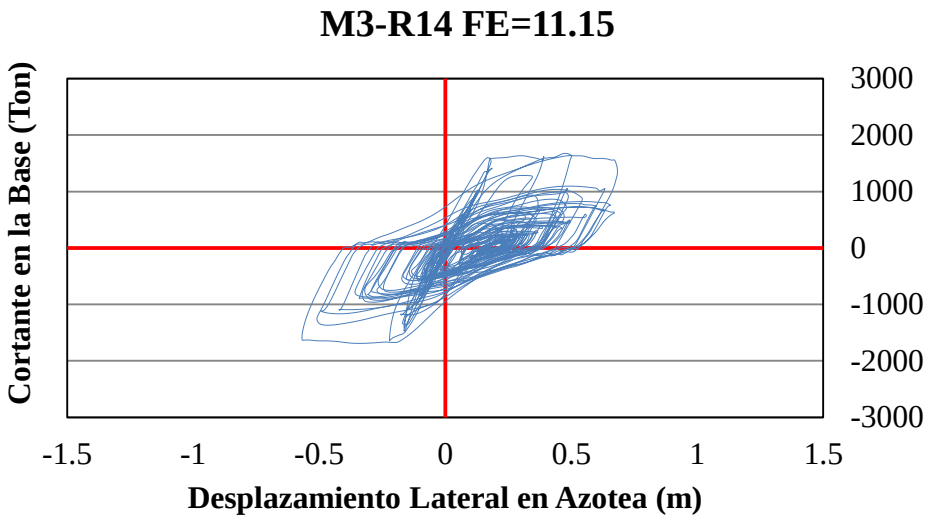

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=10.20
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

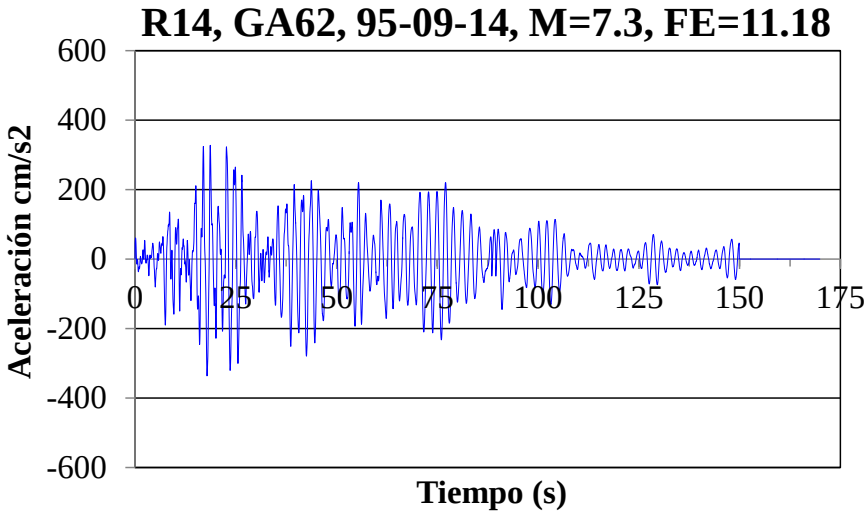

M3-R14 FE=10.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

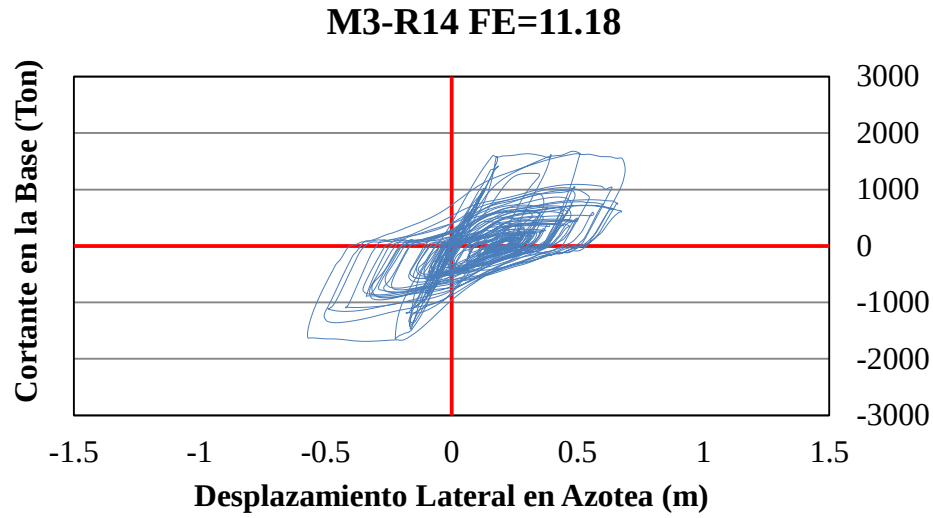

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

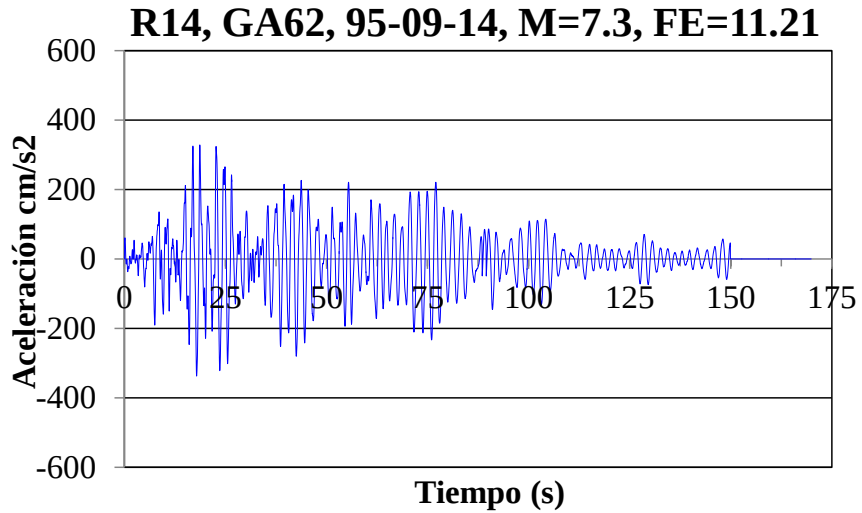

M3-R14 FE=11.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

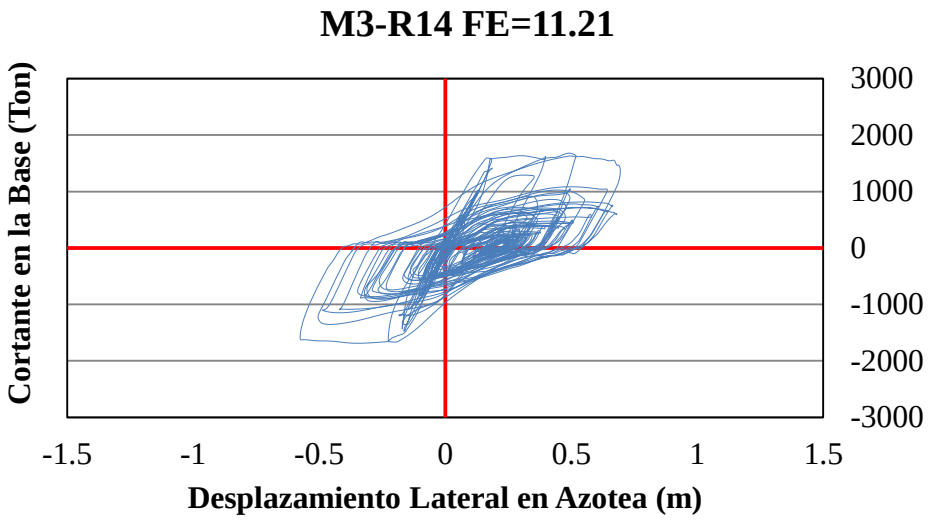

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.15
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

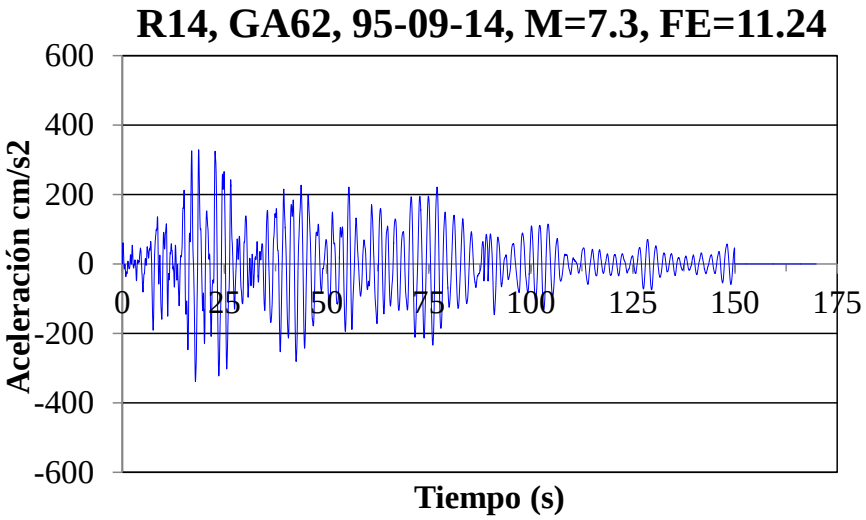

M3-R14 FE=11.15
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

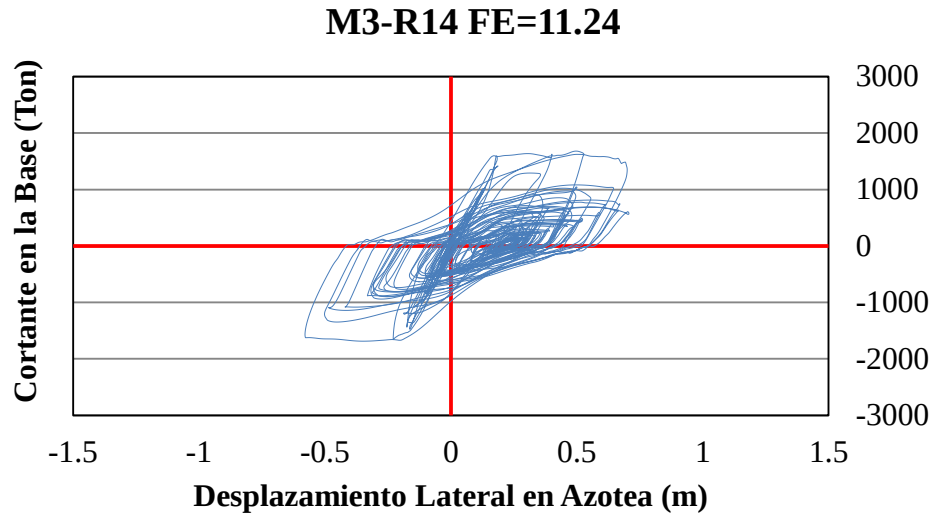

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.18
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

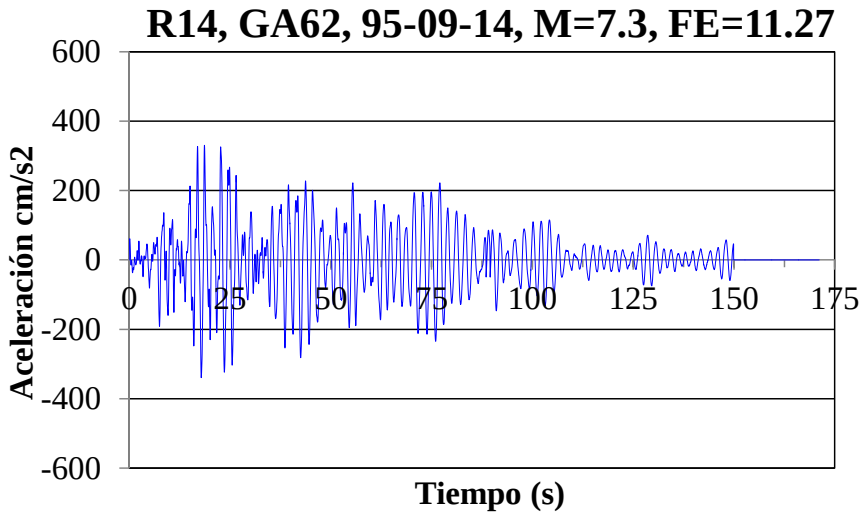

M3-R14 FE=11.18
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

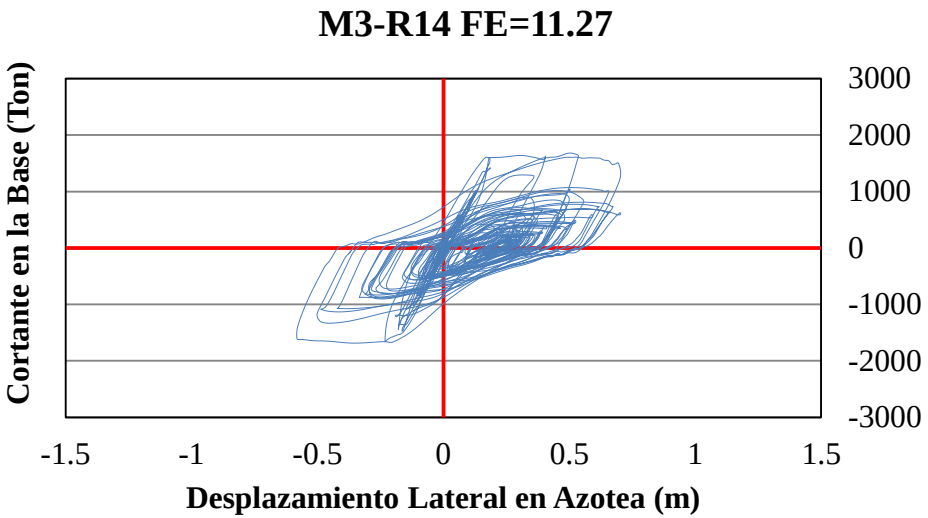

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.21
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

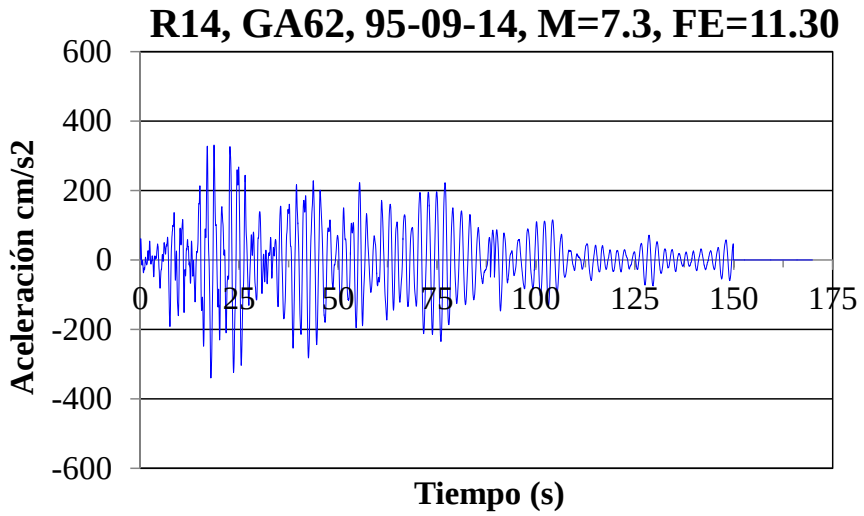

M3-R14 FE=11.21
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

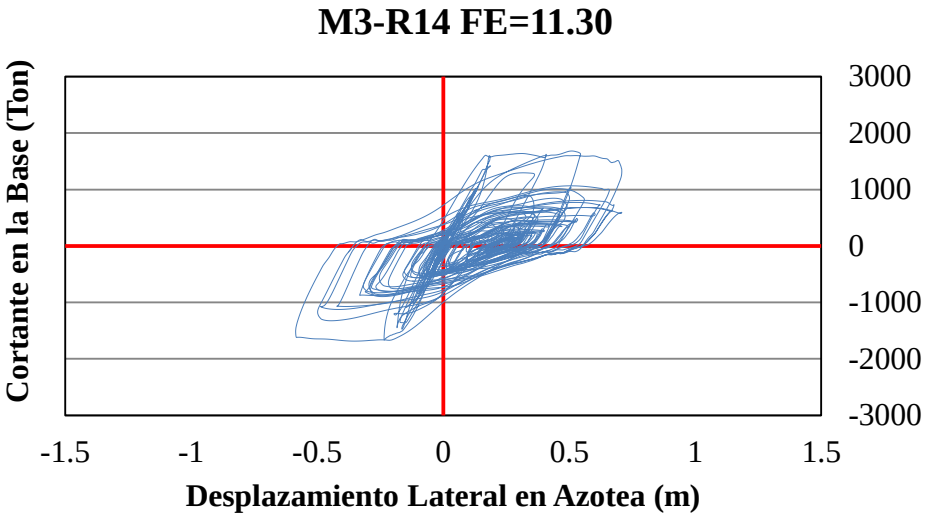

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.24
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

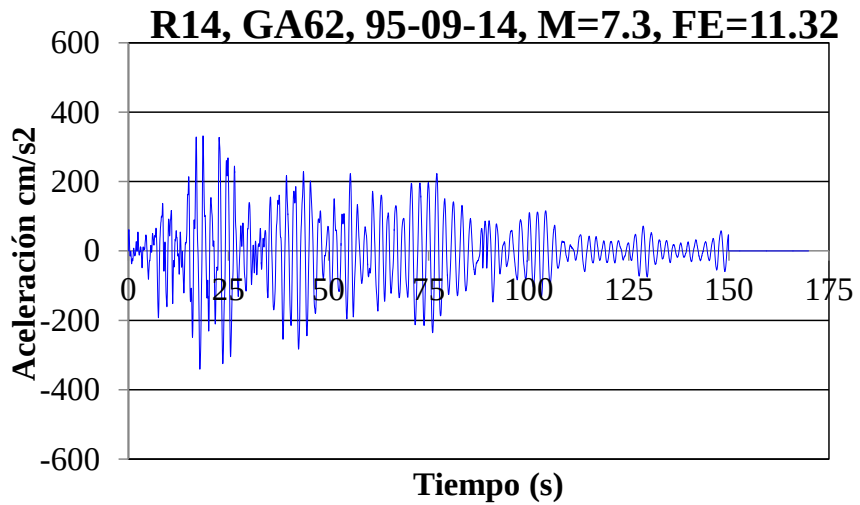

M3-R14 FE=11.24
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

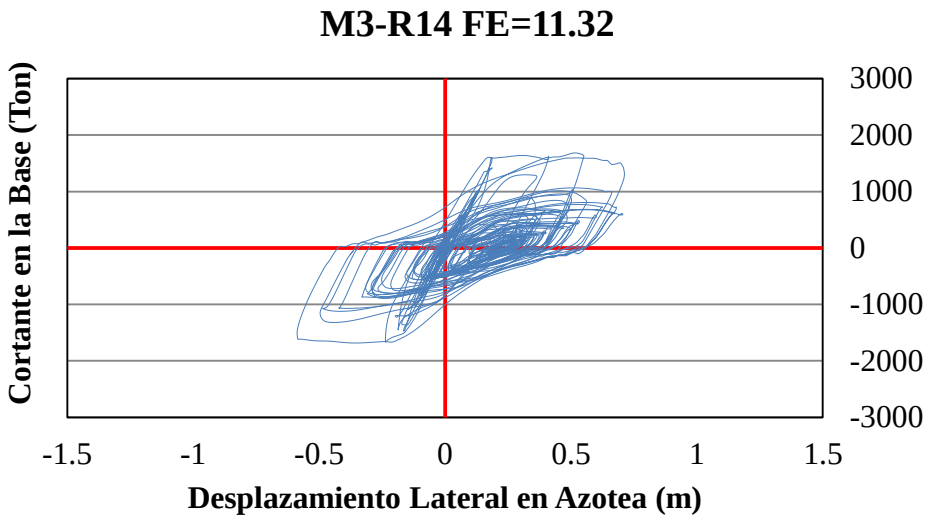

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.27
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

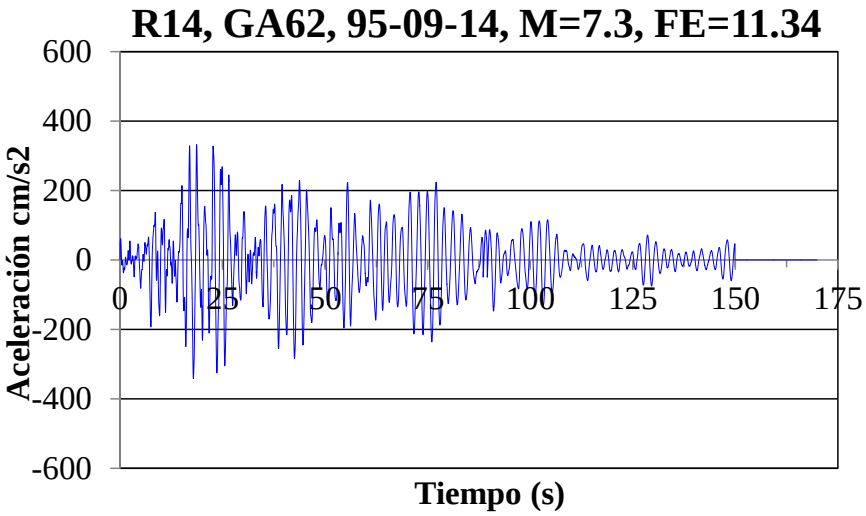

M3-R14 FE=11.27
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

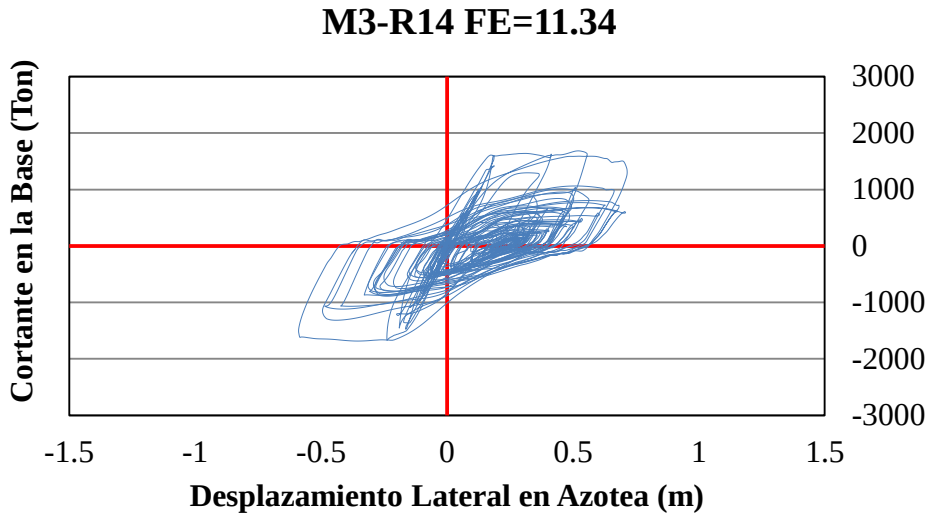

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

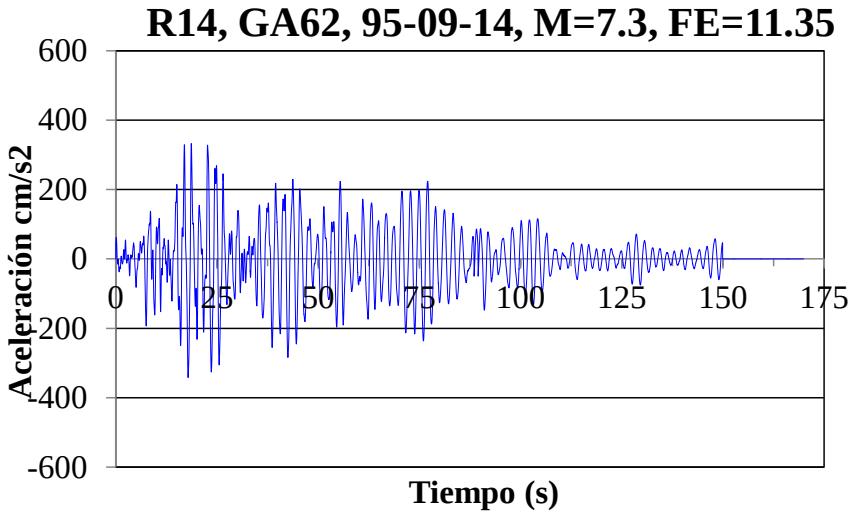

M3-R14 FE=11.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

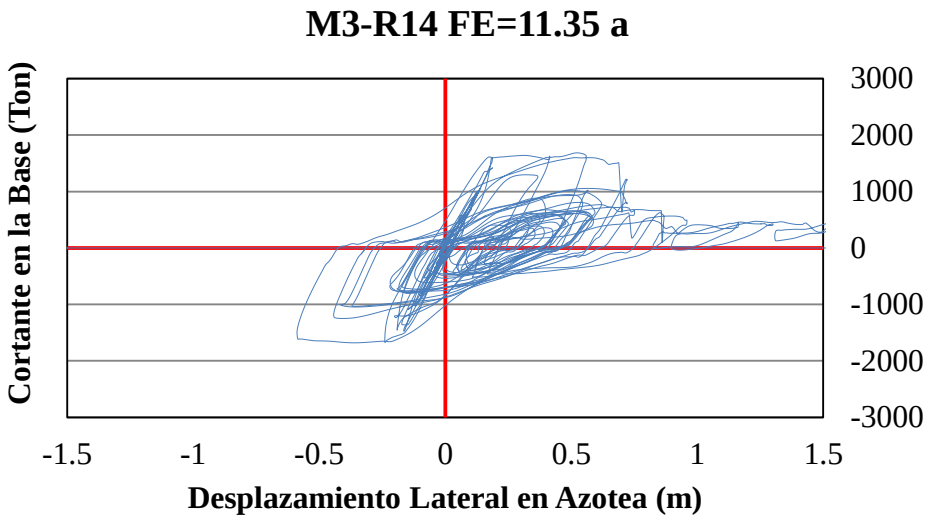

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.32
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

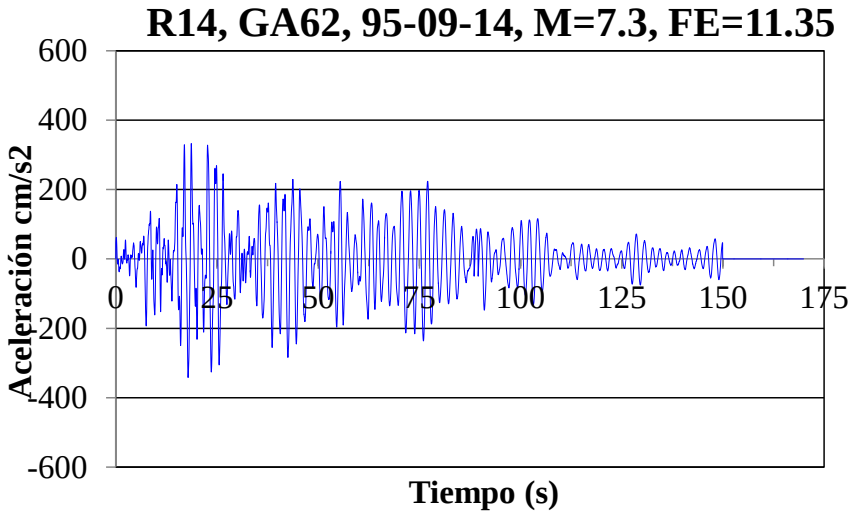

M3-R14 FE=11.32
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

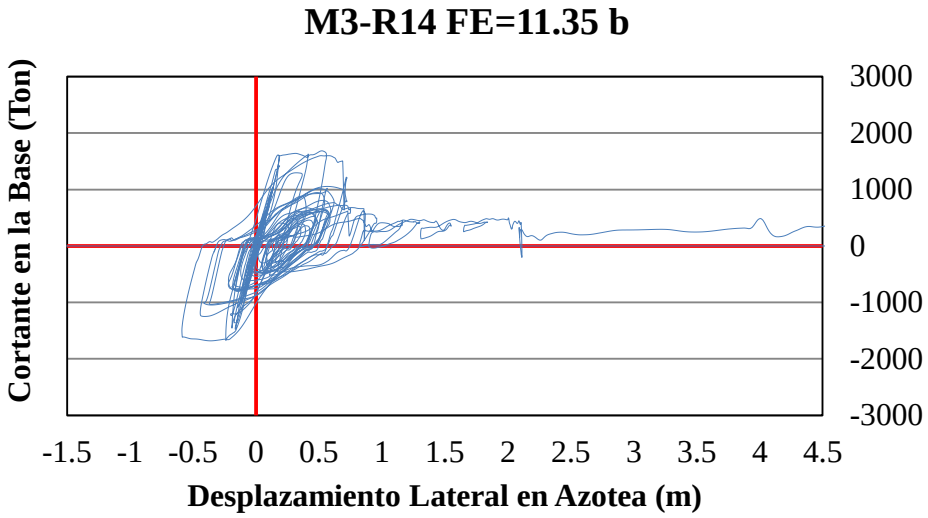

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.34
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

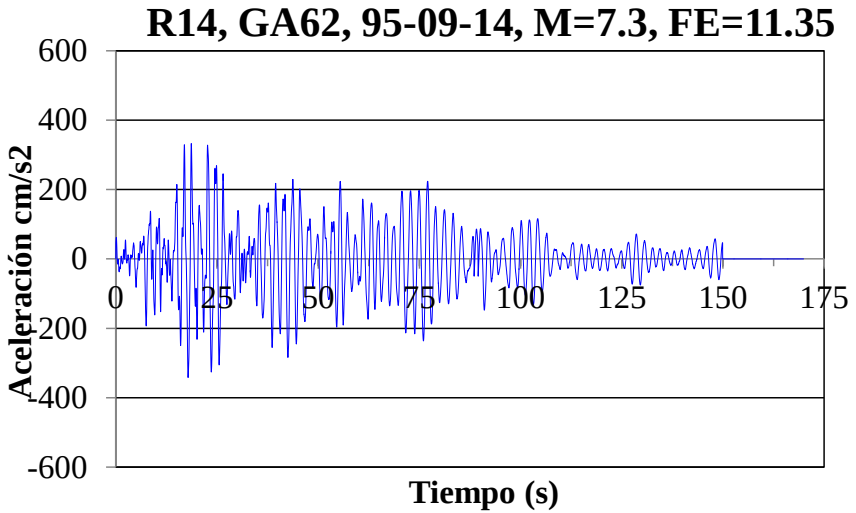

M3-R14 FE=11.34
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

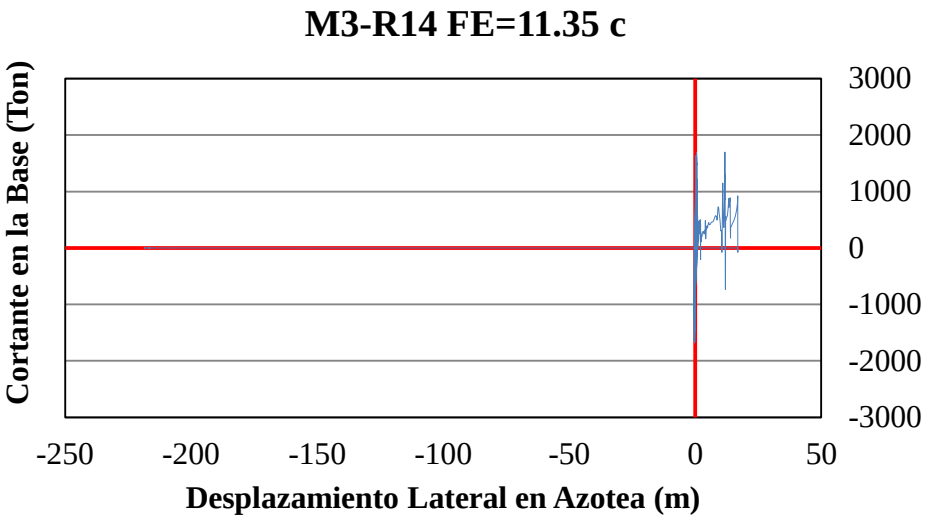

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

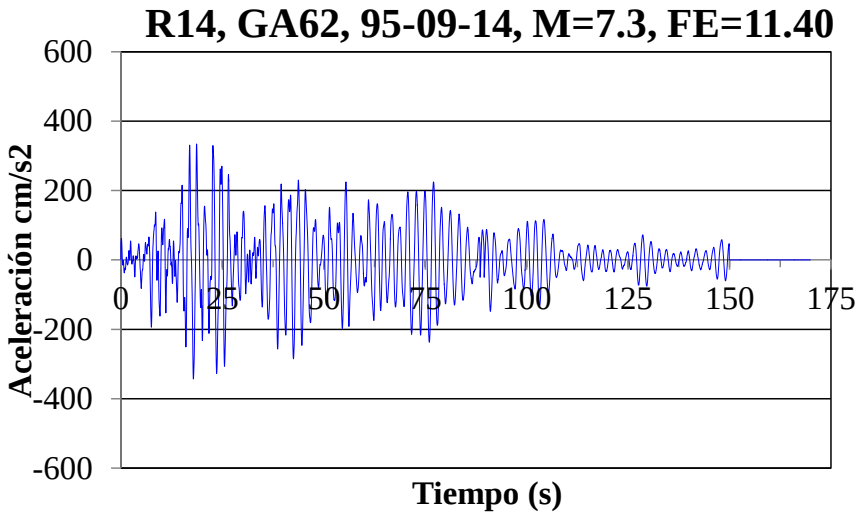

M3-R14 FE=11.35 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

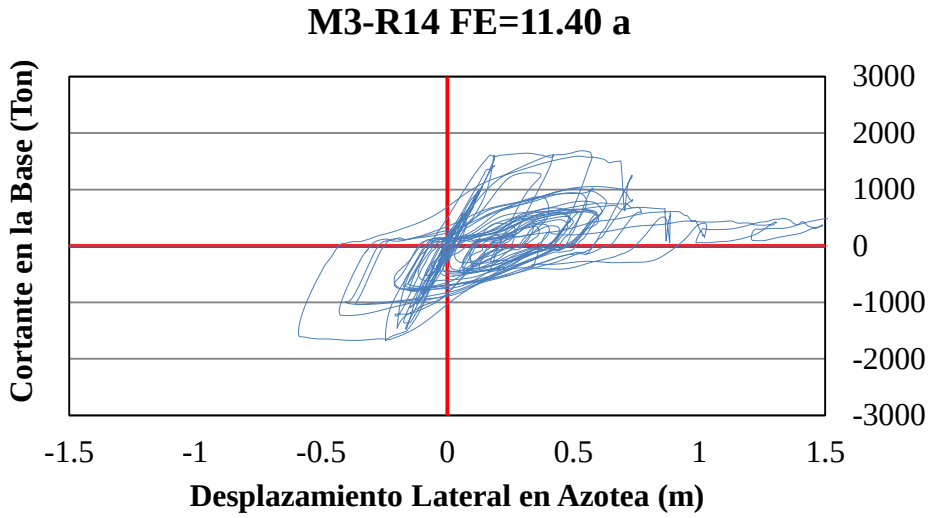

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

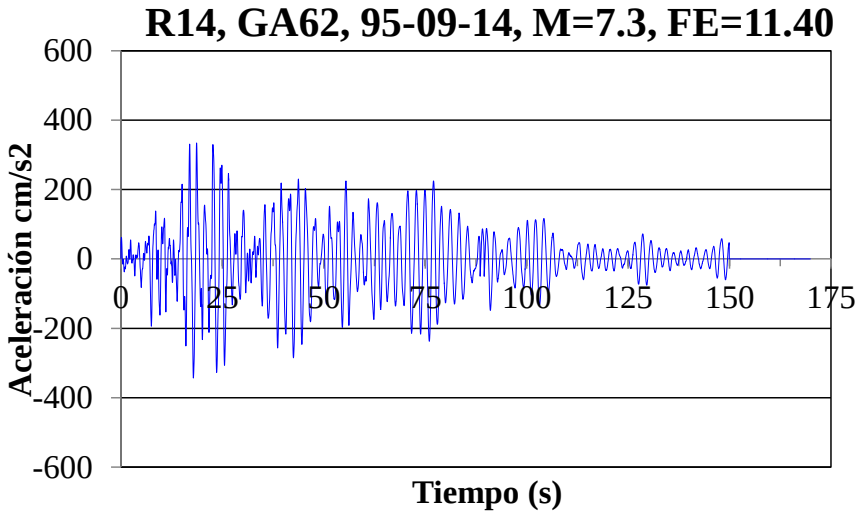

M3-R14 FE=11.35 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

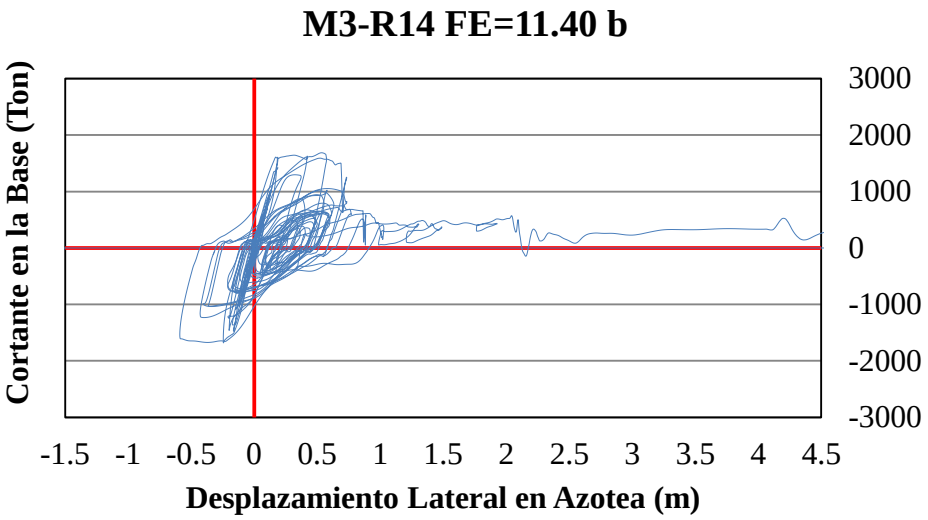

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

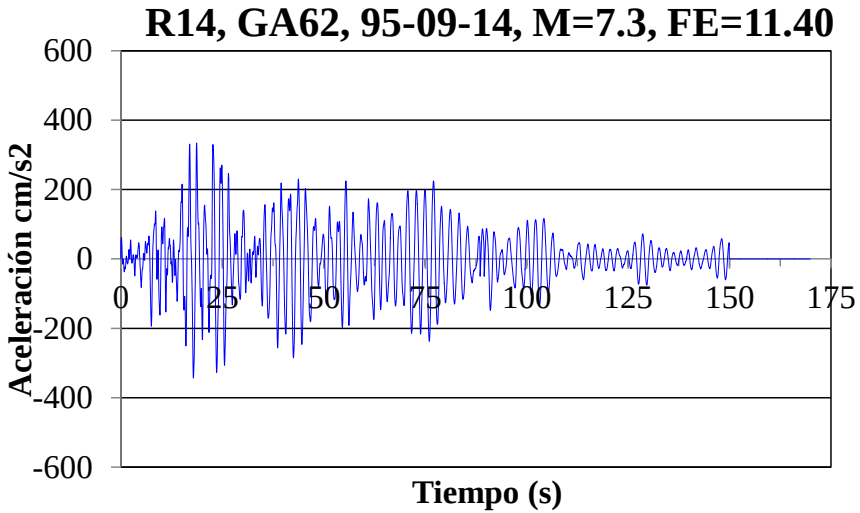

M3-R14 FE=11.35 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

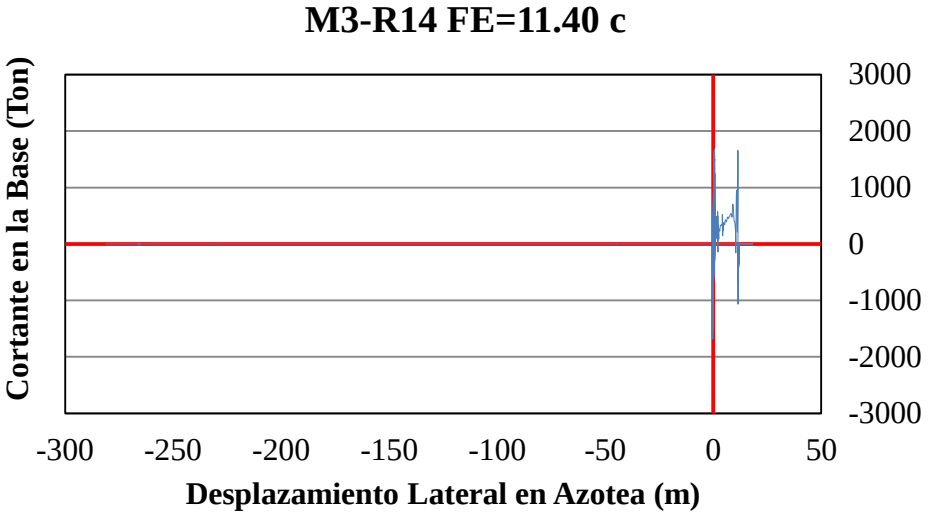

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R14 FE=11.40 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R14 FE=11.40 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

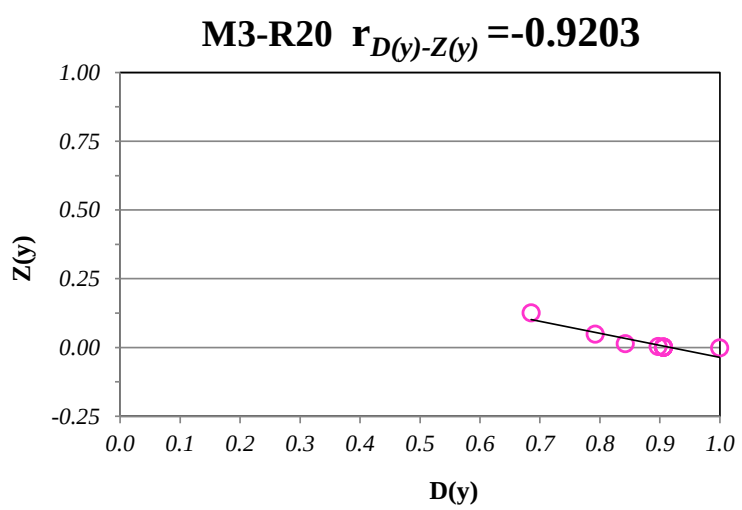

R14, GA62, 95-09-14, M=7.3, FE=11.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

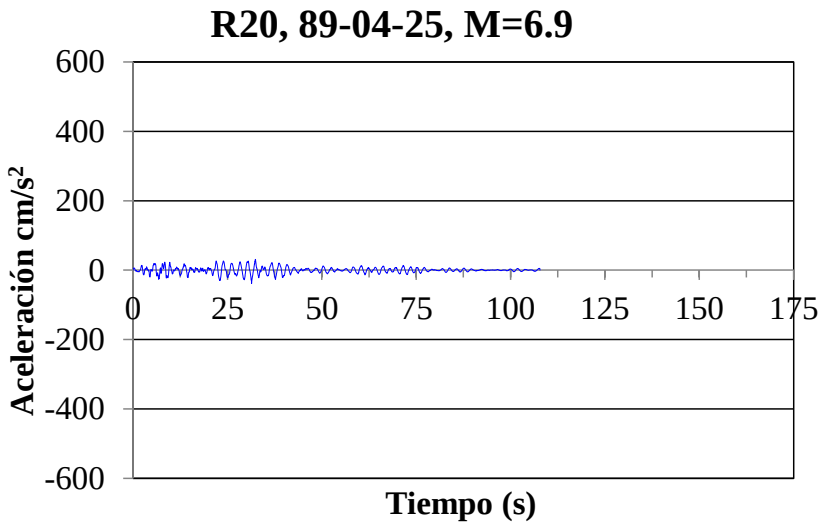

M3-R14 FE=11.40 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-300
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

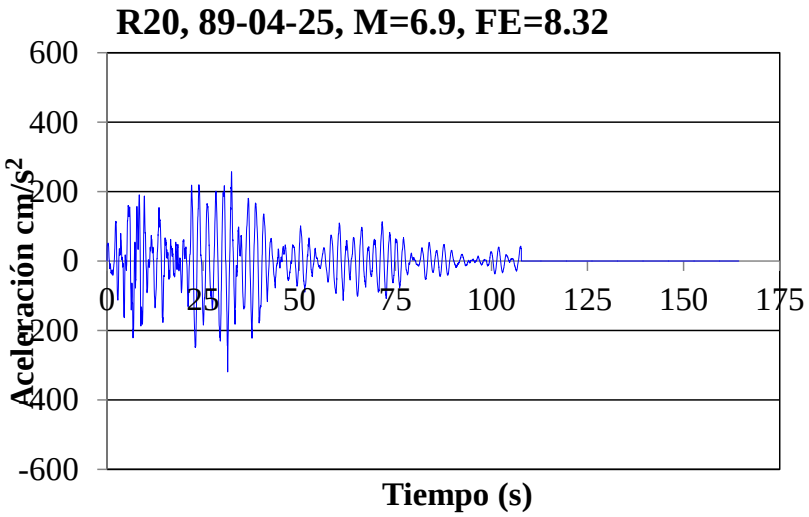
M3-R20

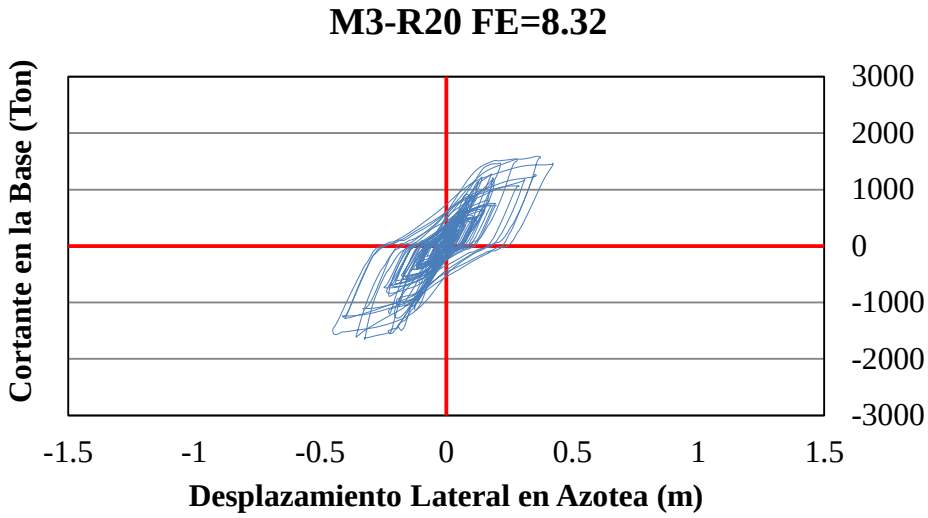
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**10 586.41**	**0.076**	**-0.9203**

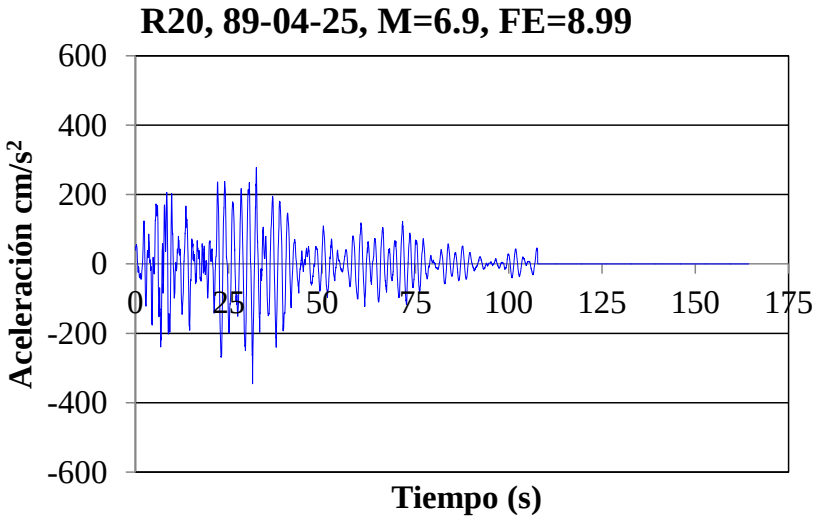
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6305	8.32	32.8500	0.4502	-1499.569	3 330.90	0.6854	0.080
0.6813	8.99	31.9800	0.6508	-1430.785	2 198.50	0.7923	0.003
0.7048	9.30	32.0400	0.7276	-1212.553	1 666.51	0.8426	-0.031
0.7123	9.40	40.5500	0.7563	-824.636	1 090.36	0.8970	-0.042
0.7139	9.42	40.5600	0.7747	-770.361	0 994.40	0.9061	-0.044
0.7140	9.422	40.5600	0.7750	-770.263	0 993.89	0.9061	-0.044
0.7142	9.424	40.5600	0.7749	-770.367	0 994.15	0.9061	-0.045
0.7143	9.426	40.5600	0.7751	-770.279	0 993.78	0.9061	-0.045
0.7145	9.428	40.5600	0.7752	-770.139	0 993.47	0.9062	-0.045
0.7146	9.430	40.5600	0.7754	-769.849	0 992.84	0.9062	-0.045
0.7161	9.45	86.5700	306.0133	0.000	0 000.00	1.0000	-0.047

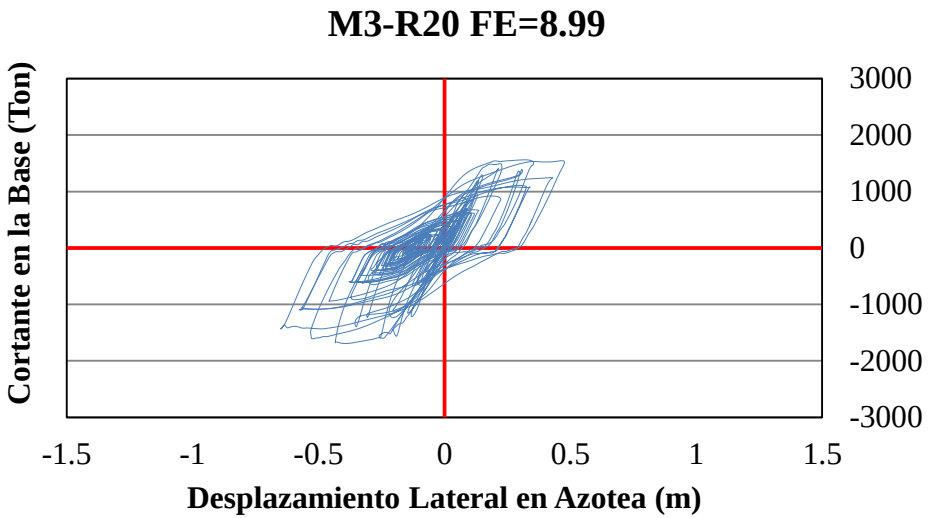

M3-R20 r D(y)-Z(y) =-0.9203
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

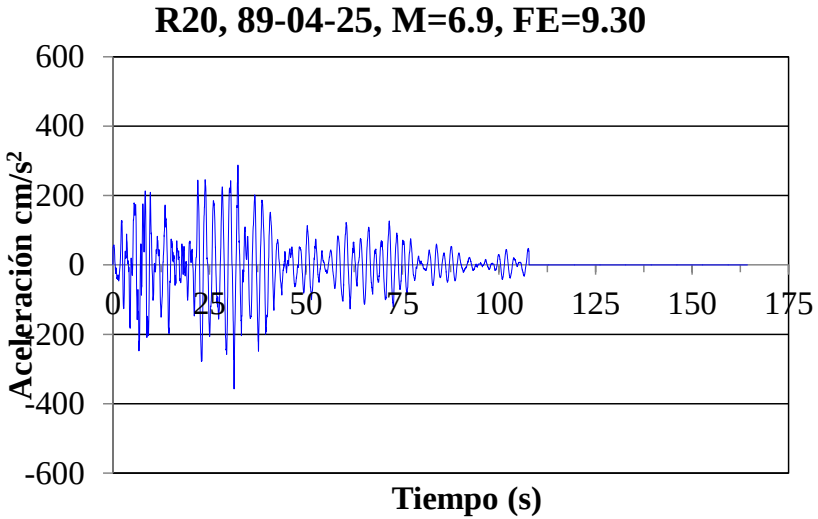

R20, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

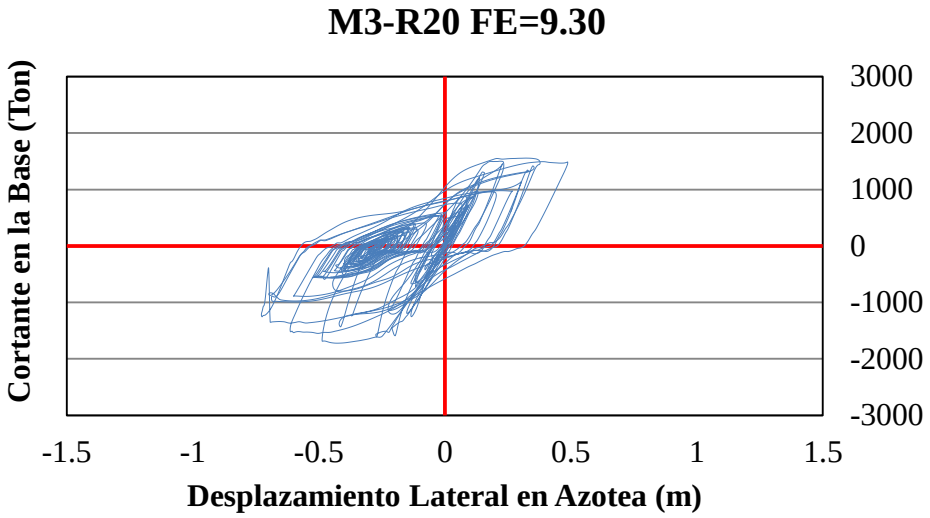

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=8.32
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

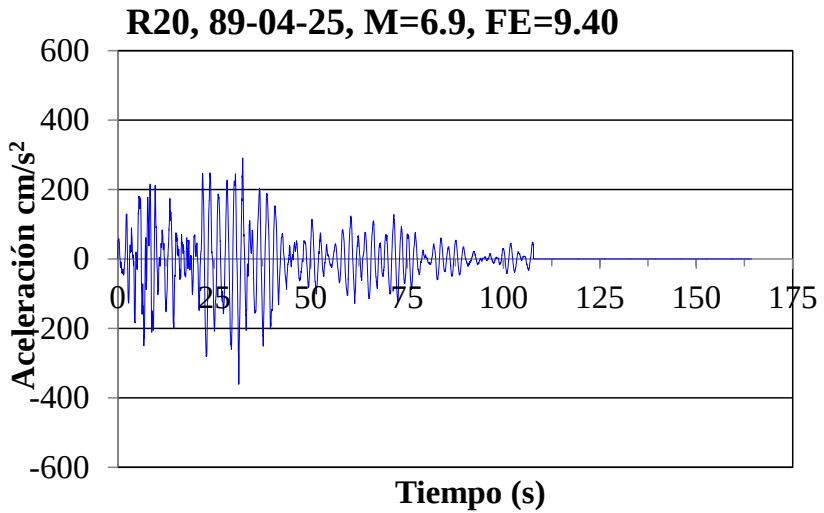

M3-R20 FE=8.32
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

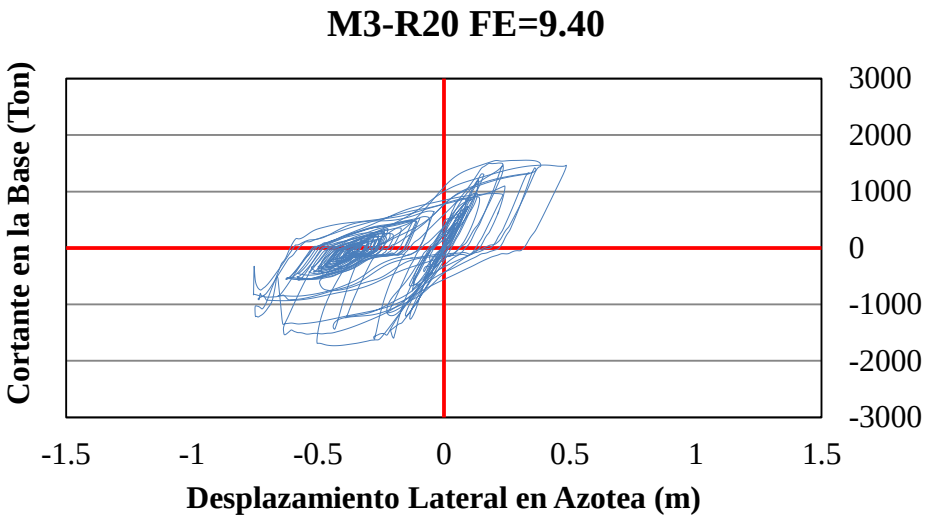

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=8.99
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

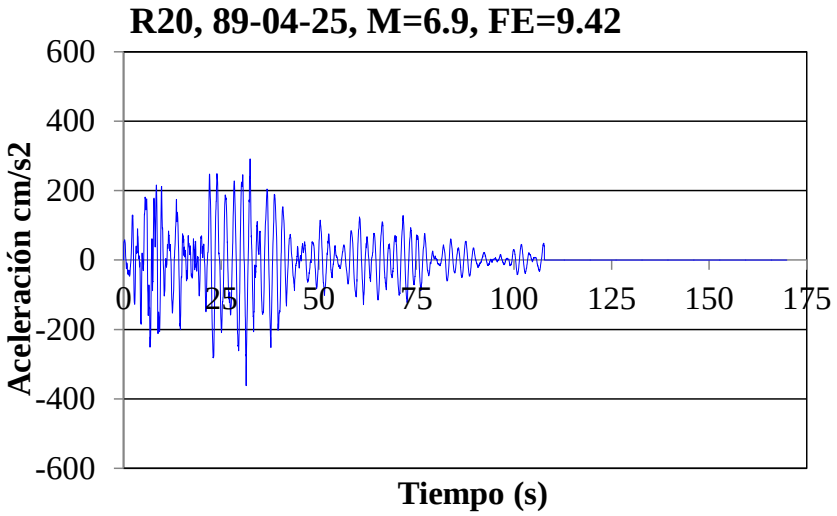

M3-R20 FE=8.99
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

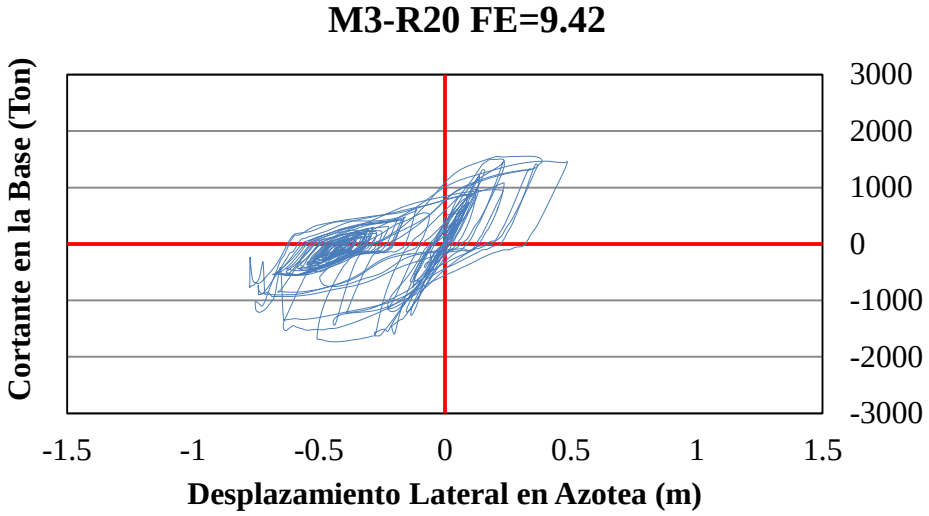

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.30
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

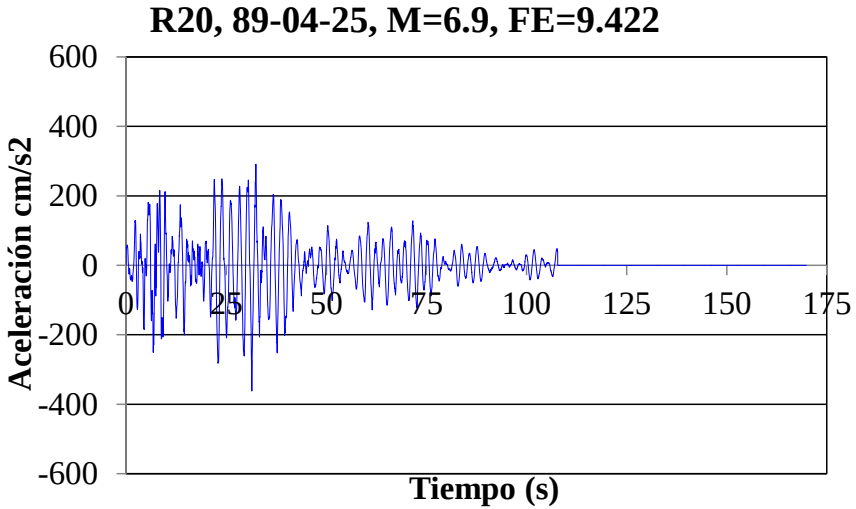

M3-R20 FE=9.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

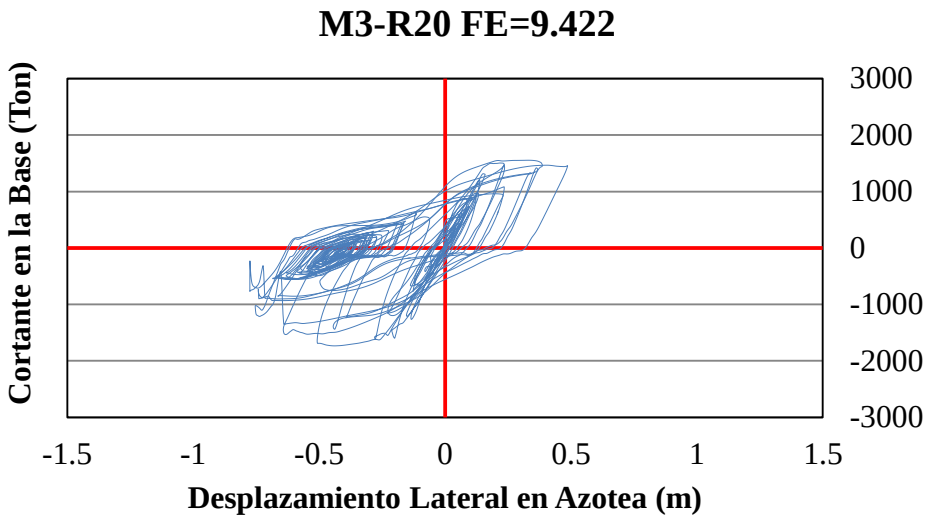

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.40
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

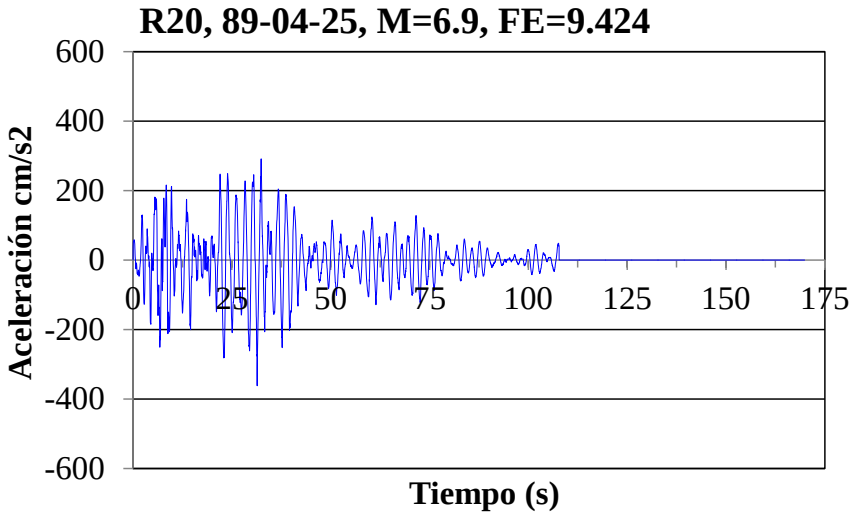

M3-R20 FE=9.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

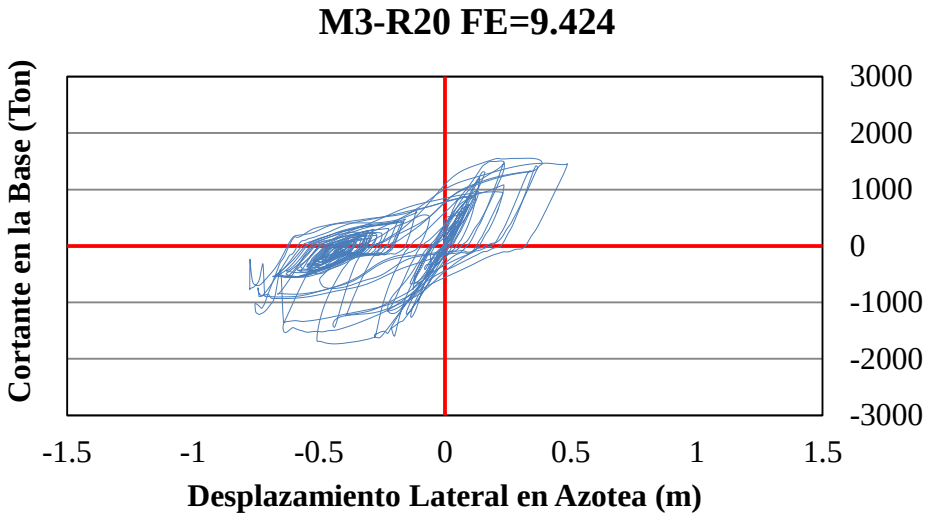

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.42
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

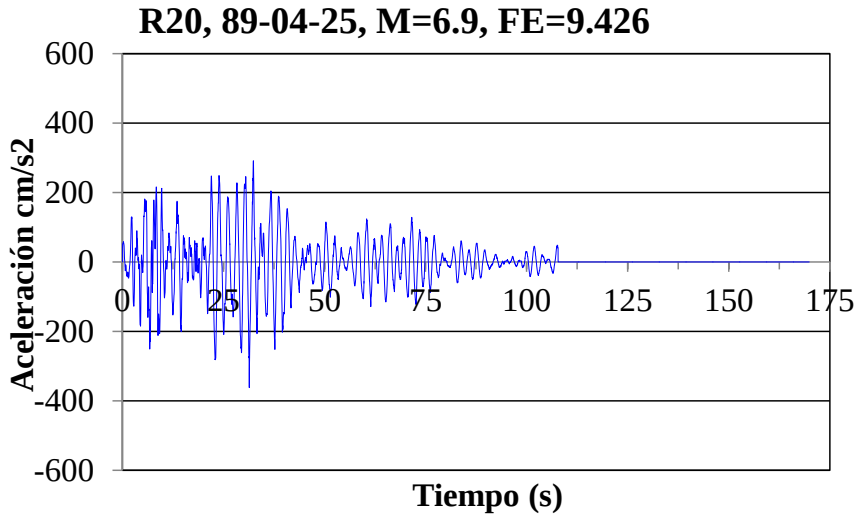

M3-R20 FE=9.42
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

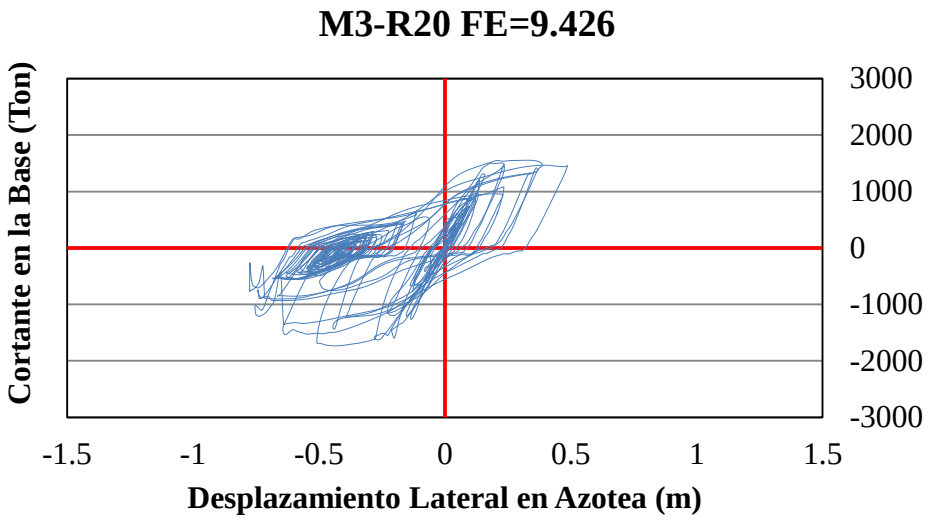

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.422
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

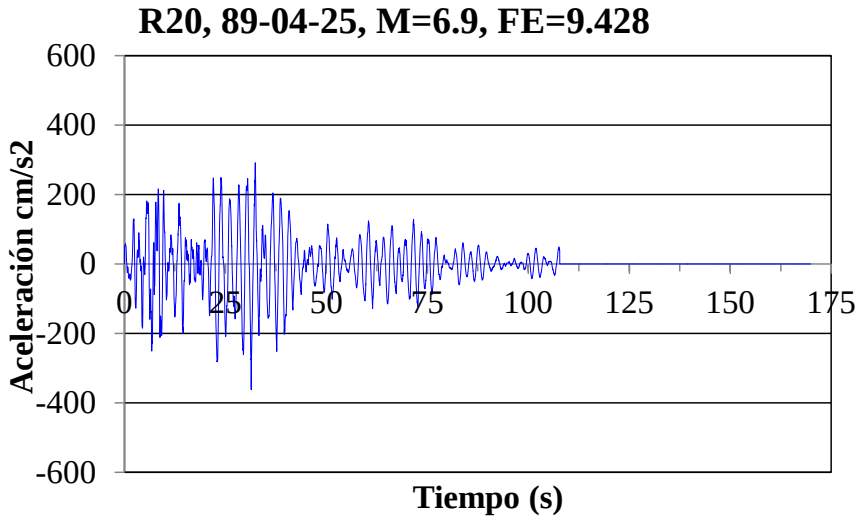

M3-R20 FE=9.422
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

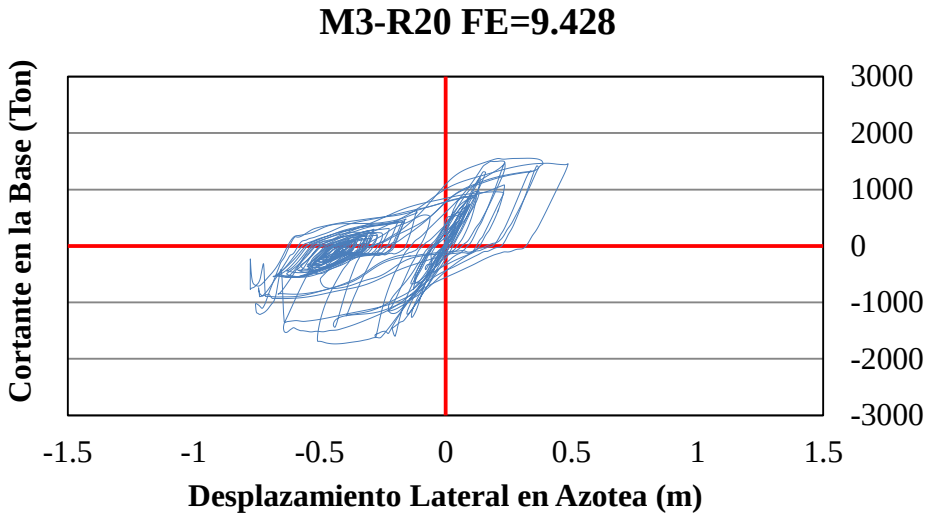

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.424
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

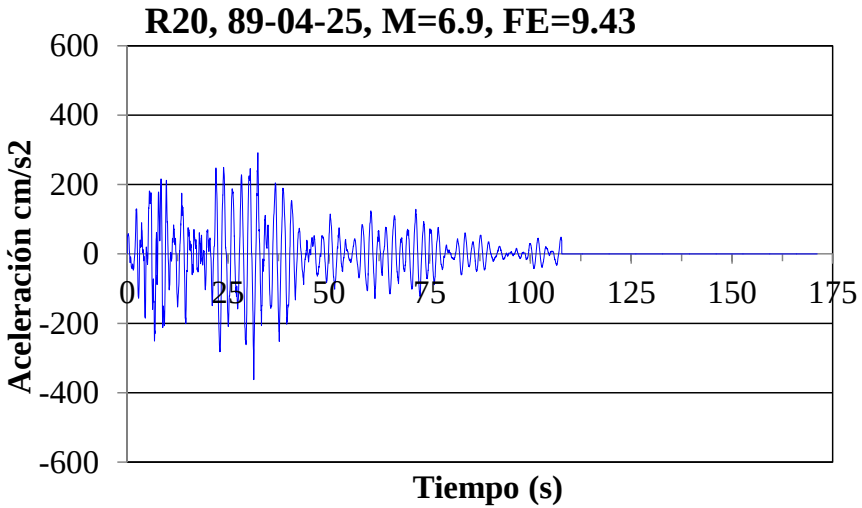

M3-R20 FE=9.424
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

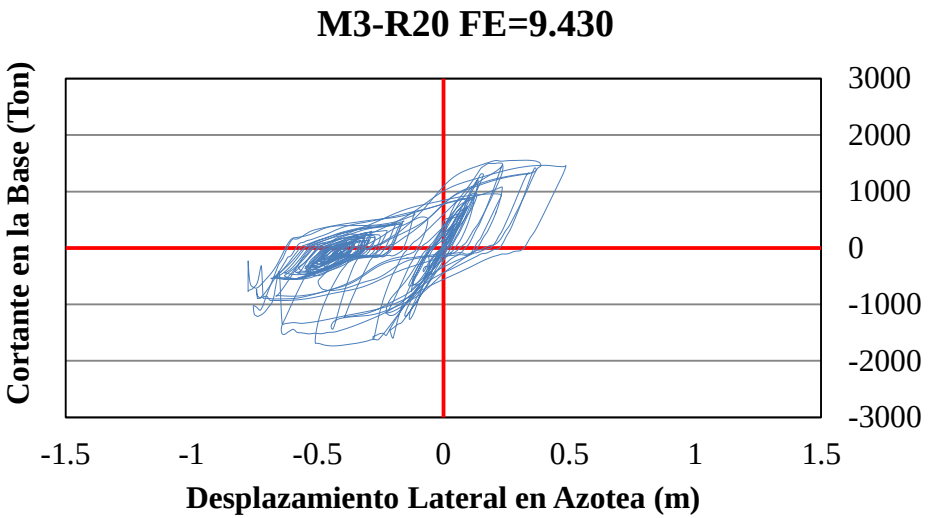

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.426
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

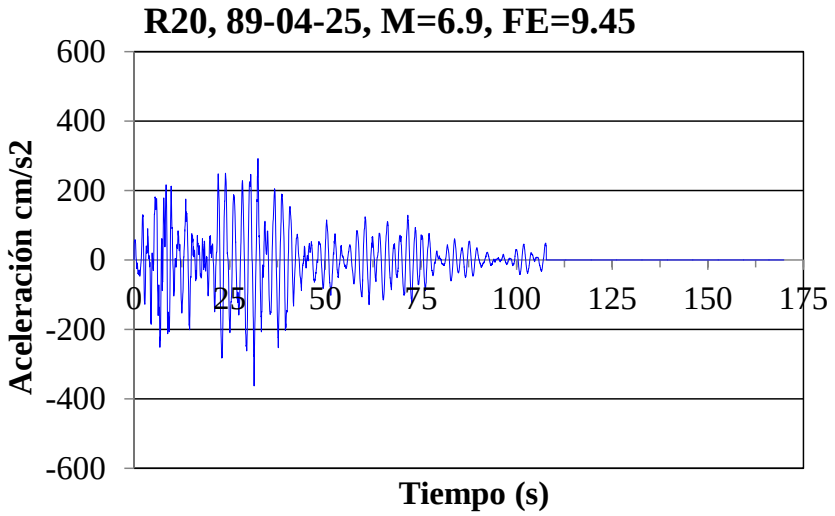

M3-R20 FE=9.426
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

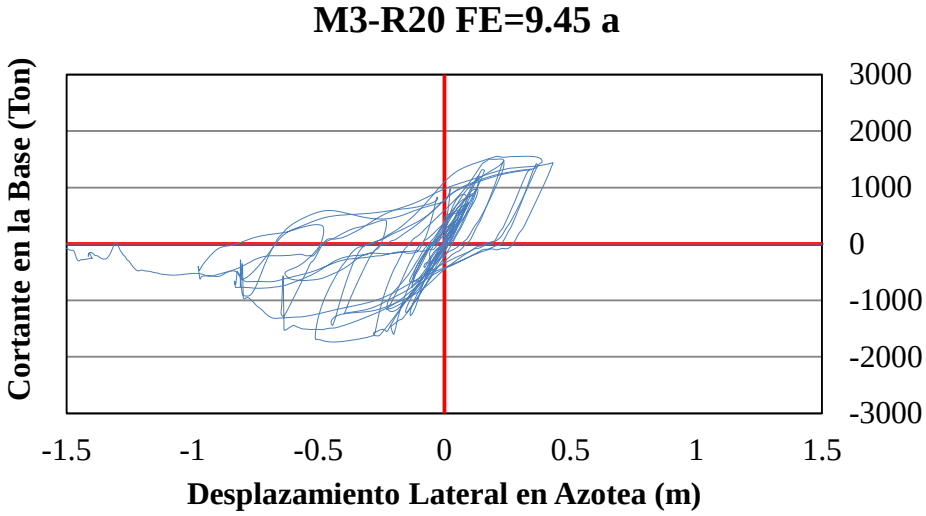

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.428
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

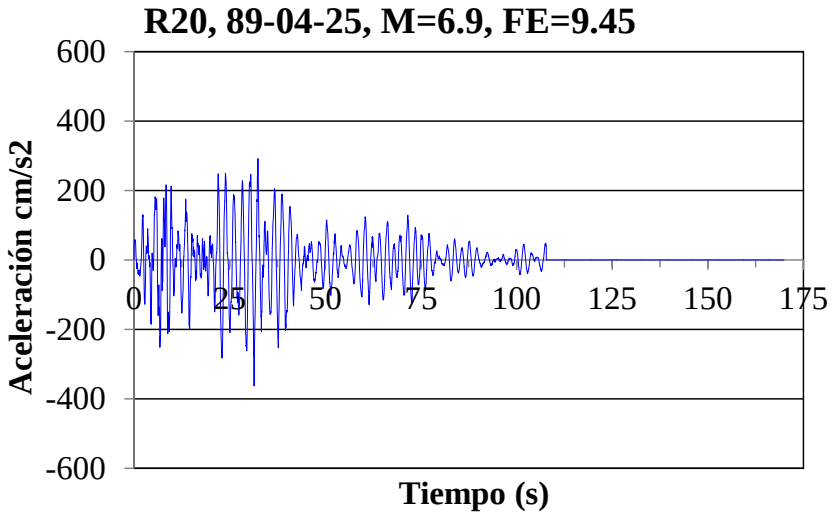

M3-R20 FE=9.428
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

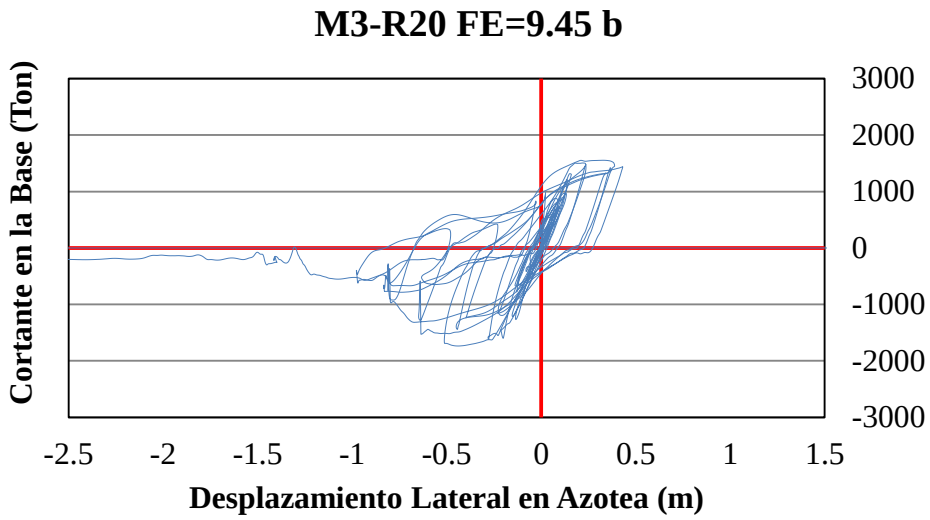

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.43
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

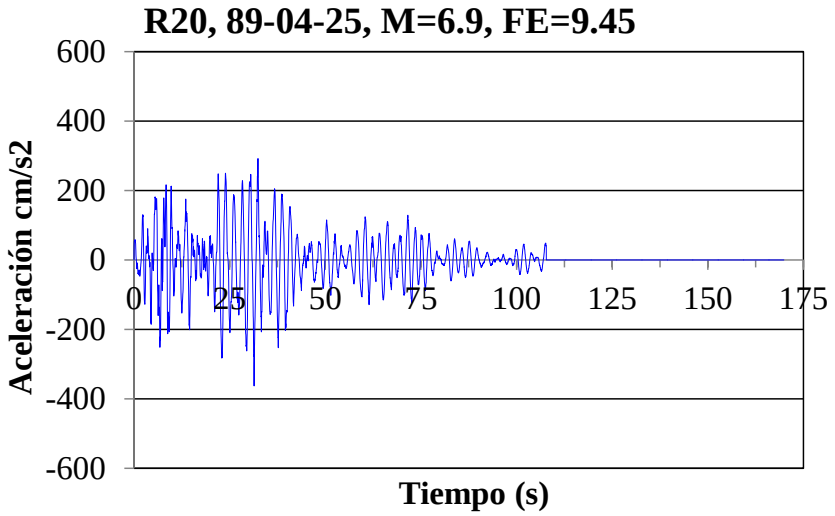

M3-R20 FE=9.430
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

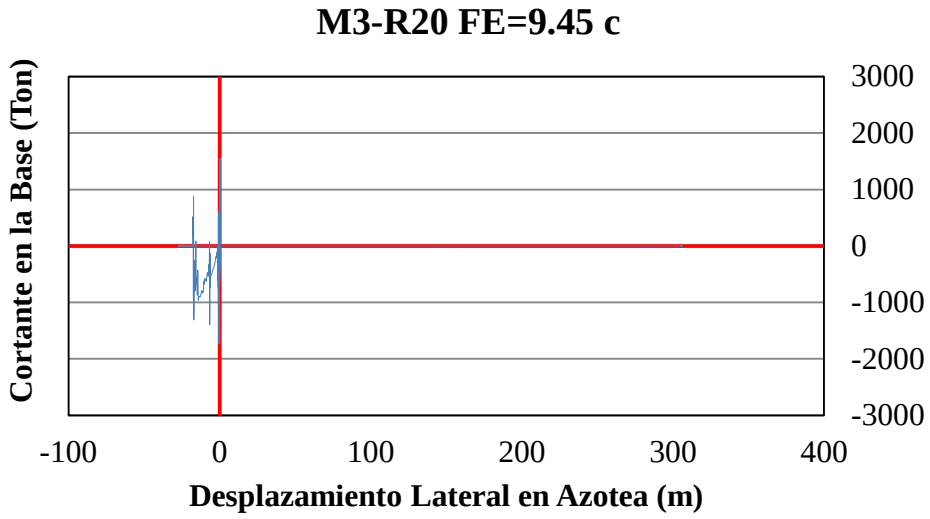

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R20 FE=9.45 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R20 FE=9.45 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

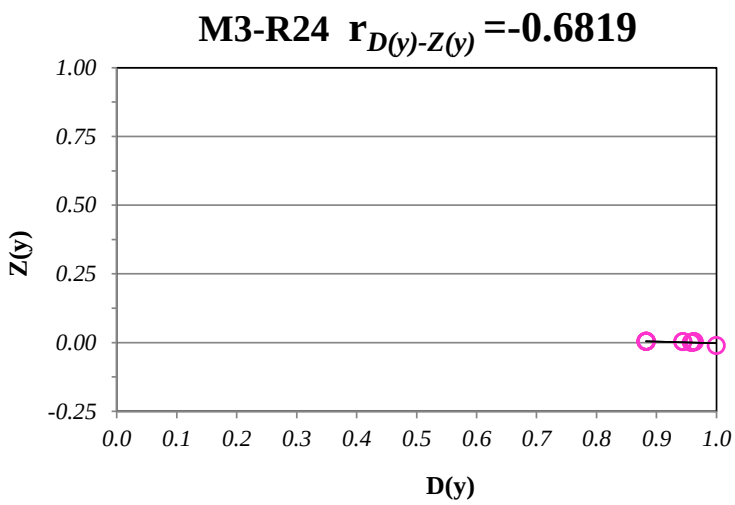

R20, 89-04-25, M=6.9, FE=9.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

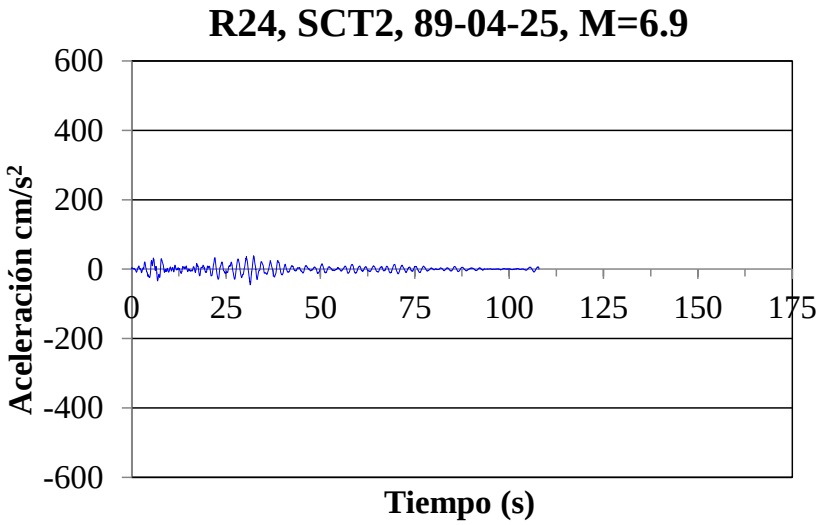

M3-R20 FE=9.45 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
0
100
200
300
400
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

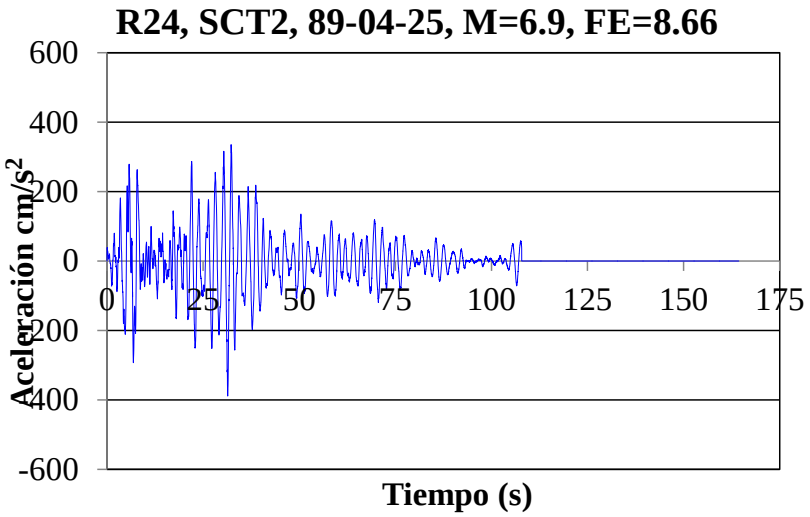
M3-R24

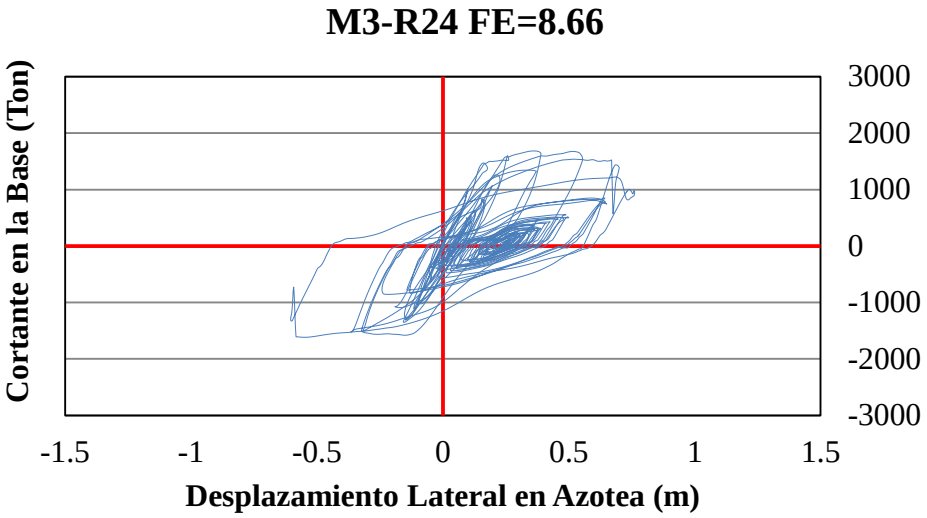
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**10 586.41**	**0.073**	**-0.6819**

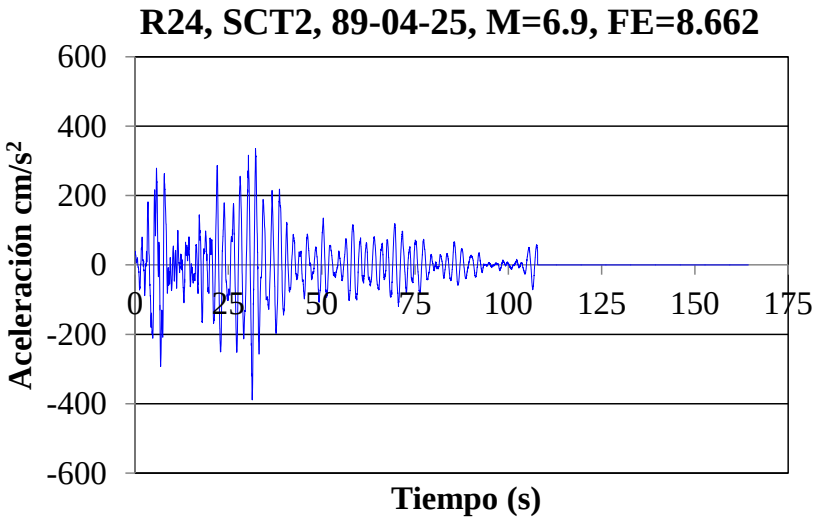
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6330	8.66	33.1000	0.7616	947.123	1 243.60	0.8825	0.076
0.6328	8.662	33.1000	0.7618	946.758	1 242.79	0.8826	0.076
0.6330	8.664	33.1000	0.7630	947.610	1 241.95	0.8827	0.076
0.6331	8.666	33.1000	0.7646	946.089	1 237.36	0.8831	0.076
0.6333	8.668	33.1000	0.7649	945.675	1 236.34	0.8832	0.076
0.6334	8.670	33.1000	0.7652	945.277	1 235.33	0.8833	0.075
0.6336	8.672	51.2300	0.8781	517.687	0 589.55	0.9443	0.075
0.6337	8.674	51.2300	0.8787	519.100	0 590.76	0.9442	0.075
0.6339	8.676	106.3300	1.1414	454.685	0 398.36	0.9624	0.075
0.6340	8.678	106.3500	1.1640	461.244	0 396.26	0.9626	0.074
0.6341	8.680	106.3500	1.2104	471.593	0 389.62	0.9632	0.074
0.6356	8.70	72.5400	1.0668	456.605	0 428.01	0.9596	0.072
0.6358	8.703	72.5400	1.0160	448.140	0 441.08	0.9583	0.072
0.6429	8.80	106.5400	57.4841	0.000	0 000.00	1.0000	0.060

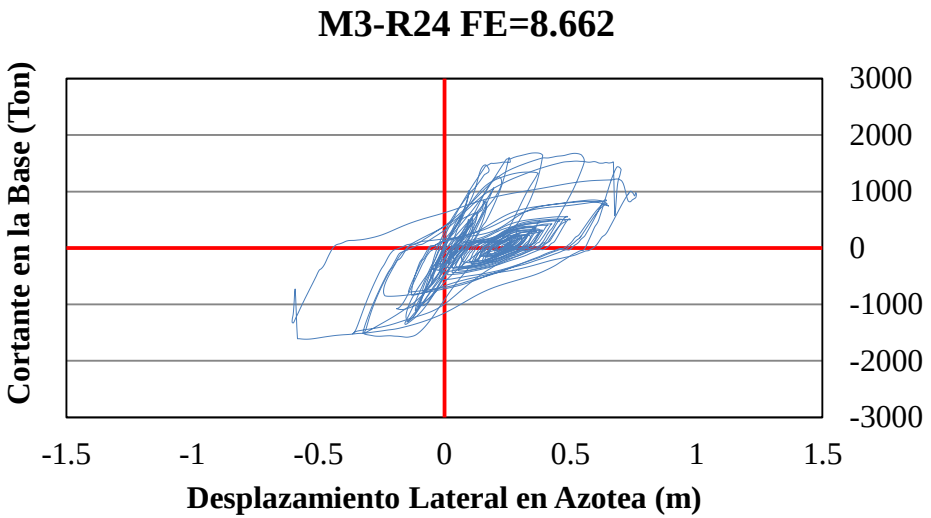

M3-R24 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.6819
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

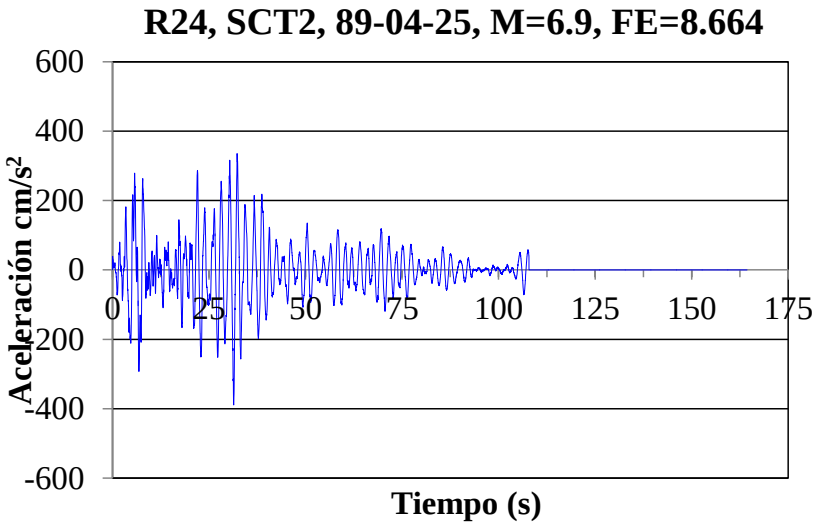

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

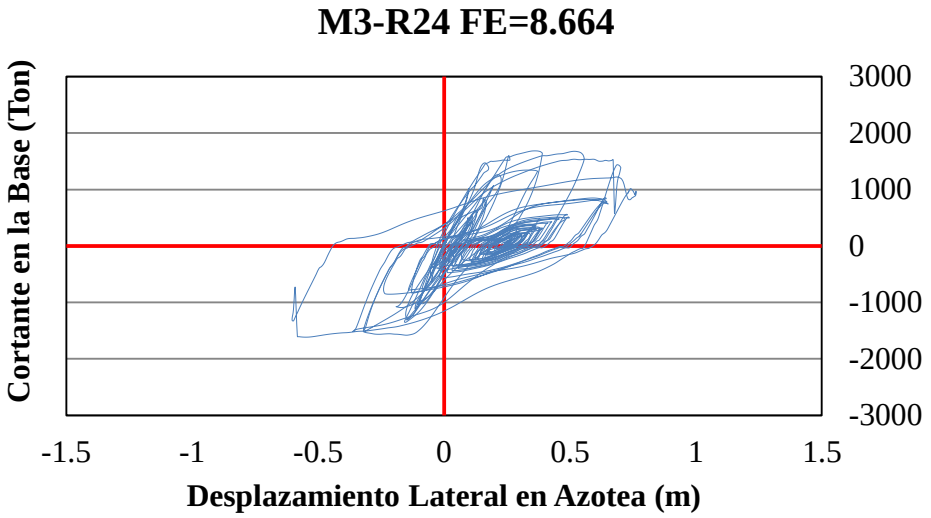

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.66
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

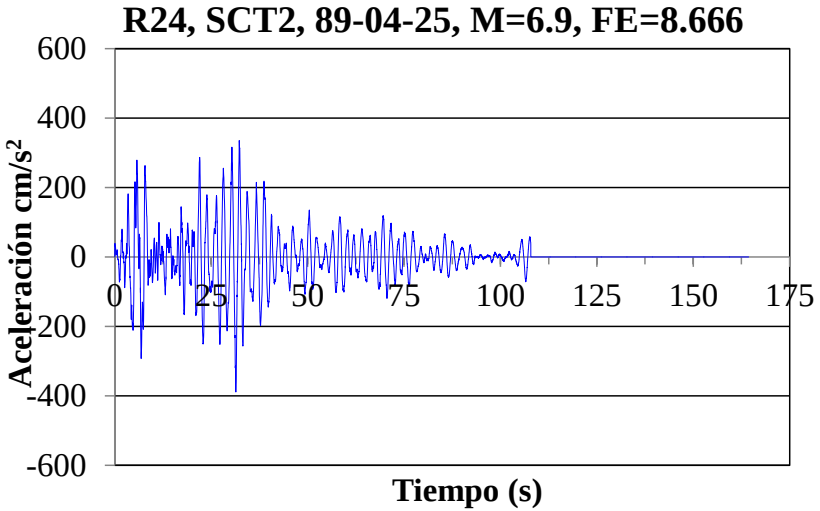

M3-R24 FE=8.66
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

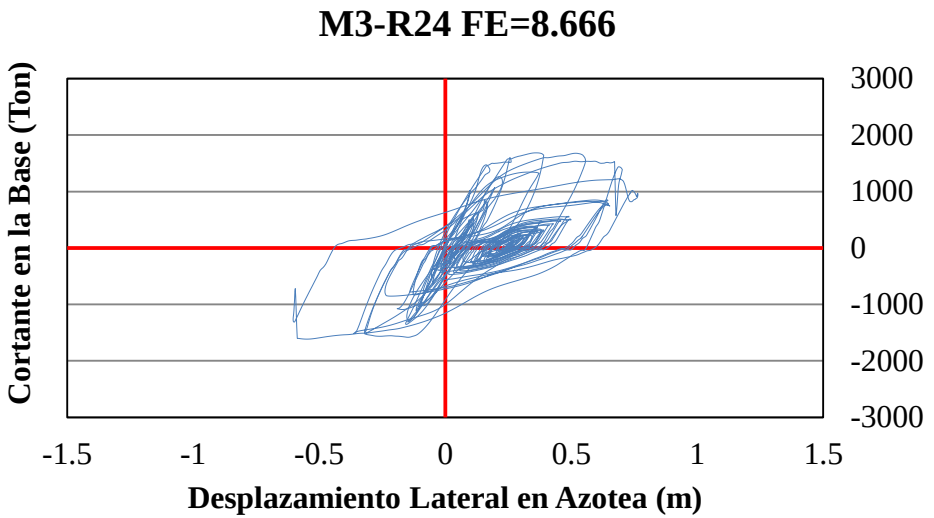

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.662
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

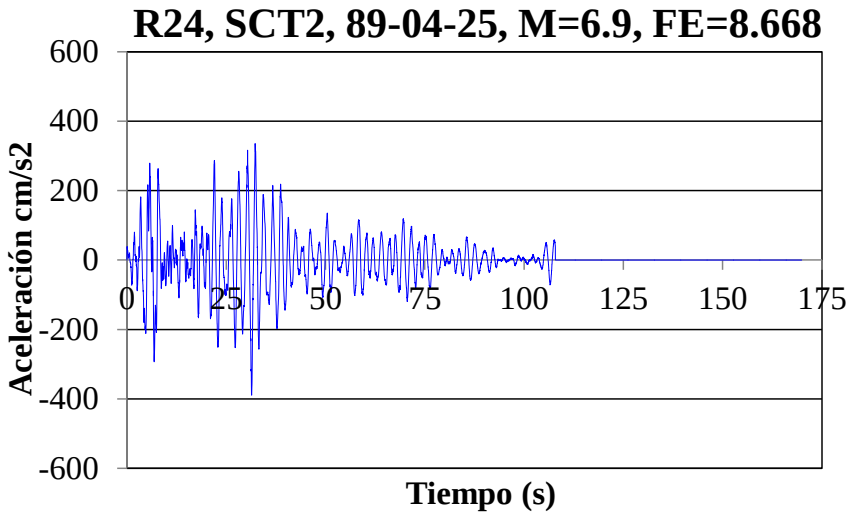

M3-R24 FE=8.662
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

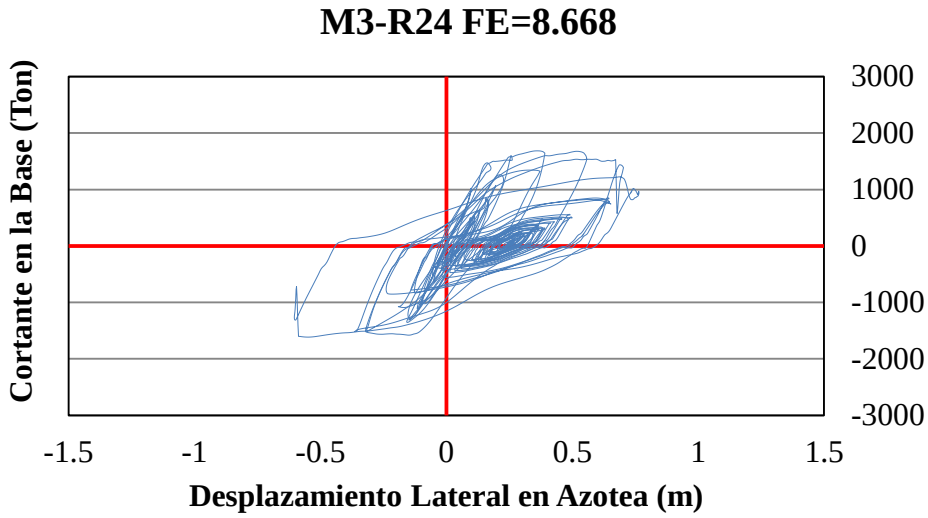

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.664
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

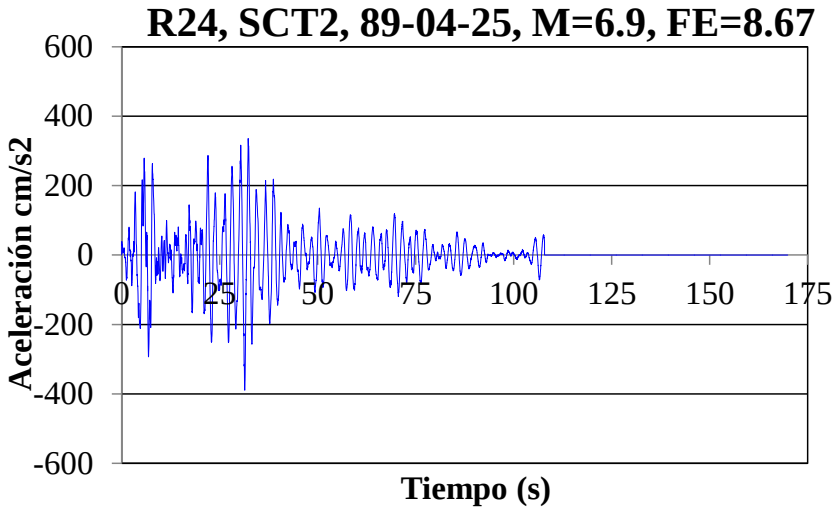

M3-R24 FE=8.664
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

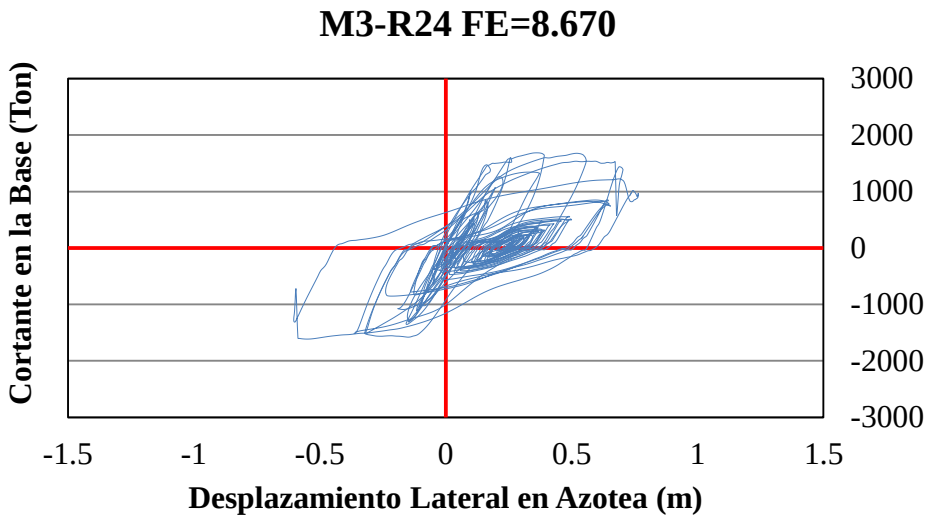

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.666
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

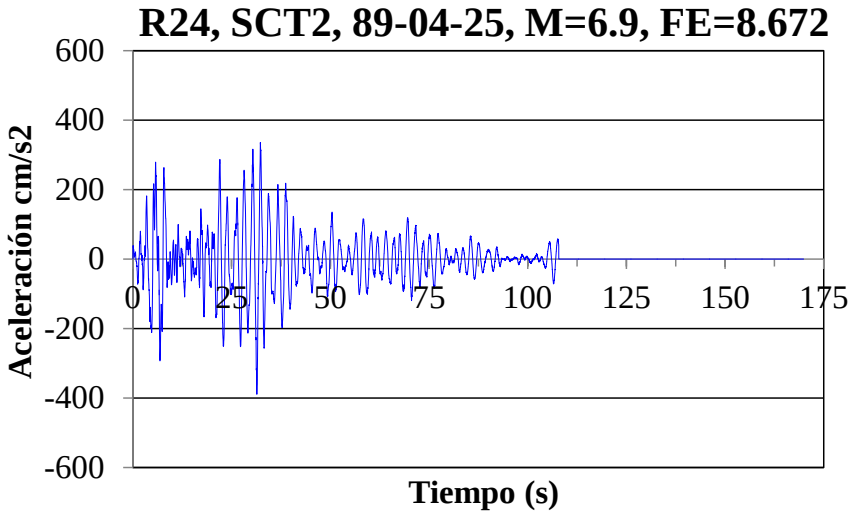

M3-R24 FE=8.666
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

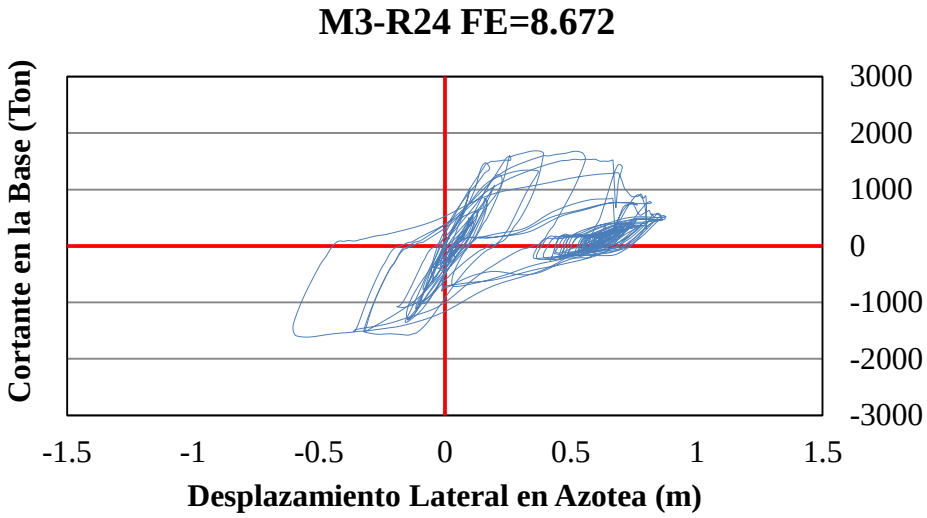

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.668
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

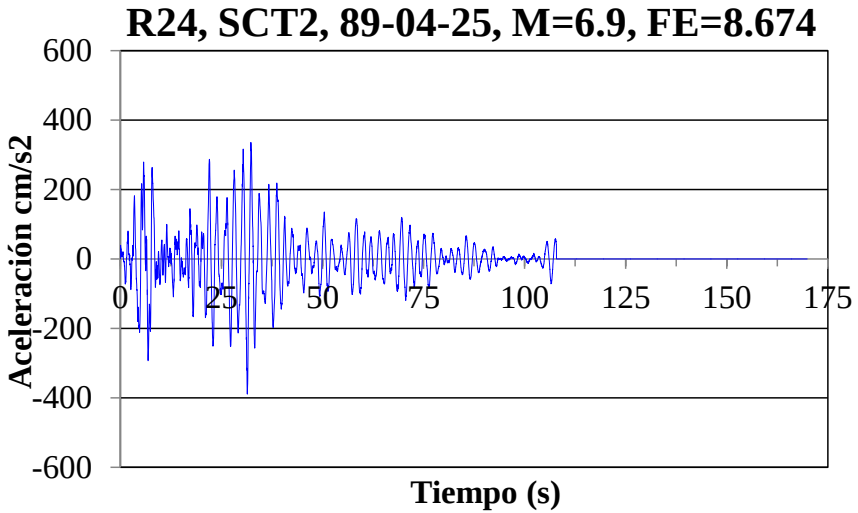

M3-R24 FE=8.668
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

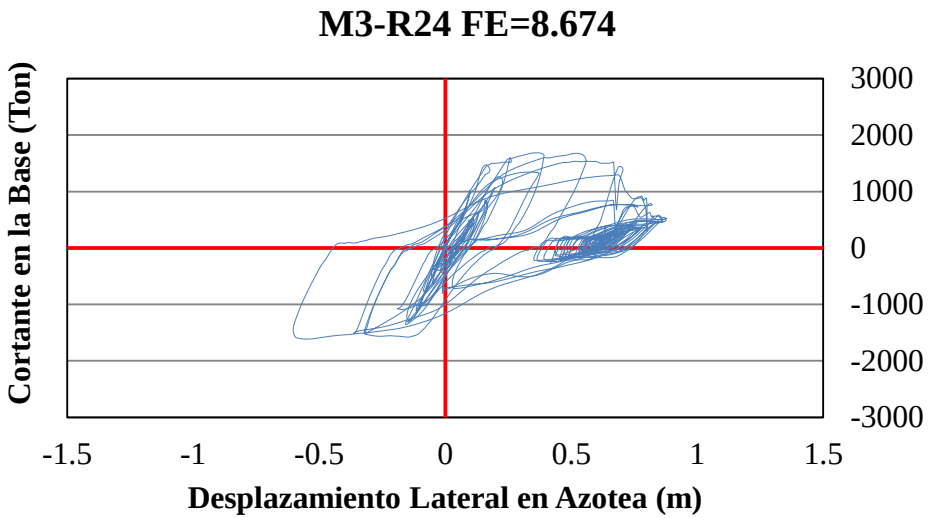

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.67
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

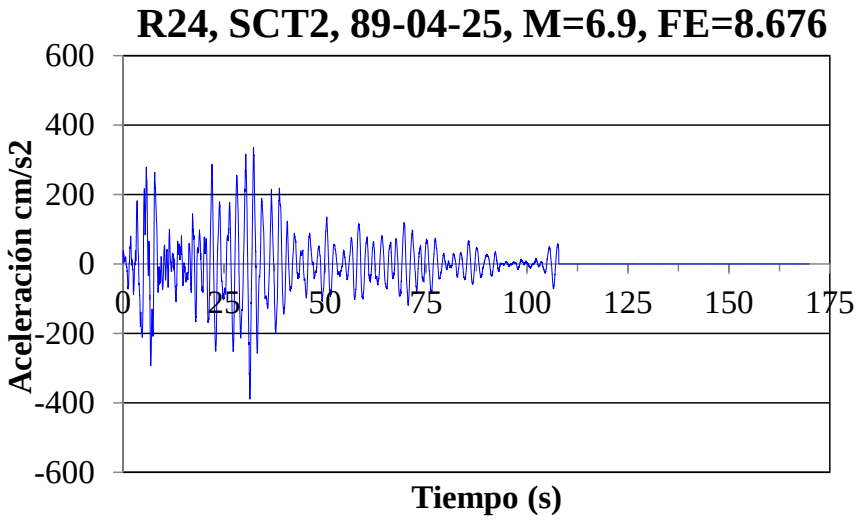

M3-R24 FE=8.670
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

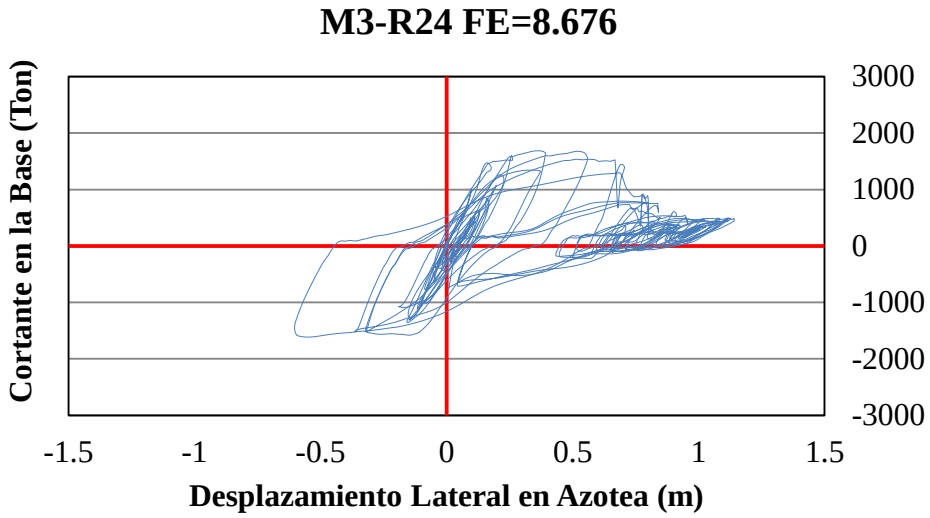

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.672
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

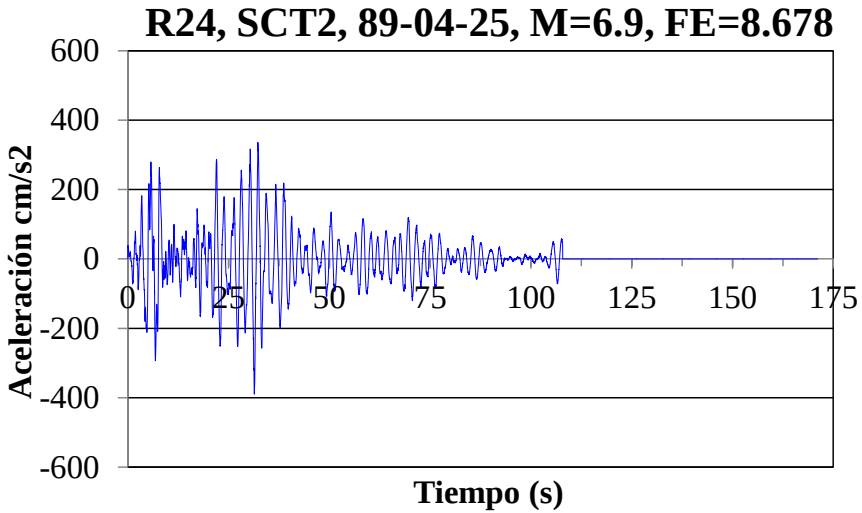

M3-R24 FE=8.672
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

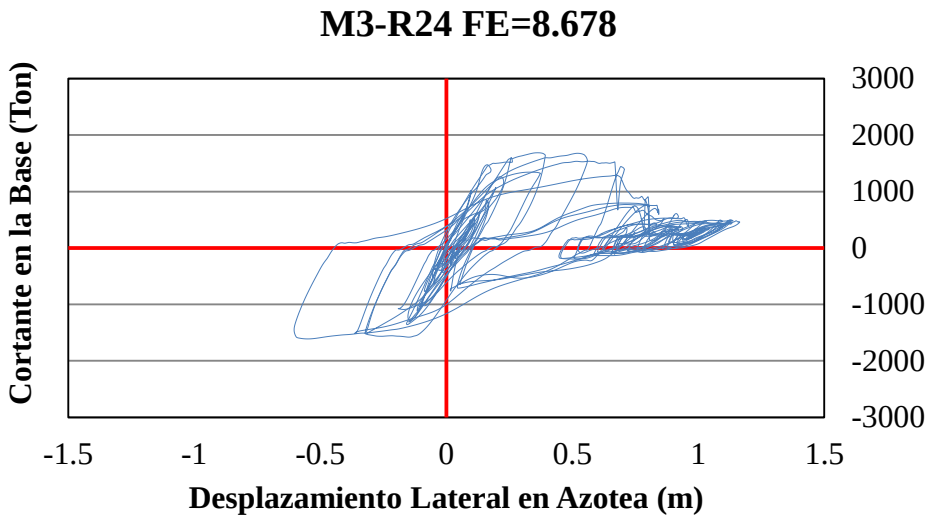

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.674
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

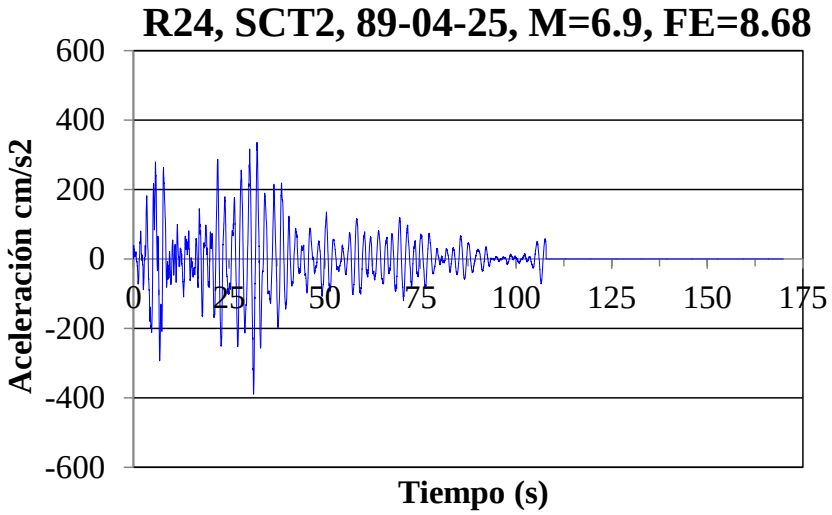

M3-R24 FE=8.674
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

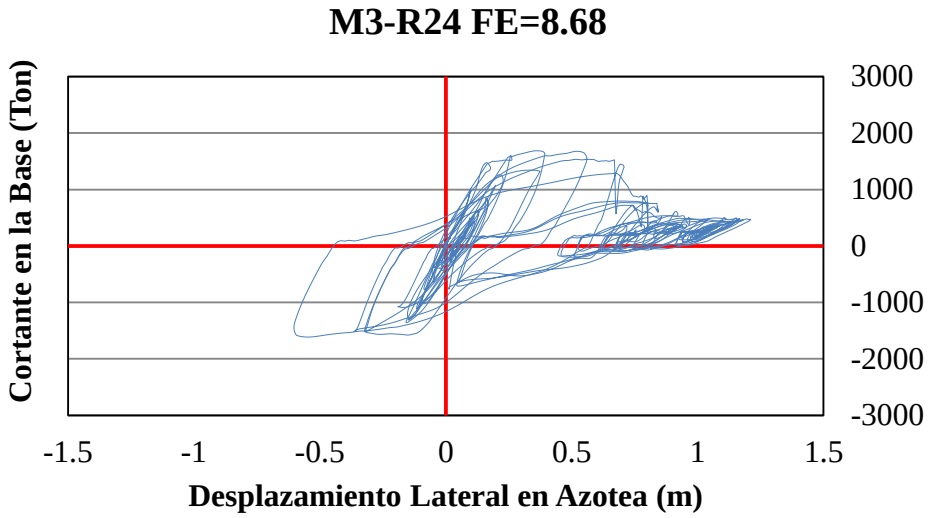

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.676
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

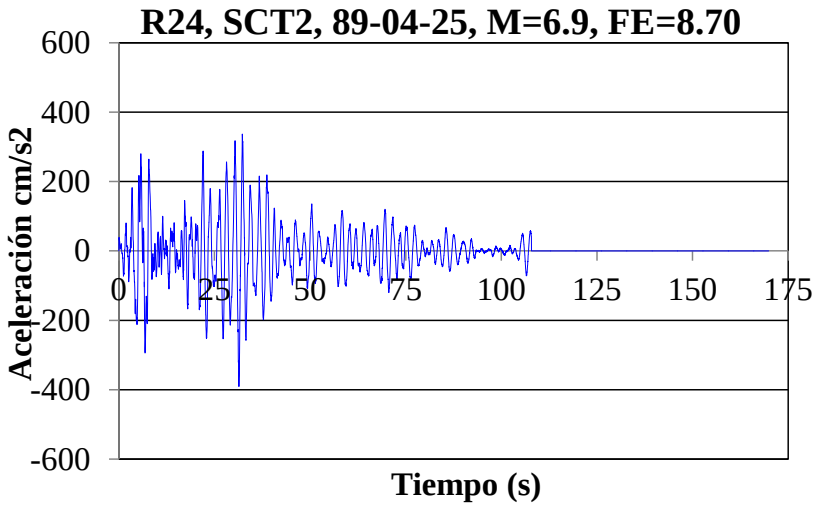

M3-R24 FE=8.676
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

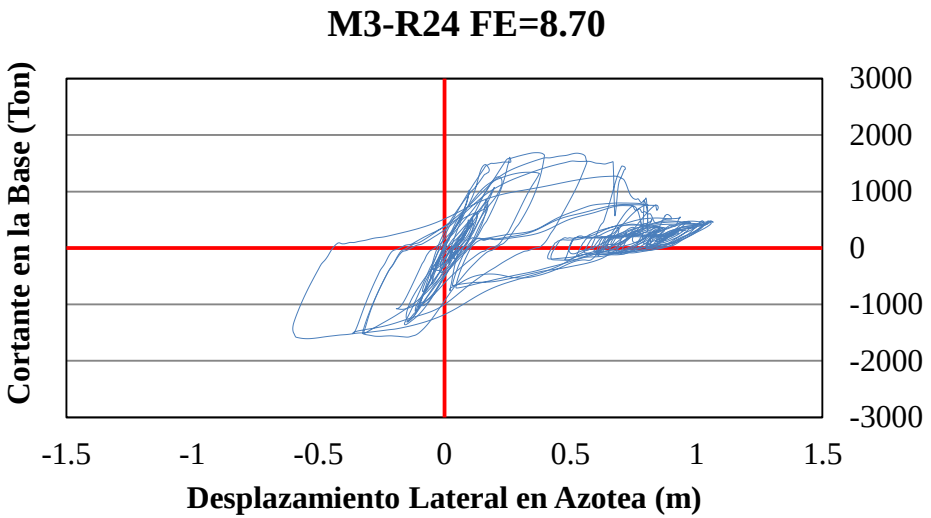

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.678
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

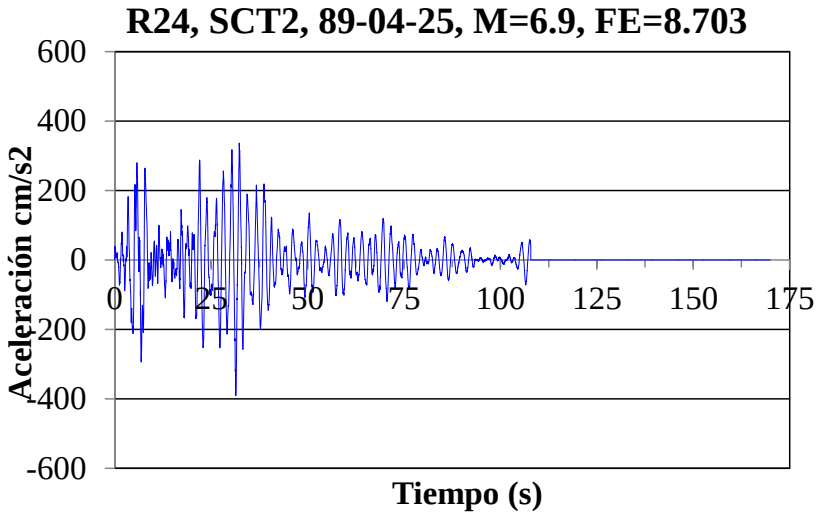

M3-R24 FE=8.678
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

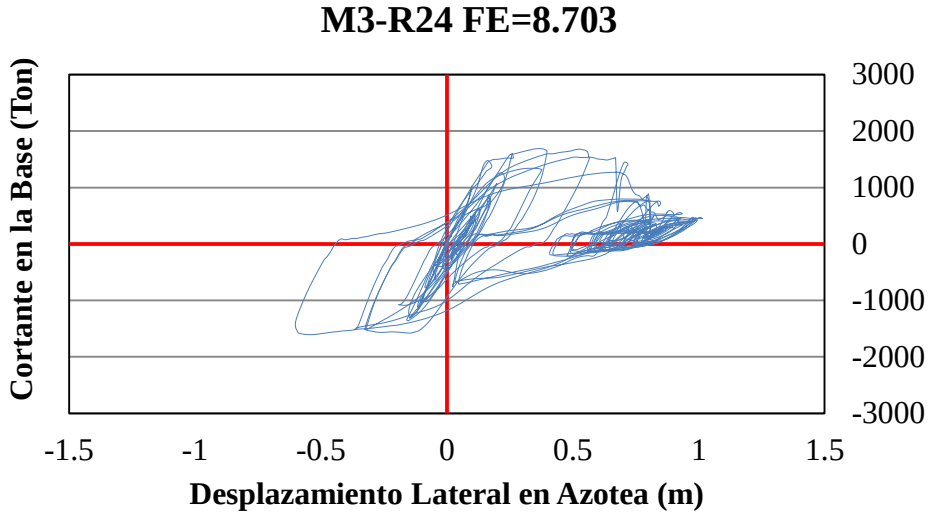

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.68
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

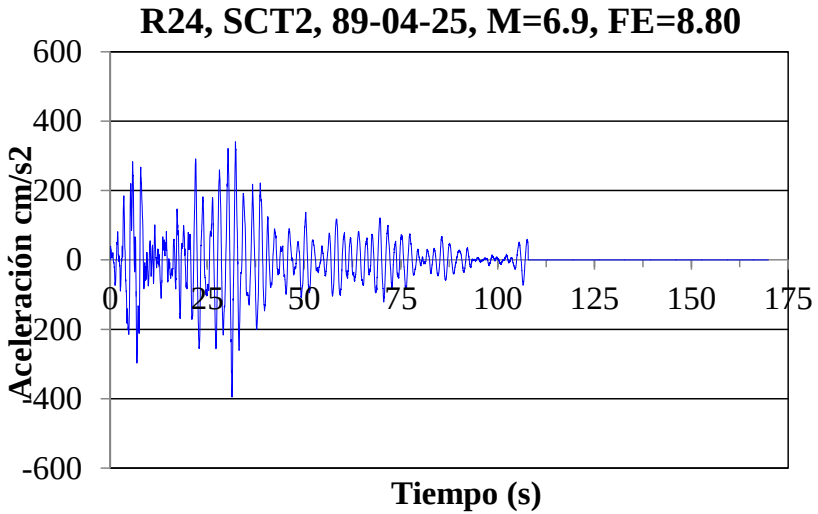

M3-R24 FE=8.68
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

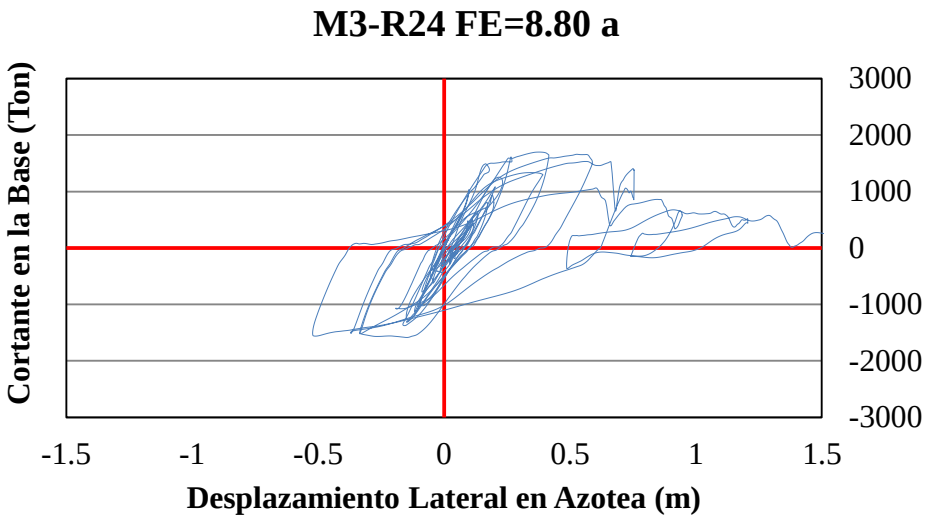

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

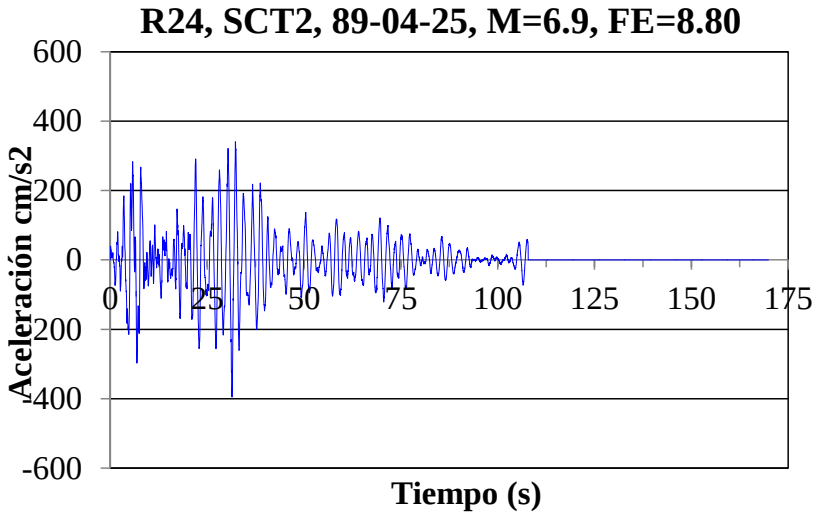

M3-R24 FE=8.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

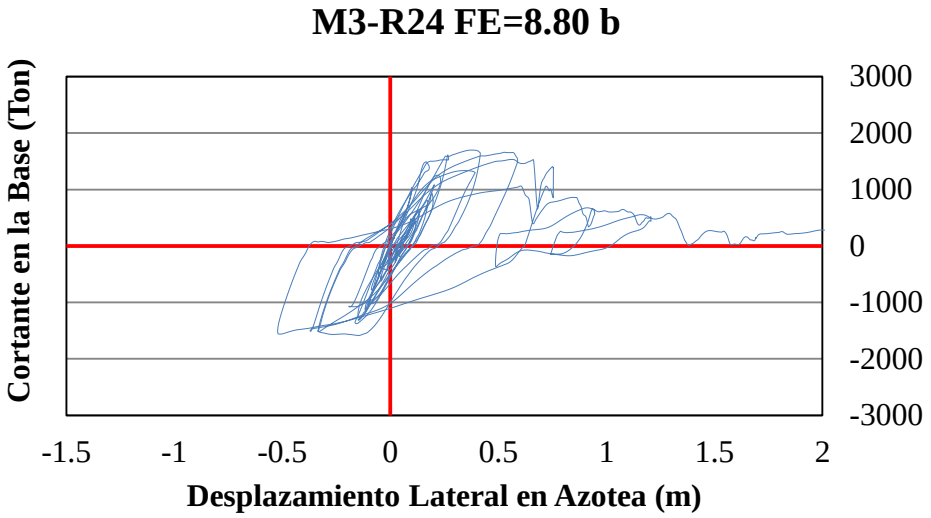

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.703
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

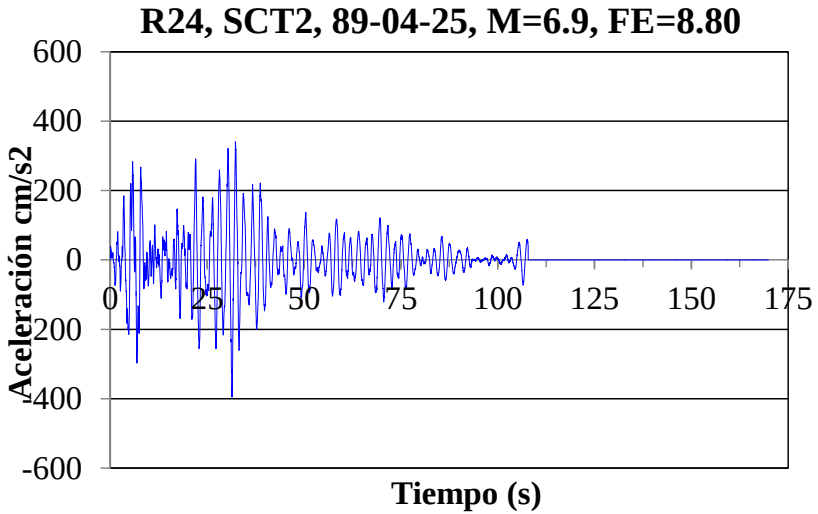

M3-R24 FE=8.703
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

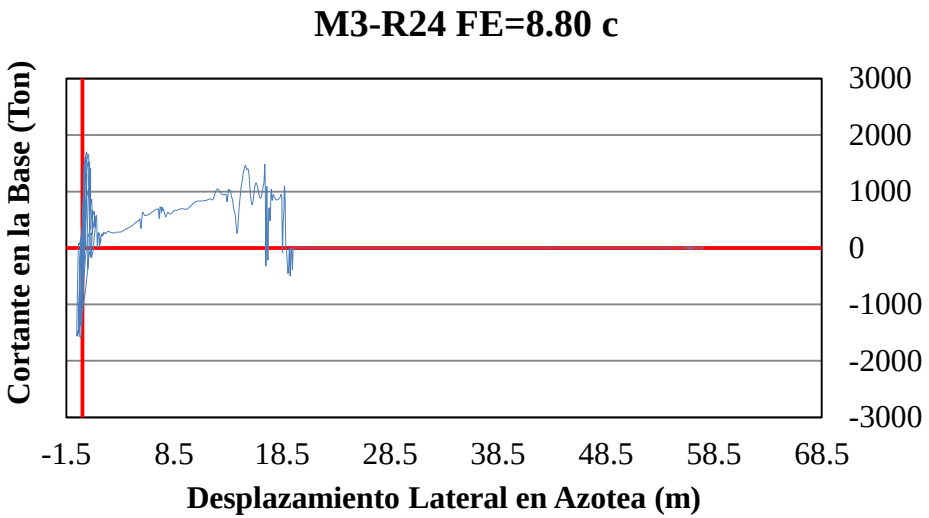

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R24 FE=8.80 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R24 FE=8.80 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

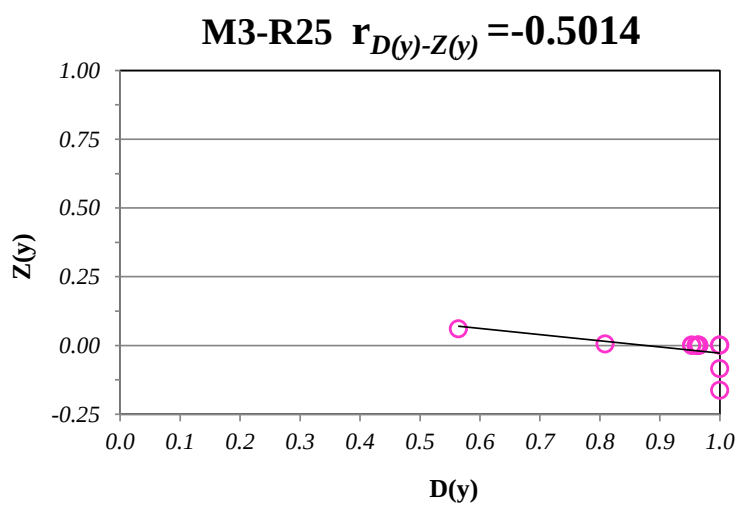

R24, SCT2, 89-04-25, M=6.9, FE=8.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

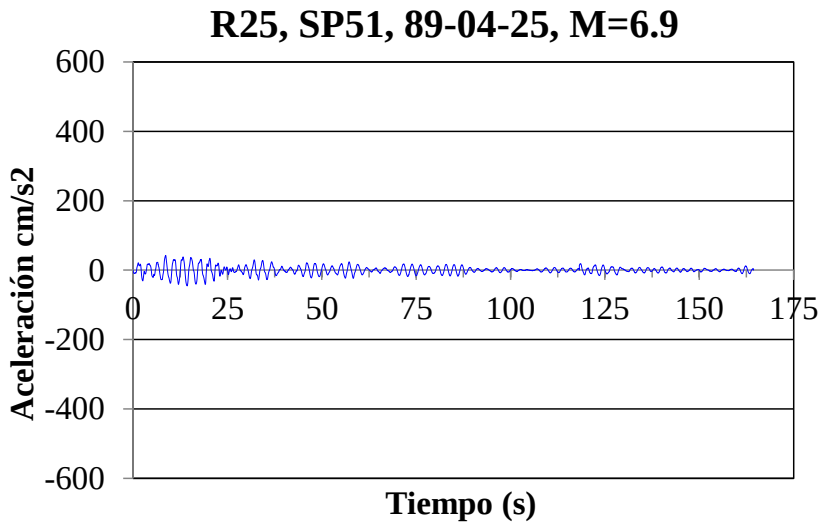

M3-R24 FE=8.80 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
8.5
18.5
28.5
38.5
48.5
58.5
68.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

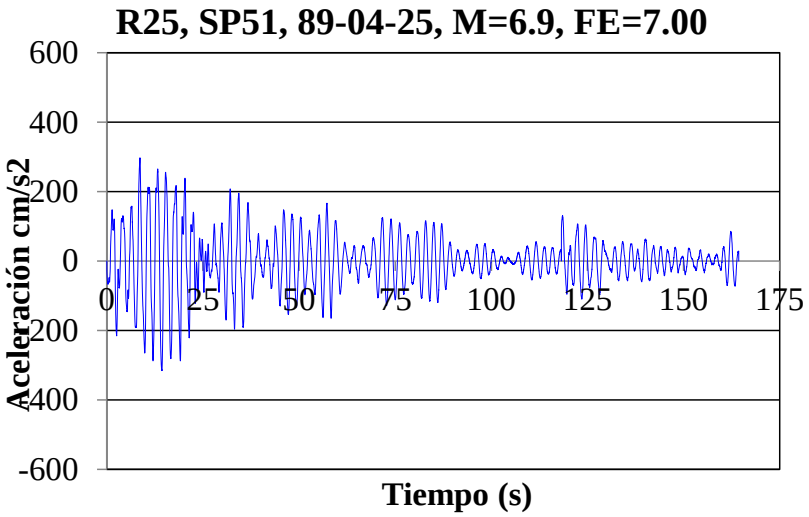
M3-R25

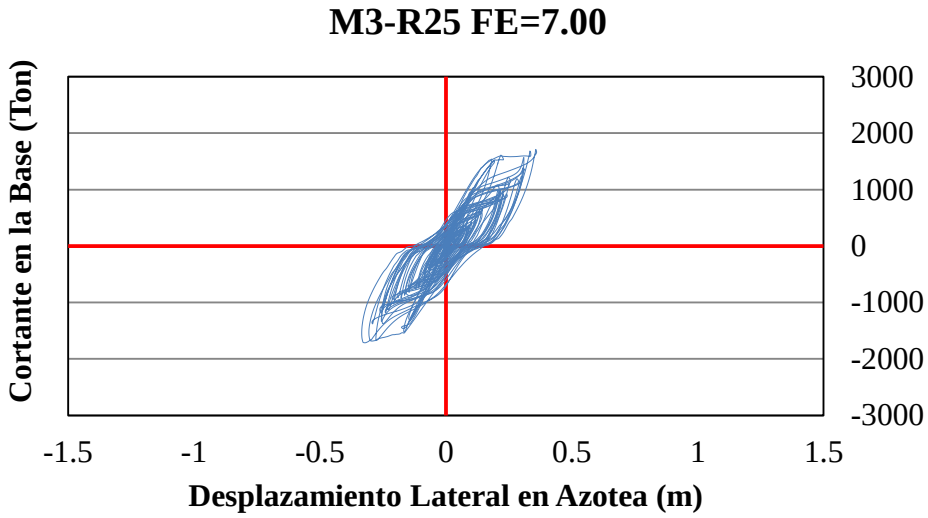
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.86**	**10 586.41**	**0.078**	**-0.5014**

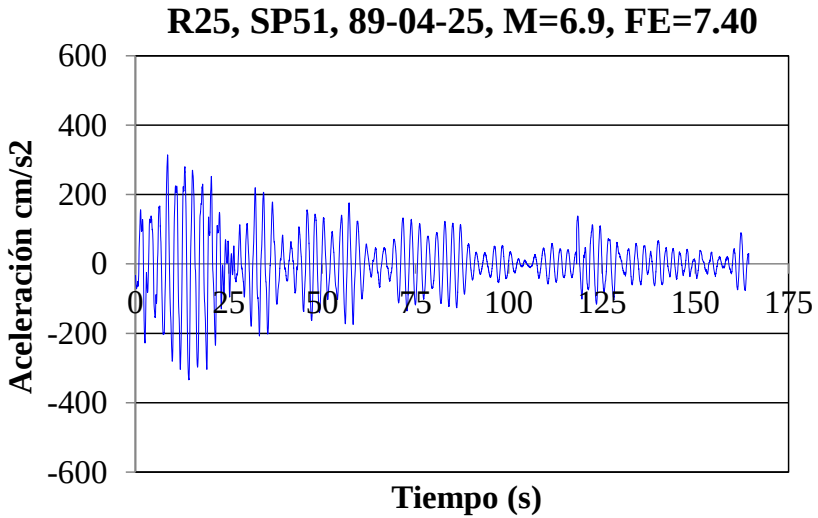
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.5432	7.00	18.0200	0.3603	1661.776	4 612.20	0.5643	0.229
0.5743	7.40	19.5500	0.6940	-1405.759	2 025.59	0.8087	0.173
0.5766	7.43	86.9400	0.8777	-438.745	0 499.88	0.9528	0.169
0.5767	7.431	86.9500	0.9011	-338.038	0 375.14	0.9646	0.169
0.5768	7.432	118.2000	298.9093	-0.002	0 000.00	1.0000	0.169
0.5768	7.433	118.2000	251.6631	0.000	0 000.00	1.0000	0.169
0.5769	7.434	86.9500	0.9038	-333.640	0 369.15	0.9651	0.169
0.5770	7.435	86.9400	0.8782	-431.579	0 491.44	0.9536	0.169
0.5771	7.436	86.9600	0.9075	-378.593	0 417.18	0.9606	0.169
0.5771	7.437	86.9700	0.9125	-356.601	0 390.80	0.9631	0.168
0.5772	7.438	86.9600	0.9057	-339.815	0 375.20	0.9646	0.168
0.5773	7.439	86.9700	0.9097	-358.112	0 393.66	0.9628	0.168
0.6279	8.09	71.5800	438.9122	0.002	0 000.00	1.0000	0.084
0.6795	8.76	111.6300	250.3056	0.000	0 000.00	1.0000	0.005

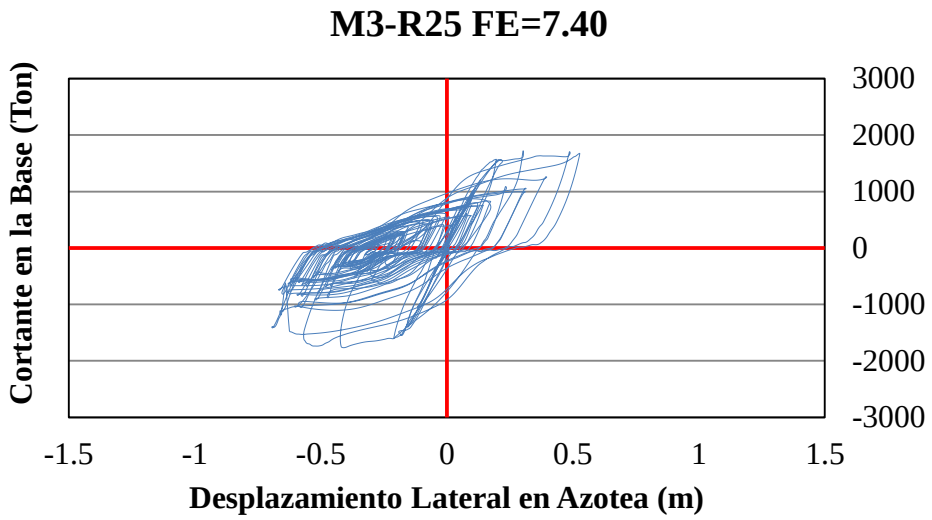

M3-R25 r D(y)-Z(y) =-0.5014
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

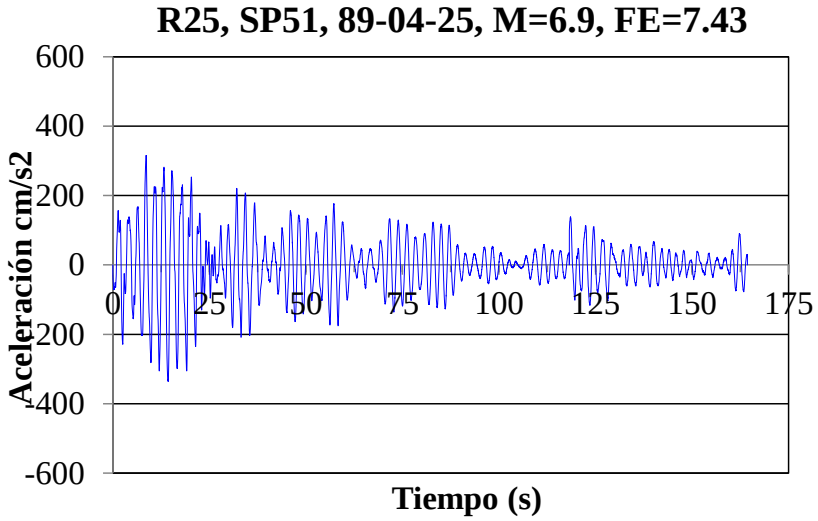

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

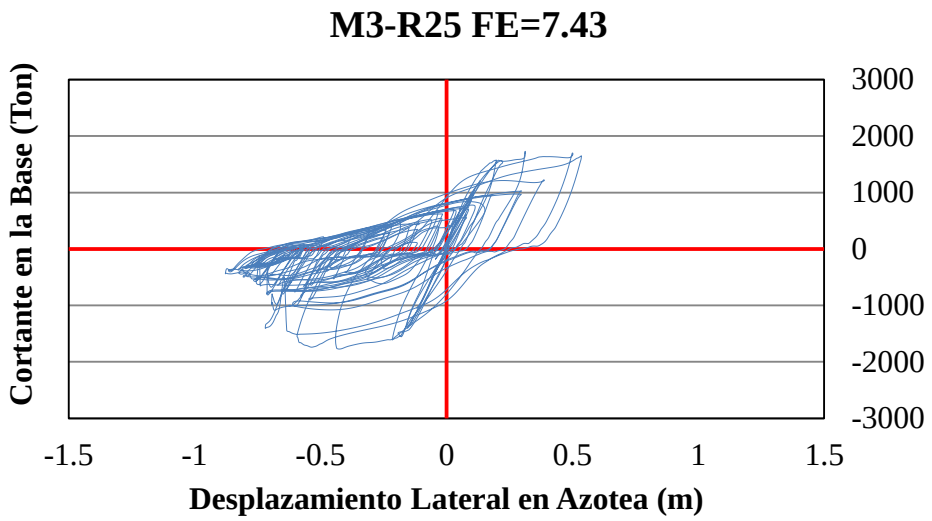

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.00
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

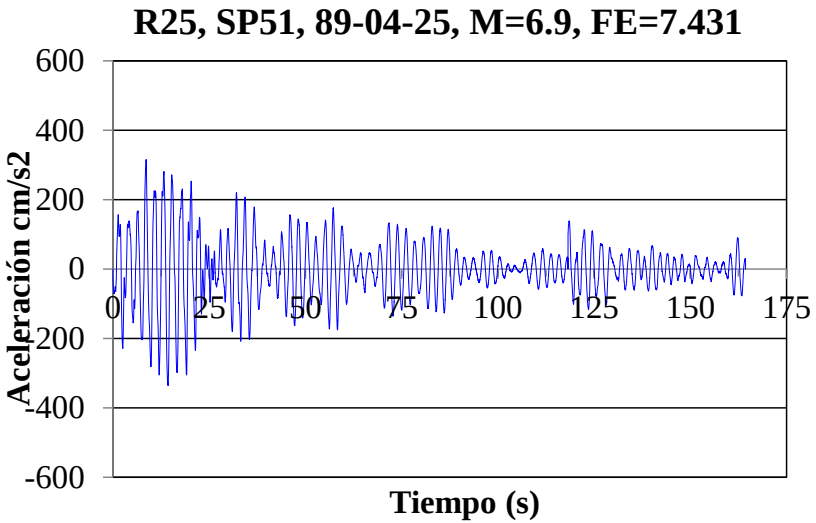

M3-R25 FE=7.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

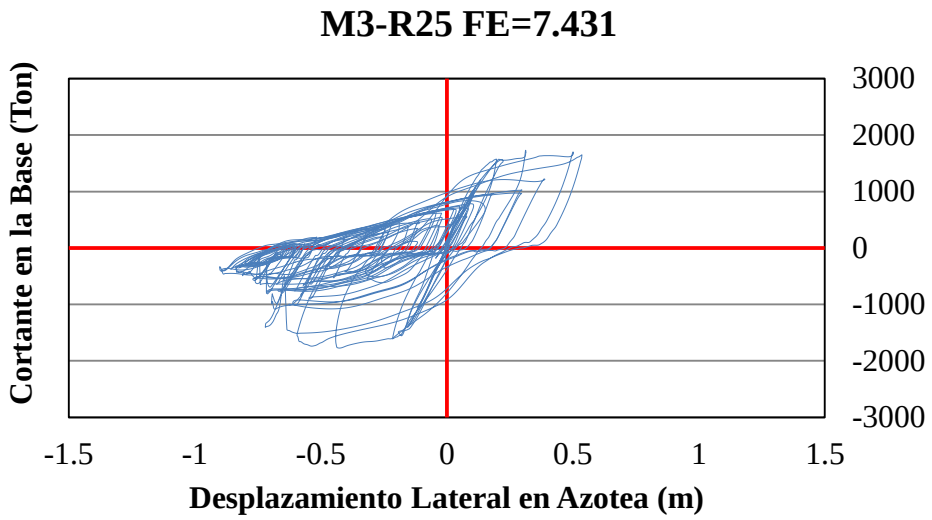

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

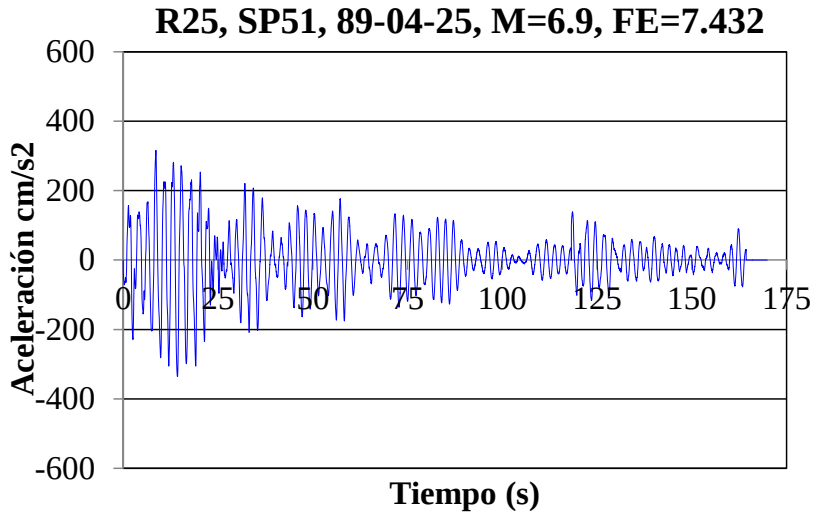

M3-R25 FE=7.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

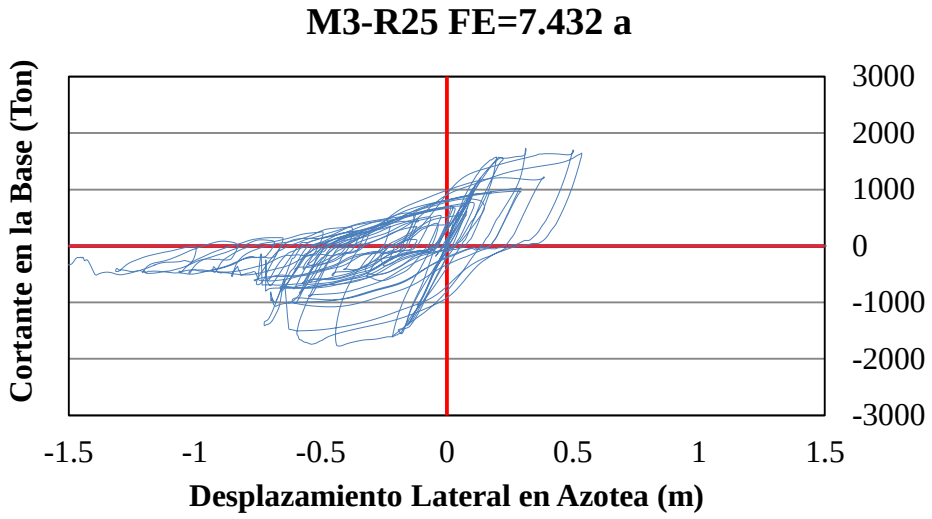

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.43
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

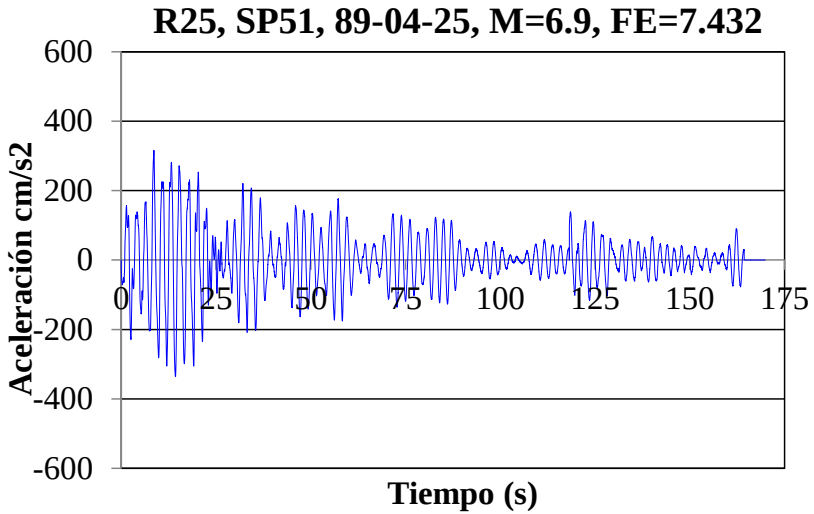

M3-R25 FE=7.43
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

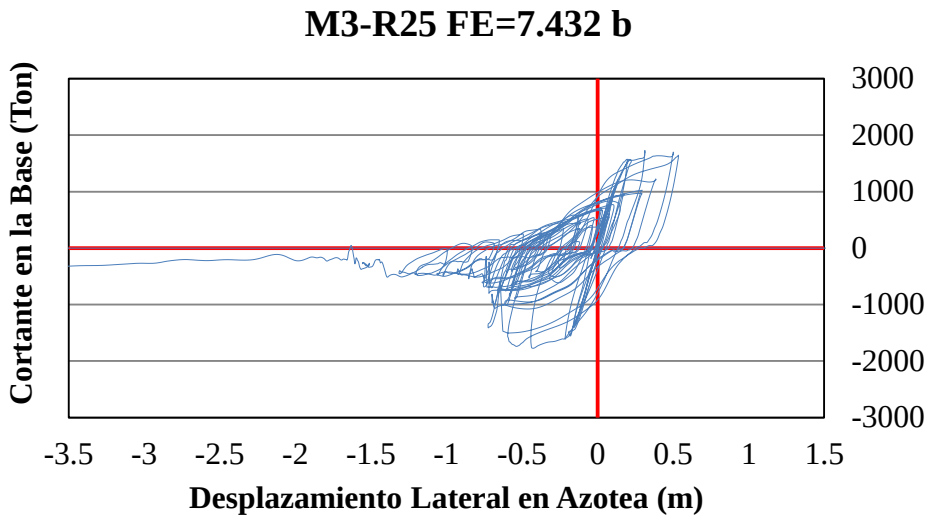

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.431
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

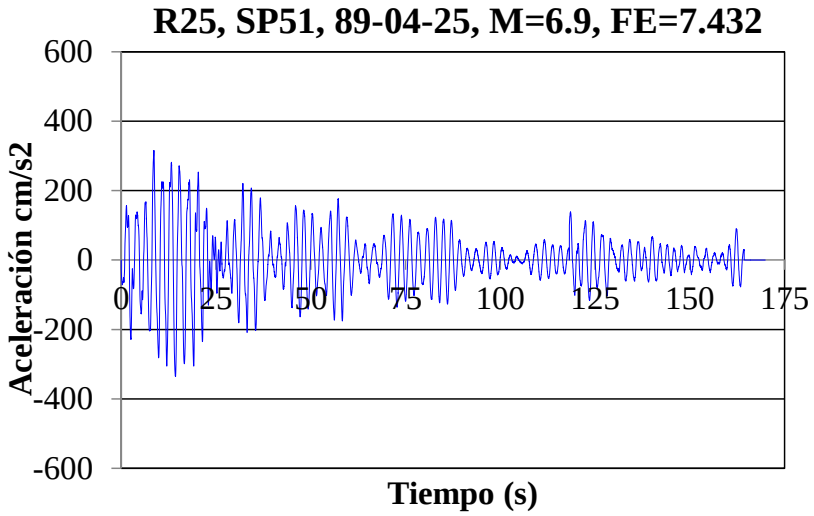

M3-R25 FE=7.431
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

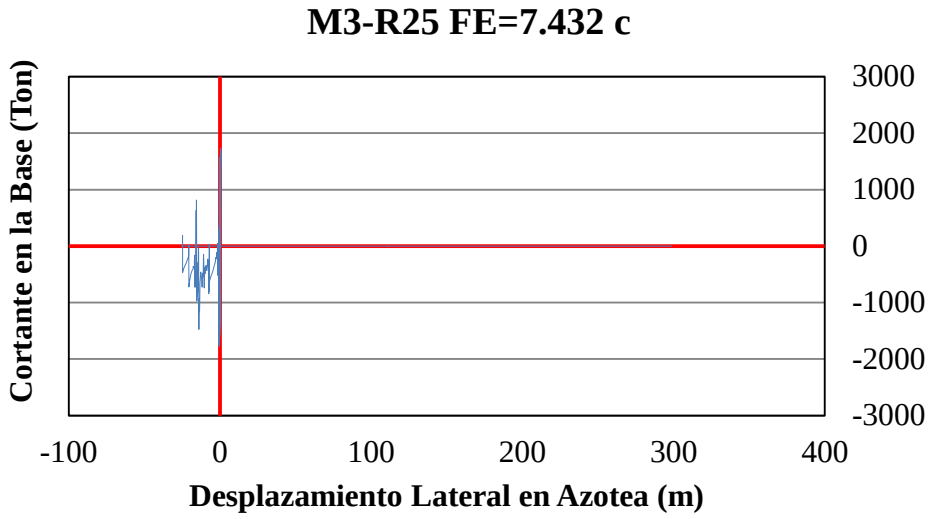

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.432
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

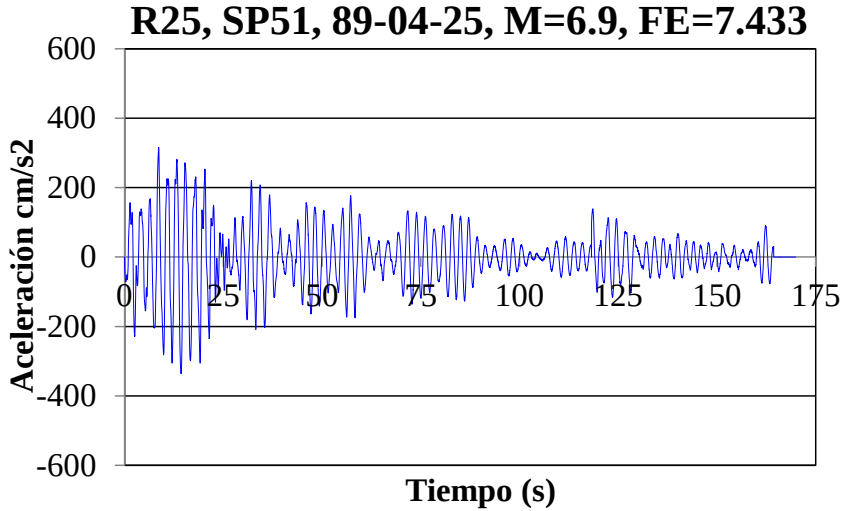

M3-R25 FE=7.432 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

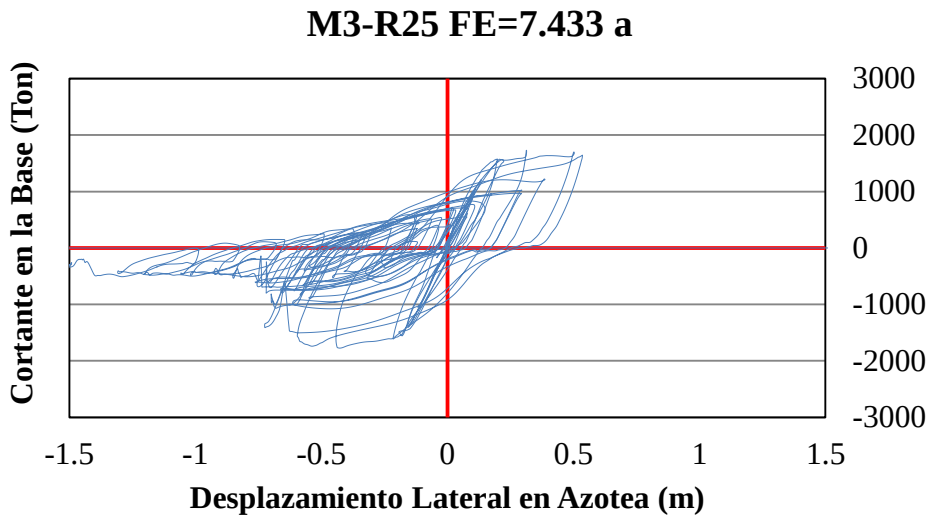

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.432
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

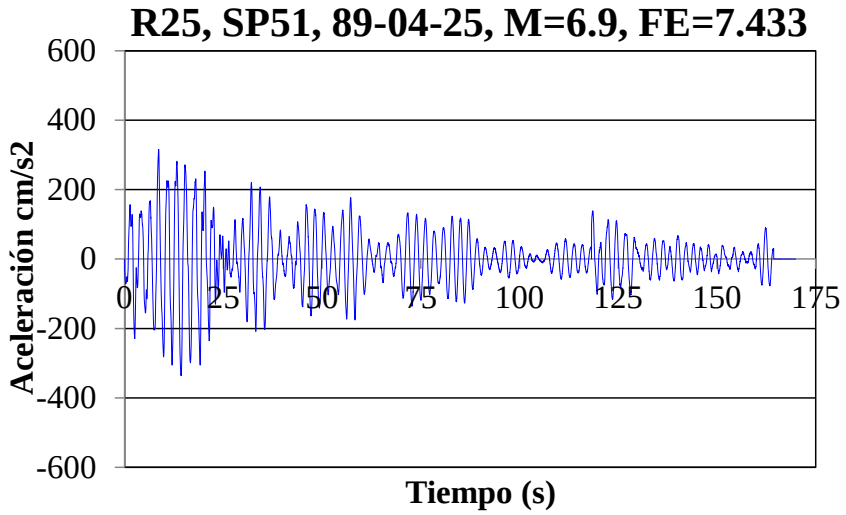

M3-R25 FE=7.432 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

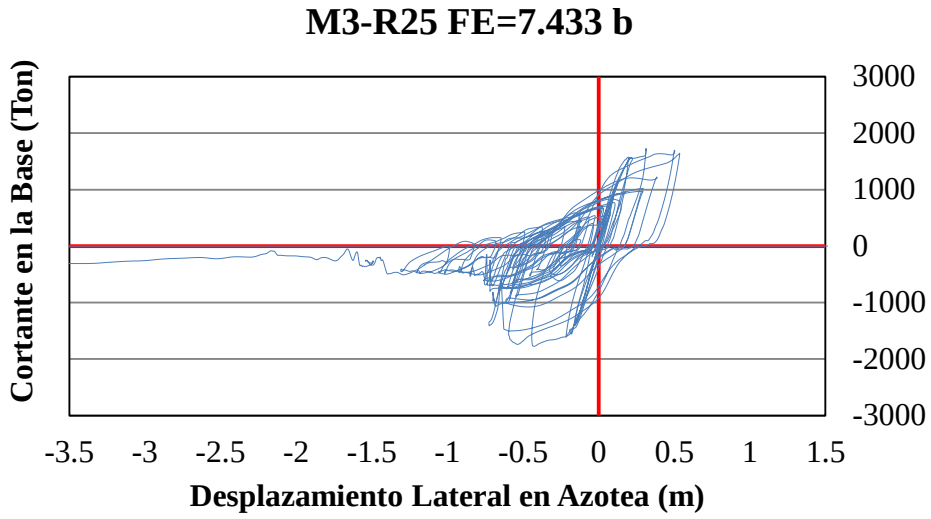

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.432
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

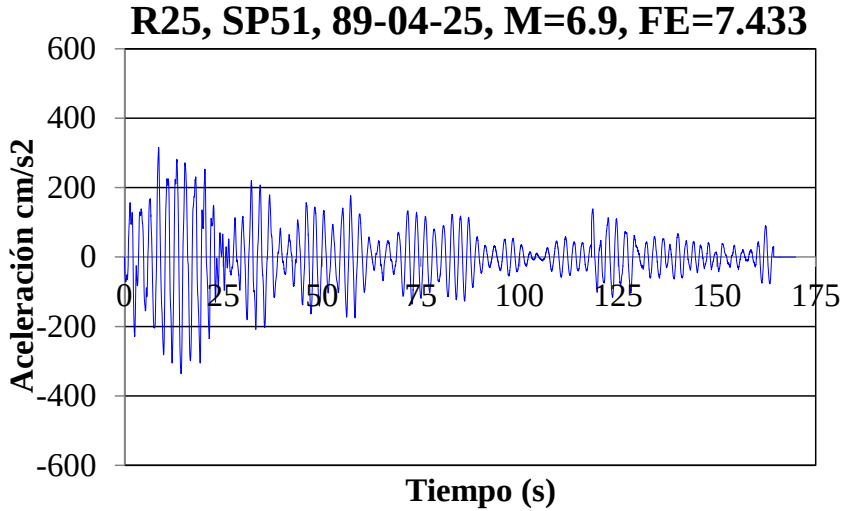

M3-R25 FE=7.432 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
0
100
200
300
400
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

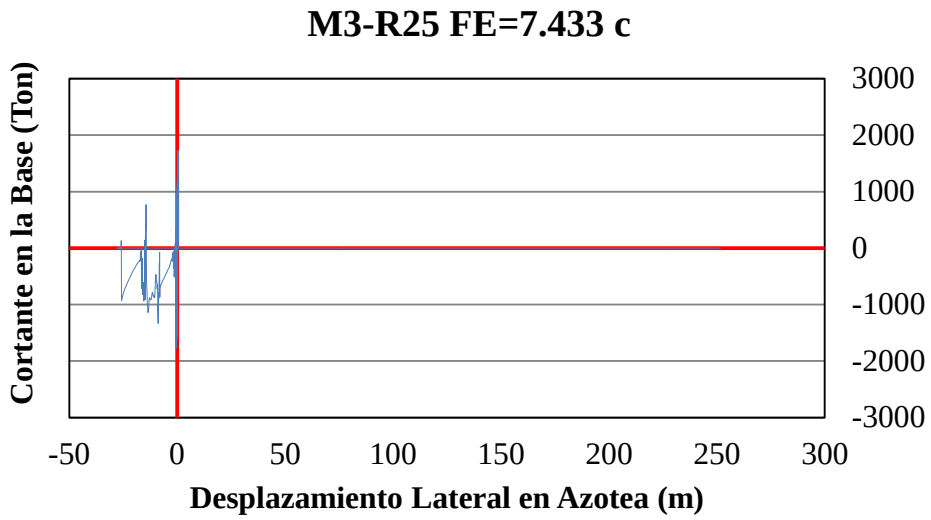

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.433
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

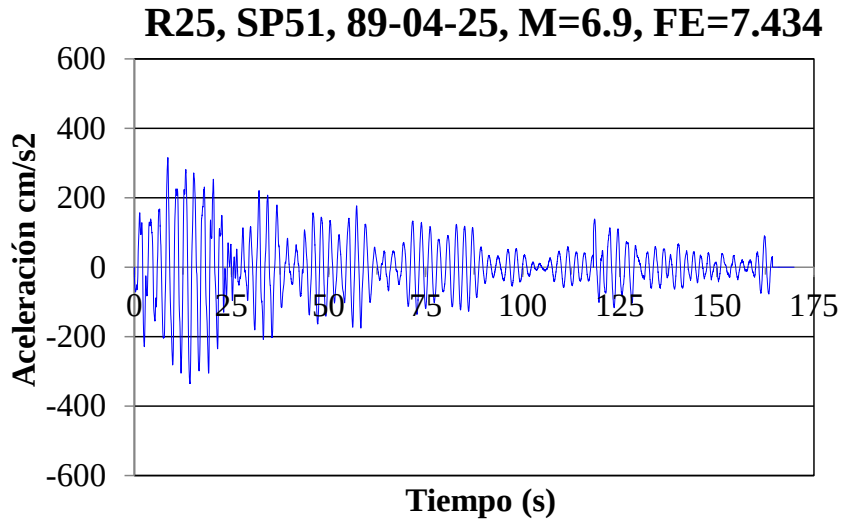

M3-R25 FE=7.433 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

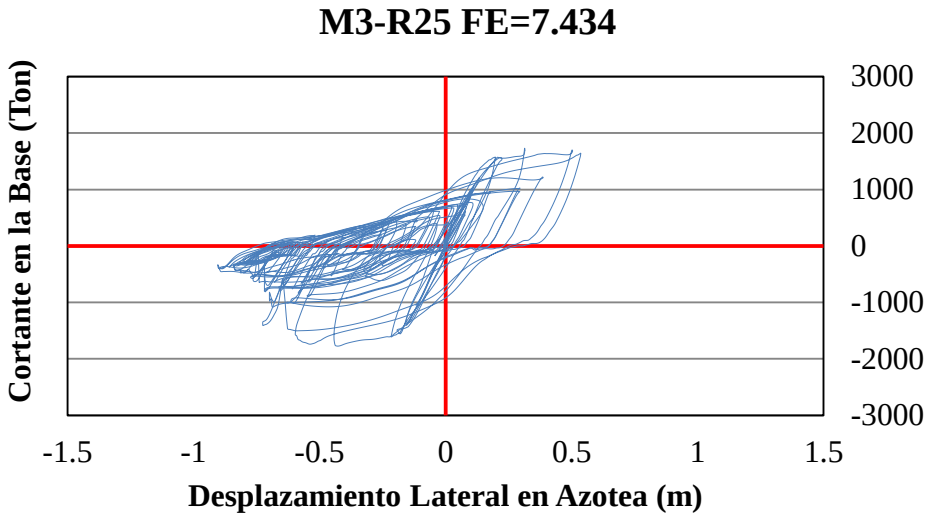

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.433
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

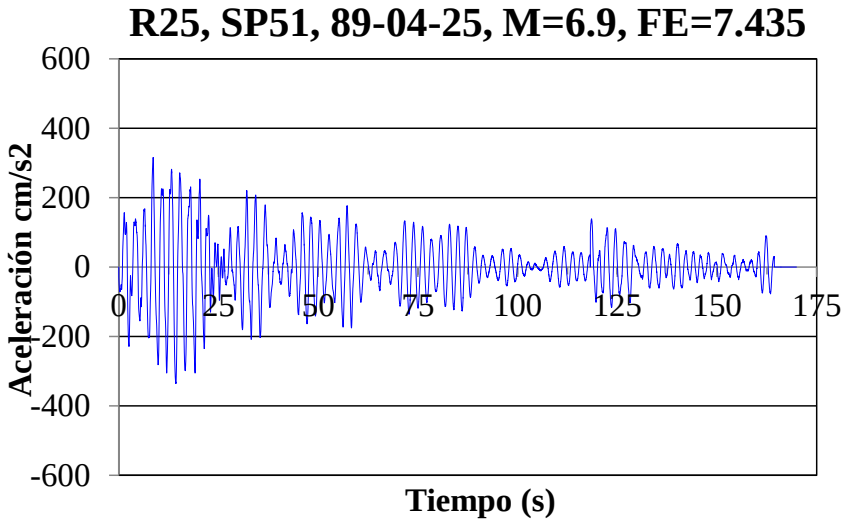

M3-R25 FE=7.433 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

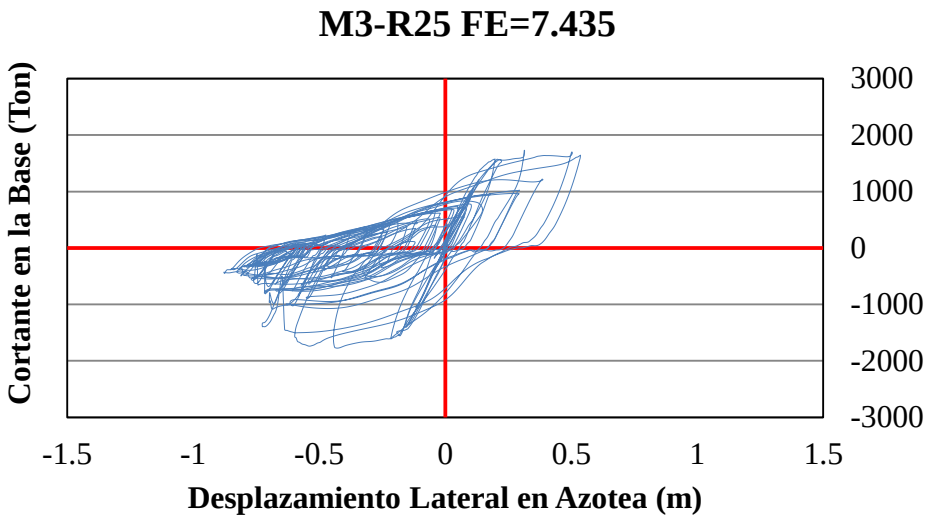

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.433
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

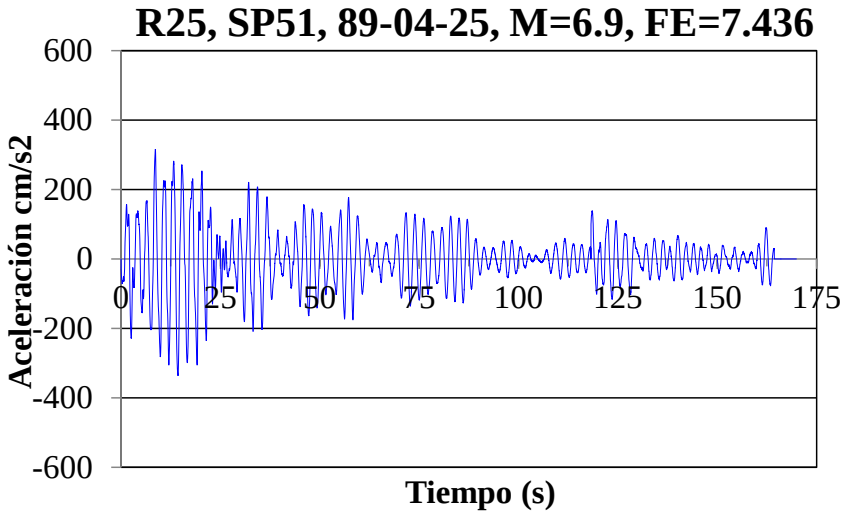

M3-R25 FE=7.433 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-50
0
50
100
150
200
250
300
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

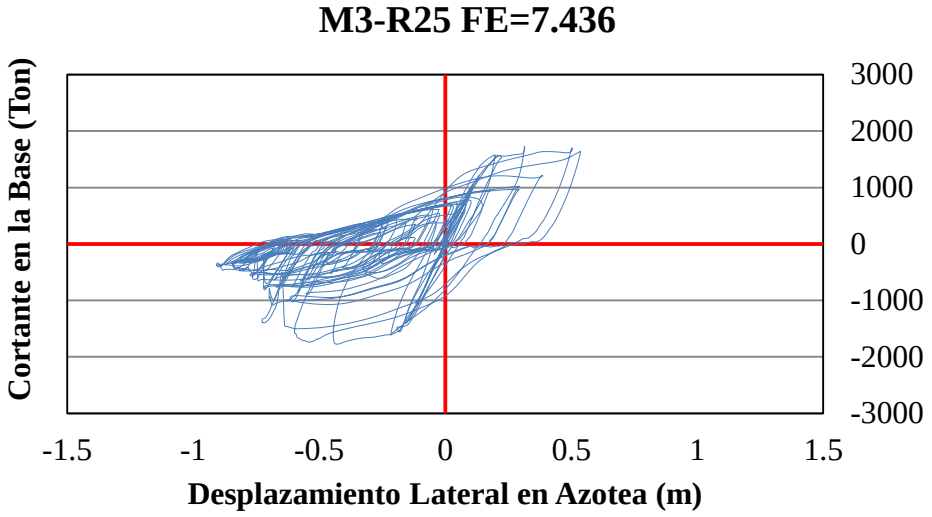

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.434
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

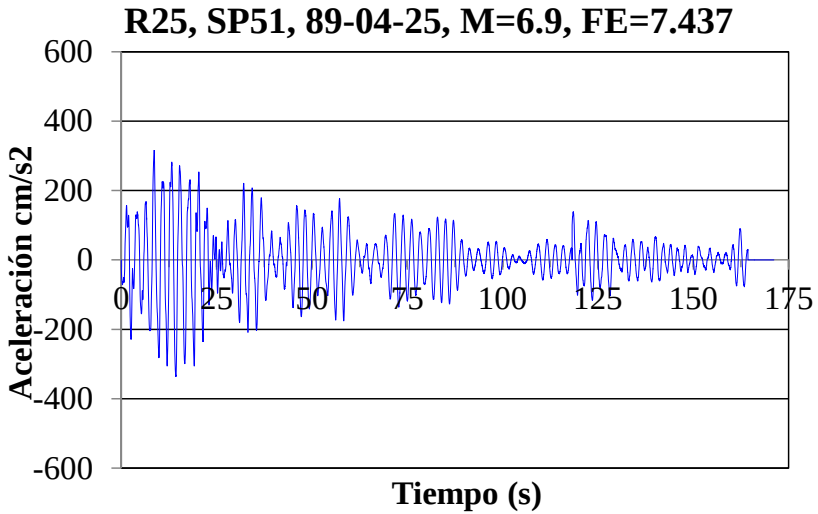

M3-R25 FE=7.434
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

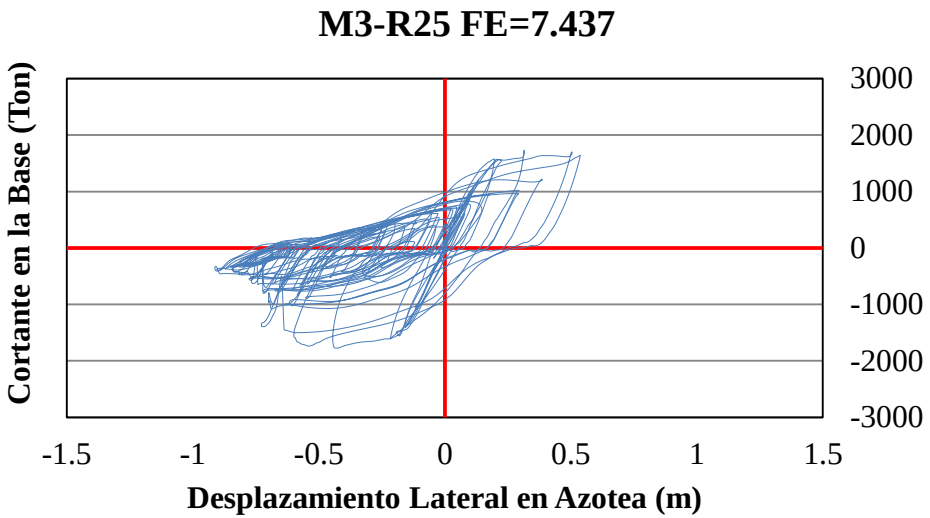

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.435
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

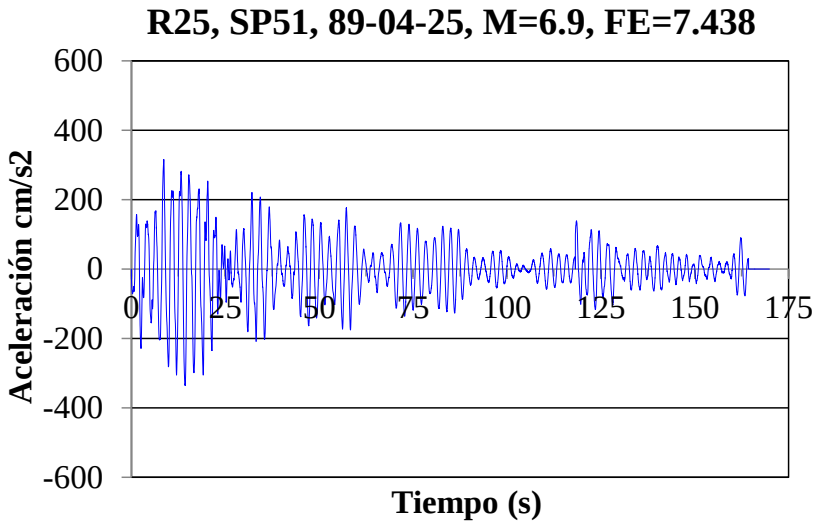

M3-R25 FE=7.435
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

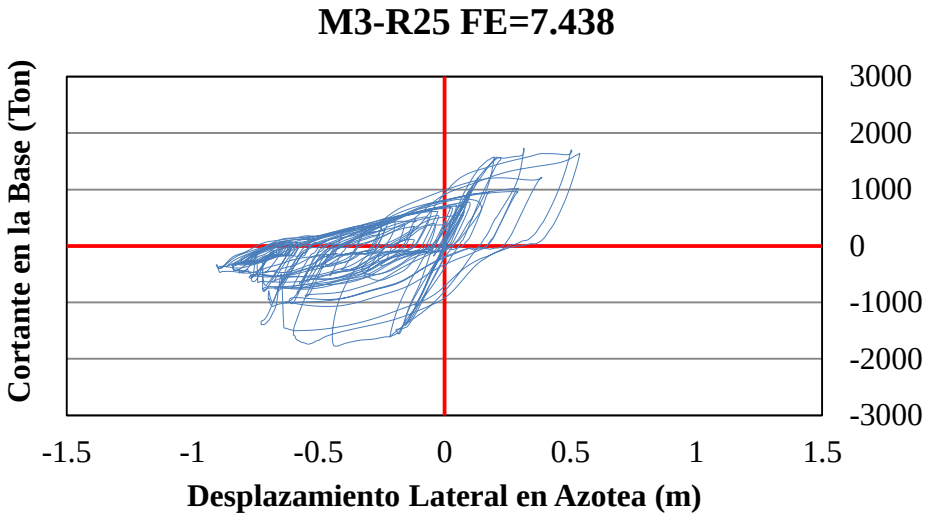

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.436
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

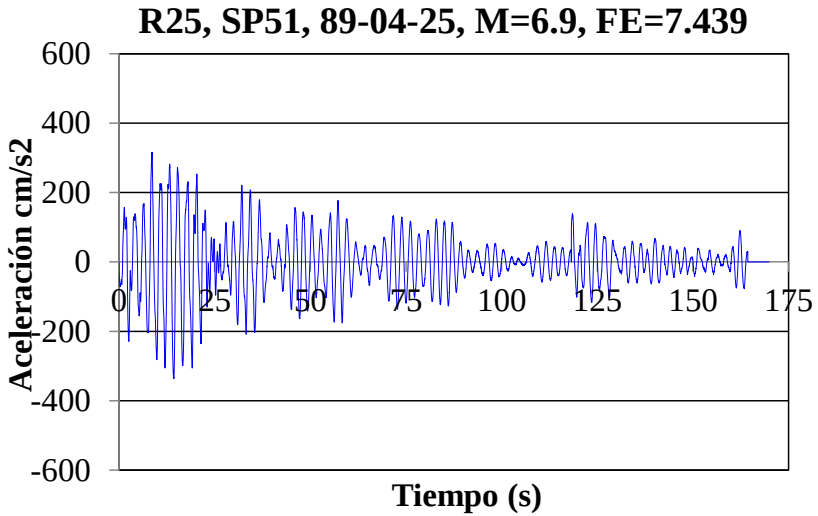

M3-R25 FE=7.436
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

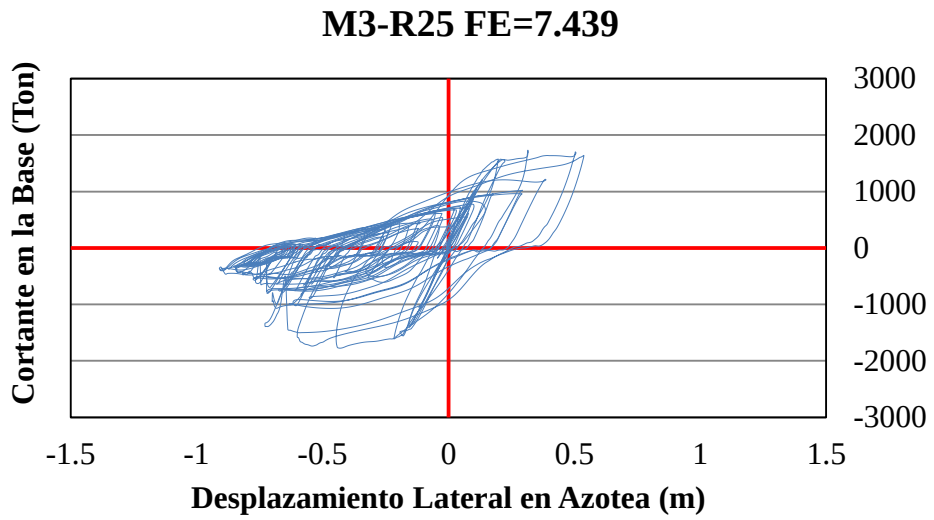

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.437
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

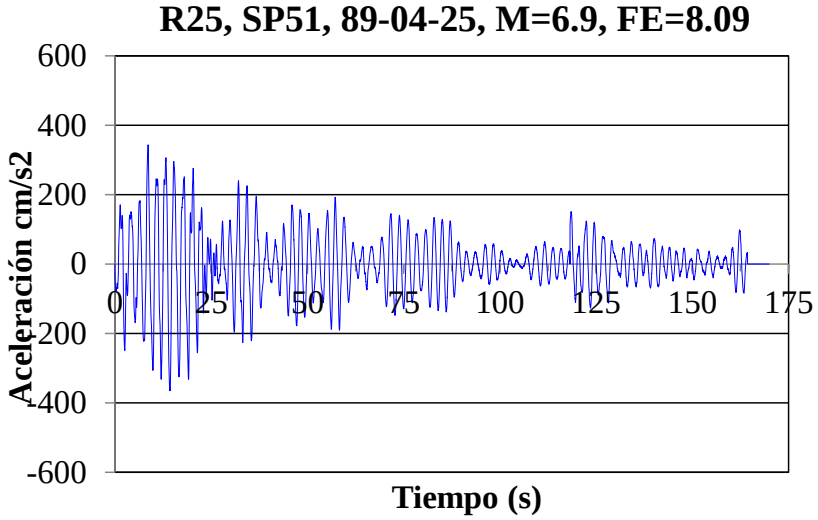

M3-R25 FE=7.437
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

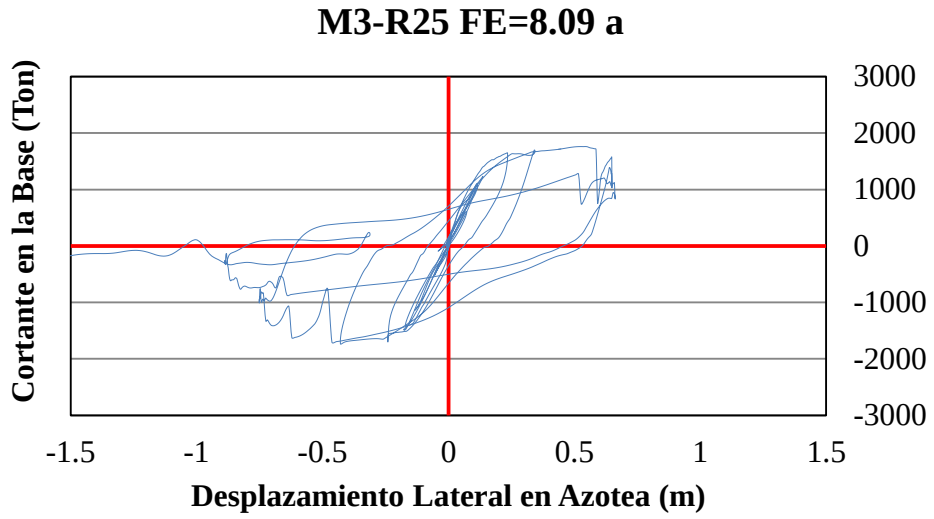

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.438
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

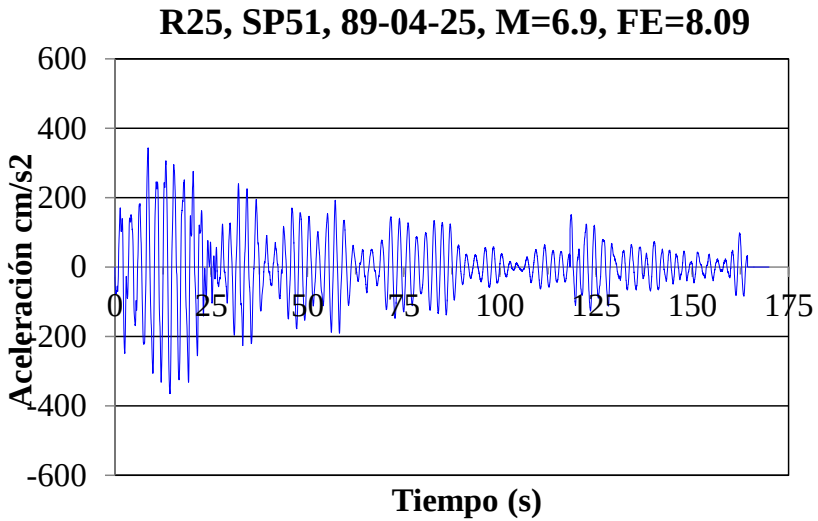

M3-R25 FE=7.438
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

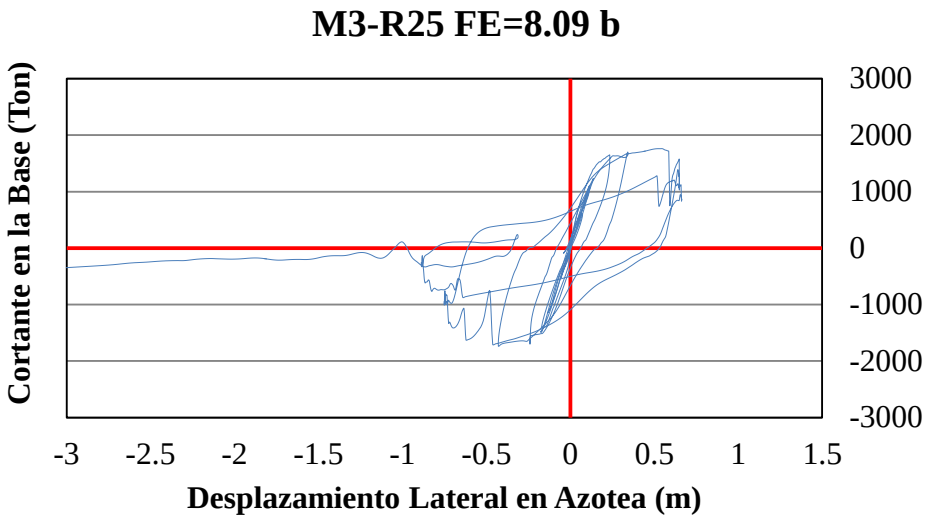

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=7.439
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

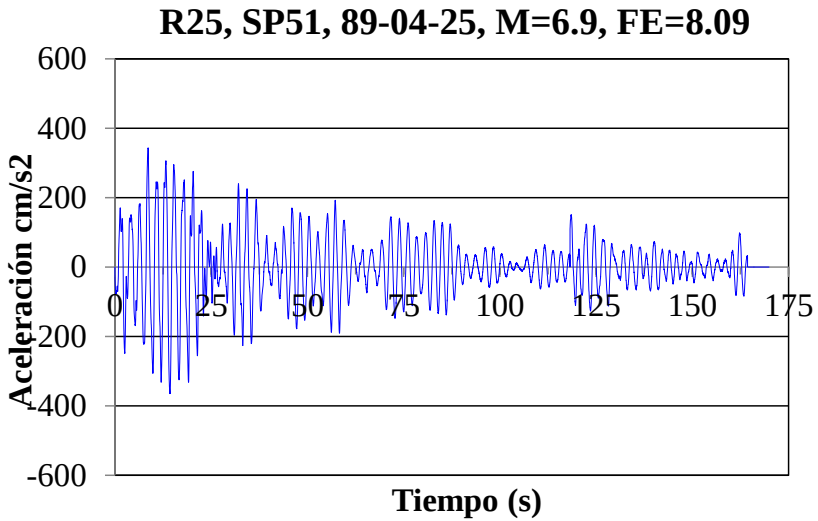

M3-R25 FE=7.439
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

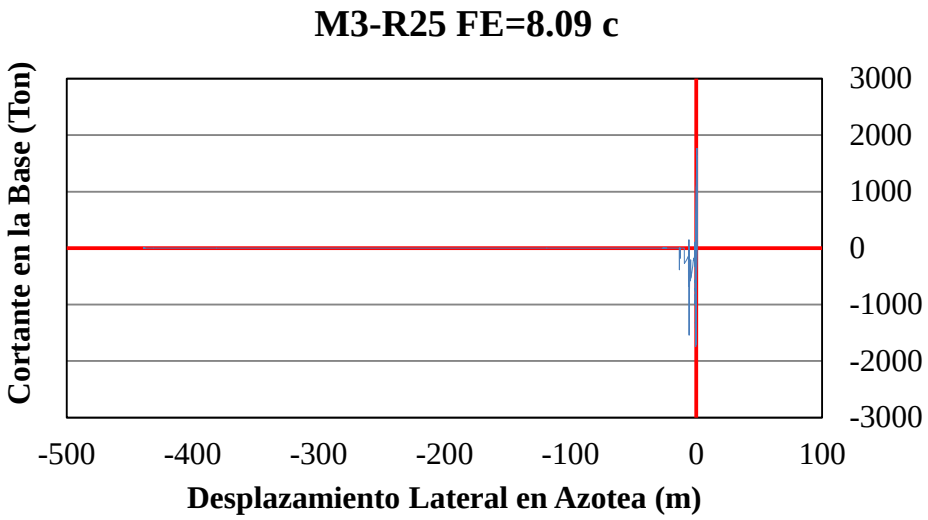

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=8.09
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

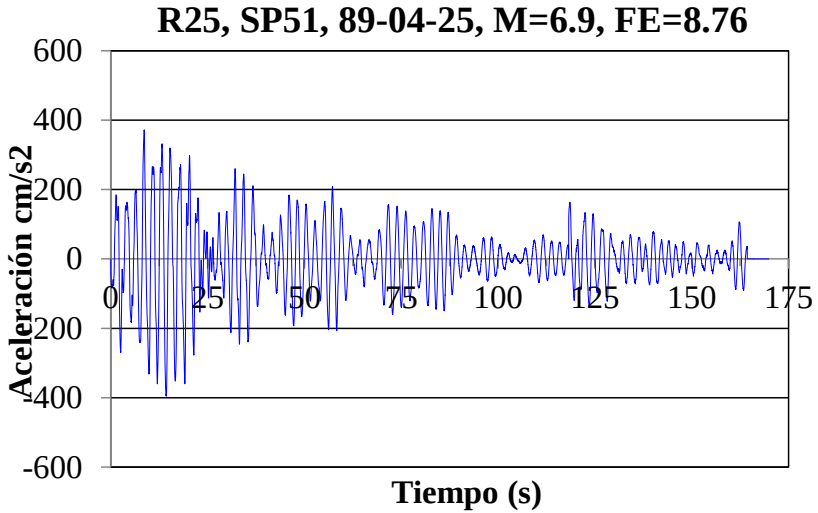

M3-R25 FE=8.09 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

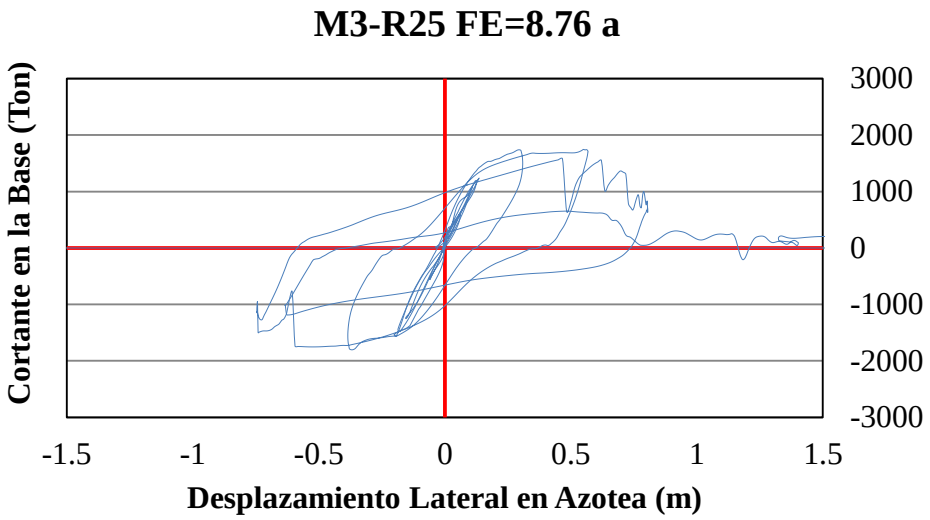

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=8.09
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

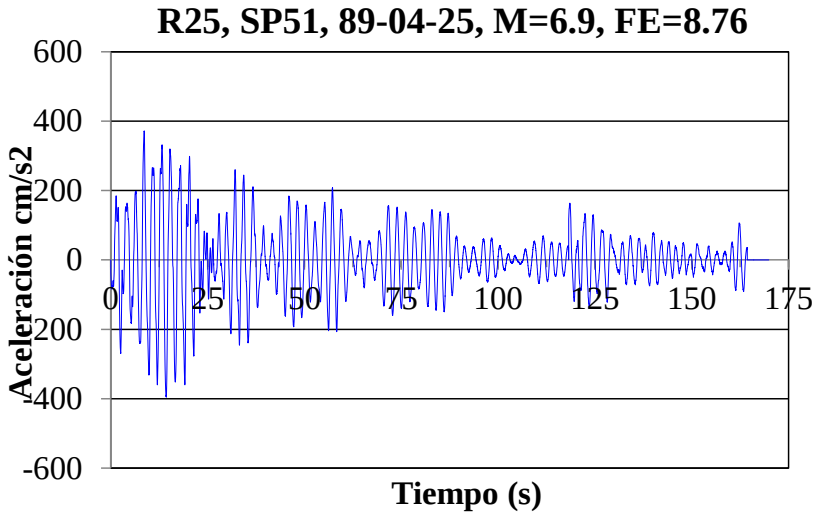

M3-R25 FE=8.09 b
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

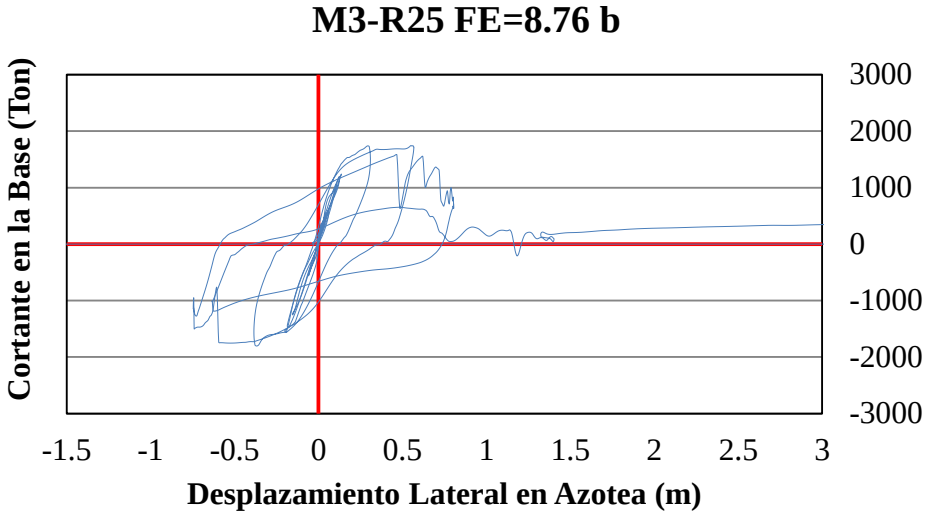

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=8.09
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

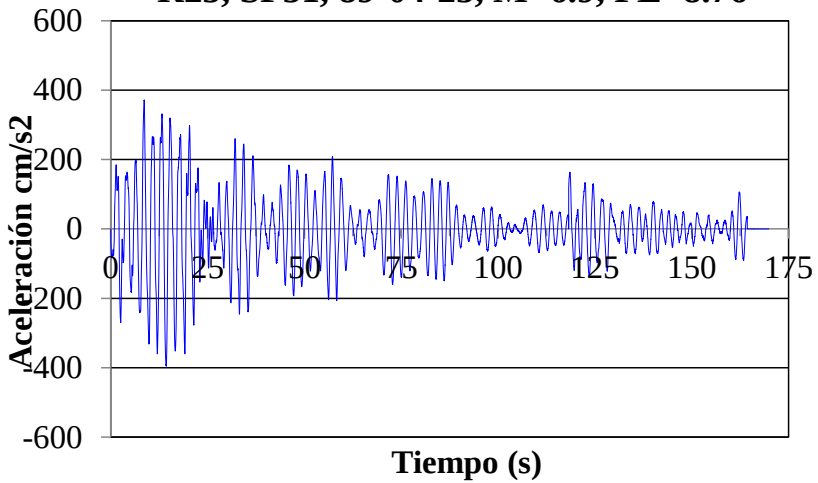

M3-R25 FE=8.09 c
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

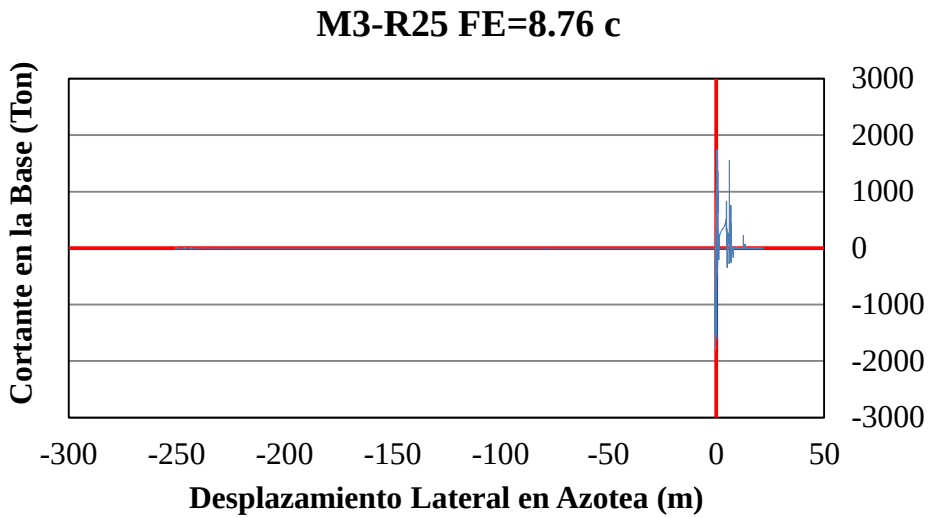

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=8.76
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R25 FE=8.76 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=8.76
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M3-R25 FE=8.76 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

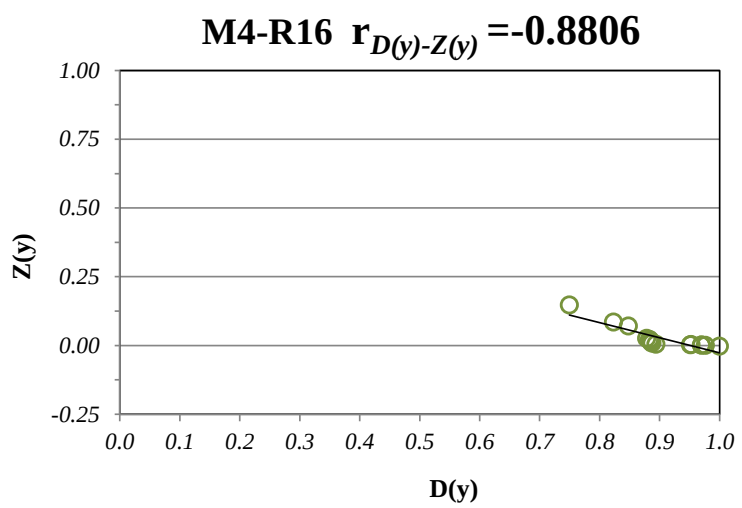

R25, SP51, 89-04-25, M=6.9, FE=8.76
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

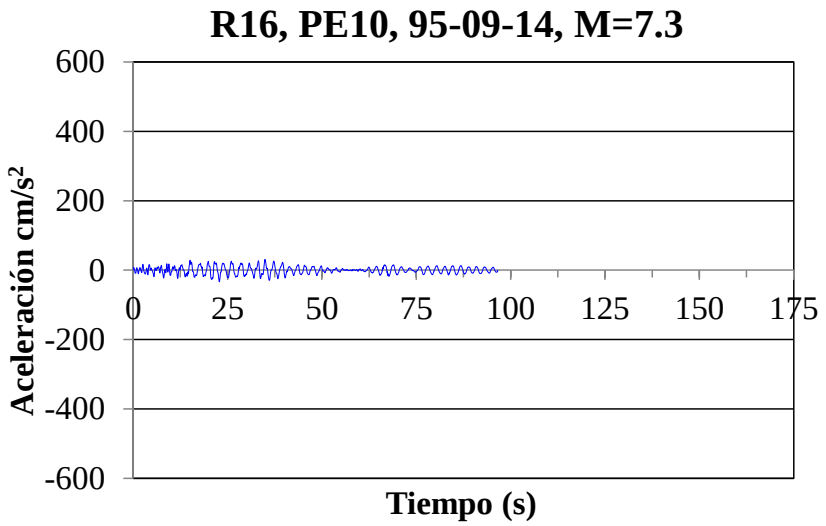

M3-R25 FE=8.76 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-300
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

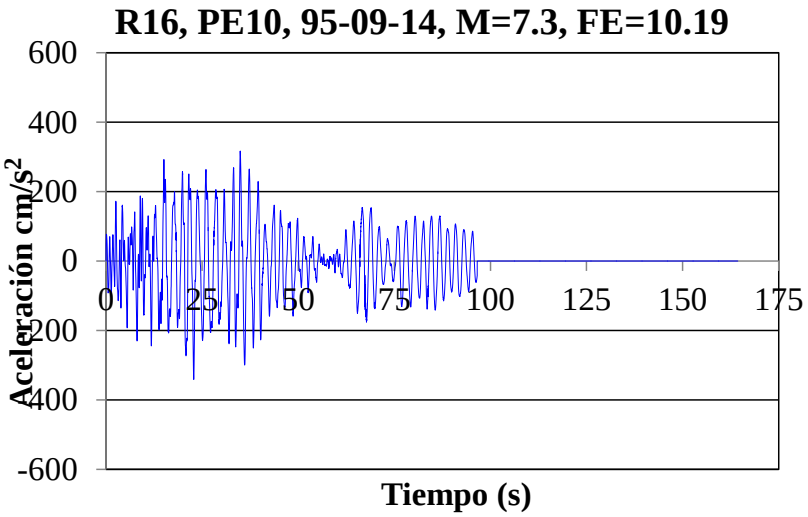
M4-R16

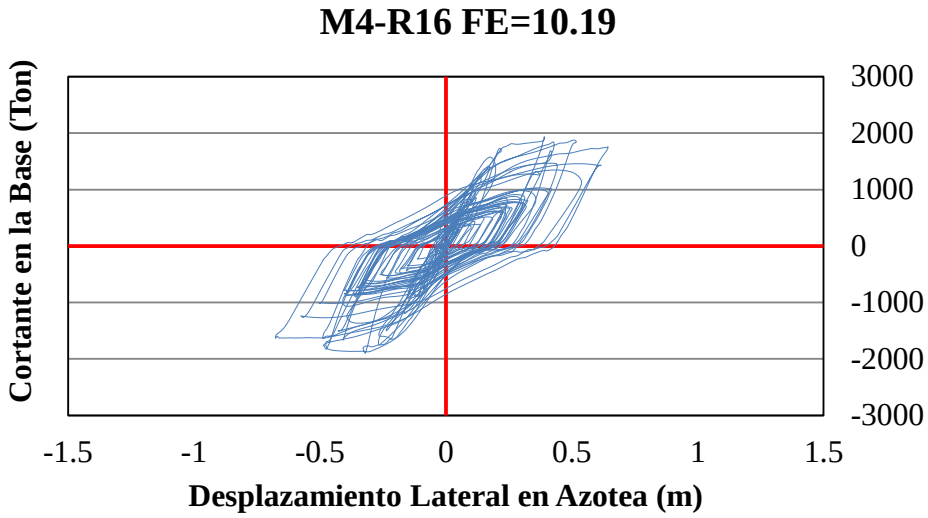
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.3	6.83	9 576.77	0.063	-0.8806

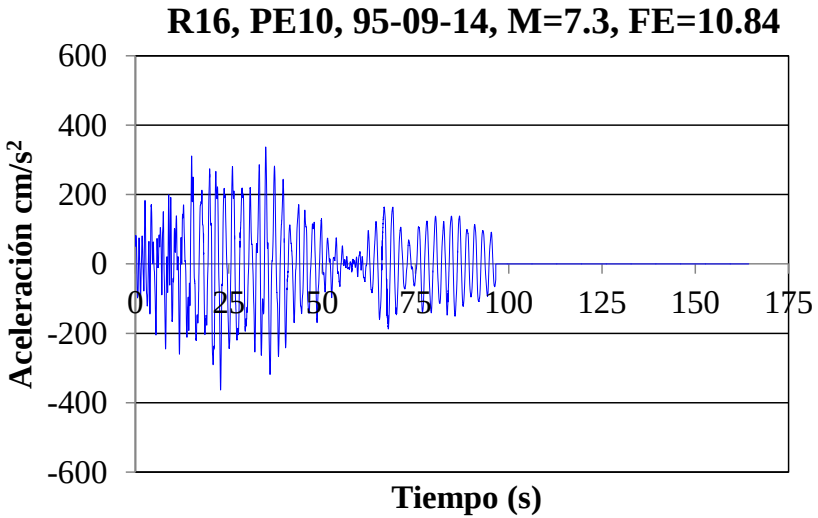
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo (seg)	Desplazamiento Máximo Absoluto (m)	Cortante Basal Máximo (Ton)	Rigidez Secante k_{y_i} (Ton/m)	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6382	10.19	36.6600	0.6766	-1623.152	2 398.98	0.7495	0.068
0.6788	10.84	36.7600	0.7987	-1353.796	1 695.00	0.8230	0.006
0.6888	11.00	36.7900	0.8229	-1197.988	1 455.81	0.8480	-0.008
0.7201	11.50	36.8700	1.0058	-1171.227	1 164.47	0.8784	-0.053
0.7232	11.55	36.8700	1.0552	-1181.169	1 119.38	0.8831	-0.057
0.7264	11.60	36.8800	1.0701	-1180.809	1 103.46	0.8848	-0.062
0.7295	11.65	36.8800	1.0716	-1177.064	1 098.42	0.8853	-0.066
0.7326	11.70	36.8900	1.1054	-1190.226	1 076.74	0.8876	-0.070
0.7358	11.75	36.8900	1.1246	-1143.745	1 017.02	0.8938	-0.074
0.7364	11.76	86.5700	1.2582	-570.957	0 453.79	0.9526	-0.075
0.7370	11.77	86.5000	1.2709	-588.967	0 463.43	0.9516	-0.076
0.7376	11.78	95.1800	1.5666	-454.988	0 290.43	0.9697	-0.077
0.7383	11.79	95.1600	1.4926	-432.161	0 289.54	0.9698	-0.078
0.7389	11.80	95.2000	1.6259	-364.025	0 223.89	0.9766	-0.079
0.7408	11.83	96.5000	24.7025	0.003	0 000.00	1.0000	-0.081

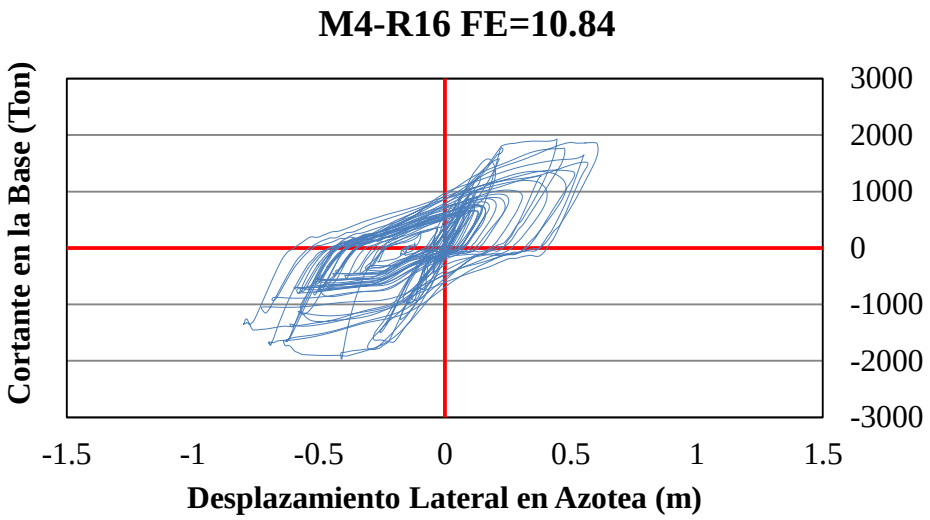

M4-R16 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.8806
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

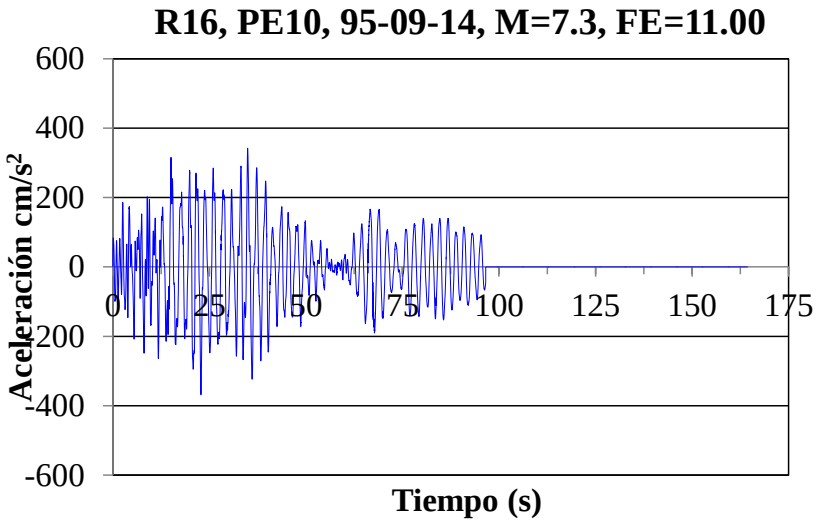

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

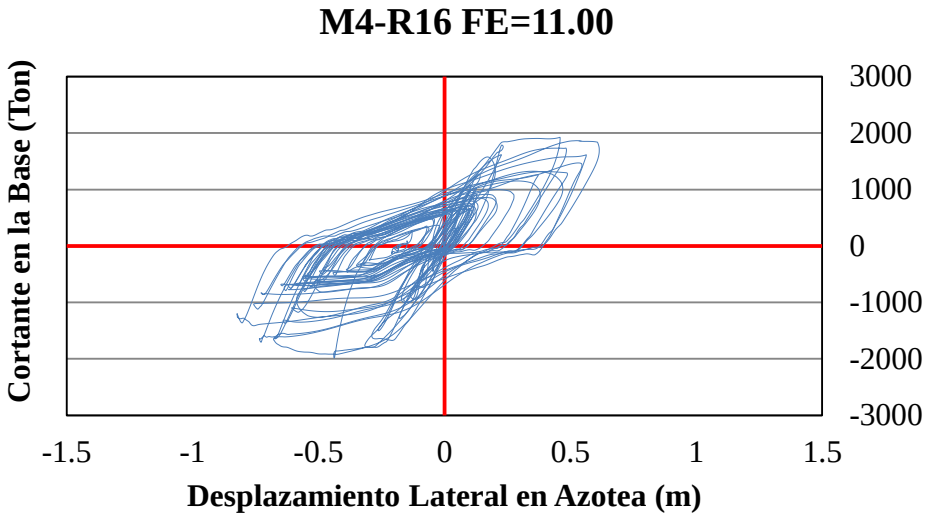

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=10.19
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

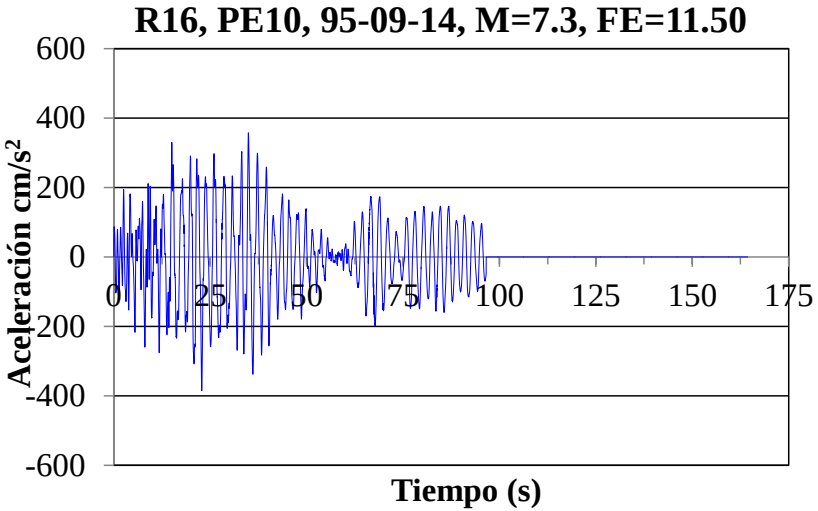

M4-R16 FE=10.19
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

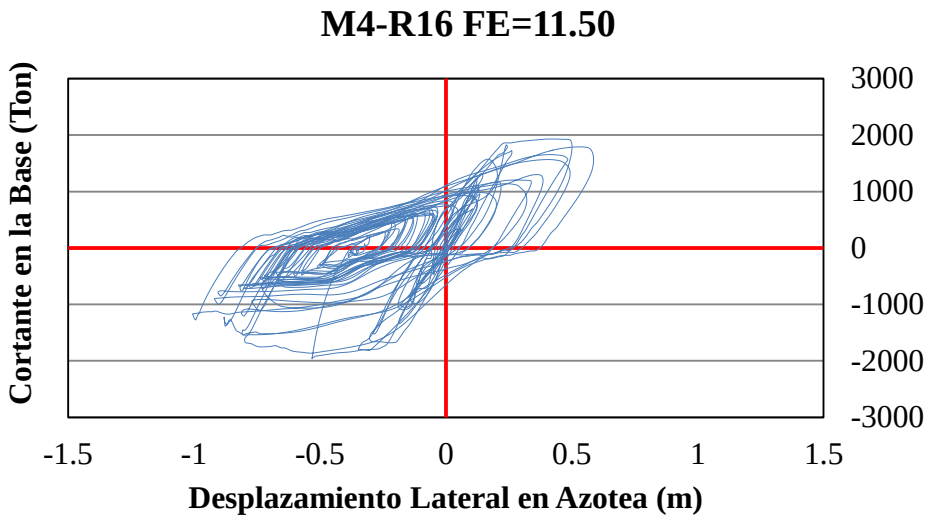

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=10.84
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

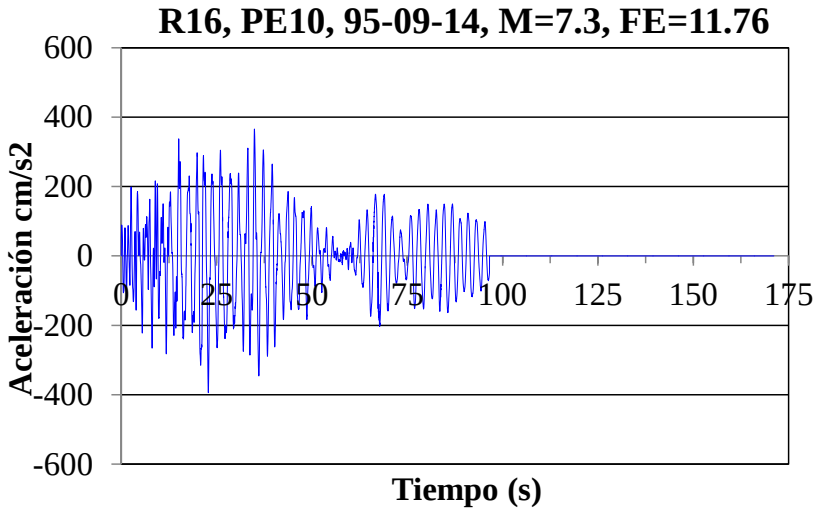

M4-R16 FE=10.84
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

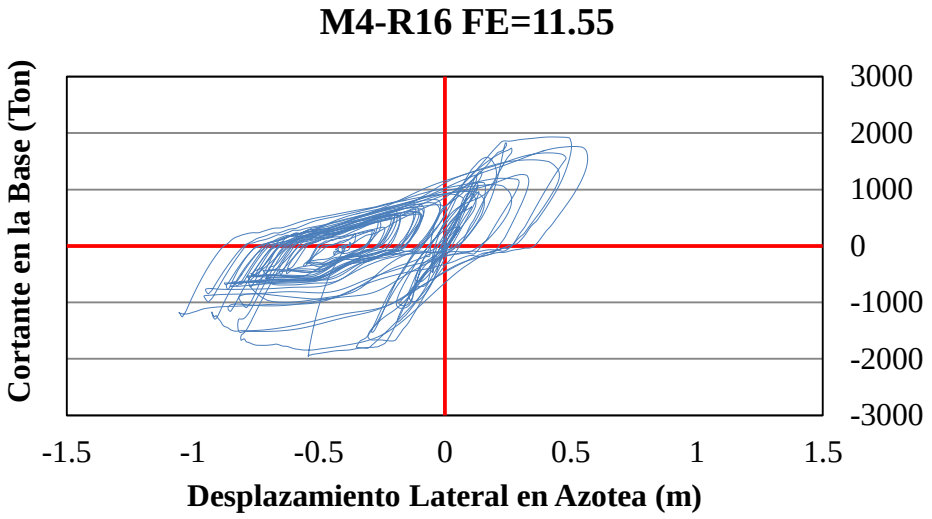

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

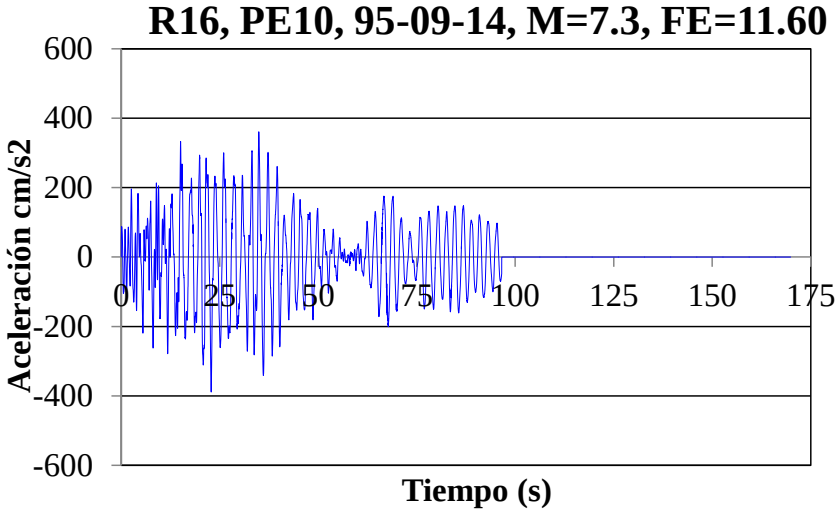

M4-R16 FE=11.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

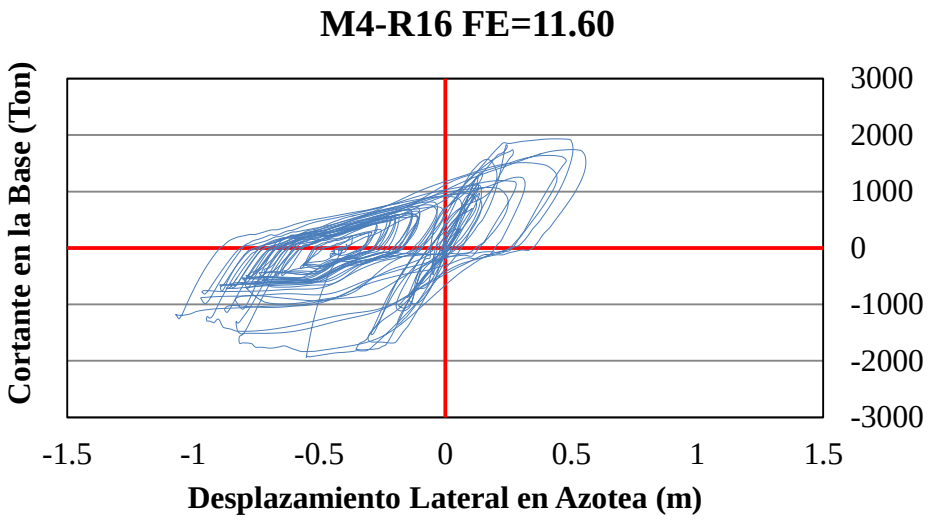

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

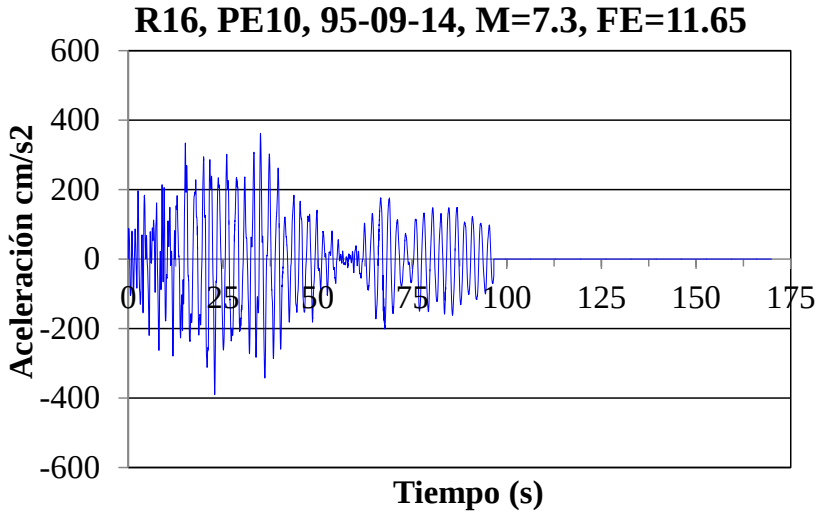

M4-R16 FE=11.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

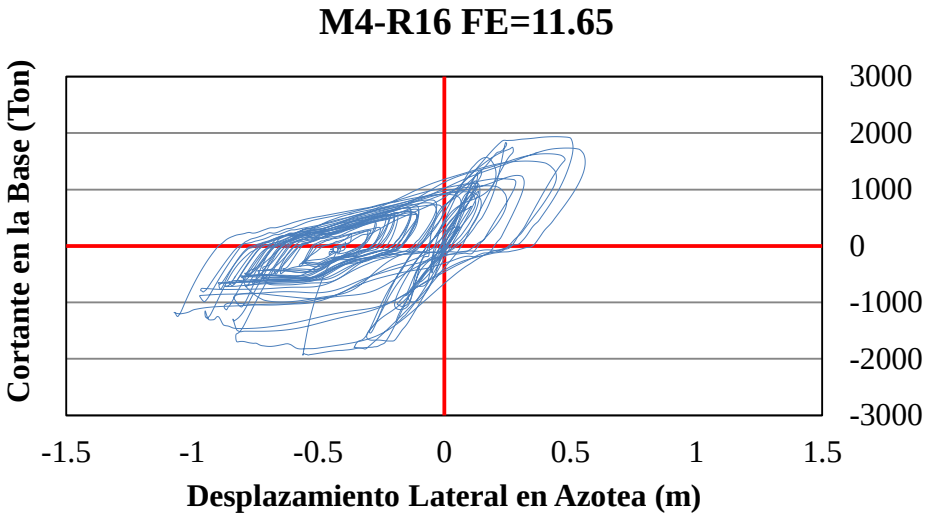

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.76
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

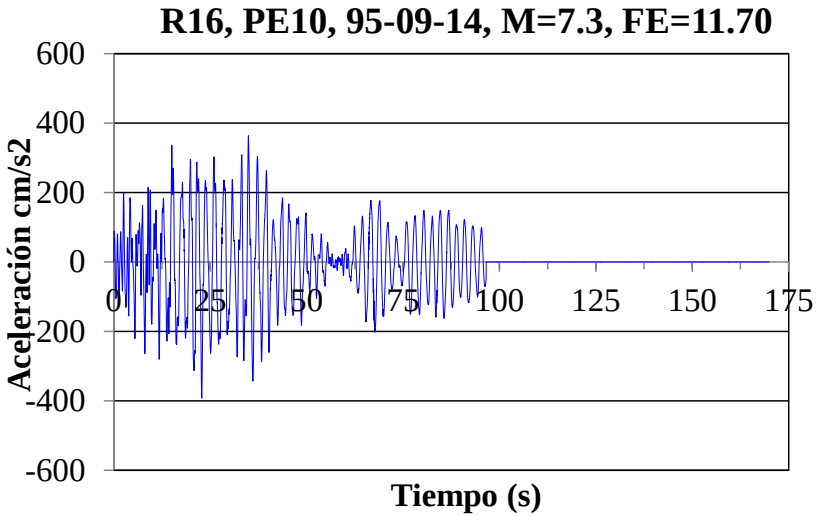

M4-R16 FE=11.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

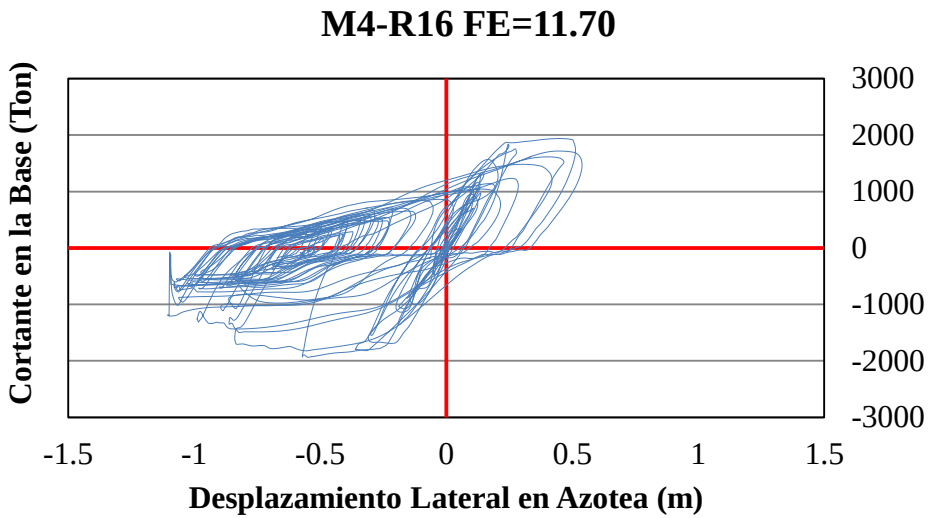

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

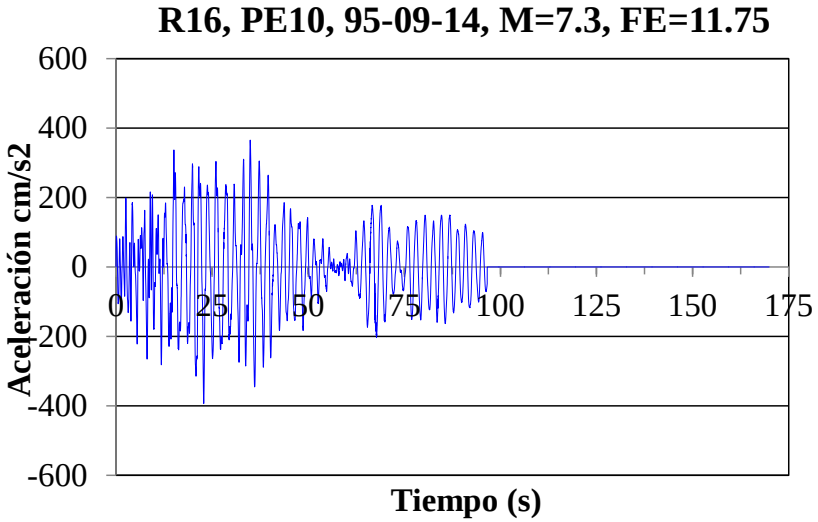

M4-R16 FE=11.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

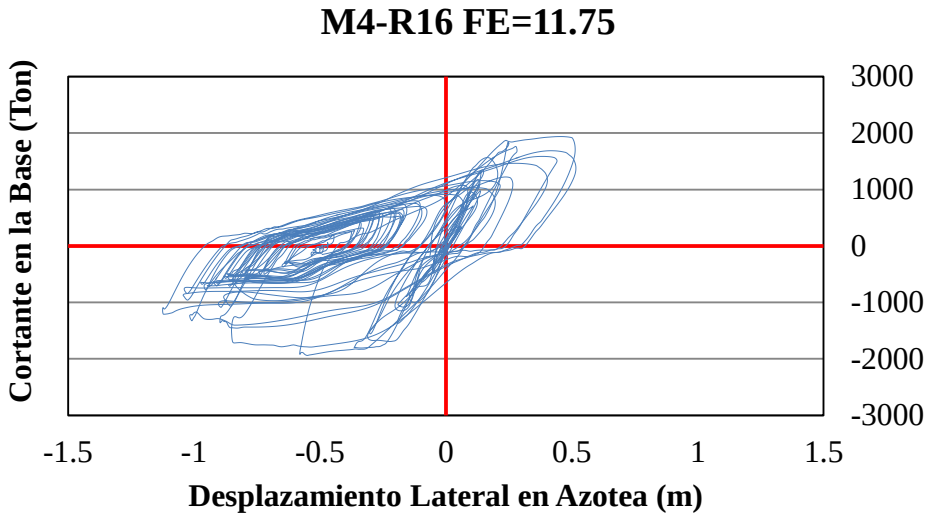

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.65
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

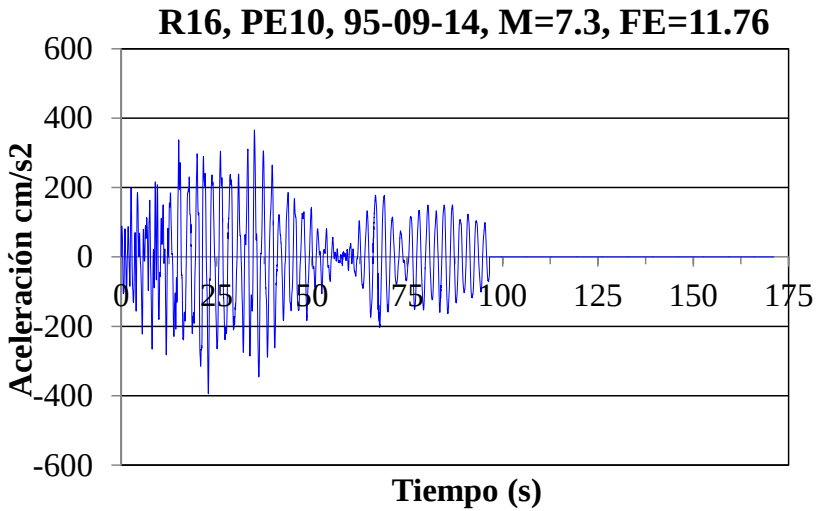

M4-R16 FE=11.65
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

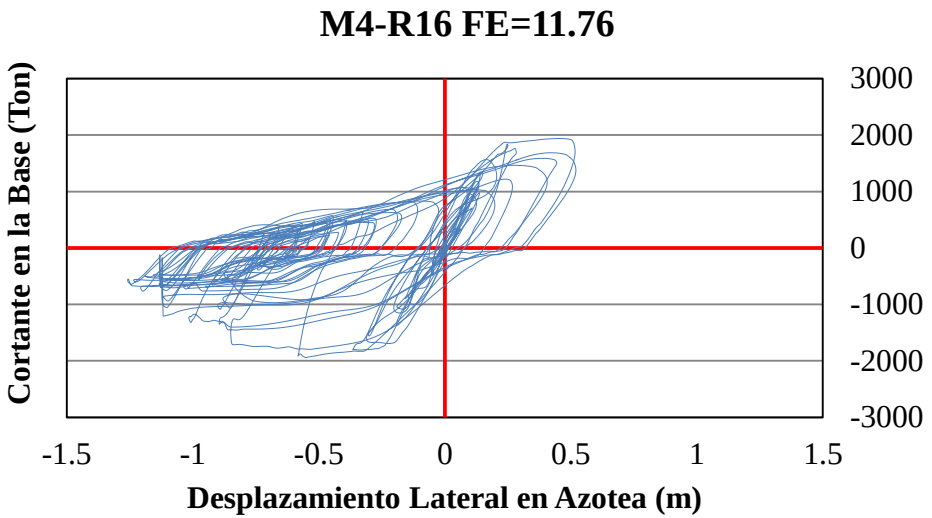

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

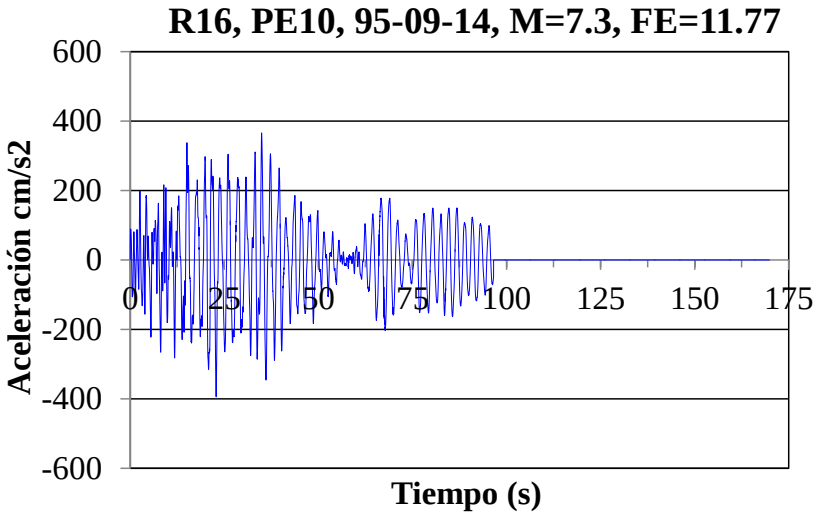

M4-R16 FE=11.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

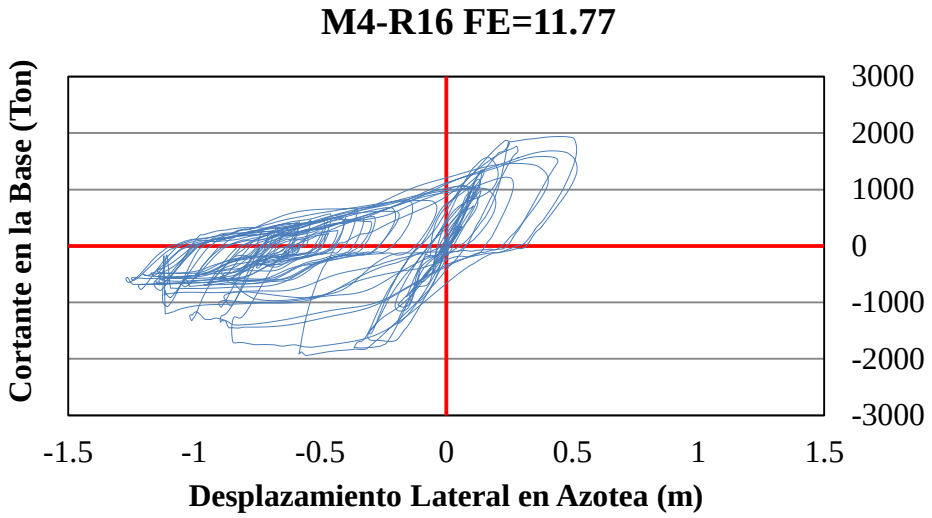

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

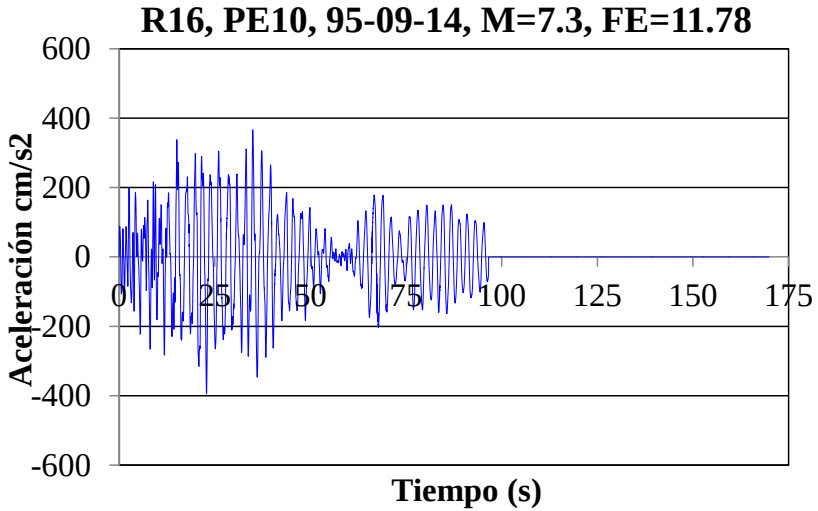

M4-R16 FE=11.75
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

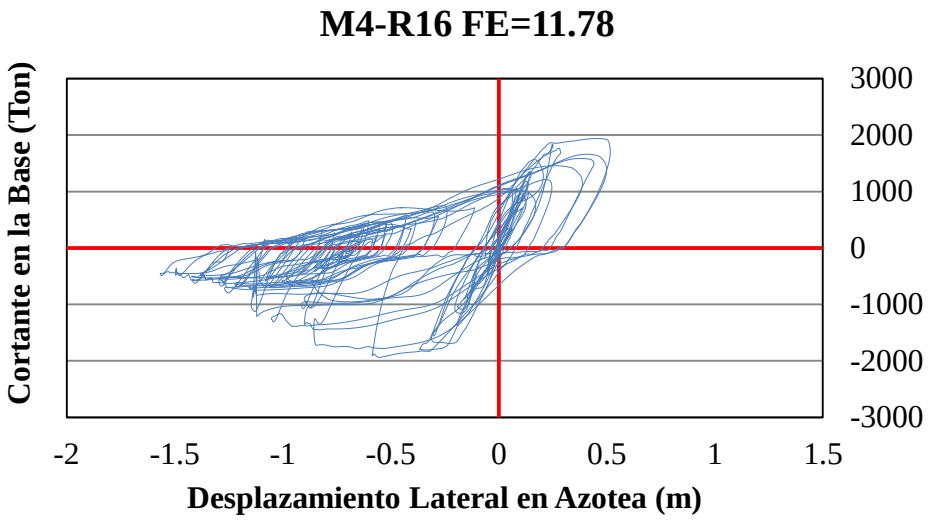

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.76
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

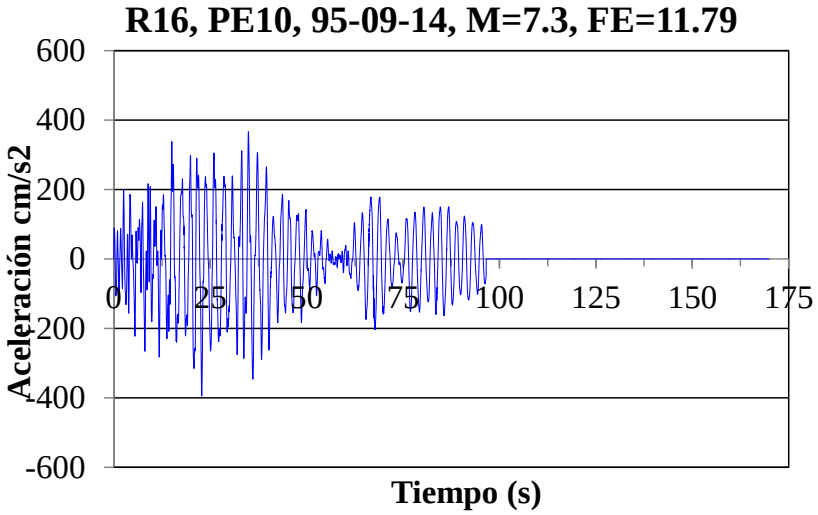

M4-R16 FE=11.76
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

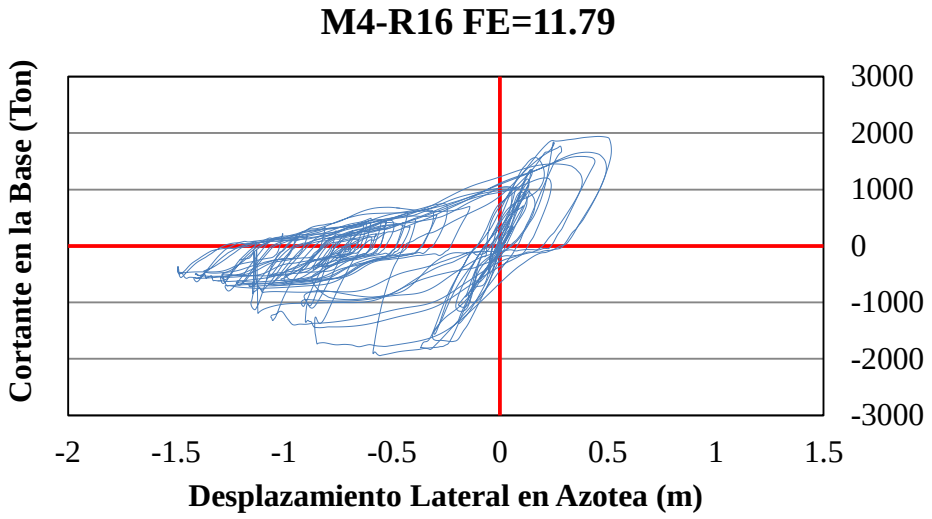

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.77
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

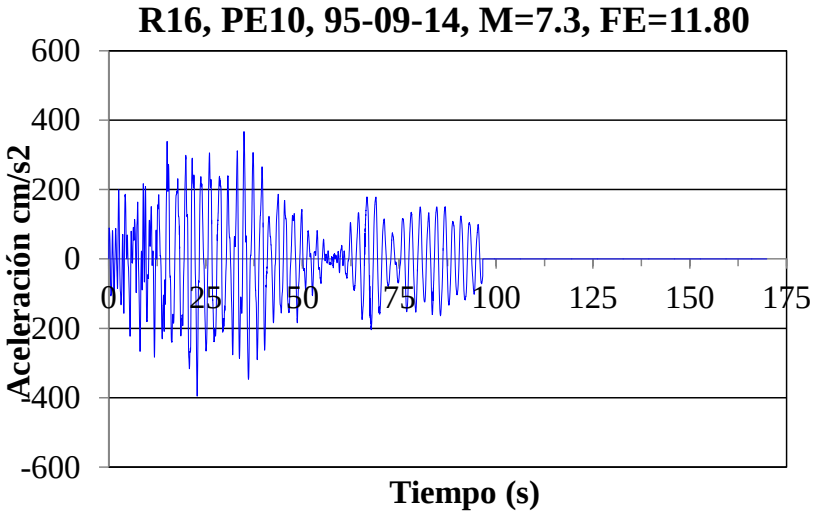

M4-R16 FE=11.77
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

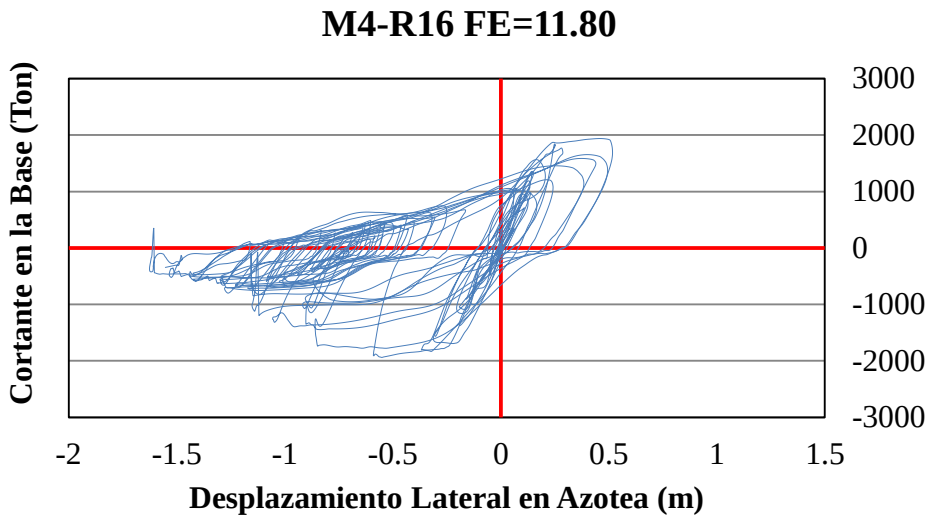

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.78
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

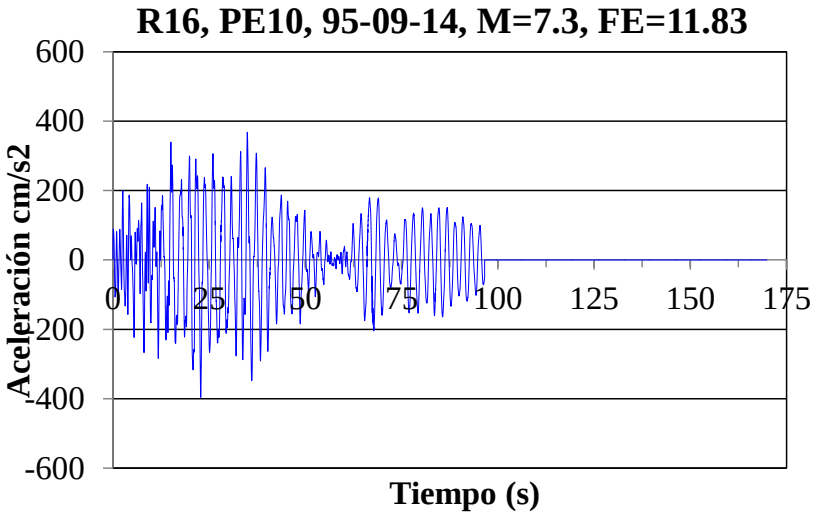

M4-R16 FE=11.78
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

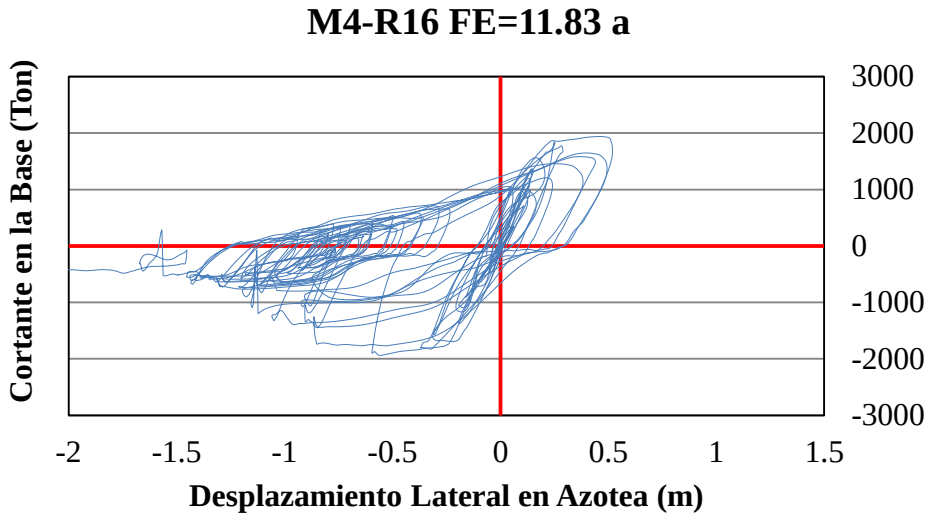

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.79
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

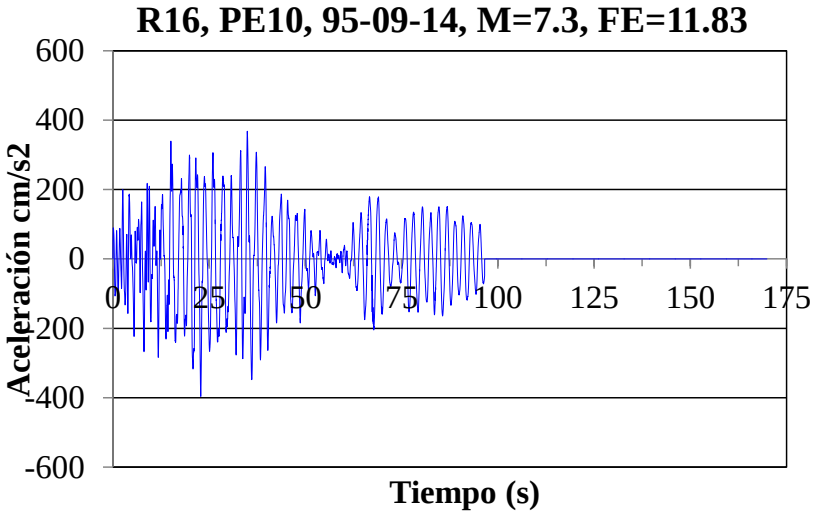

M4-R16 FE=11.79
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

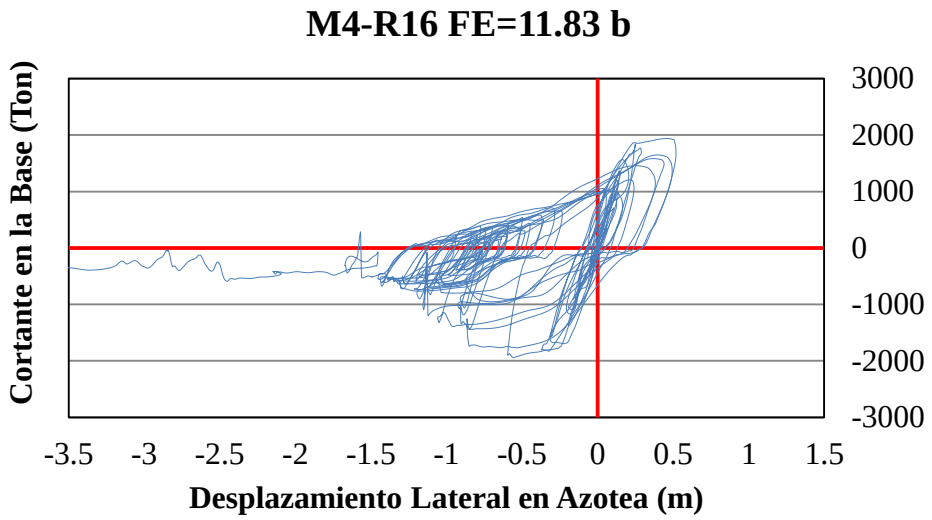

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

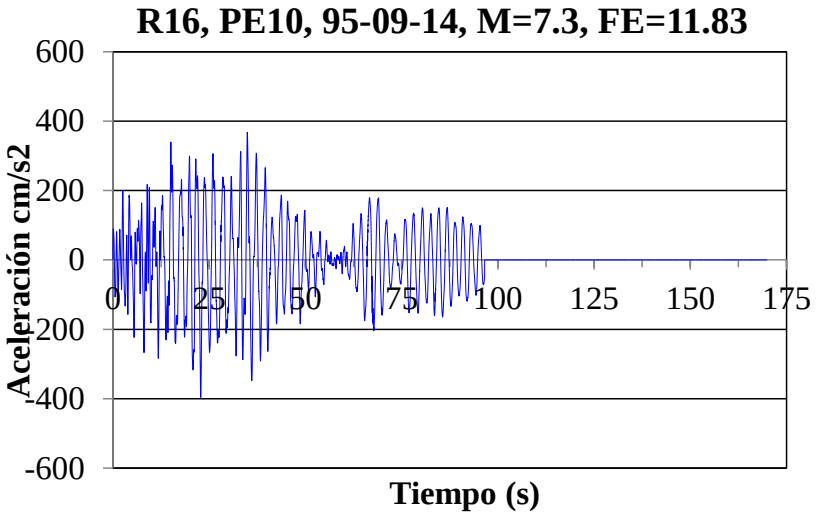

M4-R16 FE=11.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

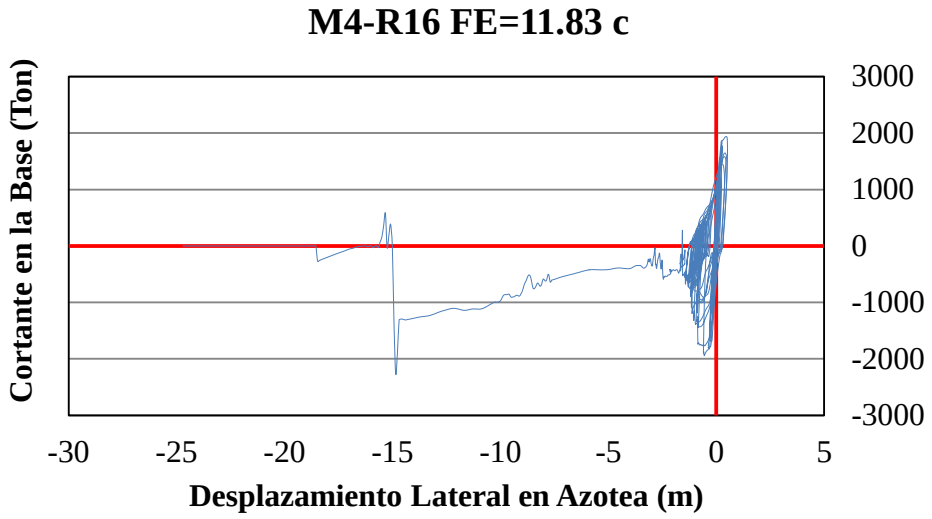

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.83
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R16 FE=11.83 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.83
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R16 FE=11.83 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3.5
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

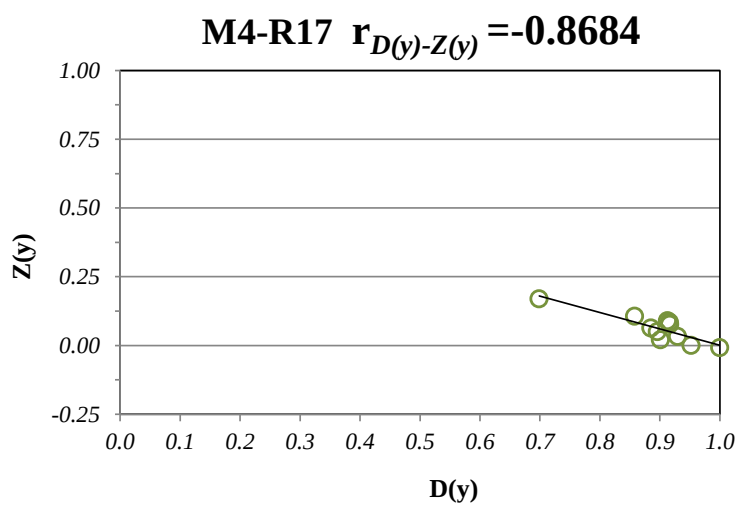

R16, PE10, 95-09-14, M=7.3, FE=11.83
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

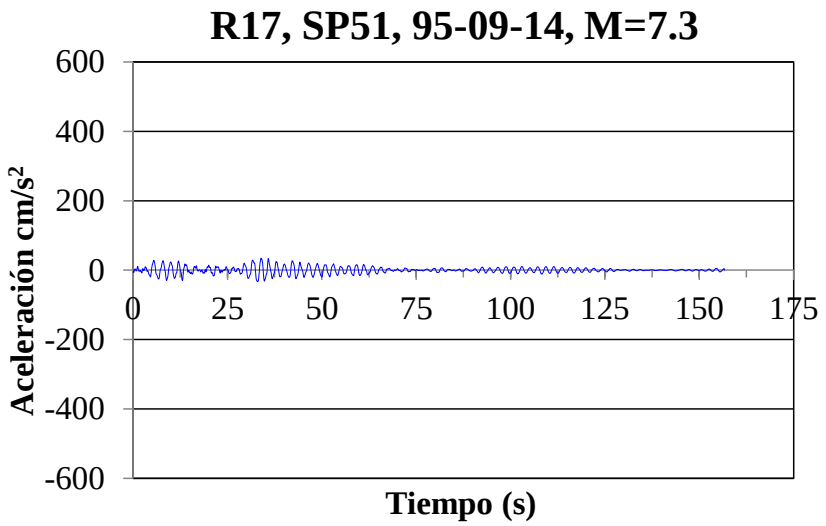

M4-R16 FE=11.83 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-30
-25
-20
-15
-10
-5
0
5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

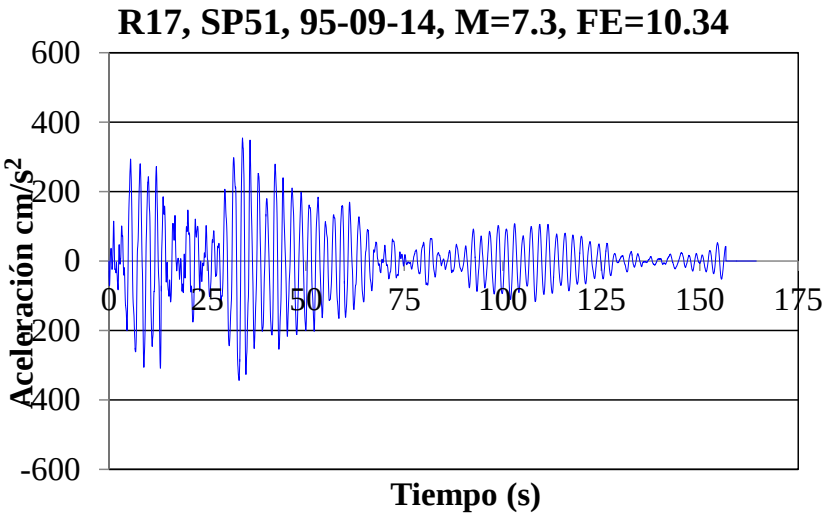
M4-R17

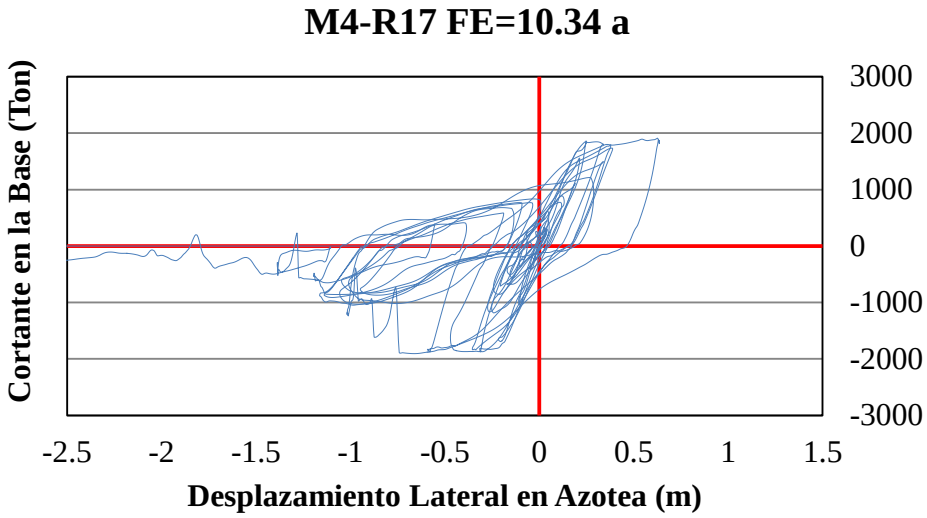
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.3	**6.86**	**9 576.77**	**0.062**	**-0.8684**

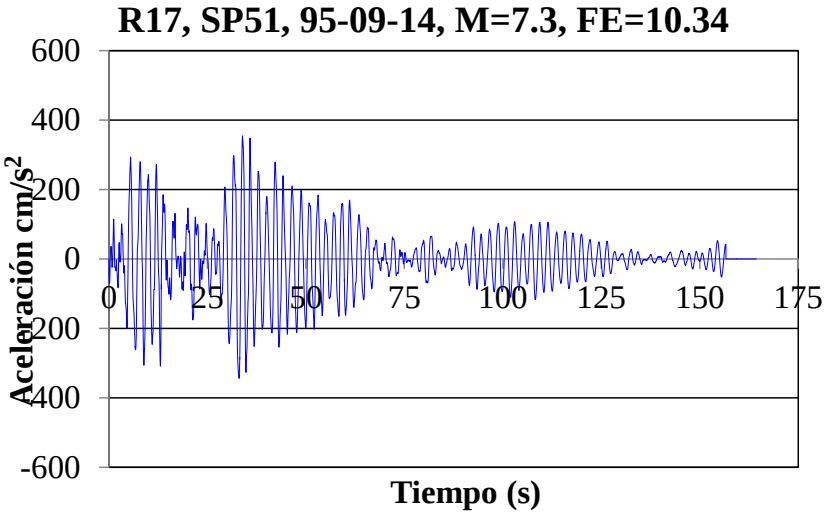
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6433	10.34	32.3200	0.6354	1832.929	2 884.69	0.6988	0.060
0.6857	11.02	33.6800	0.9328	-1268.481	1 359.86	0.8580	-0.004
0.6969	11.20	34.8500	0.9461	789.213	0 834.18	0.9129	-0.020
0.7000	11.25	34.8500	0.9482	763.165	0 804.86	0.9160	-0.025
0.7062	11.35	34.8500	0.9348	750.113	0 802.43	0.9162	-0.033
0.7155	11.50	32.5100	0.9523	1050.399	1 103.01	0.8848	-0.047
0.7249	11.65	33.7600	0.9368	-935.750	0 998.88	0.8957	-0.059
0.7373	11.85	33.7700	0.9594	-649.344	0 676.82	0.9293	-0.077
0.7466	12.00	33.7700	1.0524	-999.231	0 949.48	0.9009	-0.089
0.7622	12.25	42.1100	1.2101	-555.098	0 458.72	0.9521	-0.110
0.7715	12.40	155.8400	294.8462	0.000	0 000.00	1.0000	-0.122

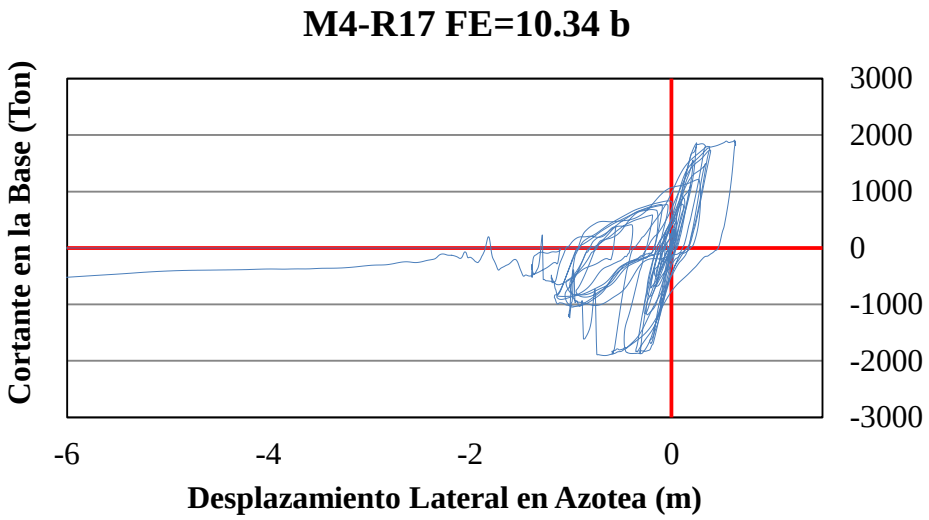

M4-R17 r D(y)-Z(y) =-0.8684
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

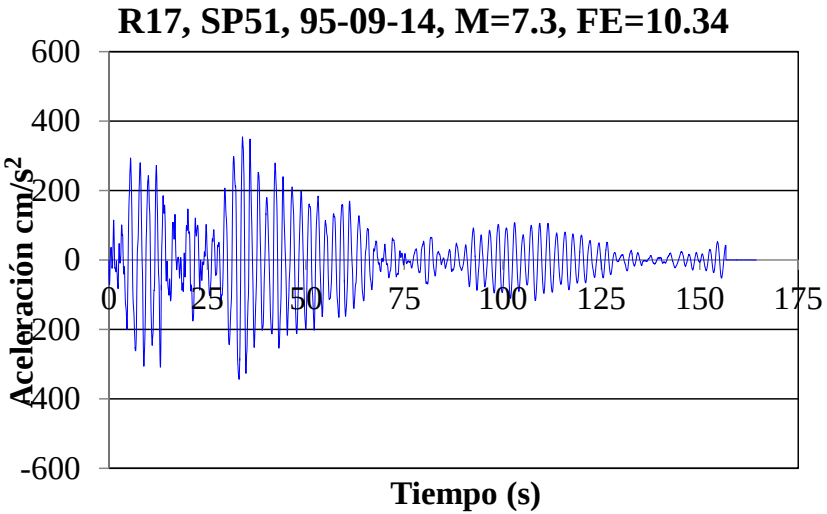

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

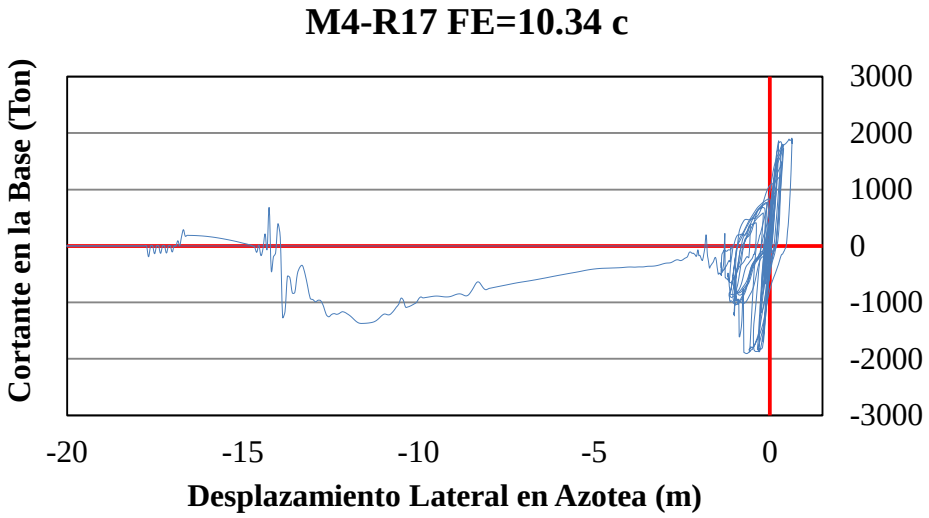

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=10.34
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

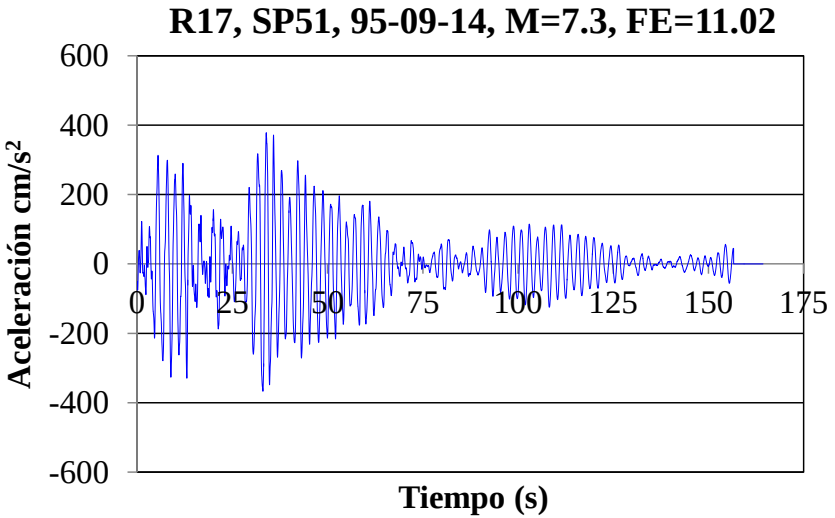

M4-R17 FE=10.34 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2.5 -2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

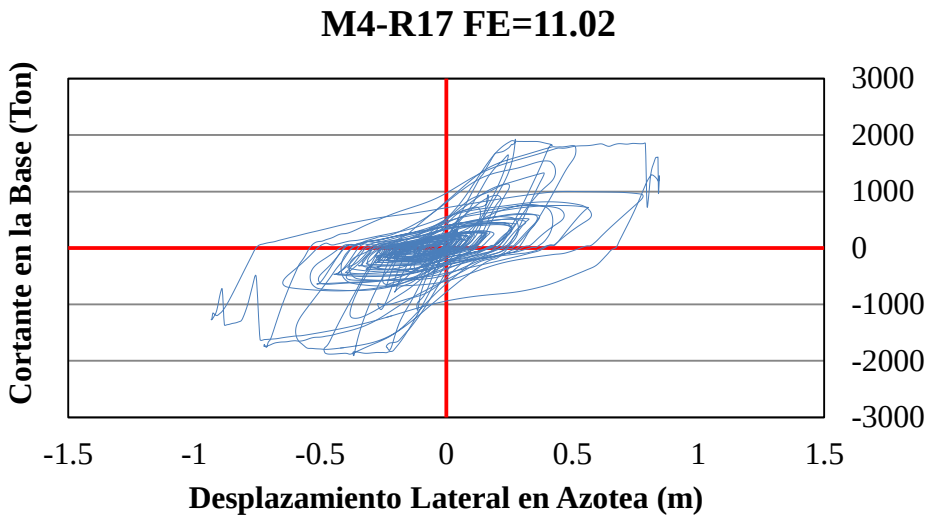

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=10.34
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

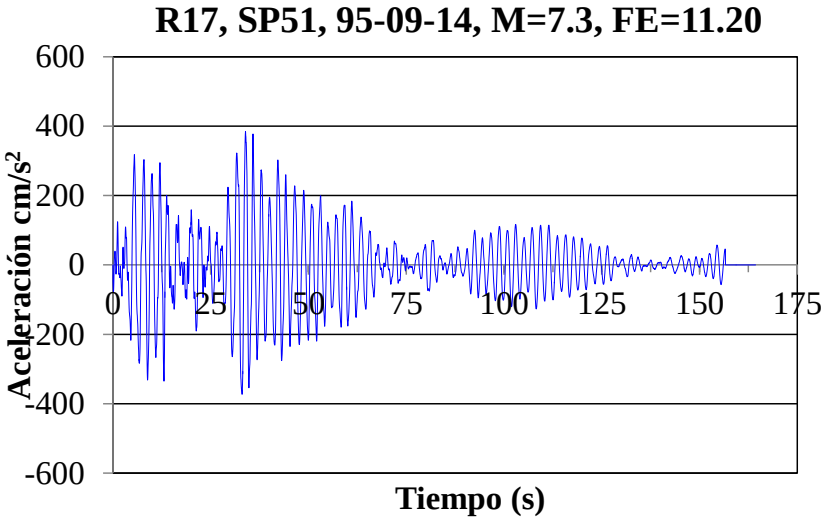

M4-R17 FE=10.34 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-6
-4
-2
0
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

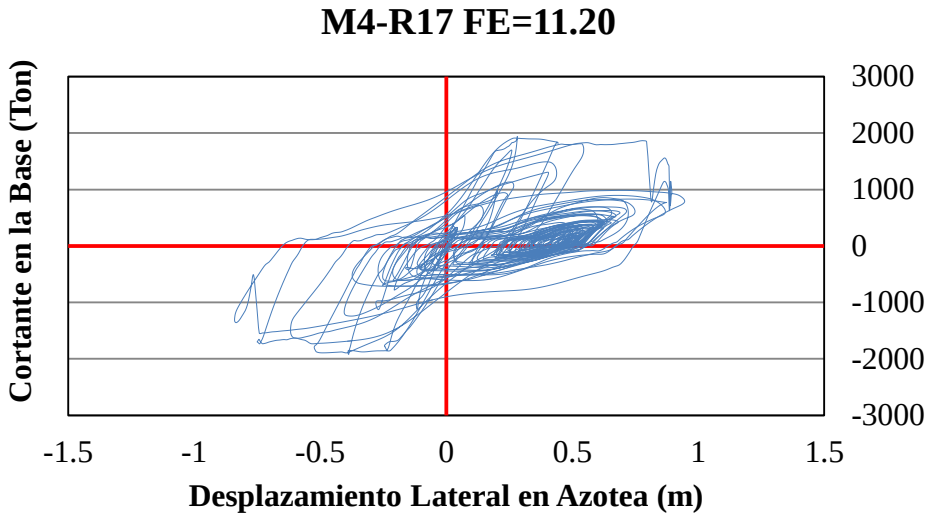

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=10.34
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

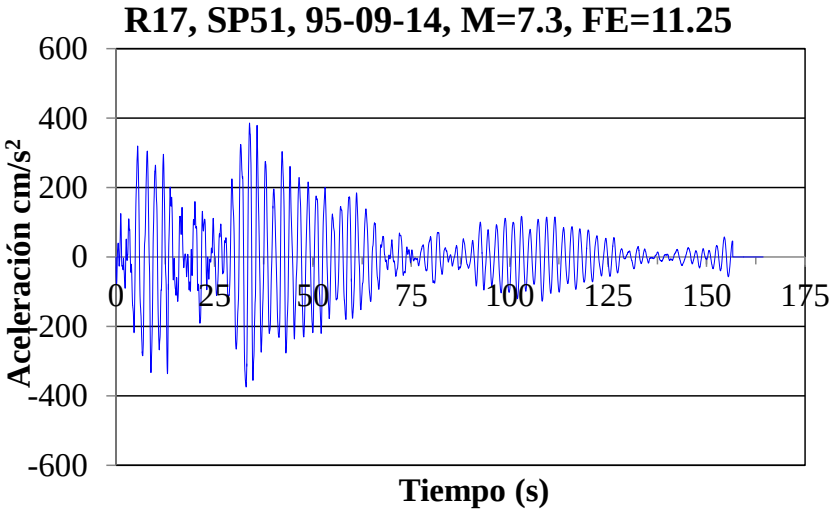

M4-R17 FE=10.34 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-20
-15
-10
-5
0
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

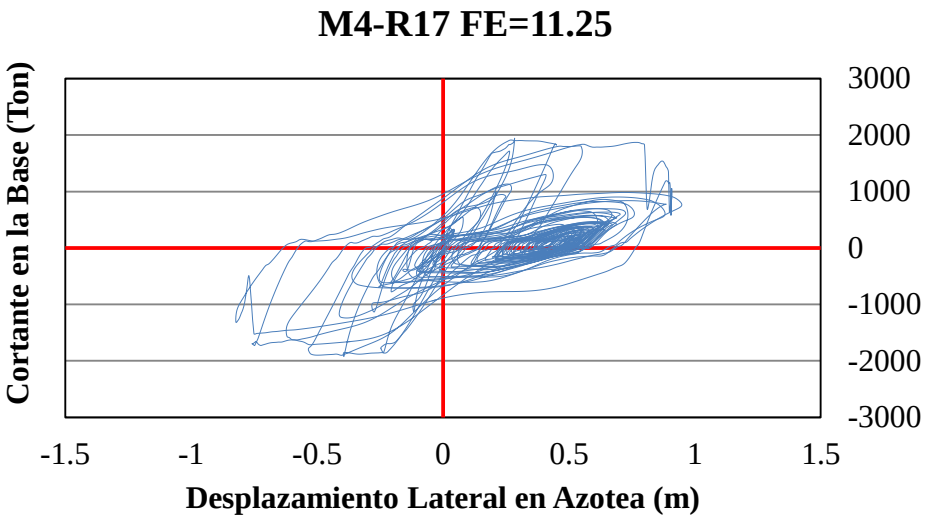

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=11.02
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

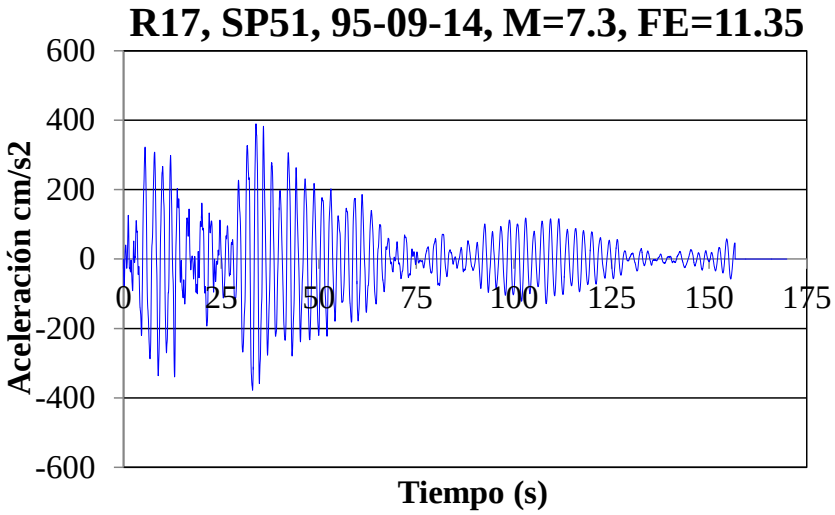

M4-R17 FE=11.02
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

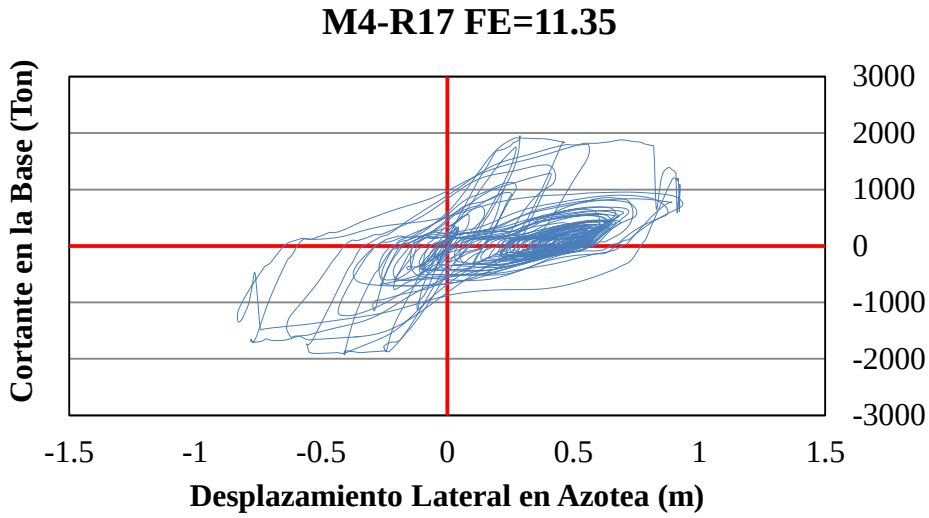

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=11.20
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

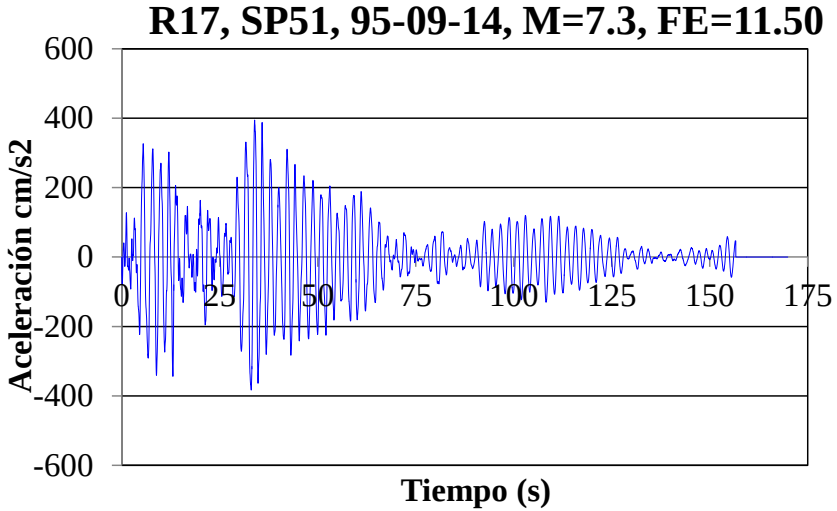

M4-R17 FE=11.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

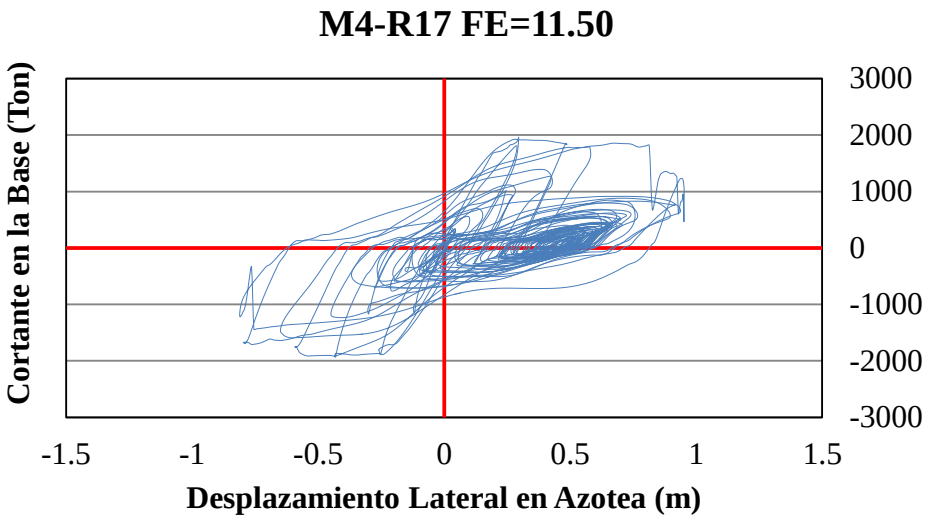

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=11.25
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s²
Tiempo (s)

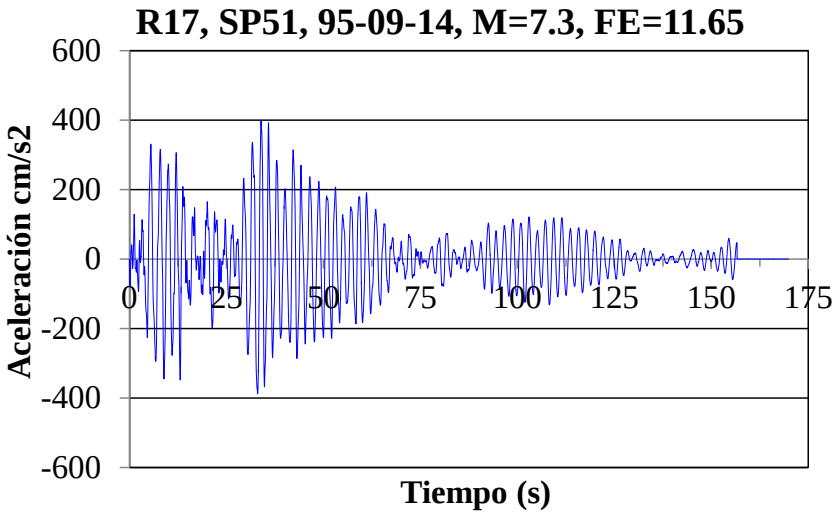

M4-R17 FE=11.25
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

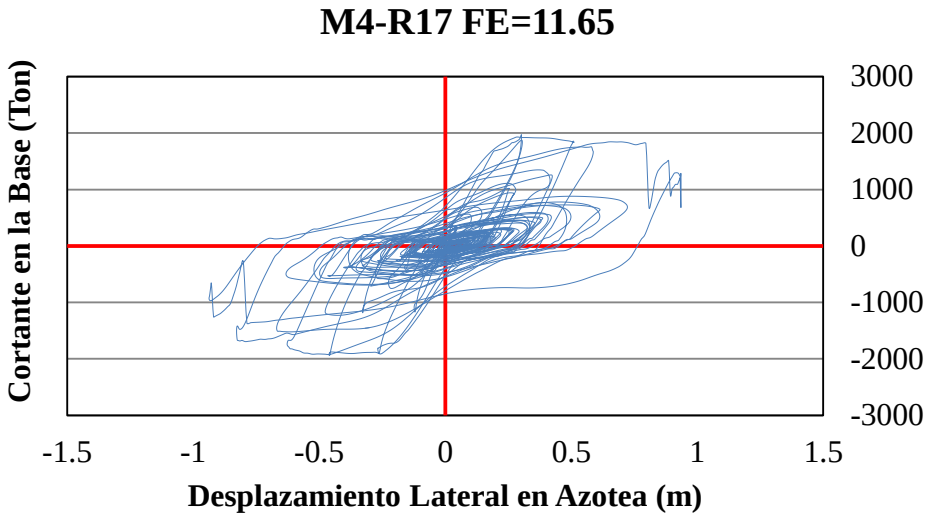

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=11.35
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

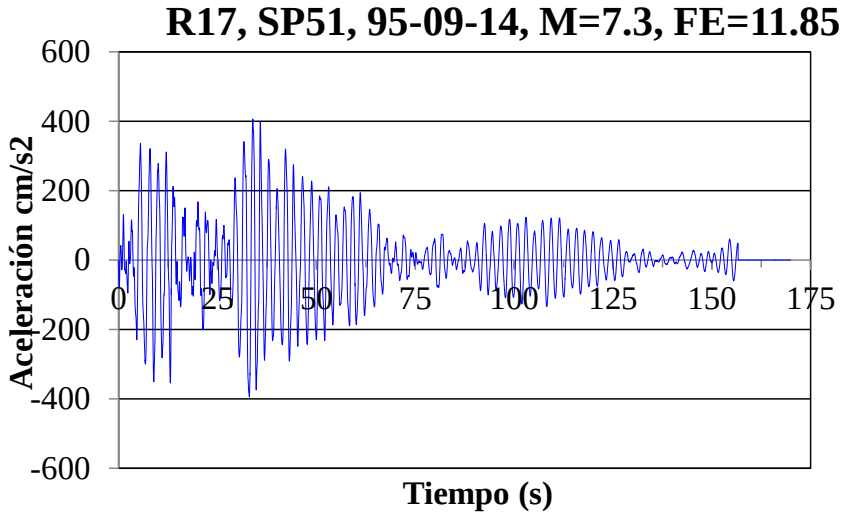

M4-R17 FE=11.35
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

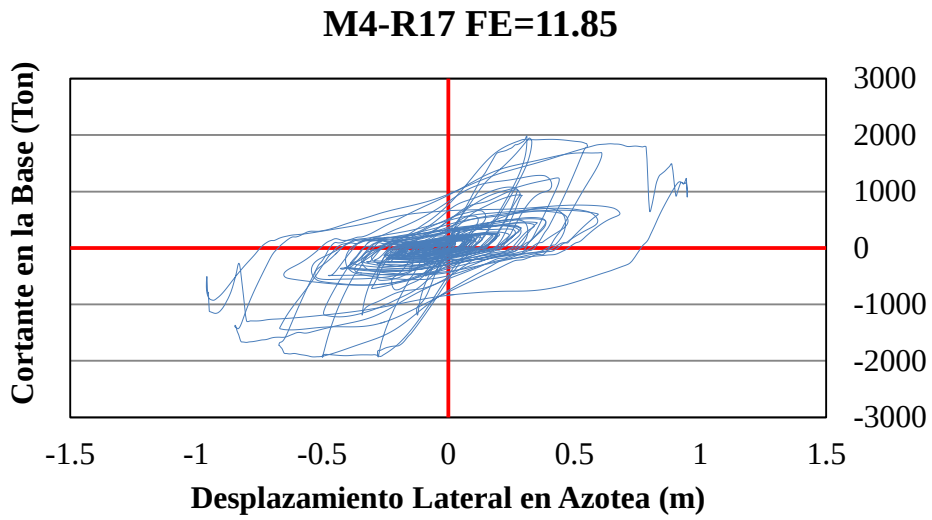

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=11.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

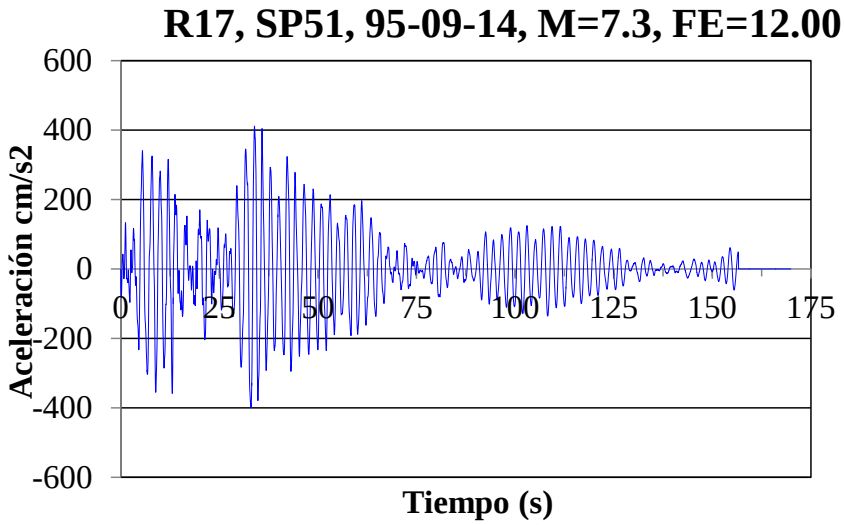

M4-R17 FE=11.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

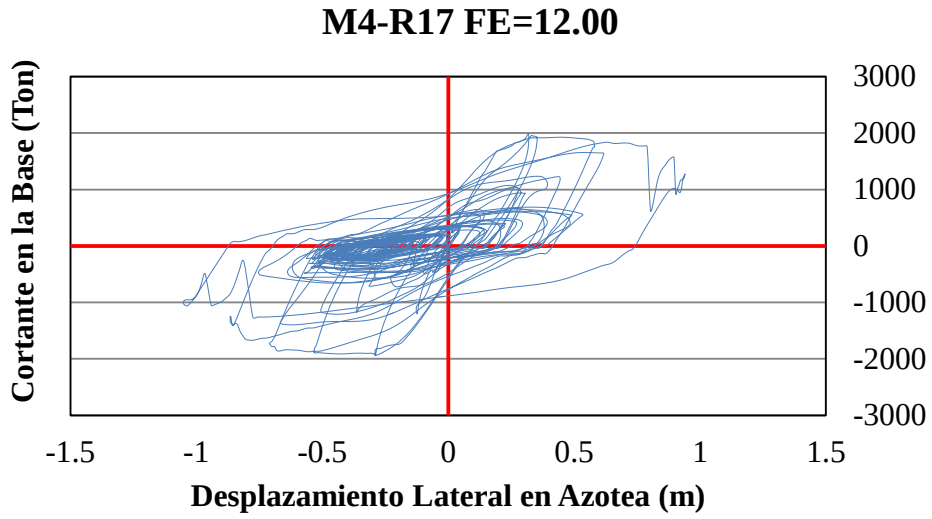

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=11.65
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

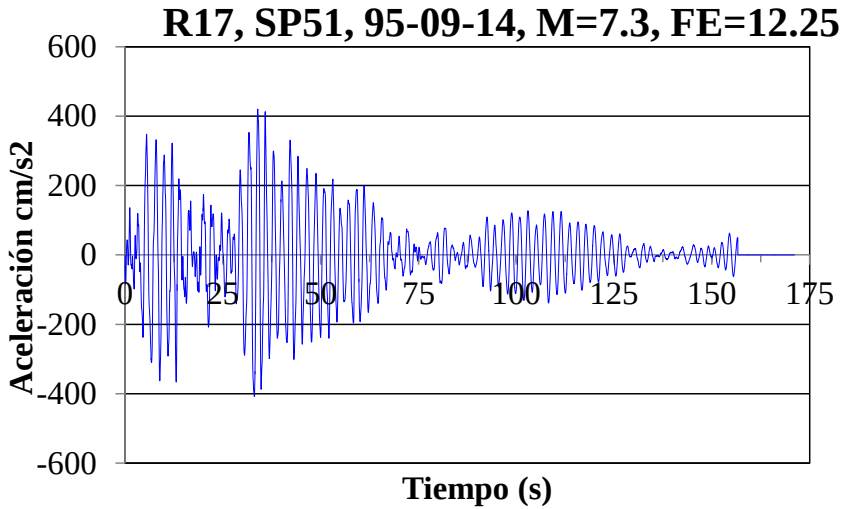

M4-R17 FE=11.65
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

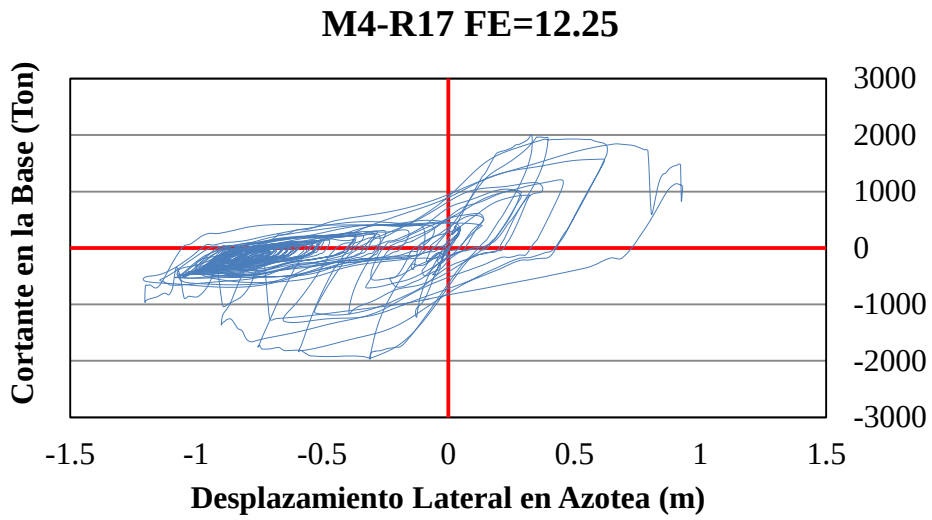

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=11.85
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

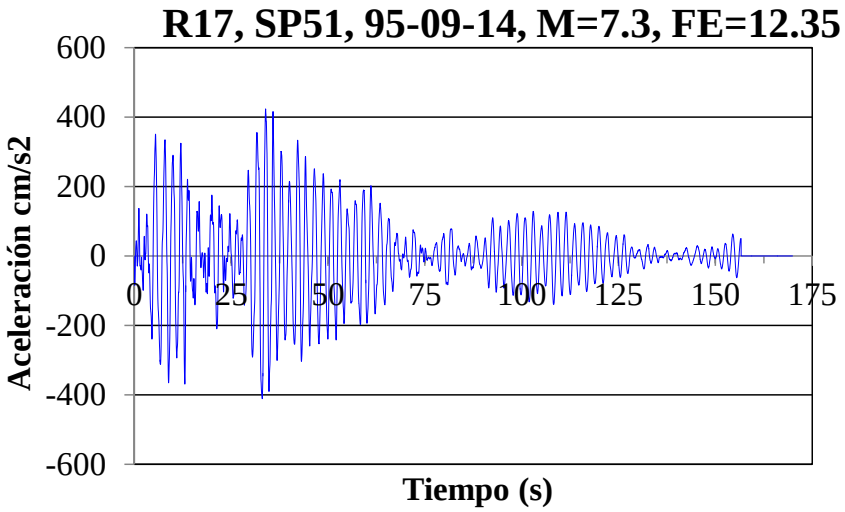

M4-R17 FE=11.85
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

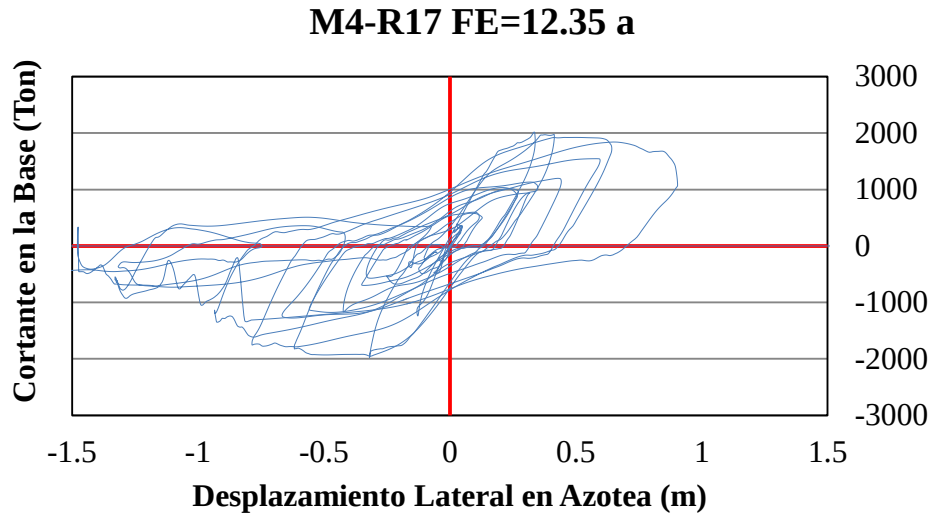

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=12.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

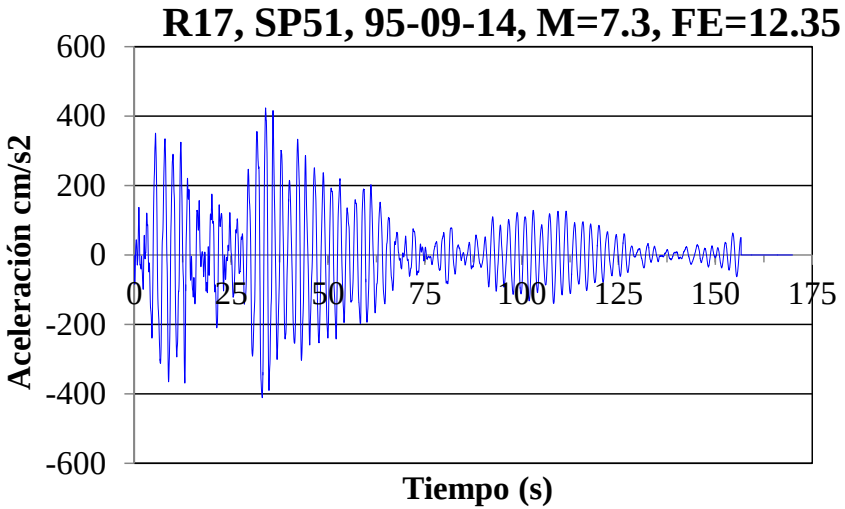

M4-R17 FE=12.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

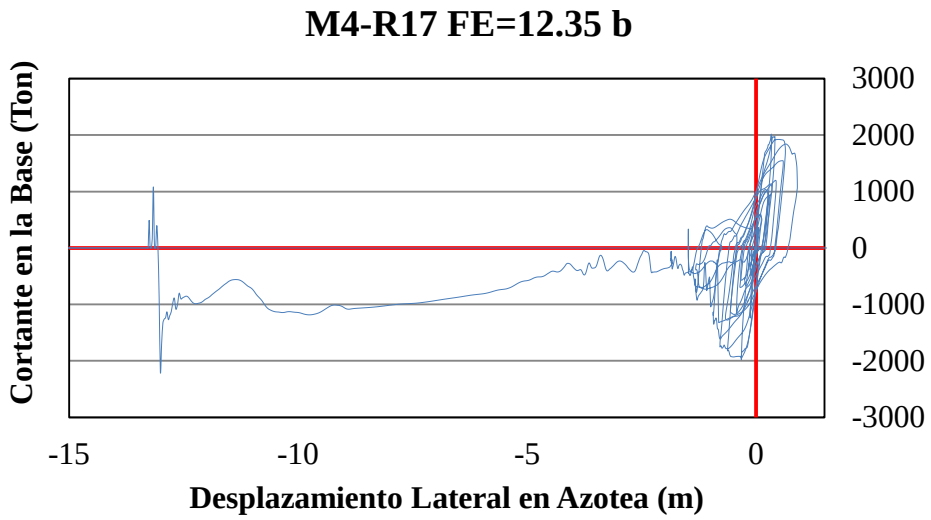

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=12.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

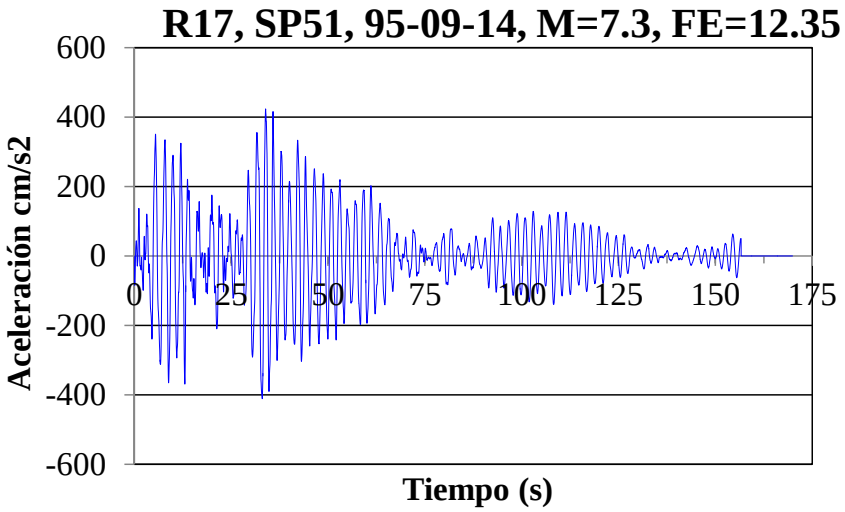

M4-R17 FE=12.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

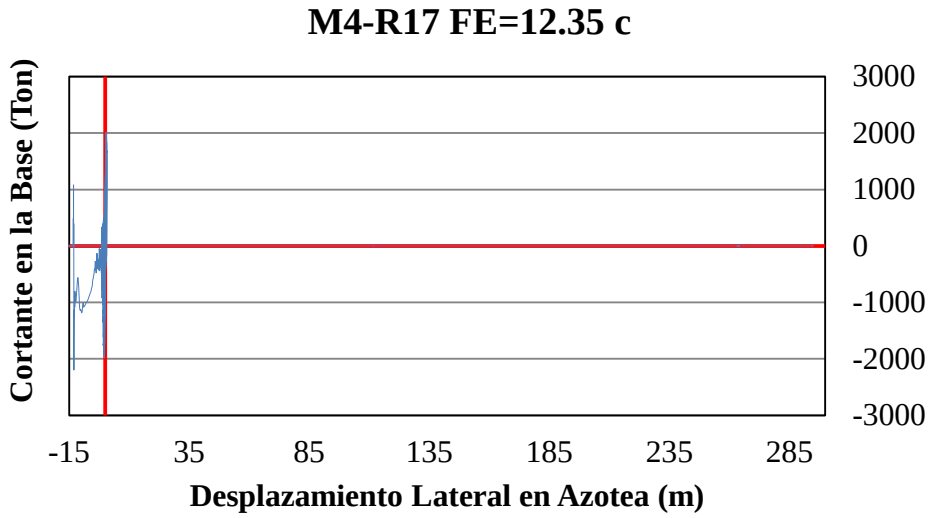

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=12.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R17 FE=12.35 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=12.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R17 FE=12.35 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-15
-10
-5
0
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

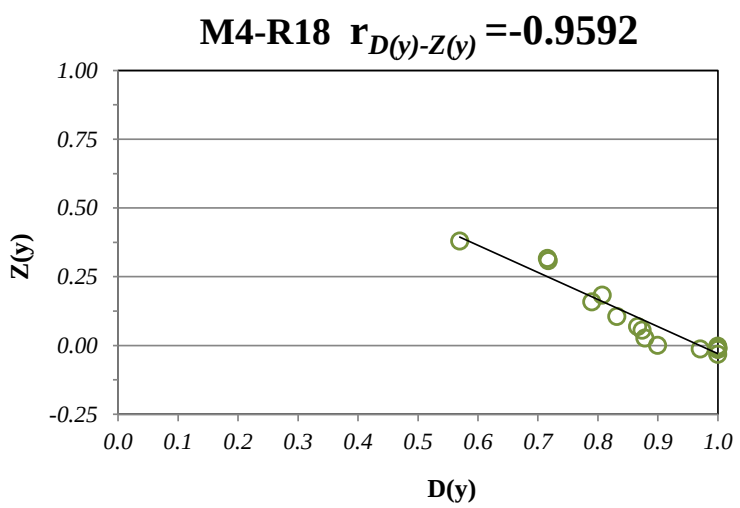

R17, SP51, 95-09-14, M=7.3, FE=12.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

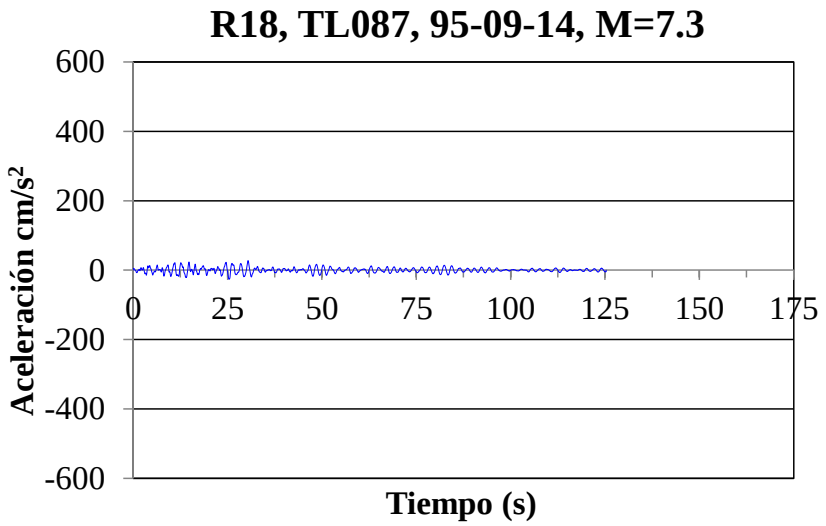

M4-R17 FE=12.35 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-15
35
85
135
185
235
285
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

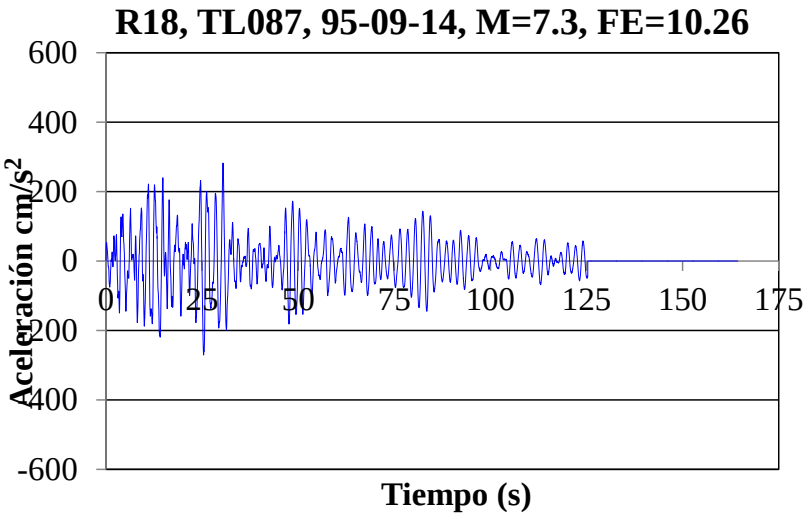
M4-R18

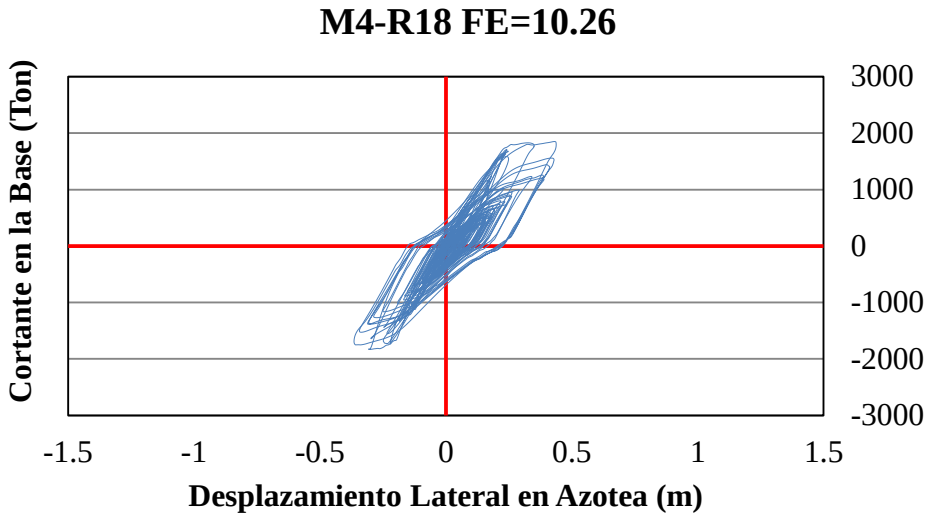
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.3	**6.86**	**9 576.77**	**0.062**	**-0.9592**

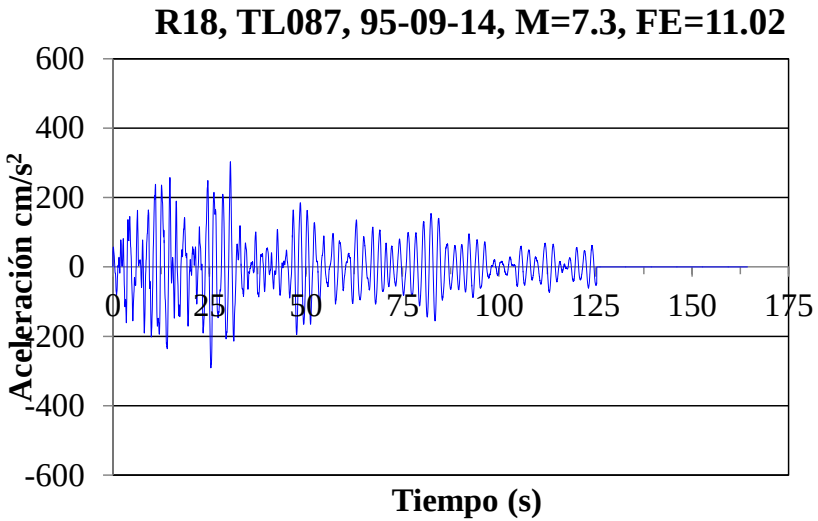
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6408	10.26	30.7600	0.4381	1805.313	4 120.78	0.5697	0.064
0.6881	11.02	30.9800	0.6111	1653.657	2 706.03	0.7174	-0.007
0.7805	12.50	31.1200	0.6881	1271.238	1 847.46	0.8071	-0.133
0.7992	12.80	26.0400	0.6985	-1403.807	2 009.75	0.7901	-0.157
0.8430	13.50	31.1500	0.7497	1207.143	1 610.17	0.8319	-0.210
0.8742	14.00	31.1600	0.7781	996.501	1 280.69	0.8663	-0.247
0.8867	14.20	31.1600	0.7843	946.540	1 206.86	0.8740	-0.261
0.9116	14.60	31.1800	0.8476	984.393	1 161.39	0.8787	-0.289
0.9366	15.00	31.1900	0.8931	857.287	0 959.90	0.8998	-0.316
0.9491	15.20	125.0700	1.5925	445.601	0 279.81	0.9708	-0.329
0.9678	15.50	113.0200	20.7259	0.000	0 000.00	1.0000	-0.349

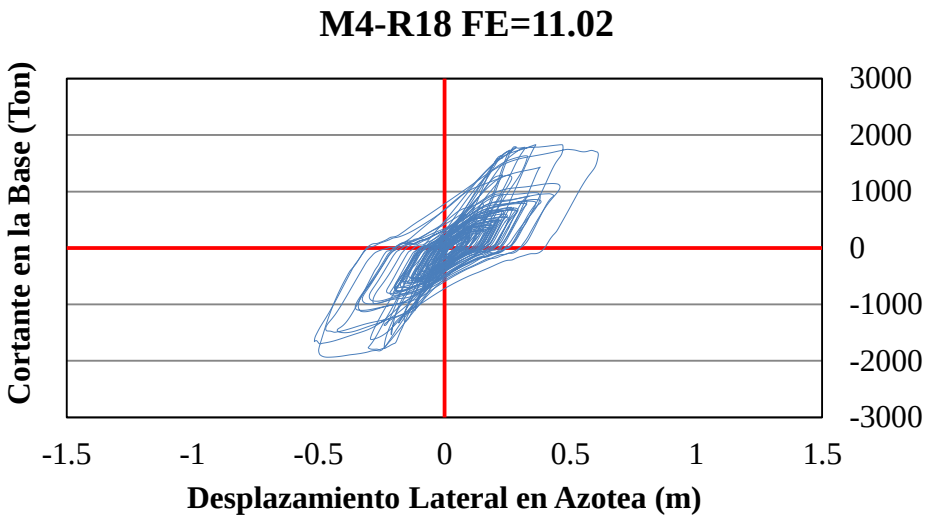

M4-R18 r D(y)-Z(y) =-0.9592
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

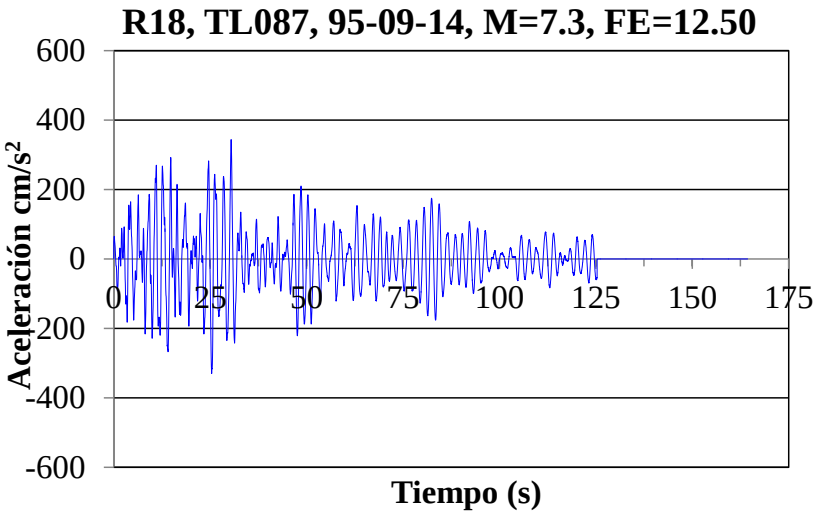

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

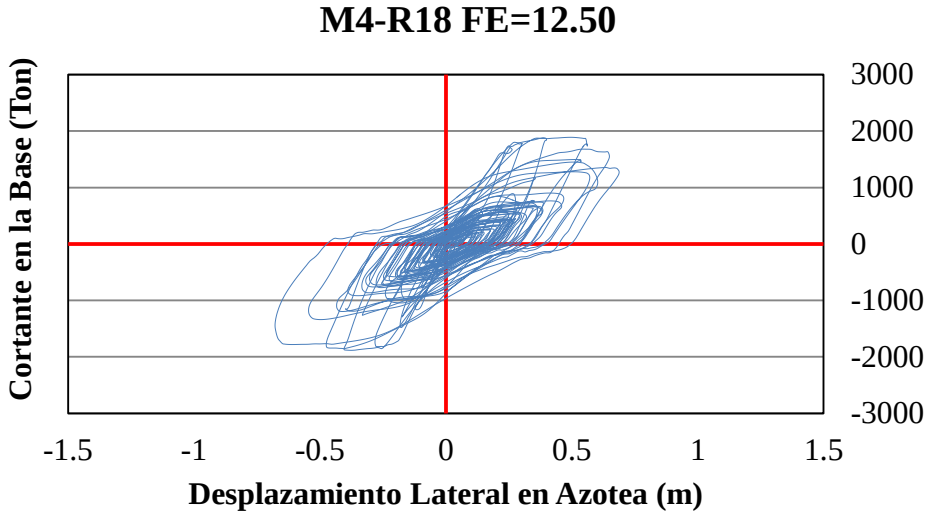

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=10.26
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

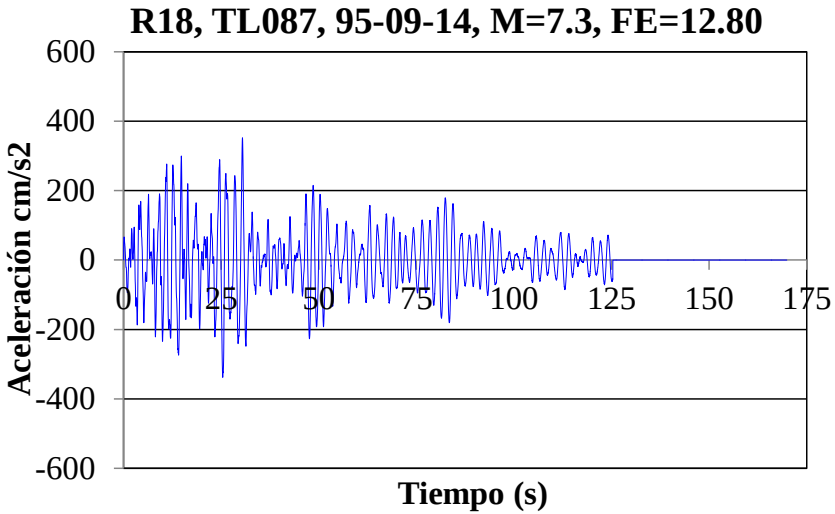

M4-R18 FE=10.26
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

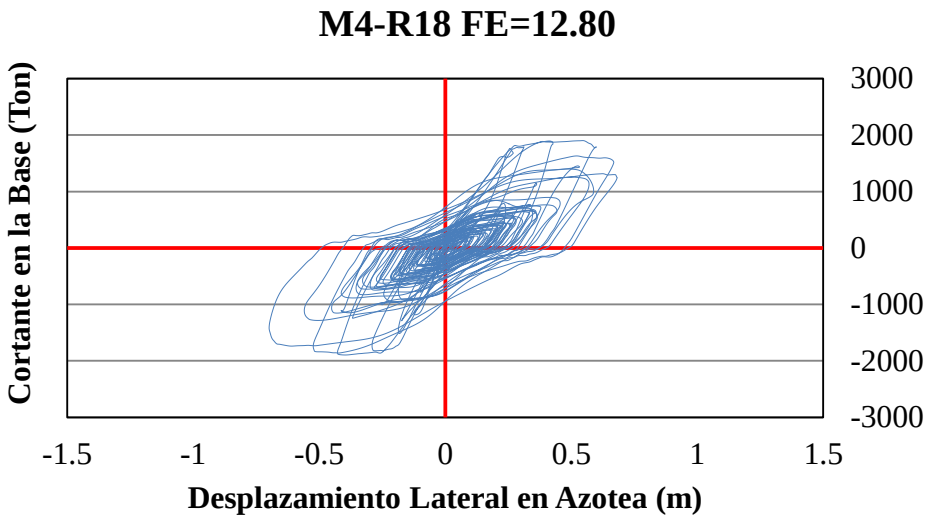

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=11.02
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

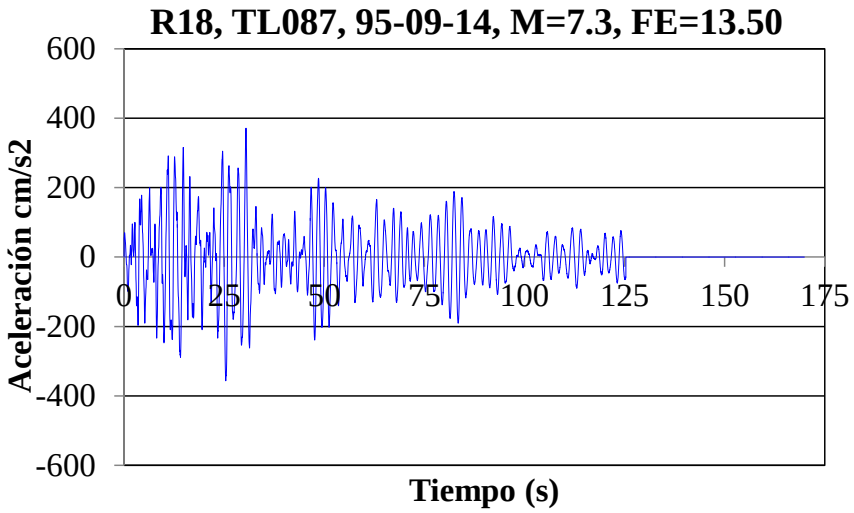

M4-R18 FE=11.02
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

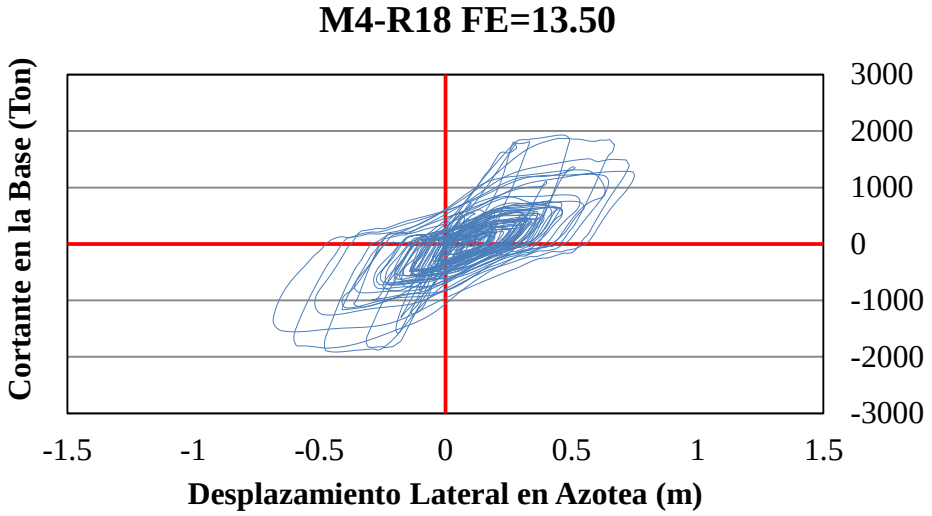

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=12.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

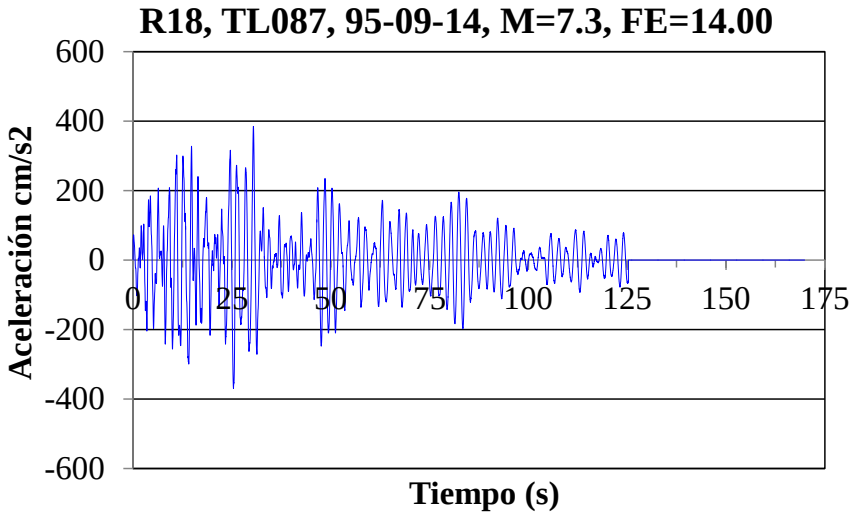

M4-R18 FE=12.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

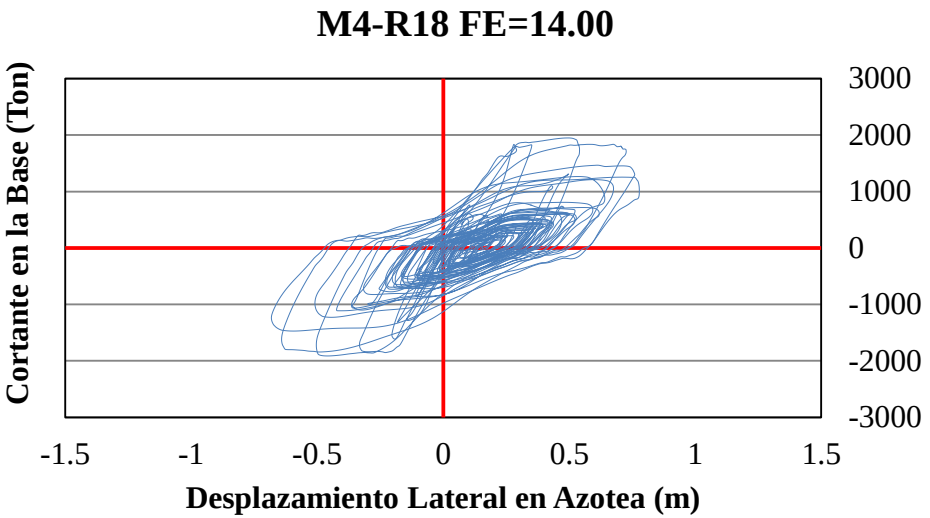

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=12.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

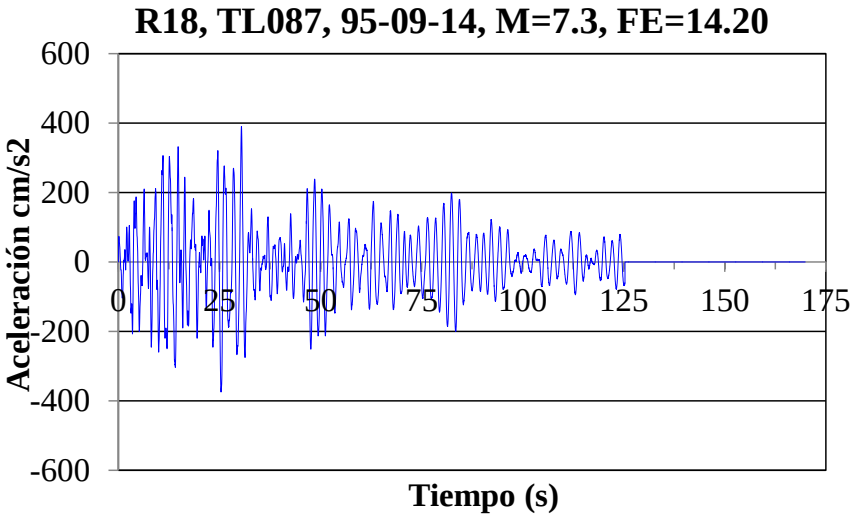

M4-R18 FE=12.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

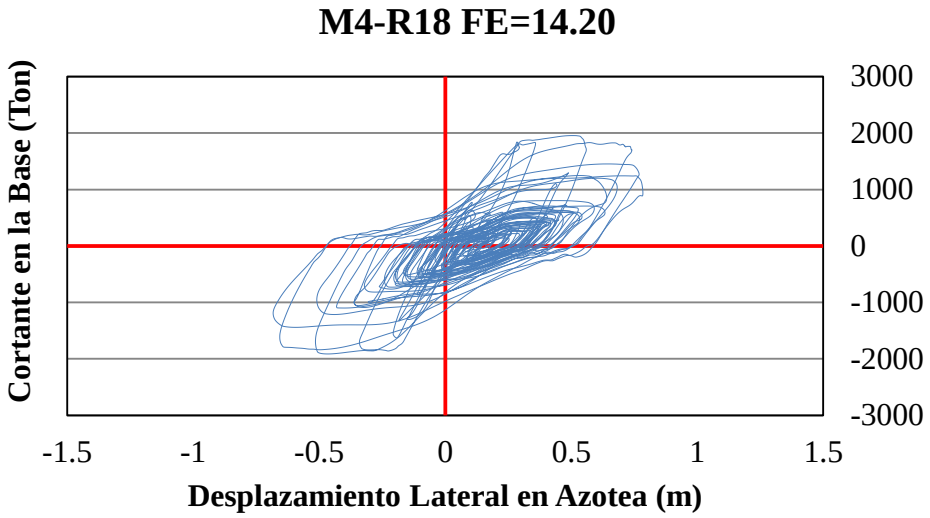

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=13.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

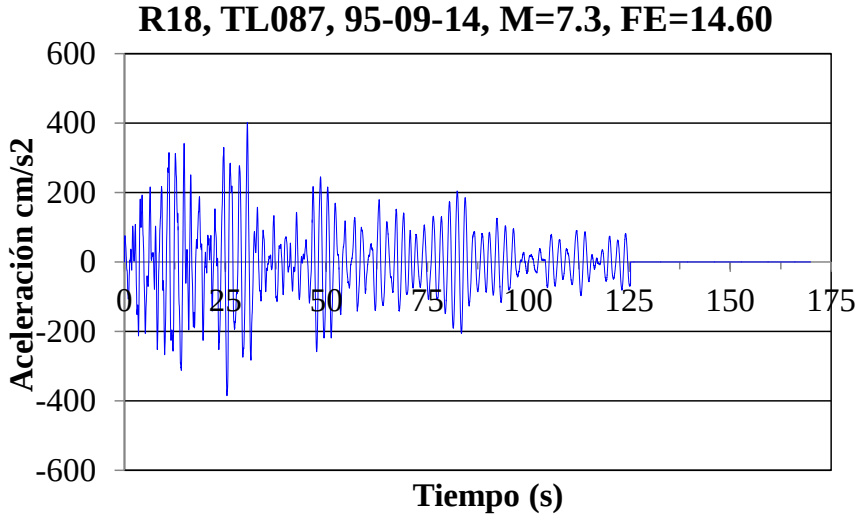

M4-R18 FE=13.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

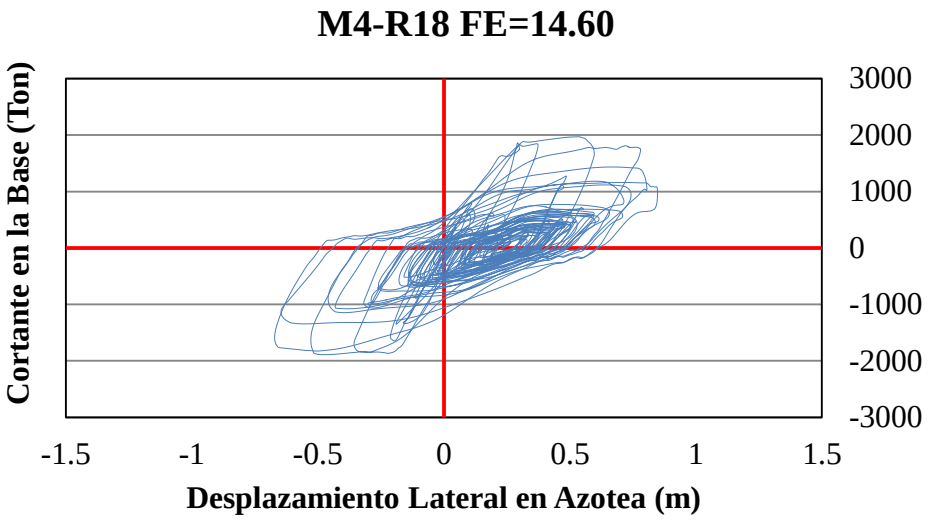

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=14.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

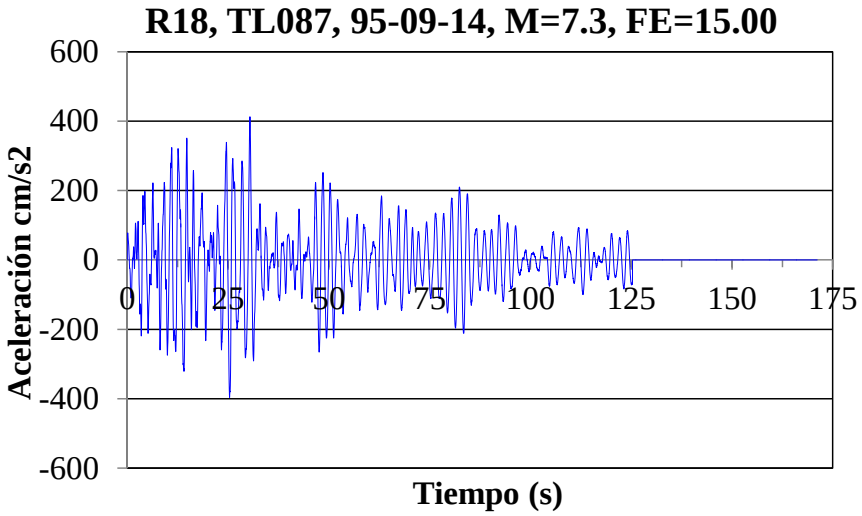

M4-R18 FE=14.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

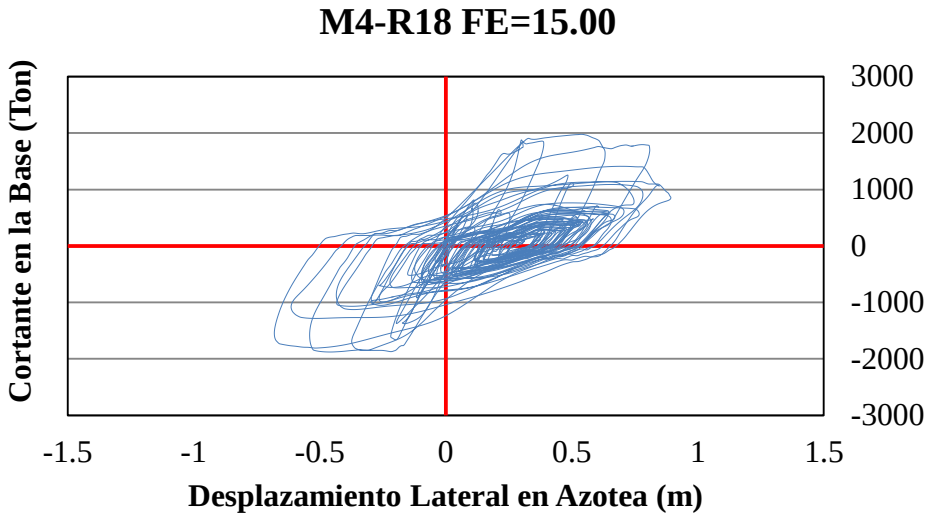

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=14.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

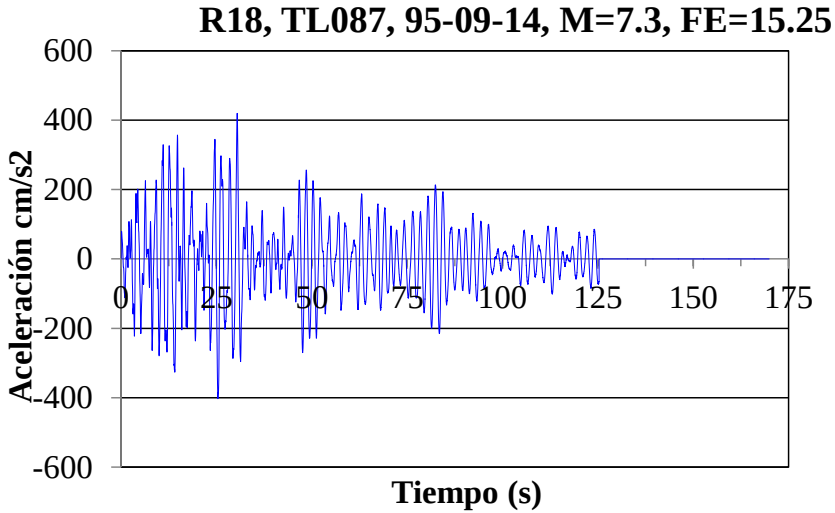

M4-R18 FE=14.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

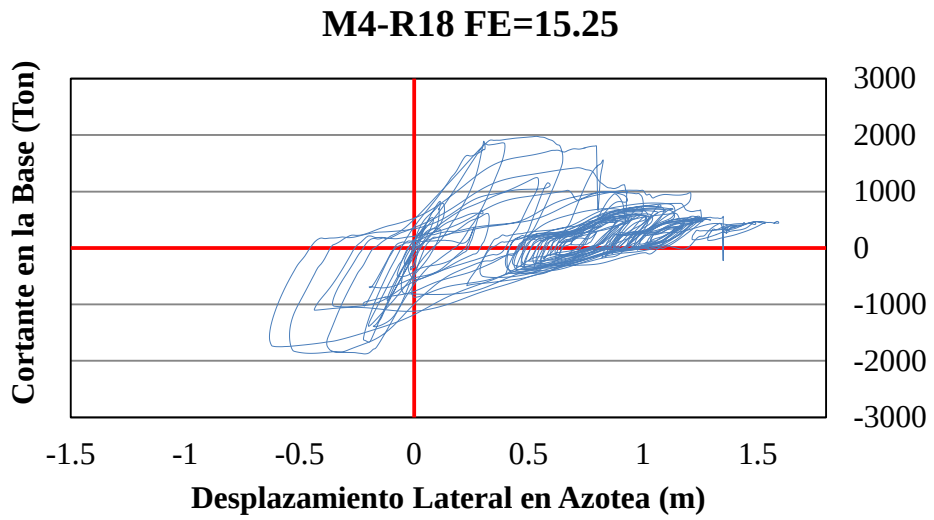

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=14.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

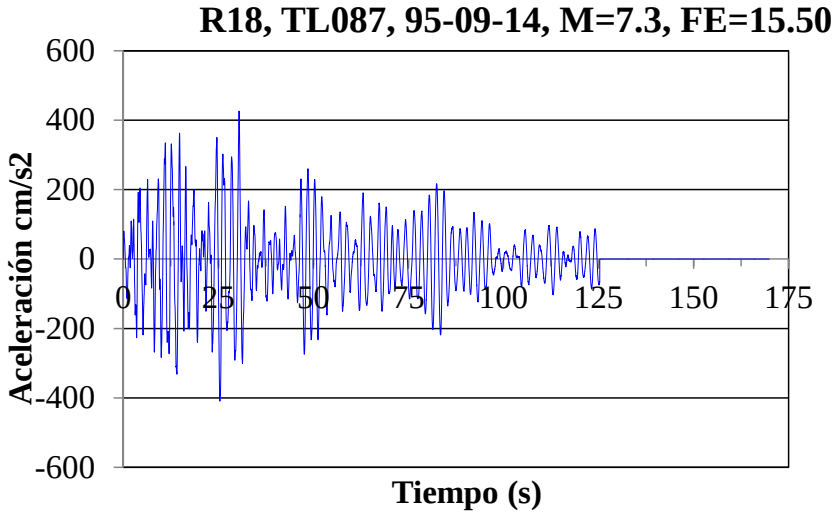

M4-R18 FE=14.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

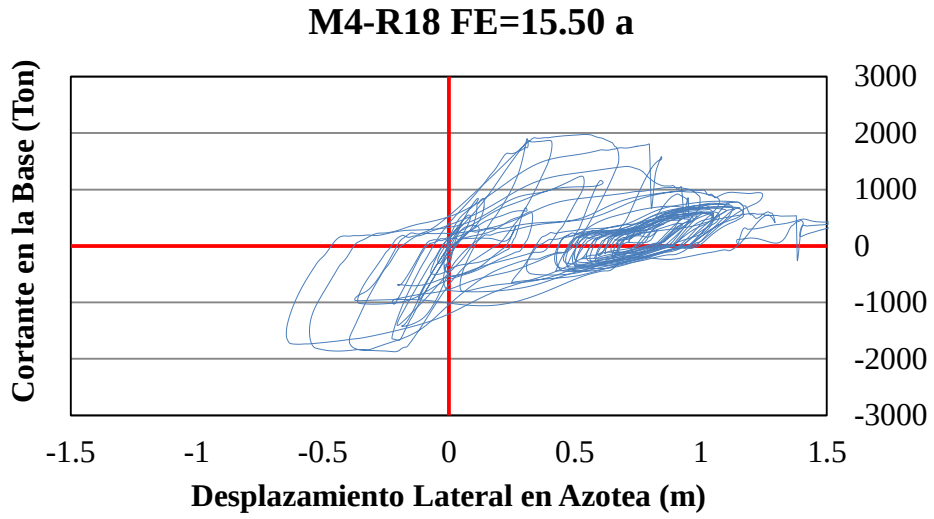

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=15.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

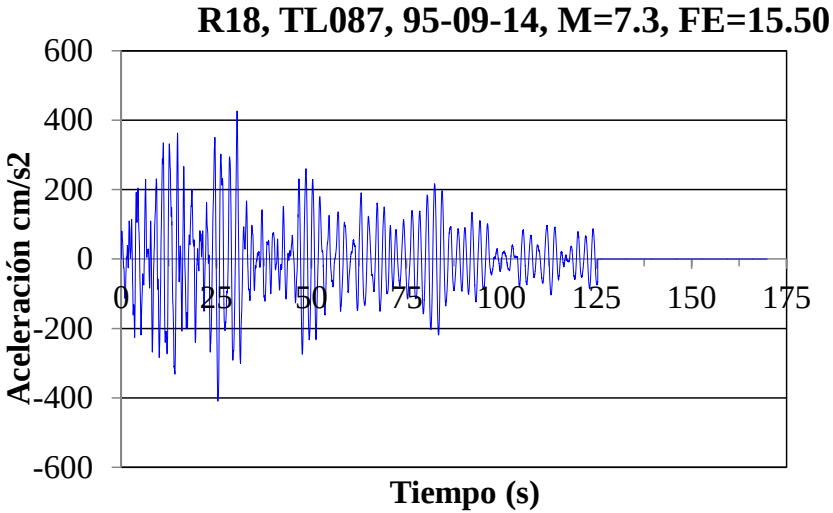

M4-R18 FE=15.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

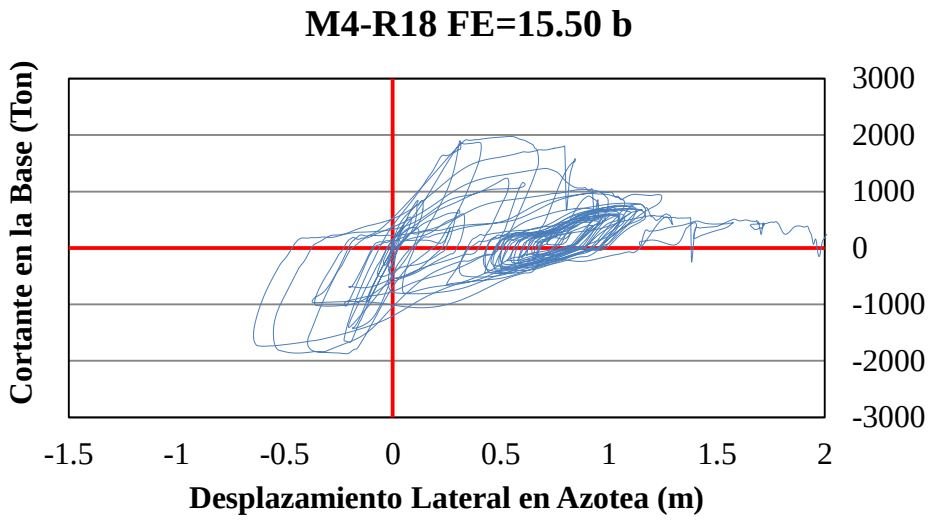

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=15.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

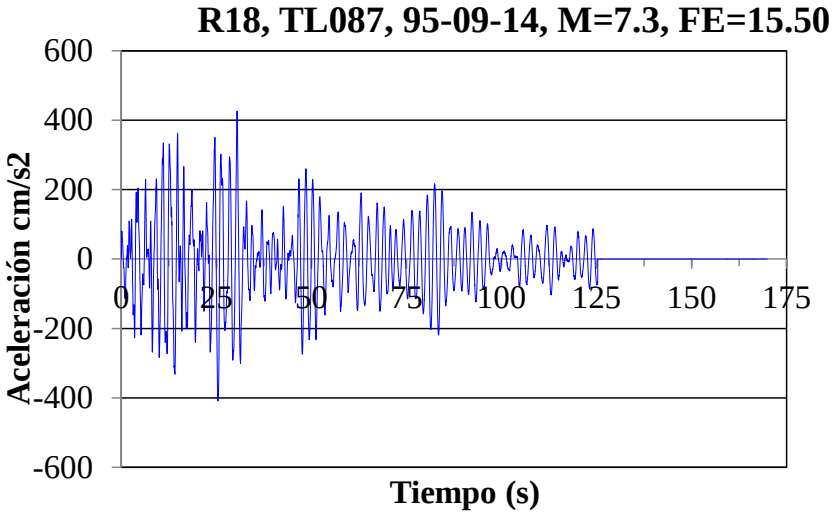

M4-R18 FE=15.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

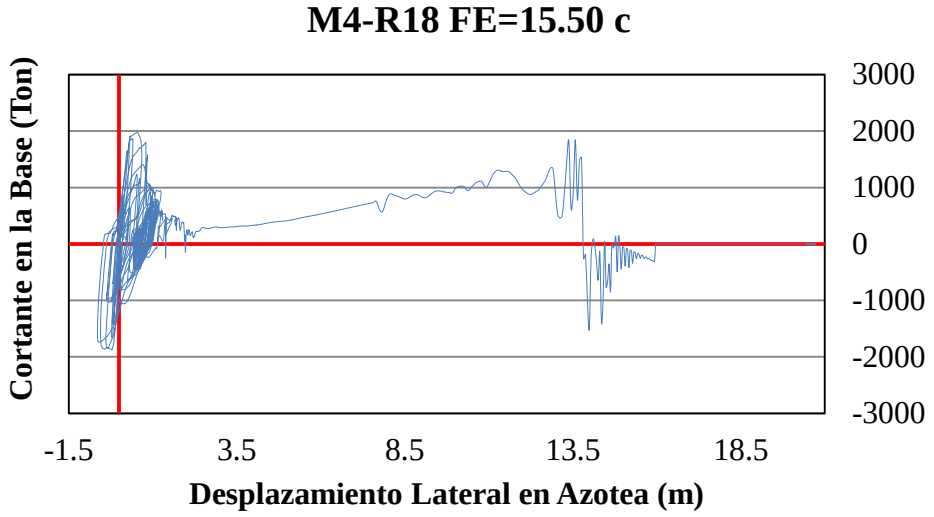

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=15.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R18 FE=15.50 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=15.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R18 FE=15.50 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

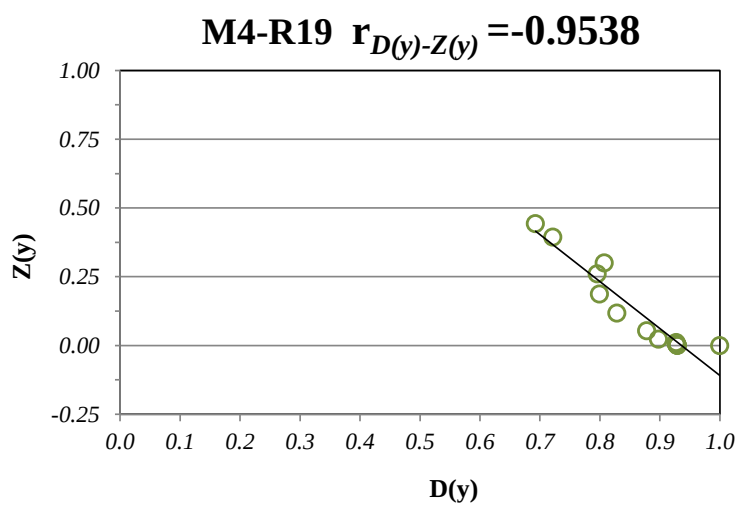

R18, TL087, 95-09-14, M=7.3, FE=15.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

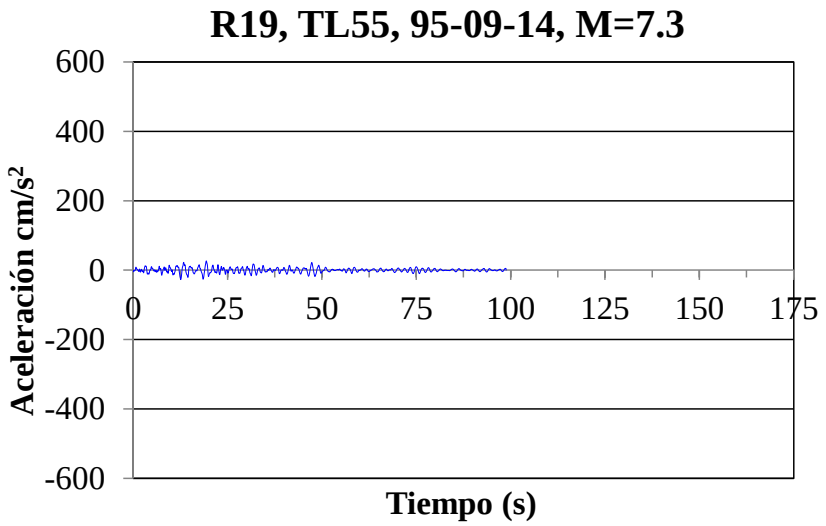

M4-R18 FE=15.50 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
3.5
8.5
13.5
18.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

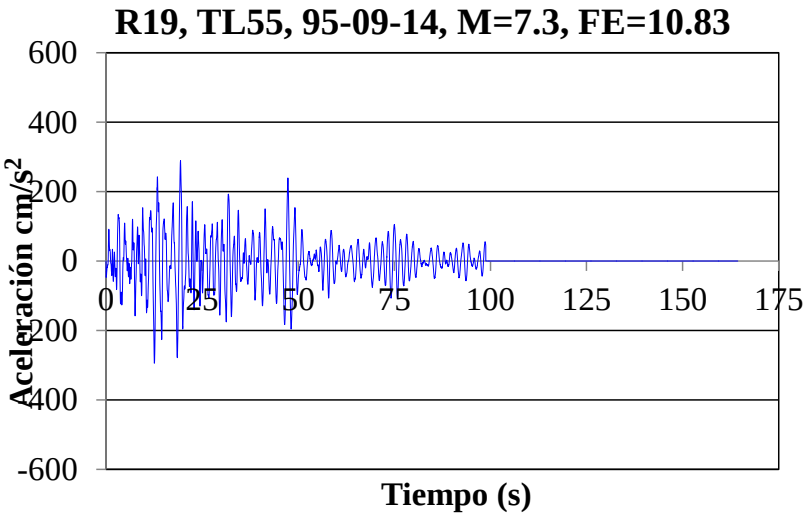
M4-R19

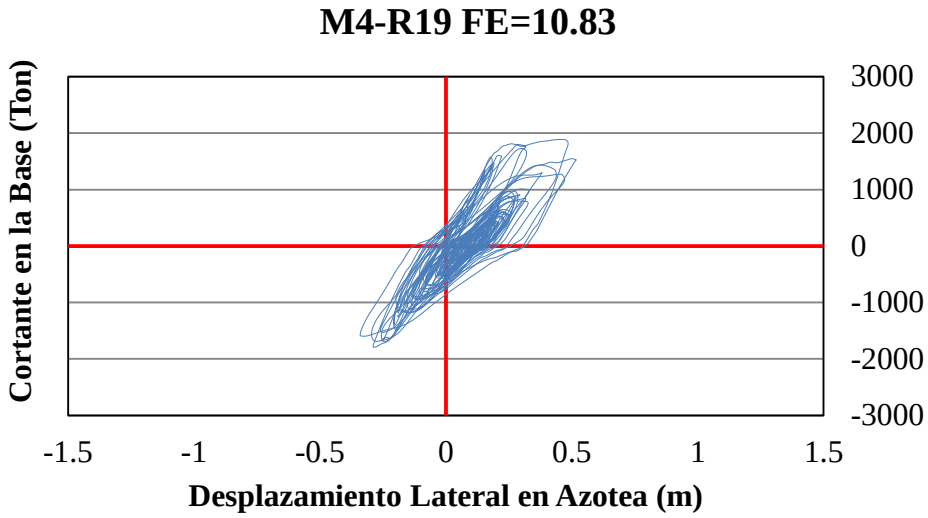
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.3	**6.83**	**9 576.77**	**0.060**	**-0.9538**

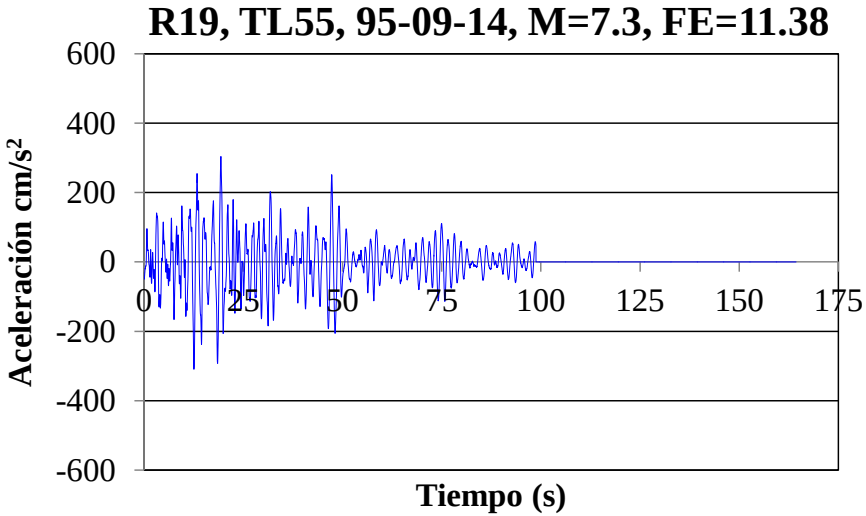
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6459	10.83	47.7500	0.5180	1524.519	2 943.09	0.6927	0.056
0.6785	11.38	47.7900	0.5724	1526.798	2 667.36	0.7215	0.007
0.7453	12.50	47.9200	0.6926	1278.243	1 845.57	0.8073	-0.087
0.7751	13.00	19.9300	0.6964	1364.195	1 958.92	0.7955	-0.126
0.8347	14.00	19.9900	0.6871	1320.056	1 921.20	0.7994	-0.201
0.8943	15.00	19.0800	0.8425	-1386.297	1 645.46	0.8282	-0.270
0.9539	16.00	19.1200	0.9701	-1134.055	1 169.01	0.8779	-0.334
0.9838	16.50	19.1700	1.0481	-1025.972	0 978.89	0.8978	-0.365
0.9957	16.70	47.1500	1.1644	-810.752	0 696.28	0.9273	-0.377
0.9987	16.75	47.1500	1.1718	-815.419	0 695.87	0.9273	-0.380
1.0016	16.80	47.1500	1.1827	-817.250	0 691.00	0.9278	-0.383
1.0046	16.85	47.1500	1.2108	-821.744	0 678.68	0.9291	-0.386
1.0052	16.86	47.1500	1.2117	-822.112	0 678.48	0.9292	-0.386
1.0058	16.87	47.1500	1.2130	-821.667	0 677.38	0.9293	-0.387
1.0070	16.89	96.1900	206.5091	-0.002	0 000.00	1.0000	-0.388

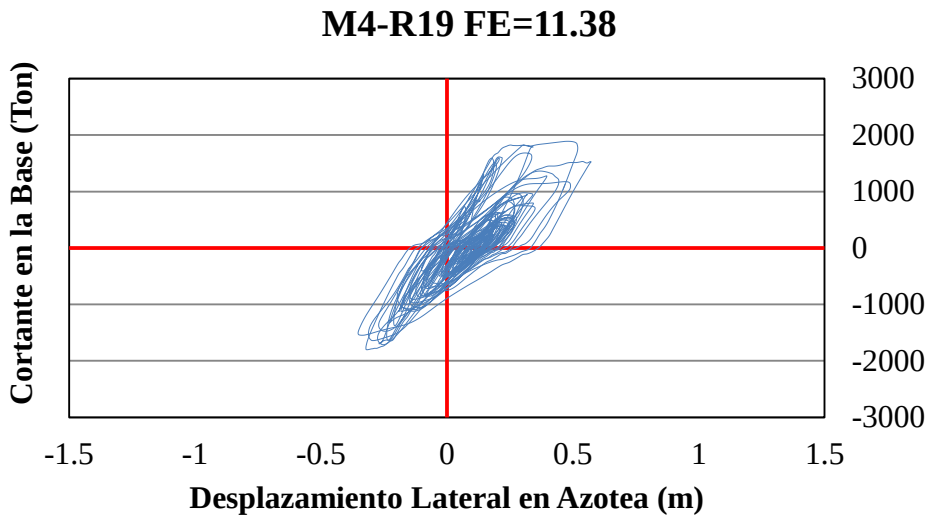

M4-R19 r D(y)-Z(y) =-0.9538
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

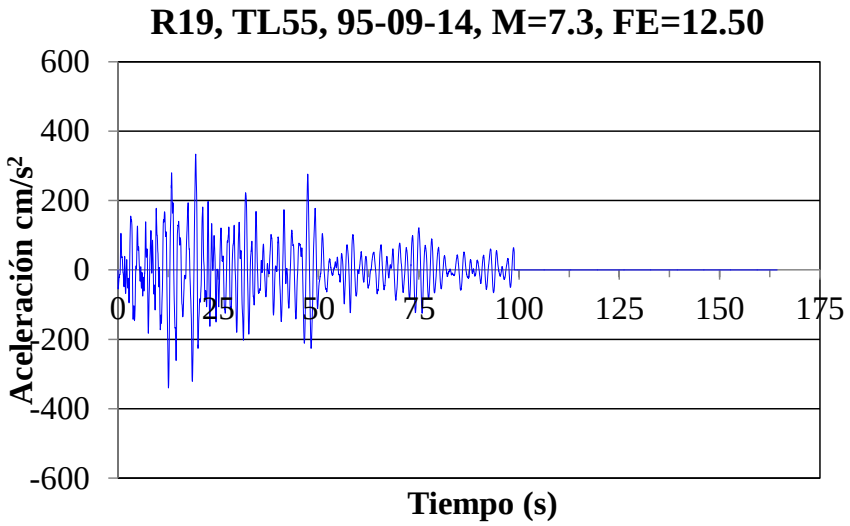

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

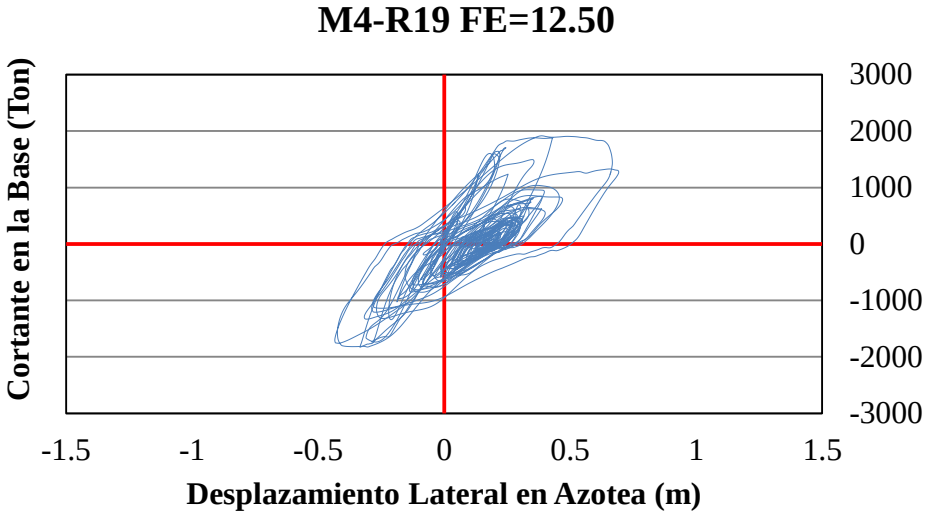

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=10.83
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

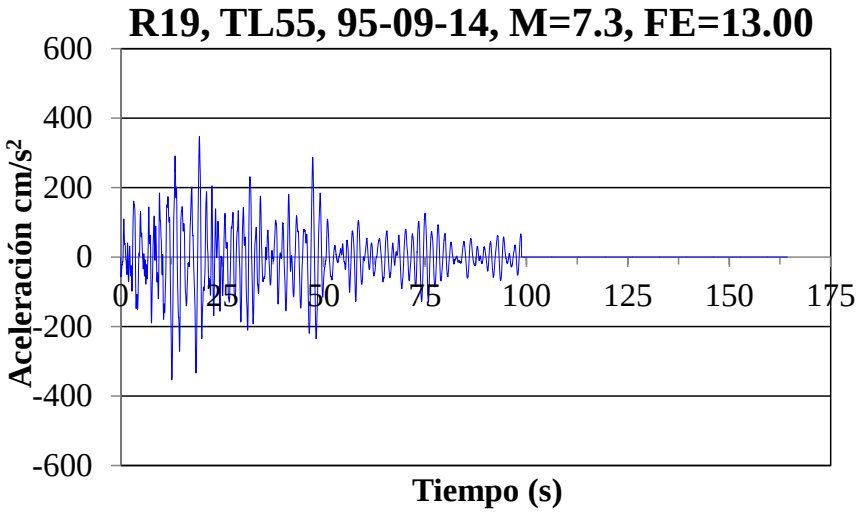

M4-R19 FE=10.83
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

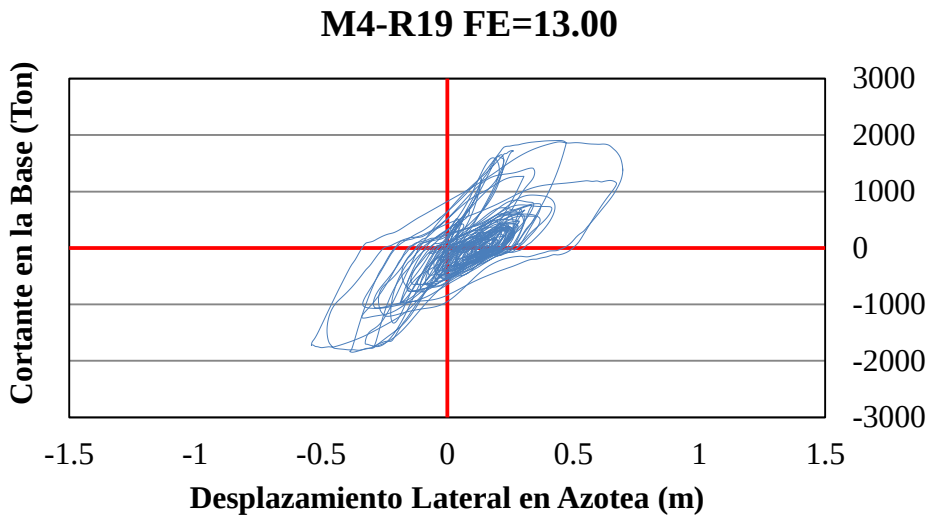

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=11.38
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

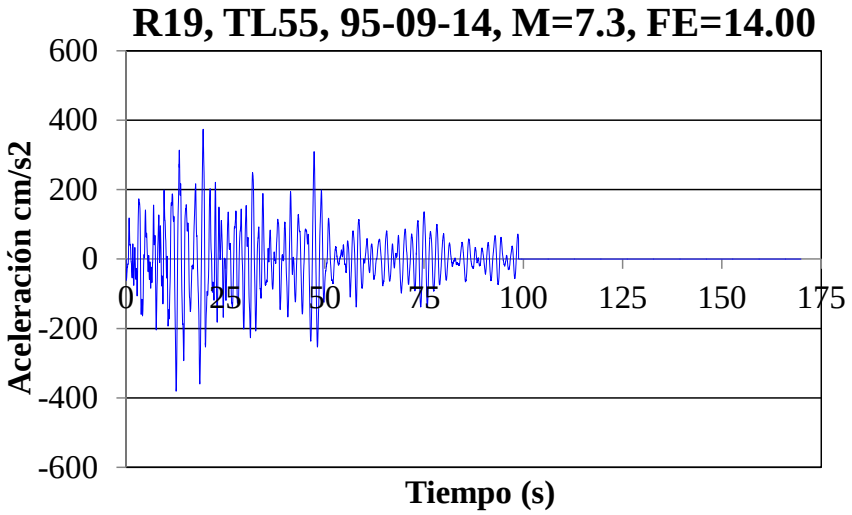

M4-R19 FE=11.38
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

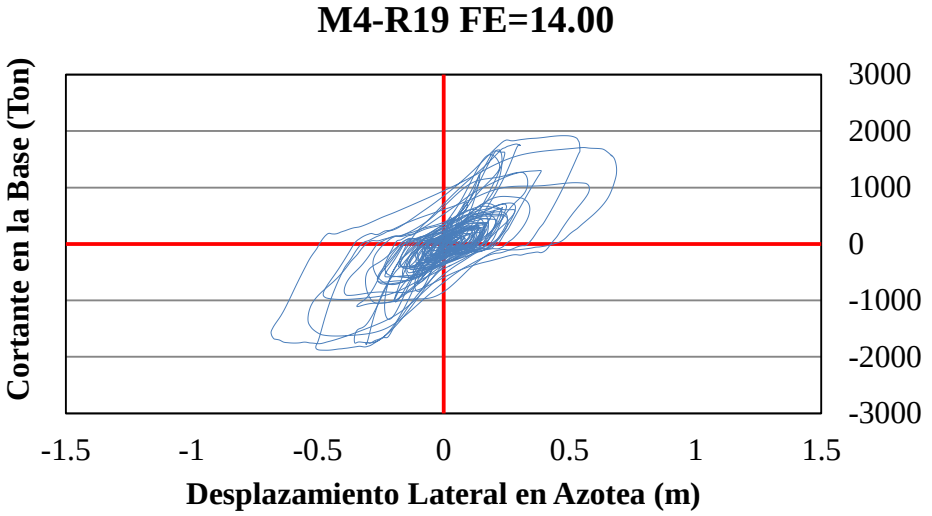

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=12.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

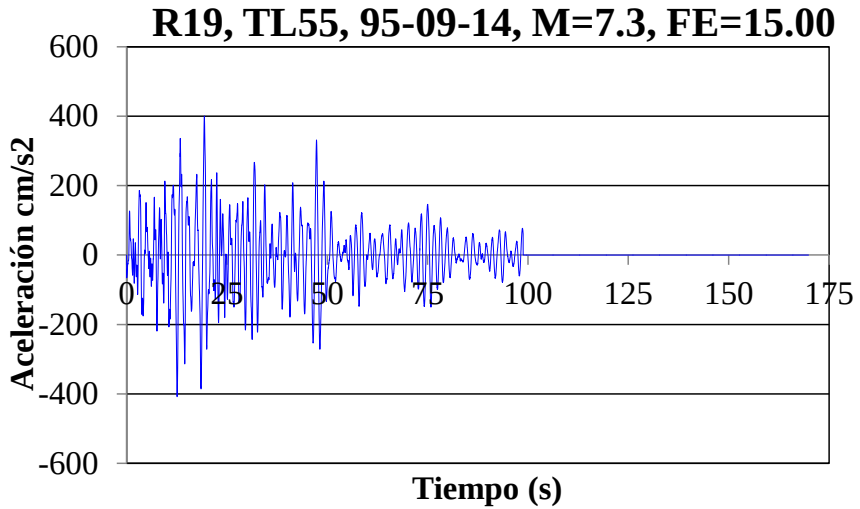

M4-R19 FE=12.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

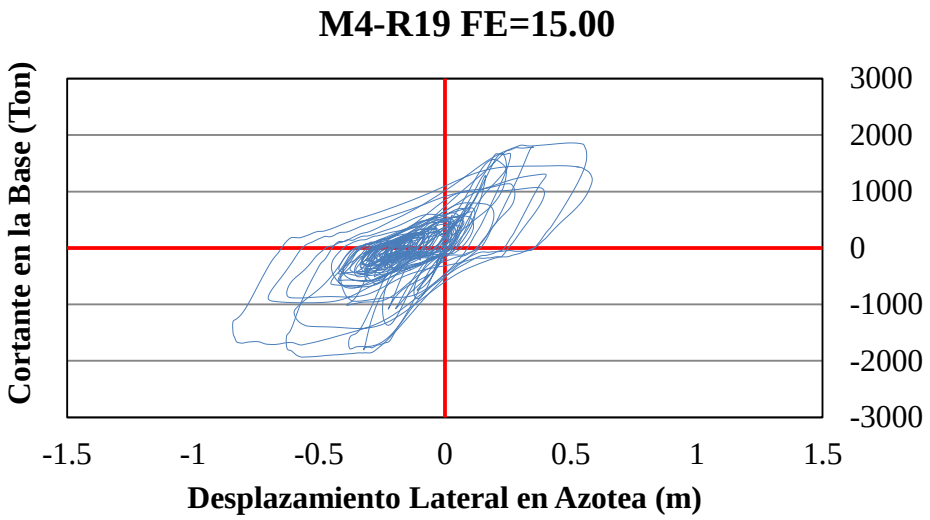

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=13.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

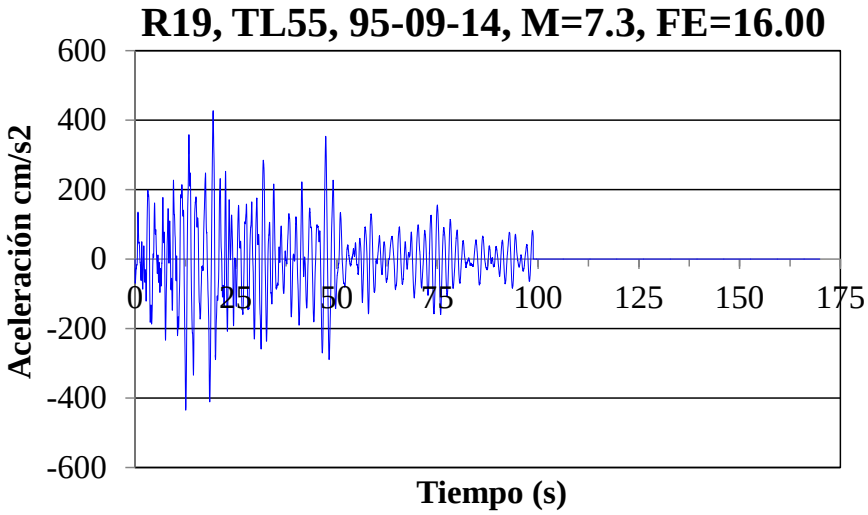

M4-R19 FE=13.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

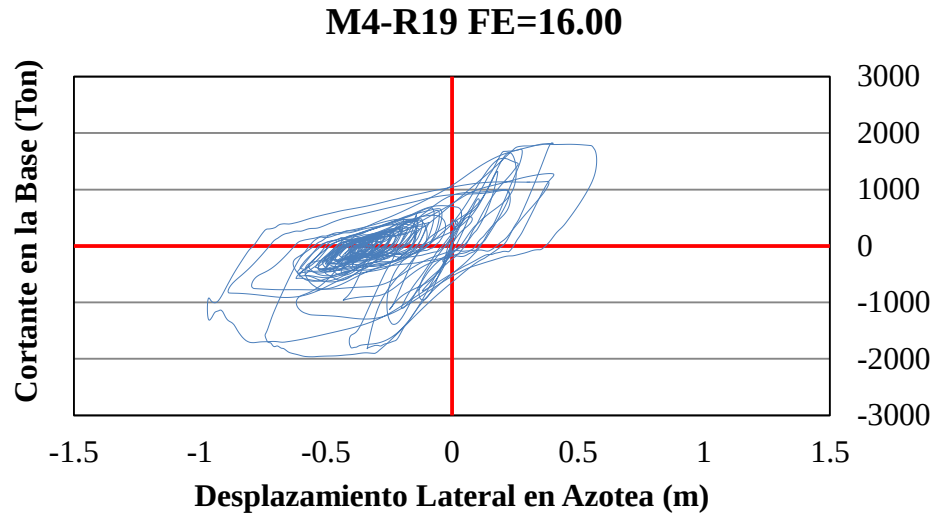

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=14.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

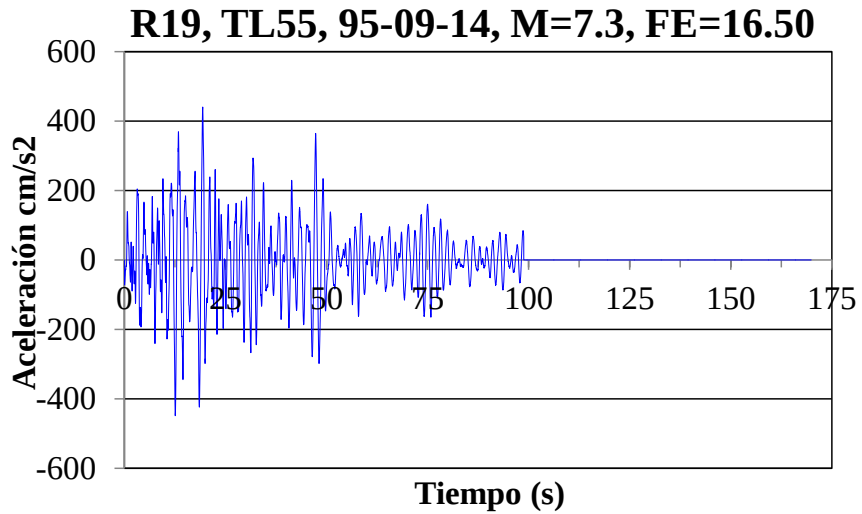

M4-R19 FE=14.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

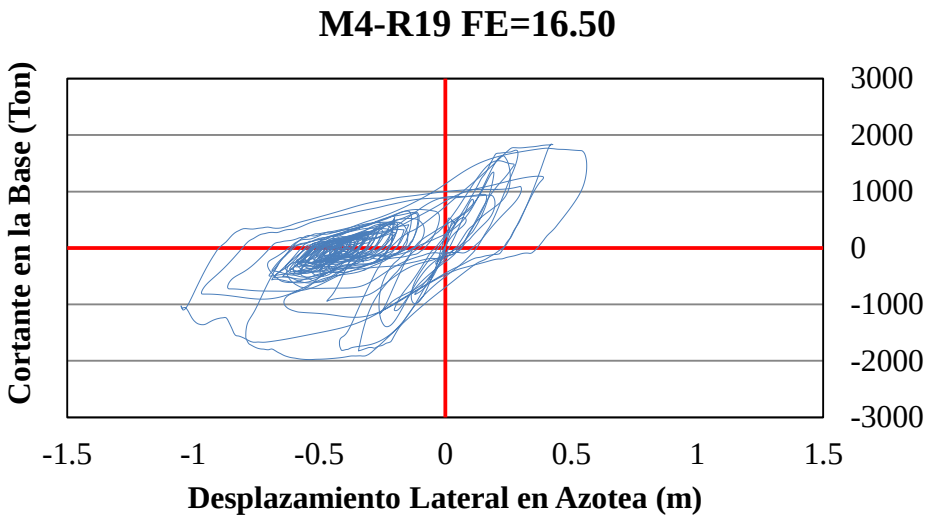

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=15.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

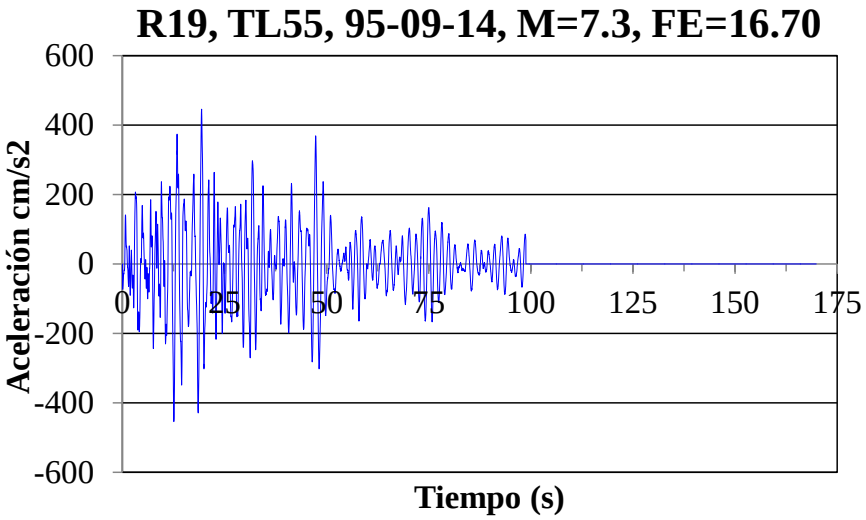

M4-R19 FE=15.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

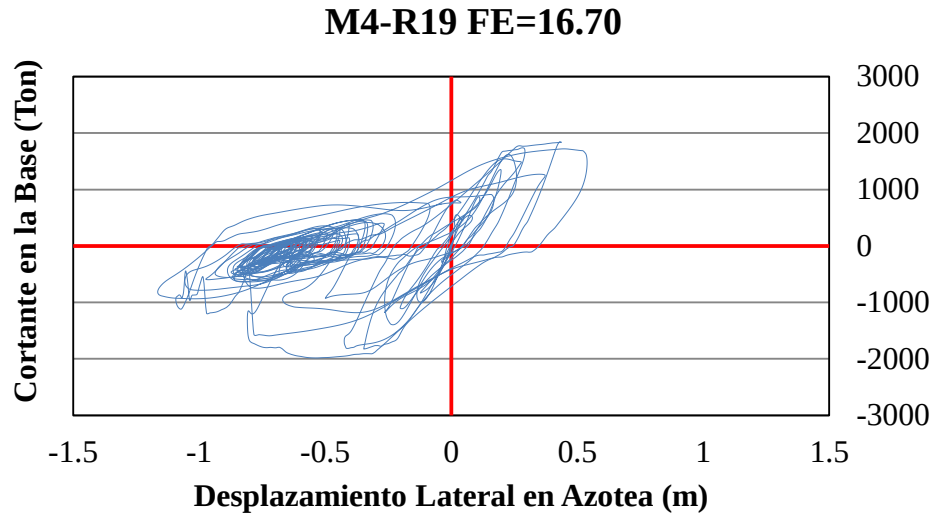

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

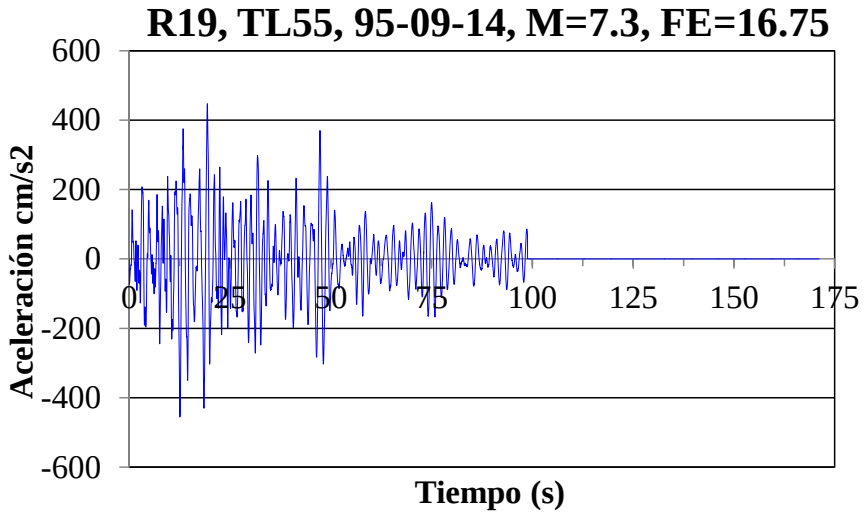

M4-R19 FE=16.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

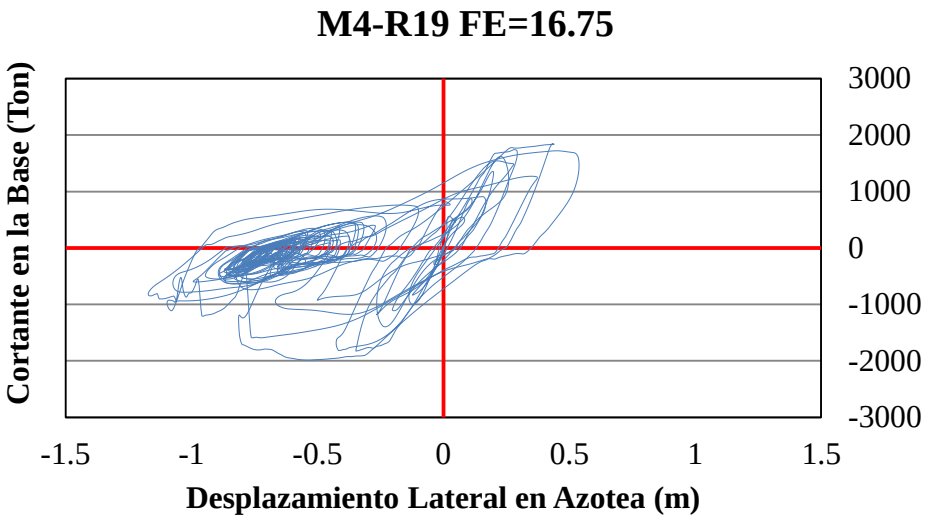

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

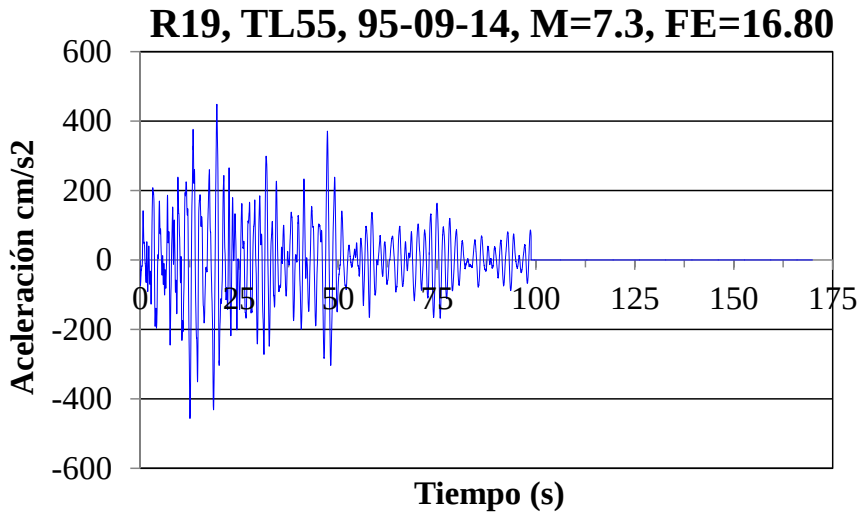

M4-R19 FE=16.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

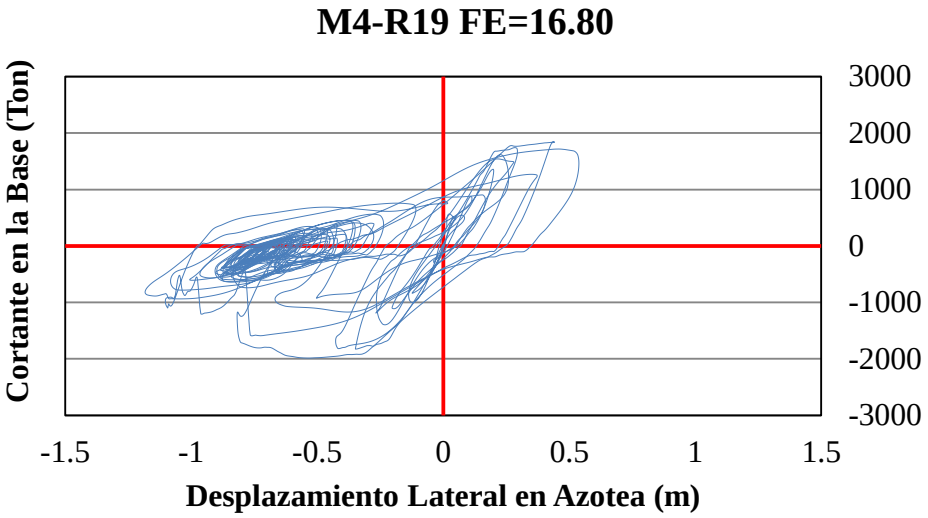

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

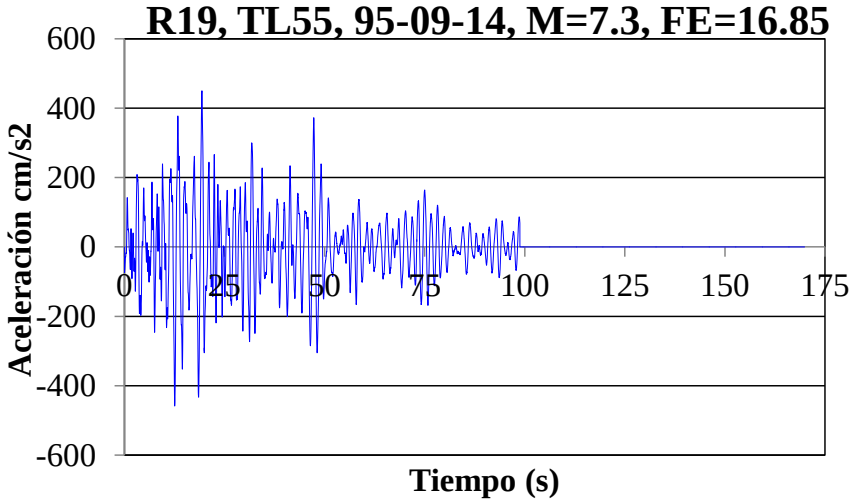

M4-R19 FE=16.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

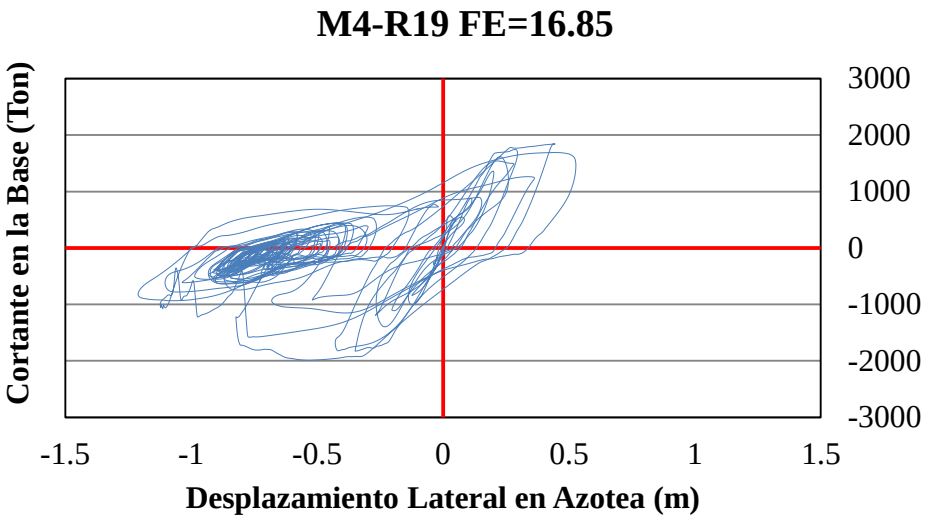

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

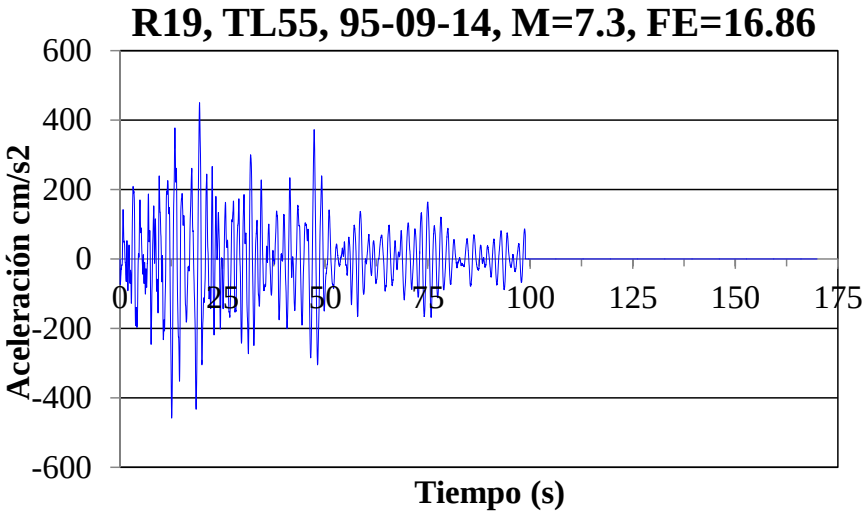

M4-R19 FE=16.75
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

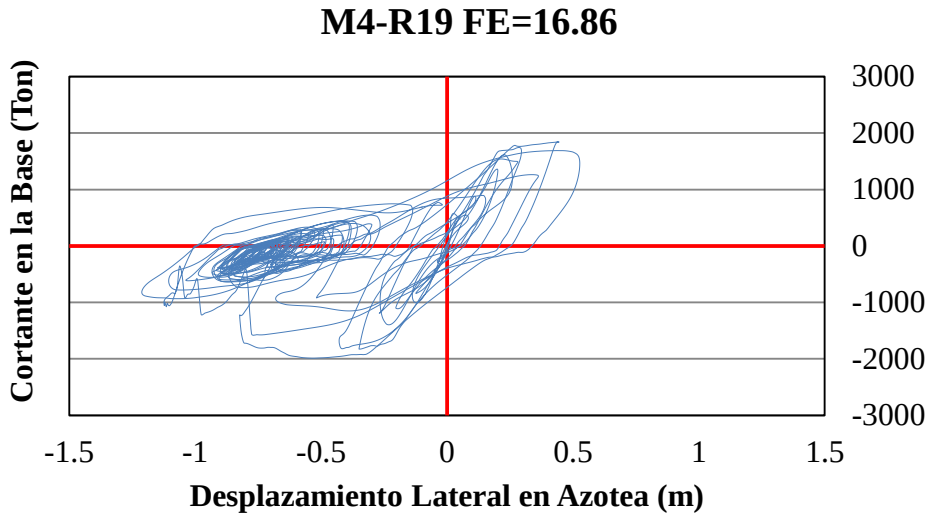

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

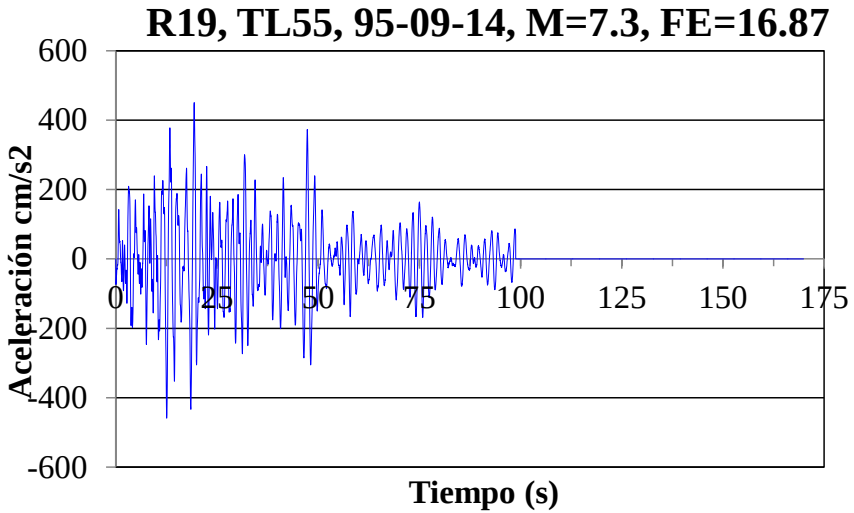

M4-R19 FE=16.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

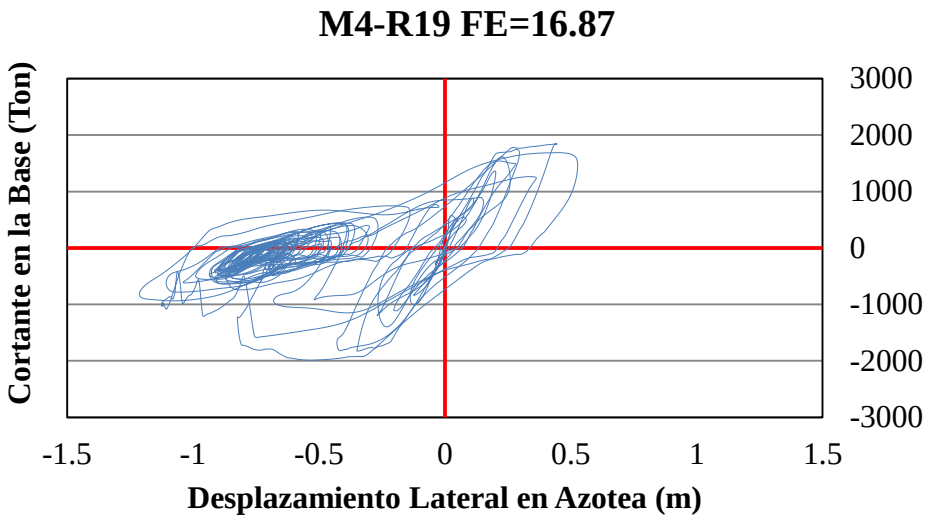

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.85
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

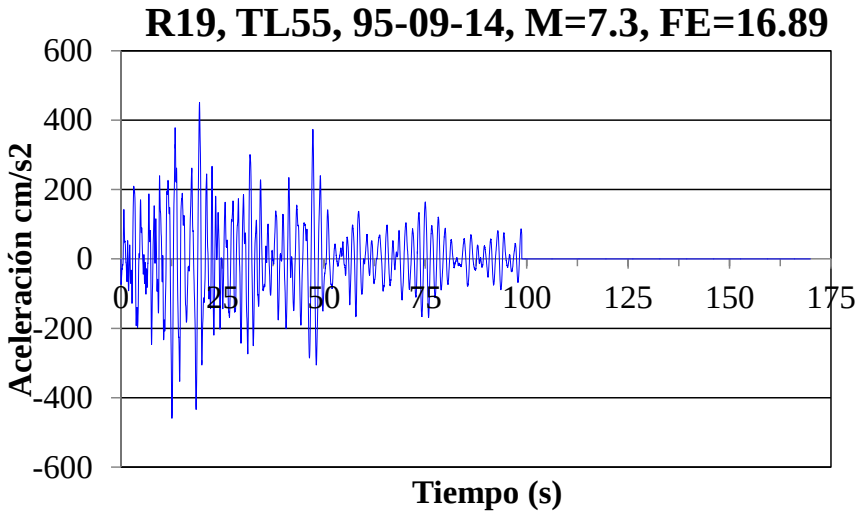

M4-R19 FE=16.85
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

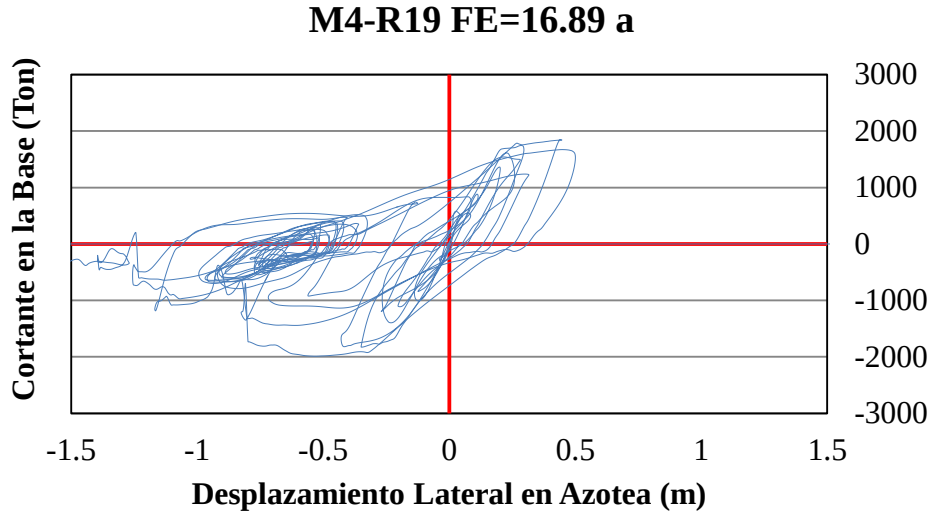

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.86
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

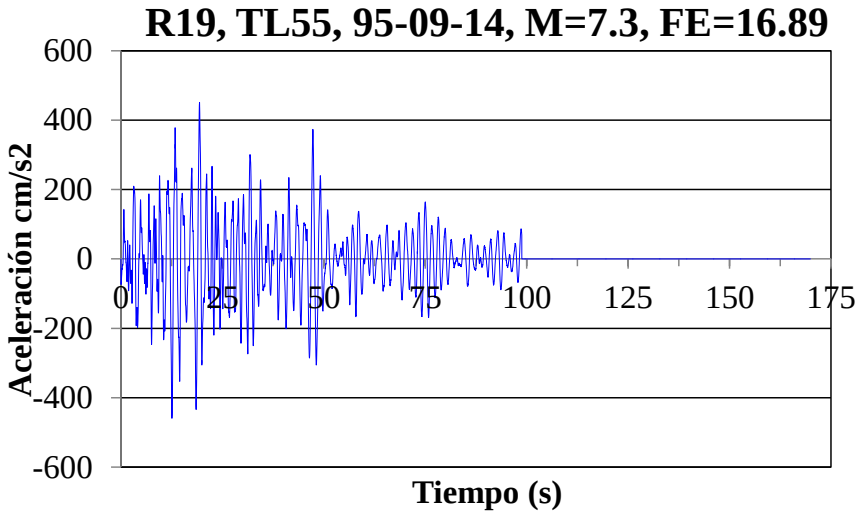

M4-R19 FE=16.86
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

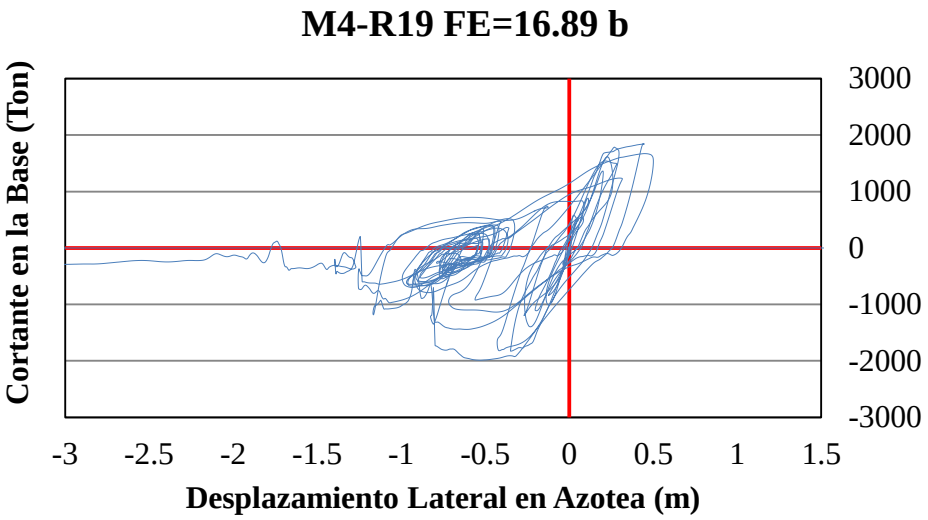

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.87
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

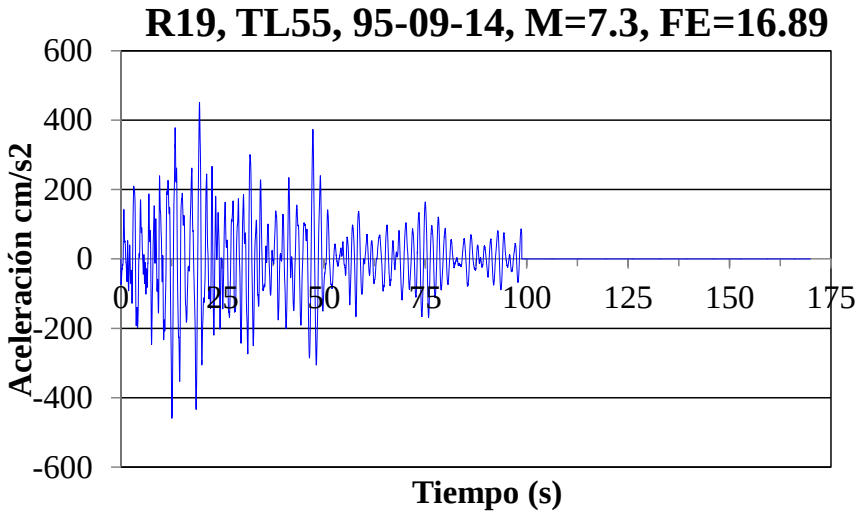

M4-R19 FE=16.87
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

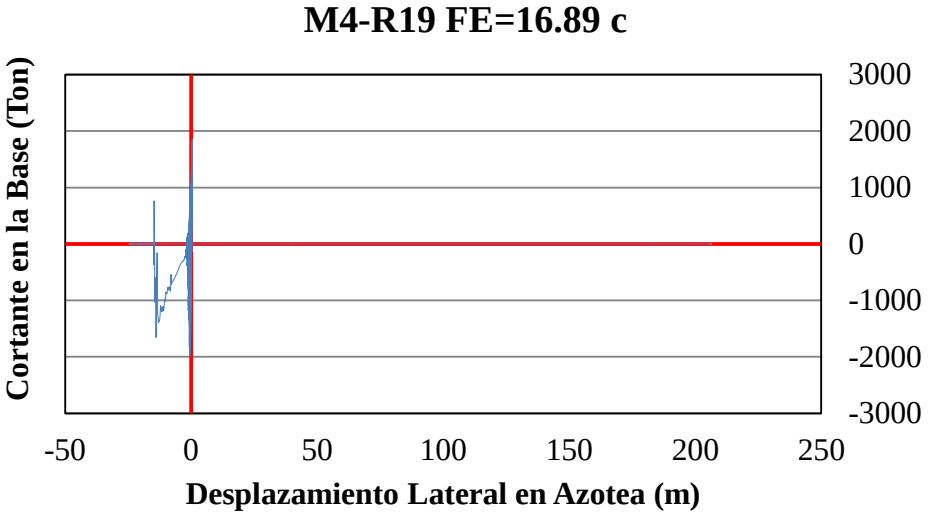

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.89
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R19 FE=16.89 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.89
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R19 FE=16.89 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

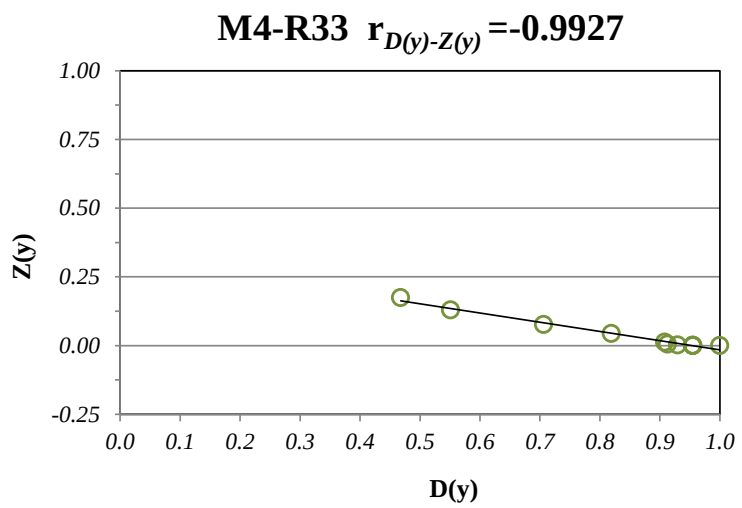

R19, TL55, 95-09-14, M=7.3, FE=16.89
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

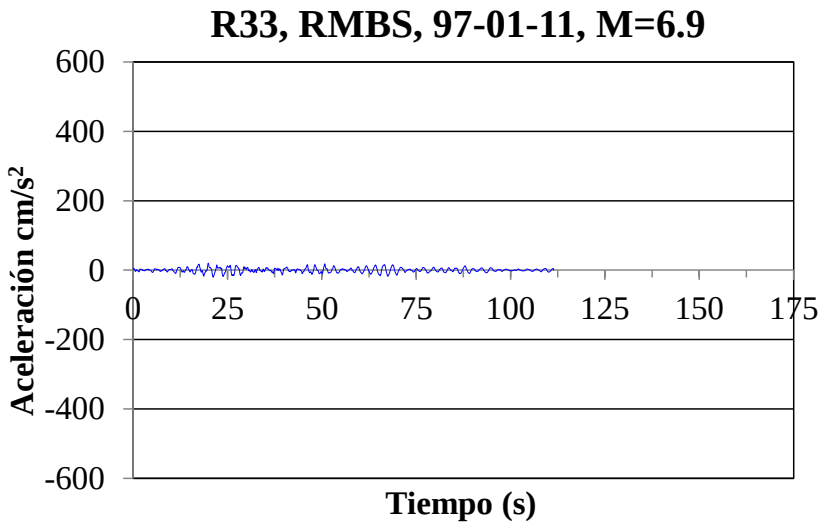

M4-R19 FE=16.89 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-50
0
50
100
150
200
250
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

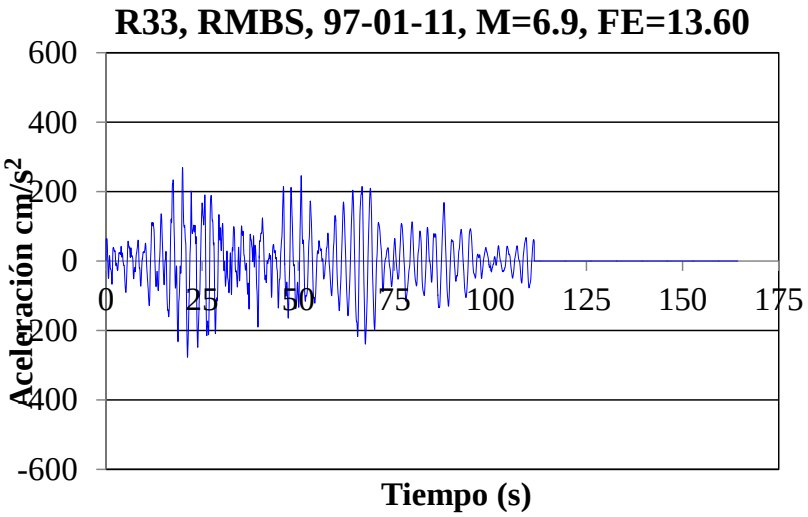
M4-R33

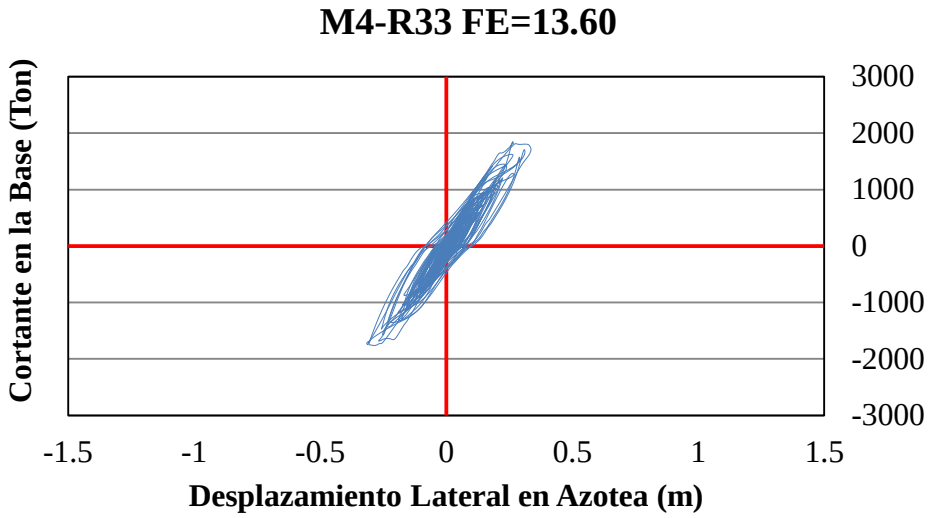
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**9 576.77**	**0.048**	**-0.9927**

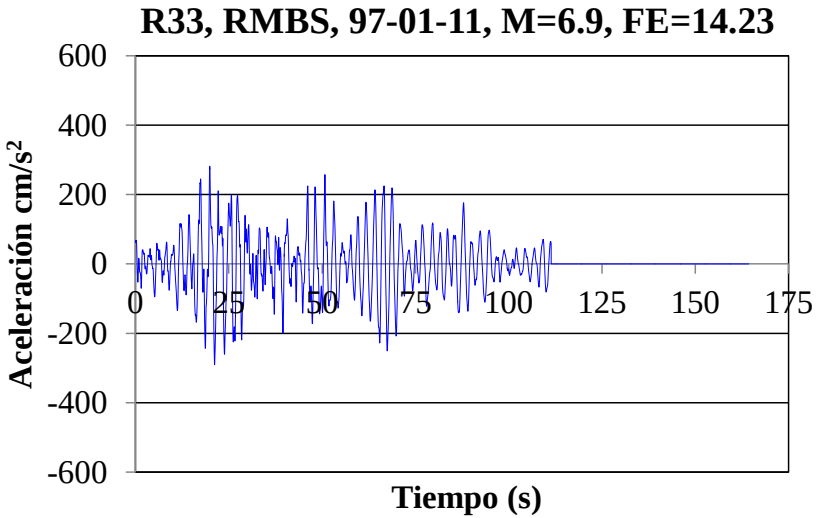
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6484	13.60	27.6900	0.3363	1714.253	5 097.39	0.4677	0.052
0.6784	14.23	69.0400	0.3839	1650.436	4 299.13	0.5511	0.007
0.7151	15.00	69.2100	0.5797	1631.221	2 813.91	0.7062	-0.046
0.7390	15.50	69.3300	0.7448	1292.110	1 734.84	0.8188	-0.079
0.7628	16.00	88.7500	1.1549	1016.862	0 880.48	0.9081	-0.110
0.7676	16.10	88.7500	1.1712	981.583	0 838.10	0.9125	-0.117
0.7704	16.16	88.7700	1.2433	836.173	0 672.54	0.9298	-0.120
0.7714	16.18	109.9200	1.2572	545.636	0 434.01	0.9547	-0.122
0.7716	16.185	109.9200	1.2600	546.632	0 433.83	0.9547	-0.122
0.7719	16.190	109.9200	1.2610	547.504	0 434.18	0.9547	-0.122
0.7720	16.192	109.9200	1.2605	547.273	0 434.17	0.9547	-0.122
0.7721	16.20	102.9300	26.5485	-0.002	0 000.00	1.0000	-0.123

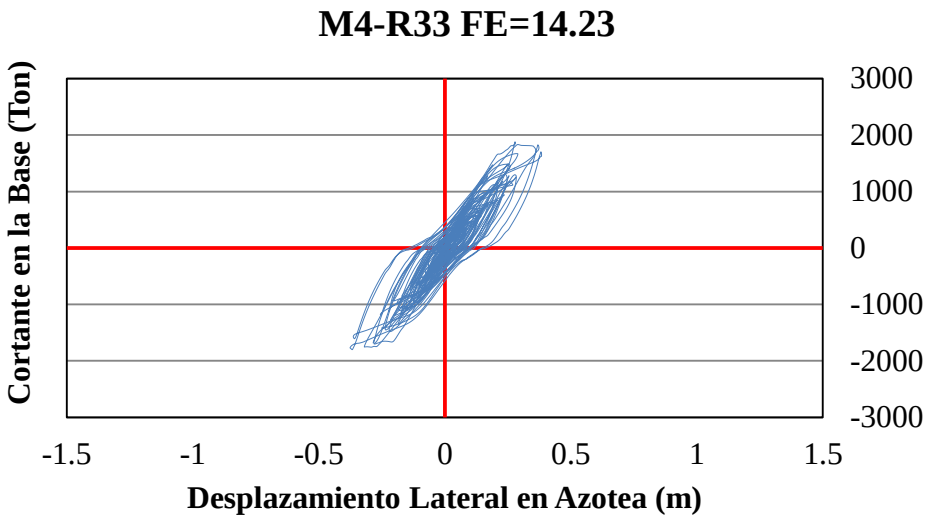

M4-R33 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.9927
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

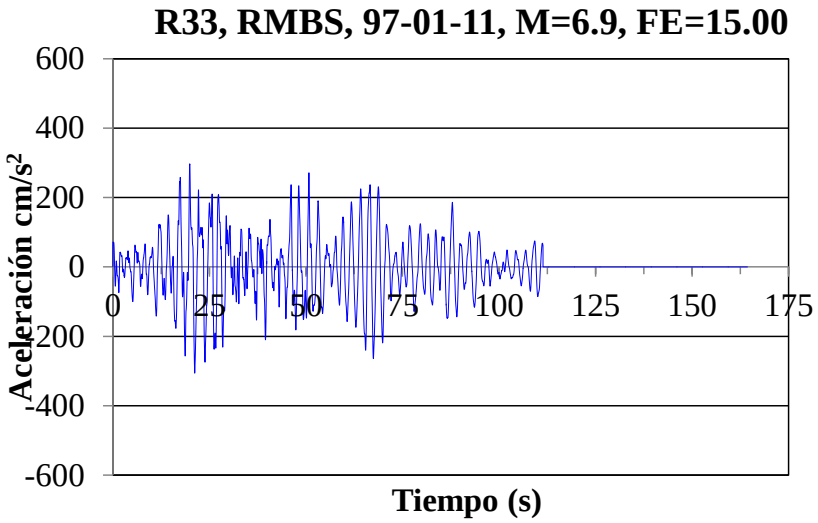

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

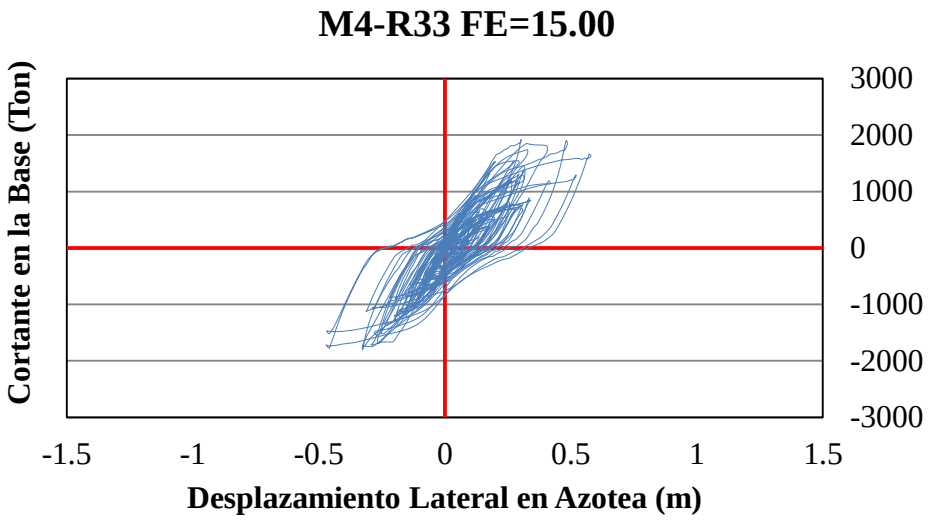

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=13.60
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

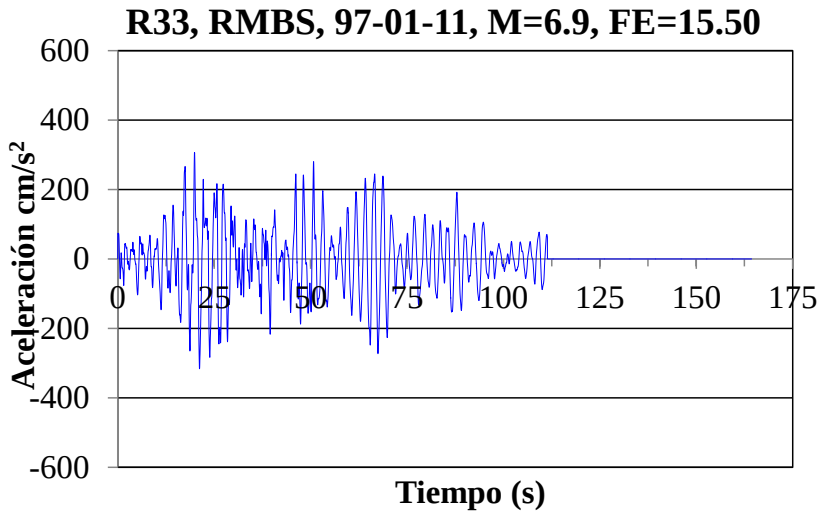

M4-R33 FE=13.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

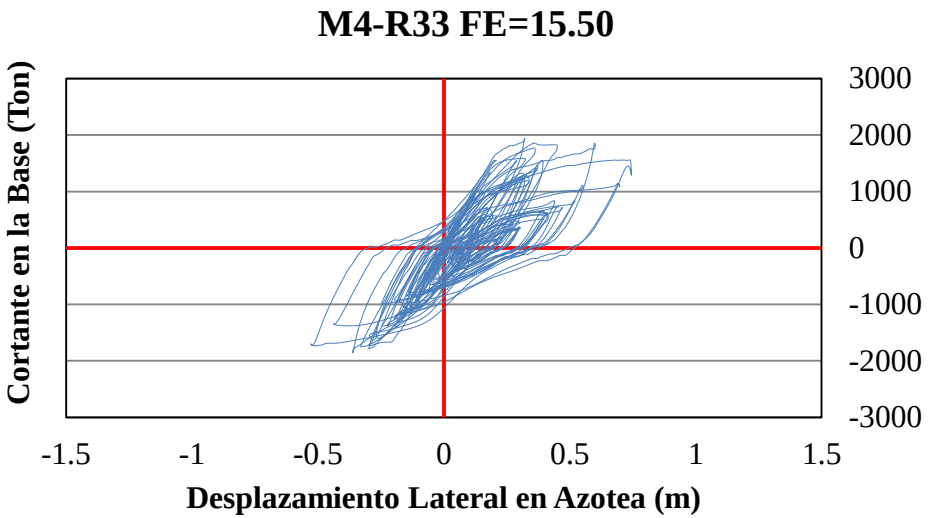

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=14.23
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

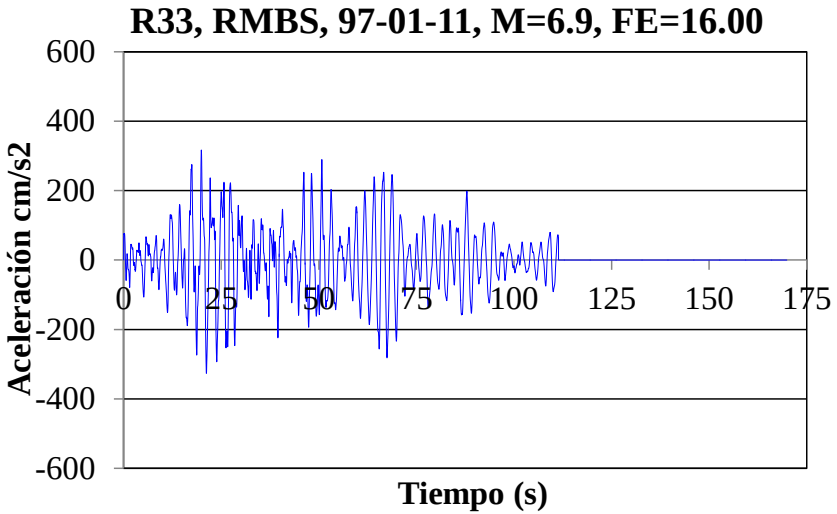

M4-R33 FE=14.23
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

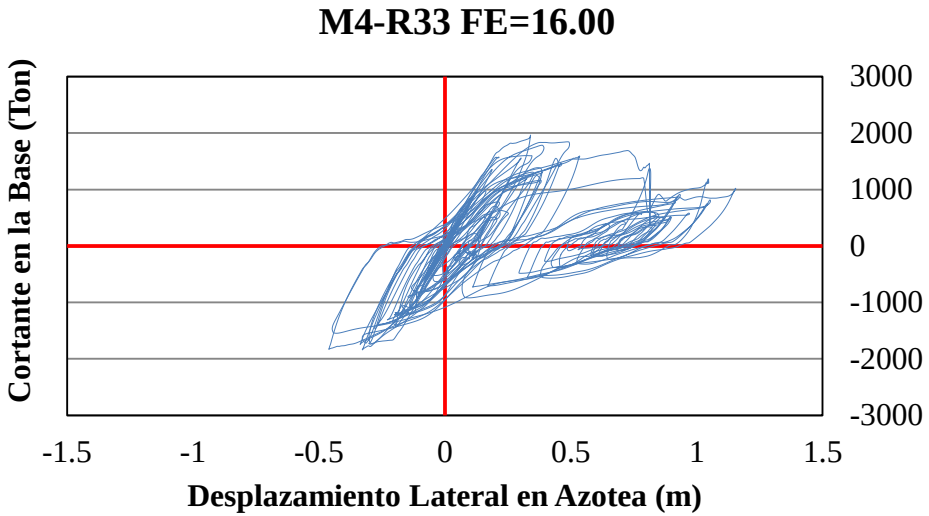

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=15.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

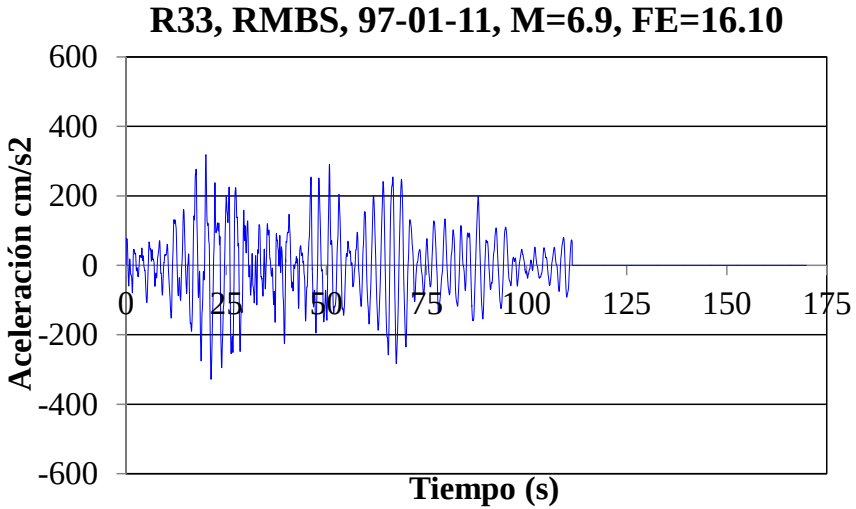

M4-R33 FE=15.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

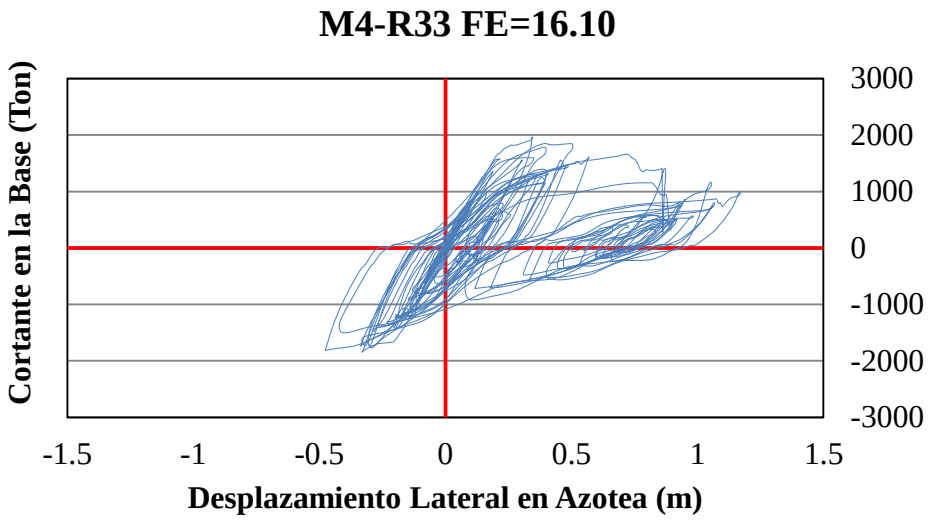

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=15.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

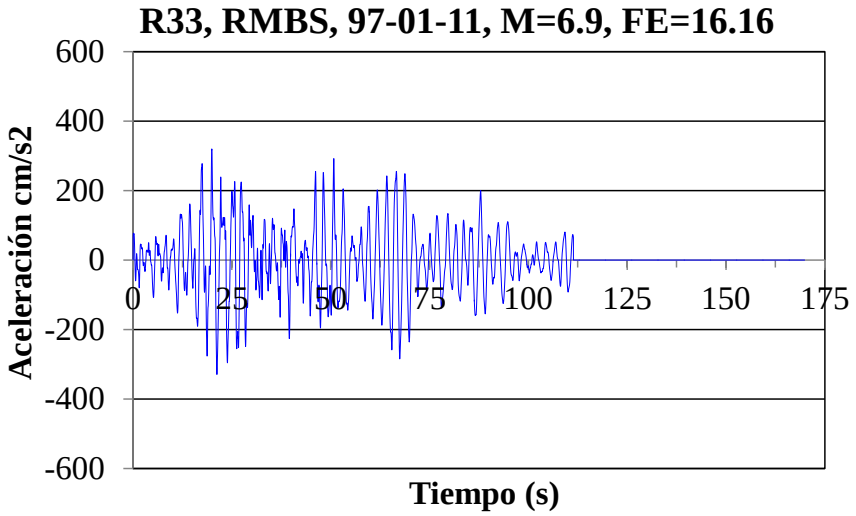

M4-R33 FE=15.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

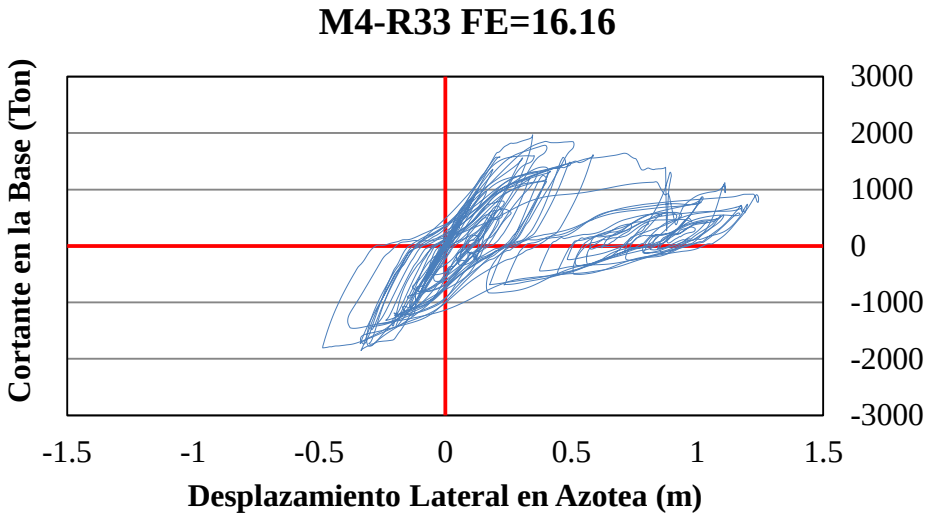

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

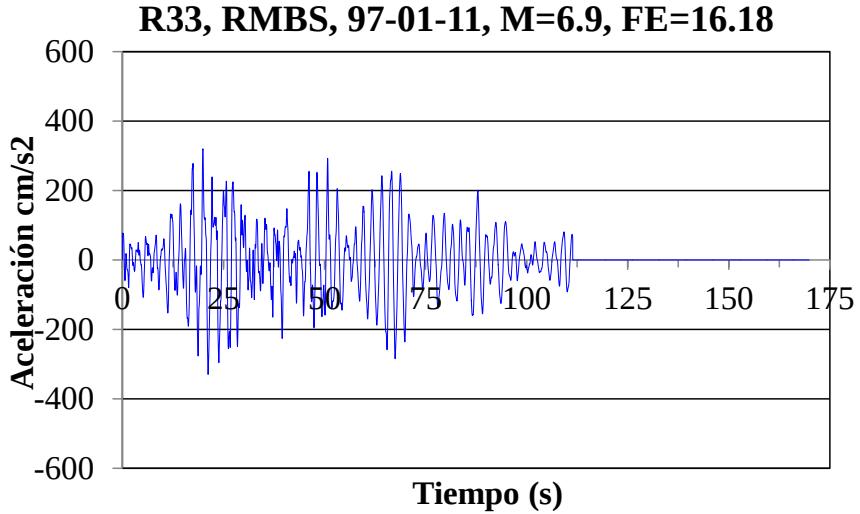

M4-R33 FE=16.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

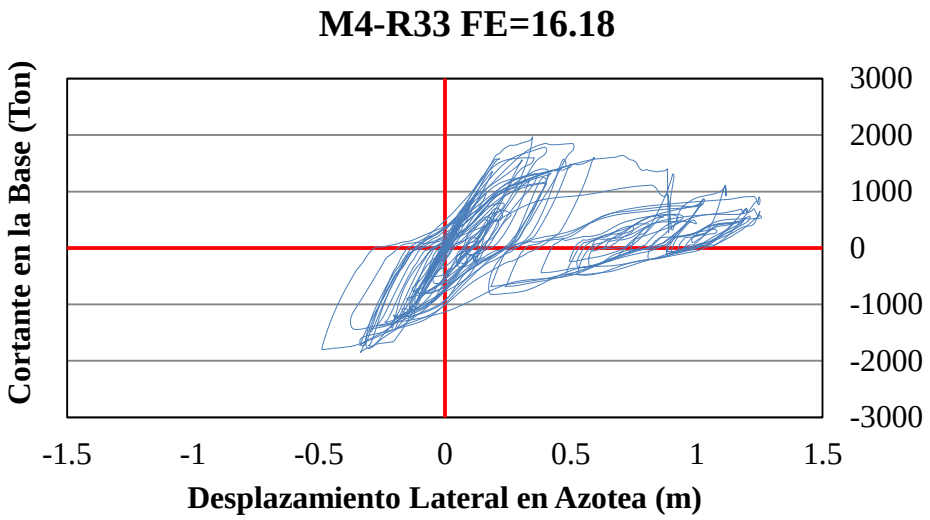

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.10
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

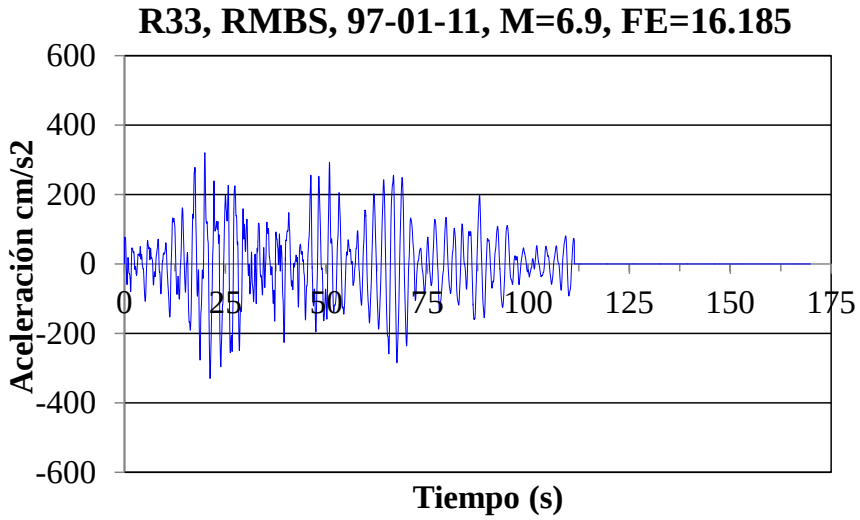

M4-R33 FE=16.10
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

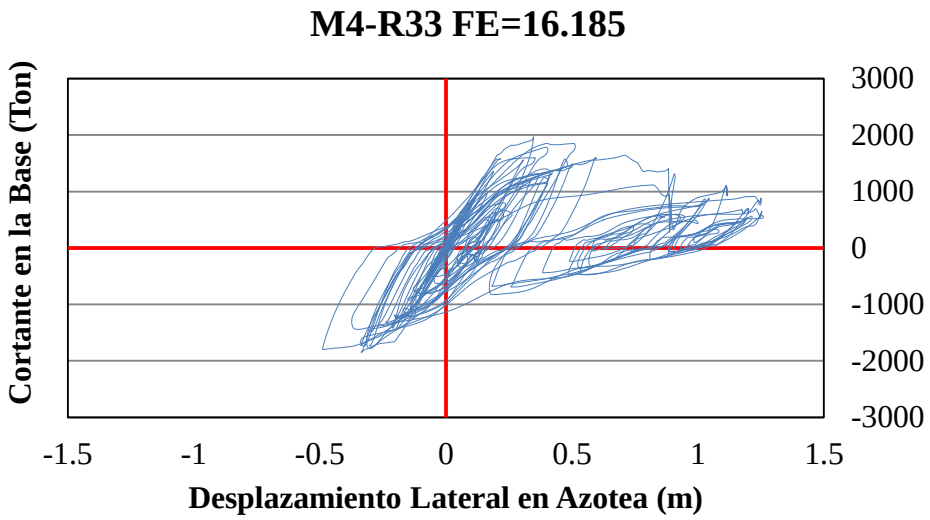

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.16
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

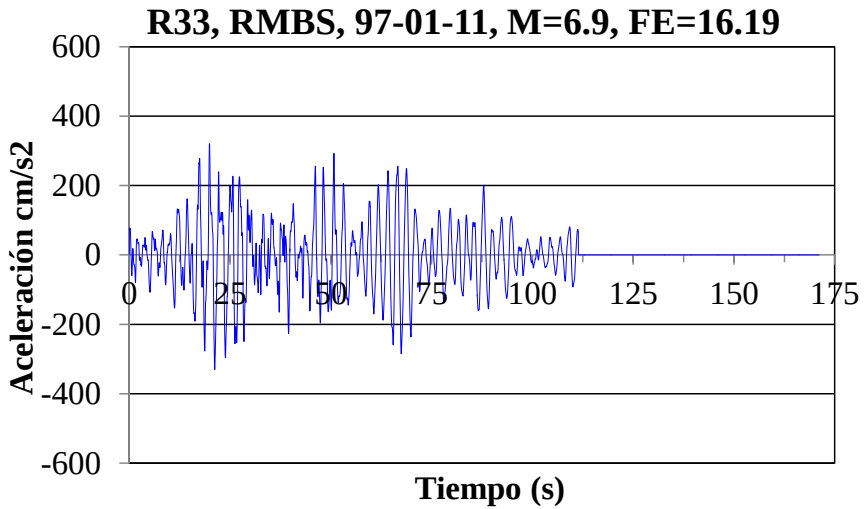

M4-R33 FE=16.16
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

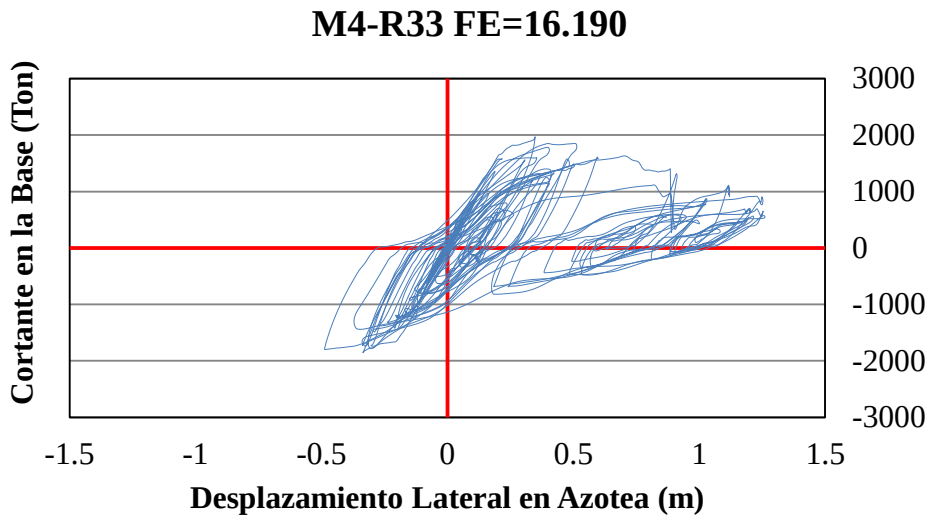

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.18
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

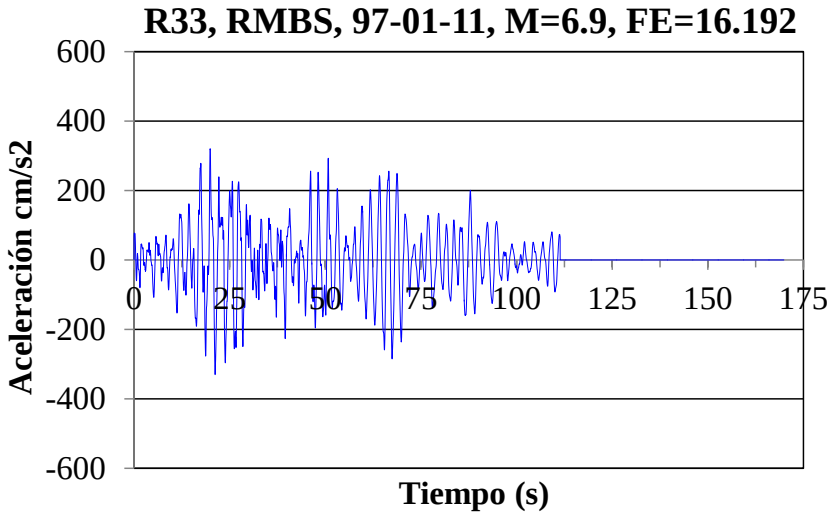

M4-R33 FE=16.18
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

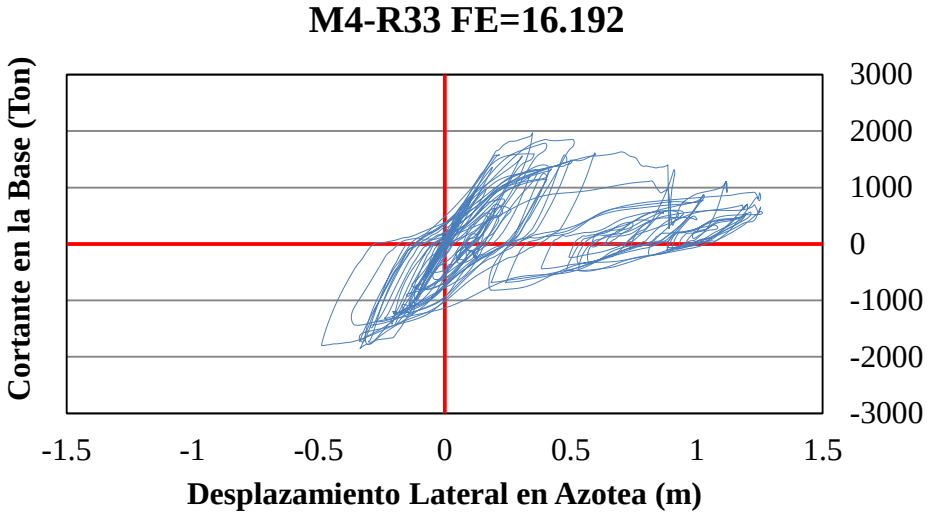

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.185
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

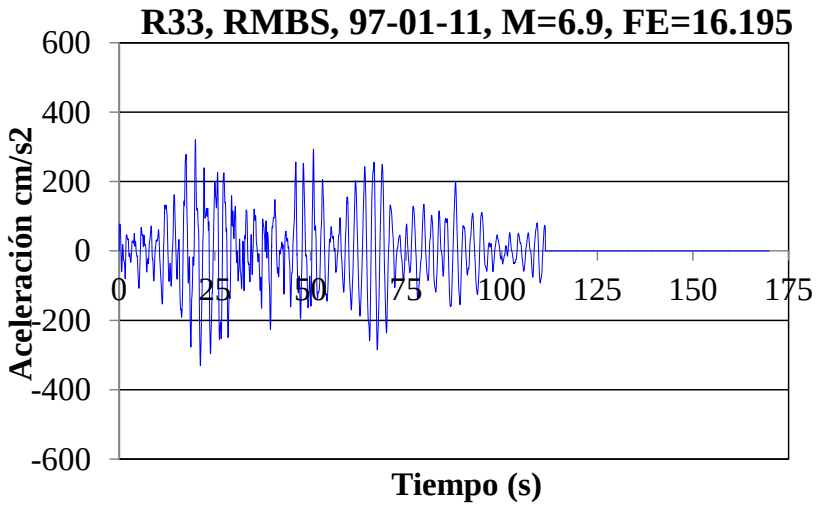

M4-R33 FE=16.185
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

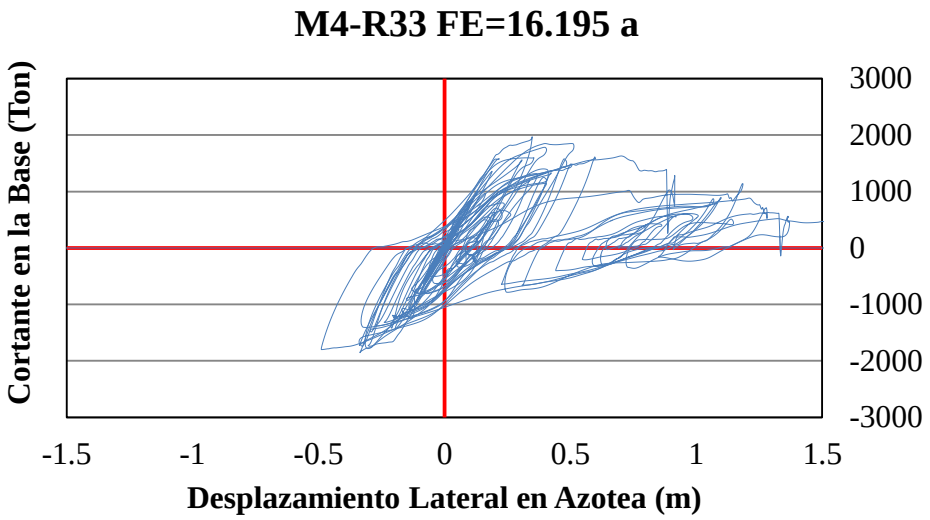

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.19
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

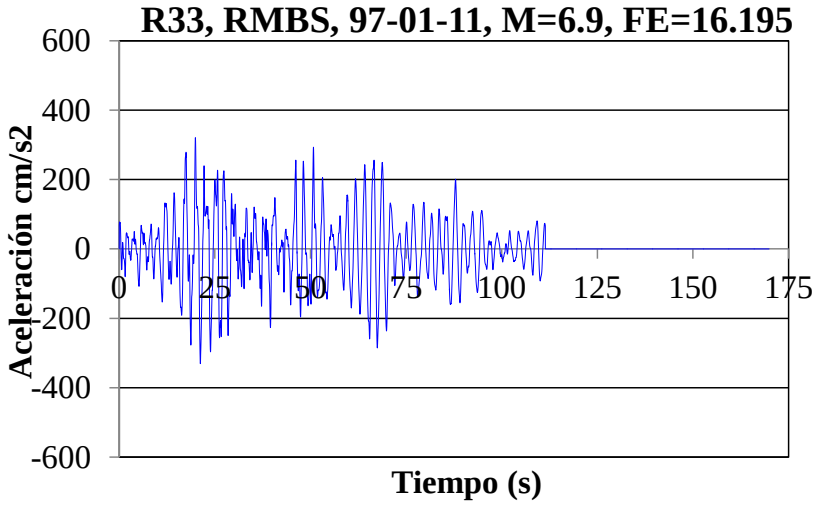

M4-R33 FE=16.190
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

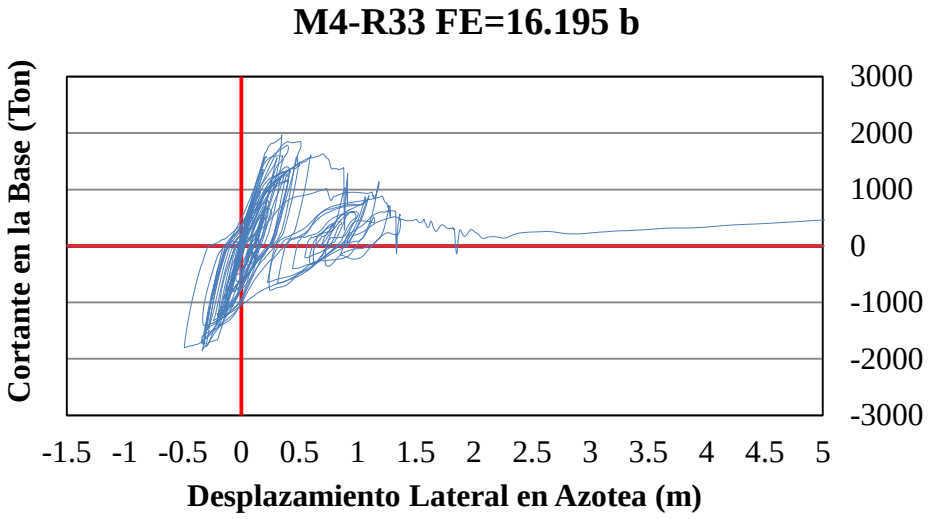

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.192
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

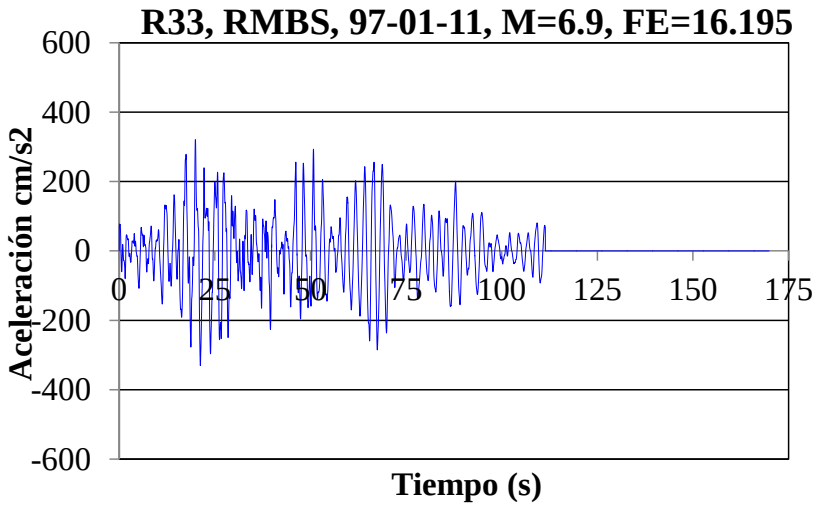

M4-R33 FE=16.192
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

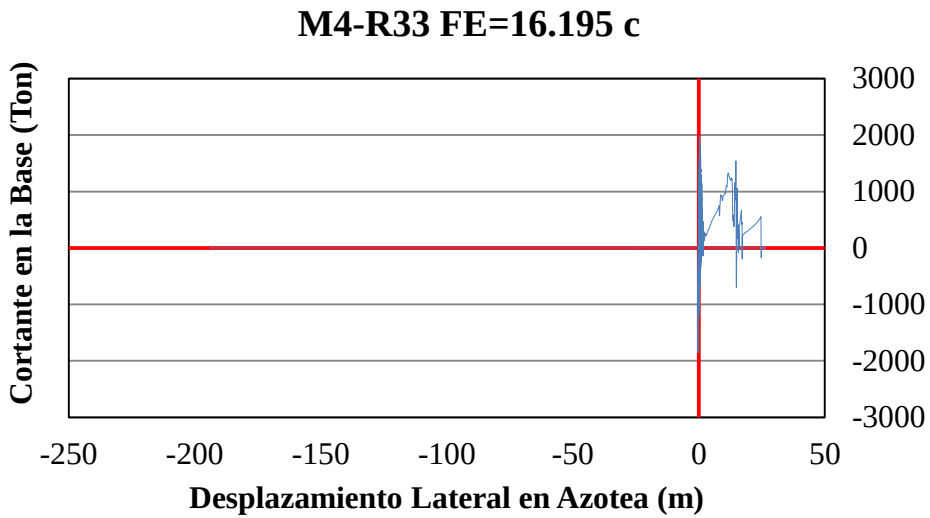

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.195
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R33 FE=16.195 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.195
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M4-R33 FE=16.195 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

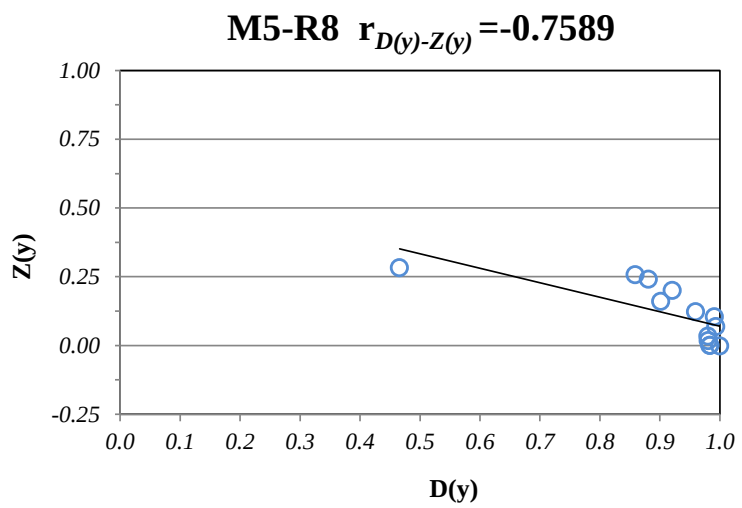

R33, RMBS, 97-01-11, M=6.9, FE=16.195
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

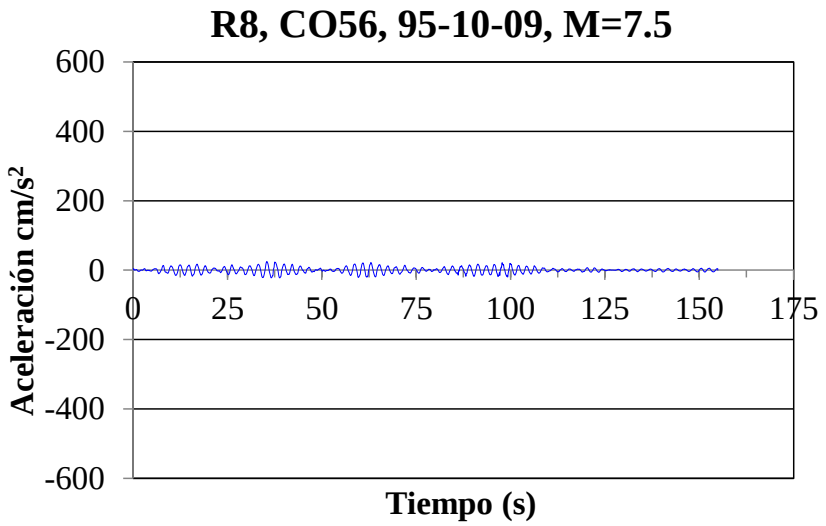

M4-R33 FE=16.195 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

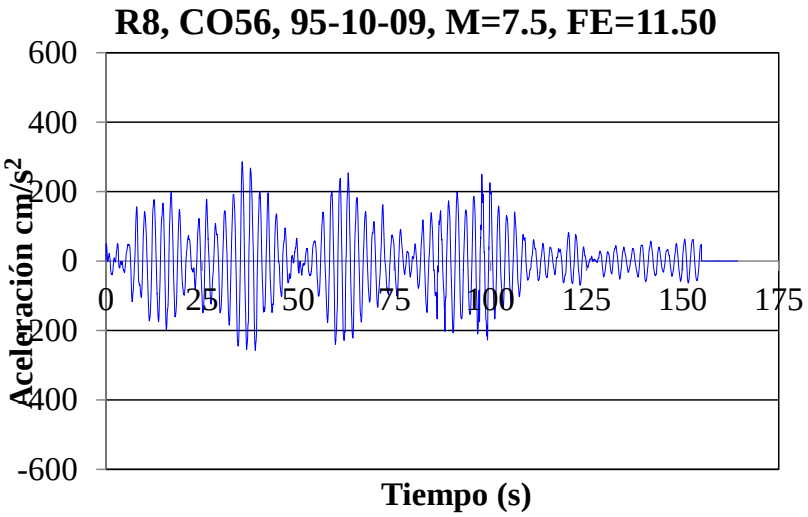
M5-R8

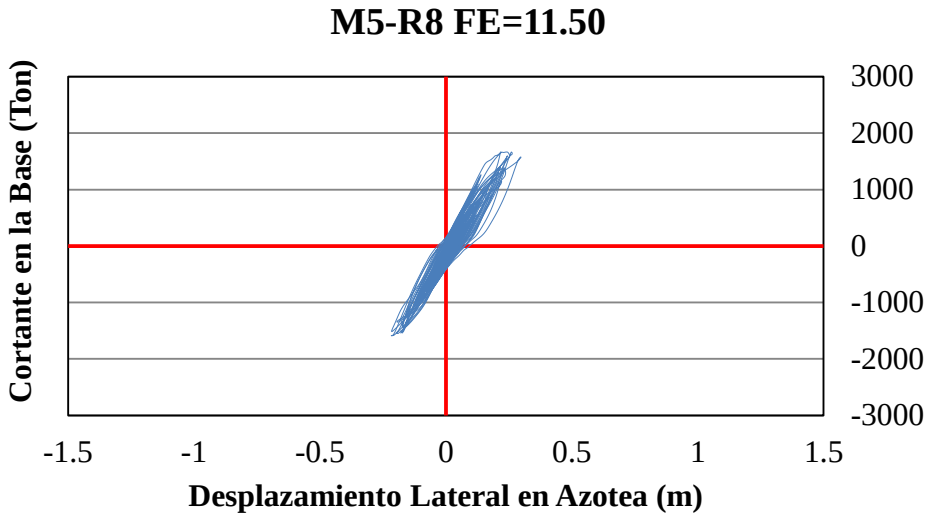
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.5	**6.83**	**9 882.86**	**0.043**	**-0.7589**

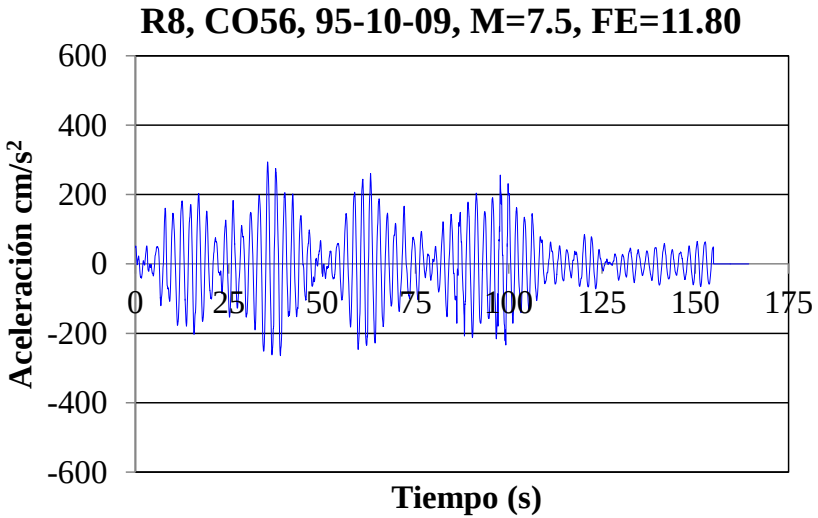
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.4921	11.50	100.2500	0.2980	1573.163	5 279.07	0.4658	0.328
0.5049	11.80	100.7500	0.7727	1078.323	1 395.53	0.8588	0.302
0.5135	12.00	98.6800	0.8054	947.183	1 176.04	0.8810	0.285
0.5349	12.50	0.8206	0.8206	641.952	0 782.30	0.9208	0.244
0.5563	13.00	63.8400	0.8912	867.174	0 973.04	0.9015	0.205
0.5777	13.50	98.8400	0.9337	371.843	0 398.25	0.9597	0.167
0.5884	13.75	107.3900	1.2889	115.395	0 089.53	0.9909	0.149
0.6098	14.25	112.4300	1.7507	116.825	0 066.73	0.9932	0.113
0.6312	14.75	98.8700	1.5027	296.228	0 197.13	0.9801	0.079
0.6419	15.00	1.4220	1.4220	271.497	0 190.93	0.9807	0.062
0.6526	15.25	98.8800	1.6269	265.135	0 162.97	0.9835	0.046
0.6530	15.26	98.8800	1.6252	265.548	0 163.39	0.9835	0.045
0.6543	15.29	154.9000	370.8014	0.003	0 000.00	1.0000	0.043

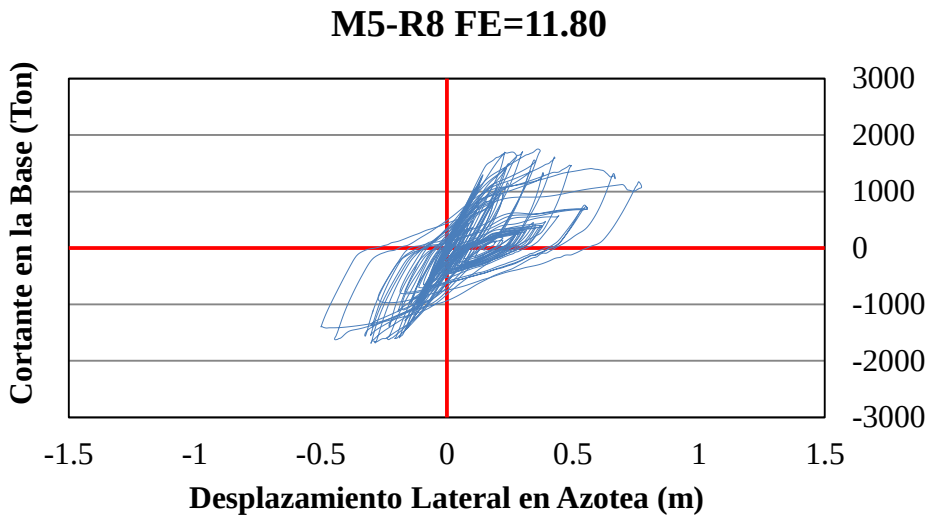

M5-R8 r D(y)-Z(y) =-0.7589
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

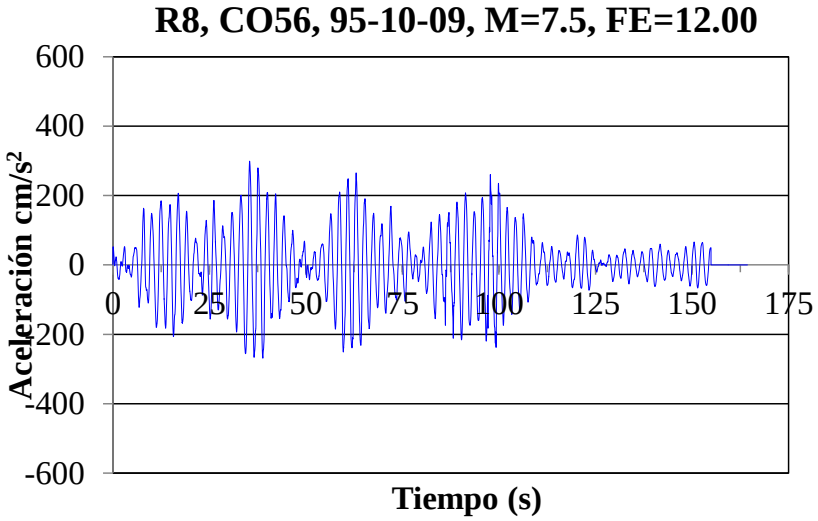

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

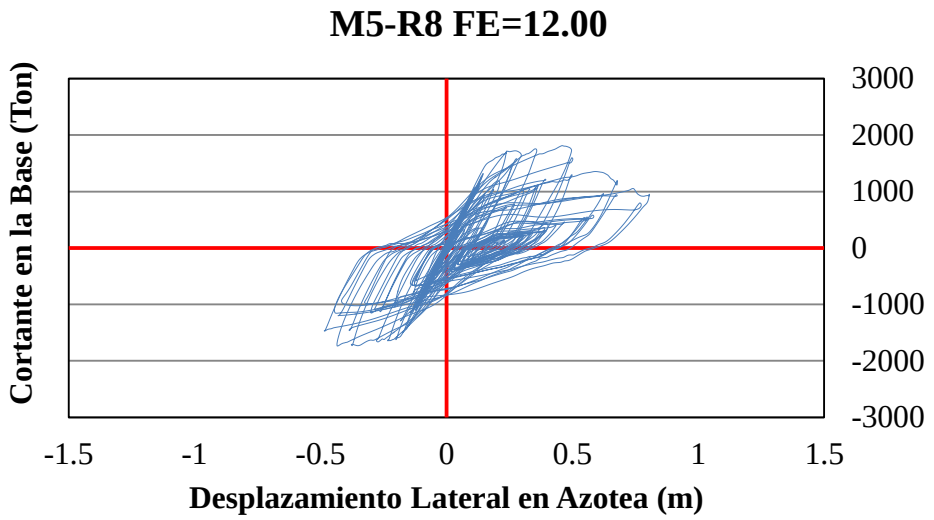

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=11.50
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

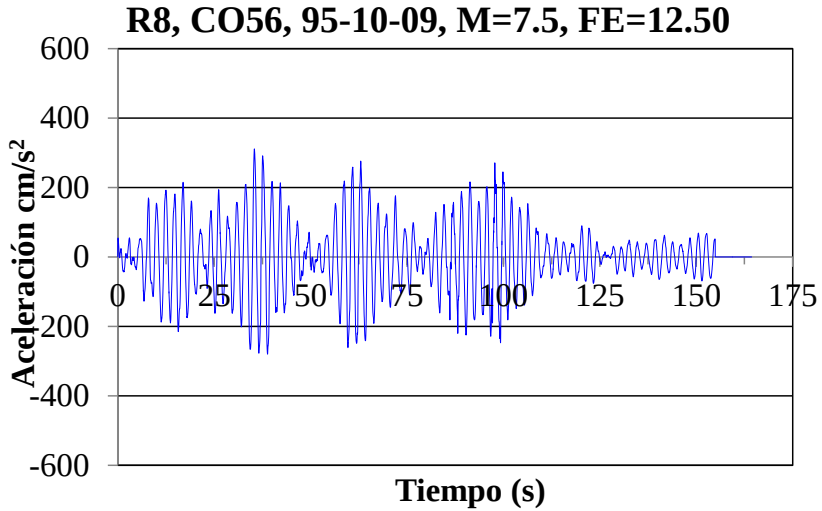

M5-R8 FE=11.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

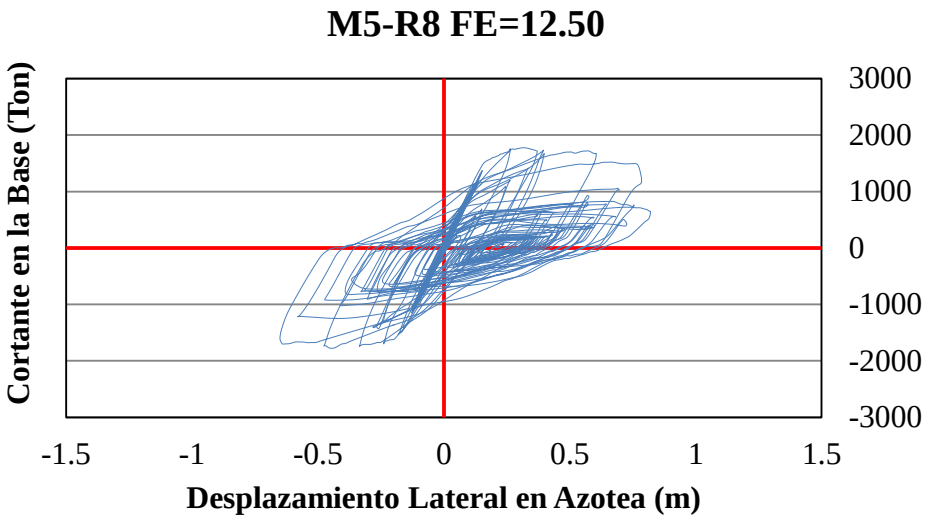

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=11.80
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

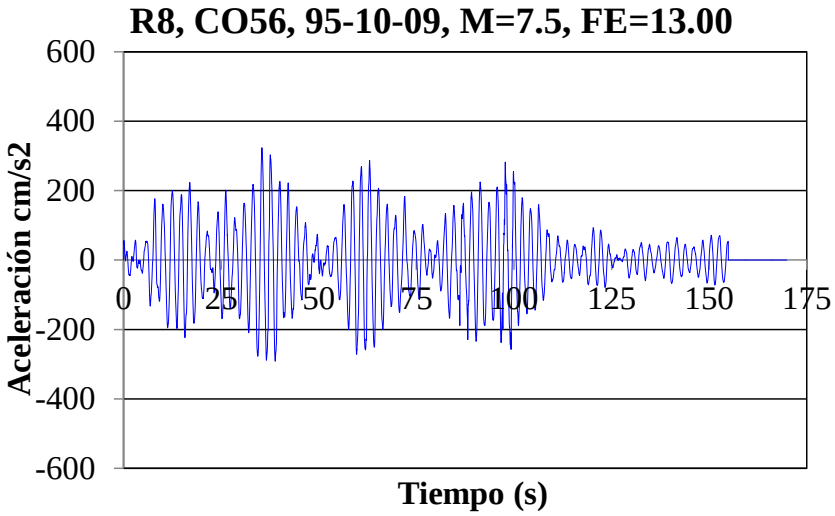

M5-R8 FE=11.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

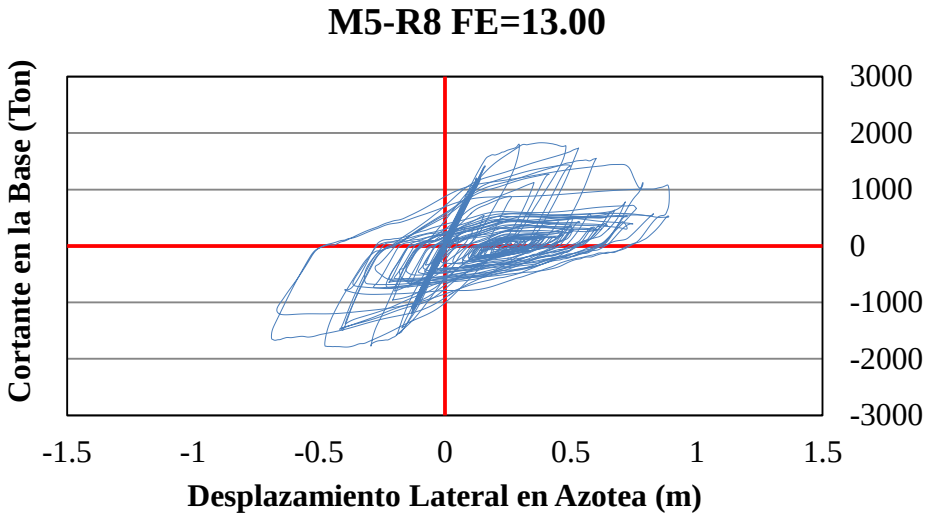

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=12.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

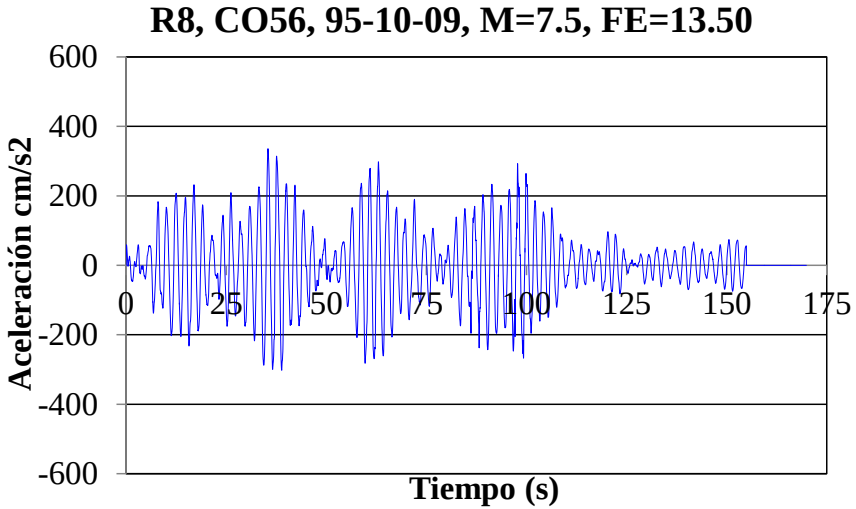

M5-R8 FE=12.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

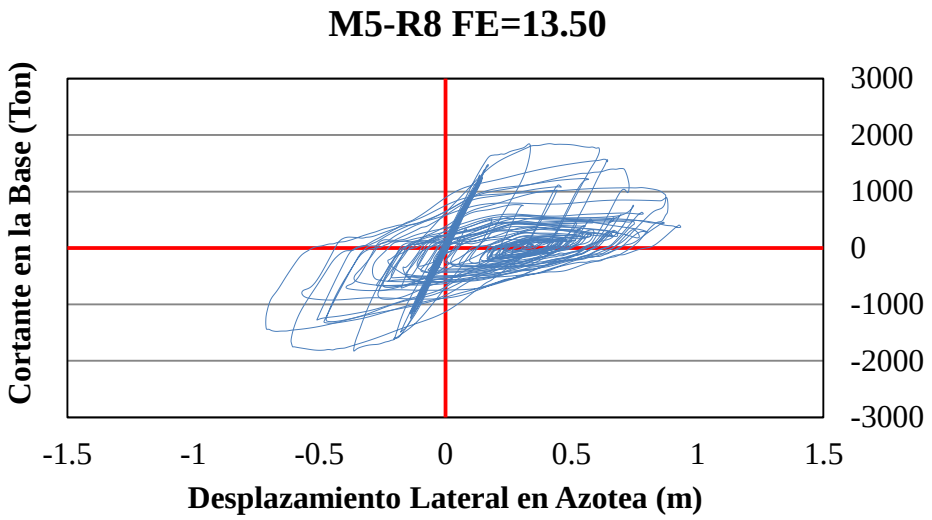

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=12.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

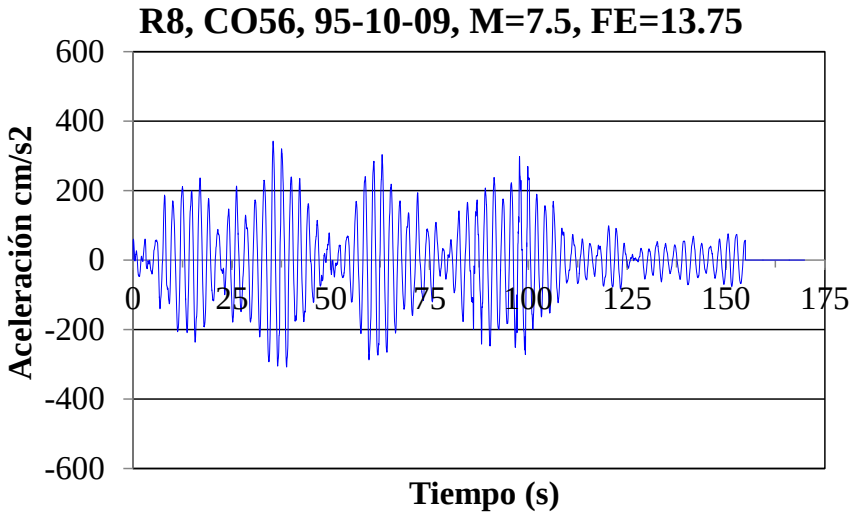

M5-R8 FE=12.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

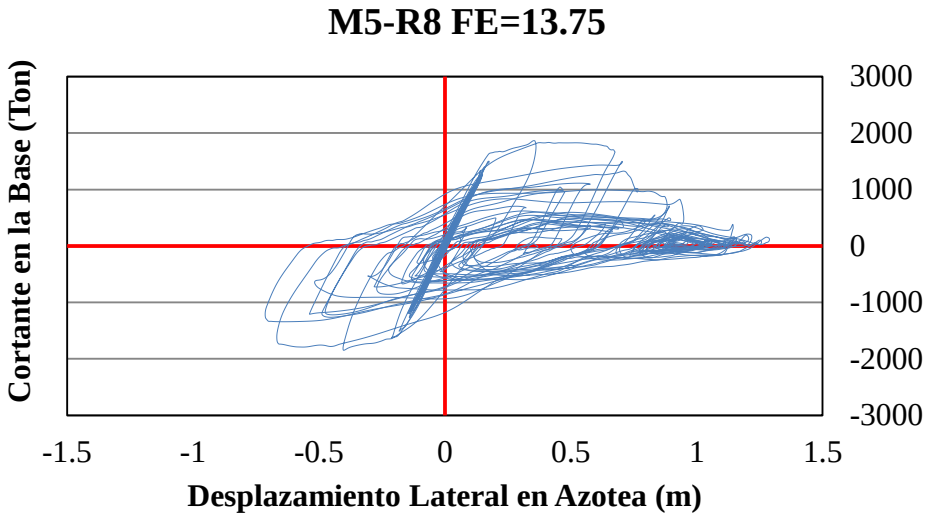

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=13.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

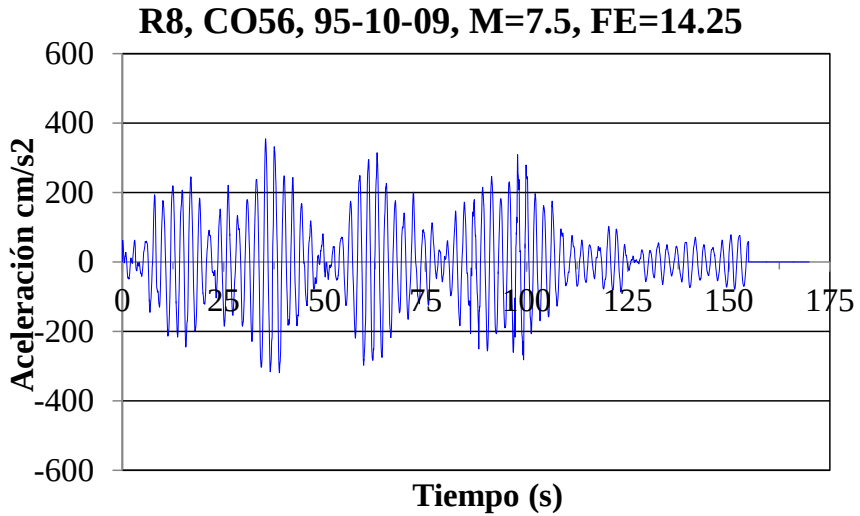

M5-R8 FE=13.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

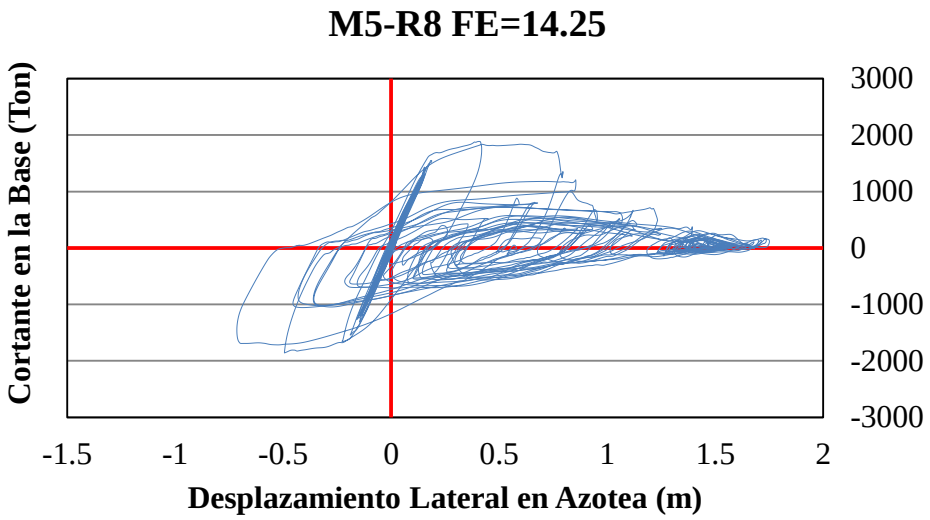

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=13.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

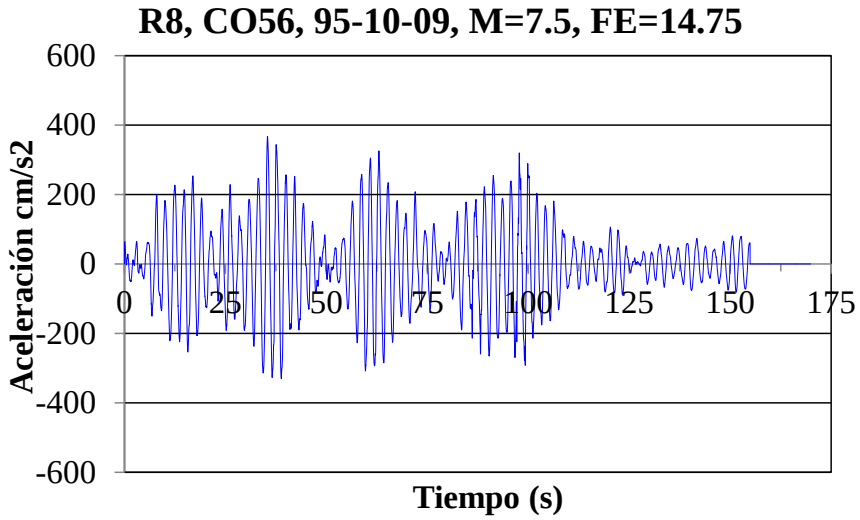

M5-R8 FE=13.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

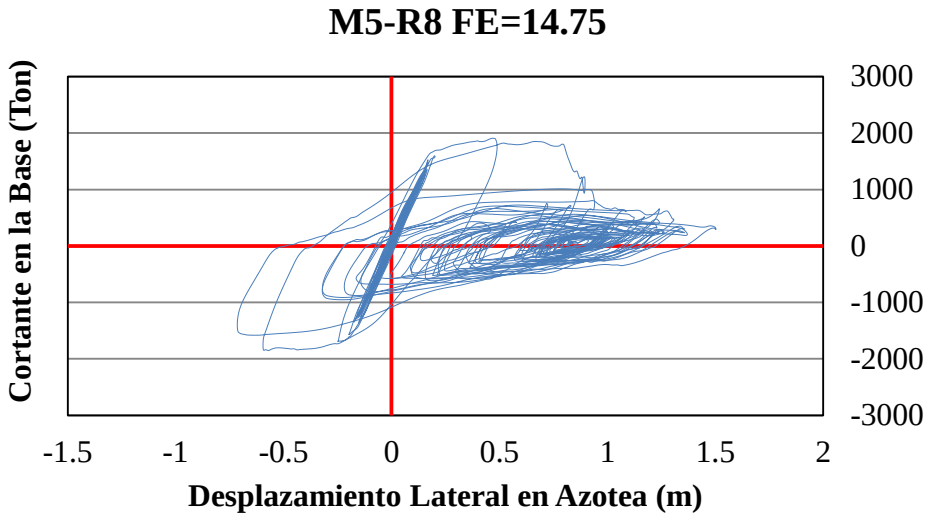

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=13.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

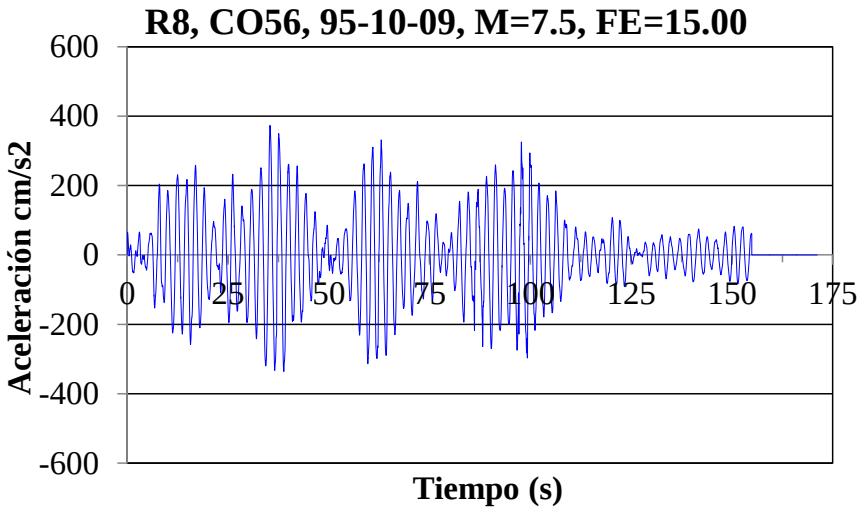

M5-R8 FE=13.75
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

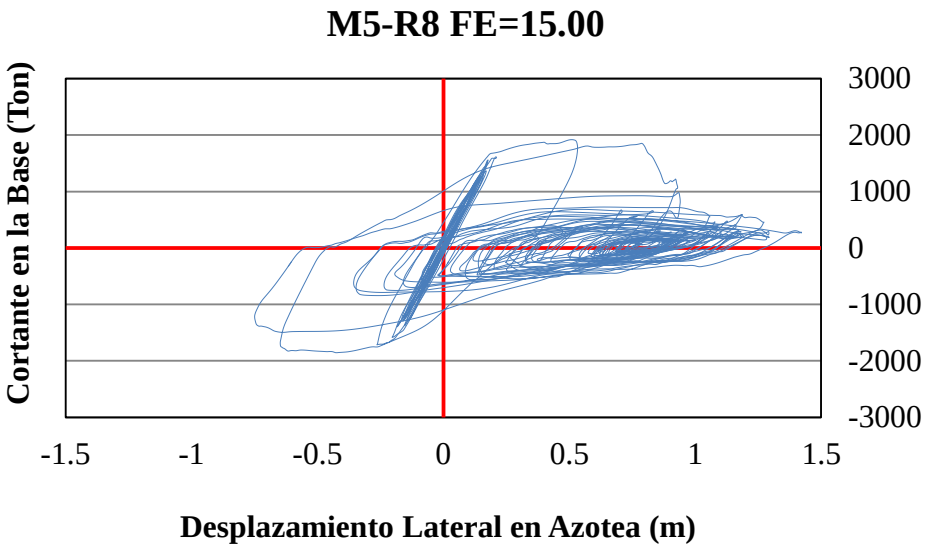

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=14.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

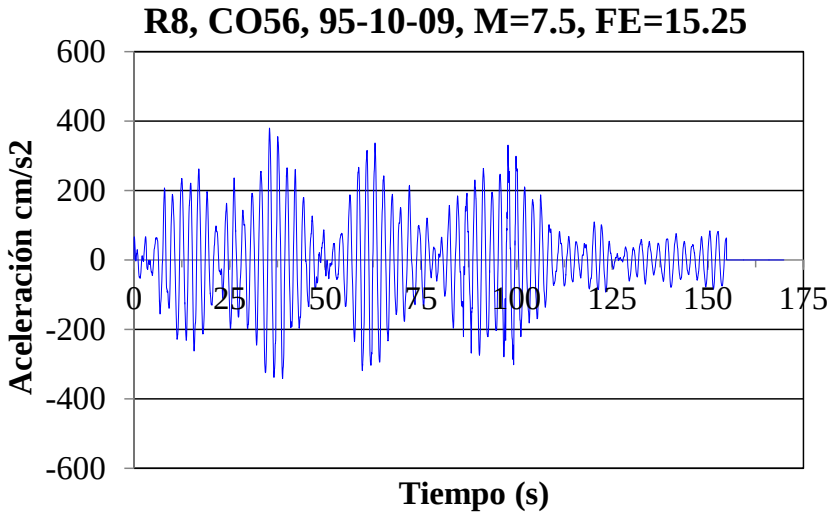

M5-R8 FE=14.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

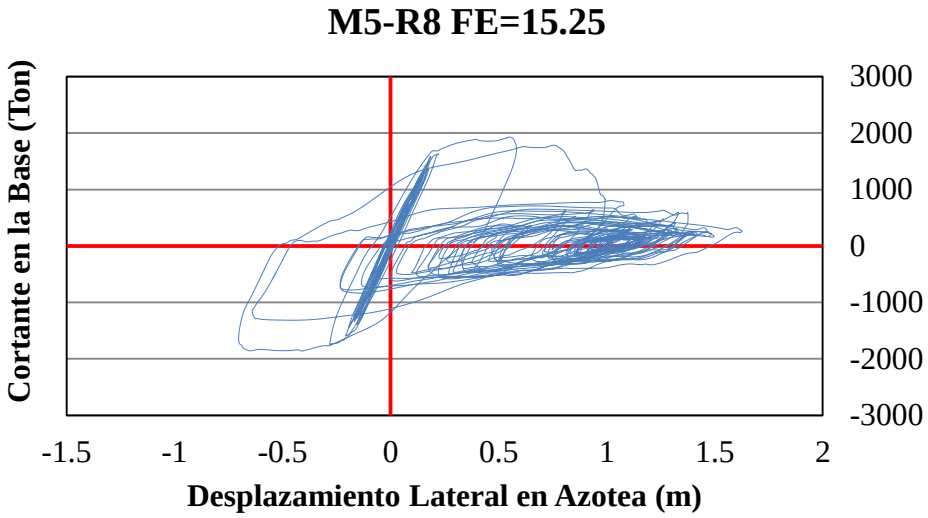

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=14.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

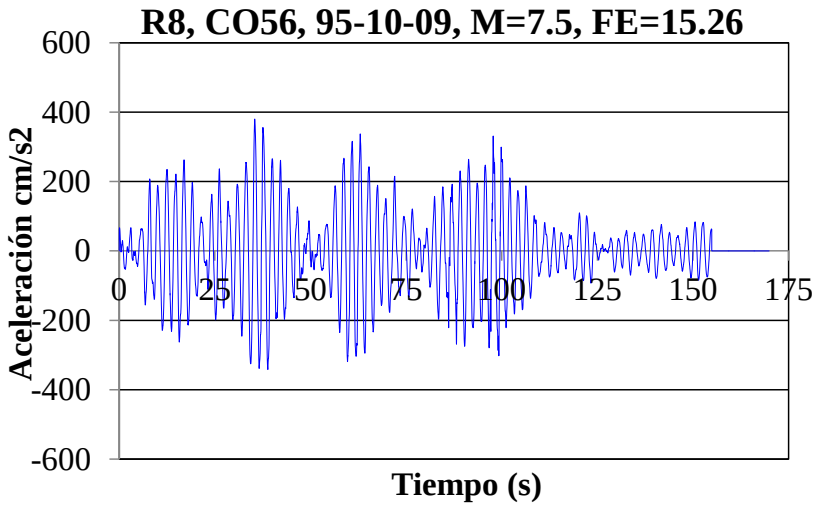

M5-R8 FE=14.75
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

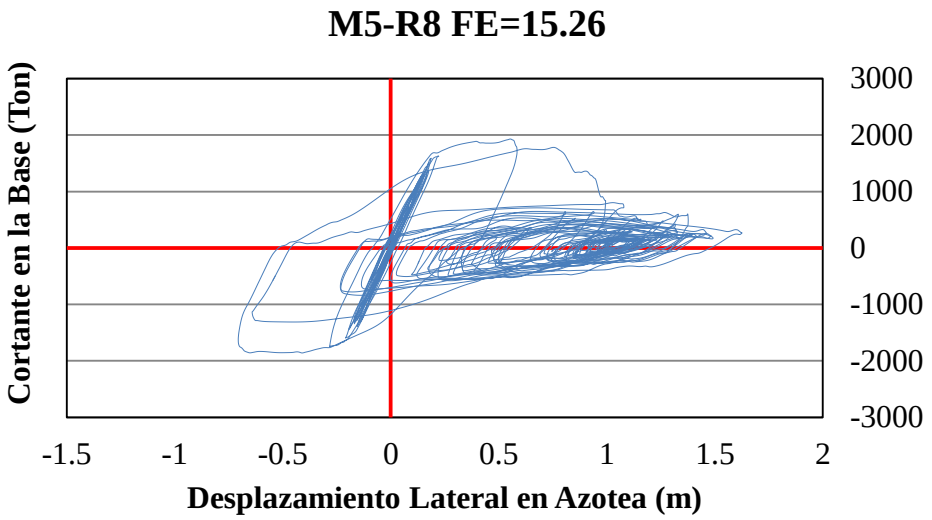

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=15.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

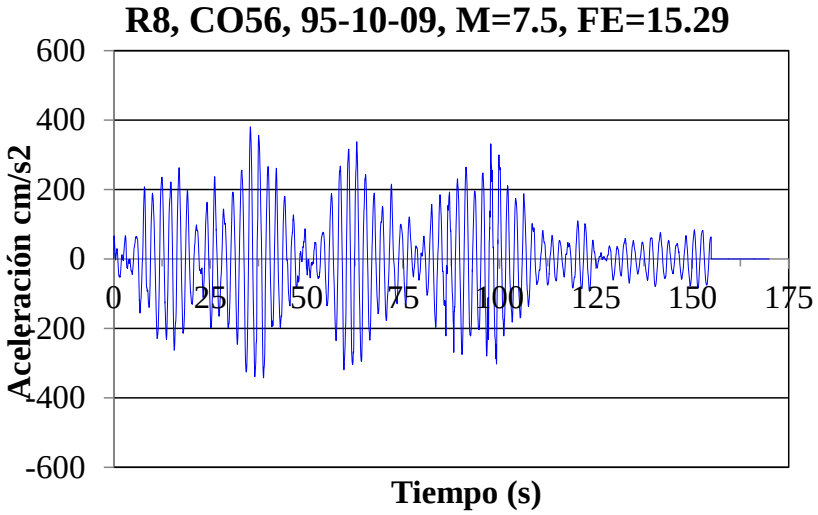

M5-R8 FE=15.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

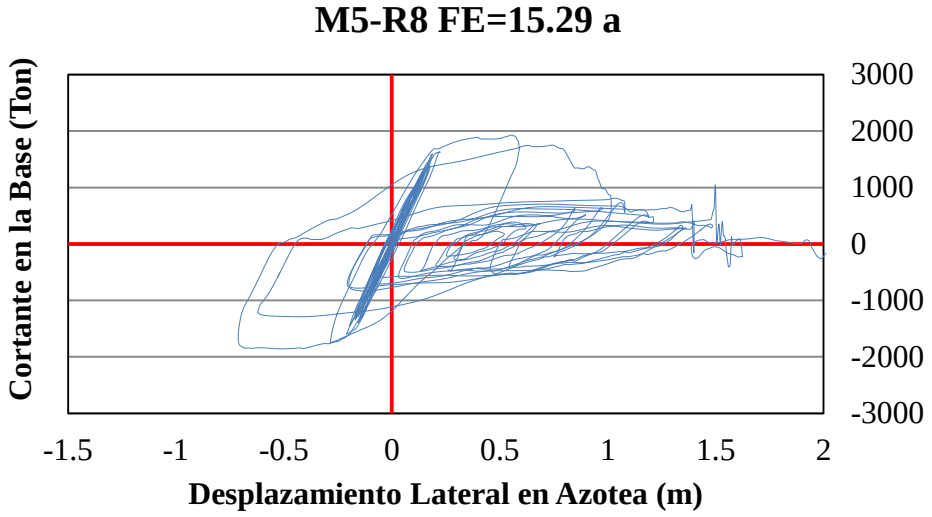

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=15.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

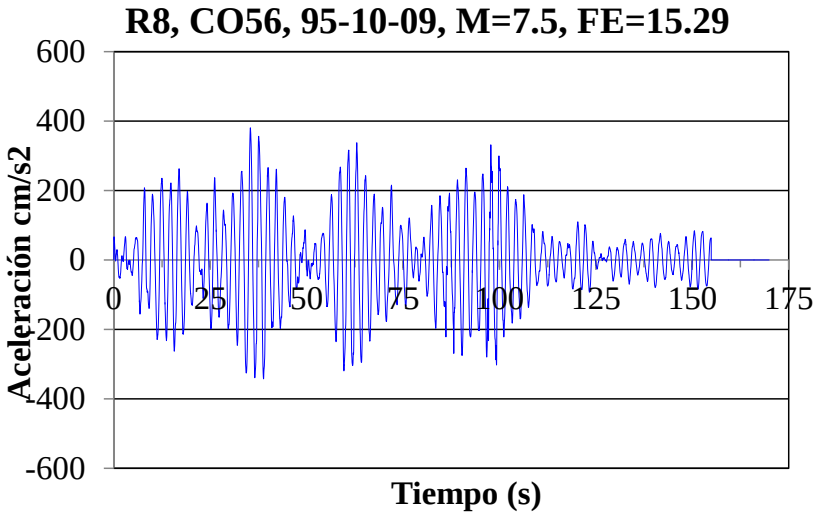

M5-R8 FE=15.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

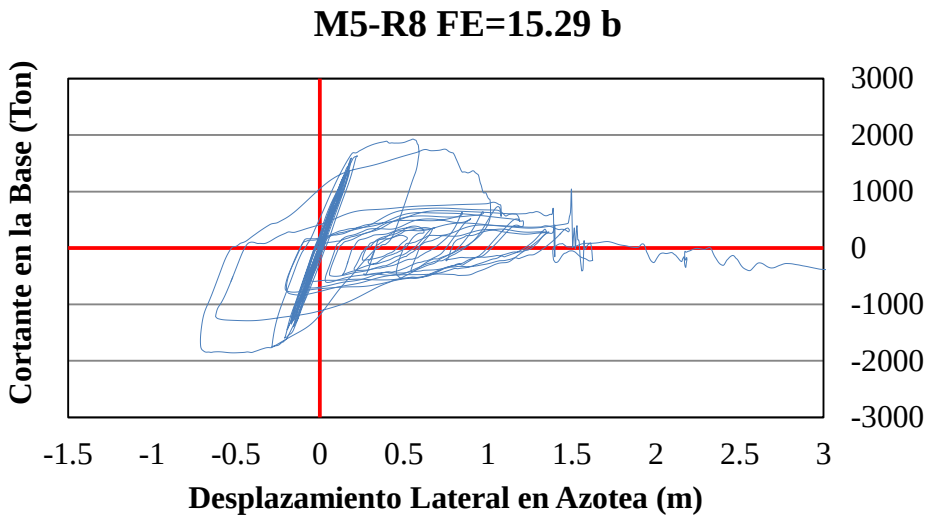

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=15.26
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

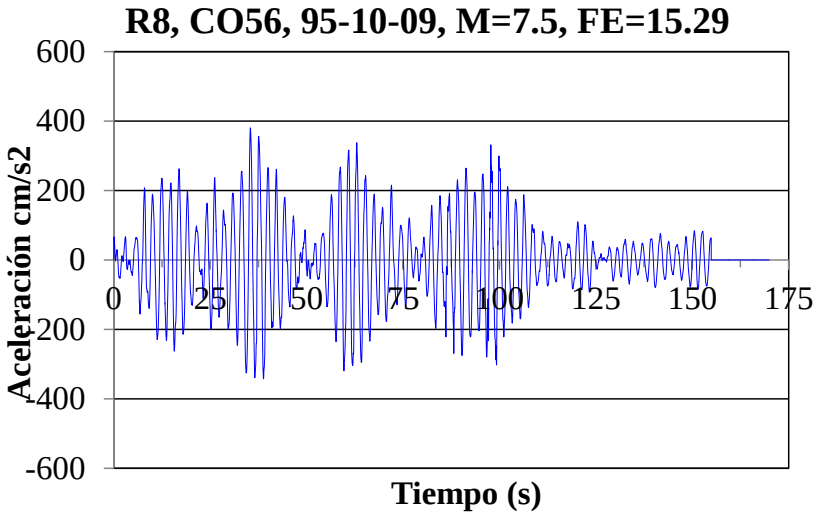

M5-R8 FE=15.26
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

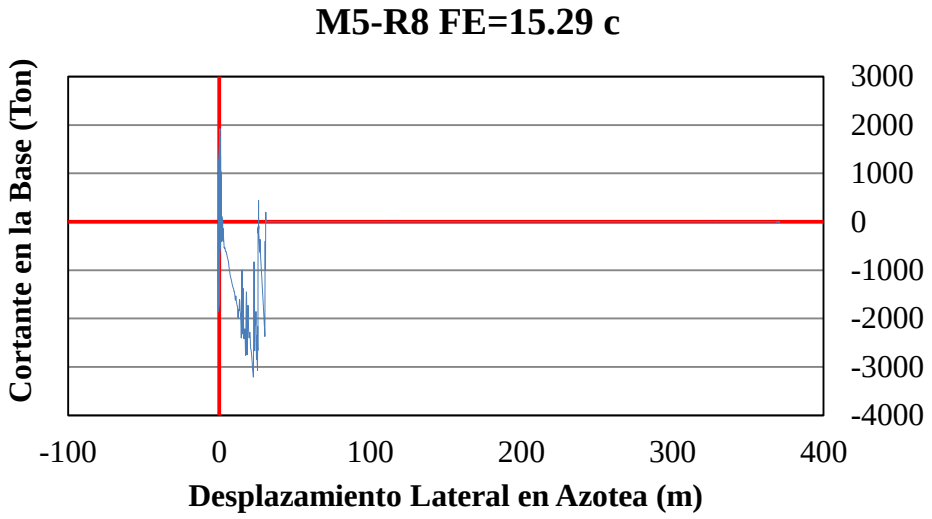

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=15.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R8 FE=15.29 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=15.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R8 FE=15.29 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

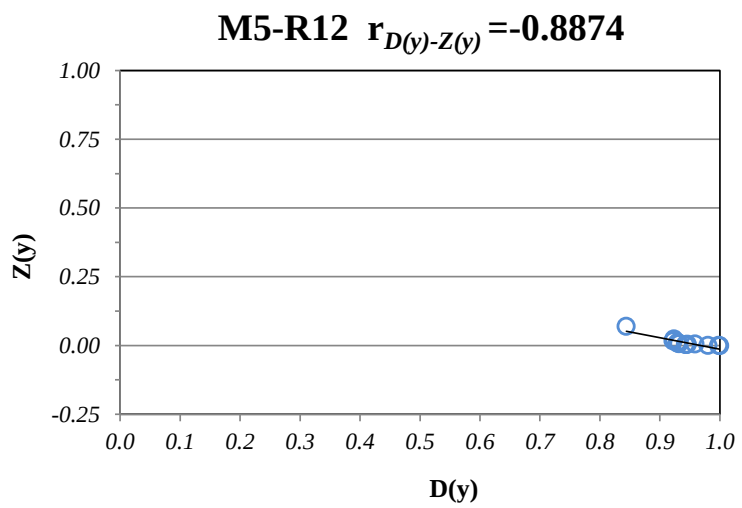

R8, CO56, 95-10-09, M=7.5, FE=15.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

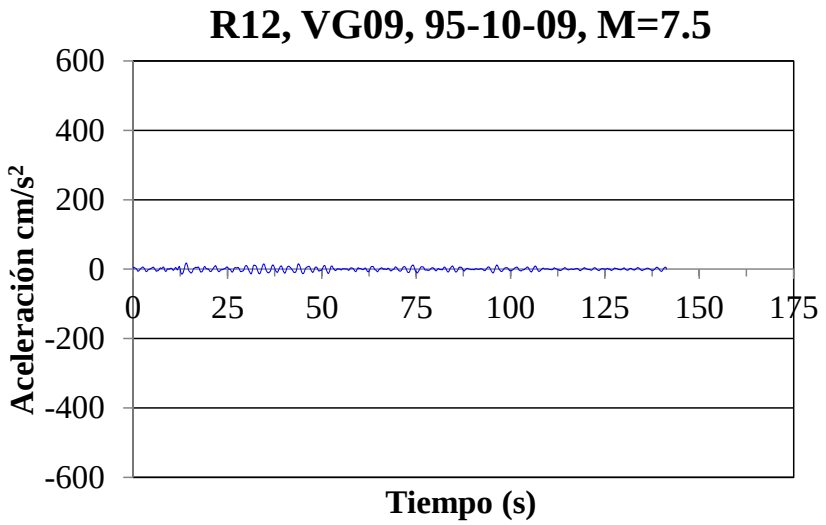

M5-R8 FE=15.29 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
-100
0
100
200
300
400
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

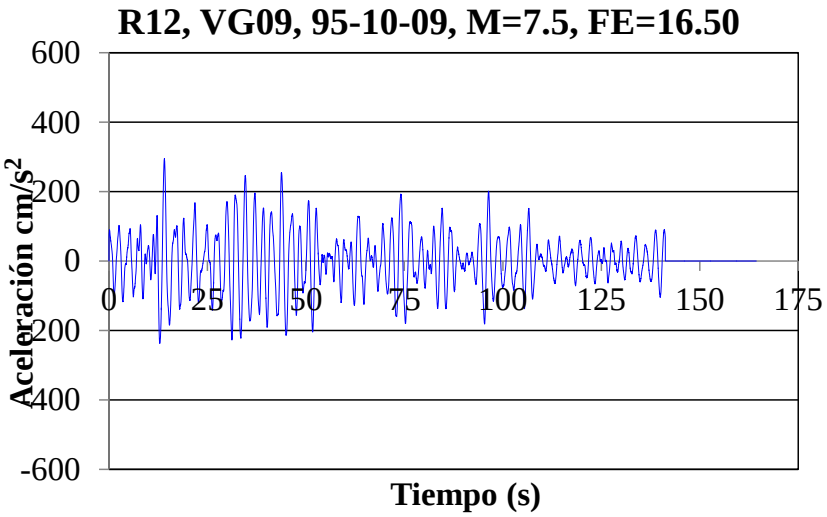
M5-R12

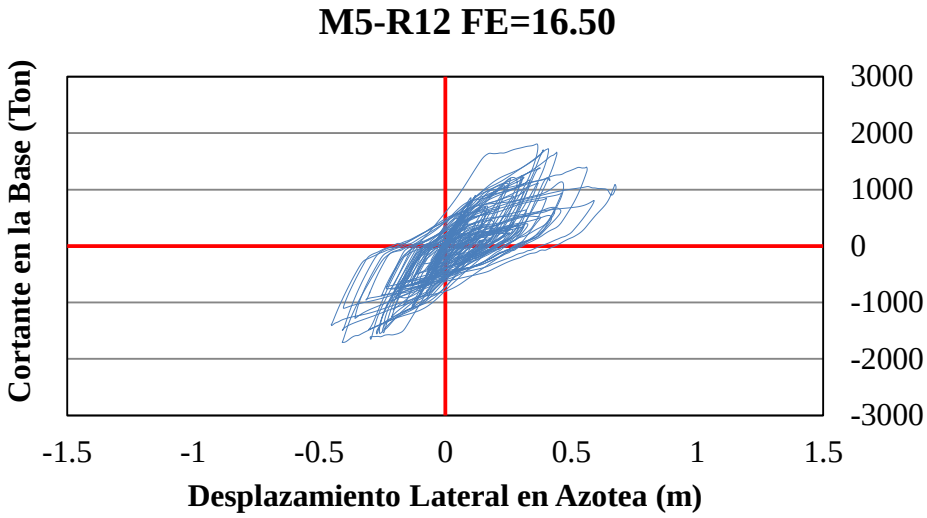
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.5	**6.83**	**9 882.86**	**0.038**	**-0.8874**

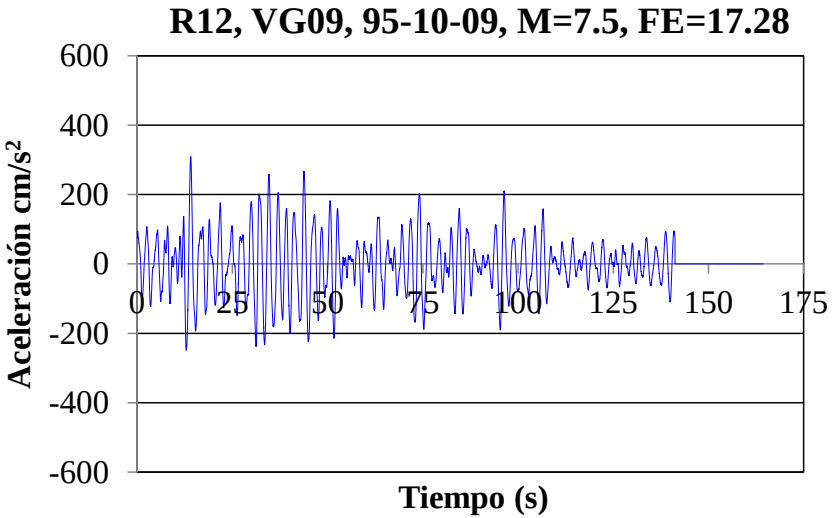
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6313	16.50	97.1000	0.6777	1045.631	1 542.91	0.8439	0.079
0.6611	17.28	97.2900	0.9582	726.530	0 758.22	0.9233	0.033
0.6657	17.40	97.3000	1.0030	771.097	0 768.79	0.9222	0.026
0.6695	17.50	97.3200	1.0575	733.999	0 694.09	0.9298	0.020
0.6707	17.53	97.3200	1.0637	730.772	0 687.01	0.9305	0.018
0.6714	17.55	97.3200	1.0761	751.478	0 698.33	0.9293	0.017
0.6722	17.57	97.3300	1.0830	730.266	0 674.30	0.9318	0.016
0.6733	17.60	97.3200	1.0968	448.957	0 409.33	0.9586	0.014
0.6741	17.62	97.3200	1.1033	591.004	0 535.67	0.9458	0.013
0.6745	17.63	97.3300	1.1156	617.551	0 553.56	0.9440	0.013
0.6749	17.64	97.3400	1.1314	642.843	0 568.18	0.9425	0.012
0.6764	17.68	107.4500	1.1808	230.556	0 195.25	0.9802	0.010
0.6768	17.69	107.4600	1.1740	-25.796	0 021.97	0.9978	0.009
0.6772	17.70	139.9000	358.9588	-0.003	0 000.00	1.0000	0.009
0.6875	17.97	139.9100	337.5387	-17.287	-0 000.05	1.0000	-0.007

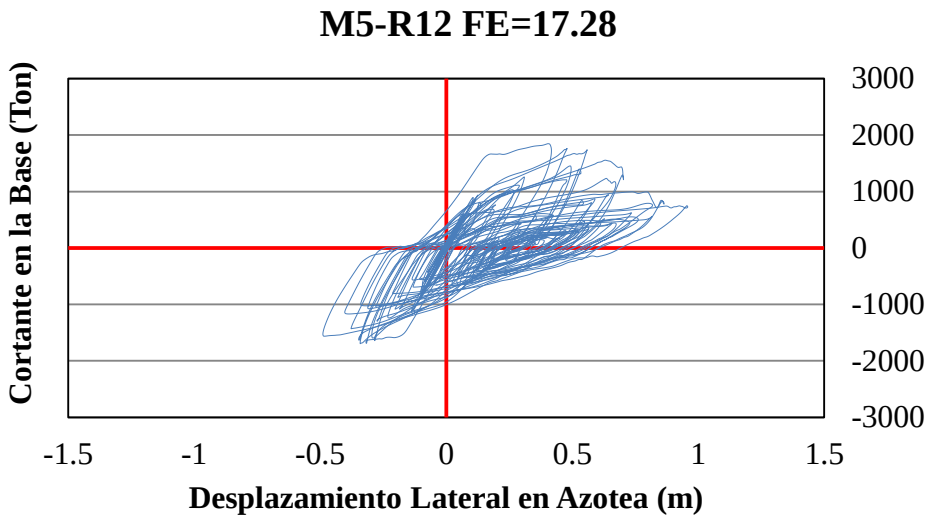

M5-R12 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.8874
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

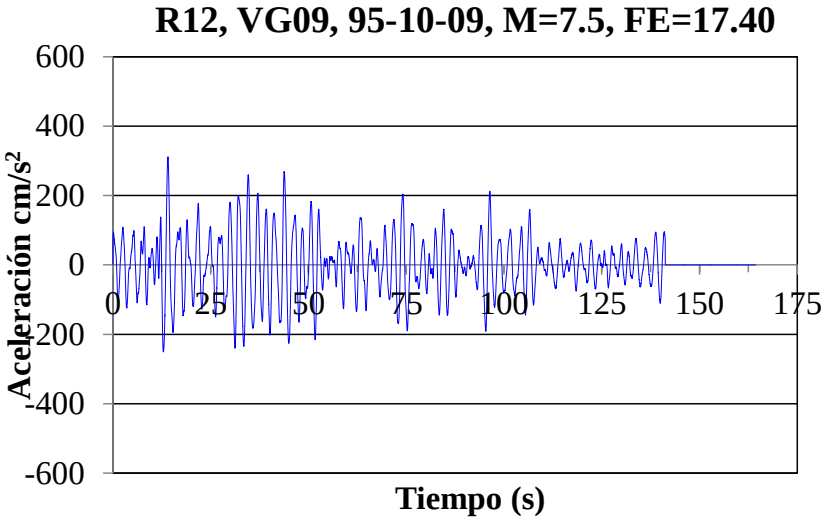

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

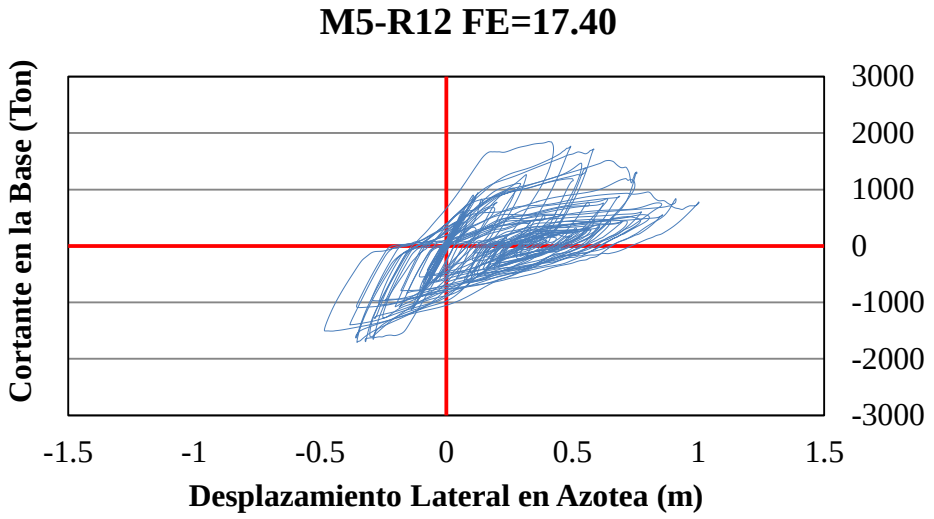

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=16.50
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

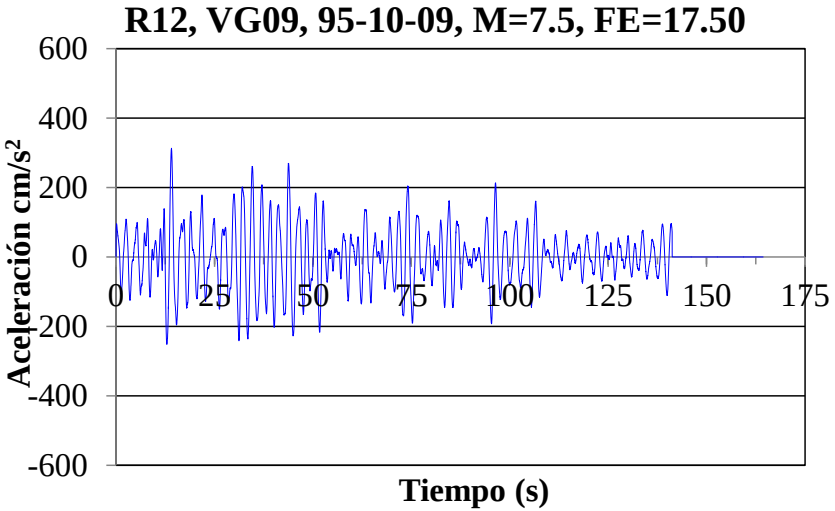

M5-R12 FE=16.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

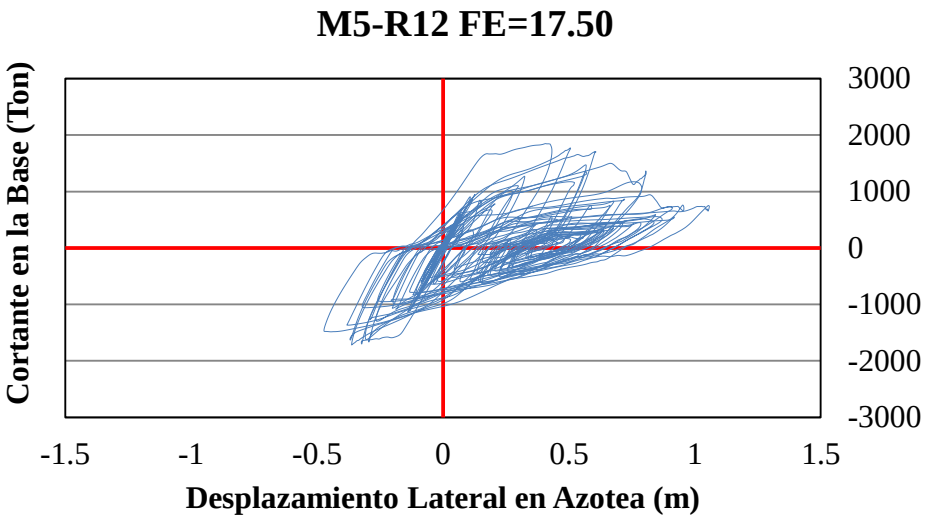

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.28
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

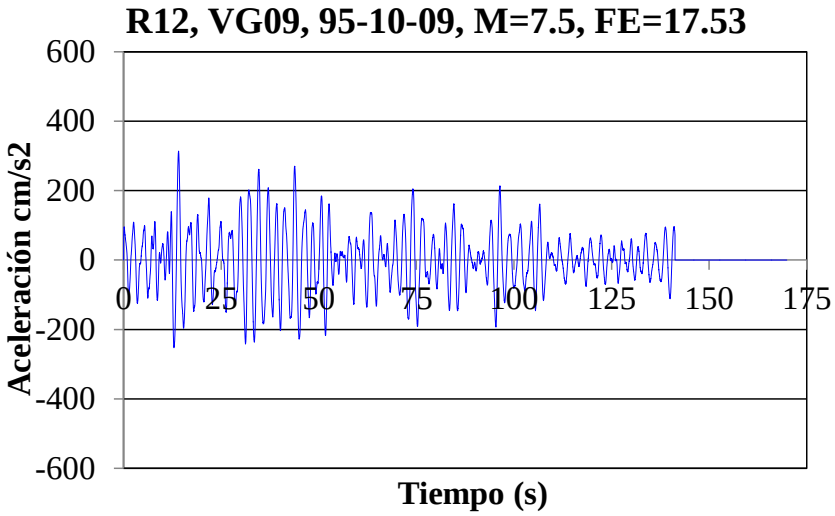

M5-R12 FE=17.28
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

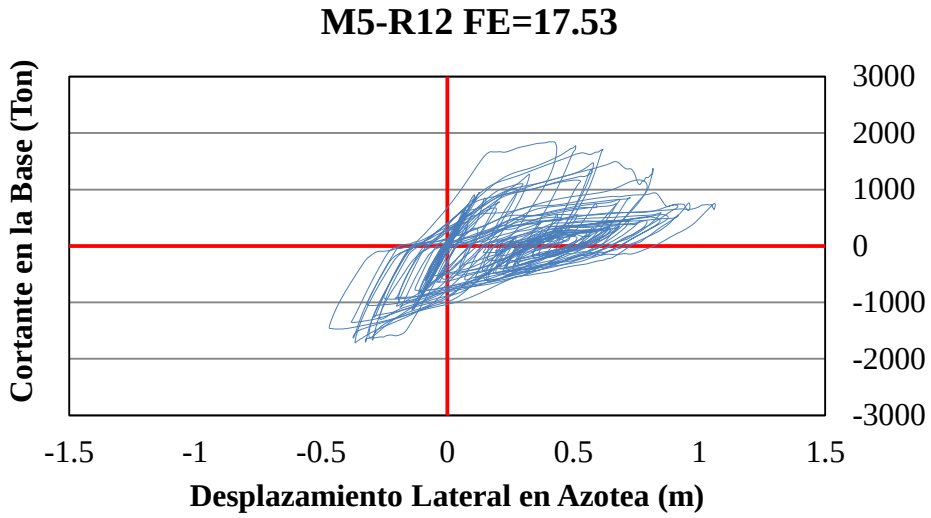

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.40
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

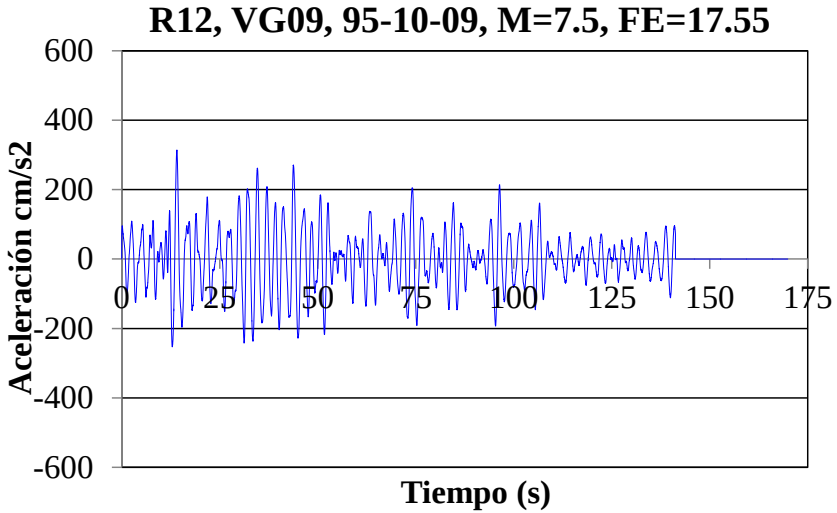

M5-R12 FE=17.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

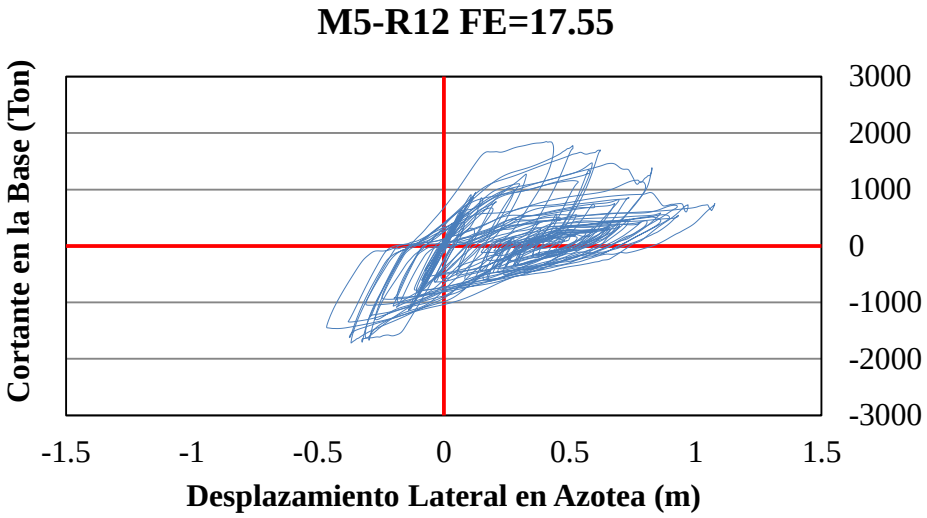

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

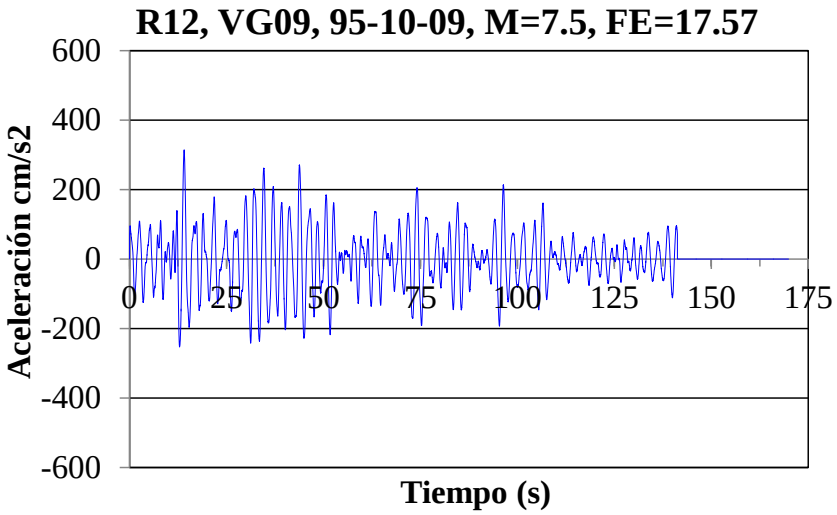

M5-R12 FE=17.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

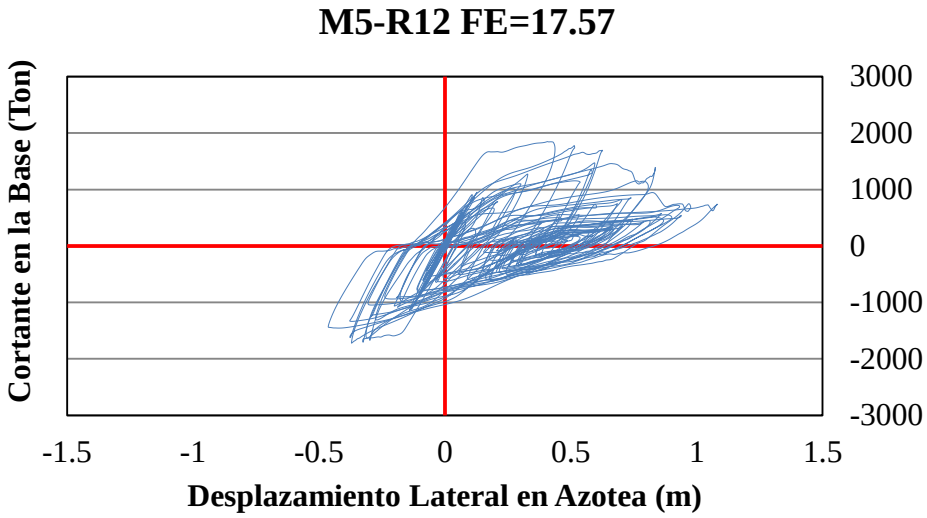

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.53
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

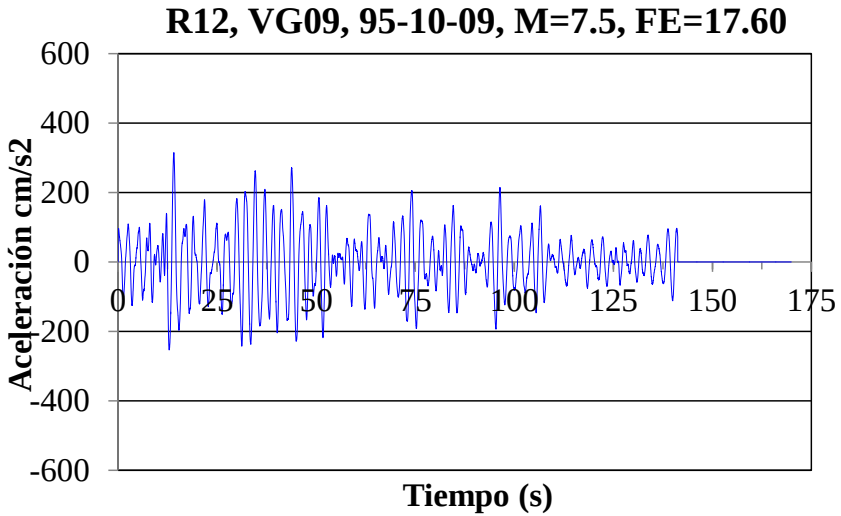

M5-R12 FE=17.53
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

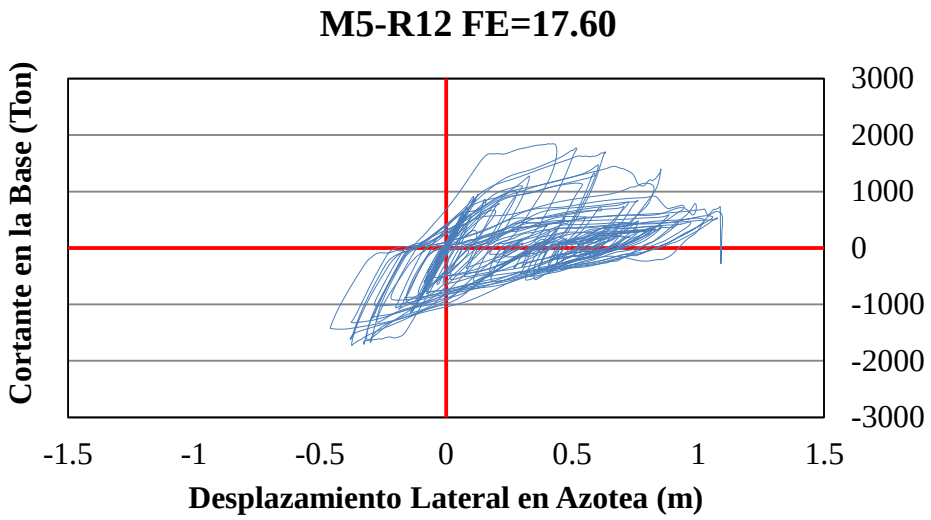

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

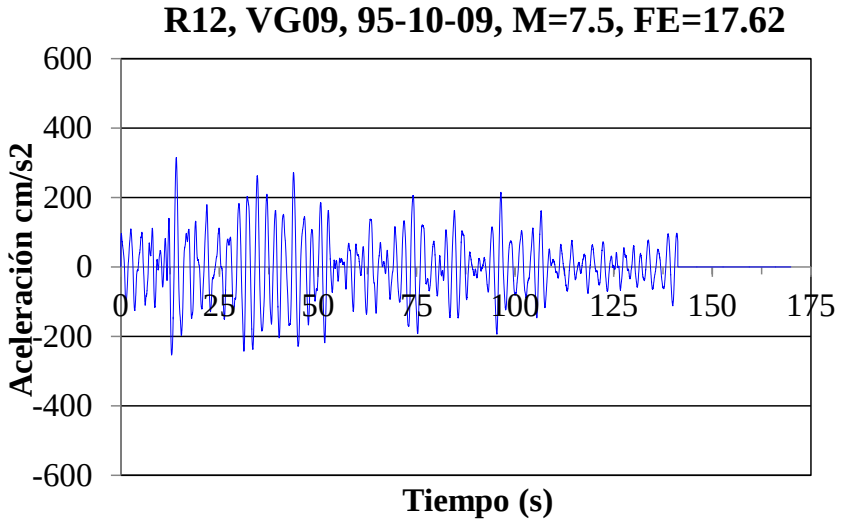

M5-R12 FE=17.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

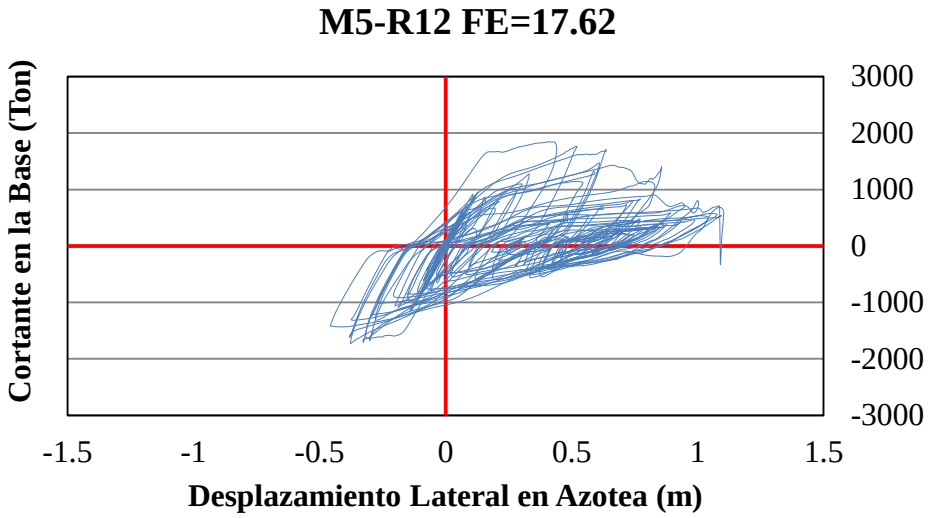

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.57
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

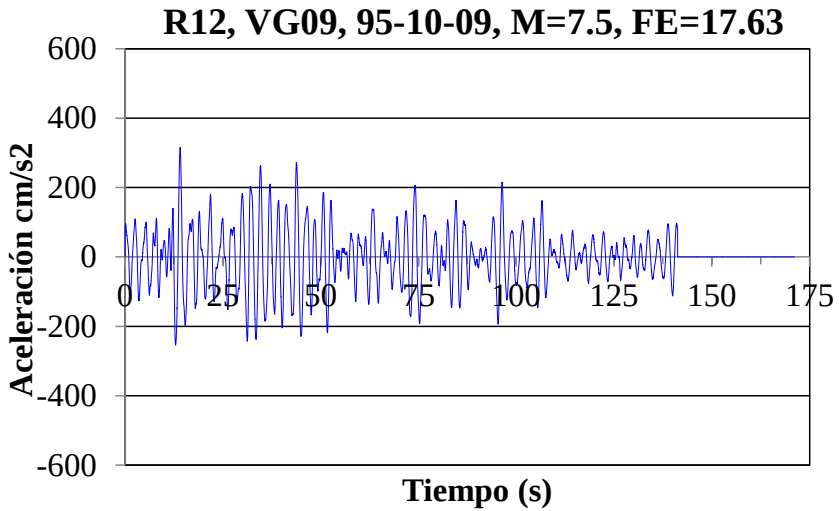

M5-R12 FE=17.57
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

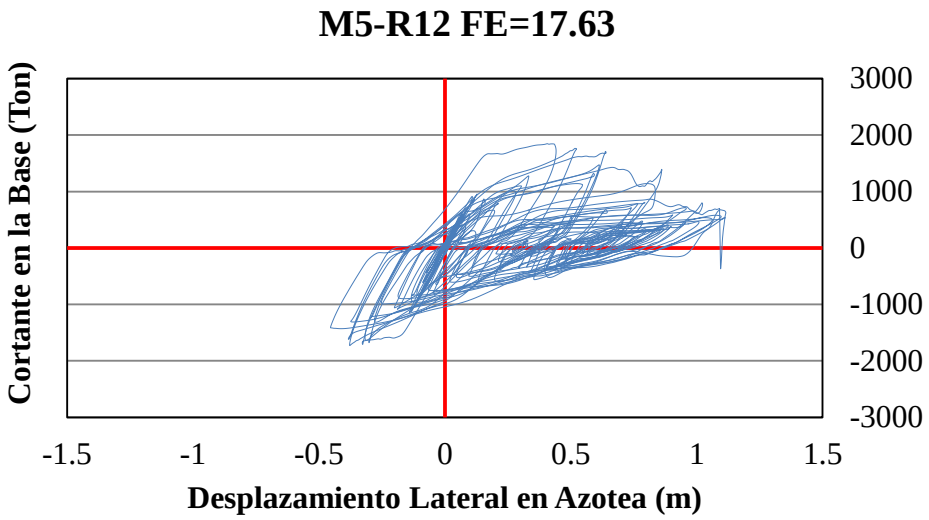

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

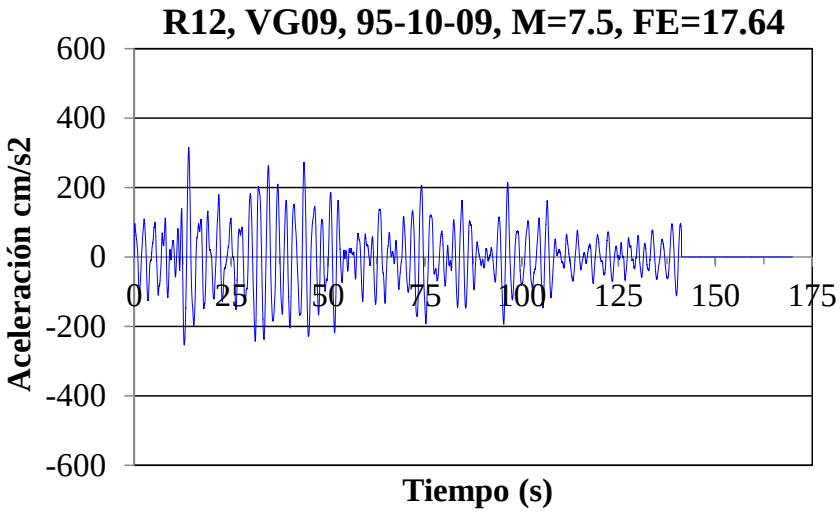

M5-R12 FE=17.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

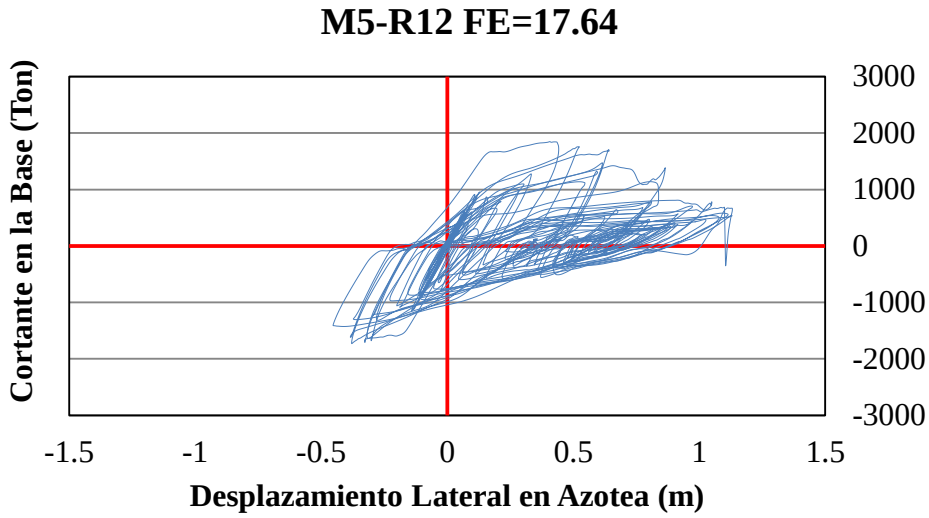

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.62
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

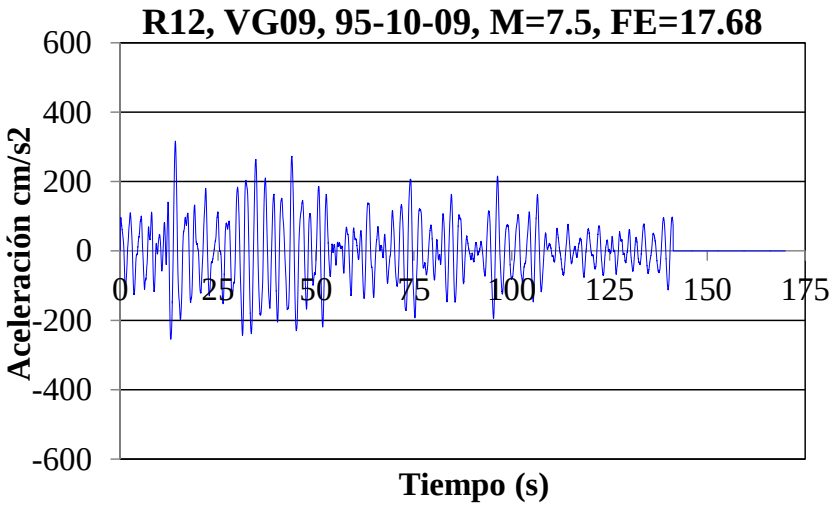

M5-R12 FE=17.62
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

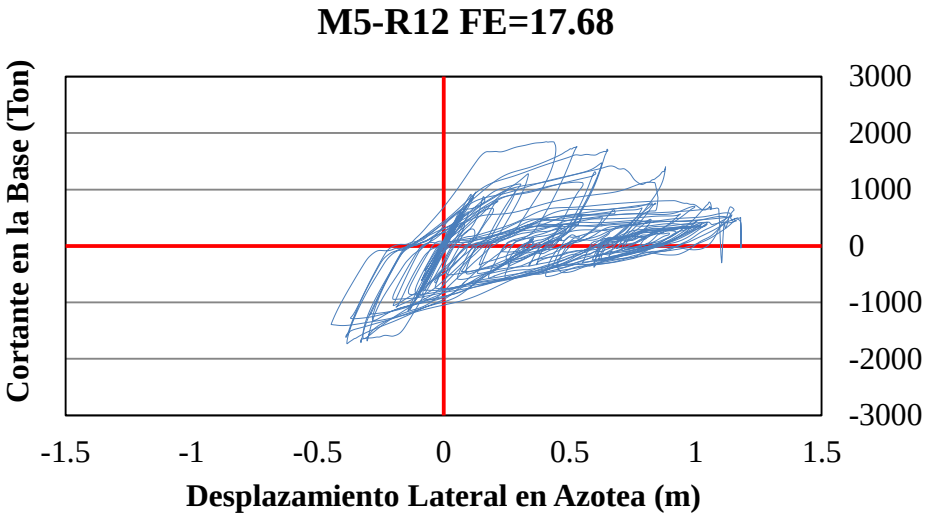

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.63
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

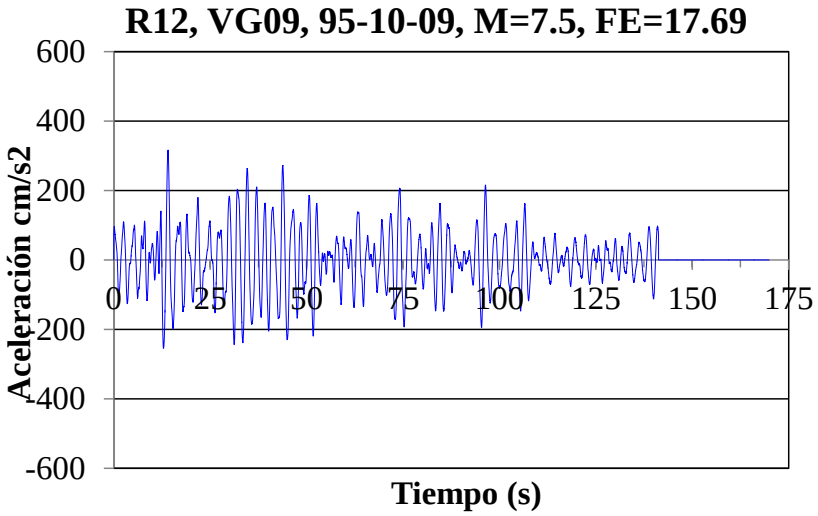

M5-R12 FE=17.63
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

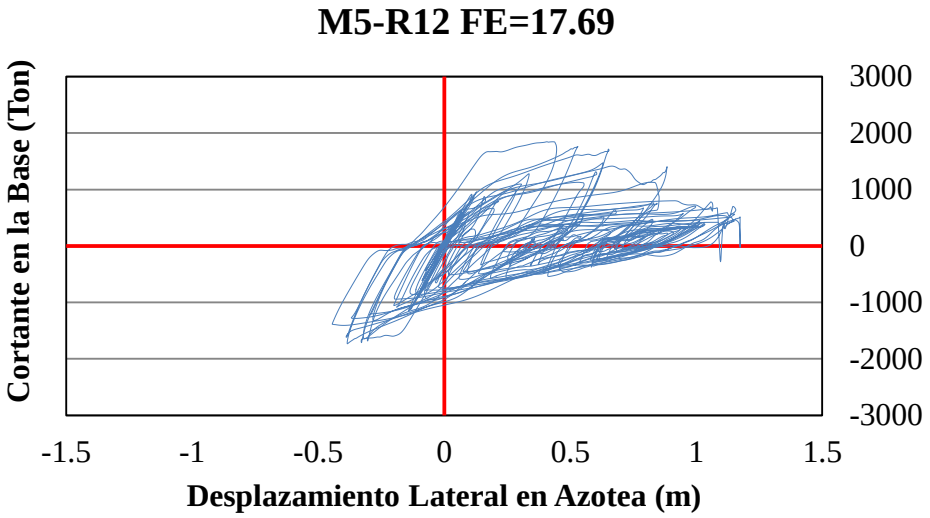

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.64
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

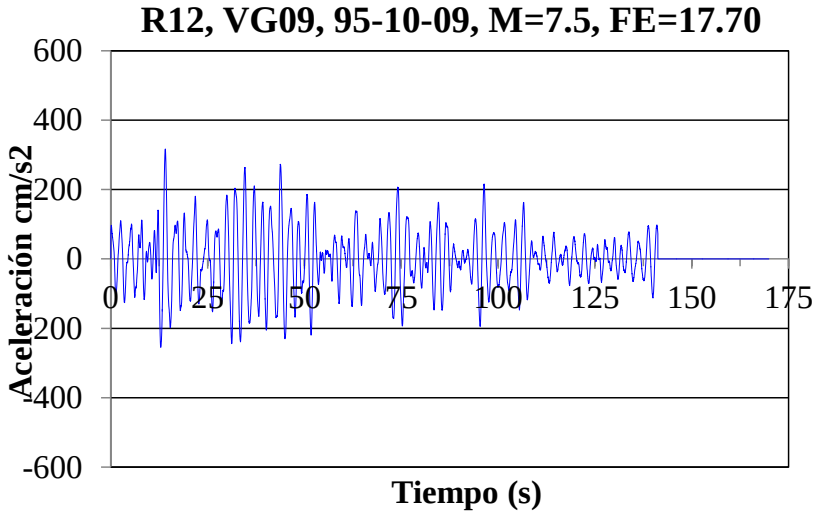

M5-R12 FE=17.64
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

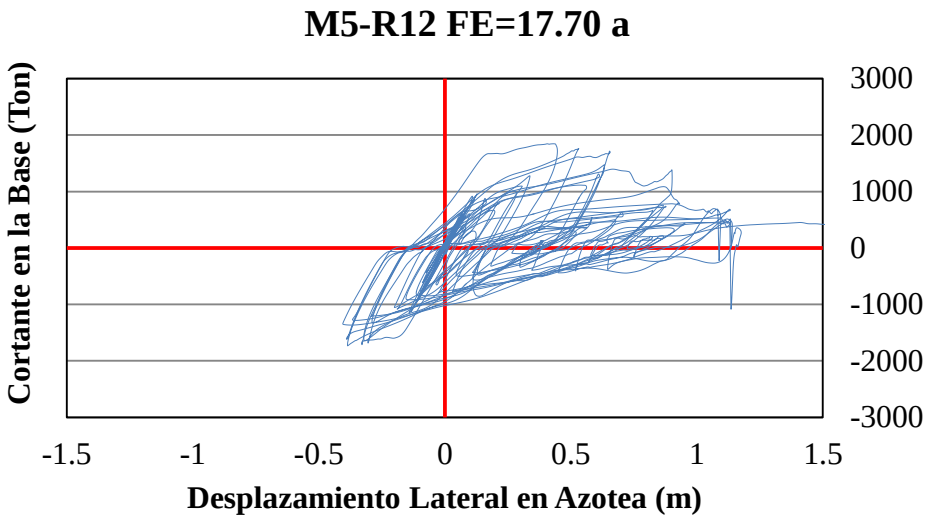

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.68
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

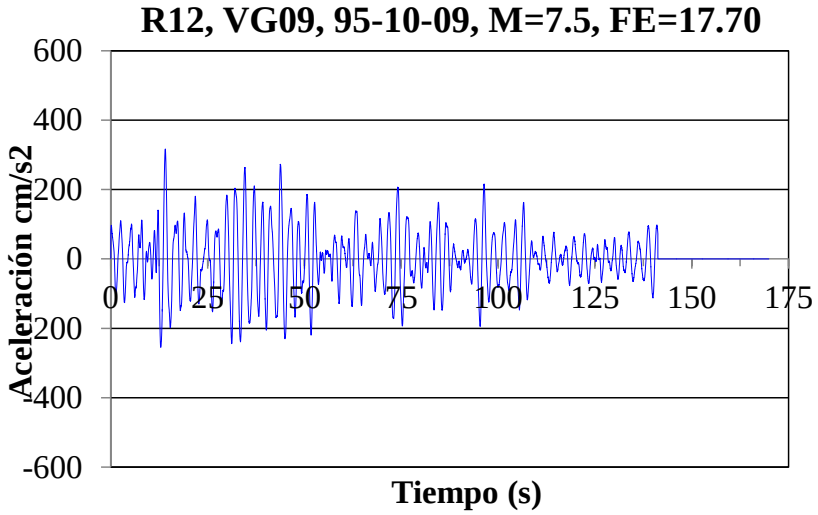

M5-R12 FE=17.68
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

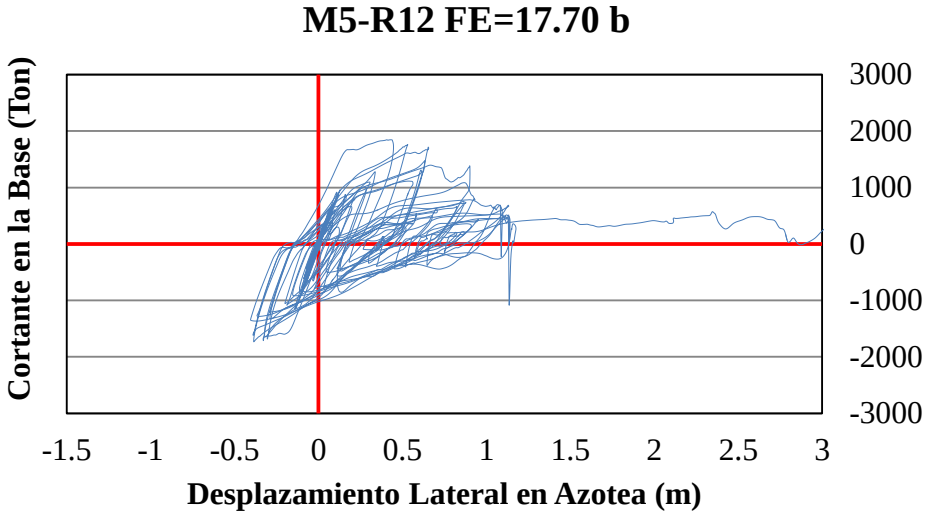

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.69
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

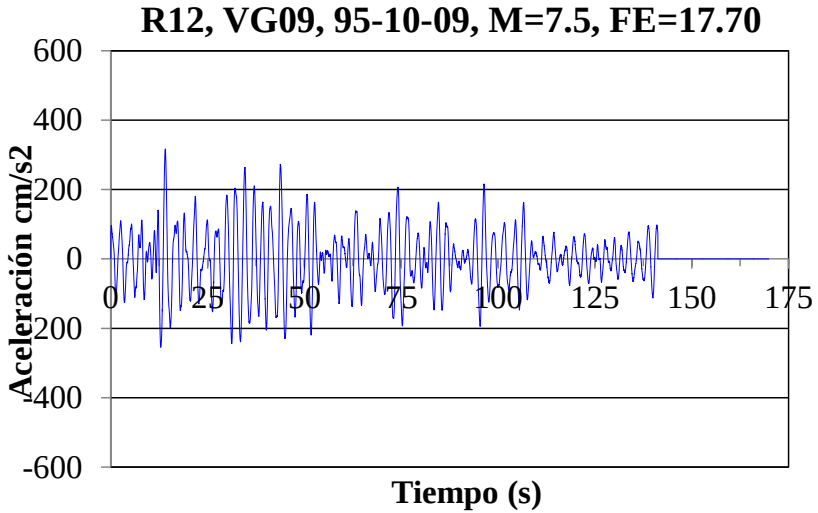

M5-R12 FE=17.69
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

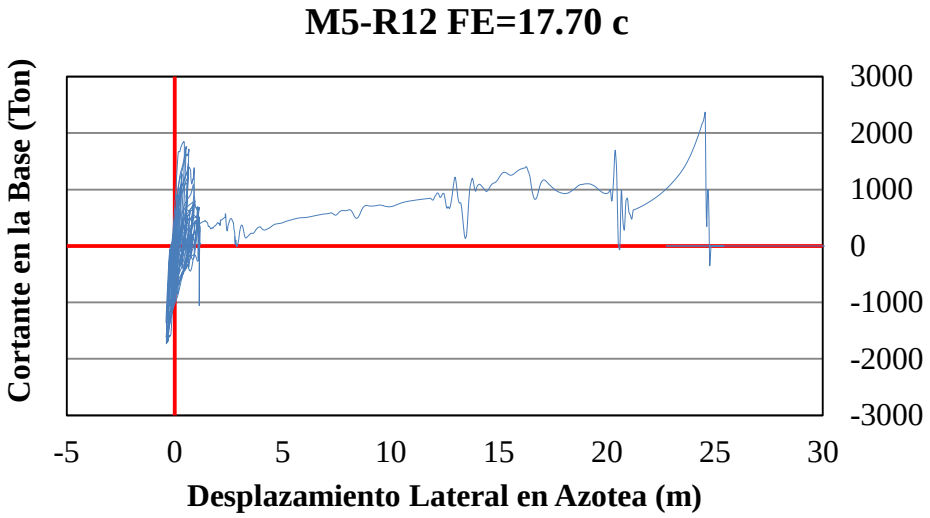

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

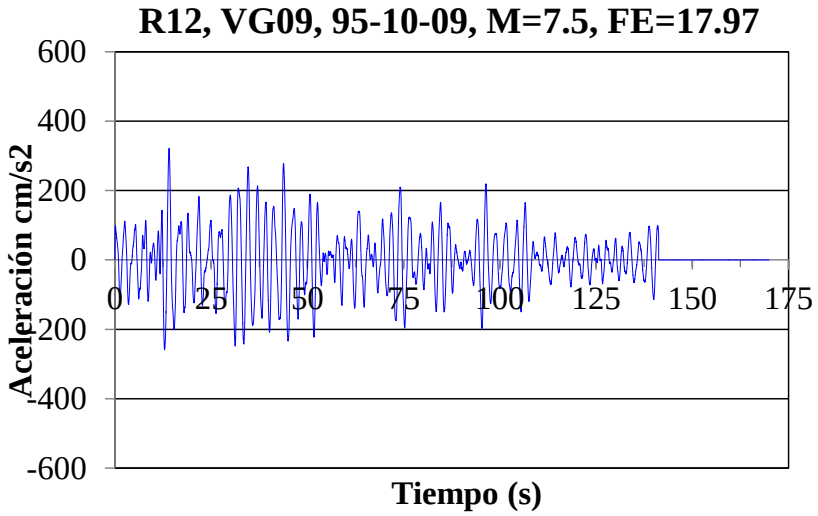

M5-R12 FE=17.70 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

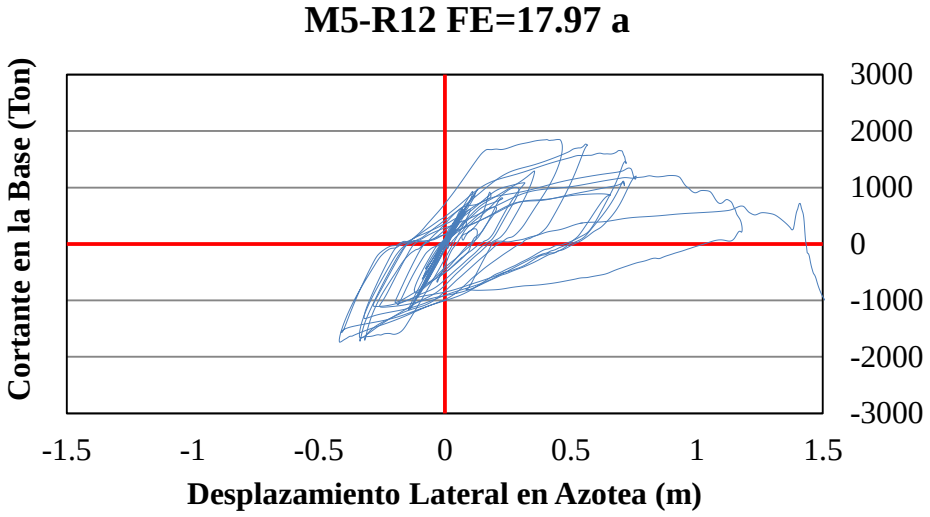

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

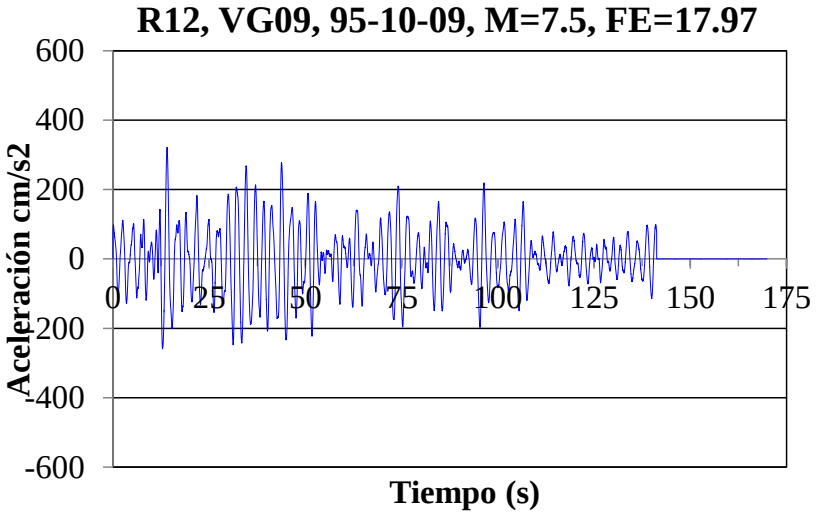

M5-R12 FE=17.70 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

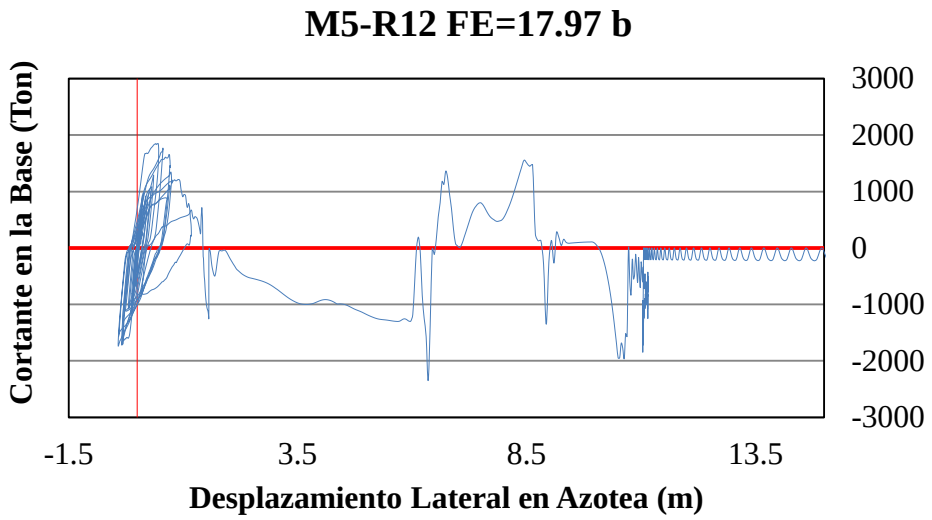

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

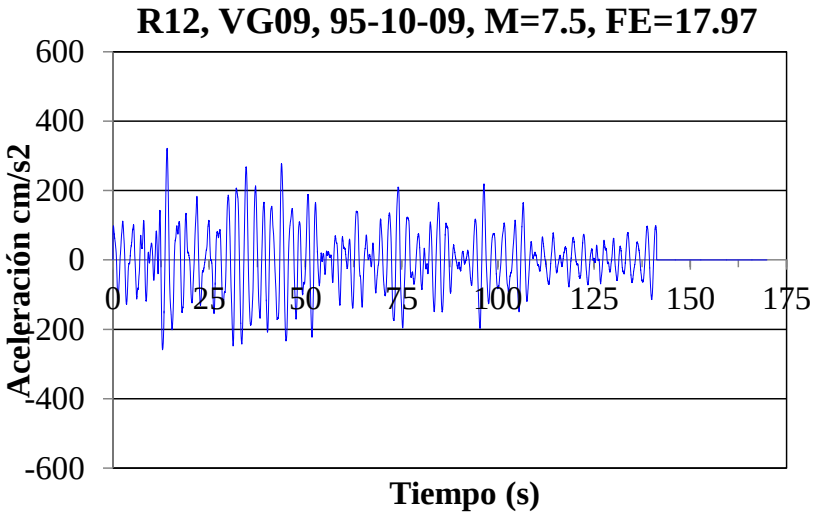

M5-R12 FE=17.70 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-5
0
5
10
15
20
25
30
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

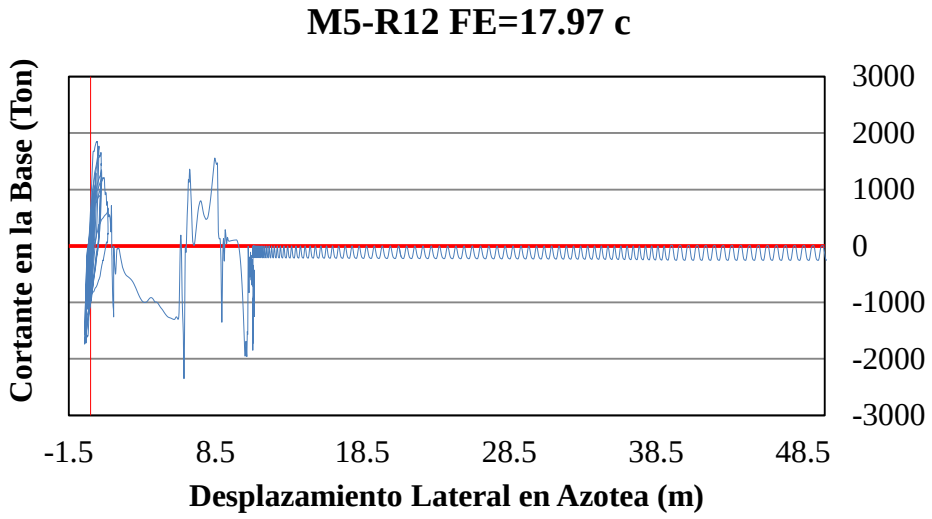

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.97
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R12 FE=17.97 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.97
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R12 FE=17.97 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
3.5
8.5
13.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

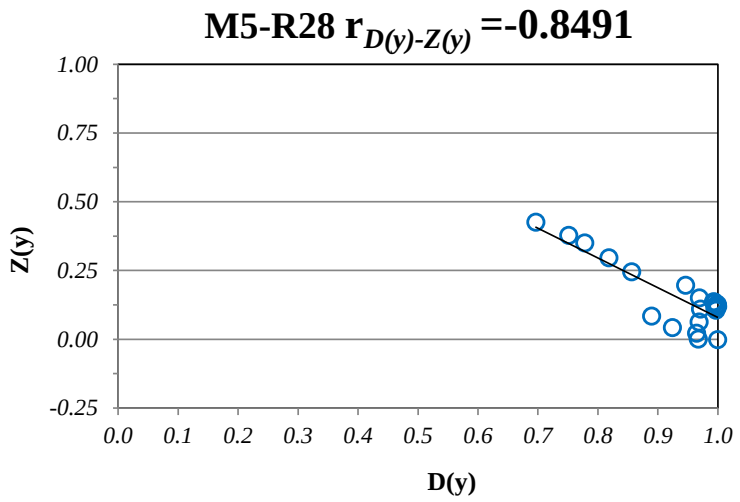

R12, VG09, 95-10-09, M=7.5, FE=17.97
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

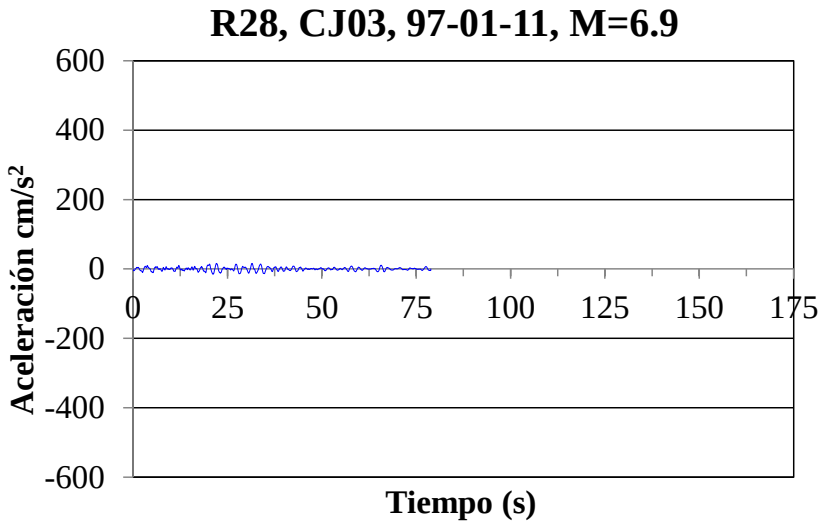

M5-R12 FE=17.97 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
8.5
18.5
28.5
38.5
48.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

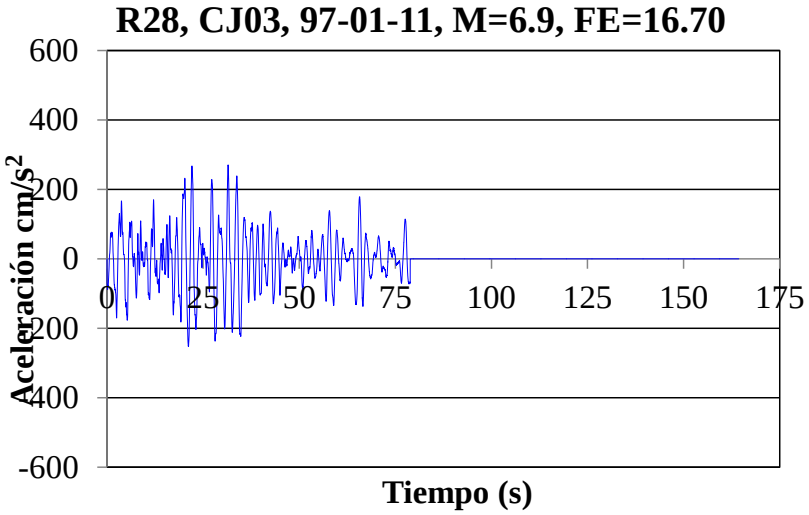
M5-R28

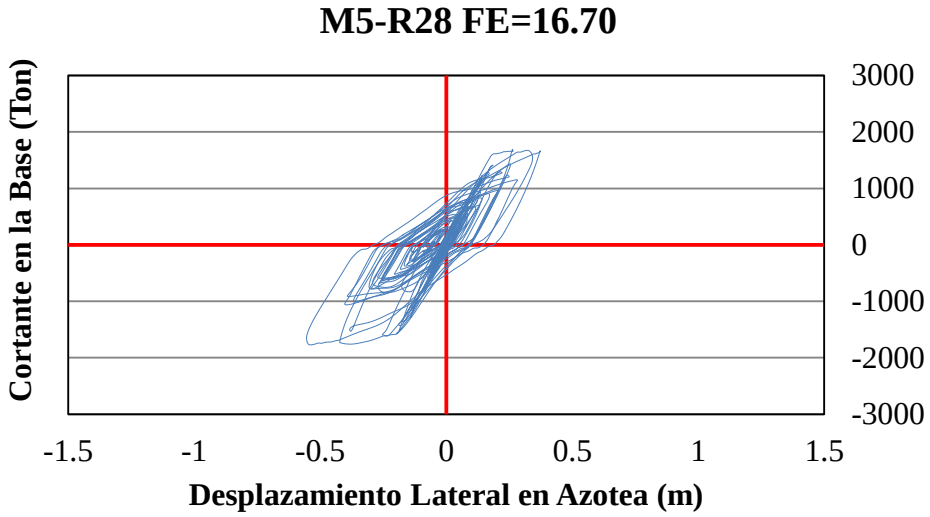
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.86**	**9 882.86**	**0.039**	**-0.8491**

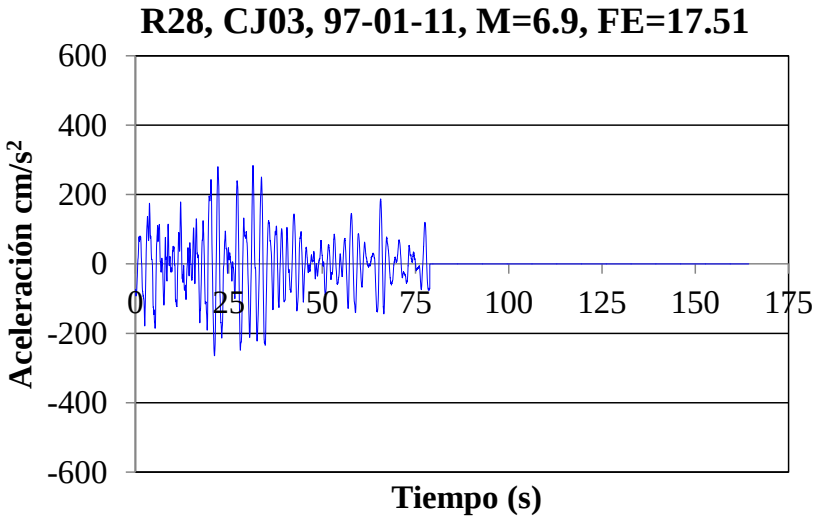
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6561	16.70	35.1200	0.5540	-1661.230	2 998.61	0.6966	0.040
0.6878	17.51	35.2300	0.6444	-1582.306	2 455.47	0.7515	-0.007
0.7070	18.00	35.2900	0.6811	-1493.524	2 192.81	0.7781	-0.035
0.7463	19.00	35.4100	0.7415	-1331.366	1 795.50	0.8183	-0.089
0.7856	20.00	34.4000	0.7331	1038.609	1 416.74	0.8566	-0.140
0.8249	21.00	34.4900	0.9600	509.502	0 530.73	0.9463	-0.189
0.8641	22.00	34.5400	1.0477	317.607	0 303.15	0.9693	-0.235
0.8759	22.30	34.5500	1.0355	73.277	0 070.76	0.9928	-0.249
0.8771	22.33	34.5500	1.0329	56.041	0 054.26	0.9945	-0.250
0.8799	22.40	34.5500	1.0403	55.202	0 053.06	0.9946	-0.253
0.8838	22.50	34.5500	0.9886	-5.378	-0 005.44	1.0006	-0.258
0.8857	22.55	34.5300	0.9777	-21.500	-0 021.99	1.0022	-0.260
0.8877	22.60	34.5400	0.9917	-4.153	-0 004.19	1.0004	-0.262
0.8916	22.70	34.5500	1.0086	2.753	0 002.73	0.9997	-0.267
0.8956	22.80	34.5500	1.0375	47.603	0 045.88	0.9954	-0.271
0.8995	22.90	34.5300	0.9195	262.100	0 285.05	0.9712	-0.275
0.9034	23.00	34.5500	0.9850	28.016	0 028.44	0.9971	-0.280
0.9231	23.50	27.9000	0.8753	955.137	1 091.21	0.8896	-0.301
0.9427	24.00	34.5400	0.9977	305.775	0 306.48	0.9690	-0.322
0.9623	24.50	32.4200	1.0434	778.174	0 745.81	0.9245	-0.343
0.9820	25.00	34.5700	1.0811	378.764	0 350.35	0.9645	-0.363
1.0036	25.55	34.5800	1.0486	338.682	0 322.98	0.9673	-0.385
1.0056	25.60	64.5600	40.4693	-0.003	0 000.00	1.0000	-0.387

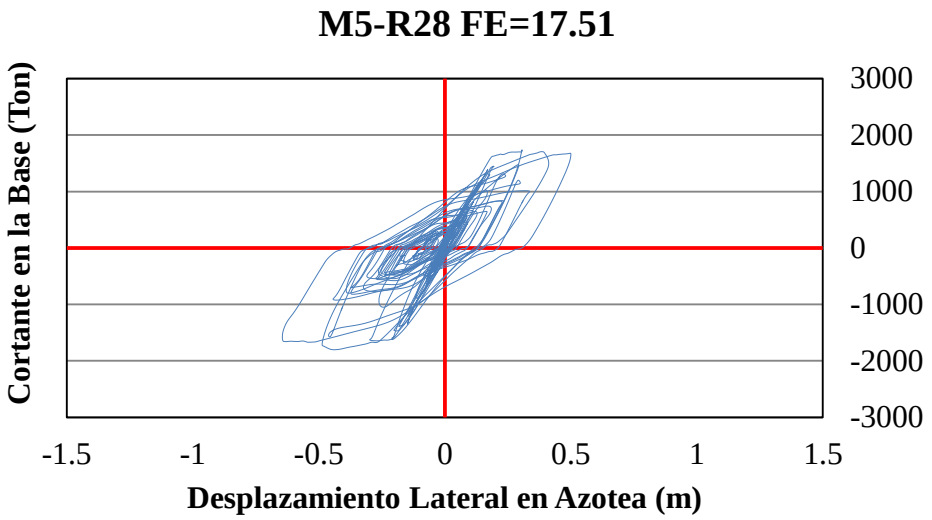

M5-R28 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.8491
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

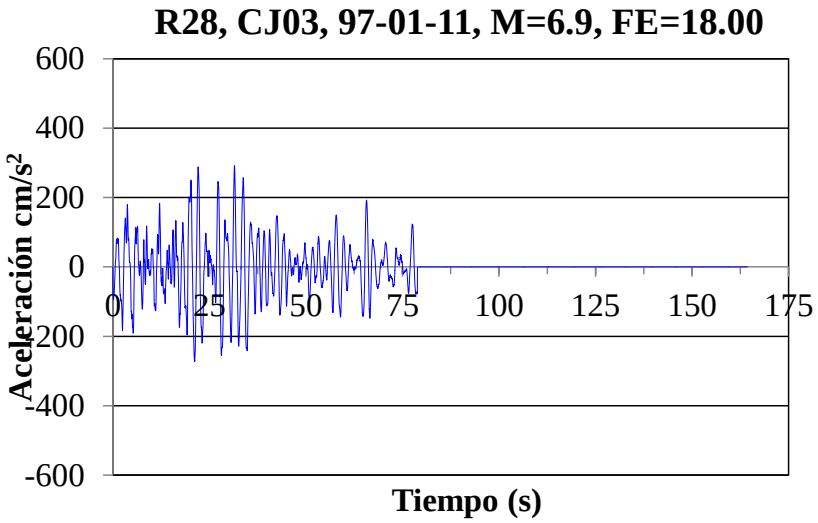

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

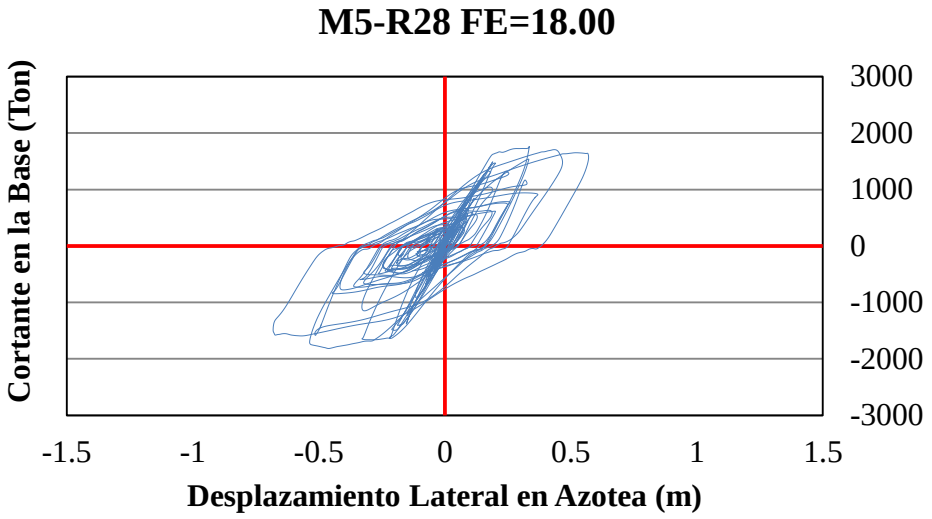

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=16.70
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

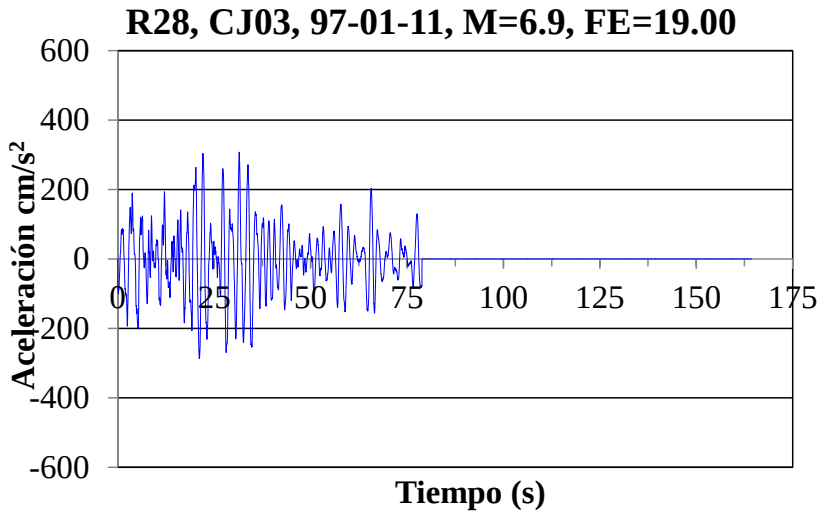

M5-R28 FE=16.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

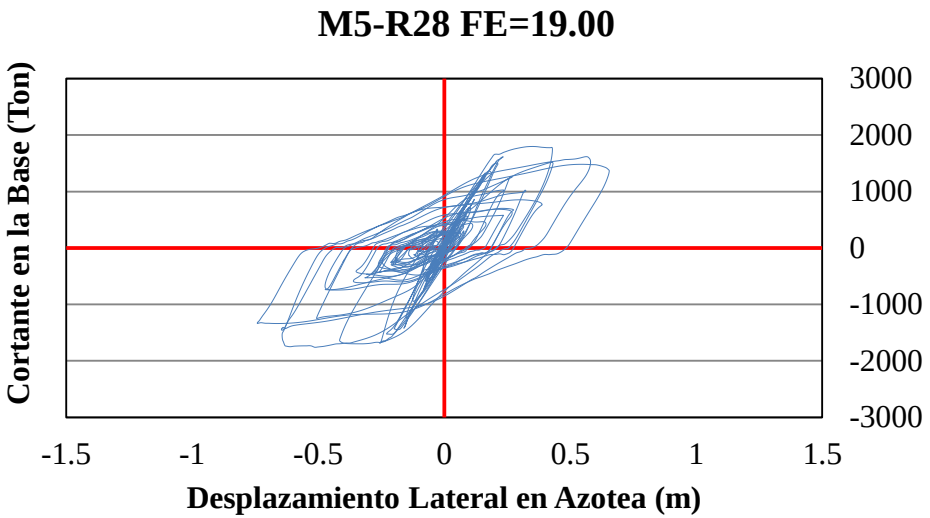

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=17.51
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

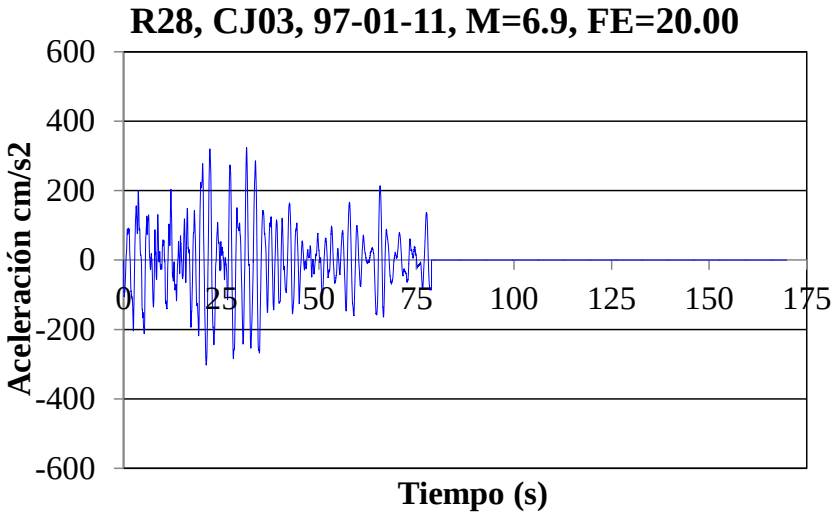

M5-R28 FE=17.51
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

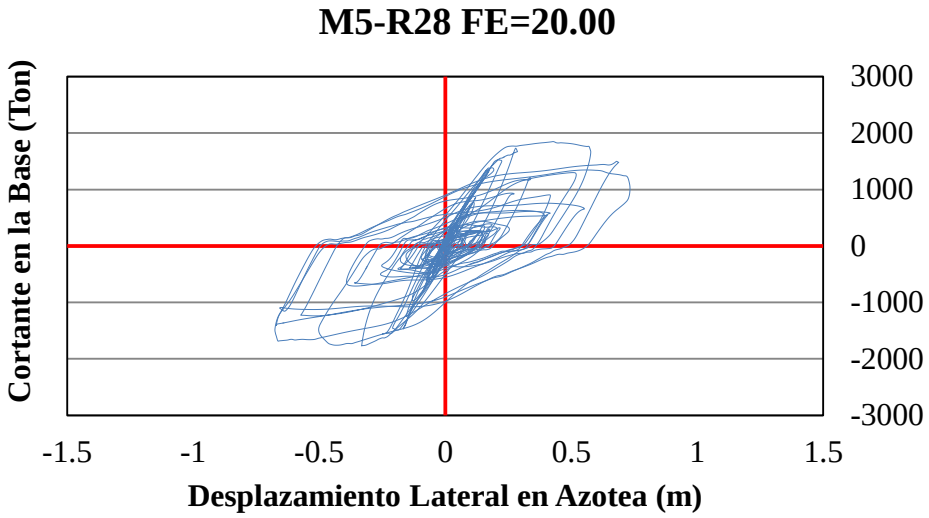

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=18.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

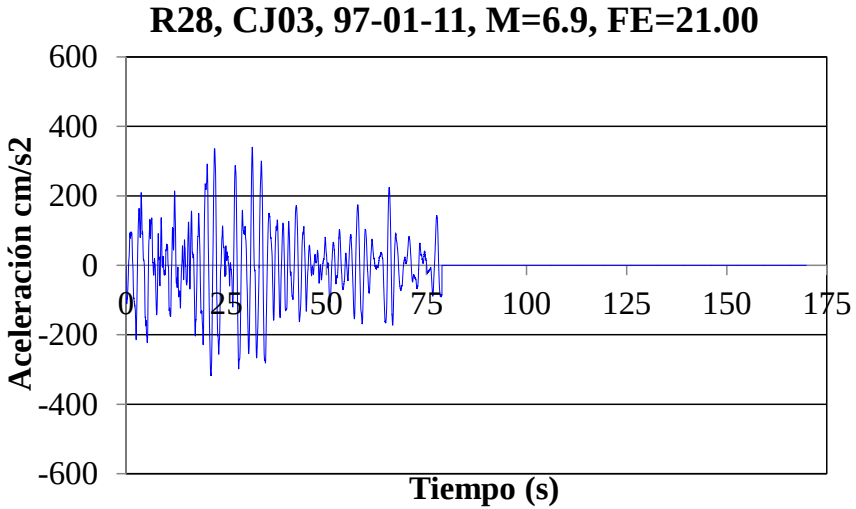

M5-R28 FE=18.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

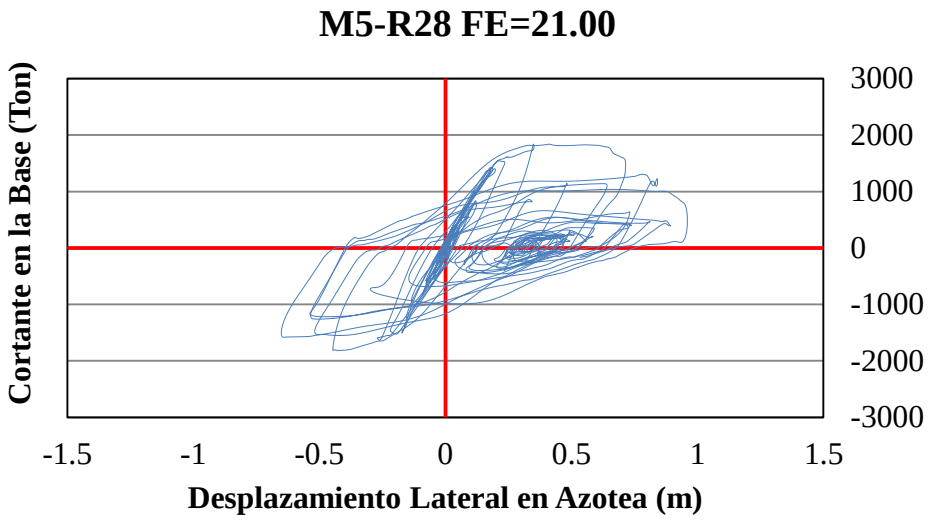

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=19.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

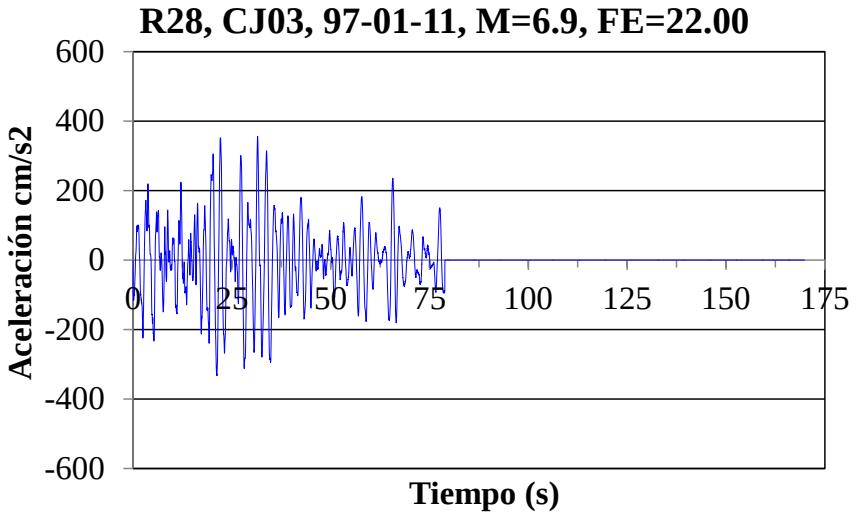

M5-R28 FE=19.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

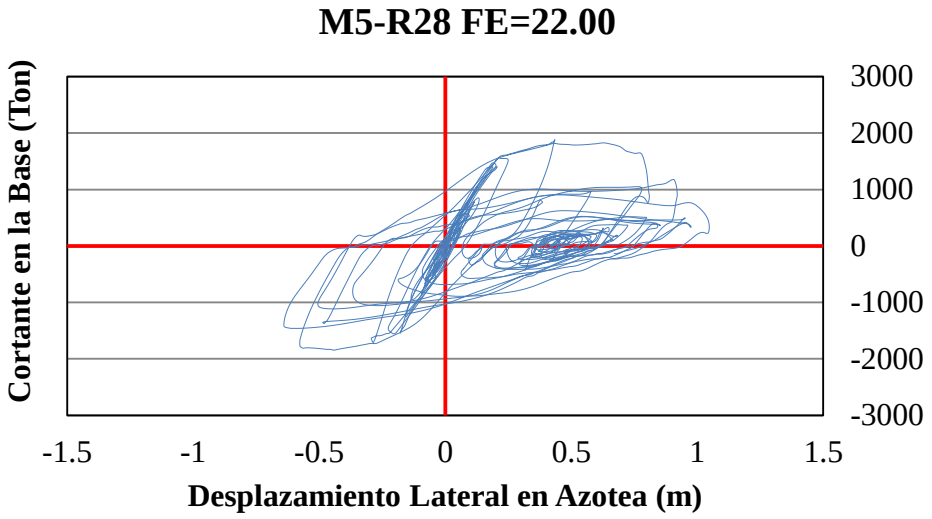

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=20.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

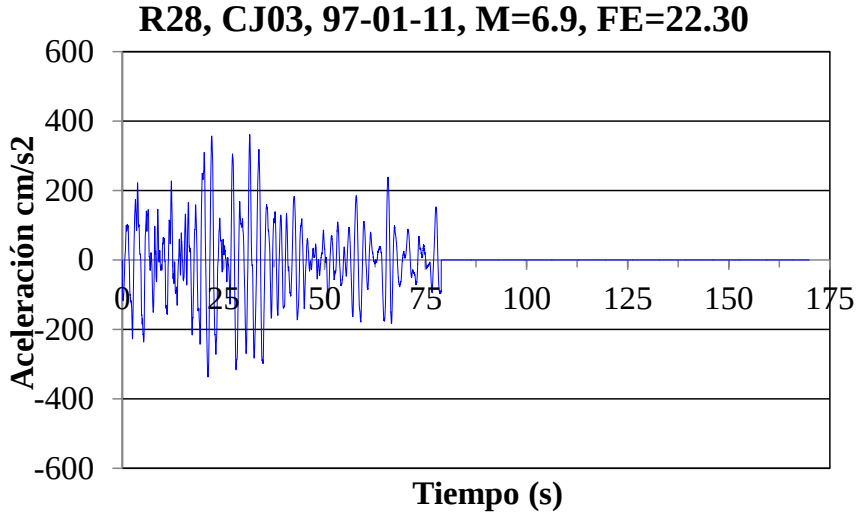

M5-R28 FE=20.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

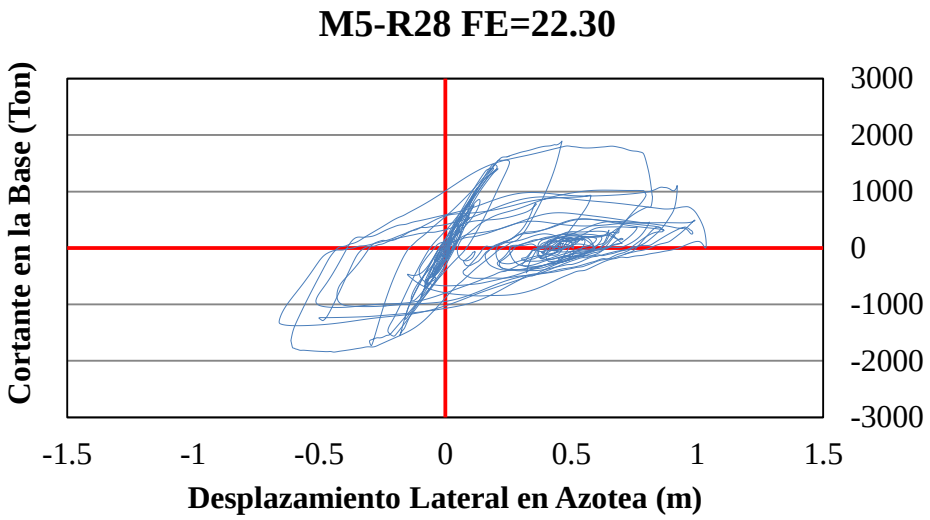

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=21.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

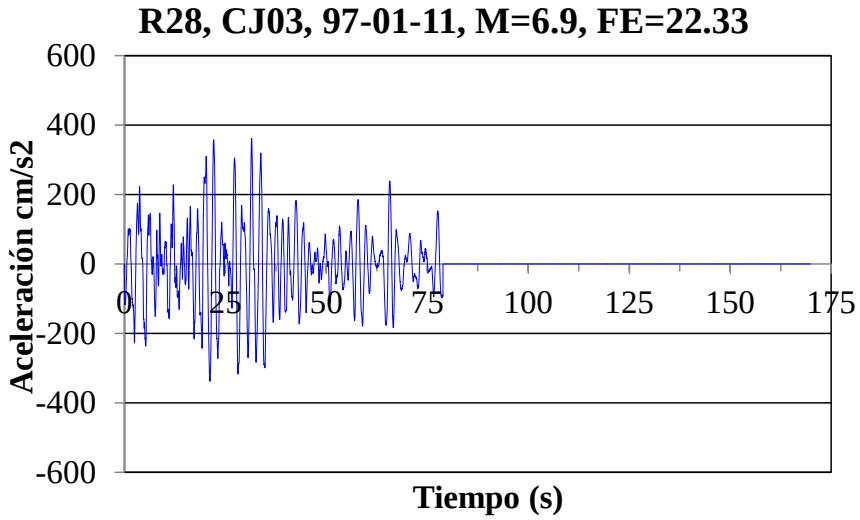

M5-R28 FE=21.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

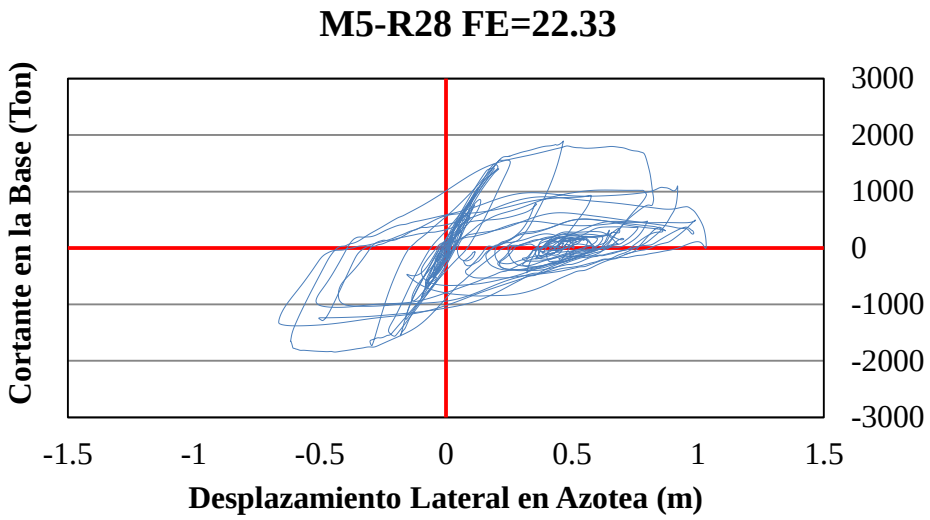

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

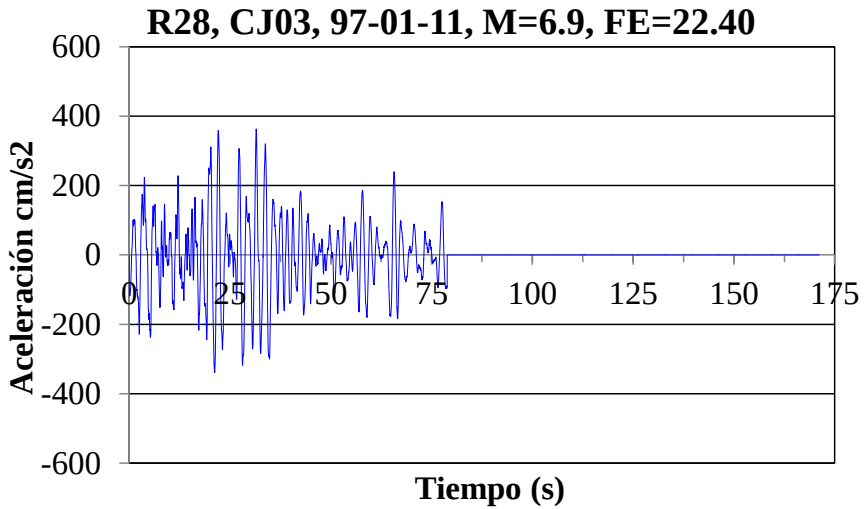

M5-R28 FE=22.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

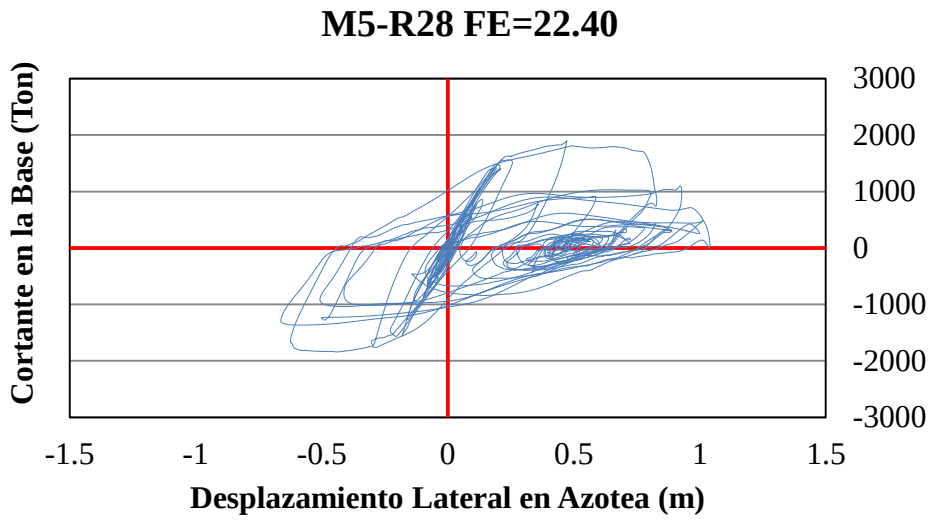

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

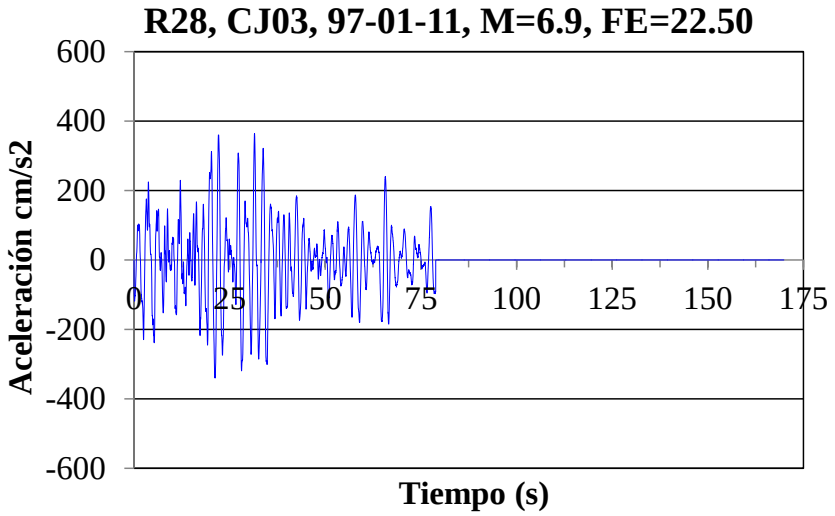

M5-R28 FE=22.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

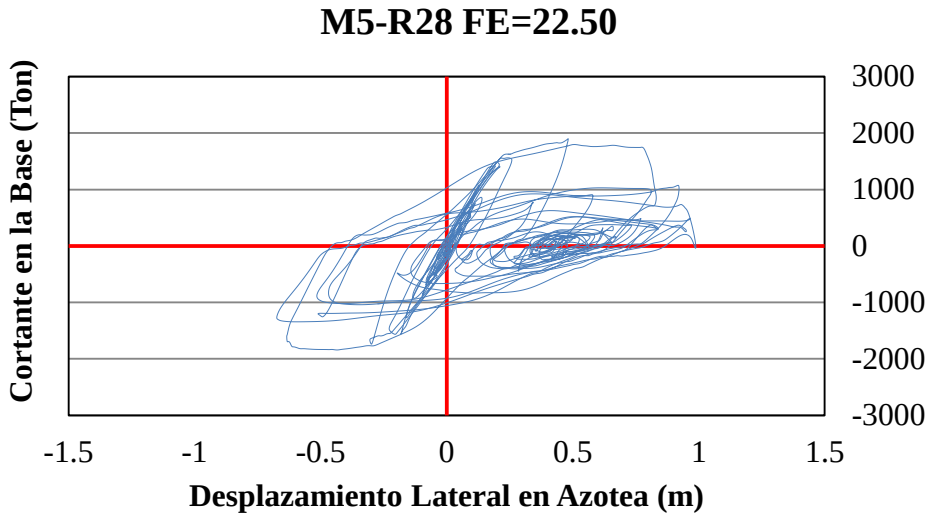

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.33
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

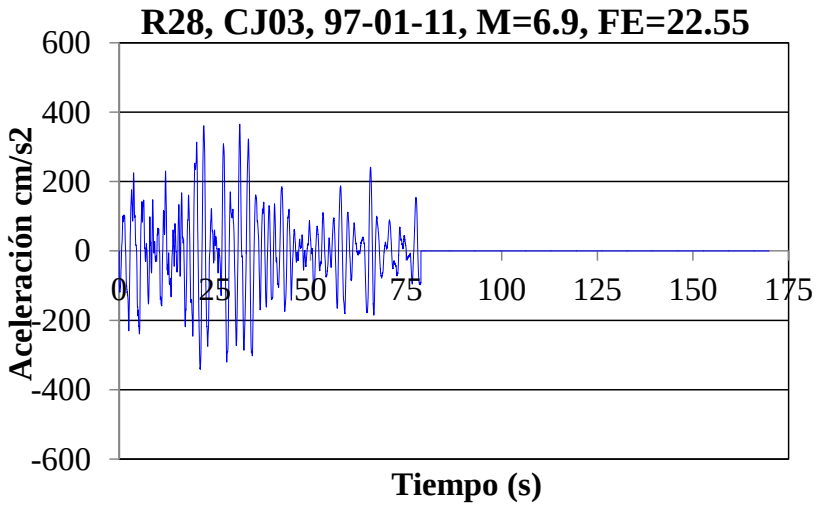

M5-R28 FE=22.33
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

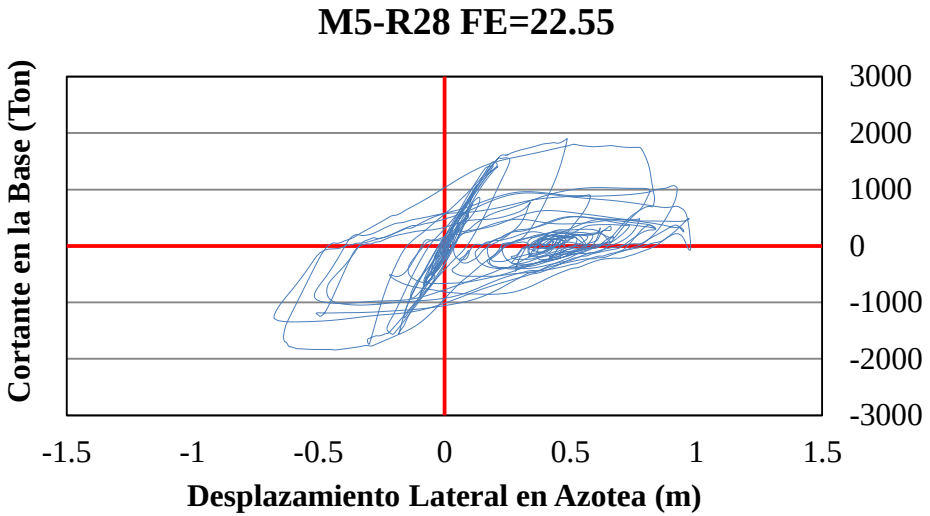

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

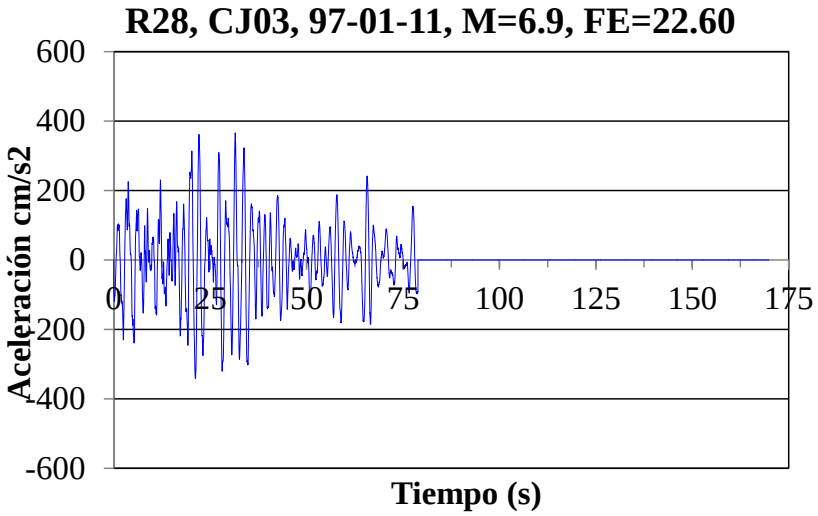

M5-R28 FE=22.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

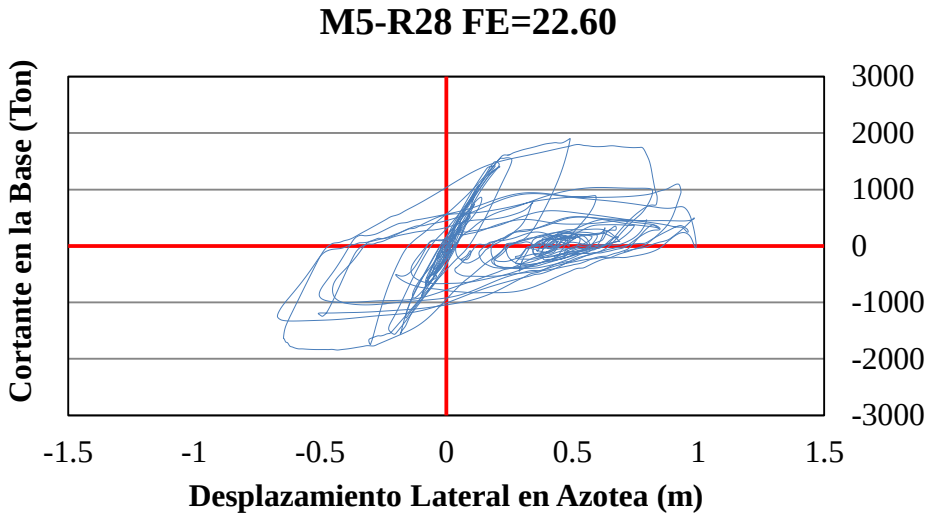

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

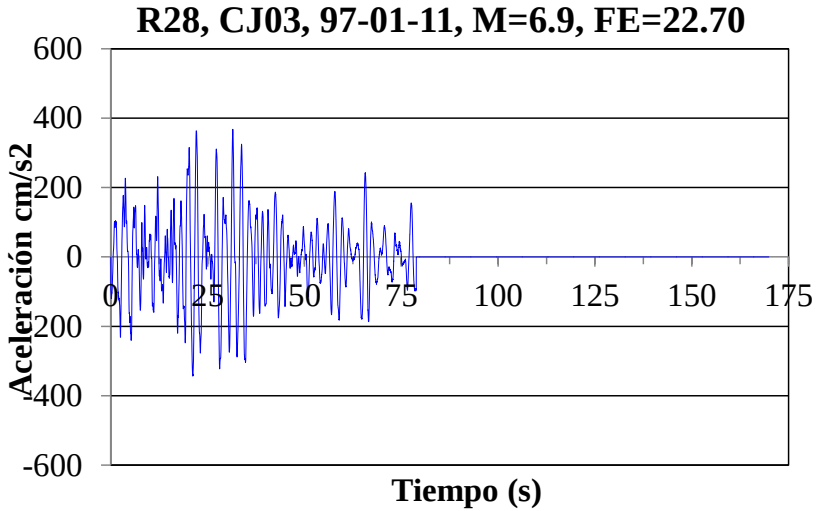

M5-R28 FE=22.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

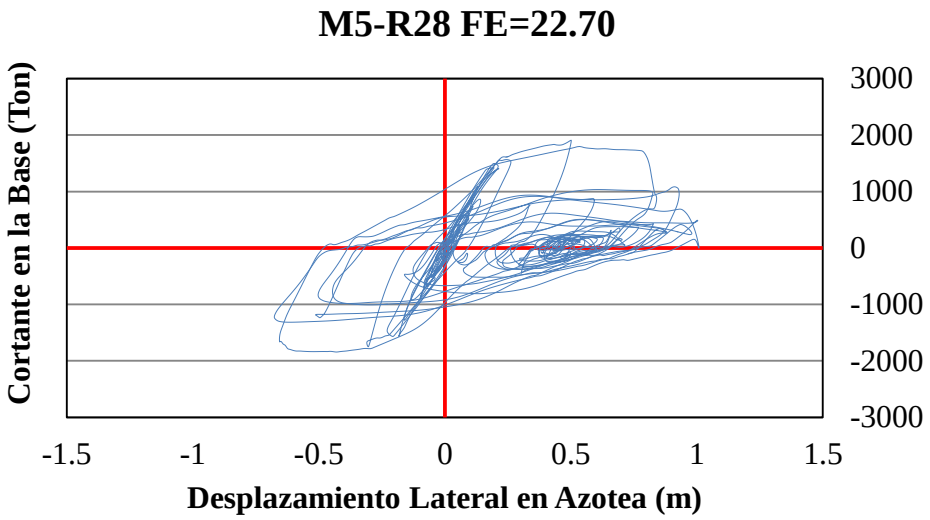

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

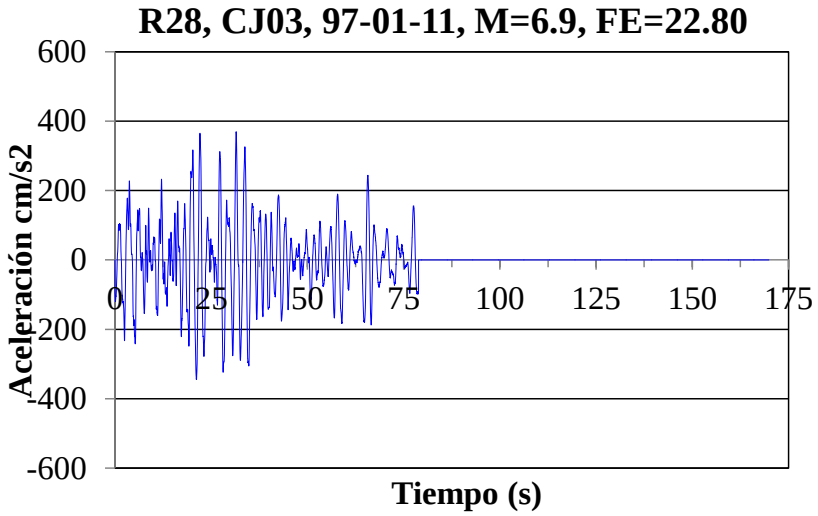

M5-R28 FE=22.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

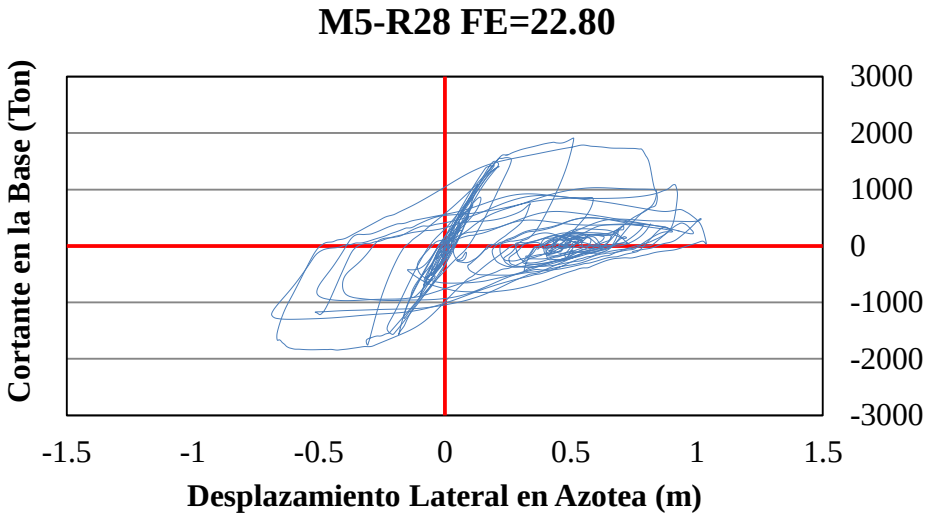

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

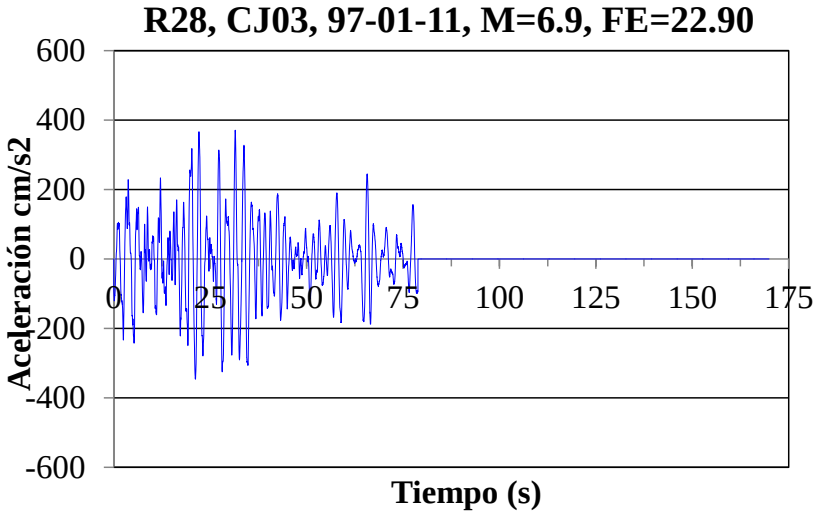

M5-R28 FE=22.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

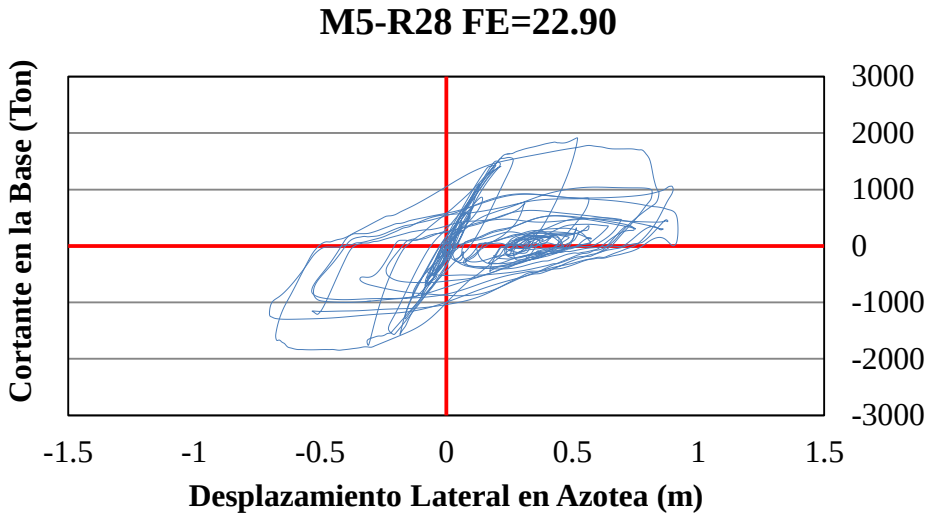

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

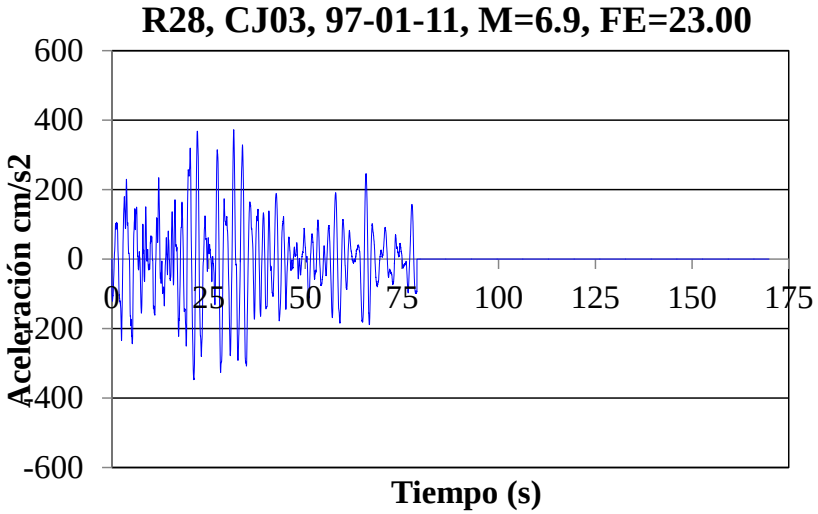

M5-R28 FE=22.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

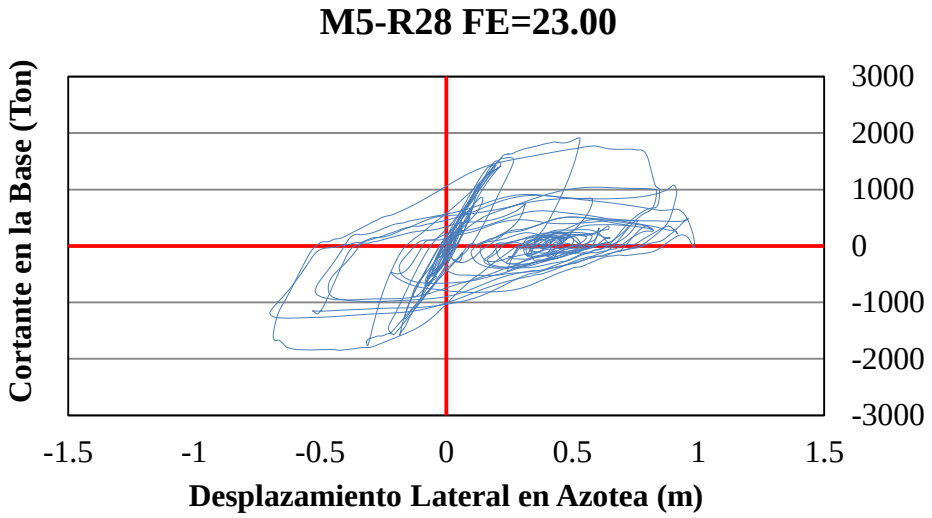

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

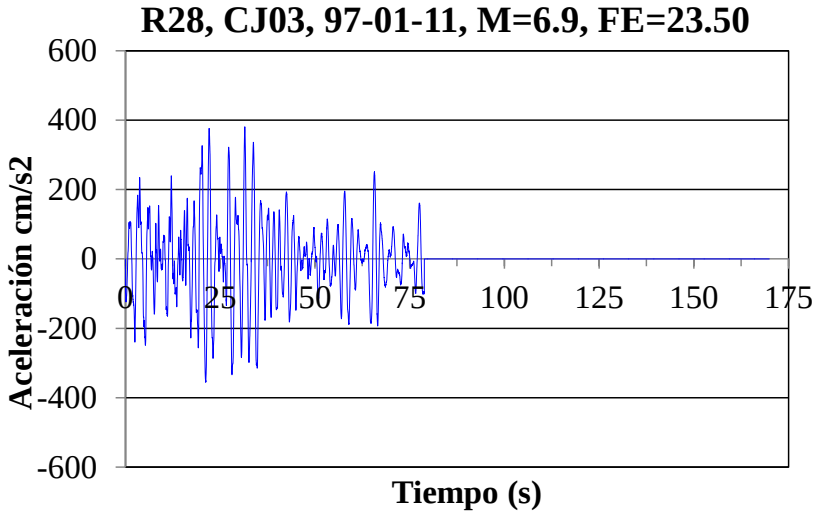

M5-R28 FE=22.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

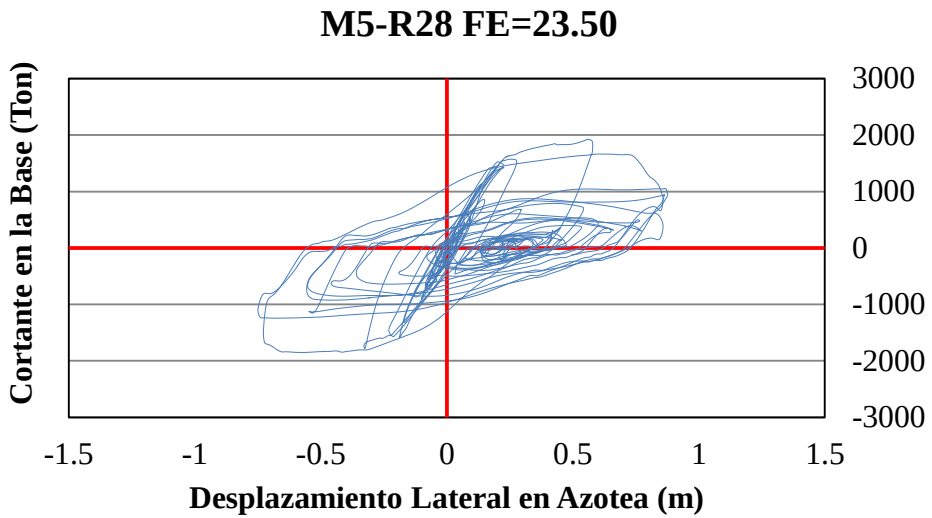

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=22.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

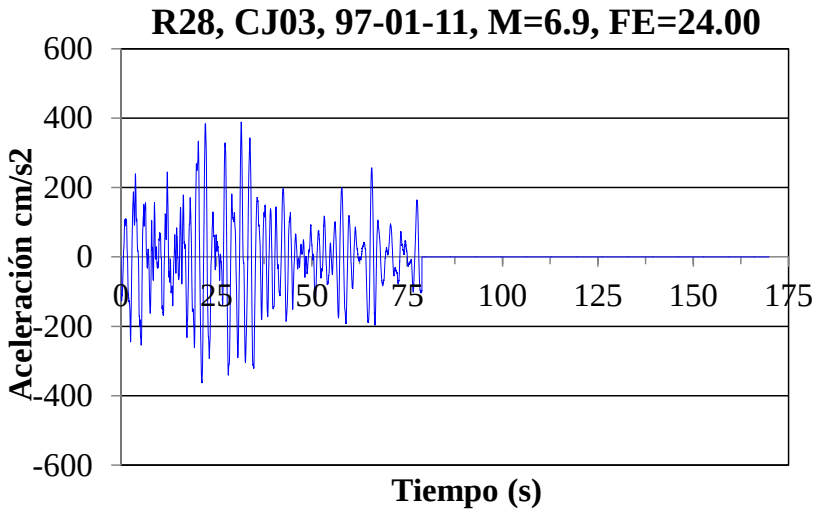

M5-R28 FE=22.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

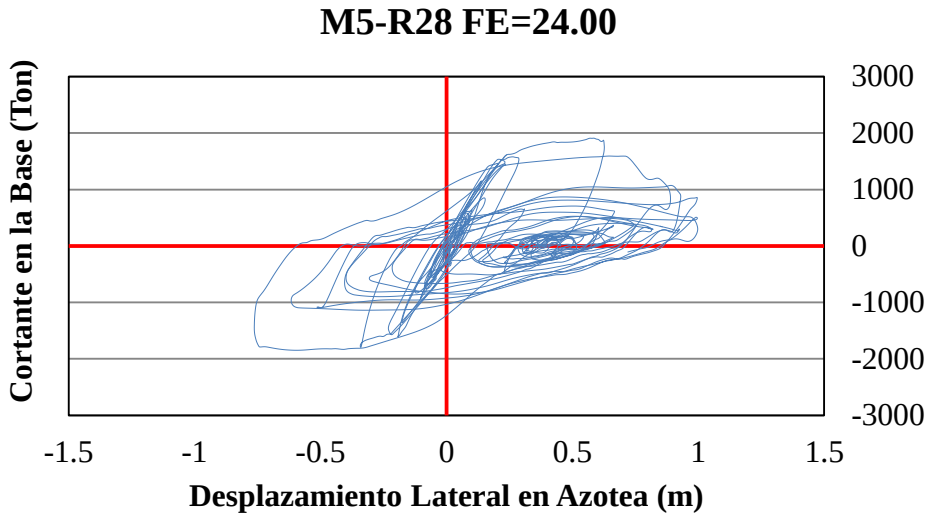

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=23.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

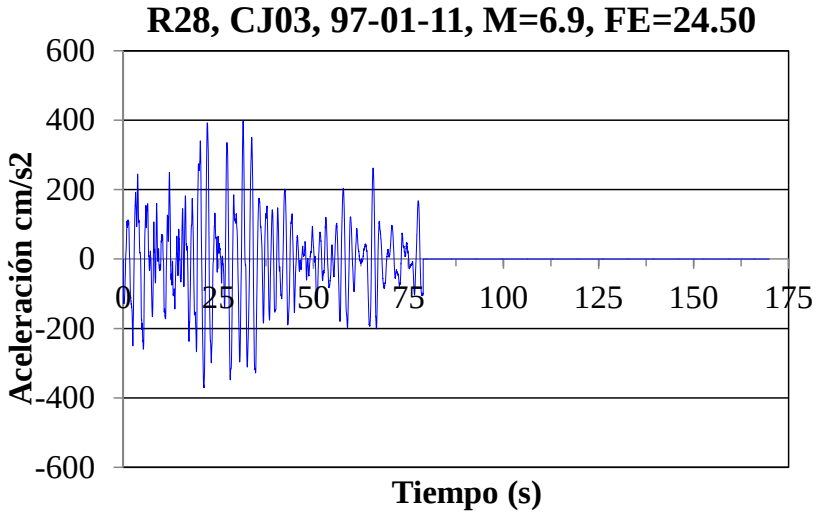

M5-R28 FE=23.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

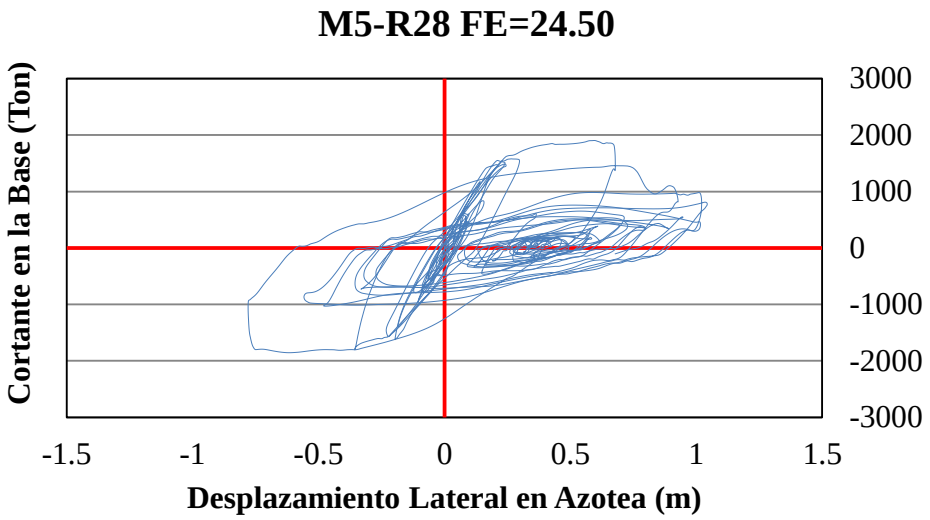

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=23.50
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

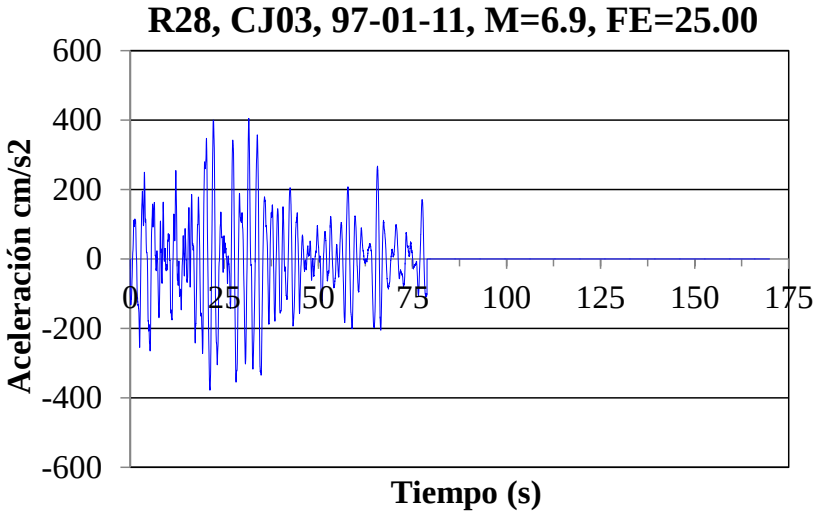

M5-R28 FE=23.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

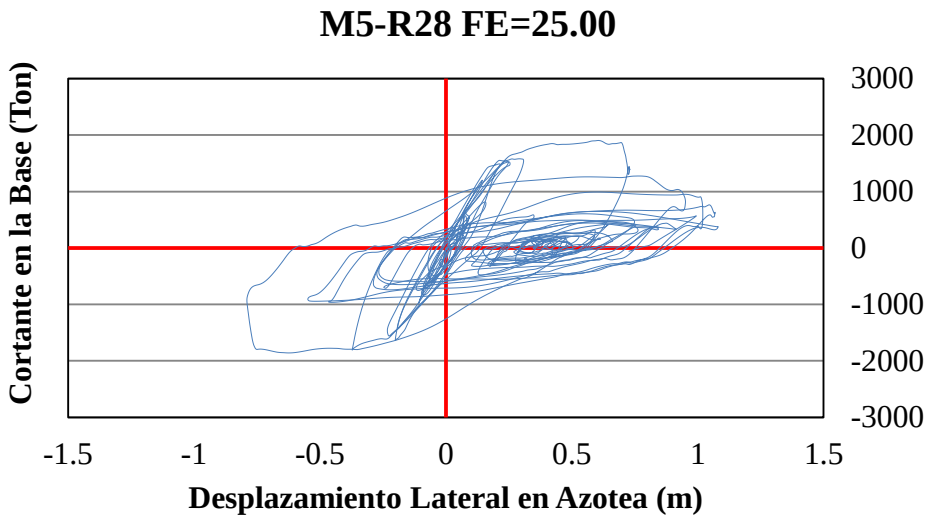

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=24.00
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

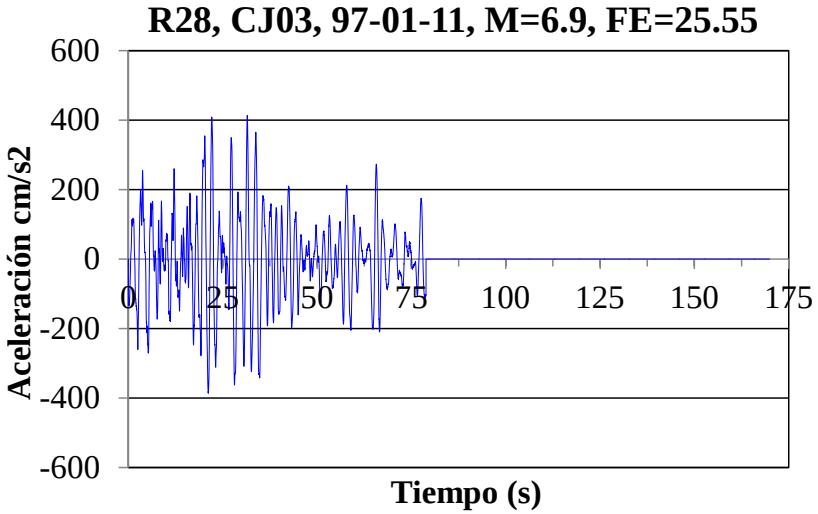

M5-R28 FE=24.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

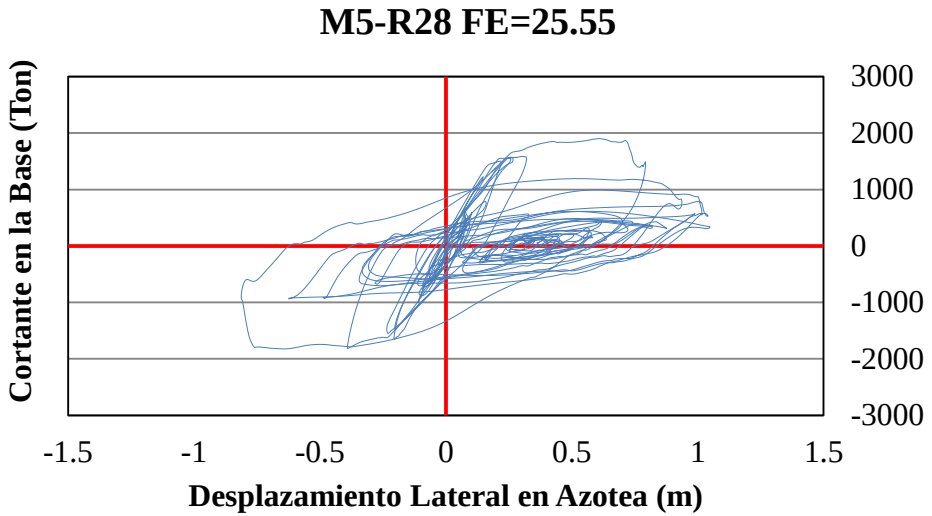

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=24.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

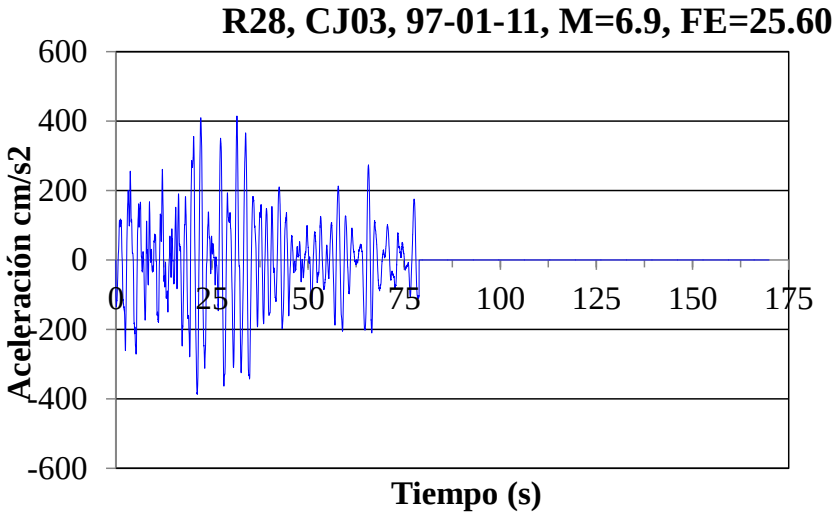

M5-R28 FE=24.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

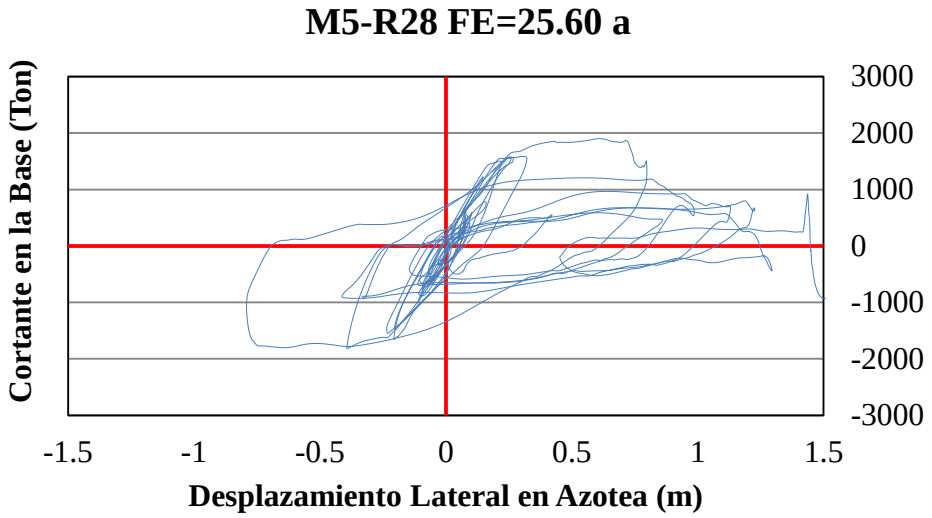

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=25.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

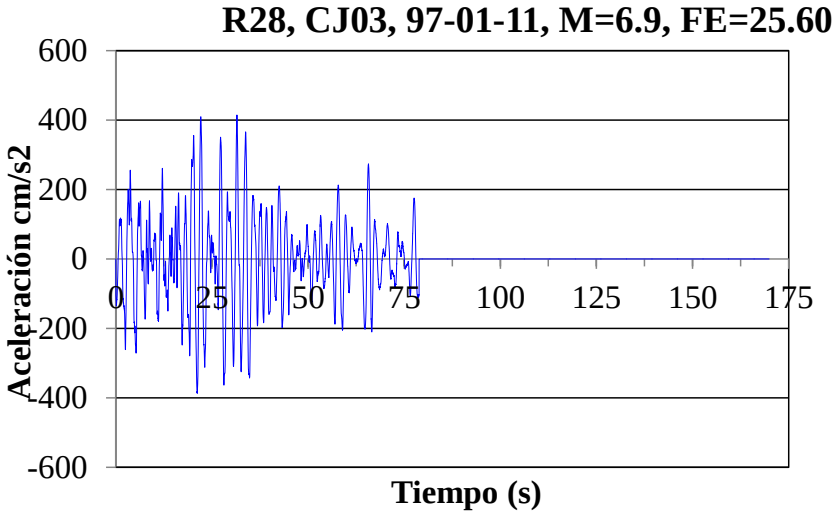

M5-R28 FE=25.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

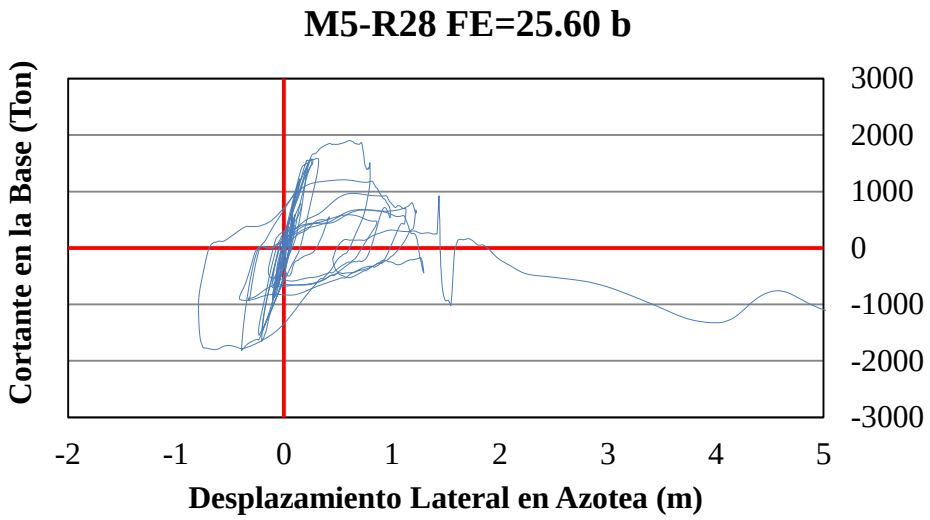

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=25.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

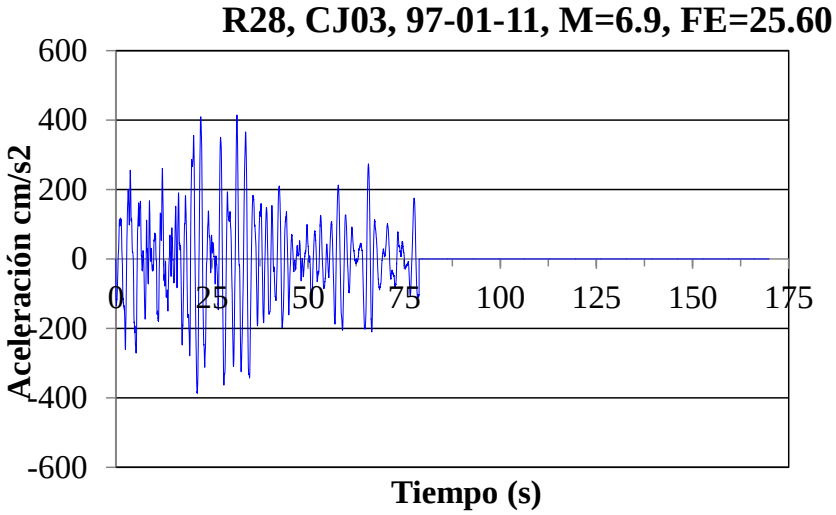

M5-R28 FE=25.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

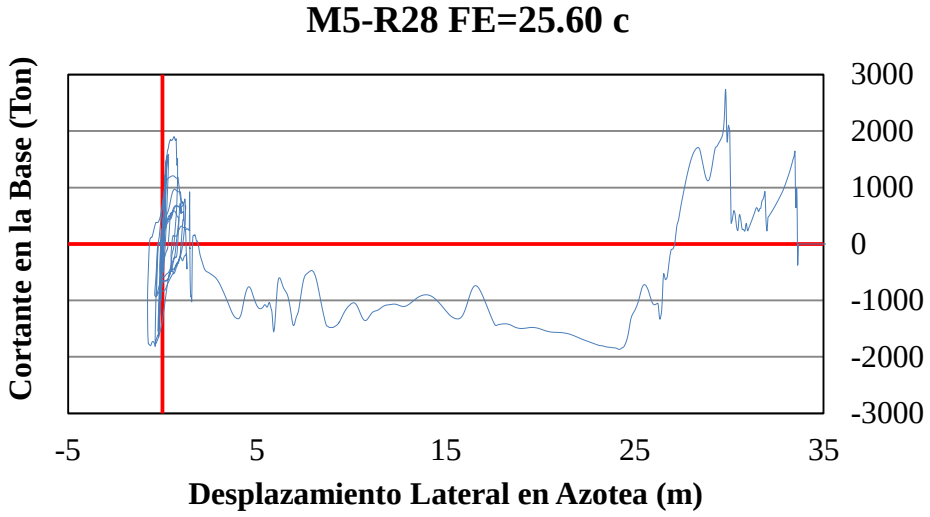

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=25.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R28 FE=25.60 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=25.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R28 FE=25.60 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2
-1
0
1
2
3
4
5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

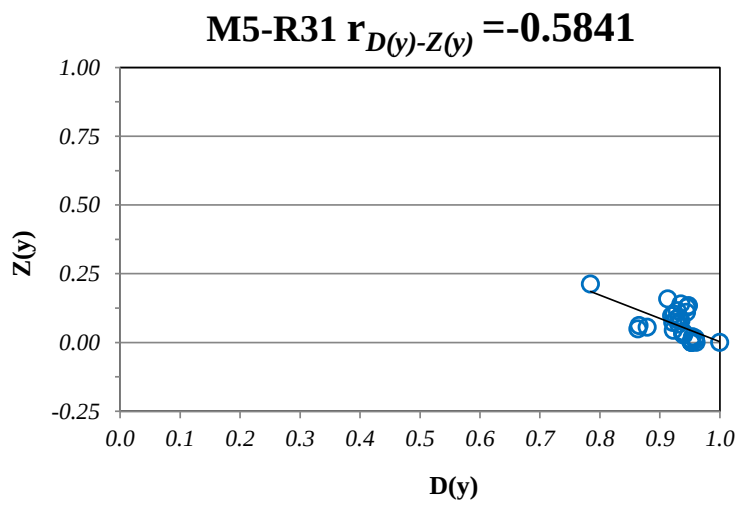

R28, CJ03, 97-01-11, M=6.9, FE=25.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

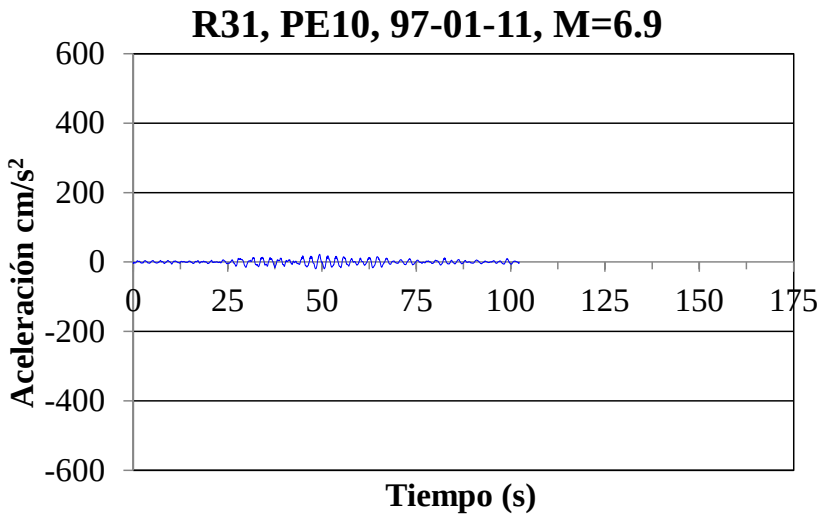

M5-R28 FE=25.60 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-5
5
15
25
35
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

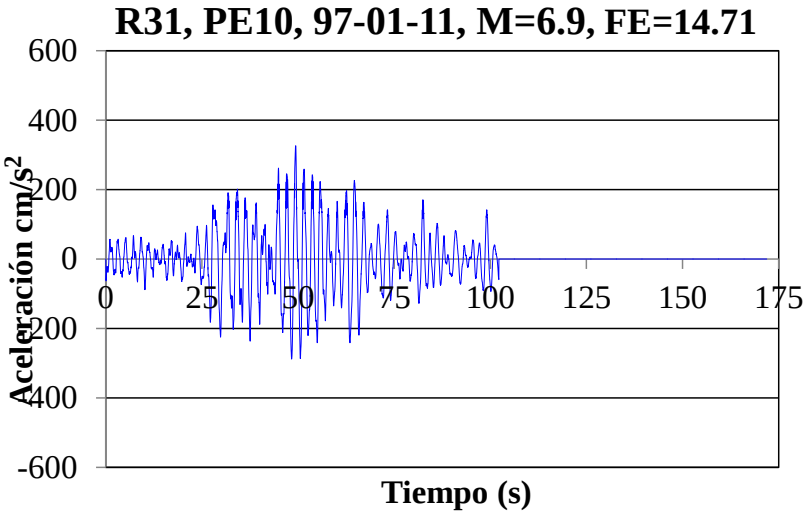
M5-R31

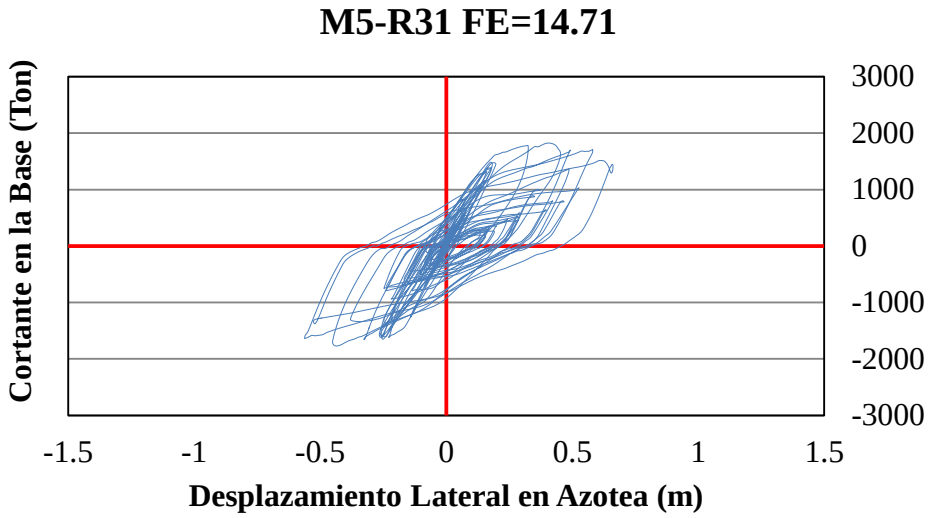
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**9 882.86**	**0.044**	**-0.5841**

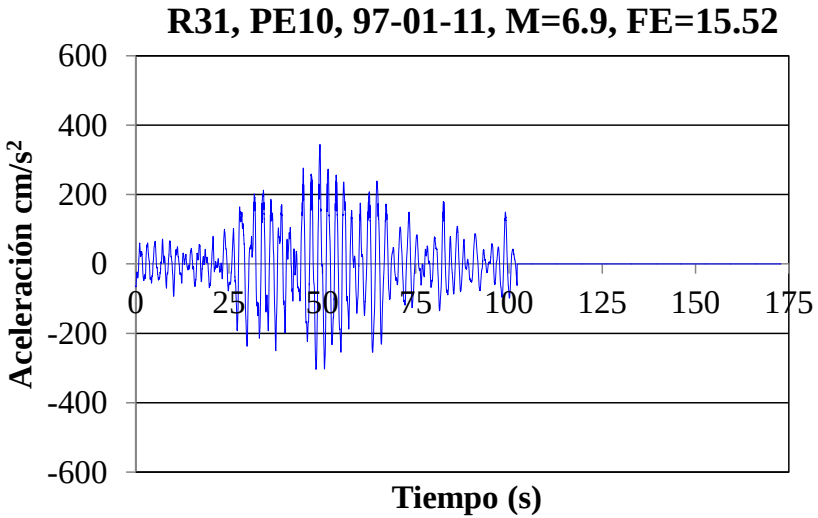
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6510	14.71	65.3300	0.6618	1410.092	2 130.69	0.7844	0.048
0.6870	15.52	65.5700	0.9067	777.561	0 857.57	0.9132	-0.006
0.6994	15.80	65.6400	0.9929	635.789	0 640.34	0.9352	-0.024
0.7038	15.90	65.6400	0.9962	512.819	0 514.78	0.9479	-0.030
0.7082	16.00	65.6500	0.9966	543.864	0 545.72	0.9448	-0.036
0.7171	16.20	65.6800	1.0374	728.240	0 701.99	0.9290	-0.049
0.7215	16.30	65.6600	0.9636	528.821	0 548.80	0.9445	-0.055
0.7259	16.40	65.6600	0.9457	714.462	0 755.48	0.9236	-0.061
0.7304	16.50	65.6600	0.9251	734.111	0 793.55	0.9197	-0.067
0.7348	16.60	65.6800	1.0569	710.198	0 671.96	0.9320	-0.073
0.7392	16.70	65.6800	1.0461	748.219	0 715.25	0.9276	-0.079
0.7437	16.80	65.7000	1.0577	678.037	0 641.05	0.9351	-0.085
0.7481	16.90	65.6700	0.8883	689.701	0 776.43	0.9214	-0.091
0.7525	17.00	65.7100	1.0071	681.109	0 676.31	0.9316	-0.097
0.7569	17.10	52.3900	0.8332	1108.484	1 330.39	0.8654	-0.103
0.7614	17.20	52.4000	0.8514	1017.174	1 194.71	0.8791	-0.109
0.7658	17.30	49.9700	0.8411	1133.890	1 348.10	0.8636	-0.114
0.7702	17.40	65.7200	0.8838	676.711	0 765.68	0.9225	-0.120
0.7746	17.50	64.5200	0.9809	-591.041	0 602.55	0.9390	-0.126
0.7791	17.60	64.5300	1.0053	-614.166	0 610.93	0.9382	-0.132
0.7835	17.70	64.5400	1.0176	-604.490	0 594.03	0.9399	-0.137
0.7879	17.80	64.5300	1.1031	-496.976	0 450.53	0.9544	-0.143
0.7923	17.90	64.5600	1.1802	-476.508	0 403.75	0.9591	-0.149
0.7968	18.00	64.5600	1.1857	-474.987	0 400.60	0.9595	-0.154
0.7990	18.05	64.5500	1.0817	-502.702	0 464.73	0.9530	-0.157
0.8012	18.10	64.5500	1.0772	-499.213	0 463.44	0.9531	-0.160
0.8034	18.15	64.5500	1.0904	-506.860	0 464.84	0.9530	-0.162
0.8039	18.16	64.5500	1.0885	-511.589	0 469.99	0.9524	-0.163
0.8041	18.17	64.5500	1.0886	-511.477	0 469.85	0.9525	-0.163
0.8043	18.17	64.5500	1.0900	-510.469	0 468.32	0.9526	-0.163
0.8045	18.18	64.5500	1.0906	-427.375	0 391.87	0.9603	-0.164
0.8047	18.18	99.0600	185.5482	289.523	0 001.56	0.9998	-0.164

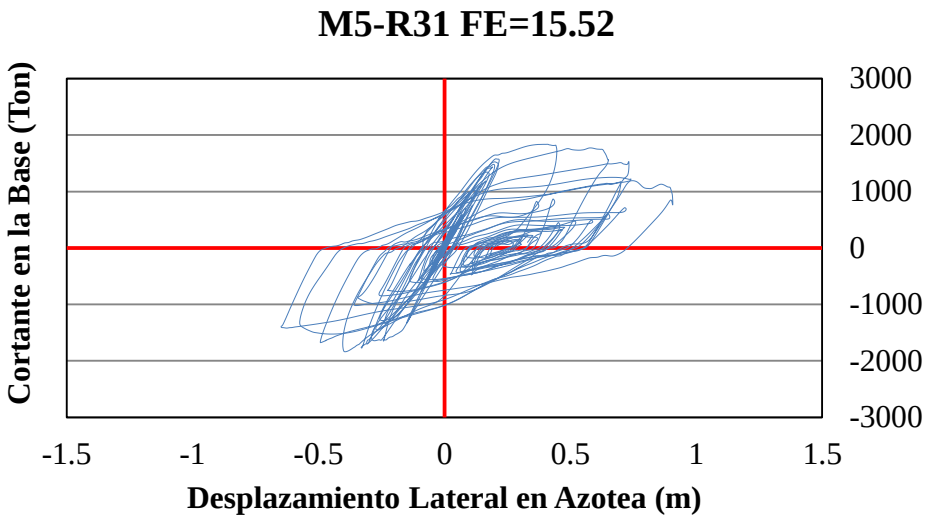

M5-R31 r D(y)-Z(y) =-0.5841
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

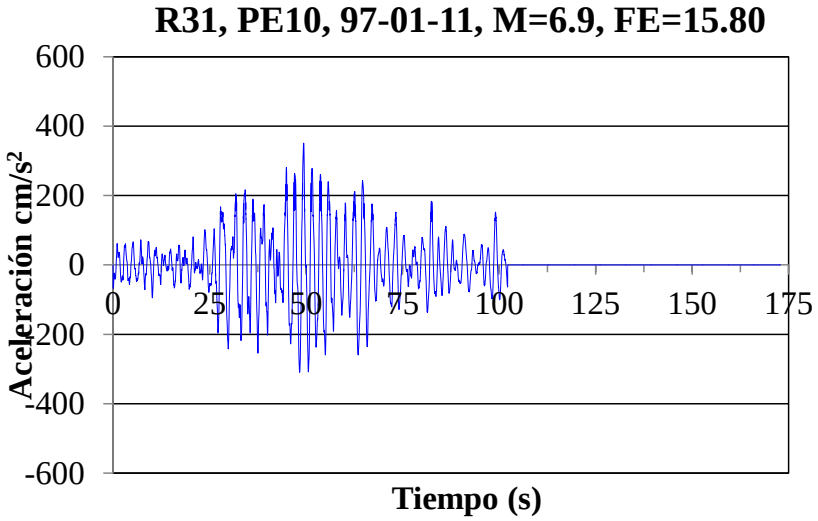

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

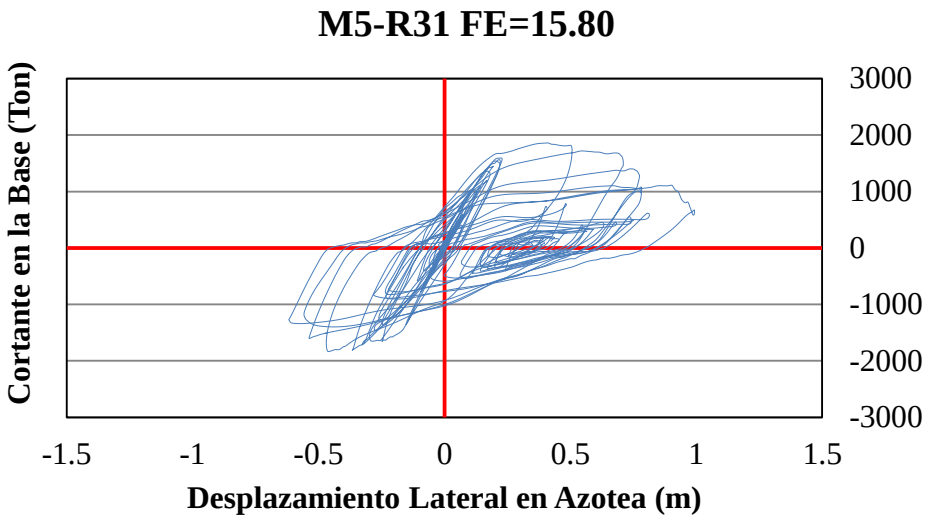

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=14.71
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

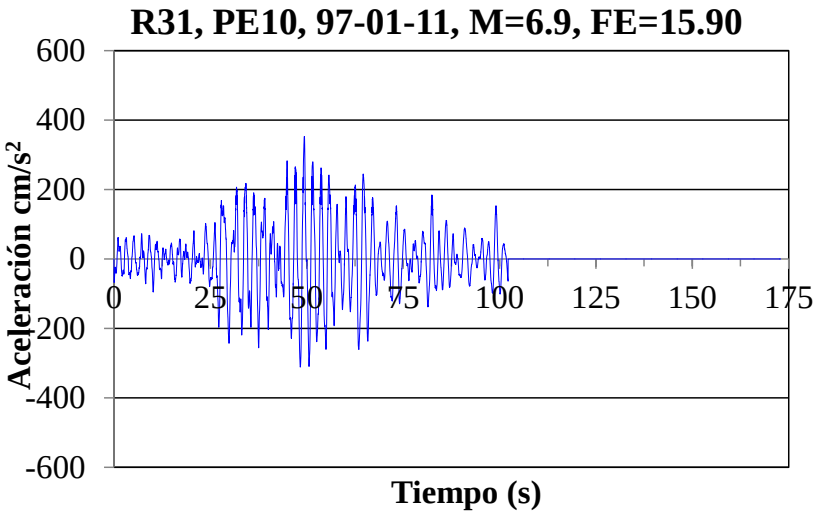

M5-R31 FE=14.71
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

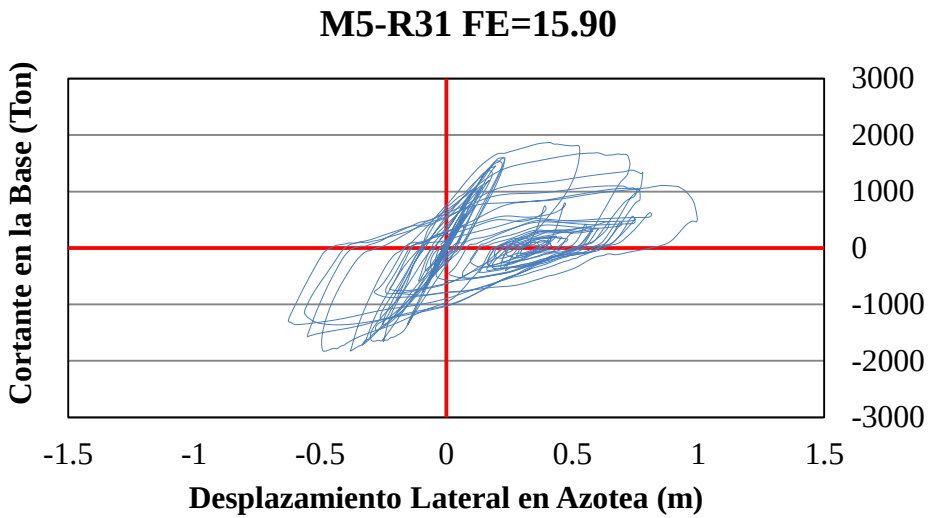

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=15.52
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

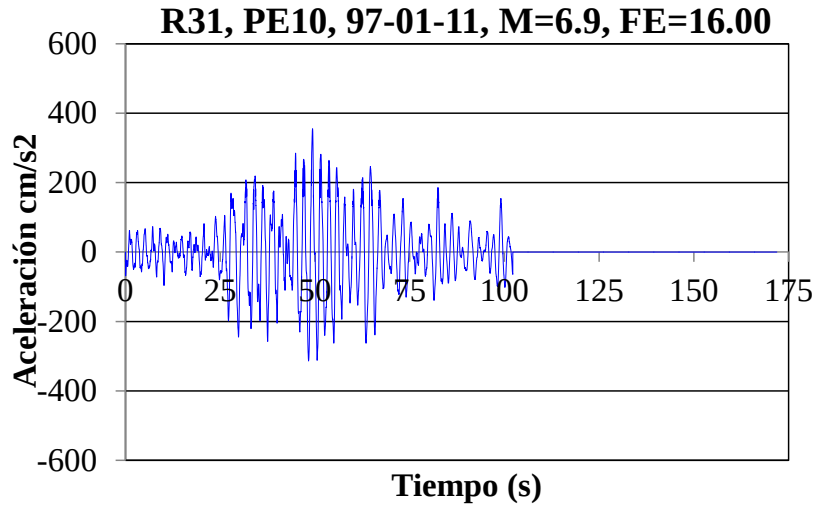

M5-R31 FE=15.52
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

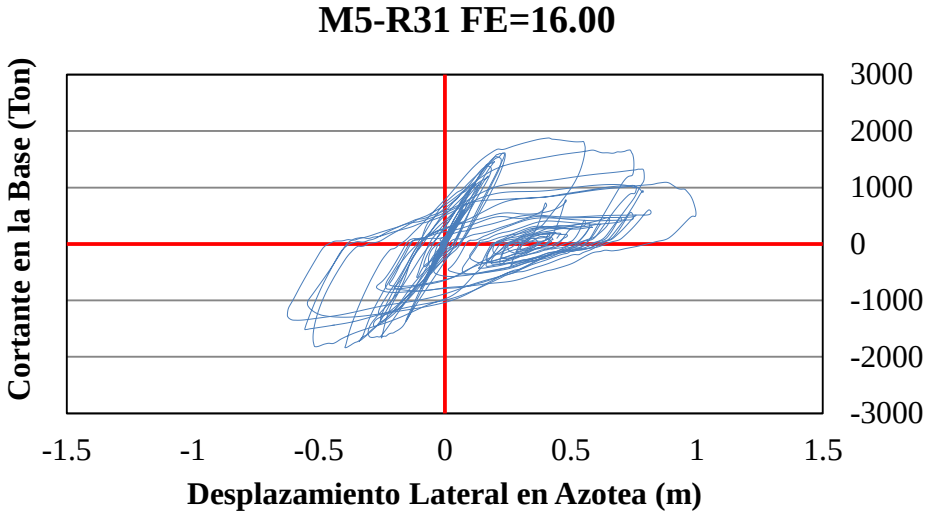

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=15.80
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

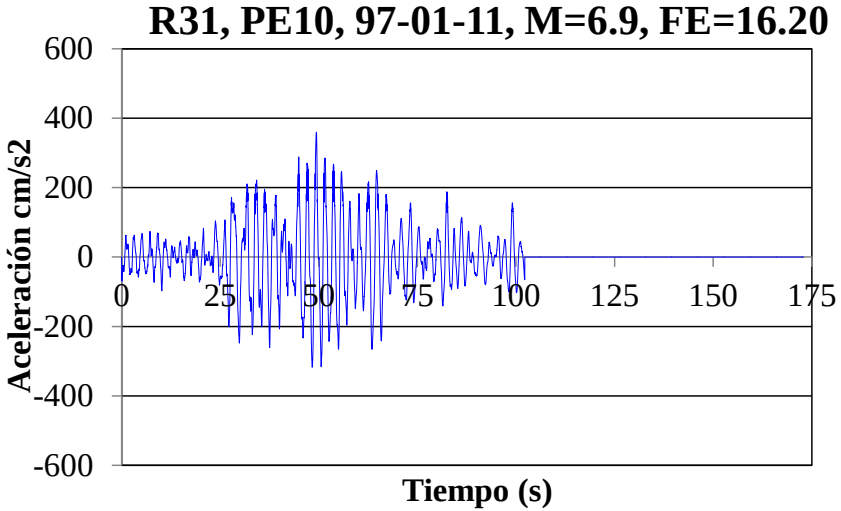

M5-R31 FE=15.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

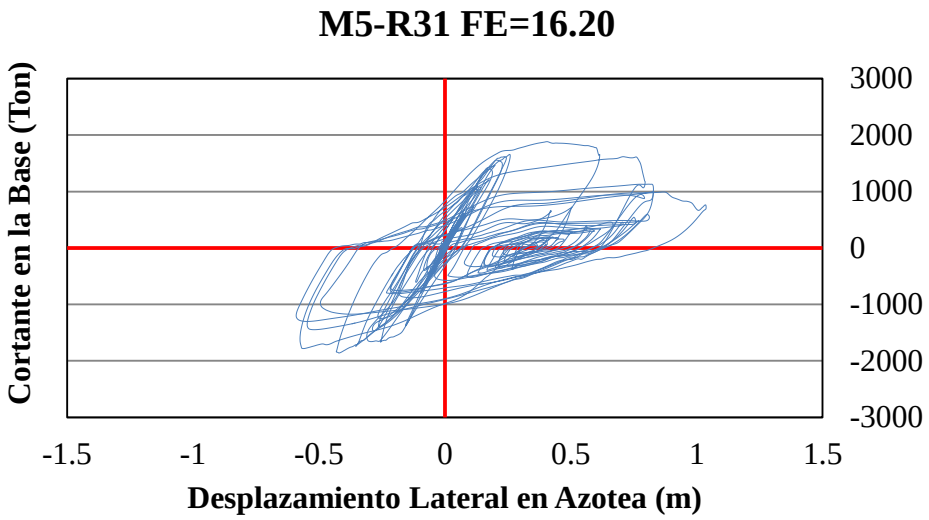

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=15.90
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

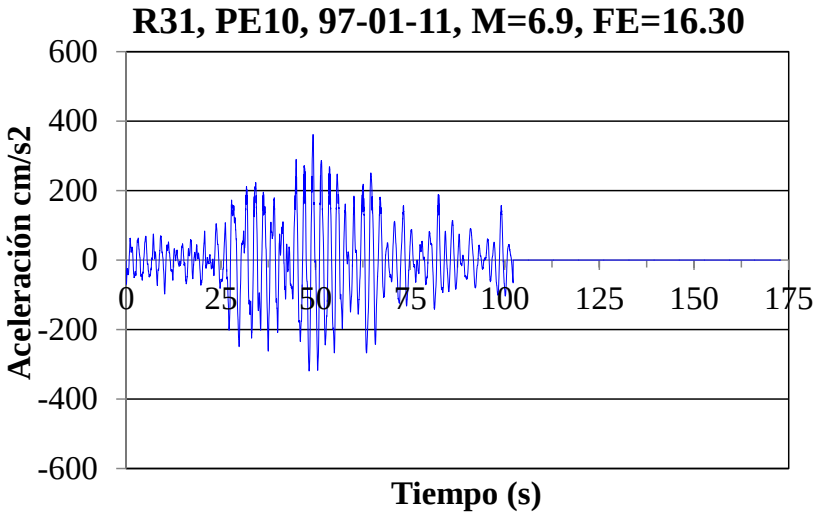

M5-R31 FE=15.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

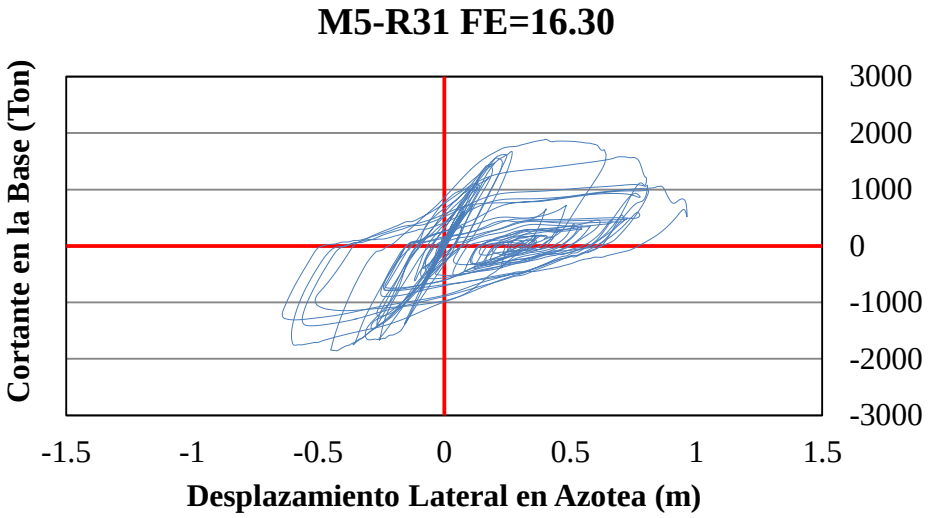

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

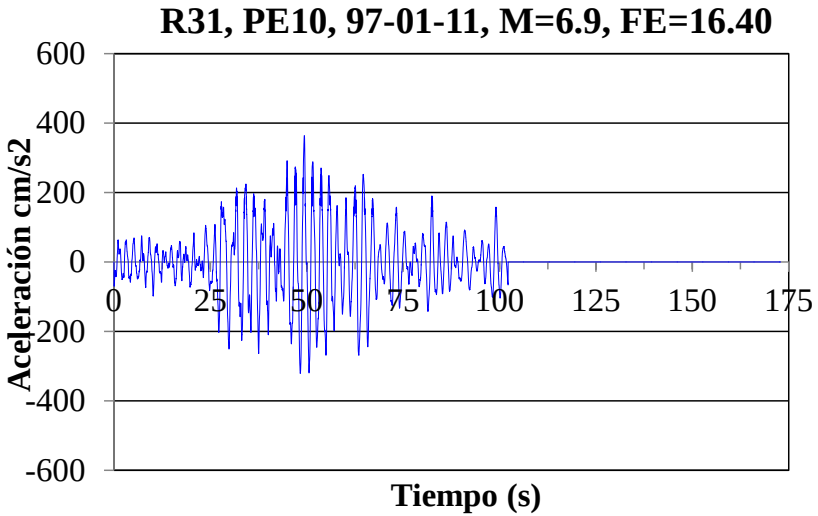

M5-R31 FE=16.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

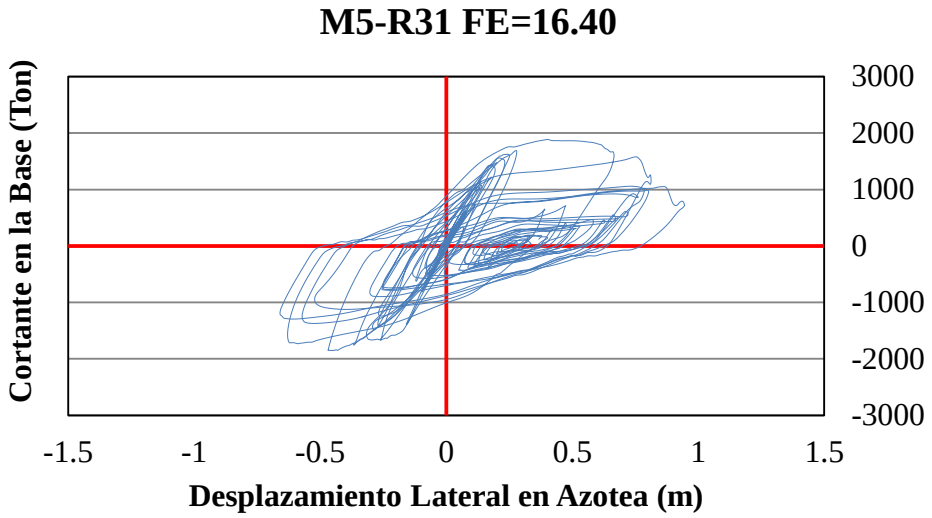

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

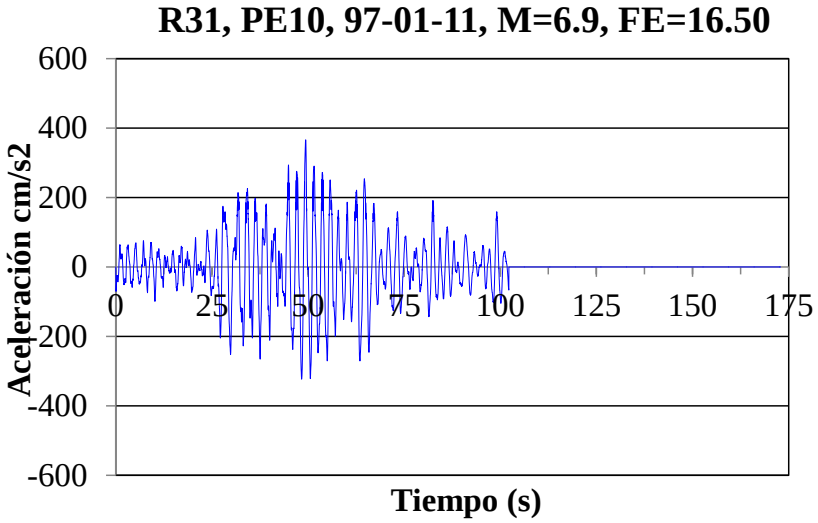

M5-R31 FE=16.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

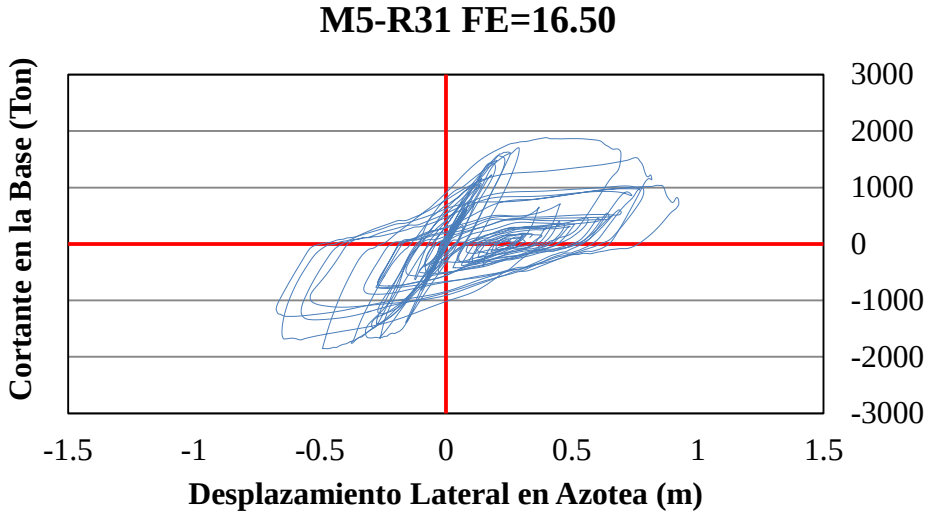

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

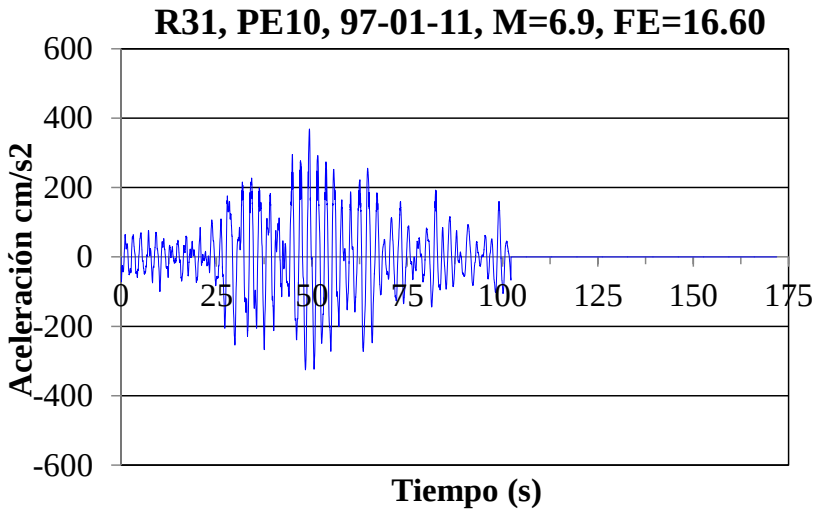

M5-R31 FE=16.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

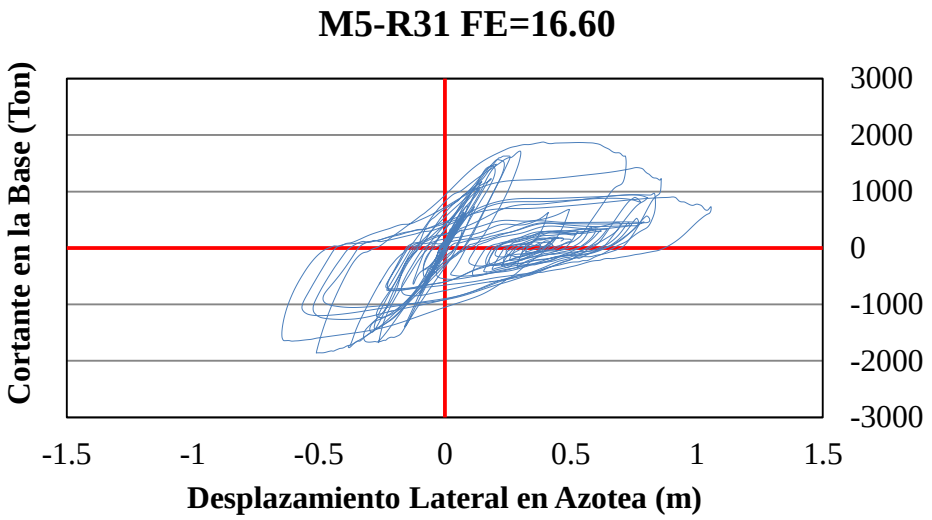

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

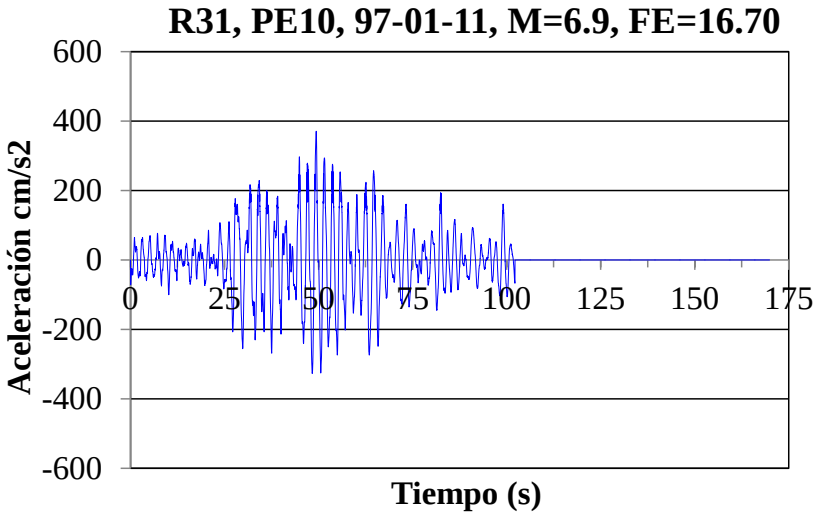

M5-R31 FE=16.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

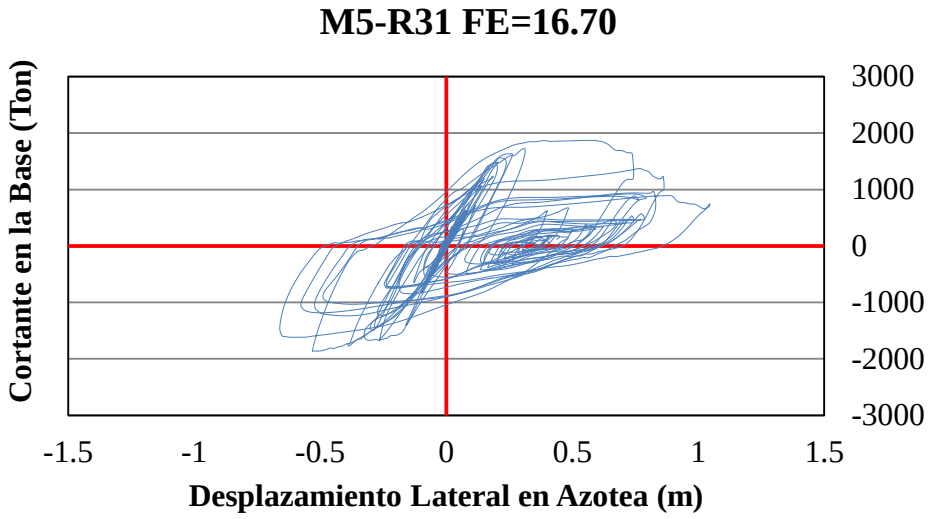

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

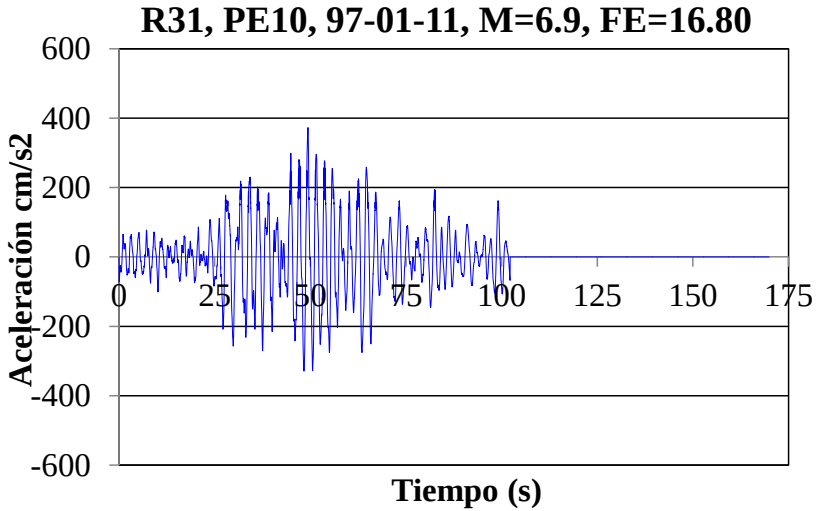

M5-R31 FE=16.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

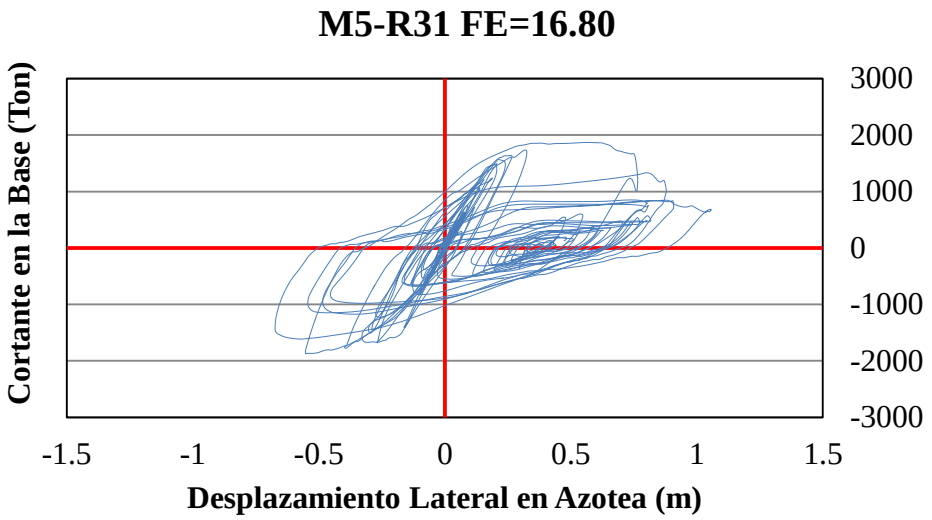

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

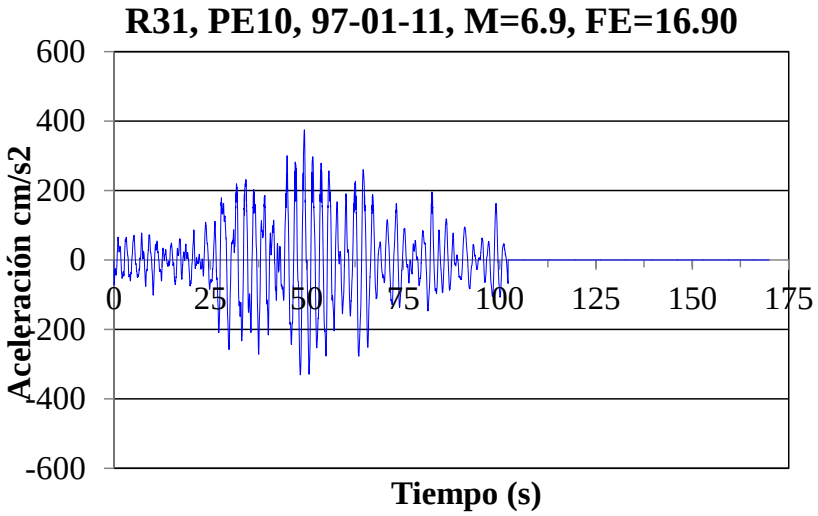

M5-R31 FE=16.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

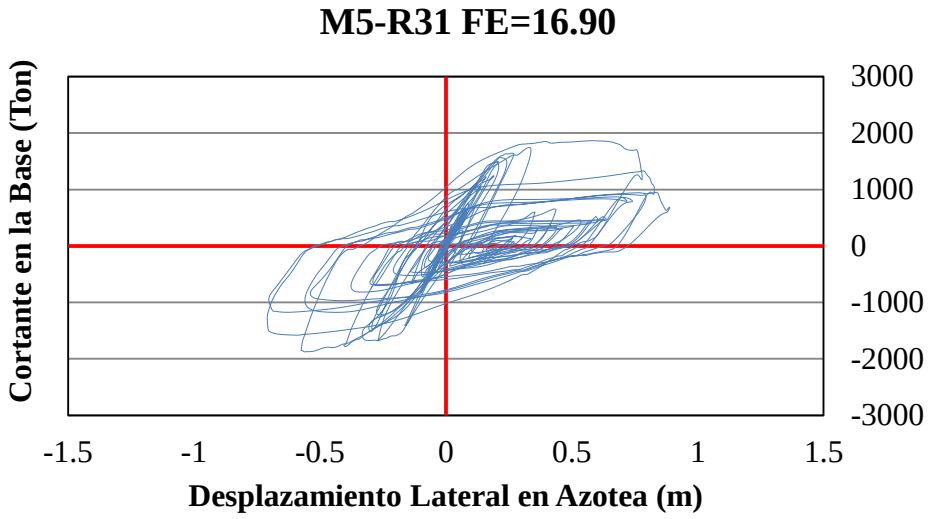

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

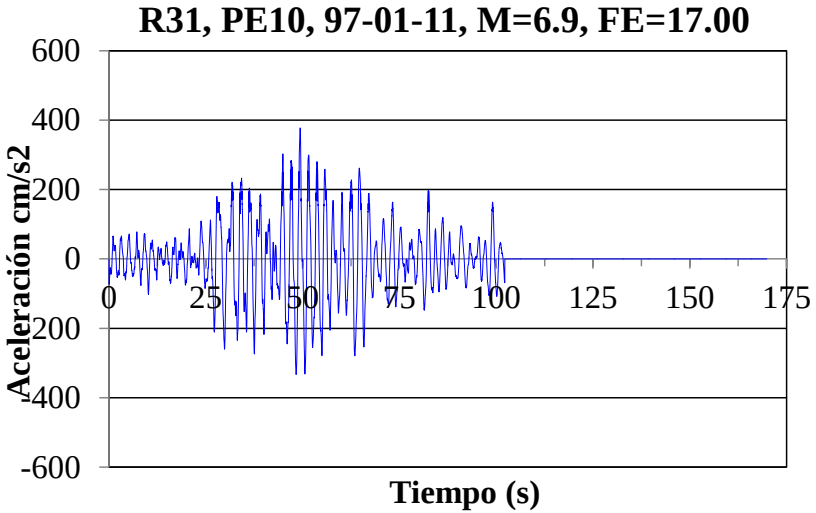

M5-R31 FE=16.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

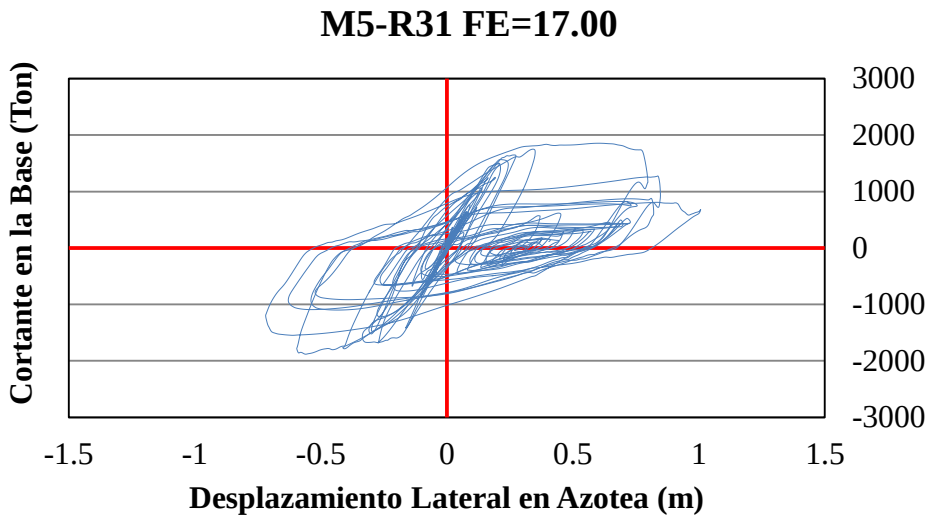

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

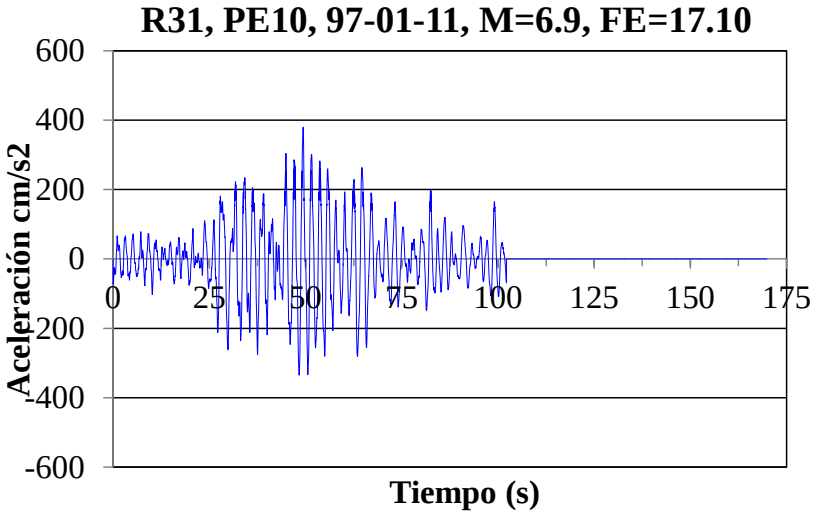

M5-R31 FE=16.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

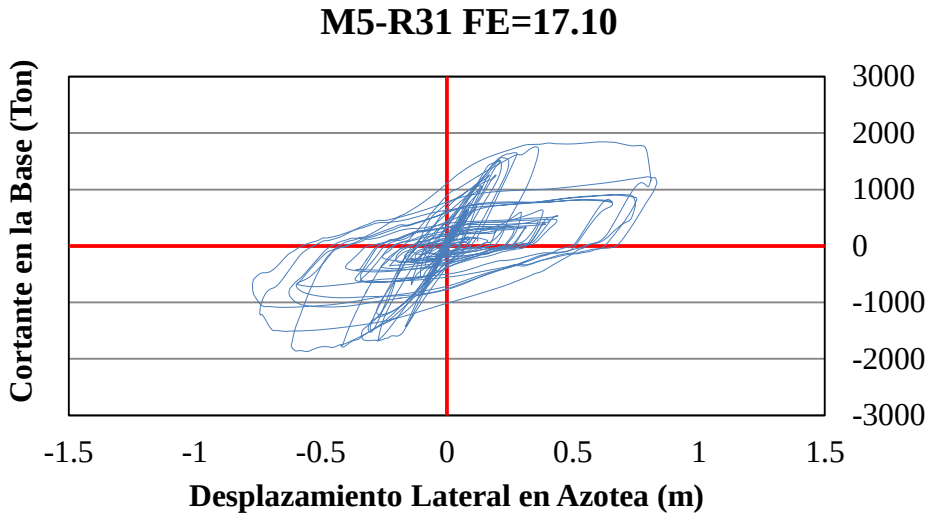

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=16.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

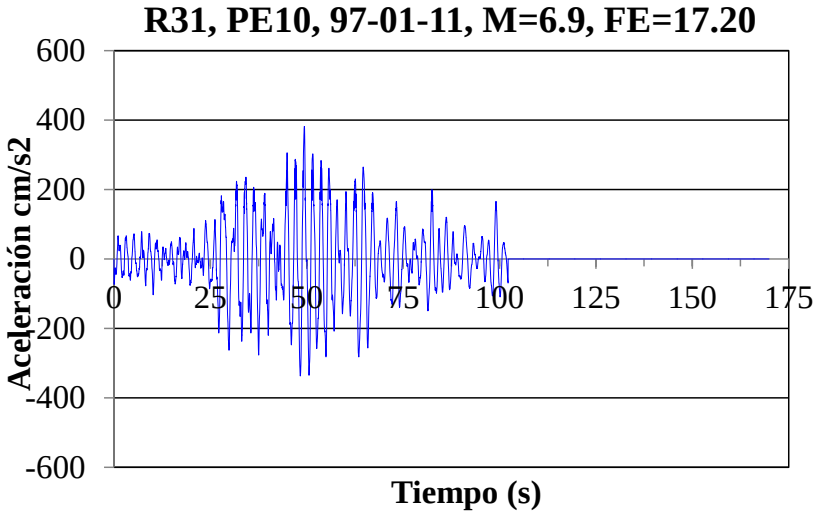

M5-R31 FE=16.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

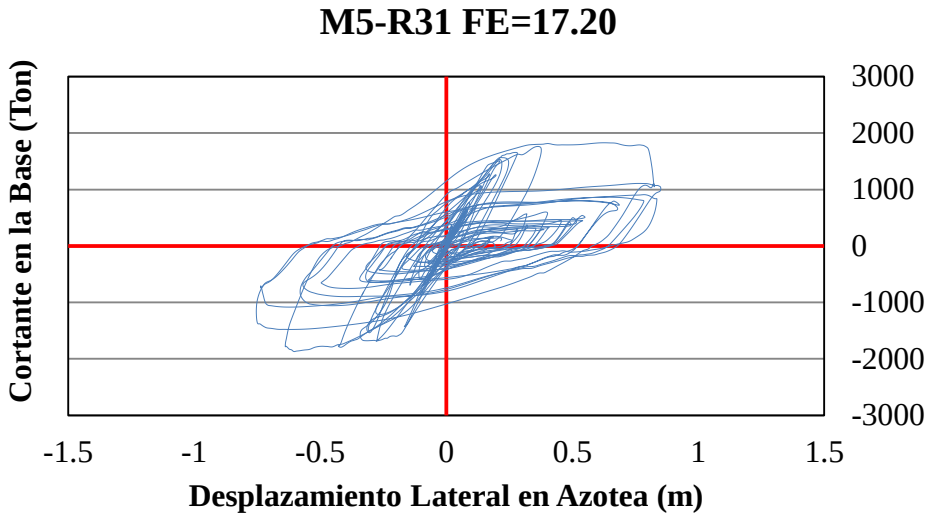

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.00
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

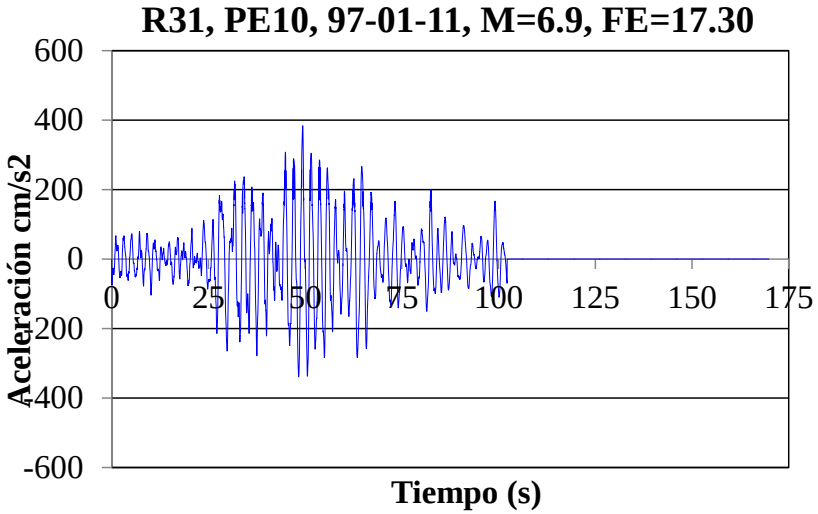

M5-R31 FE=17.00
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

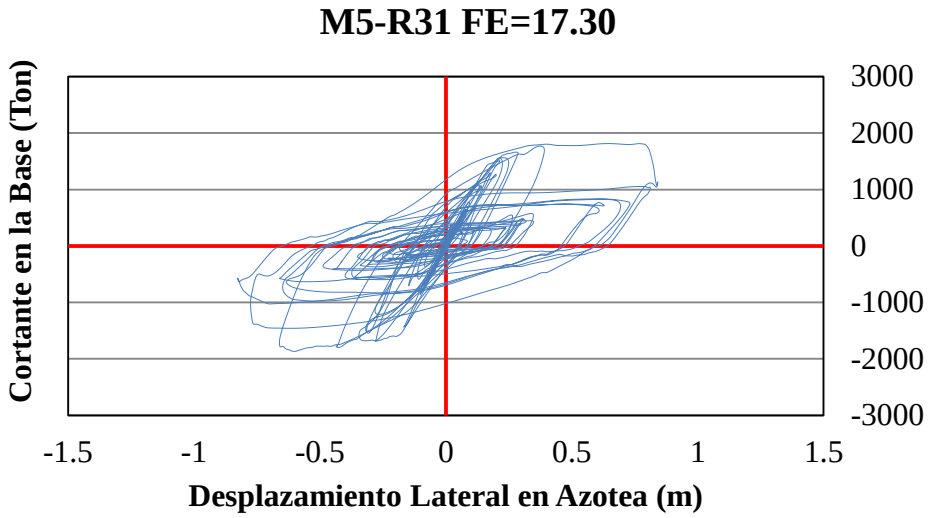

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.10
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

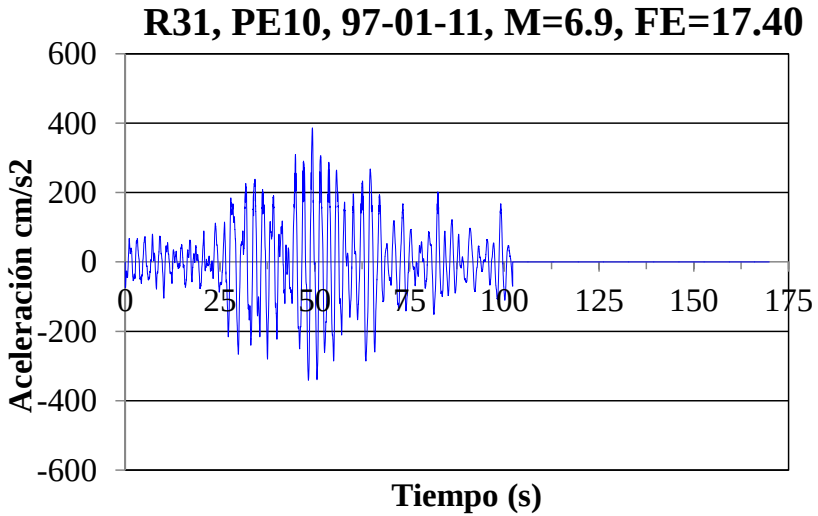

M5-R31 FE=17.10
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

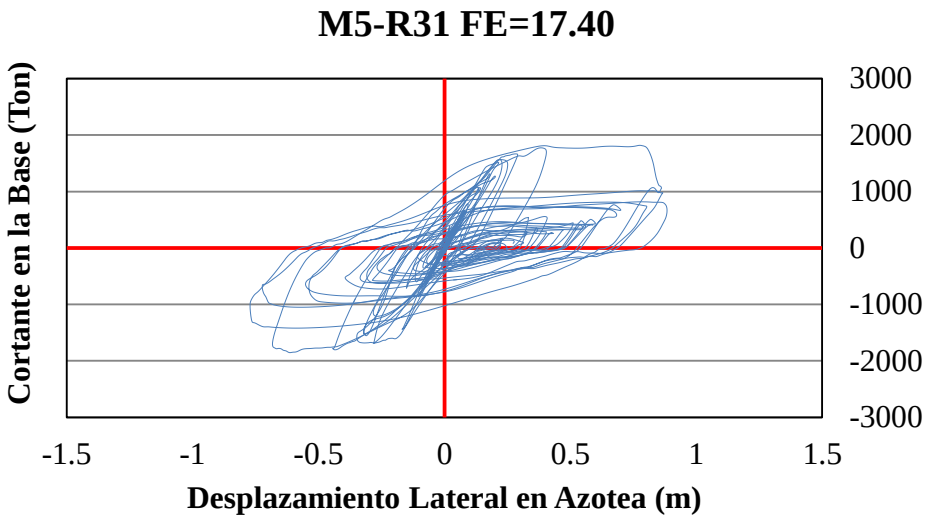

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

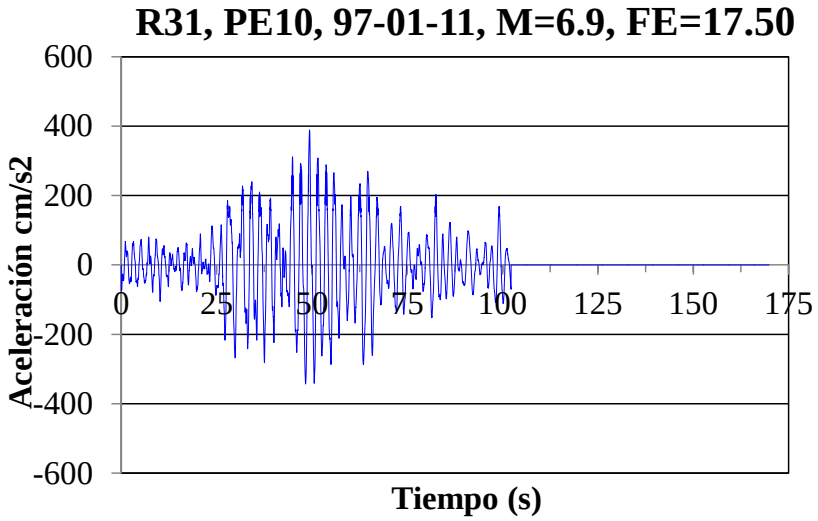

M5-R31 FE=17.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

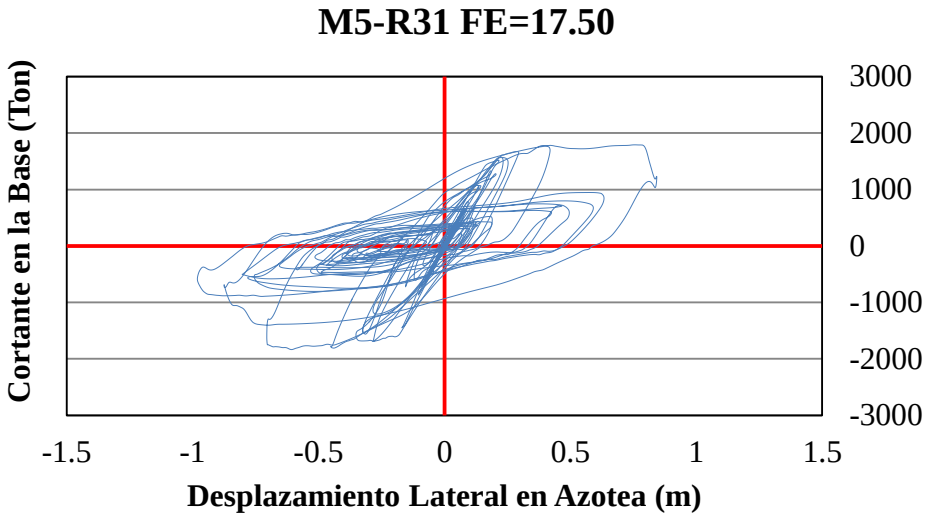

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

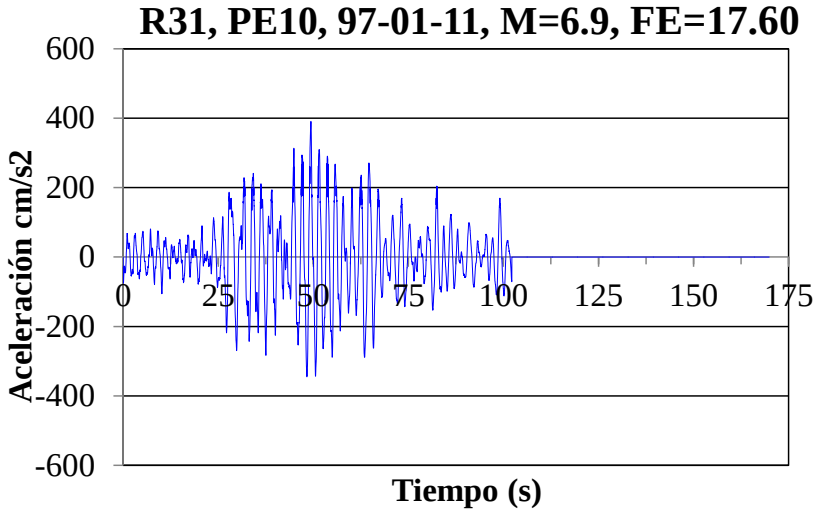

M5-R31 FE=17.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

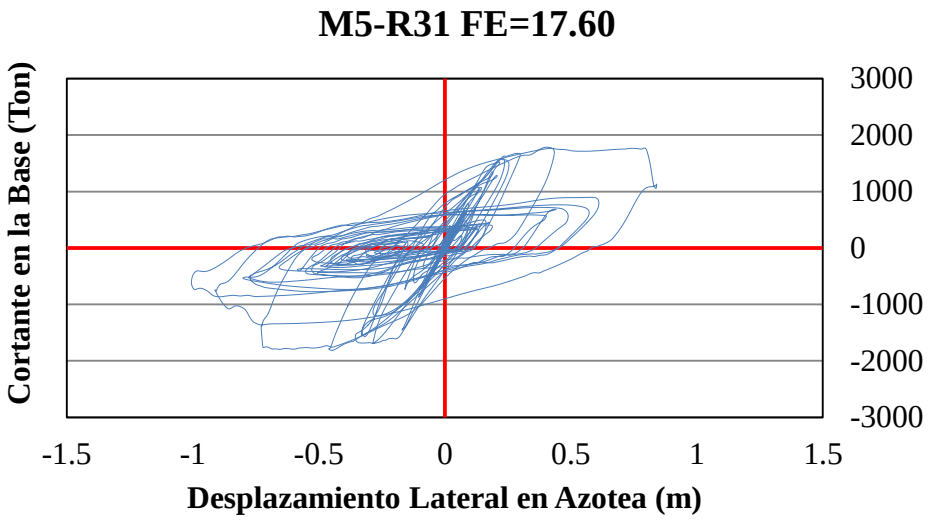

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

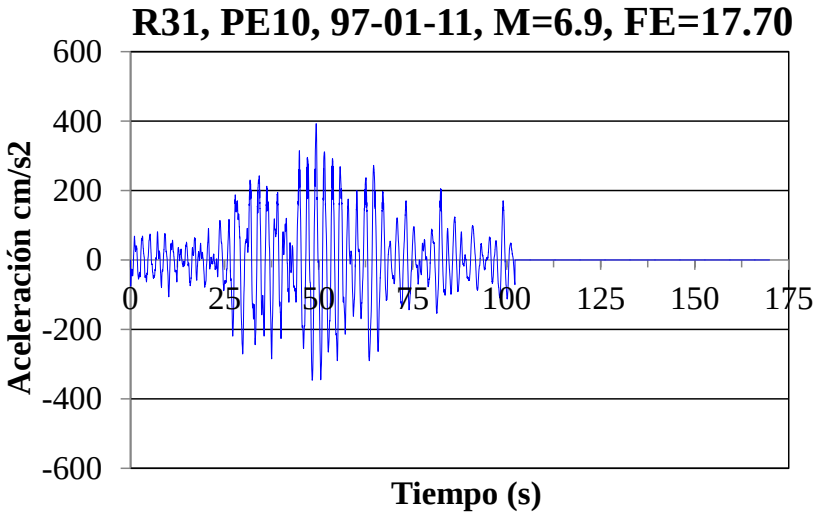

M5-R31 FE=17.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

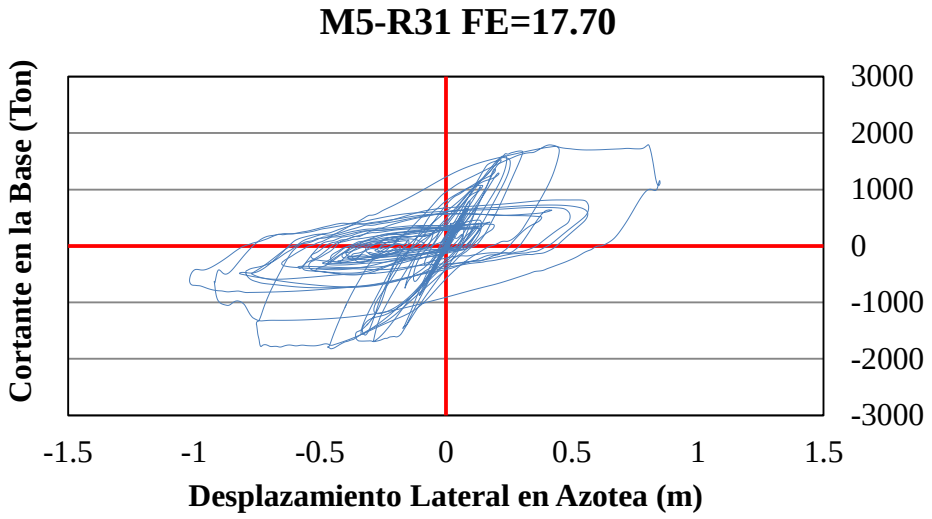

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

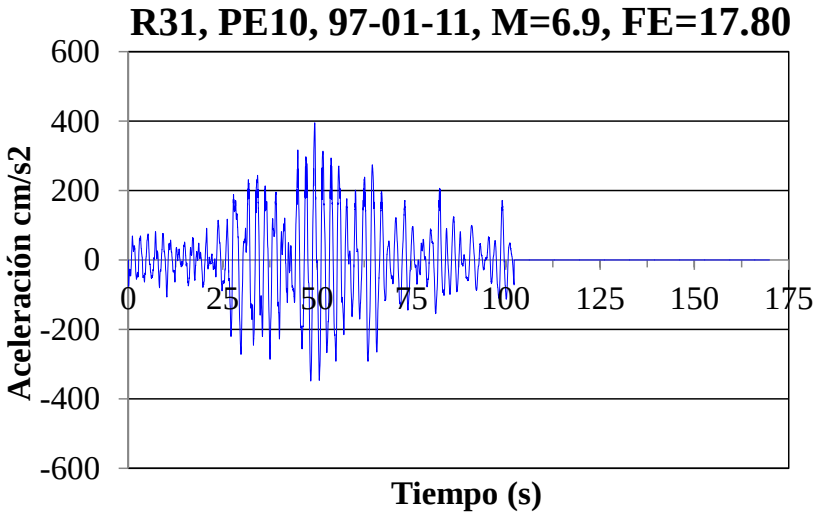

M5-R31 FE=17.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

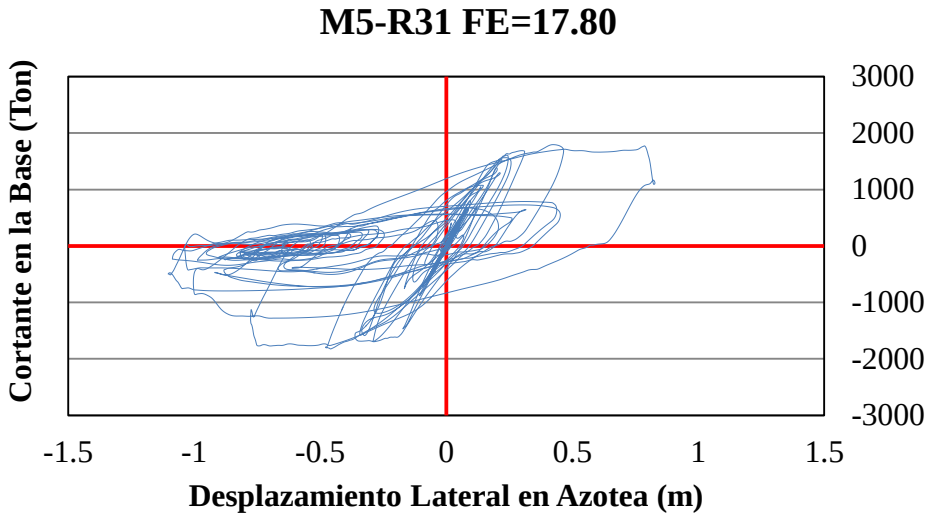

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

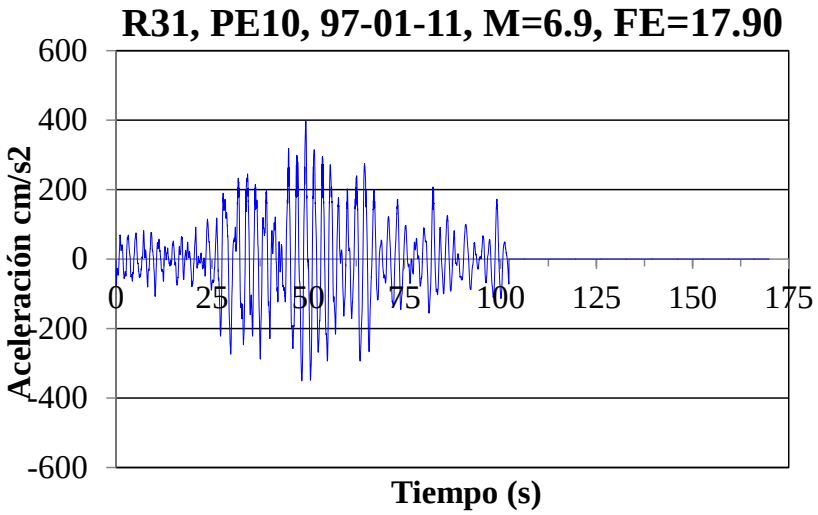

M5-R31 FE=17.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

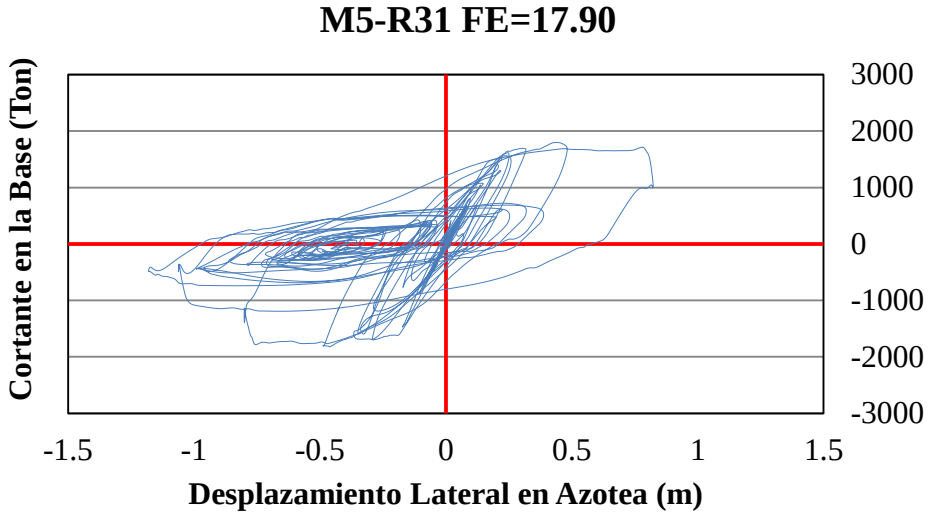

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

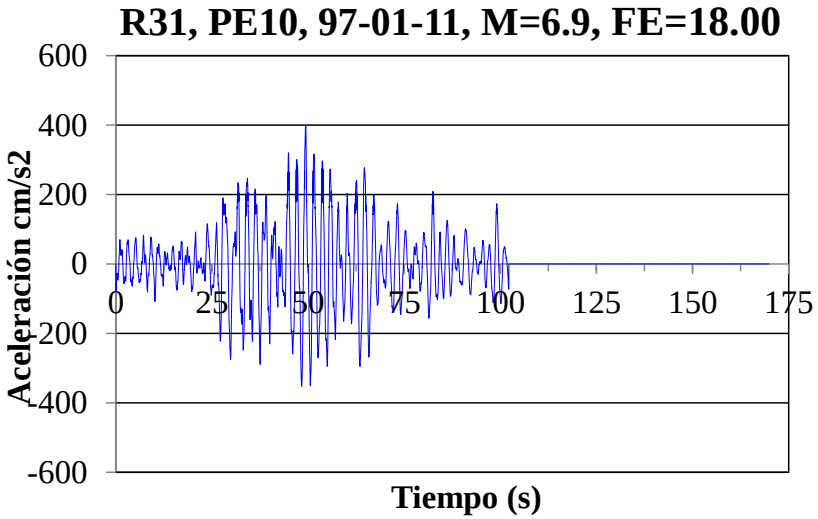

M5-R31 FE=17.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

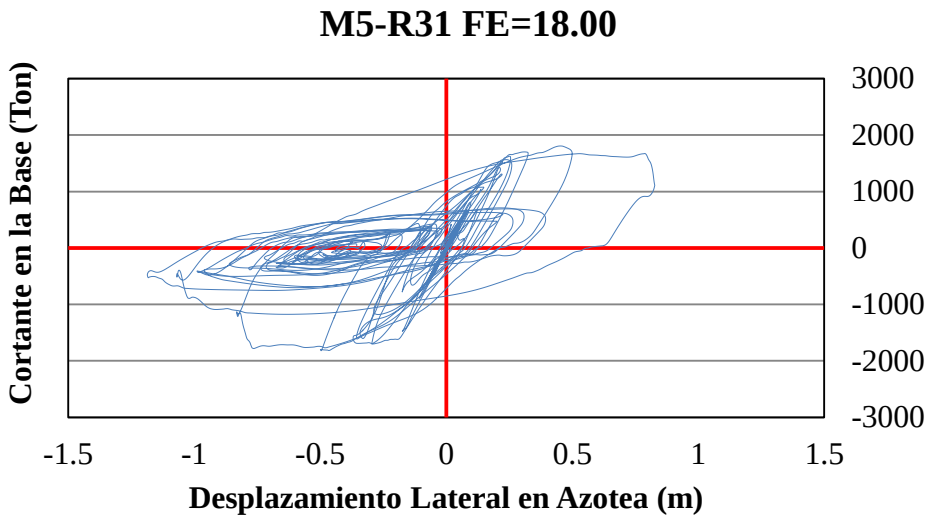

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

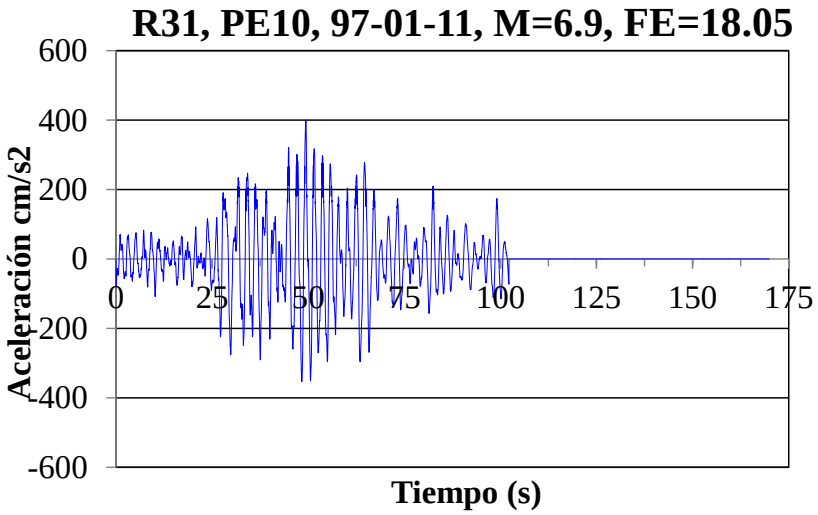

M5-R31 FE=17.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

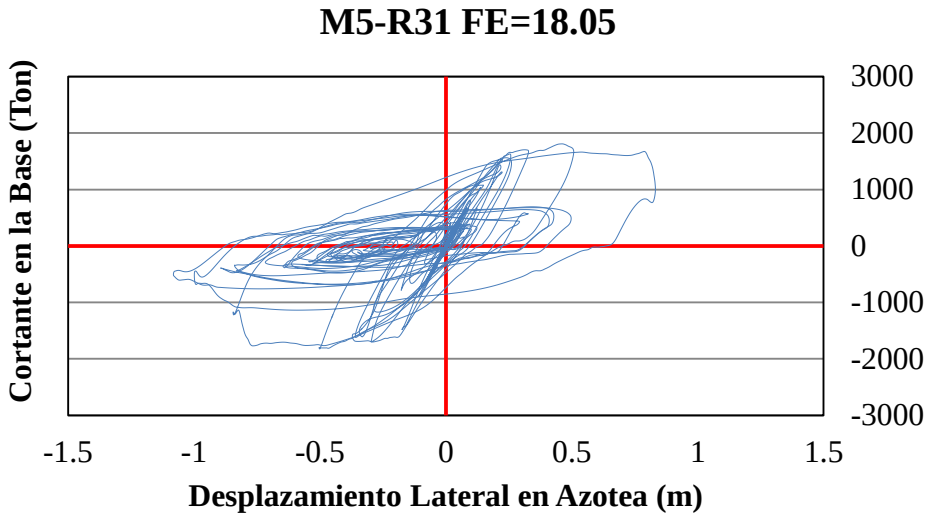

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=17.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

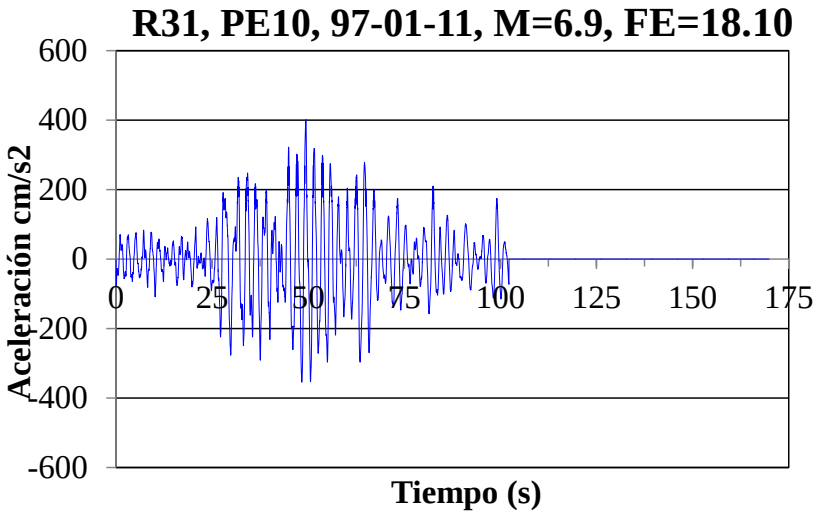

M5-R31 FE=17.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

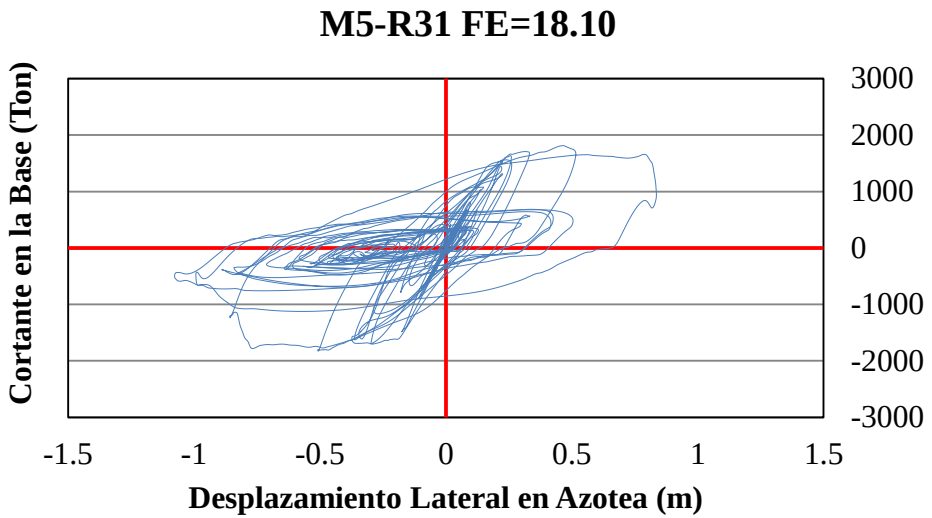

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

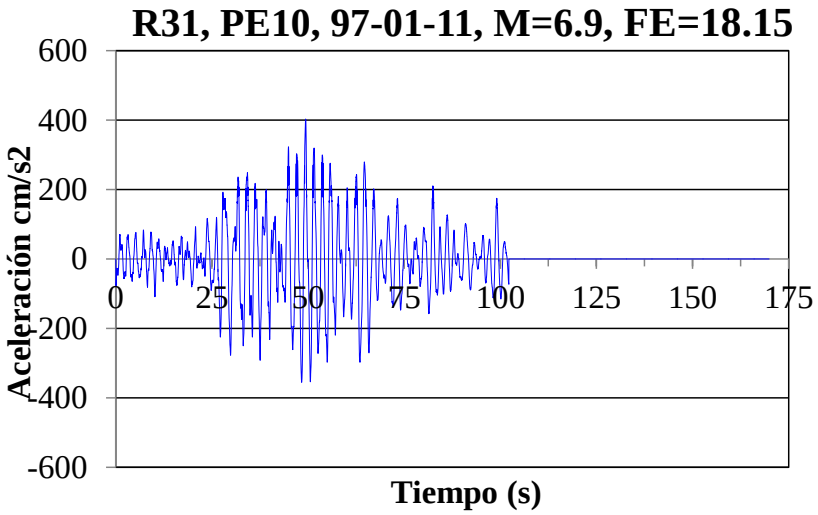

M5-R31 FE=18.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

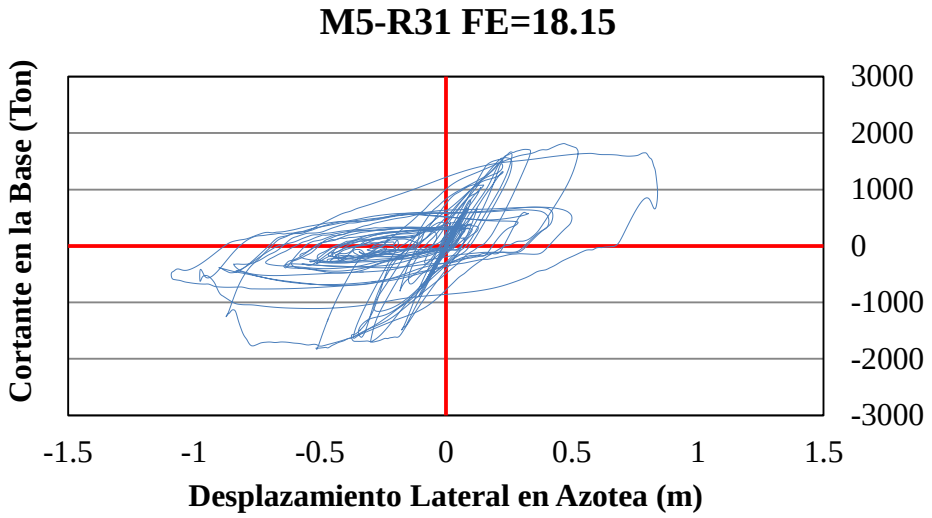

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.05
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

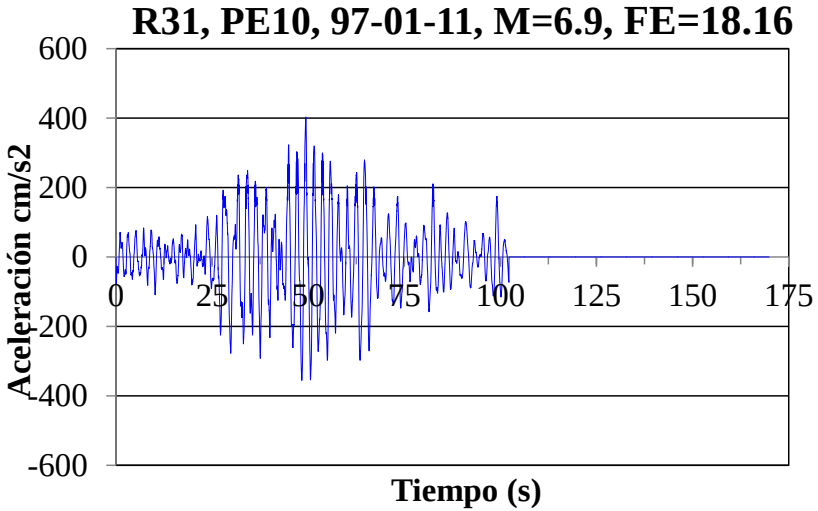

M5-R31 FE=18.05
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

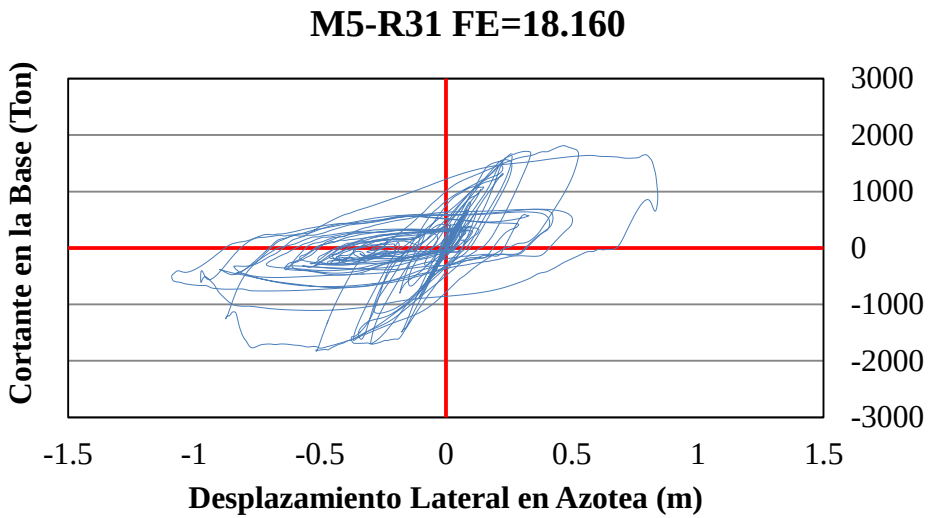

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.10
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

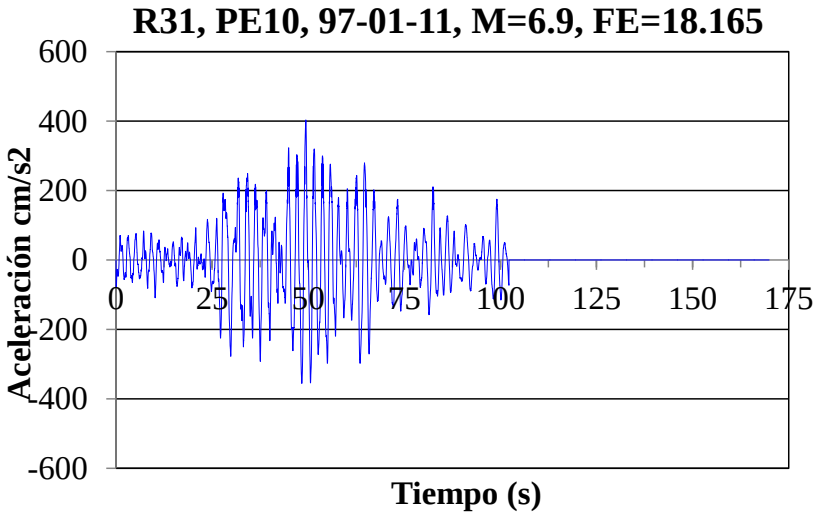

M5-R31 FE=18.10
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

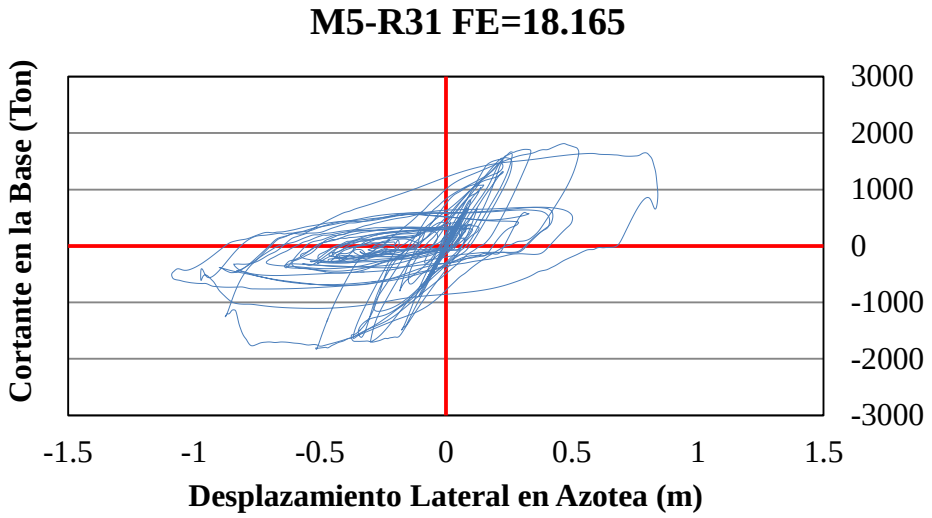

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.15
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

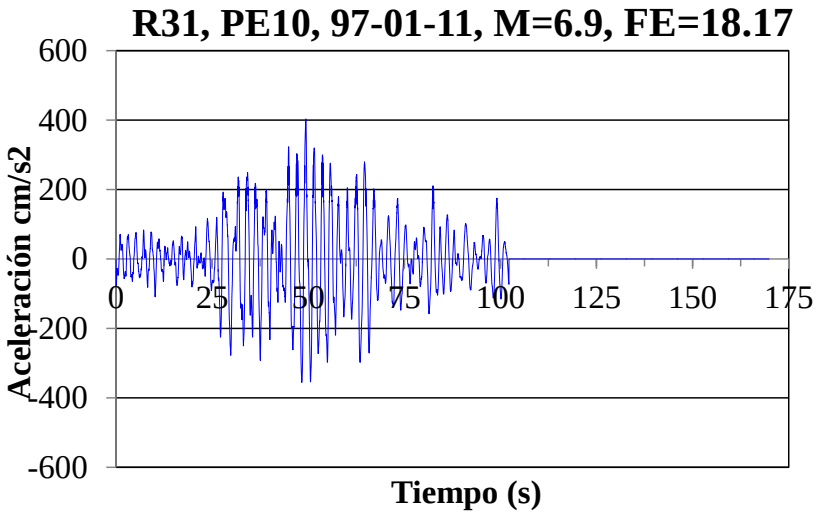

M5-R31 FE=18.15
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

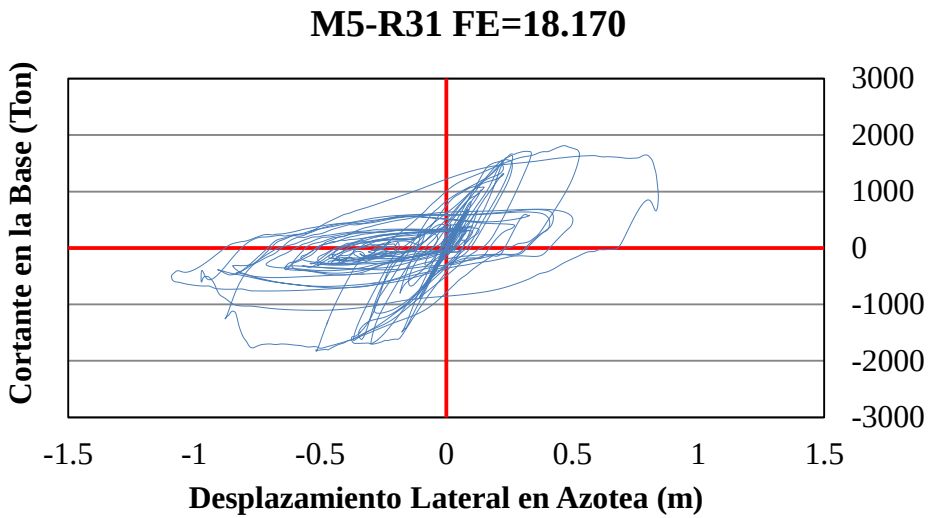

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.16
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

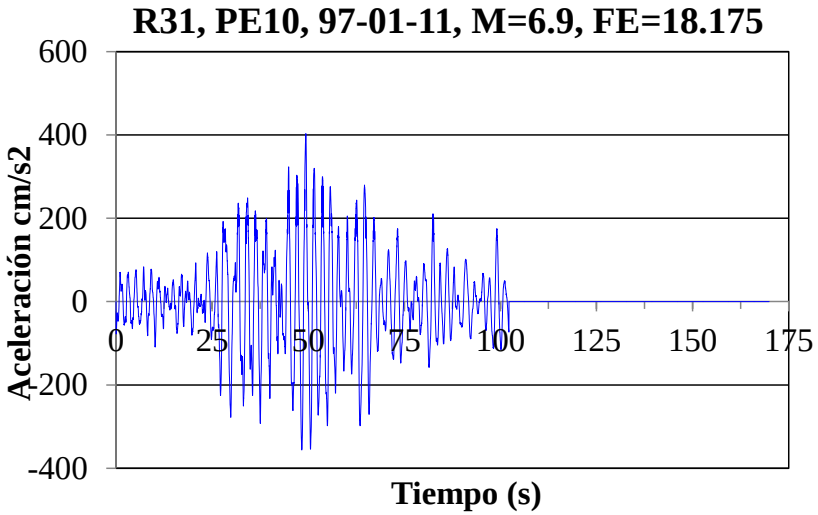

M5-R31 FE=18.160
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

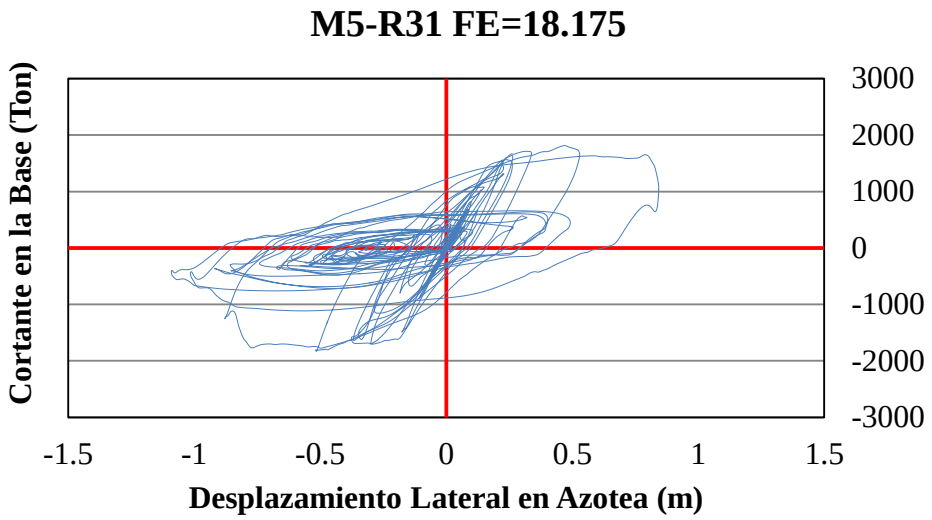

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.165
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

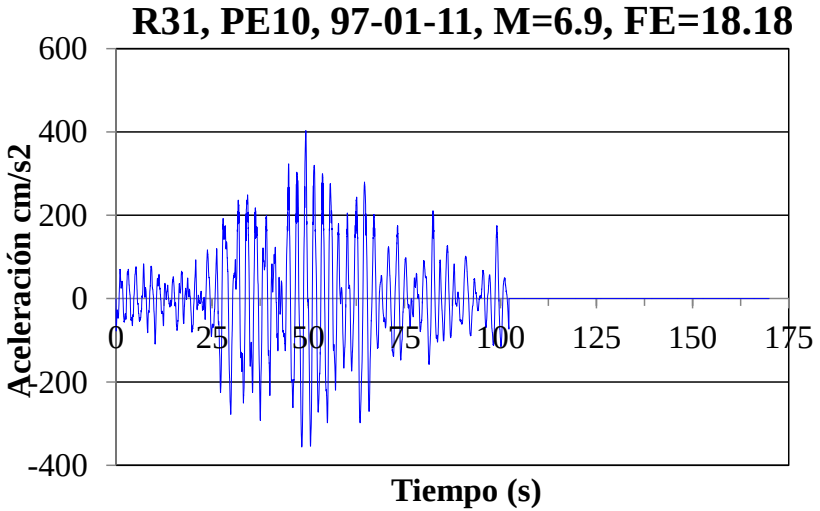

M5-R31 FE=18.165
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

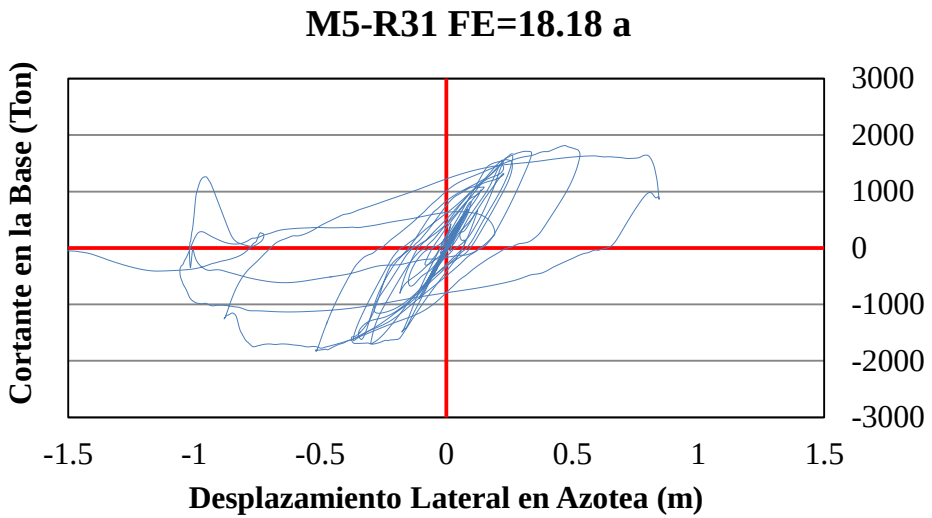

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.17
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

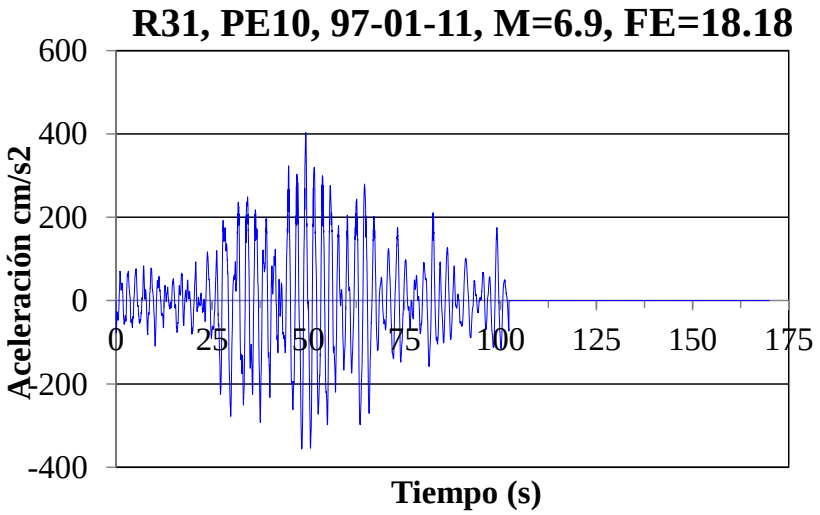

M5-R31 FE=18.170
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

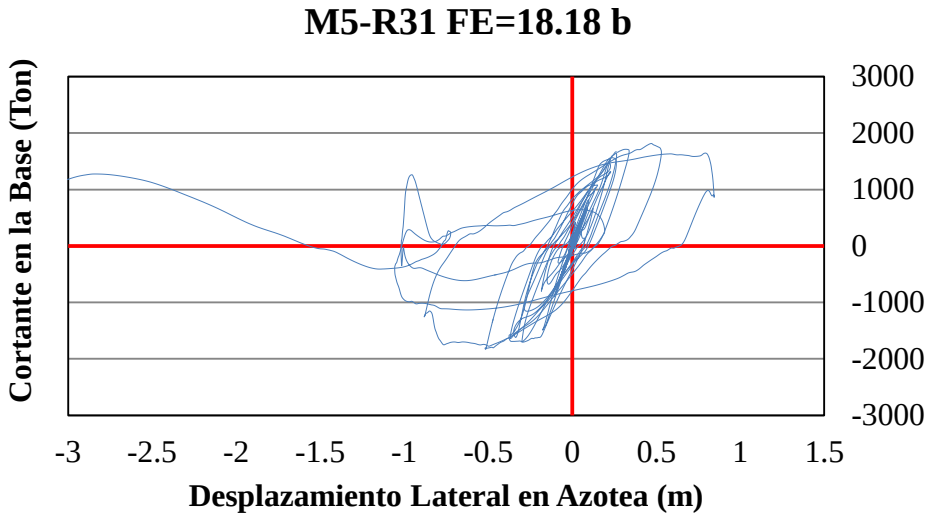

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.175
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

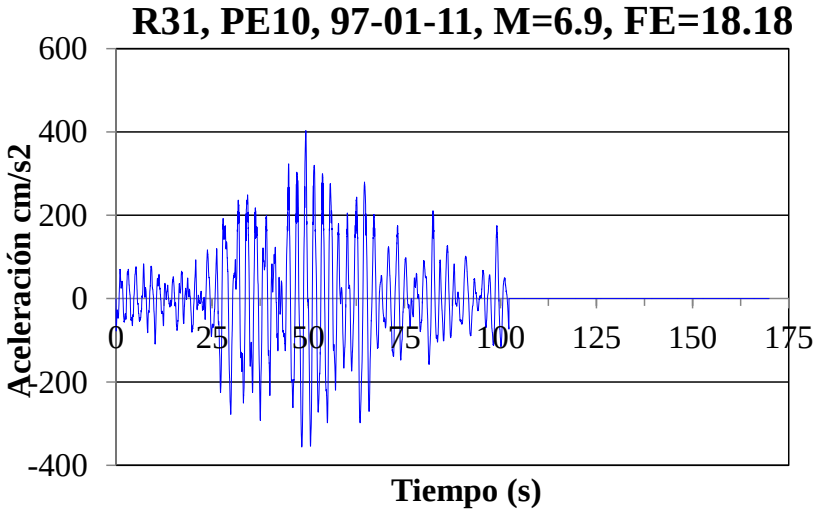

M5-R31 FE=18.175
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

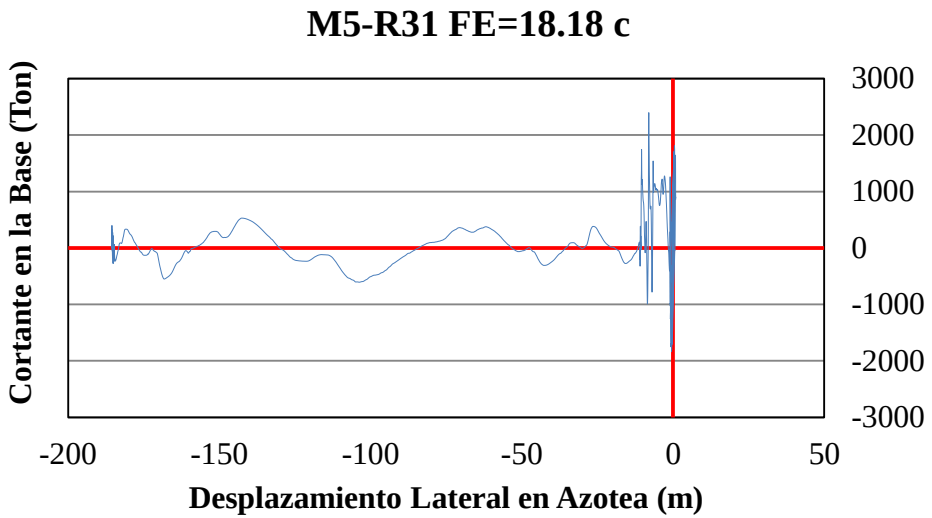

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.18
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R31 FE=18.18 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.18
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R31 FE=18.18 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

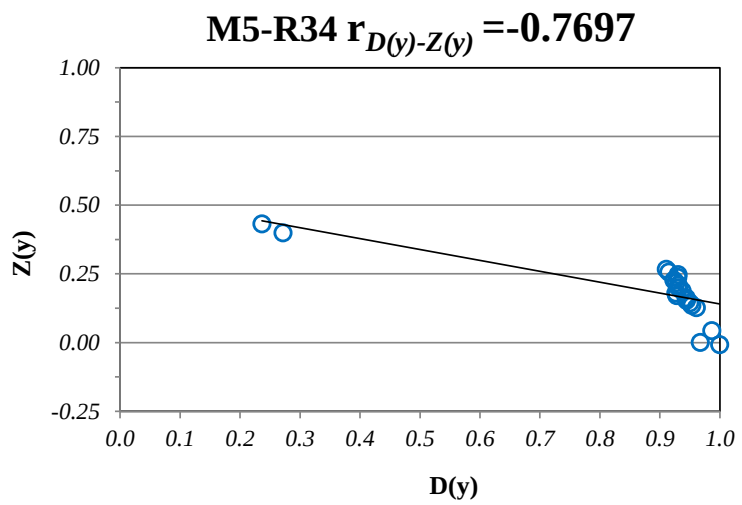

R31, PE10, 97-01-11, M=6.9, FE=18.18
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

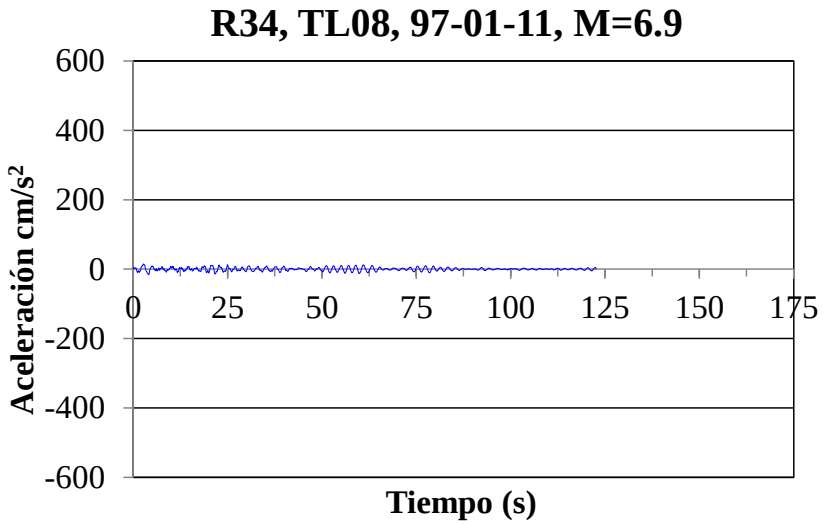

M5-R31 FE=18.18 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

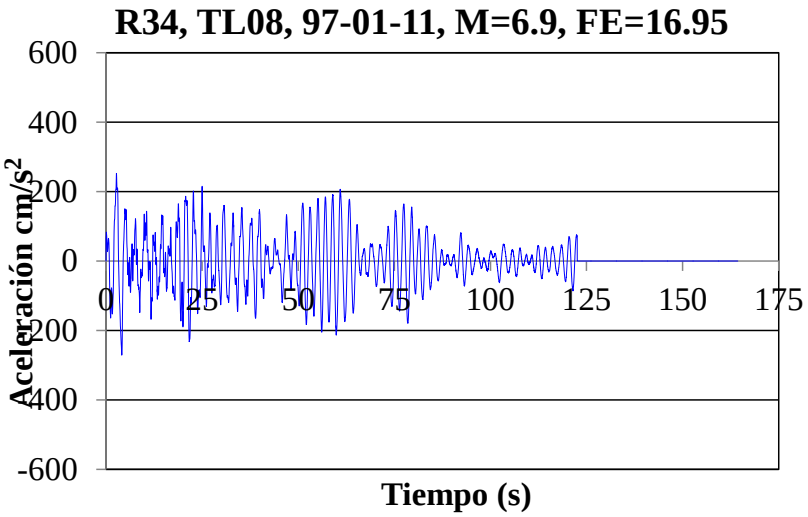
M5-R34

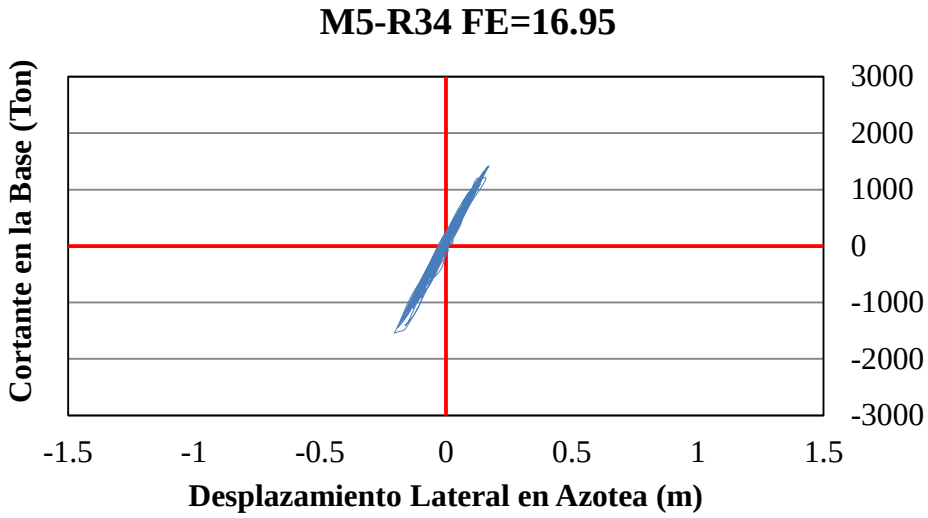
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**9 882.86**	**0.039**	**-0.7697**

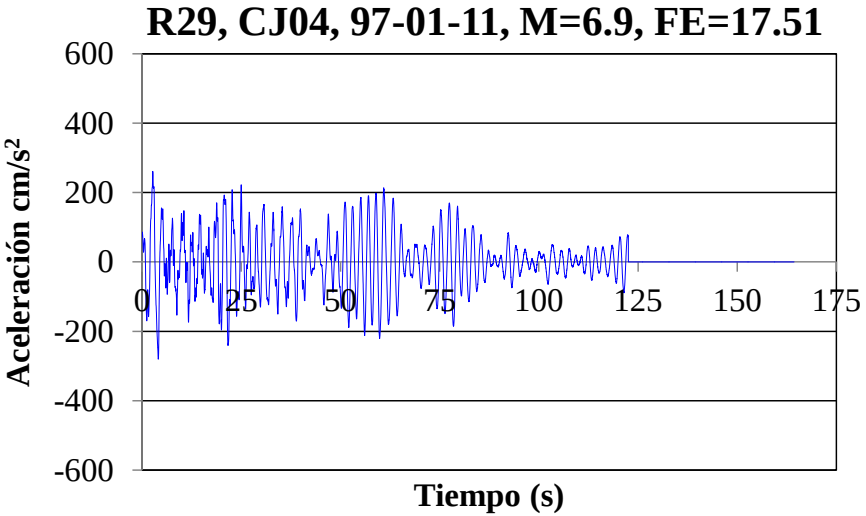
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6586	16.95	30.7500	0.2046	-1543.761	7 545.26	0.2365	0.036
0.6805	17.51	21.9200	0.2171	-1562.451	7 196.92	0.2718	0.004
0.7773	20.00	79.3000	0.8600	-756.631	0 879.80	0.9110	-0.129
0.7850	20.20	79.2900	0.8482	-713.851	0 841.61	0.9148	-0.139
0.7928	20.40	79.3200	0.8924	-612.492	0 686.34	0.9306	-0.149
0.8006	20.60	79.3200	0.9368	-649.953	0 693.80	0.9298	-0.159
0.8084	20.80	79.3400	0.9568	-723.426	0 756.09	0.9235	-0.169
0.8161	21.00	79.3600	0.9492	-682.148	0 718.66	0.9273	-0.178
0.8239	21.20	79.3600	0.9595	-652.896	0 680.45	0.9311	-0.188
0.8317	21.40	79.3700	0.9578	-647.116	0 675.63	0.9316	-0.197
0.8394	21.60	79.3600	0.9394	-583.633	0 621.28	0.9371	-0.206
0.8472	21.80	79.3800	0.9307	-673.318	0 723.45	0.9268	-0.215
0.8550	22.00	79.3800	0.9168	-651.259	0 710.36	0.9281	-0.225
0.8628	22.20	79.4000	0.9341	-514.368	0 550.66	0.9443	-0.234
0.8705	22.40	79.4000	0.9613	-524.924	0 546.06	0.9447	-0.243
0.8783	22.60	63.1100	1.0391	-511.629	0 492.38	0.9502	-0.252
0.8861	22.80	63.1100	1.0532	-483.334	0 458.92	0.9536	-0.260
0.8939	23.00	79.4000	1.0910	-419.368	0 384.39	0.9611	-0.269
0.9716	25.00	103.2300	1.4741	-196.059	0 133.00	0.9865	-0.352
1.0143	26.10	79.4700	1.2495	-401.524	0 321.35	0.9675	-0.395
1.0221	26.30	122.4500	18.8005	-0.304	0 000.02	1.0000	-0.403

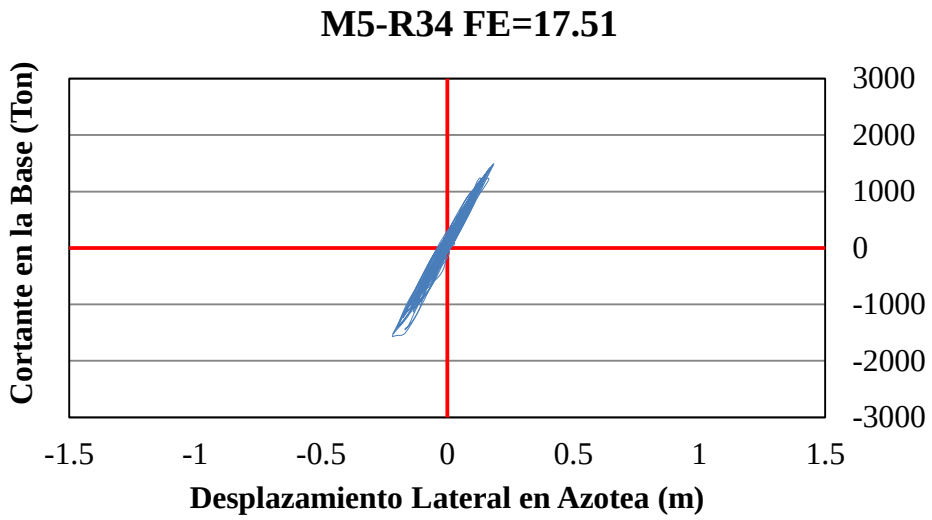

M5-R34 r D(y)-Z(y) =-0.7697
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

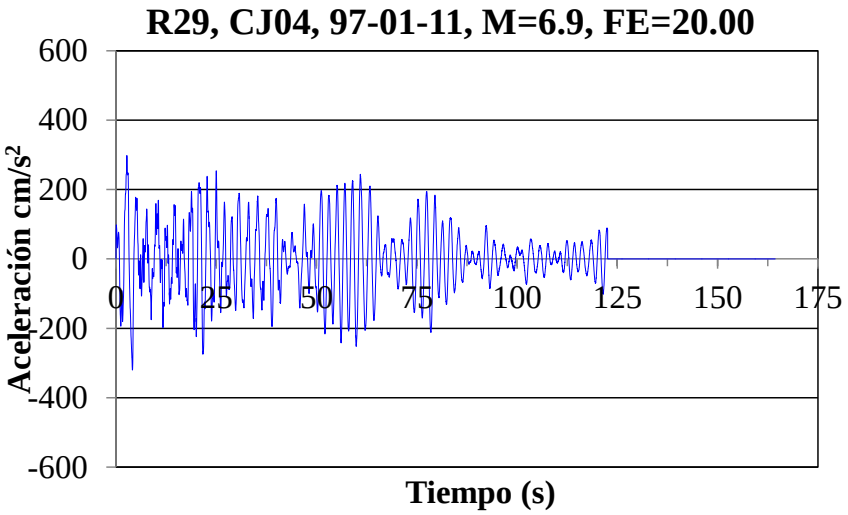

R34, TL08, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

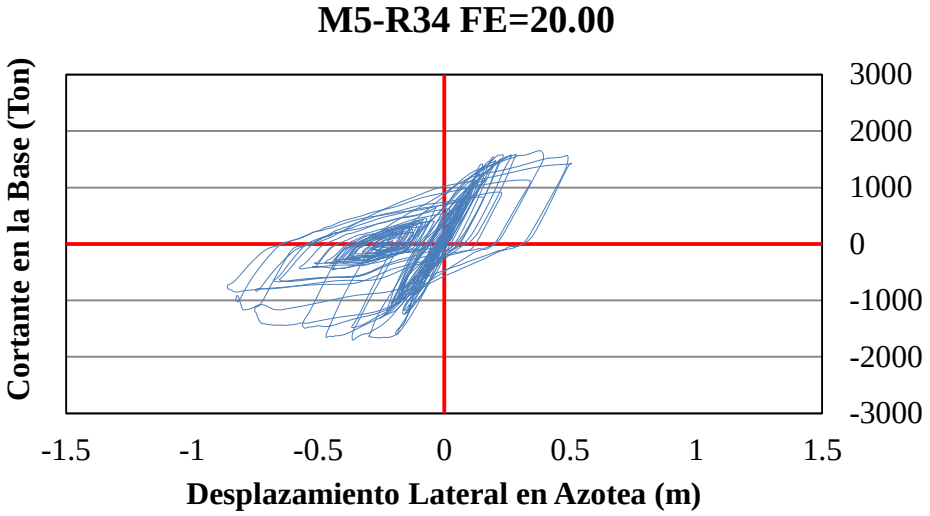

R34, TL08, 97-01-11, M=6.9, FE=16.95
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

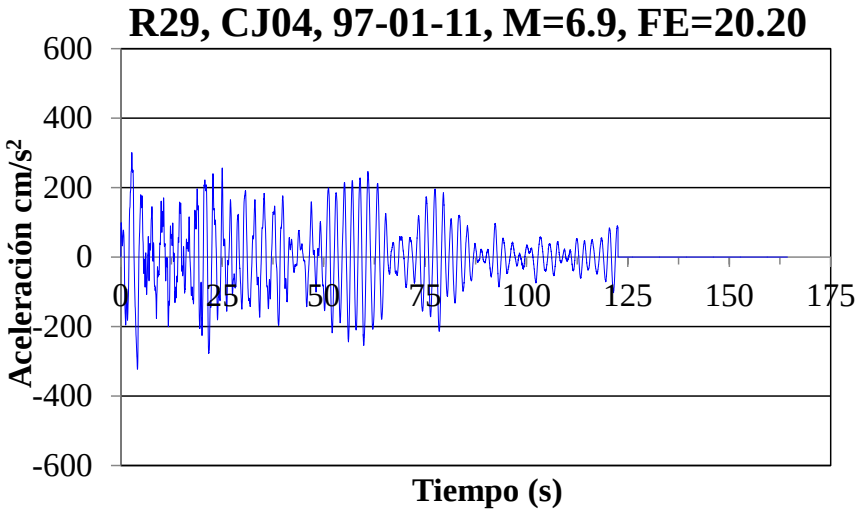

M5-R34 FE=16.95
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

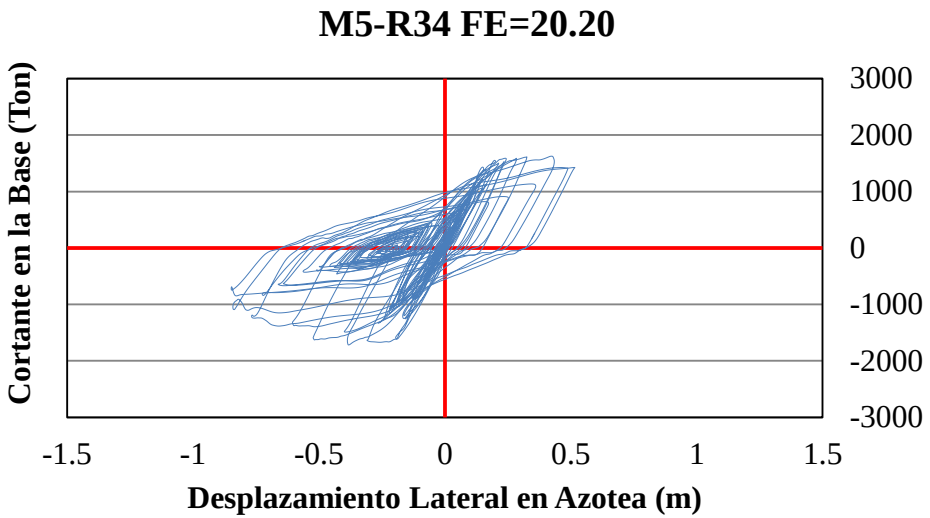

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=17.51
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

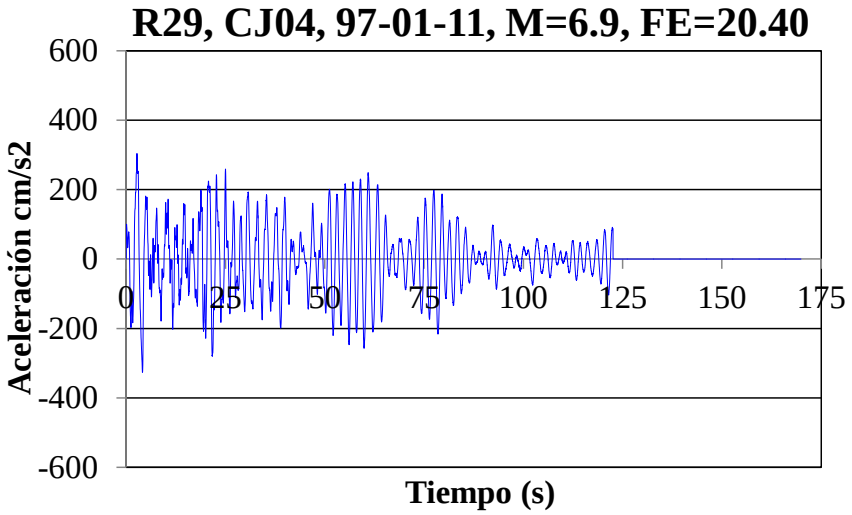

M5-R34 FE=17.51
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

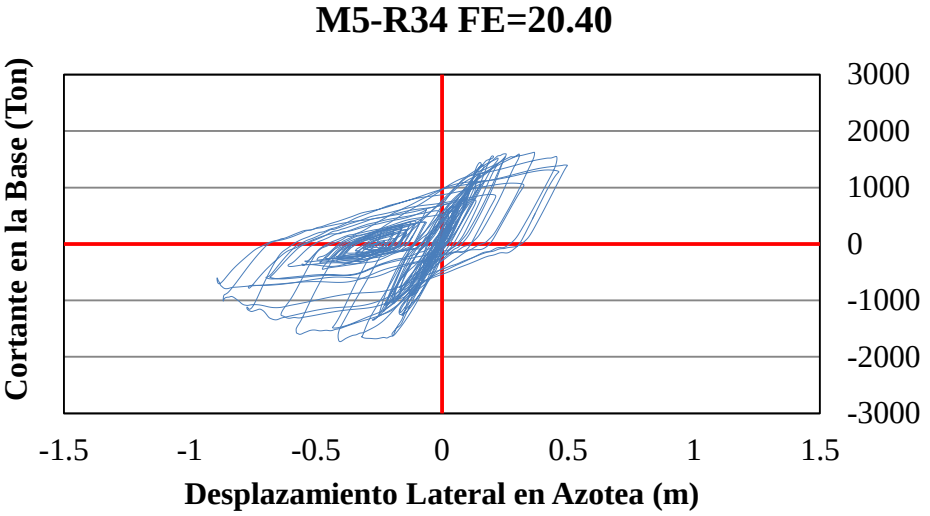

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=20.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

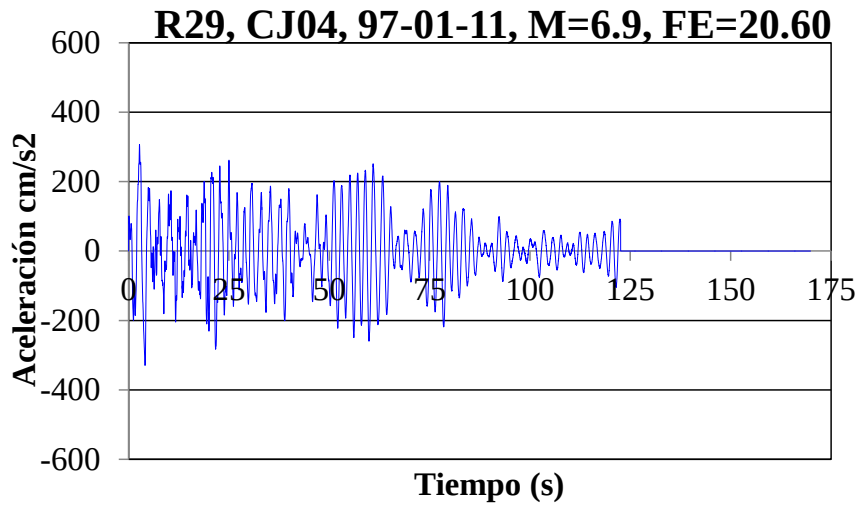

M5-R34 FE=20.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

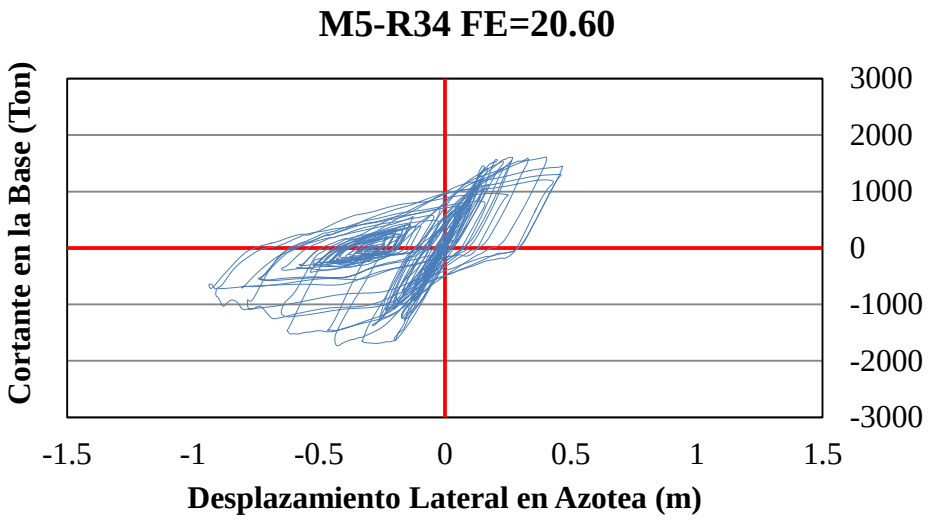

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=20.20
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

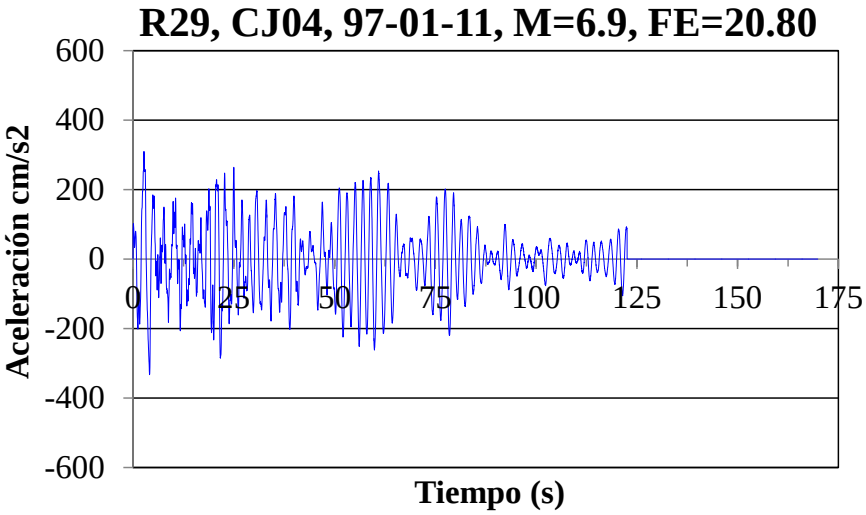

M5-R34 FE=20.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

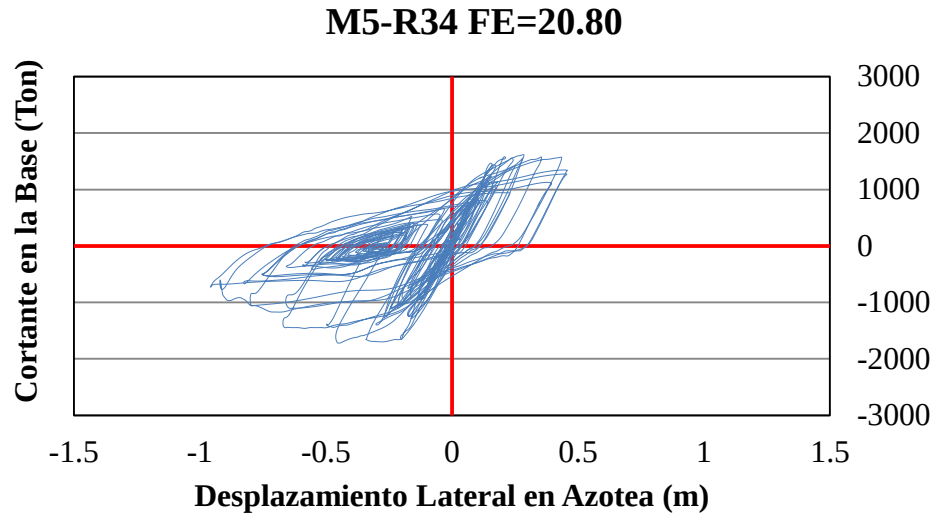

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=20.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

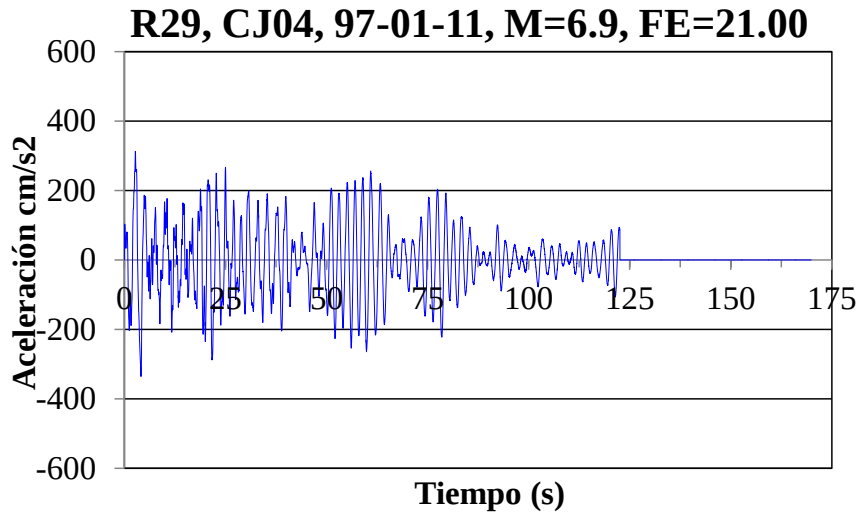

M5-R34 FE=20.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

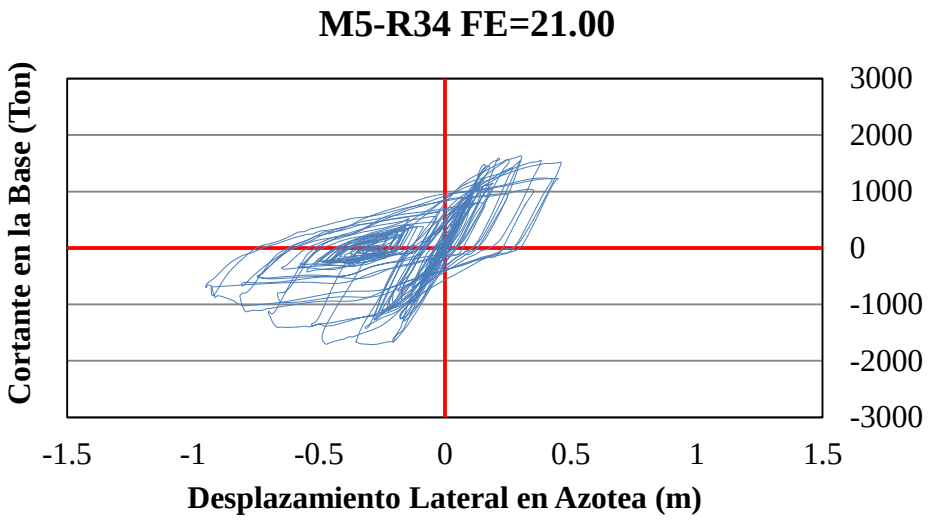

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=20.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

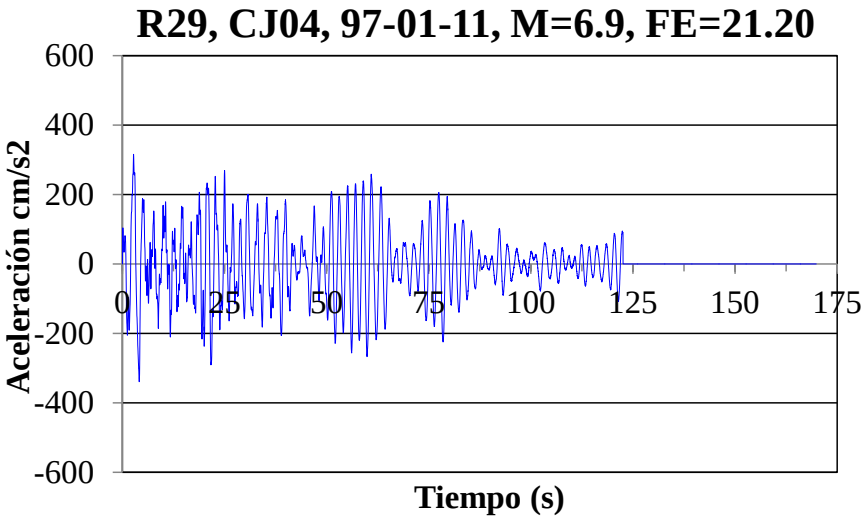

M5-R34 FE=20.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

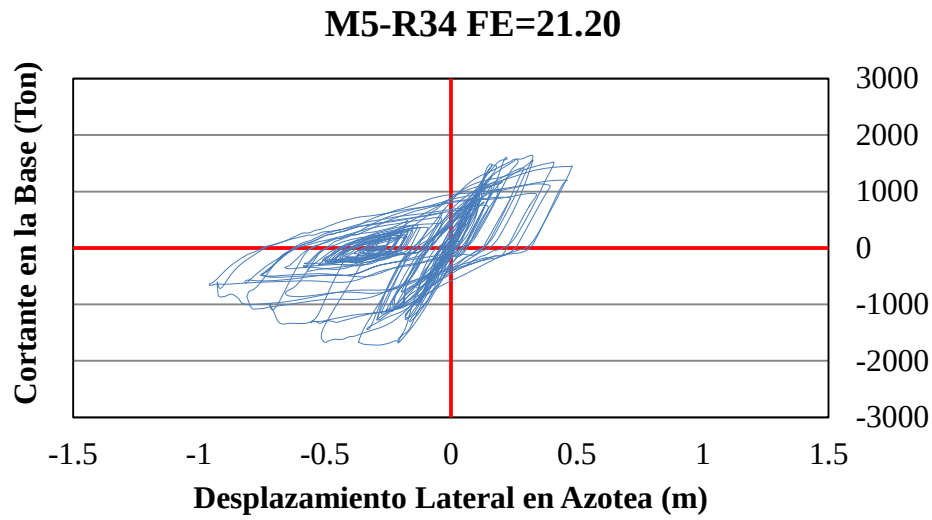

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=20.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

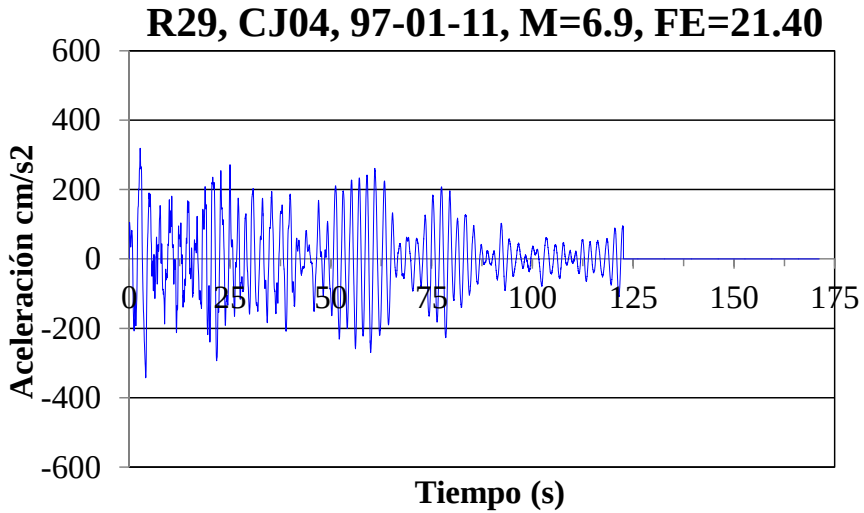

M5-R34 FE=20.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

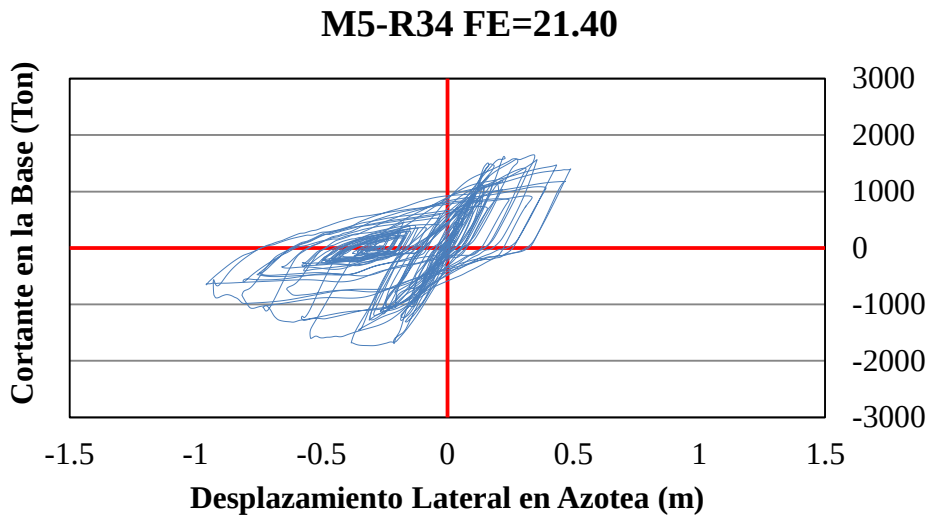

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

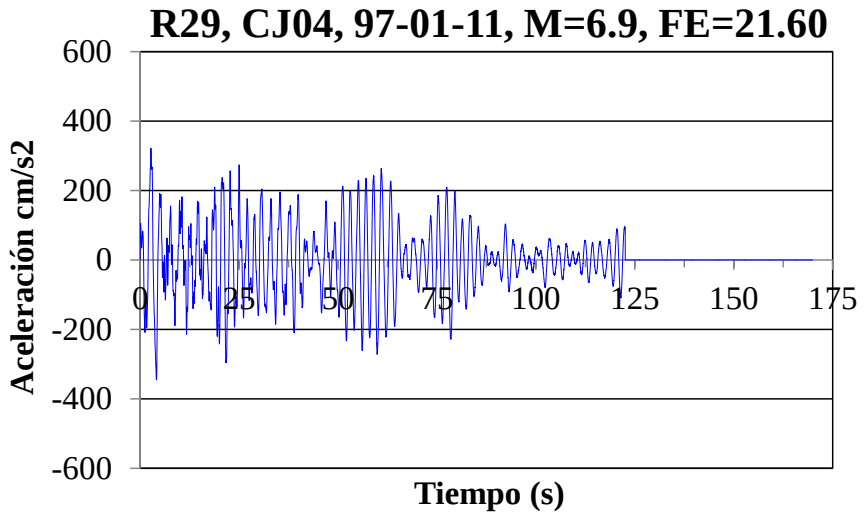

M5-R34 FE=21.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

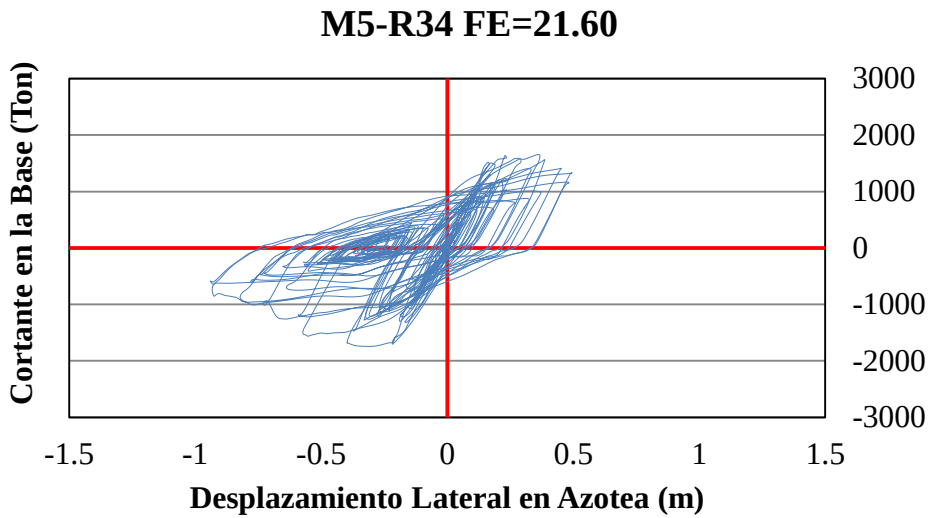

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

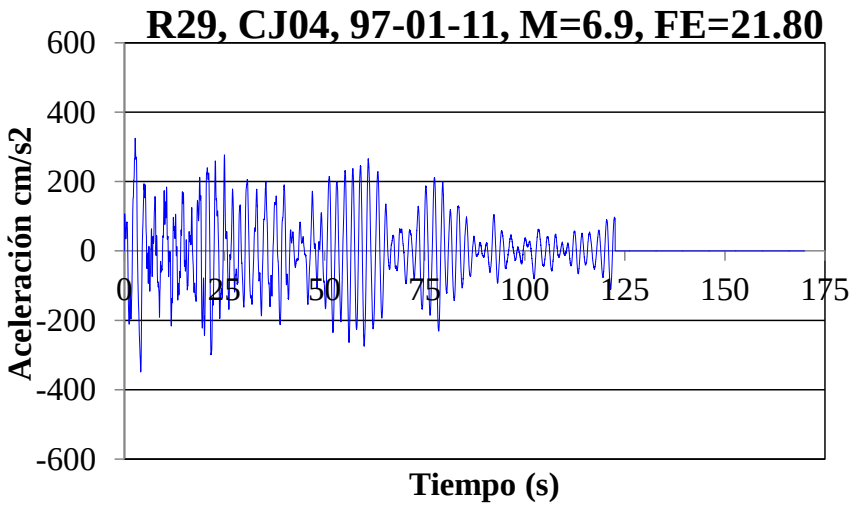

M5-R34 FE=21.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

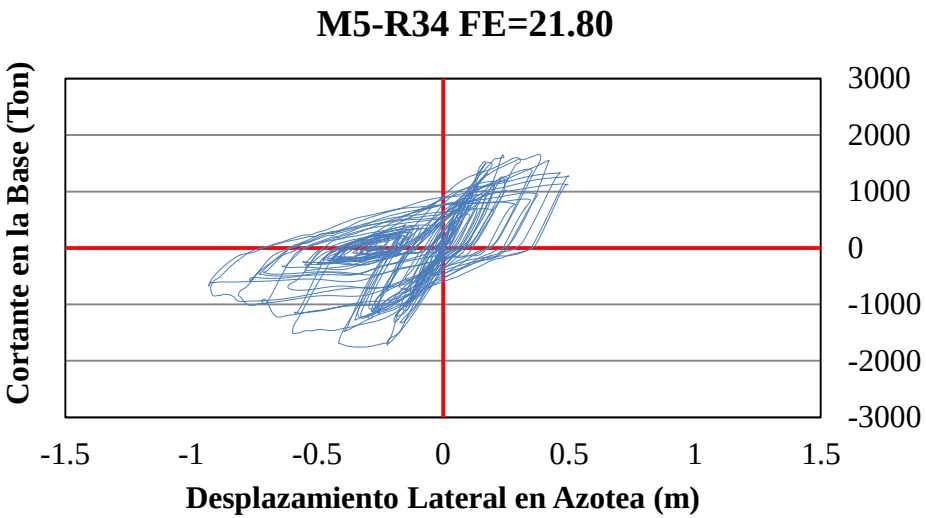

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

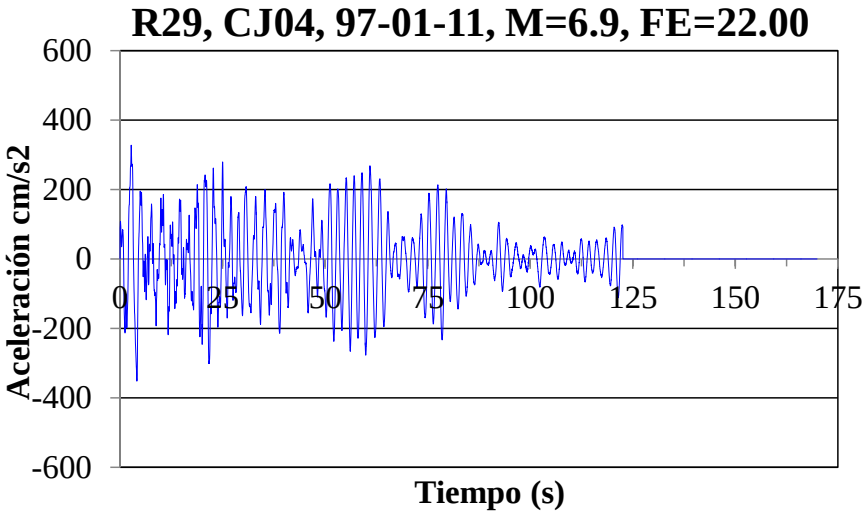

M5-R34 FE=21.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

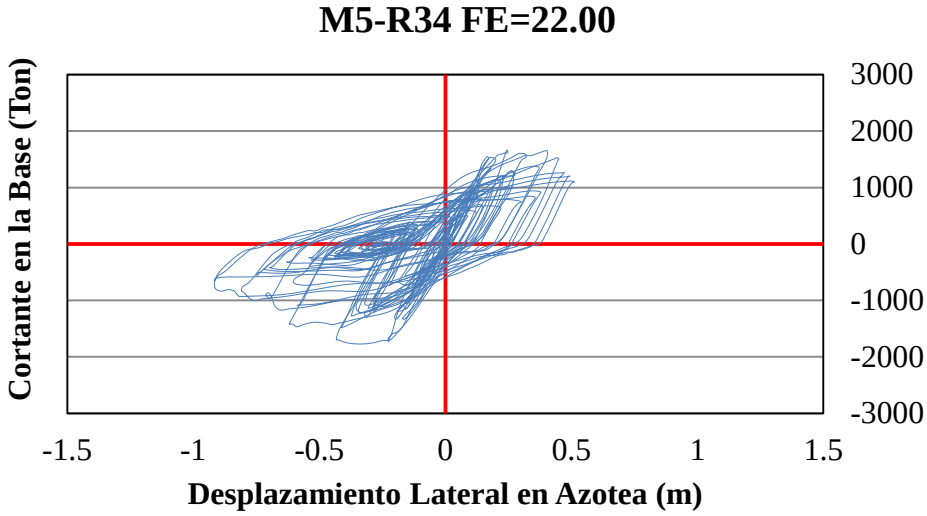

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

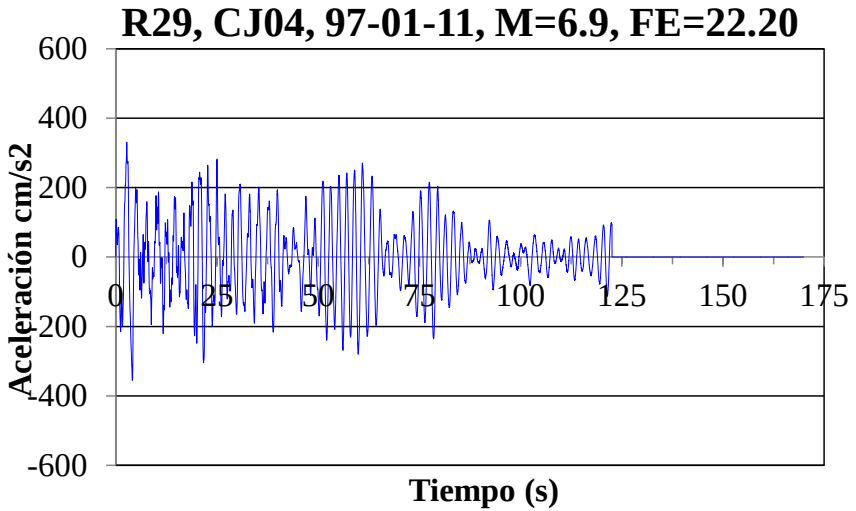

M5-R34 FE=21.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

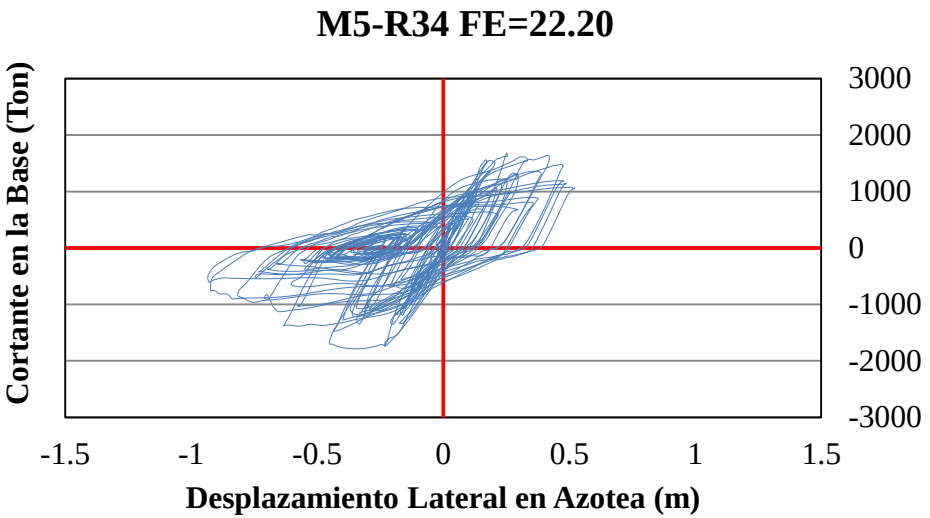

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

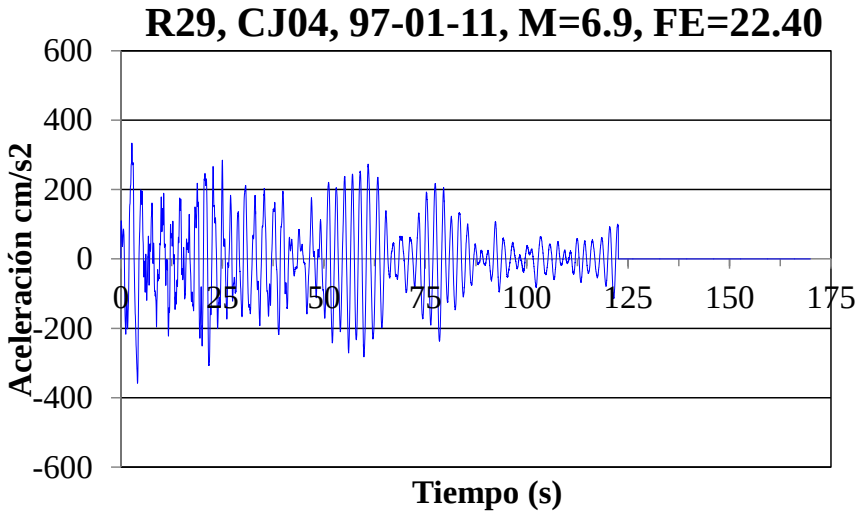

M5-R34 FE=21.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

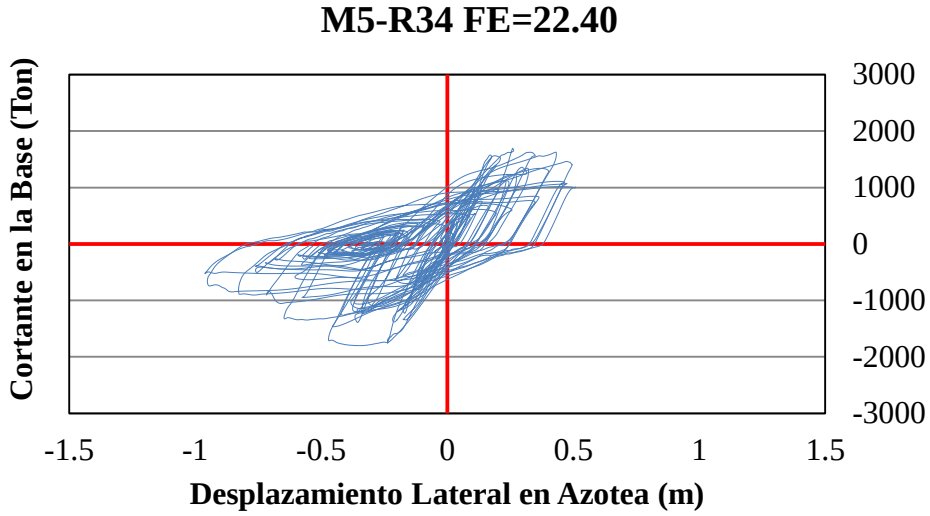

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

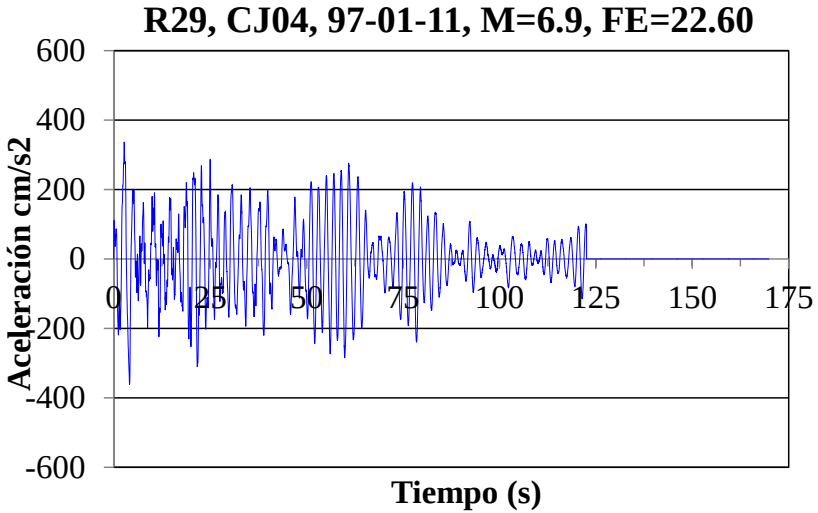

M5-R34 FE=22.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

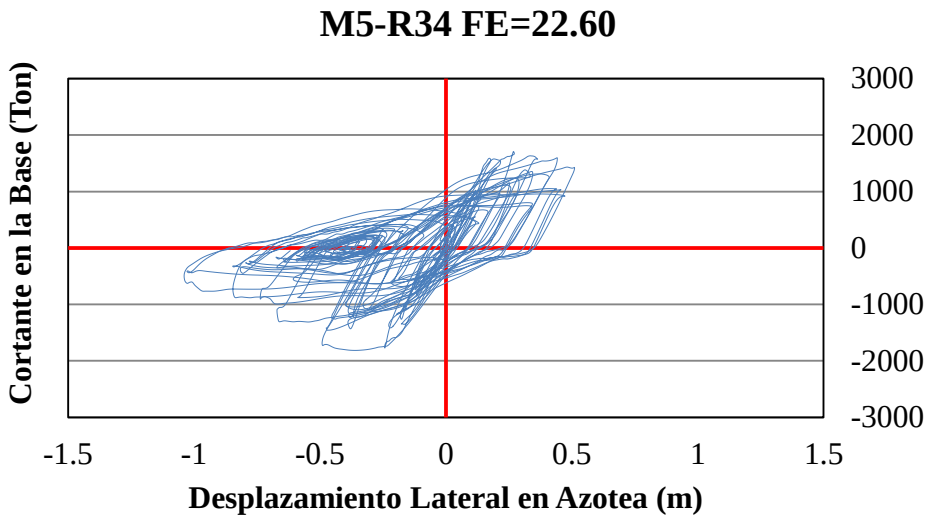

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

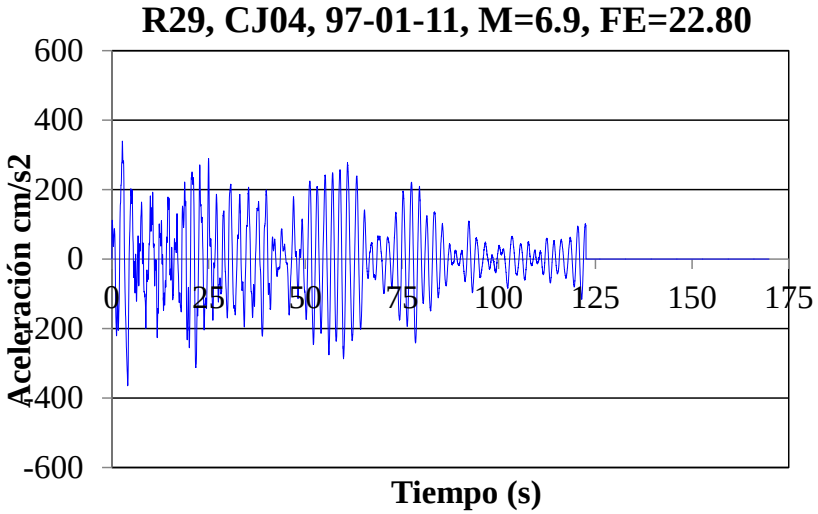

M5-R34 FE=22.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

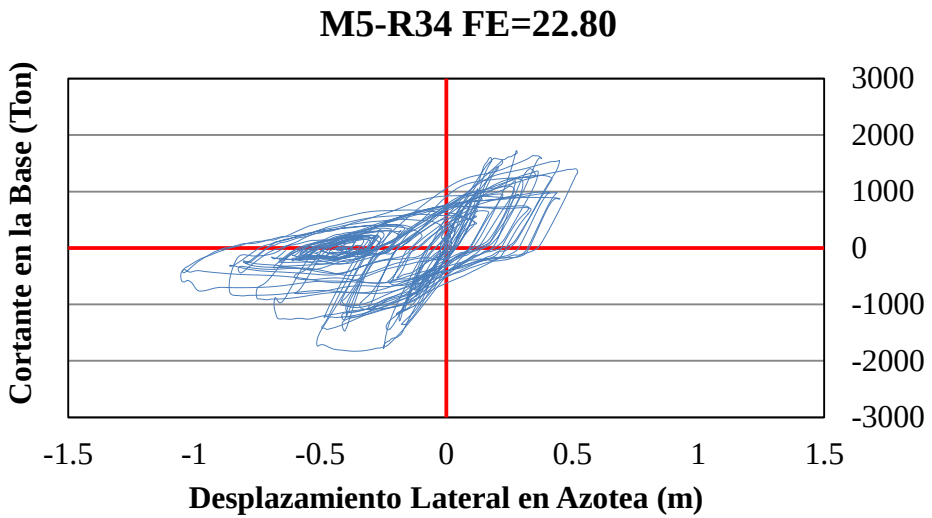

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

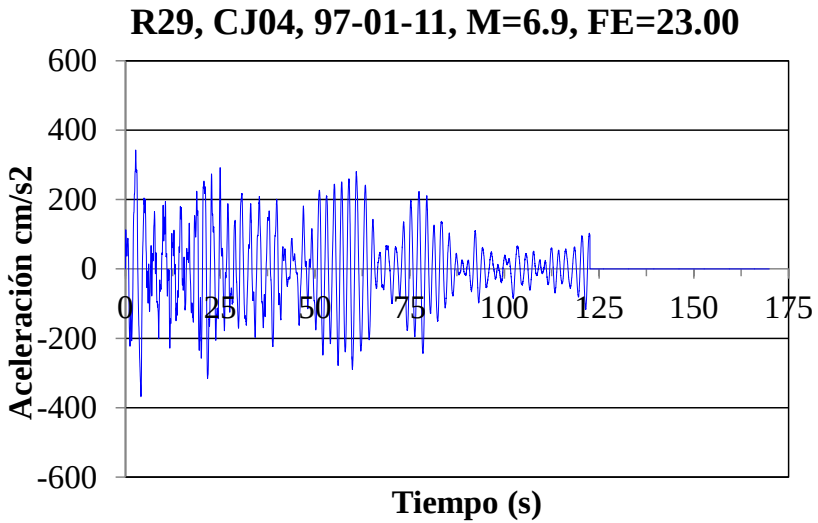

M5-R34 FE=22.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

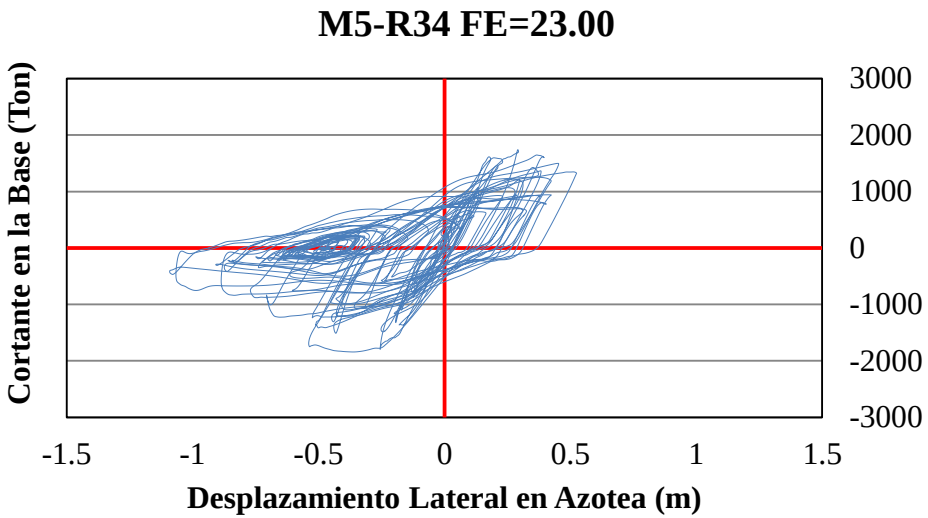

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

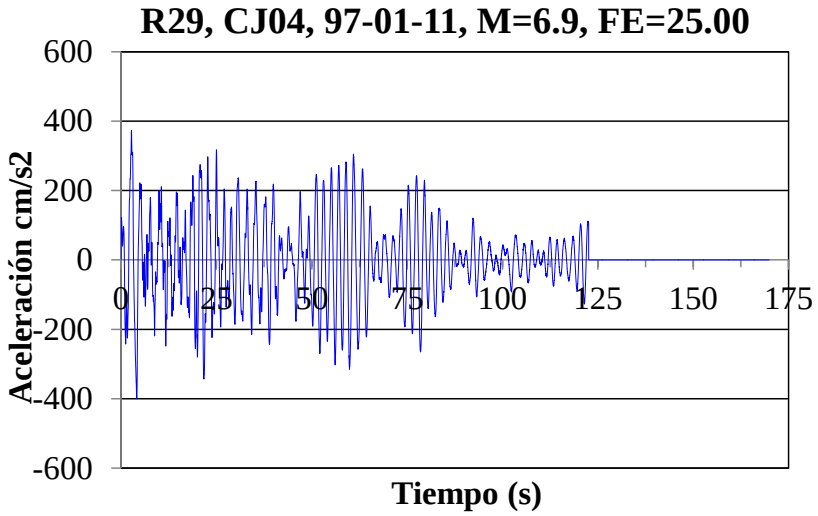

M5-R34 FE=22.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

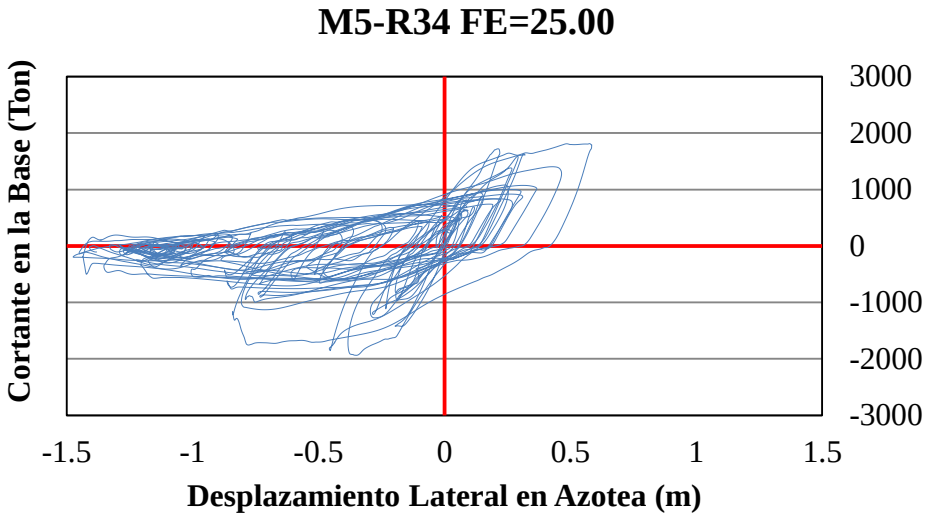

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

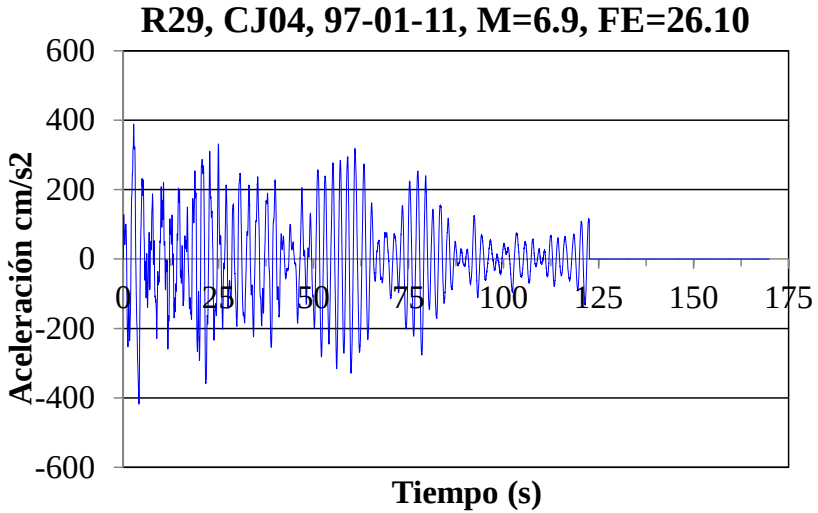

M5-R34 FE=22.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

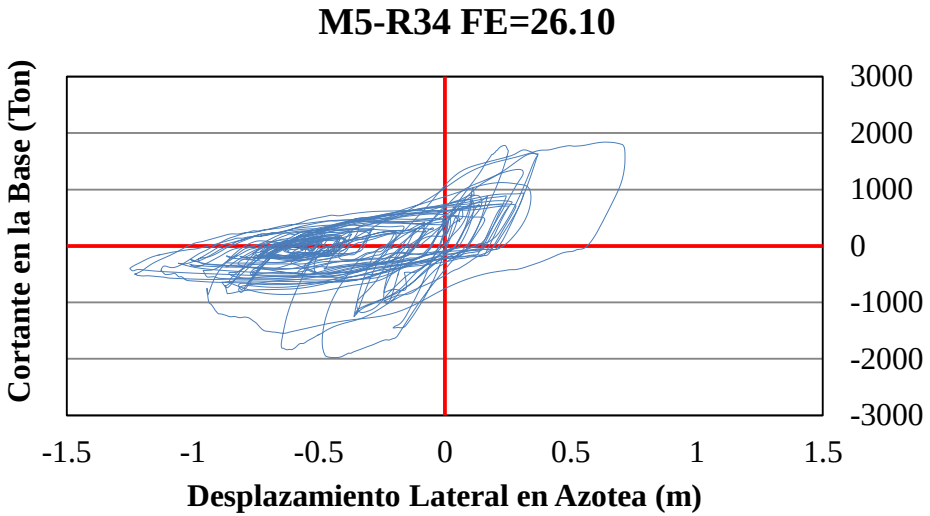

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=23.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

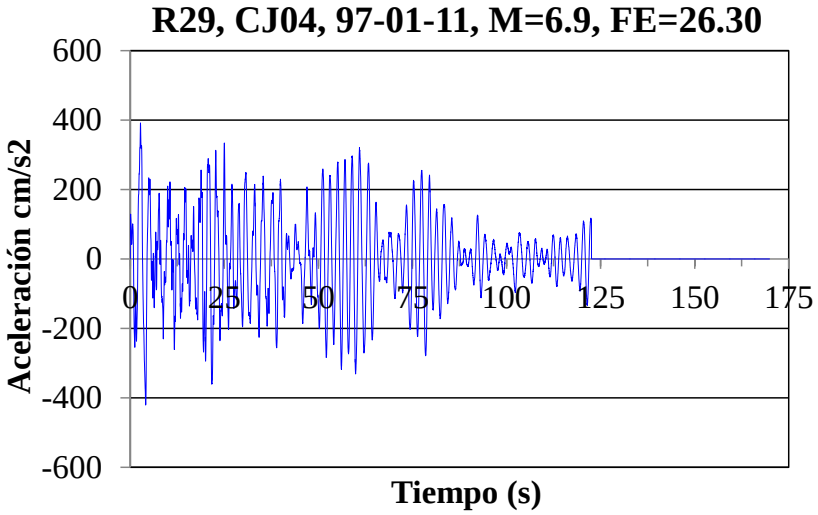

M5-R34 FE=23.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

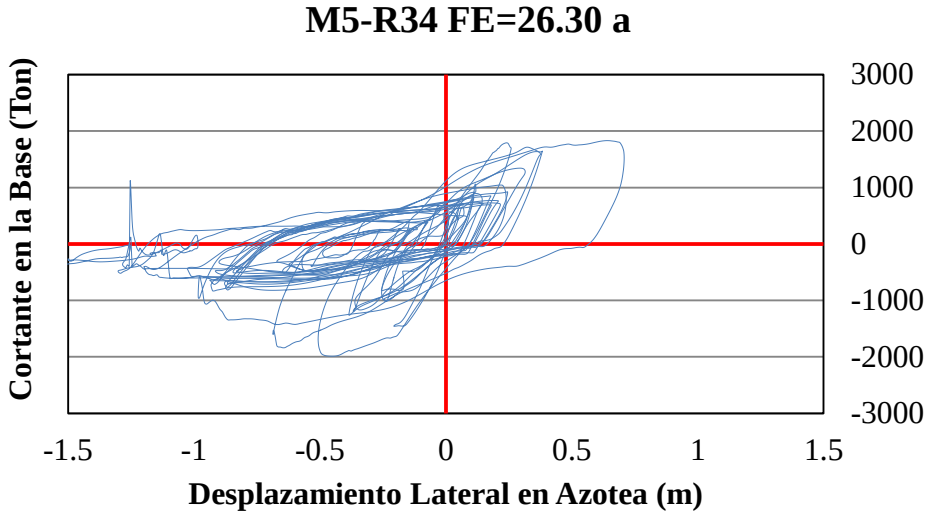

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=25.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

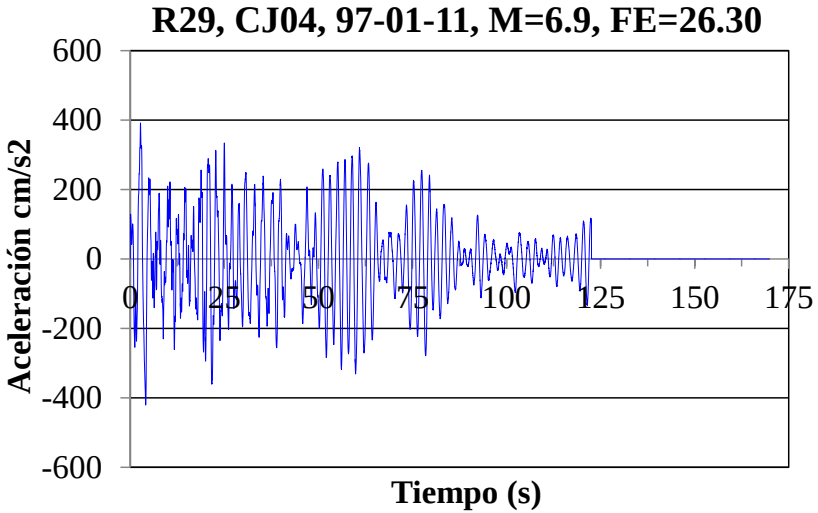

M5-R34 FE=25.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

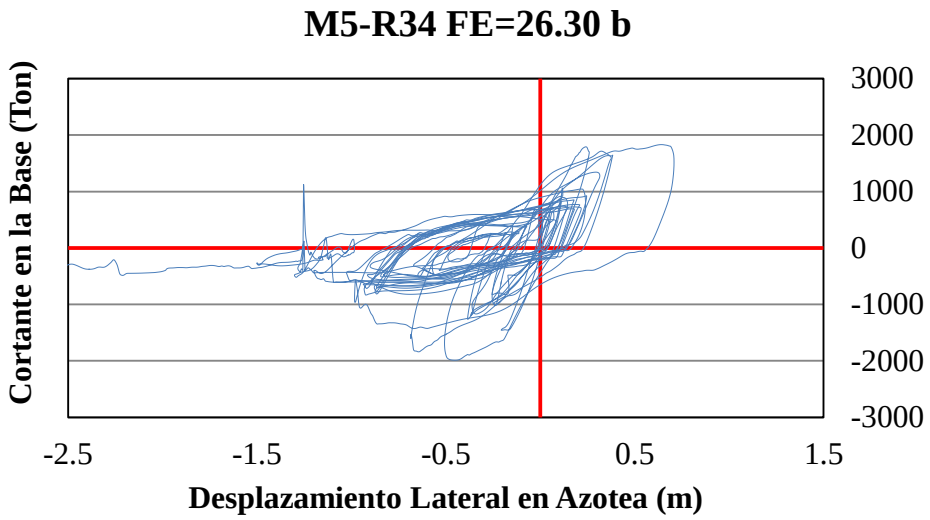

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=26.10
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

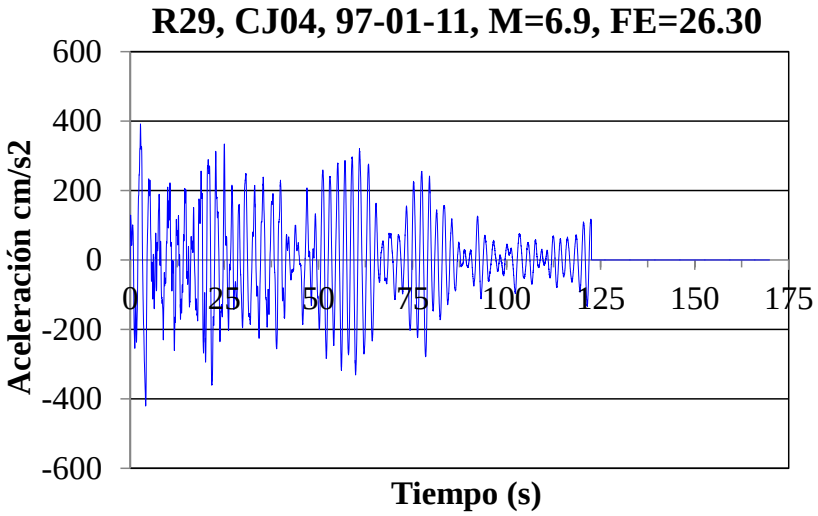

M5-R34 FE=26.10
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

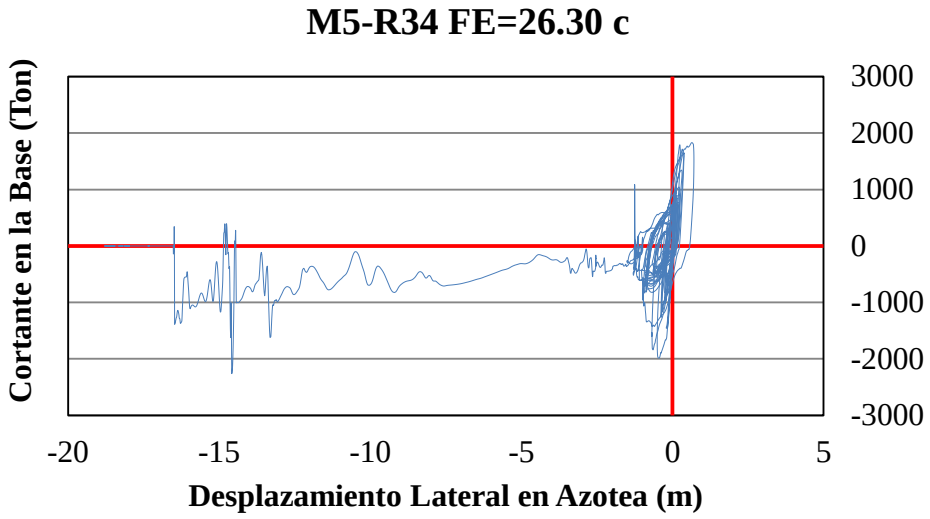

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=26.30
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M5-R34 FE=26.30 a
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=26.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M5-R34 FE=26.30 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2.5
-1.5
-0.5
0.5
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

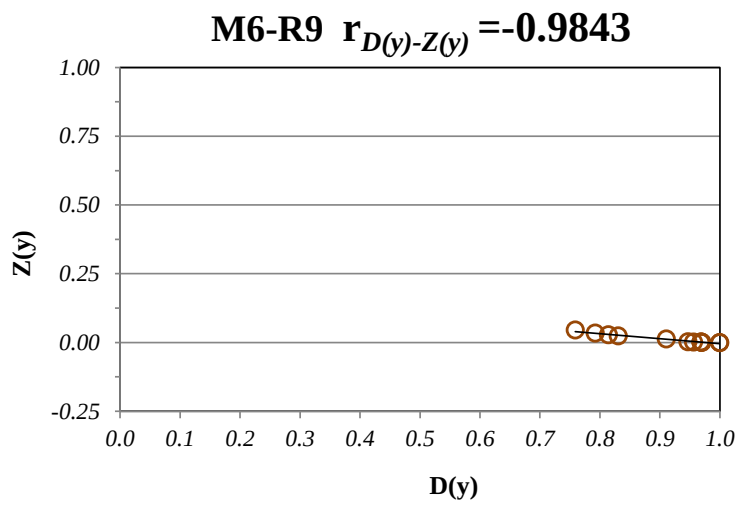

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=26.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

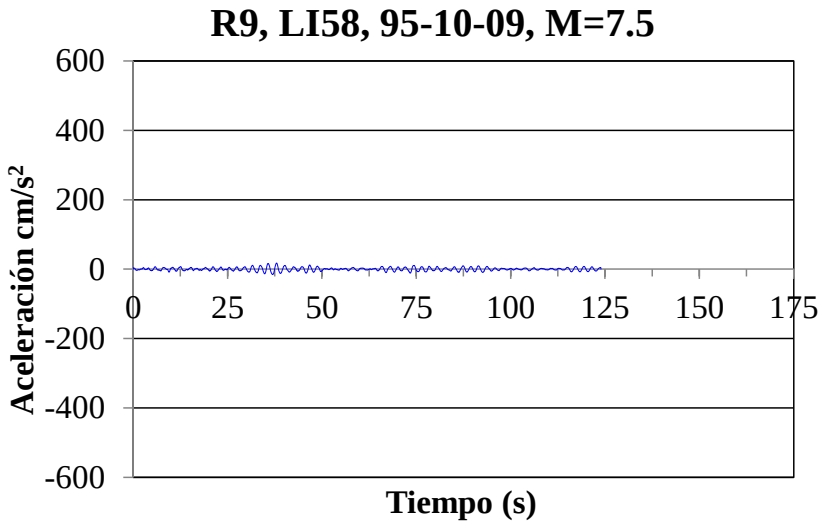

M5-R34 FE=26.30 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-20
-15
-10
-5
0
5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

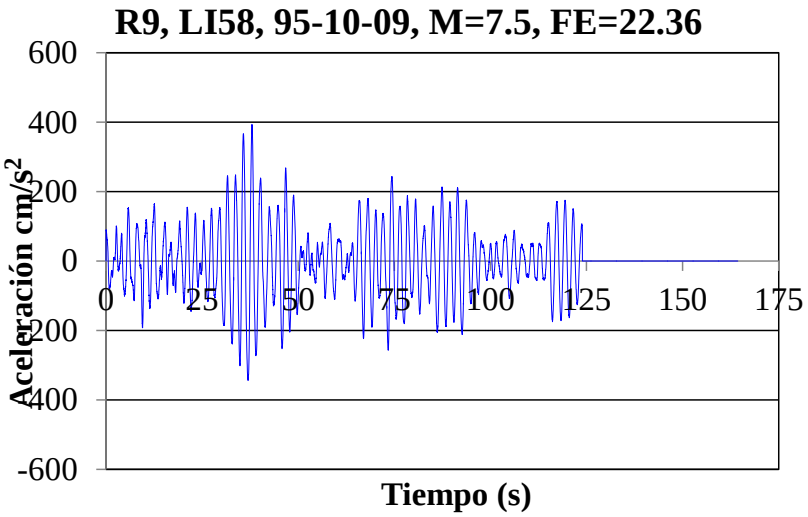
M6-R9

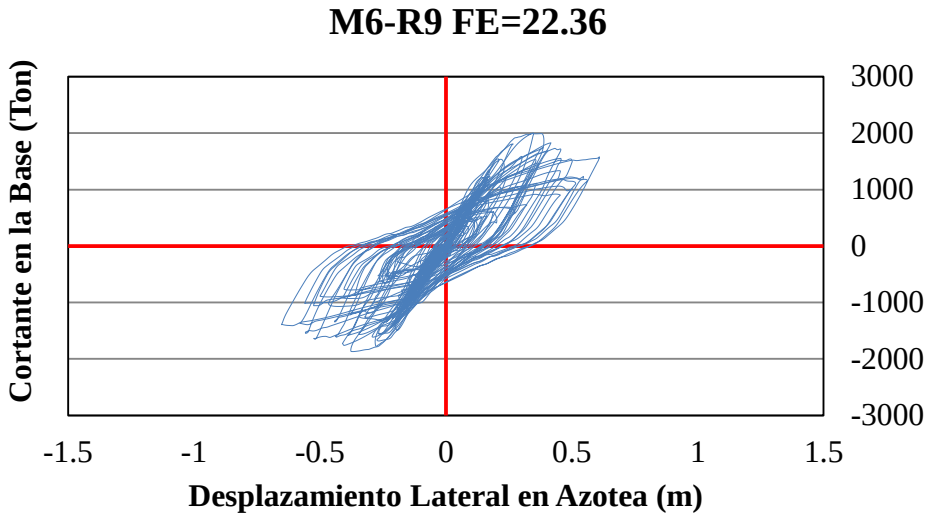
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.5	**6.86**	**8 834.73**	**0.030**	**-0.9843**

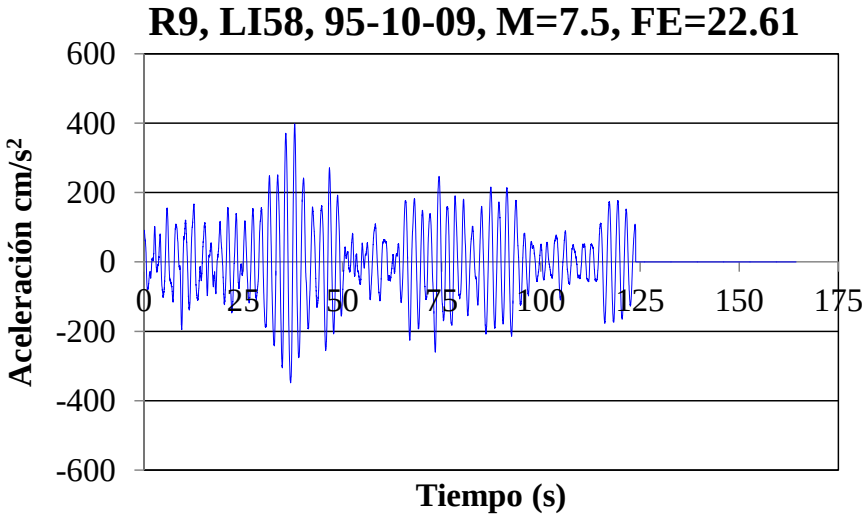
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6736	22.36	87.9400	0.6523	-1389.000	2 129.39	0.7590	0.014
0.6811	22.61	87.9900	0.7169	1316.879	1 836.91	0.7921	0.003
0.6858	22.77	88.0200	0.7631	1250.951	1 639.30	0.8144	-0.004
0.6887	22.86	88.0400	0.7945	1187.085	1 494.13	0.8309	-0.008
0.6962	23.11	118.0700	0.9472	747.819	0 789.50	0.9106	-0.019
0.7033	23.35	120.3200	1.3534	633.275	0 467.91	0.9470	-0.029
0.7036	23.36	122.5300	1.6227	455.485	0 280.70	0.9682	-0.030
0.7039	23.37	120.3500	1.4324	551.218	0 384.82	0.9564	-0.030
0.7042	23.38	122.5300	1.6495	453.595	0 274.99	0.9689	-0.031
0.7045	23.39	122.5200	1.6751	437.114	0 260.95	0.9705	-0.031
0.7048	23.40	122.5300	1.6961	457.093	0 269.50	0.9695	-0.031
0.7051	23.41	123.9000	5.1603	492.875	0 095.51	0.9892	-0.032
0.7054	23.42	123.9000	17.5327	571.318	0 032.59	0.9963	-0.032

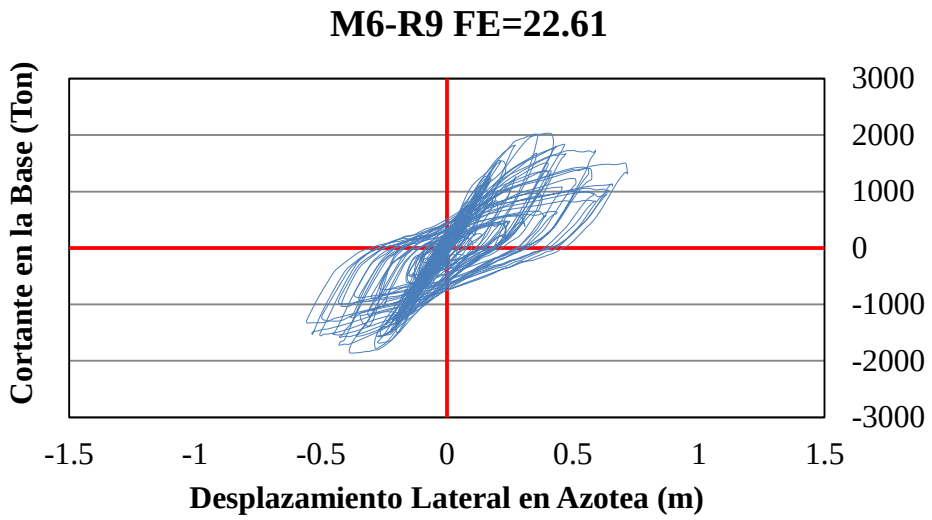

M6-R9 r D(y)-Z(y) =-0.9843
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

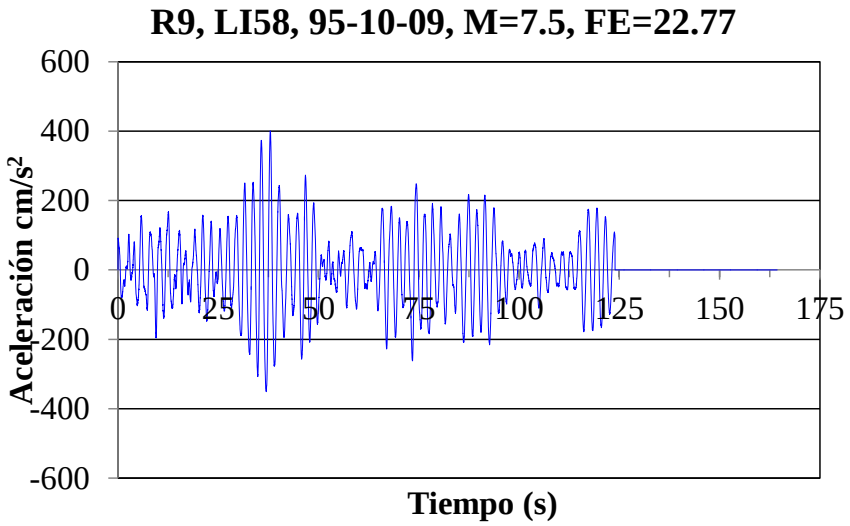

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

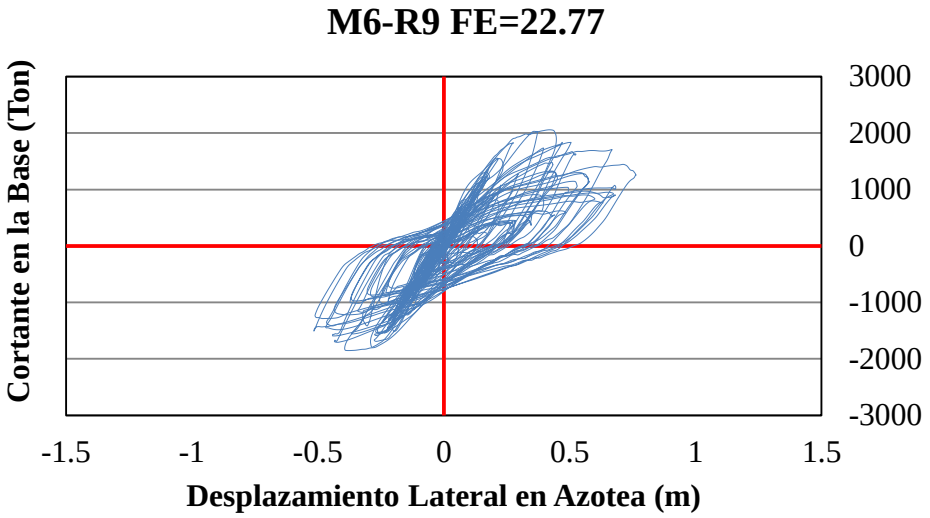

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=22.36
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

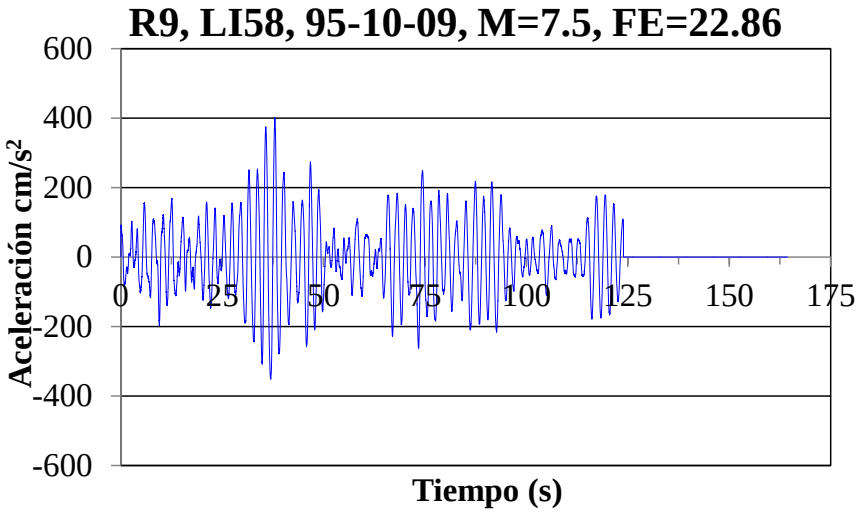

M6-R9 FE=22.36
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

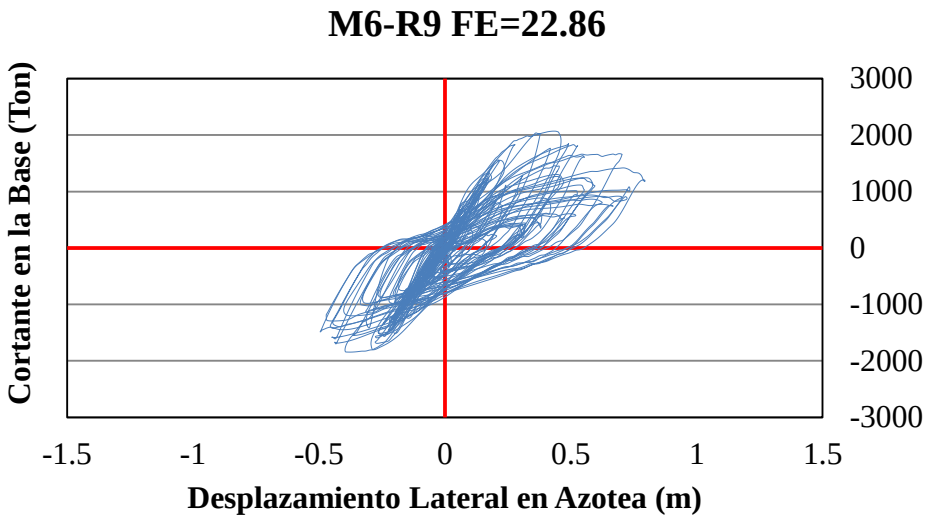

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=22.61
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

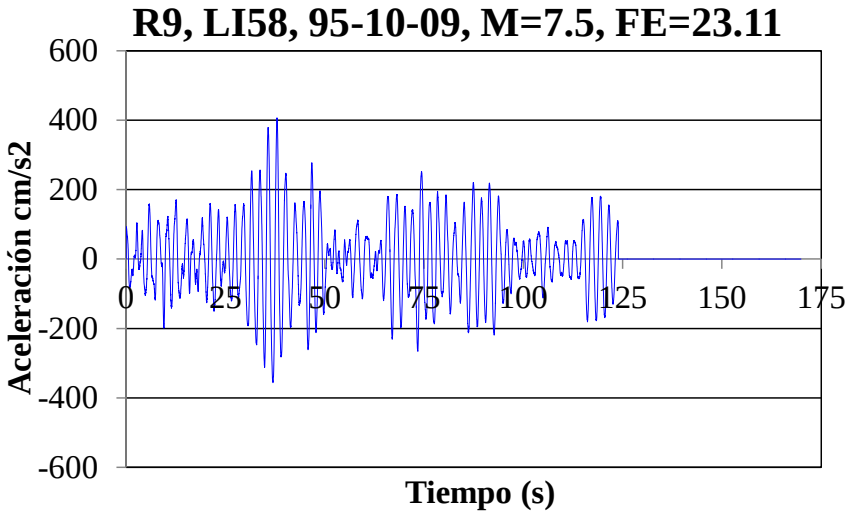

M6-R9 FE=22.61
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

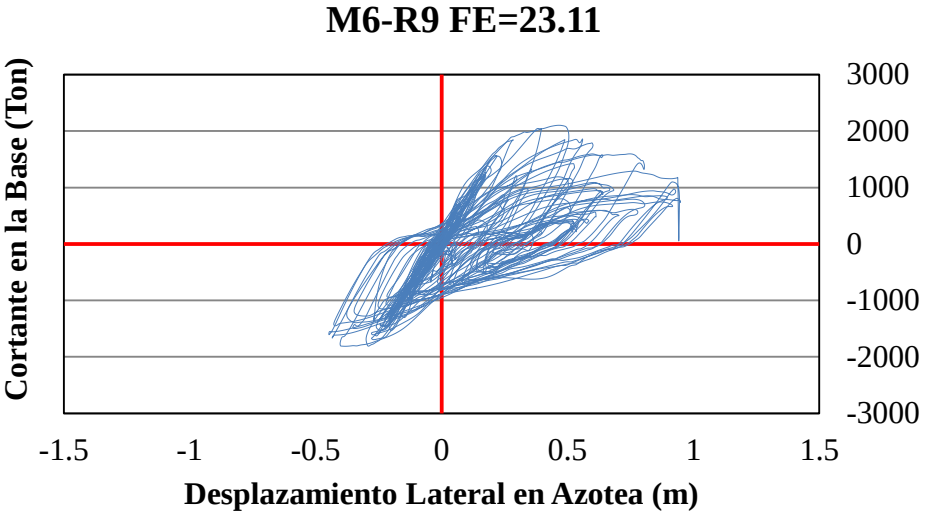

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=22.77
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

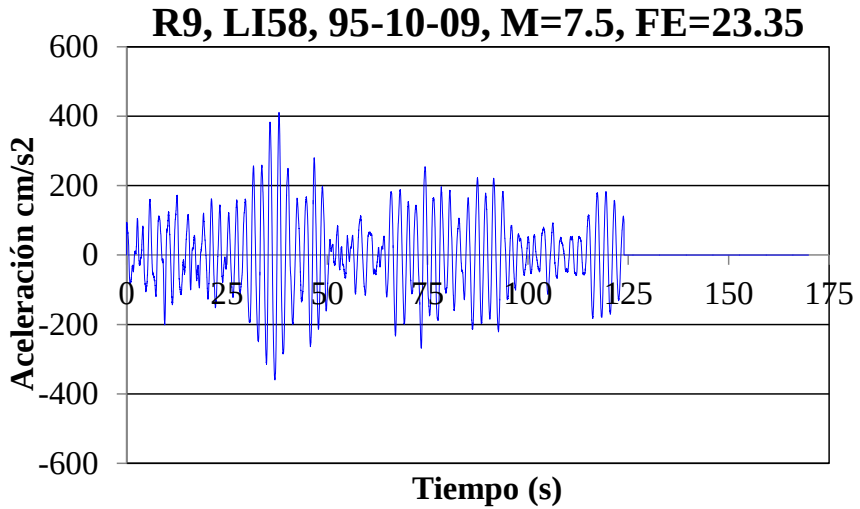

M6-R9 FE=22.77
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

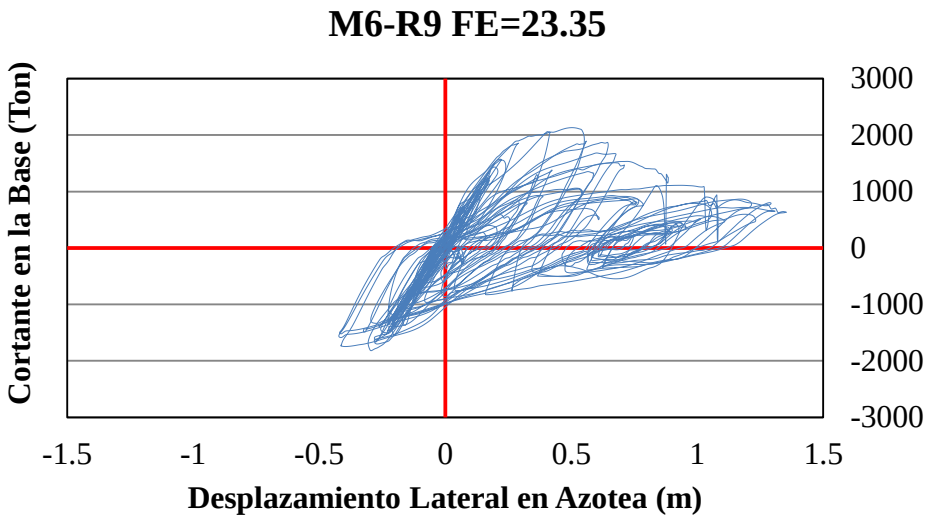

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=22.86
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

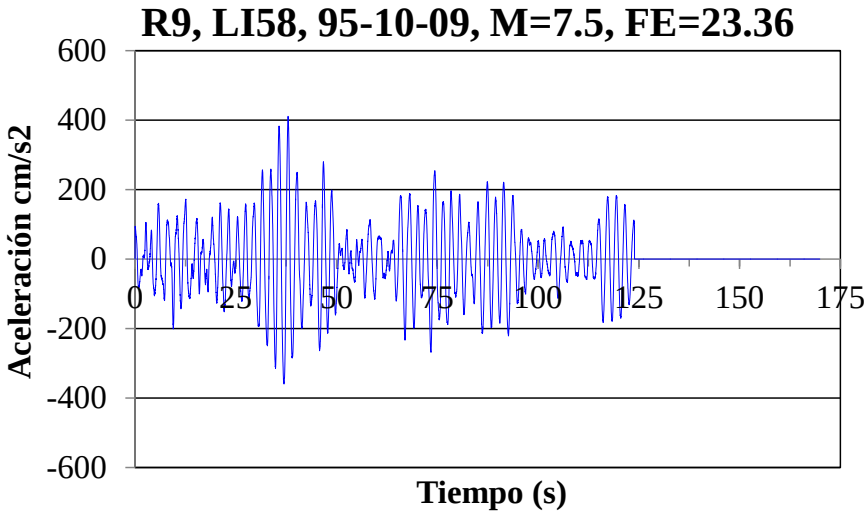

M6-R9 FE=22.86
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

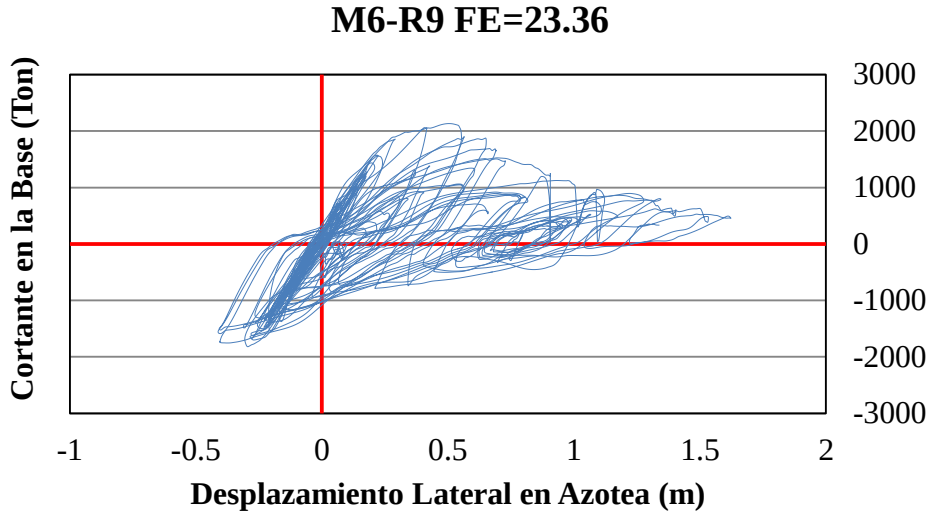

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.11
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

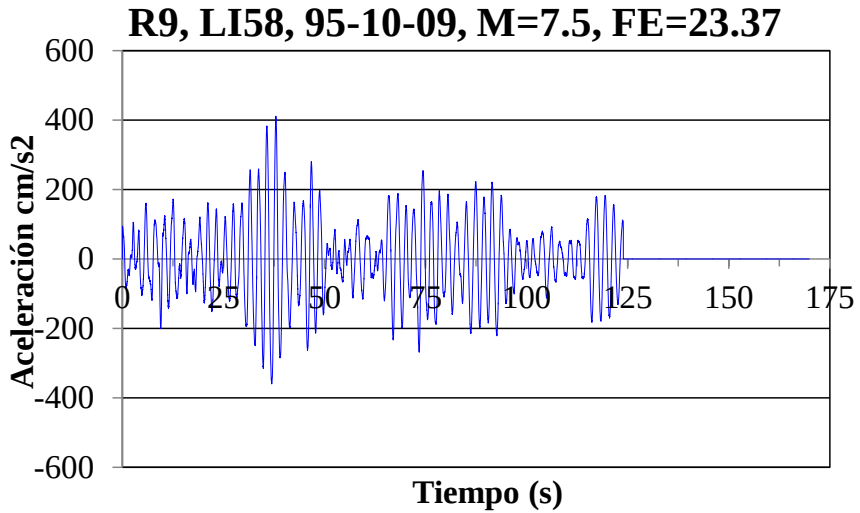

M6-R9 FE=23.11
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

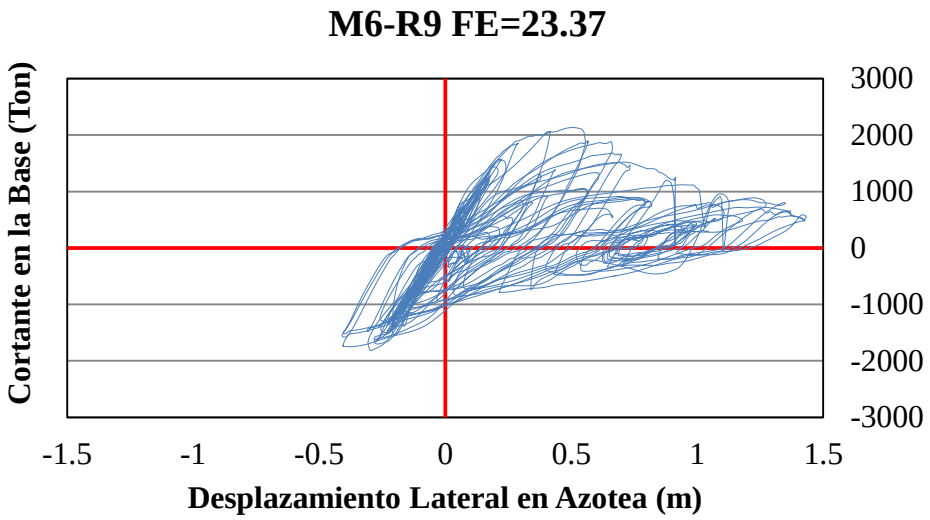

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

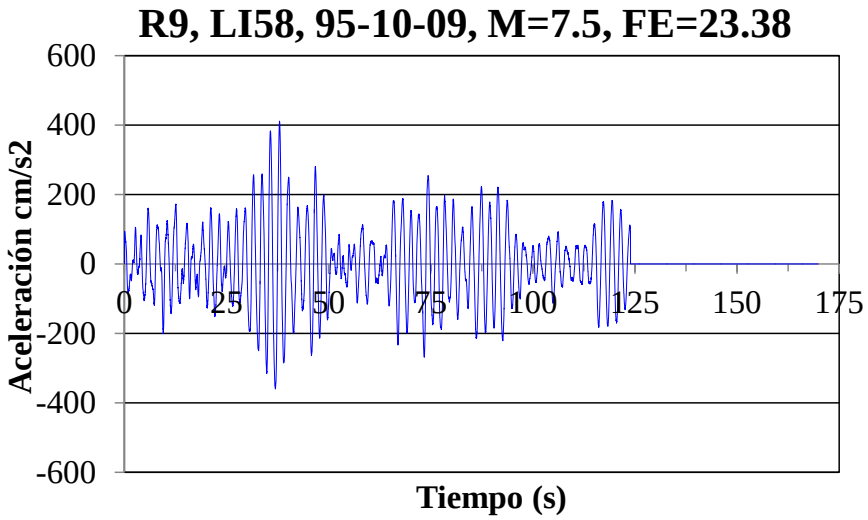

M6-R9 FE=23.35
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

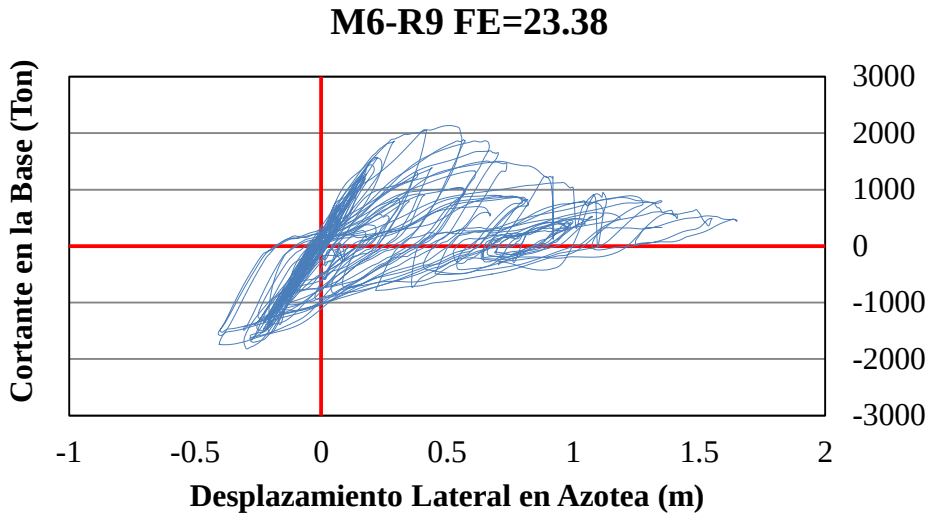

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.36
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

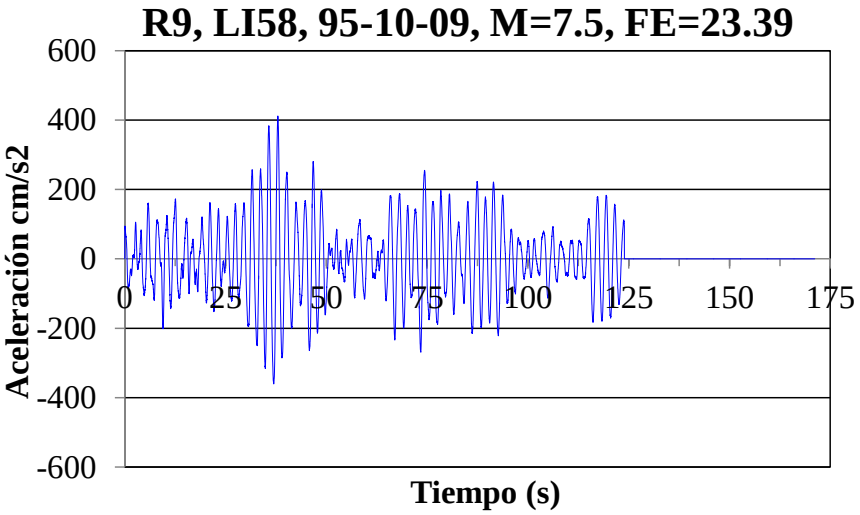

M6-R9 FE=23.36
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

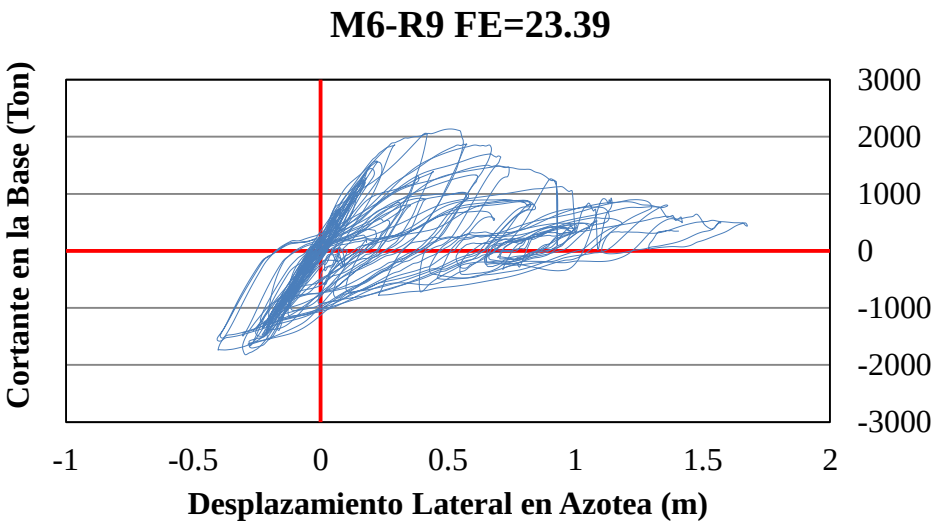

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.37
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

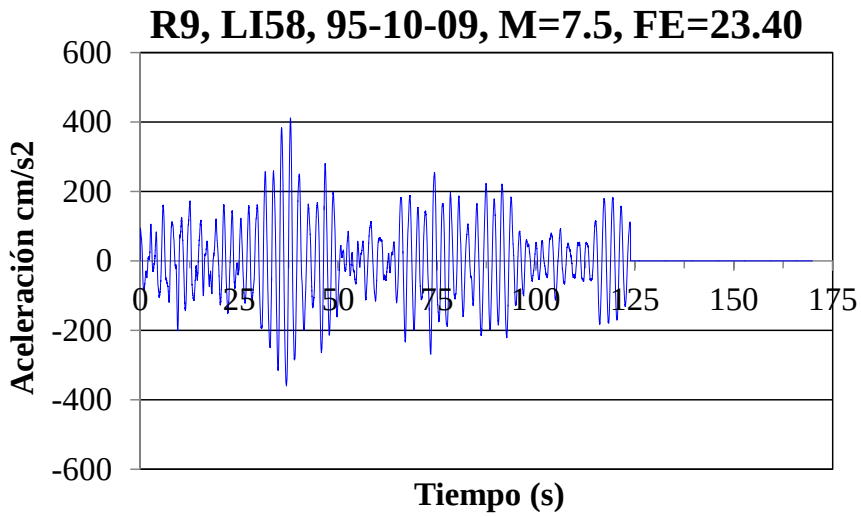

M6-R9 FE=23.37
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

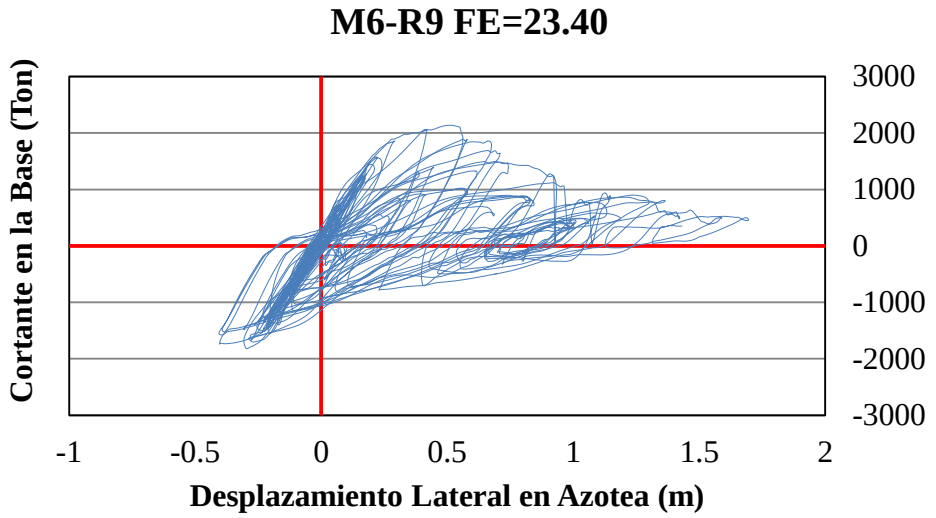

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.38
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

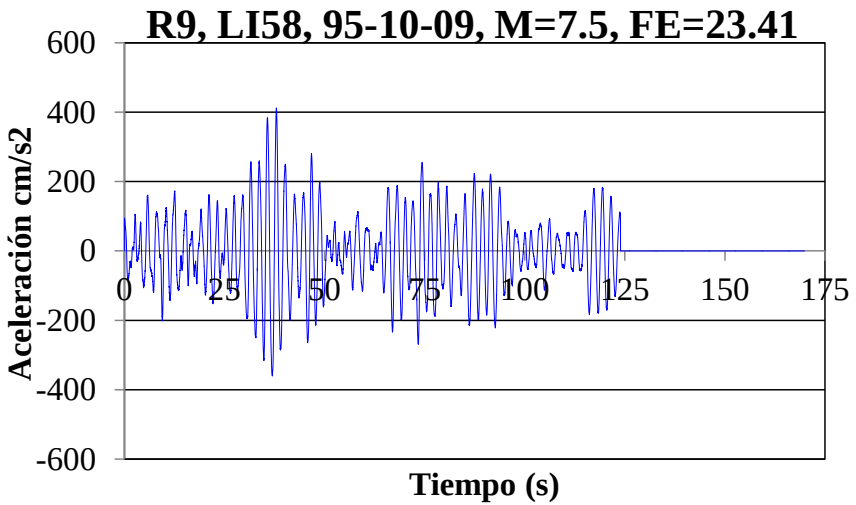

M6-R9 FE=23.38
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

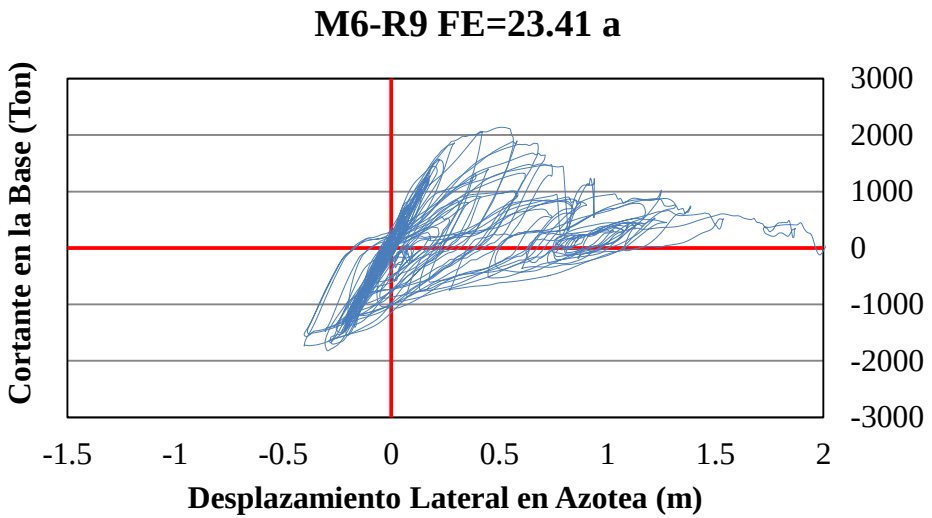

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.39
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

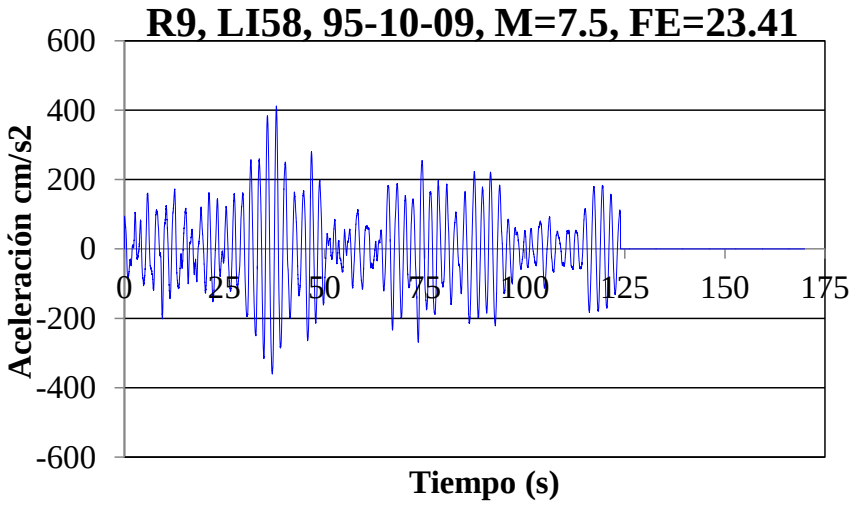

M6-R9 FE=23.39
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

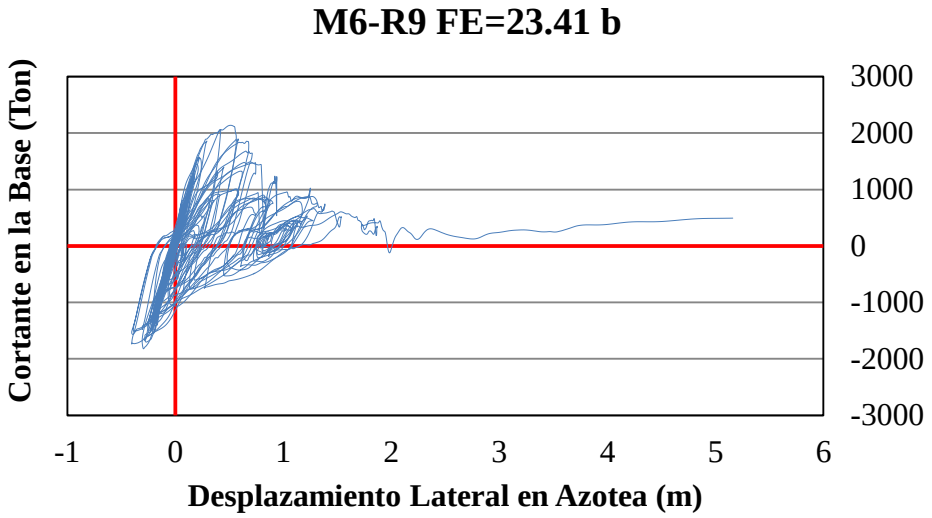

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R9 FE=23.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.41
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R9 FE=23.41 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

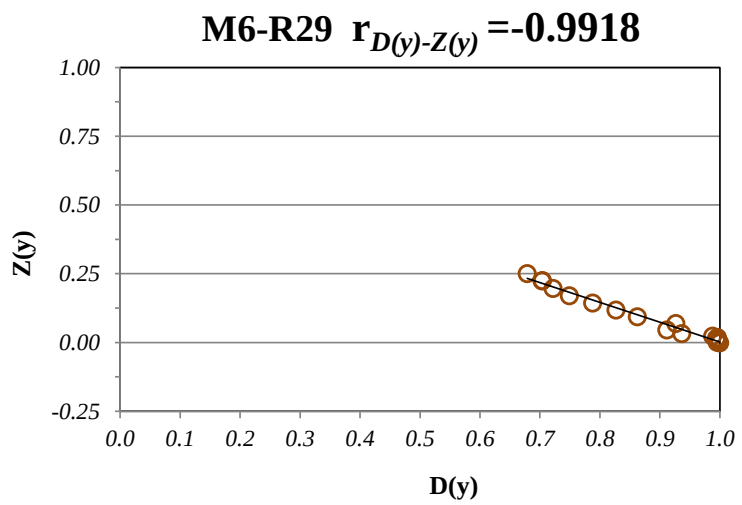

R9, LI58, 95-10-09, M=7.5, FE=23.41
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

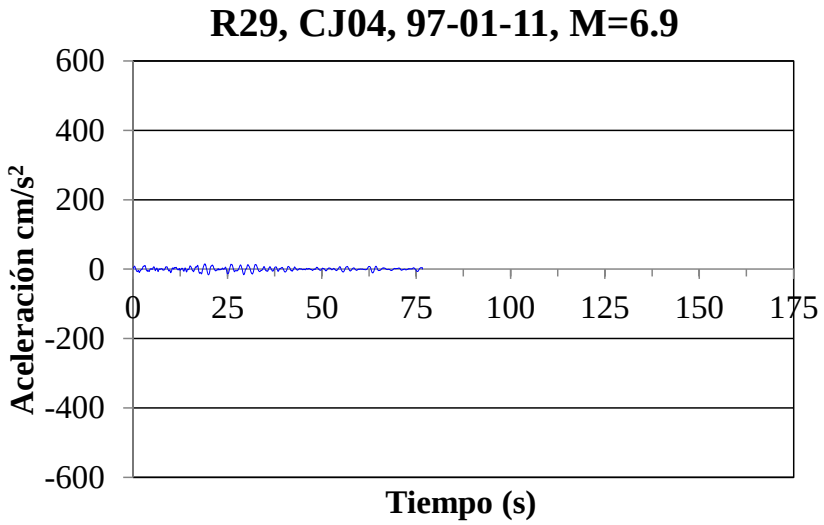

M6-R9 FE=23.41 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1
0
1
2
3
4
5
6
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

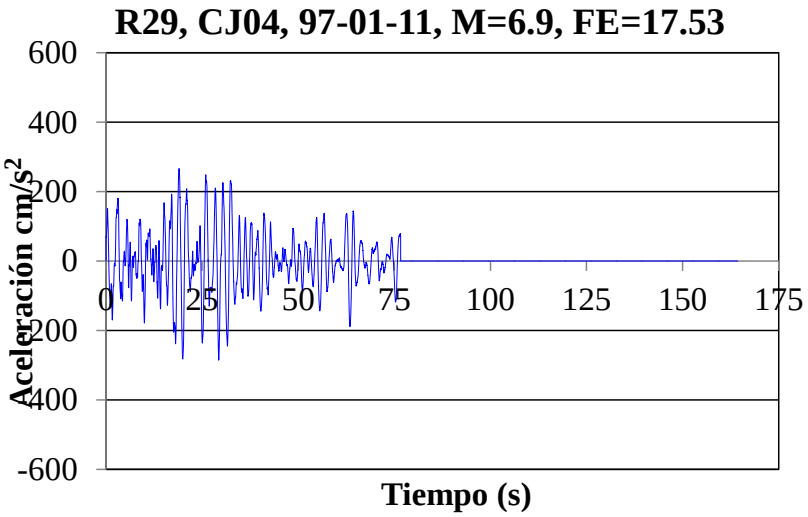
M6-R29

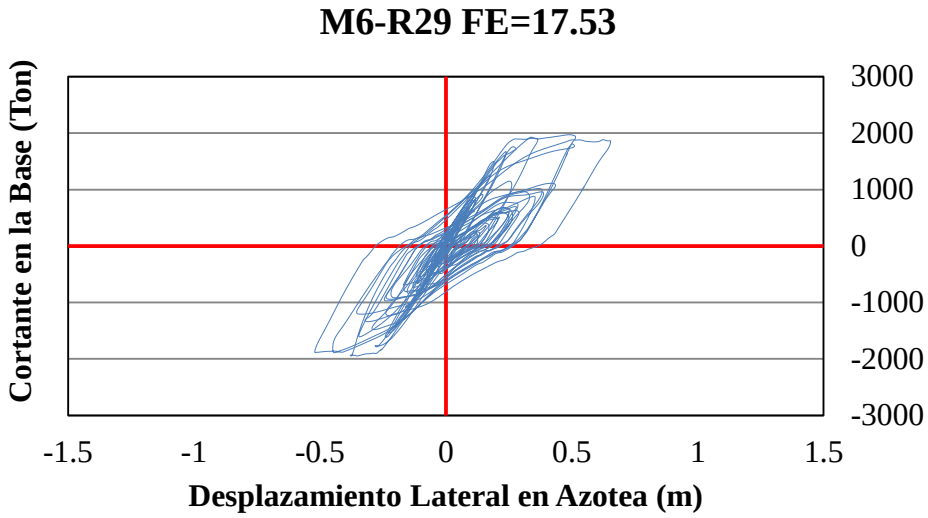
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.86**	**8 834.73**	**0.038**	**-0.9918**

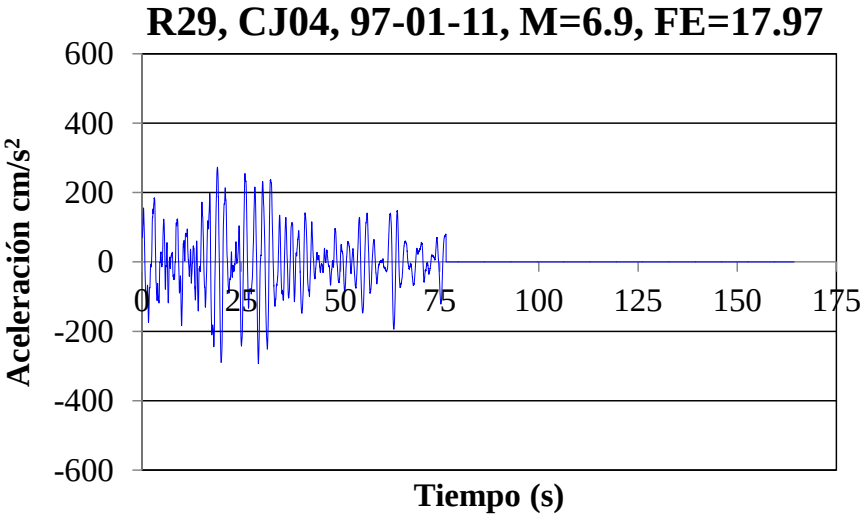
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6636	17.53	33.0100	0.6539	1855.449	2 837.51	0.6788	0.029
0.6804	17.97	33.0700	0.6794	1774.445	2 611.78	0.7044	0.004
0.6815	18.00	33.0800	0.6776	1772.190	2 615.39	0.7040	0.002
0.7004	18.50	33.1400	0.6846	1679.950	2 453.91	0.7222	-0.025
0.7194	19.00	32.1200	0.7318	-1621.372	2 215.59	0.7492	-0.052
0.7383	19.50	32.1600	0.7894	-1477.298	1 871.42	0.7882	-0.078
0.7572	20.00	32.1900	0.8562	-1308.381	1 528.13	0.8270	-0.103
0.7762	20.50	32.2100	0.8970	-1087.543	1 212.42	0.8628	-0.128
0.7951	21.00	64.3200	1.1722	-758.820	0 647.35	0.9267	-0.152
0.8140	21.50	32.3400	1.2099	-941.150	0 777.87	0.9120	-0.175
0.8254	21.80	76.1100	1.3244	-739.360	0 558.26	0.9368	-0.189
0.8330	22.00	76.6000	1.5730	-162.914	0 103.57	0.9883	-0.198
0.8367	22.10	76.6000	1.7472	-63.414	0 036.29	0.9959	-0.203
0.8405	22.20	76.6000	1.7010	-86.588	0 050.90	0.9942	-0.208
0.8443	22.30	76.6000	1.7643	-60.297	0 034.18	0.9961	-0.212
0.8481	22.40	76.6000	1.7932	-57.726	0 032.19	0.9964	-0.216
0.8519	22.50	76.6000	1.8094	-68.268	0 037.73	0.9957	-0.221
0.8538	22.55	69.9700	123.1553	0.000	0 000.00	1.0000	-0.223

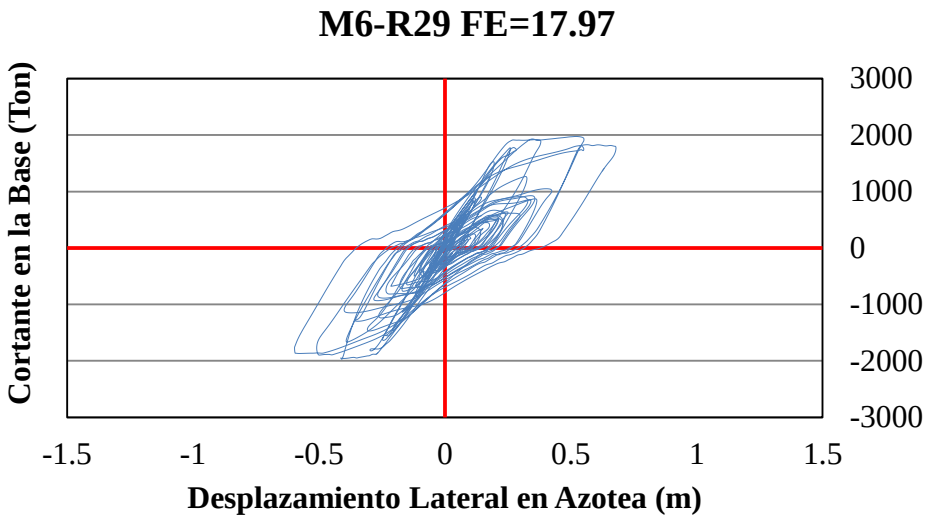

M6-R29 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.9918
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

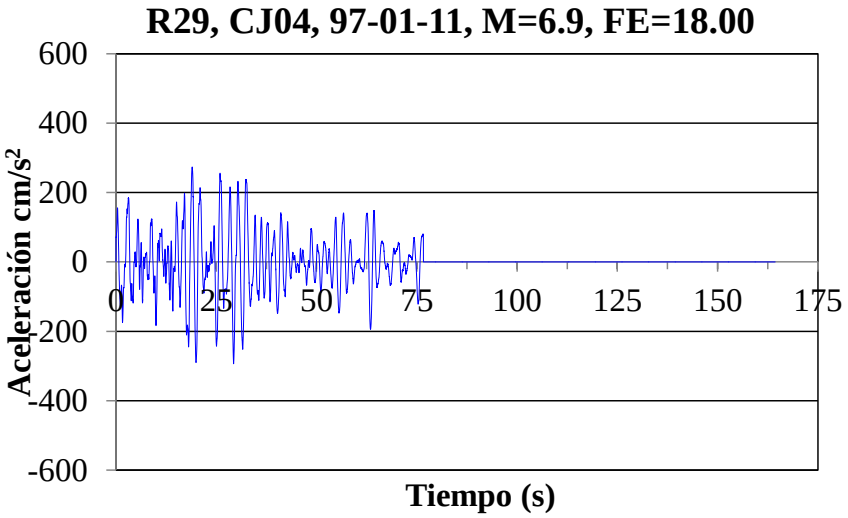

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

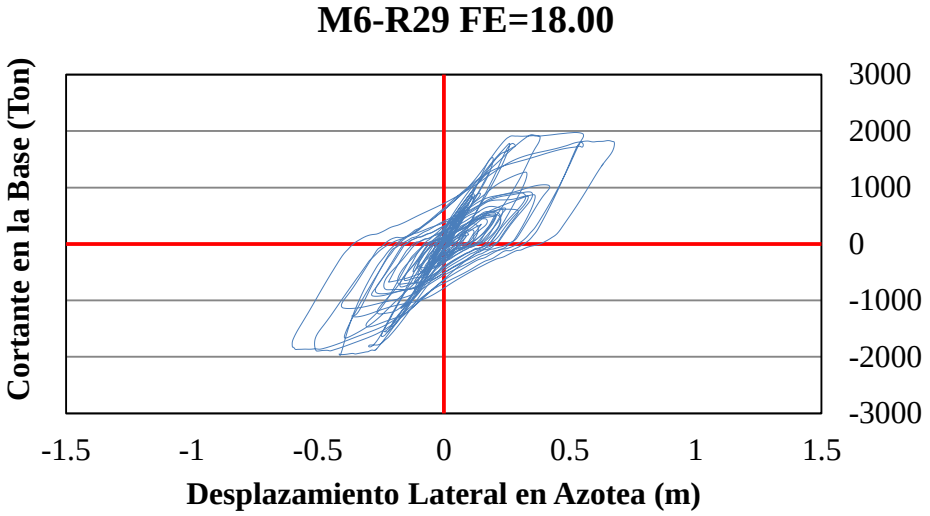

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=17.53
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

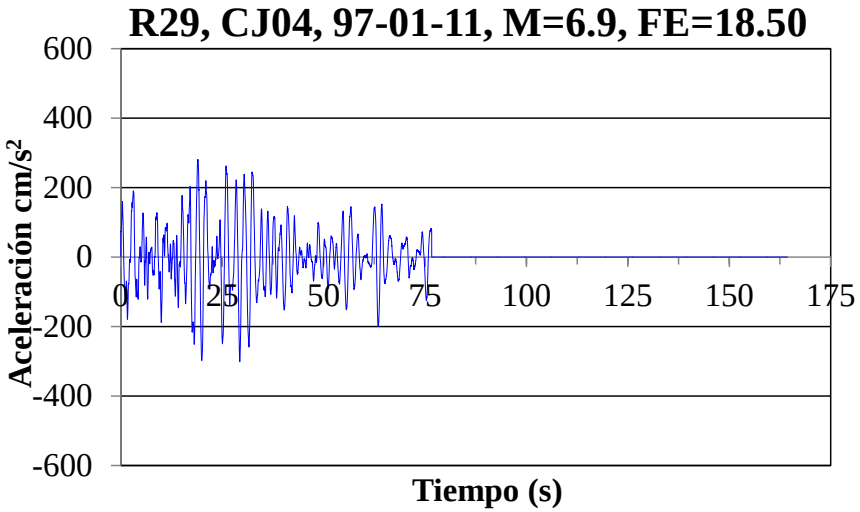

M6-R29 FE=17.53
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

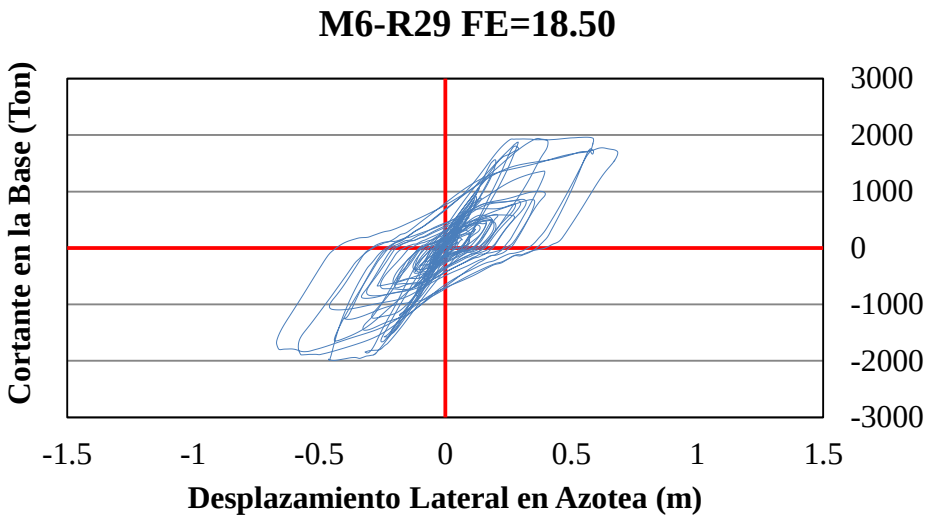

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=17.97
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

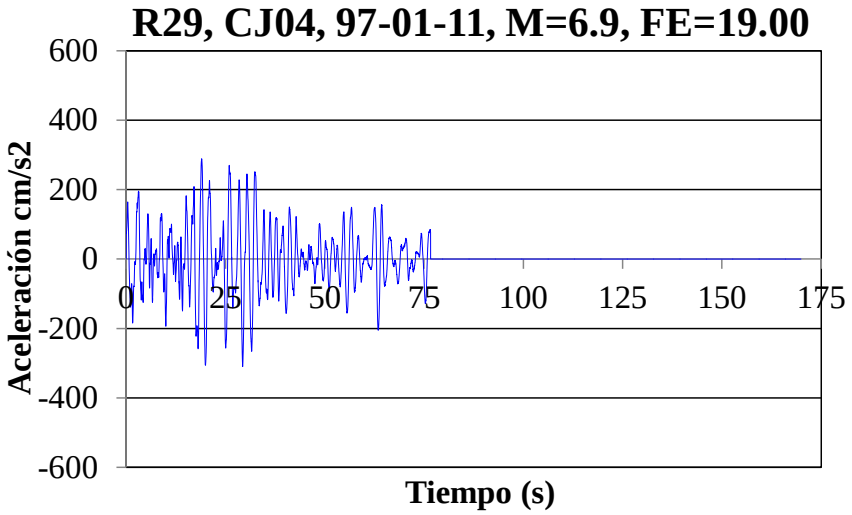

M6-R29 FE=17.97
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

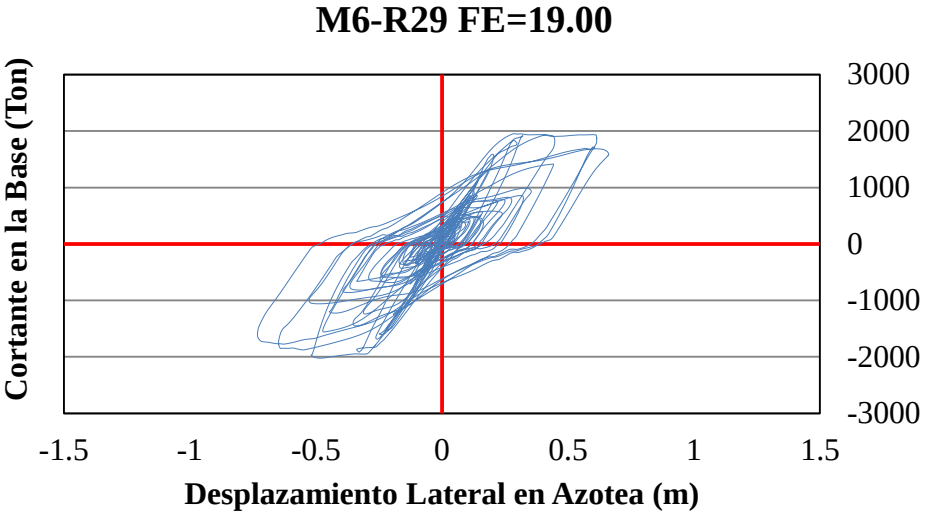

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=18.00
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

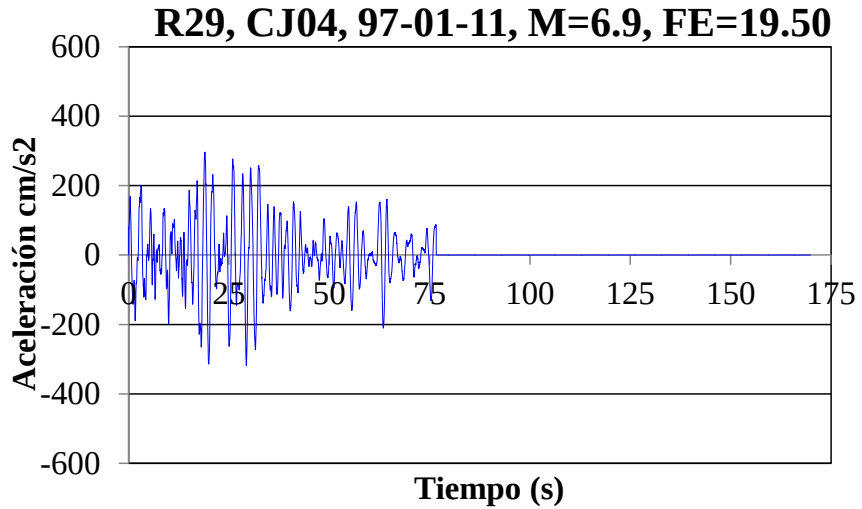

M6-R29 FE=18.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

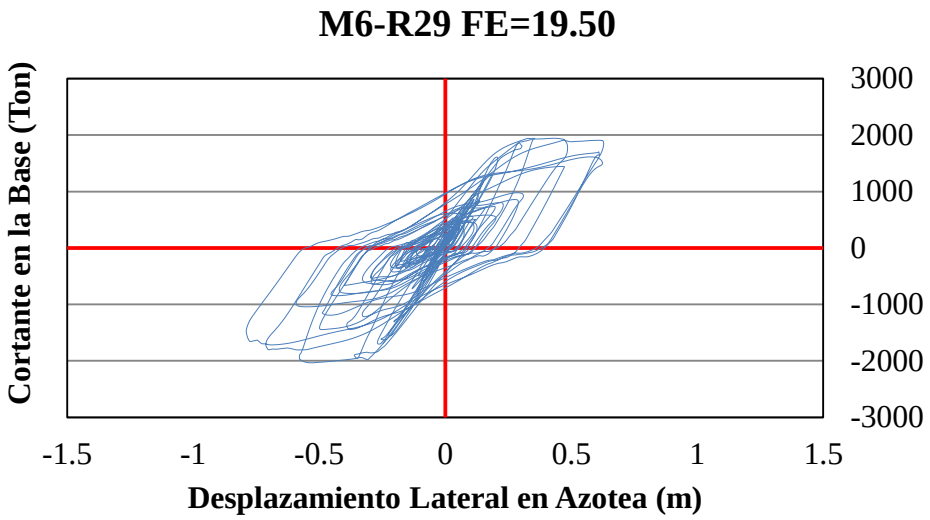

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=18.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

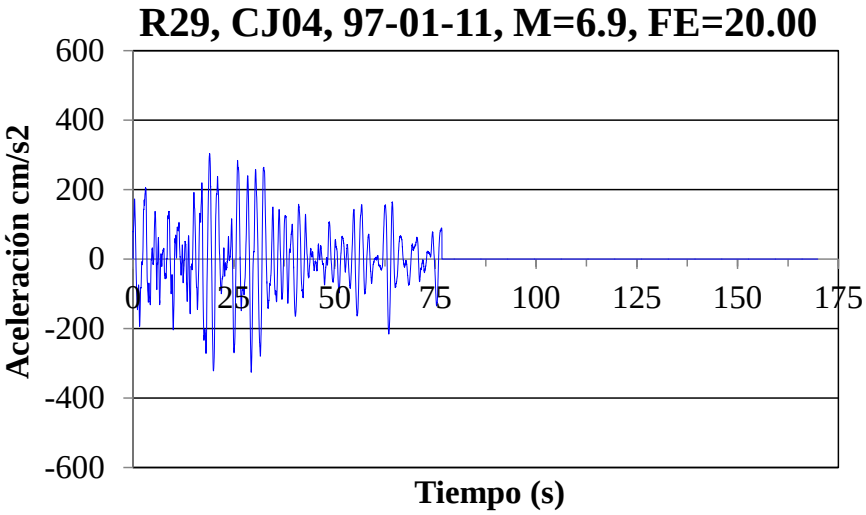

M6-R29 FE=18.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

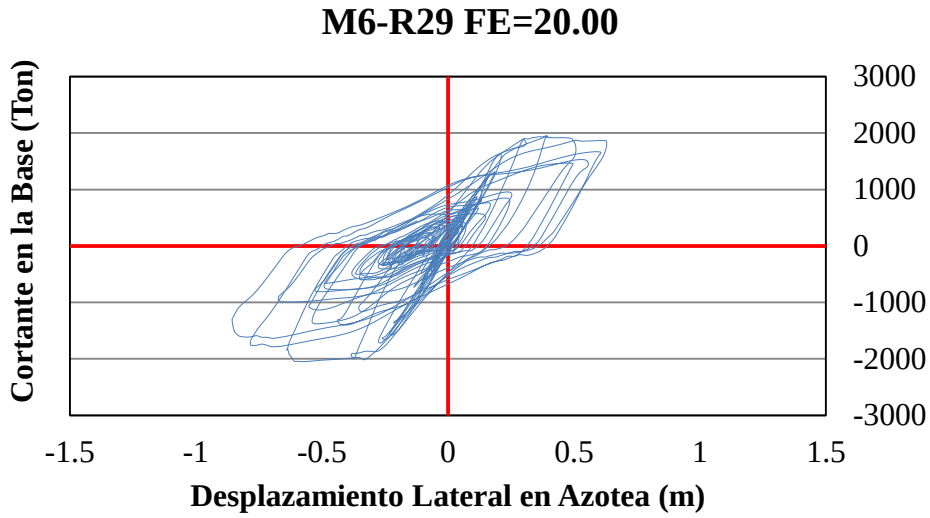

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=19.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

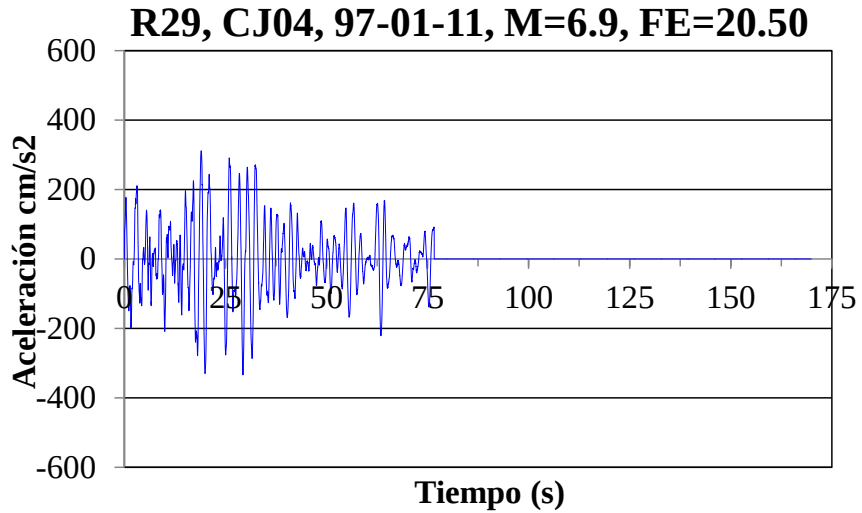

M6-R29 FE=19.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

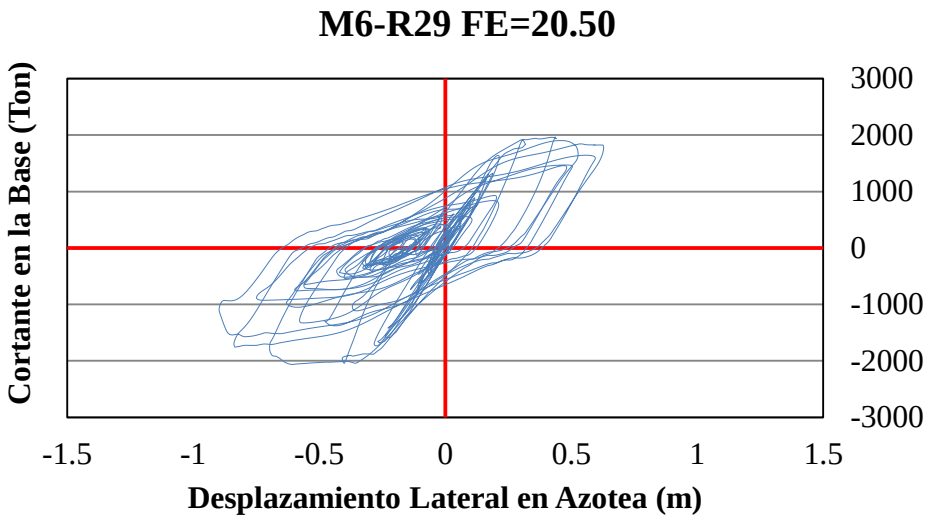

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=19.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

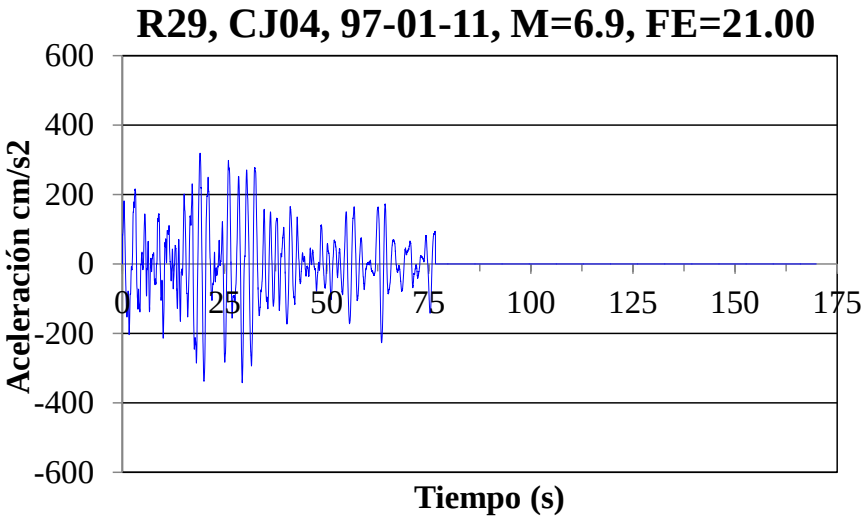

M6-R29 FE=19.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

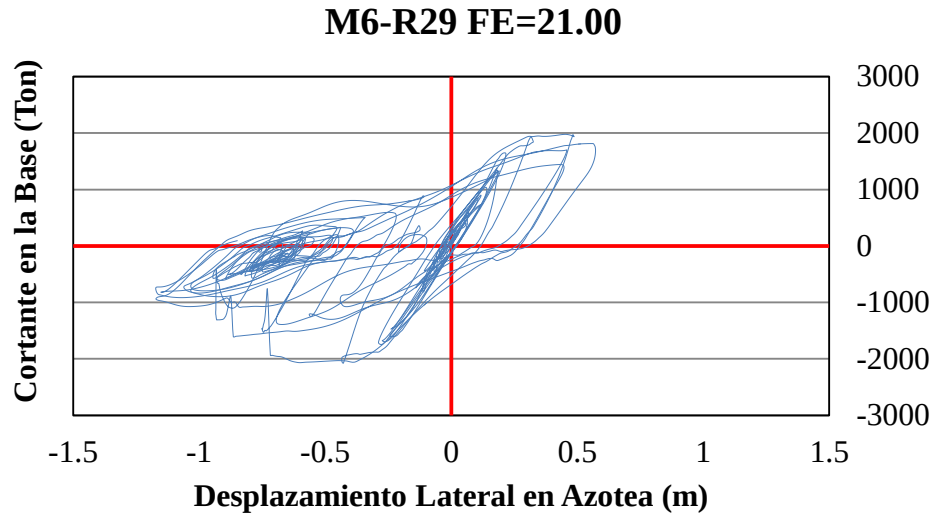

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=20.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

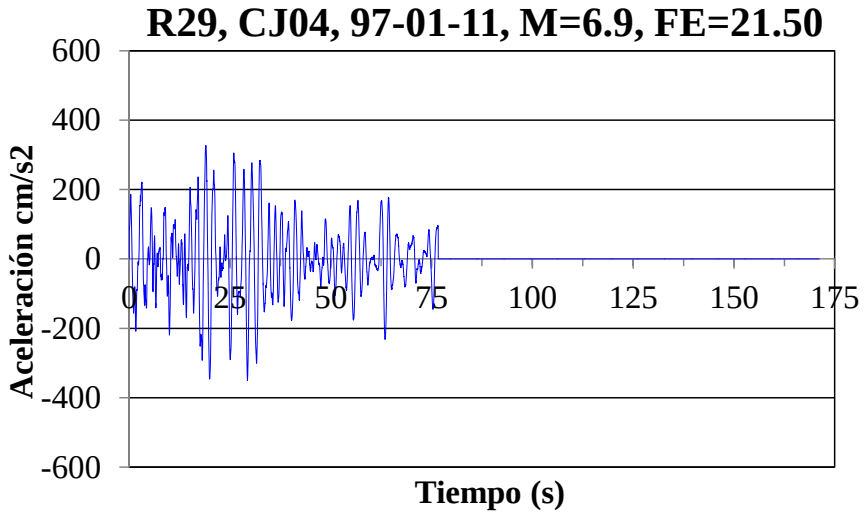

M6-R29 FE=20.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

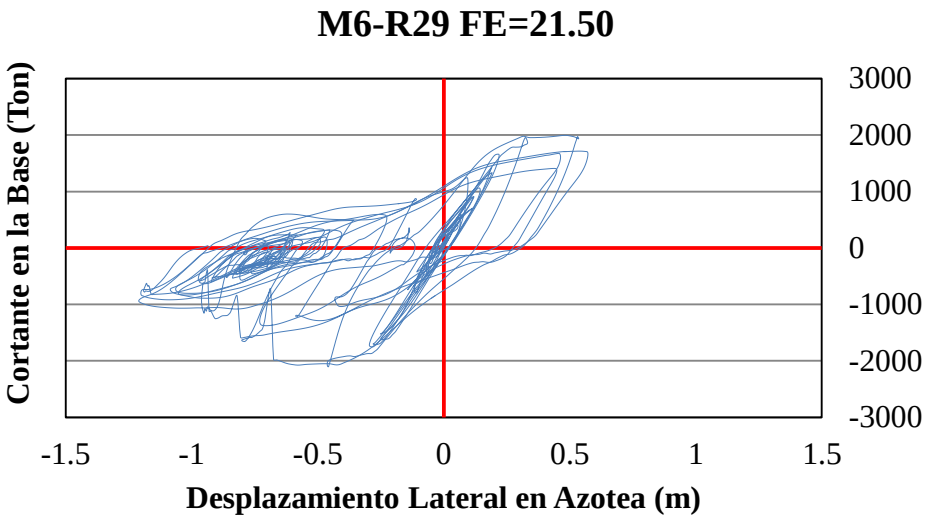

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=20.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

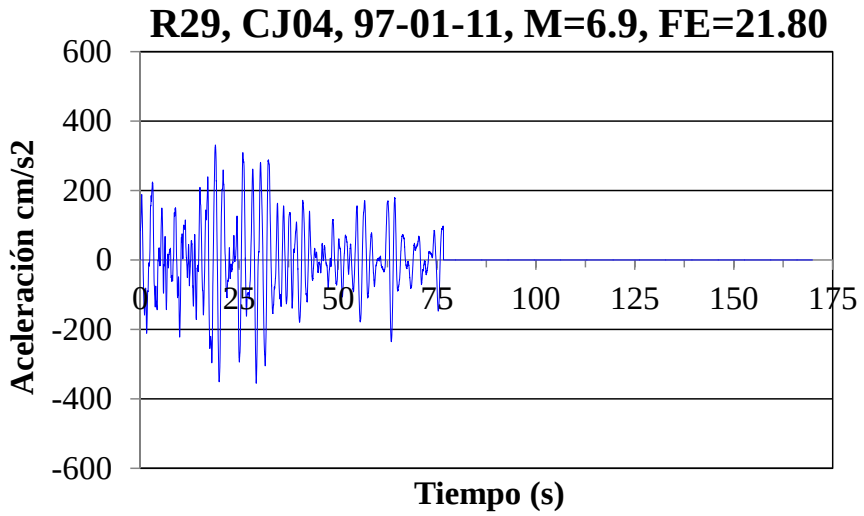

M6-R29 FE=20.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

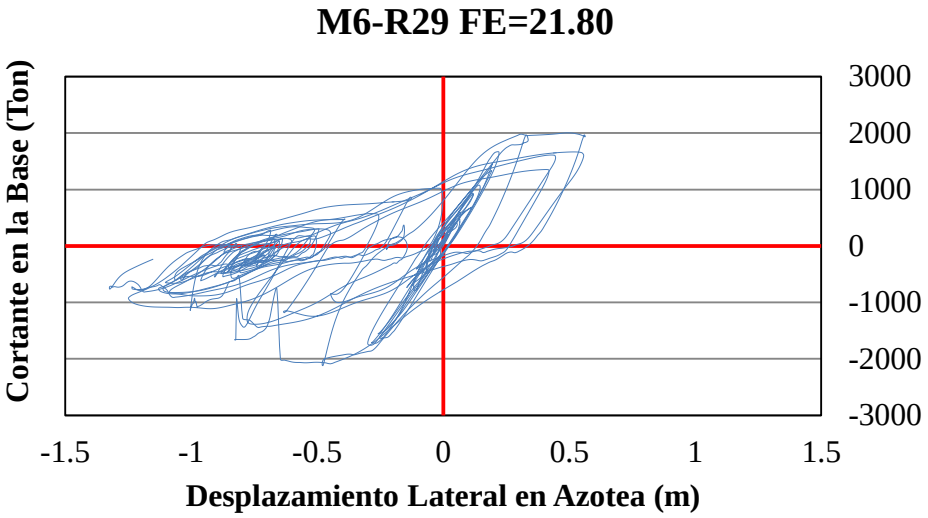

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

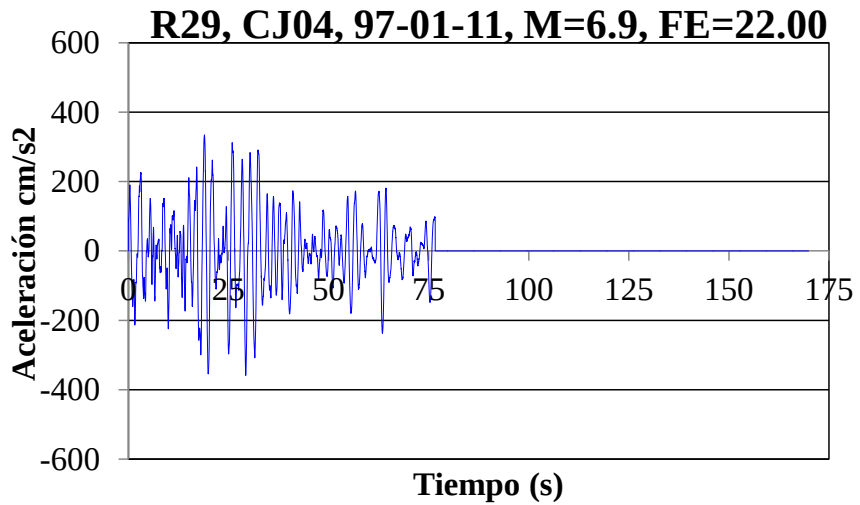

M6-R29 FE=21.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

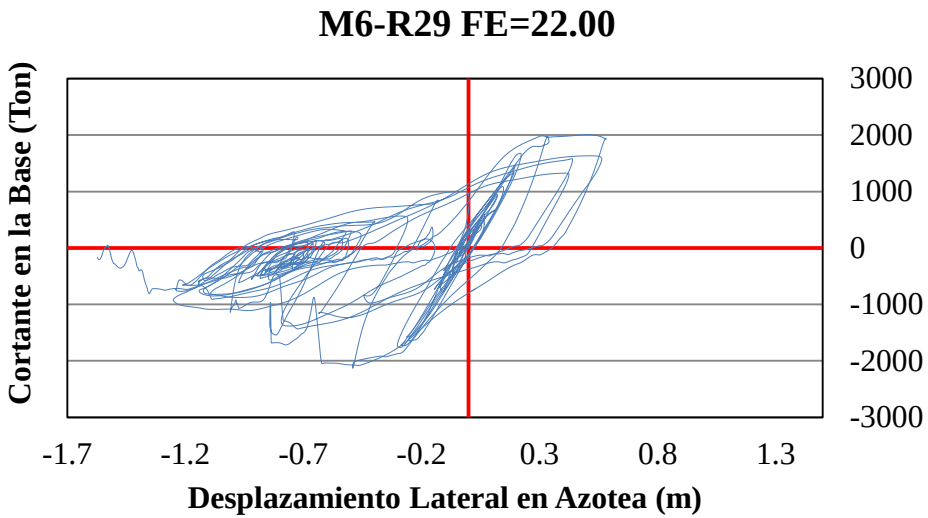

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

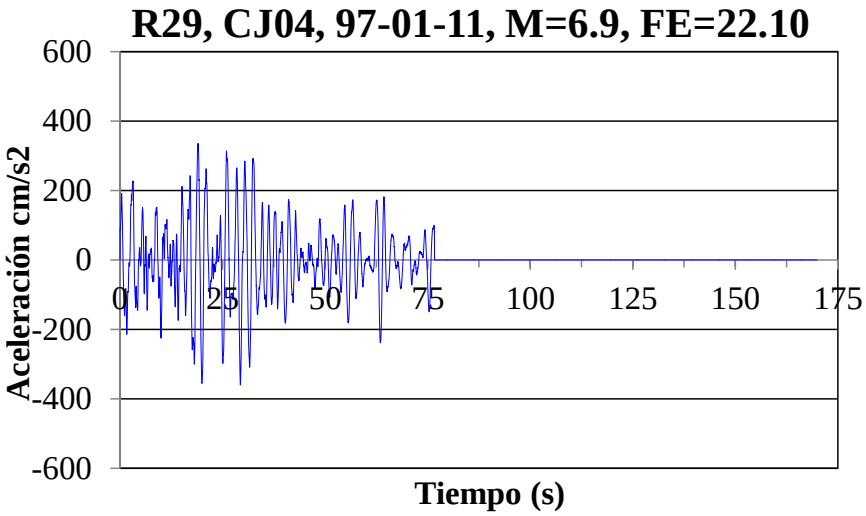

M6-R29 FE=21.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

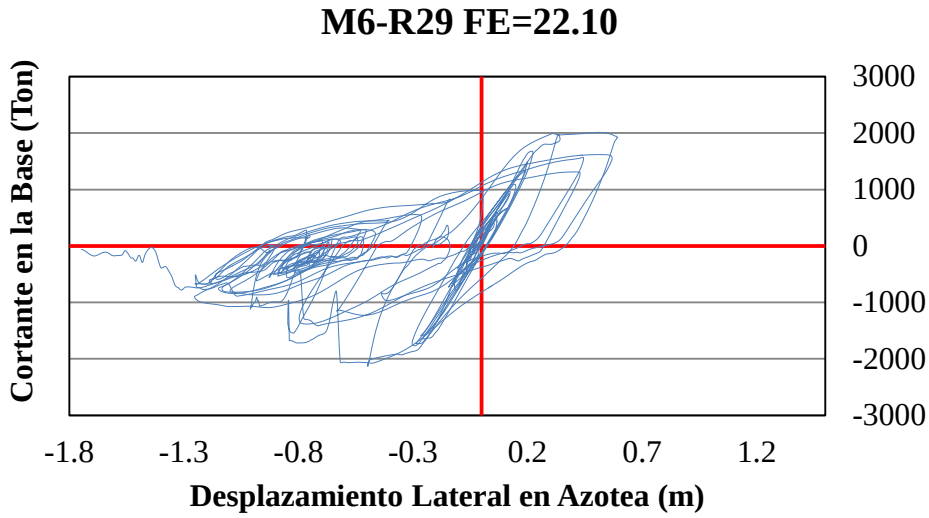

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=21.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

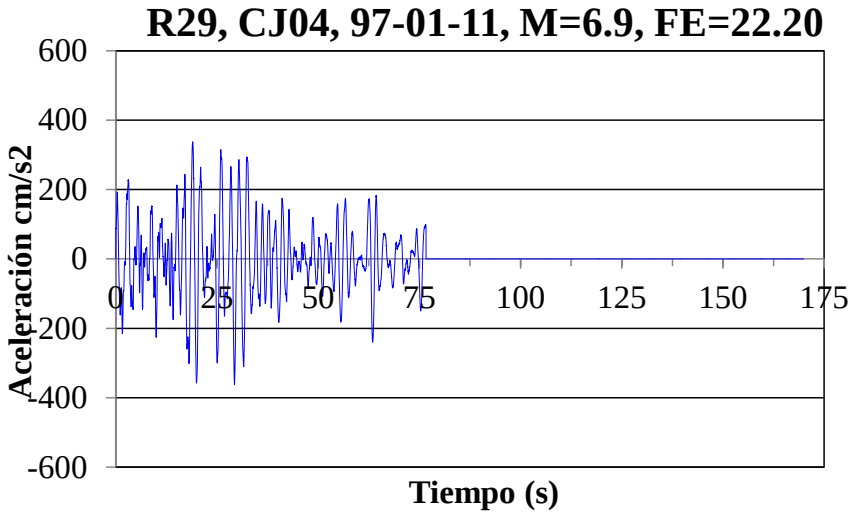

M6-R29 FE=21.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

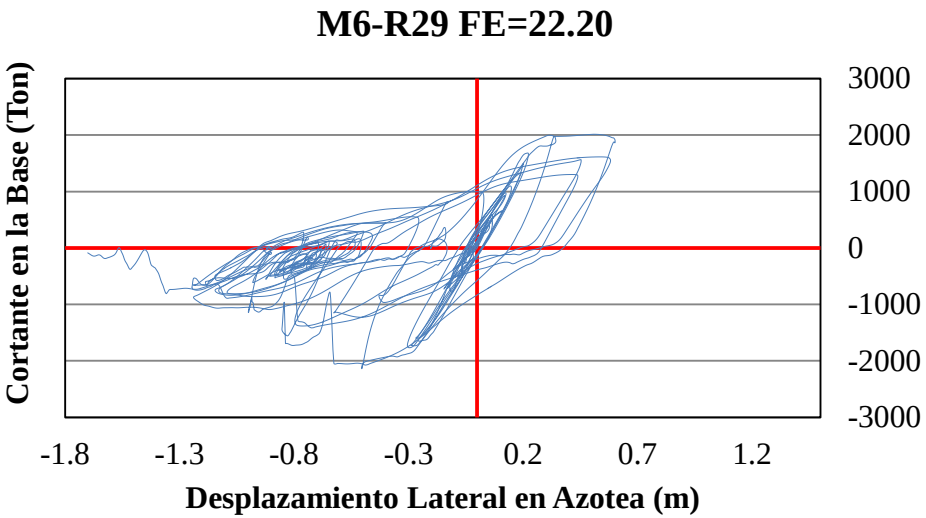

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

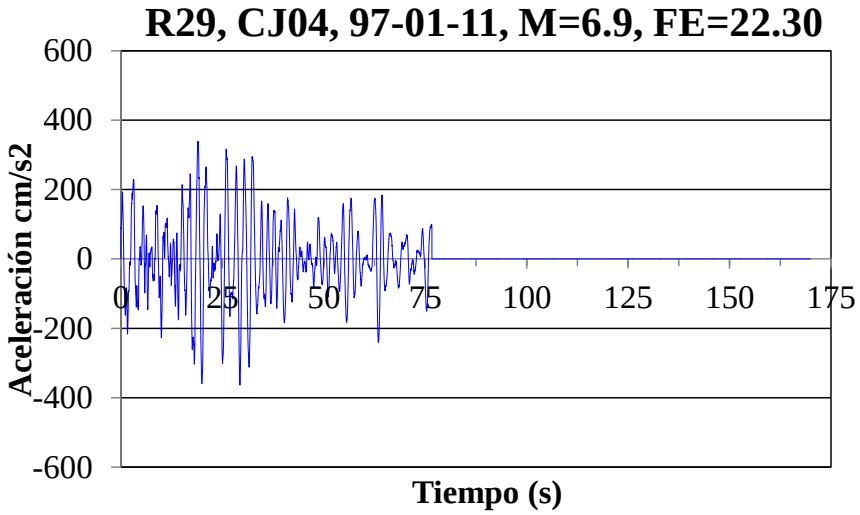

M6-R29 FE=22.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.7
-1.2
-0.7
-0.2
0.3
0.8
1.3
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

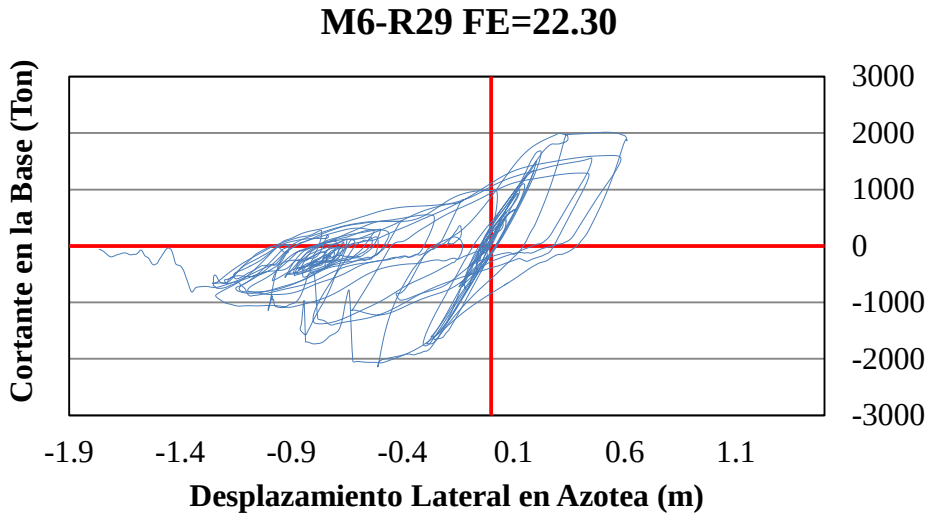

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.10
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

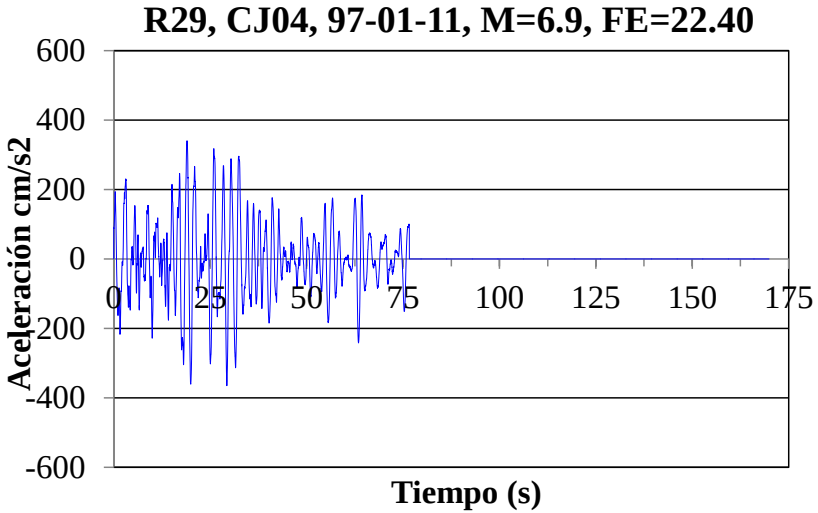

M6-R29 FE=22.10
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.8
-1.3
-0.8
-0.3
0.2
0.7
1.2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

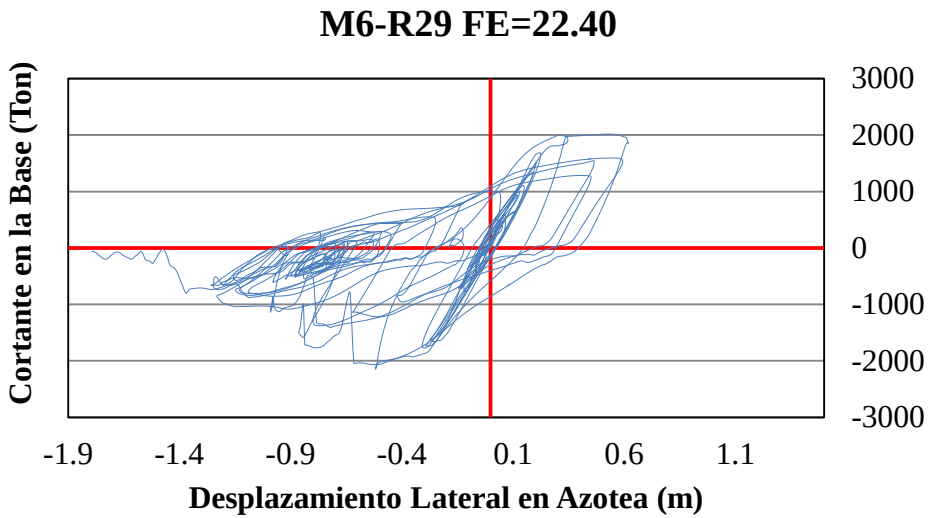

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

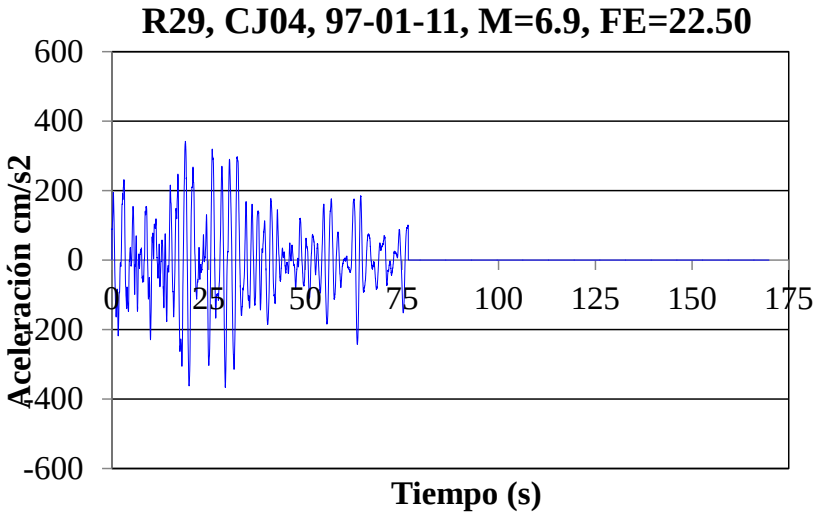

M6-R29 FE=22.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.8
-1.3
-0.8
-0.3
0.2
0.7
1.2
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

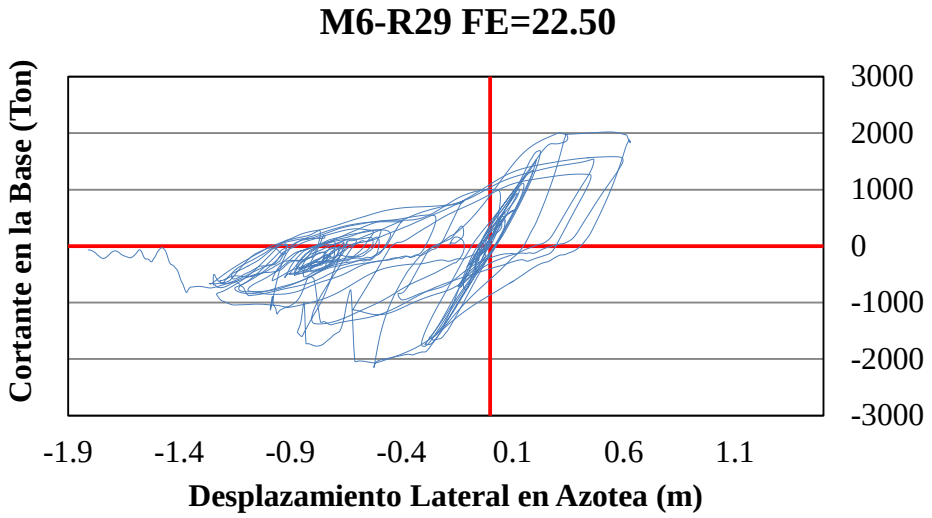

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

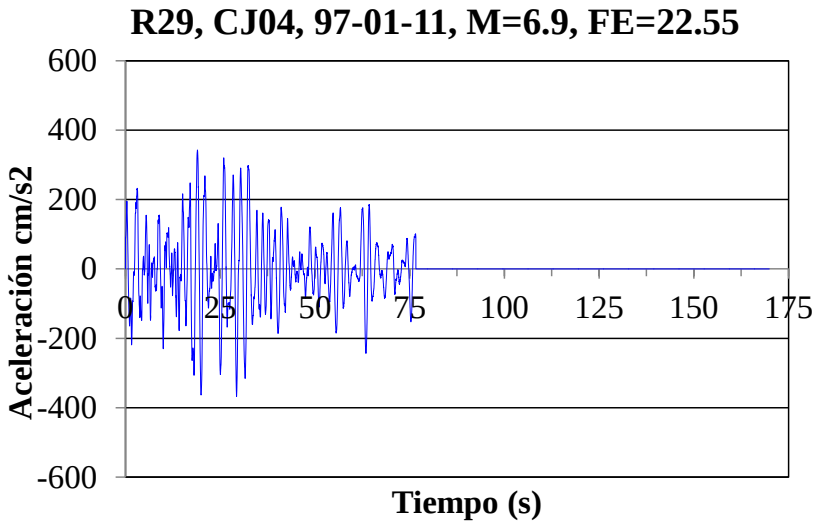

M6-R29 FE=22.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.9
-1.4
-0.9
-0.4
0.1
0.6
1.1
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

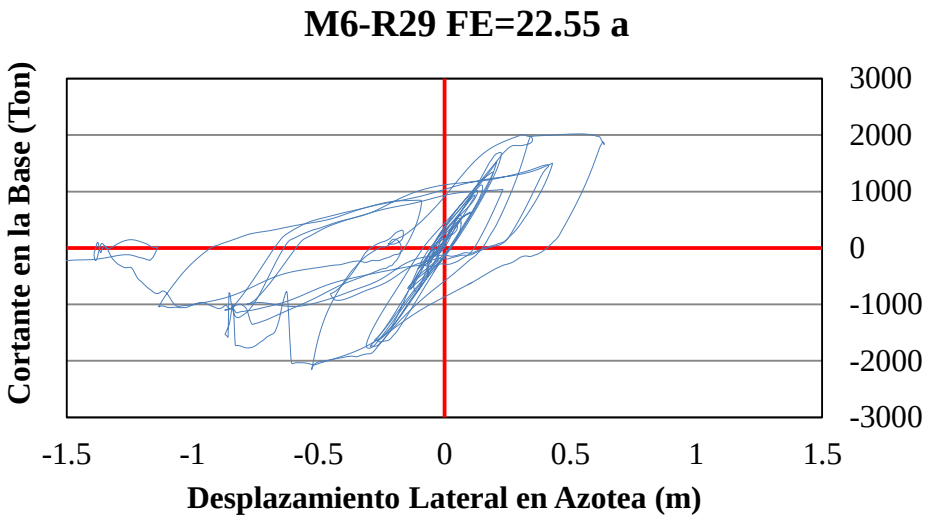

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.40
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

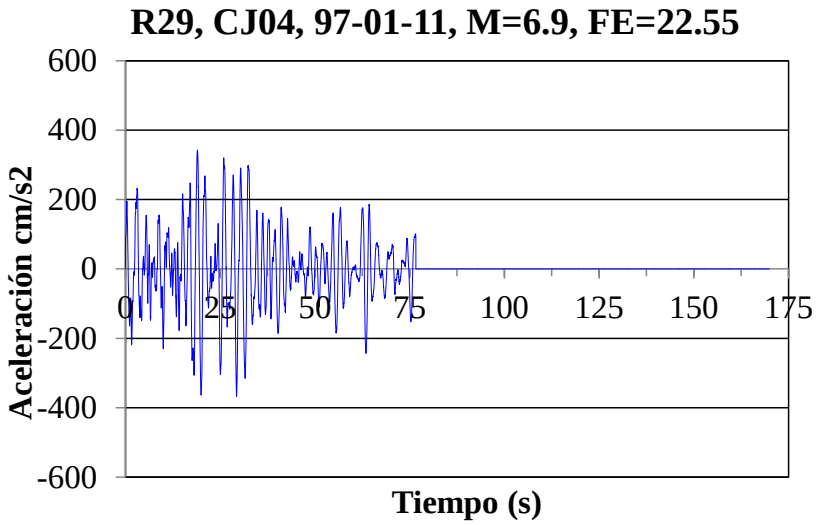

M6-R29 FE=22.40
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.9
-1.4
-0.9
-0.4
0.1
0.6
1.1
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

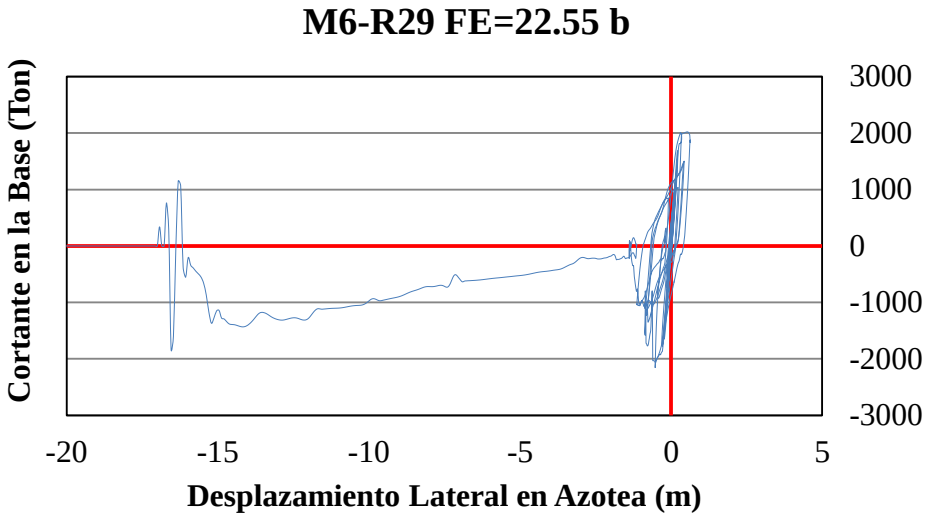

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.50
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

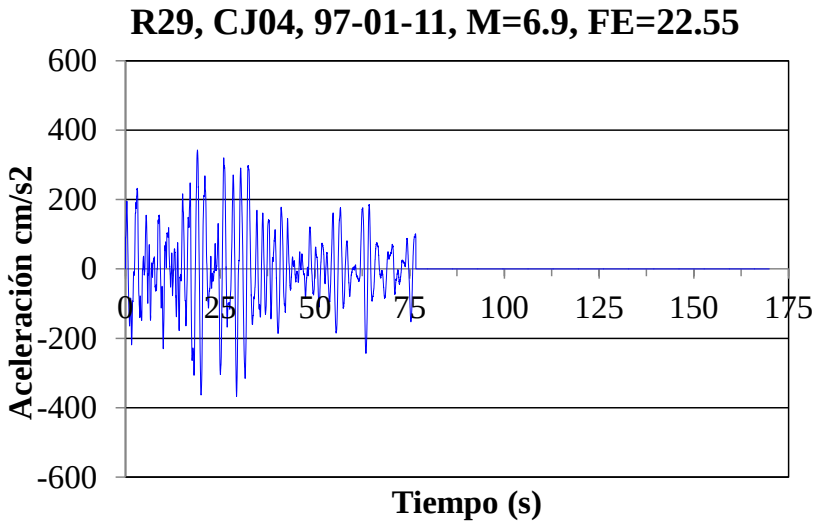

M6-R29 FE=22.50
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.9
-1.4
-0.9
-0.4
0.1
0.6
1.1
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

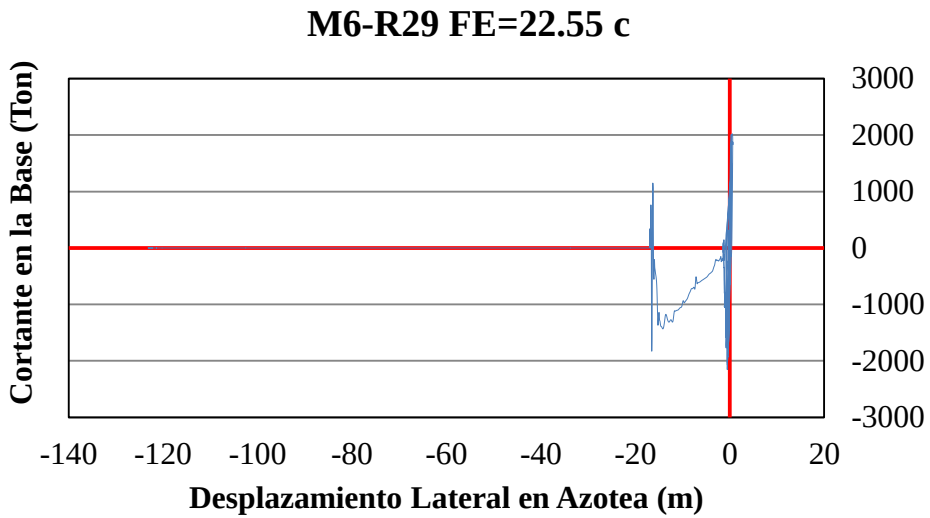

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R29 FE=22.55 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R29 FE=22.55 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-20
-15
-10
-5
0
5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

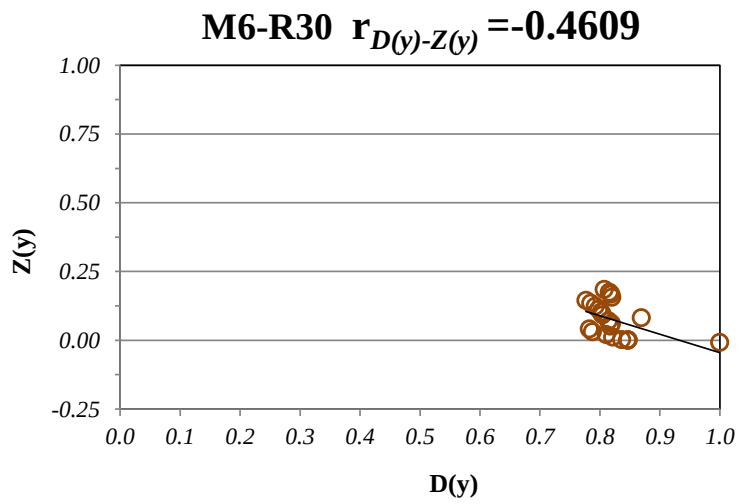

R29, CJ04, 97-01-11, M=6.9, FE=22.55
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

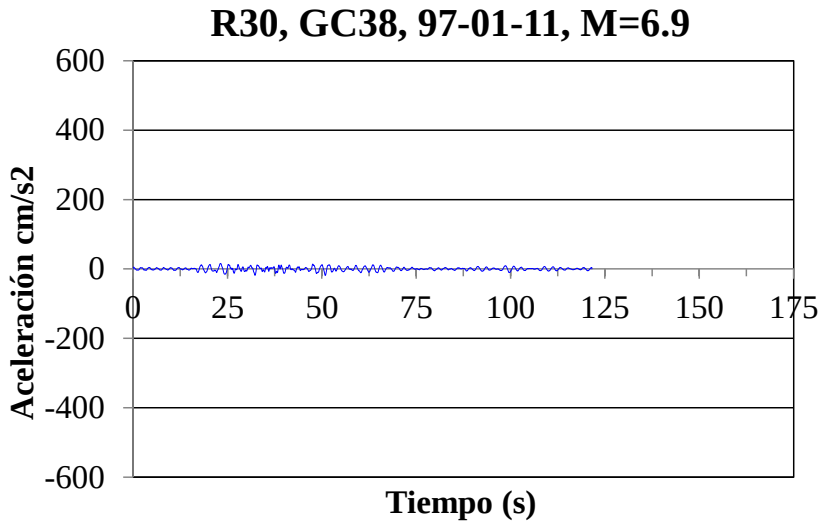

M6-R29 FE=22.55 c
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-140
-120
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

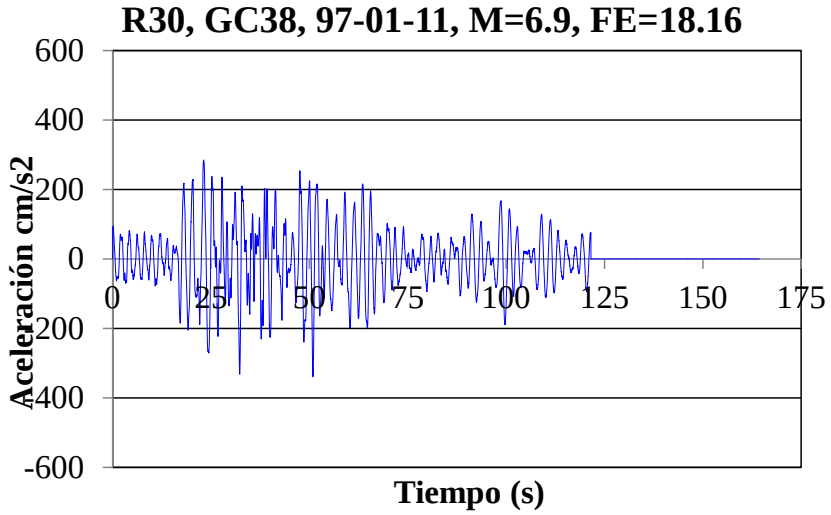
M6-R30

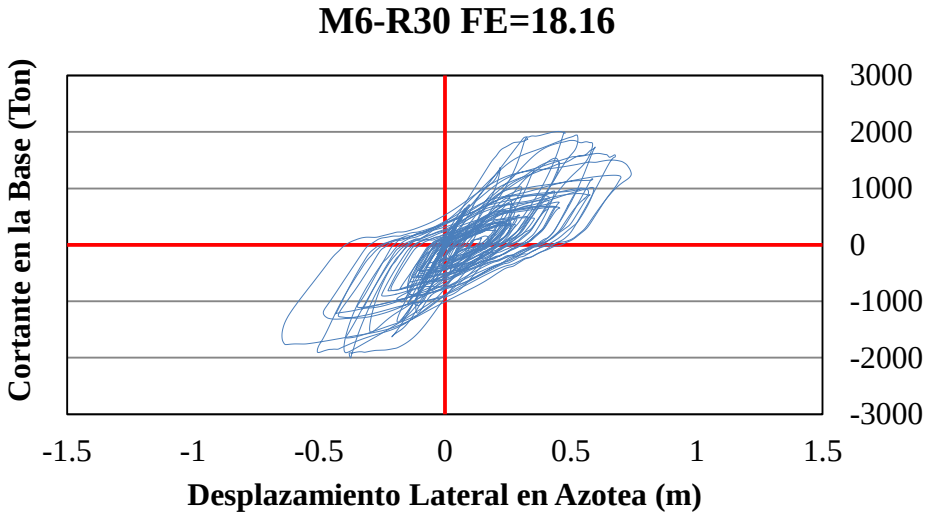
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**8 834.73**	**0.037**	**-0.4609**

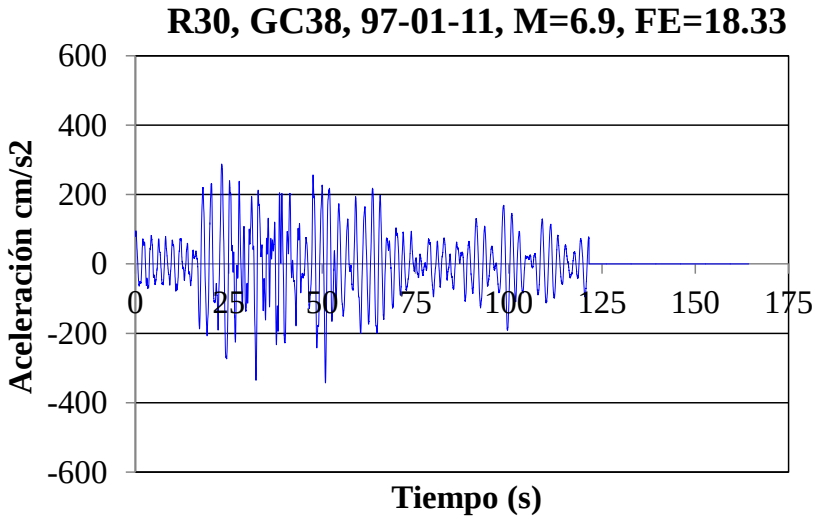
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6661	18.16	52.5600	0.7402	1259.470	1 701.53	0.8074	0.025
0.6725	18.33	52.5800	0.7420	1208.294	1 628.43	0.8157	0.015
0.6773	18.46	52.5900	0.7393	1186.131	1 604.40	0.8184	0.008
0.6849	18.67	52.6000	0.7364	1171.542	1 590.90	0.8199	-0.003
0.6926	18.88	50.5400	0.7417	1462.518	1 971.85	0.7768	-0.014
0.7002	19.08	50.5600	0.7547	1434.794	1 901.14	0.7848	-0.025
0.7078	19.29	50.5800	0.7641	1401.985	1 834.82	0.7923	-0.036
0.7155	19.50	50.6000	0.7681	1370.948	1 784.86	0.7980	-0.046
0.7231	19.71	50.6100	0.7683	1344.518	1 749.99	0.8019	-0.057
0.7308	19.92	50.6200	0.7729	1336.383	1 729.05	0.8043	-0.068
0.7384	20.13	99.3300	0.8587	992.992	1 156.39	0.8691	-0.078
0.7460	20.33	50.6400	0.7716	1264.941	1 639.37	0.8144	-0.088
0.7537	20.54	50.6600	0.7736	1233.221	1 594.13	0.8196	-0.098
0.7613	20.75	50.6600	0.7517	1210.784	1 610.73	0.8177	-0.109
0.7690	20.96	48.3800	0.7559	1454.139	1 923.72	0.7823	-0.119
0.7766	21.17	48.3900	0.7634	1432.647	1 876.67	0.7876	-0.128
0.7842	21.38	49.5900	0.7938	-1328.919	1 674.12	0.8105	-0.138
0.7919	21.58	49.6000	0.8239	-1300.991	1 579.06	0.8213	-0.148
0.7995	21.79	49.6100	0.8341	-1205.646	1 445.45	0.8364	-0.158
0.7998	21.80	49.6100	0.8399	-1136.140	1 352.71	0.8469	-0.158
0.8002	21.81	49.6100	0.8399	-1135.255	1 351.65	0.8470	-0.158
0.8006	21.82	49.6100	0.8409	-1139.583	1 355.19	0.8466	-0.159
0.8009	21.83	49.6100	0.8412	-1144.265	1 360.28	0.8460	-0.159
0.8072	22.00	121.5000	181.0846	-0.003	0 000.00	1.0000	-0.167

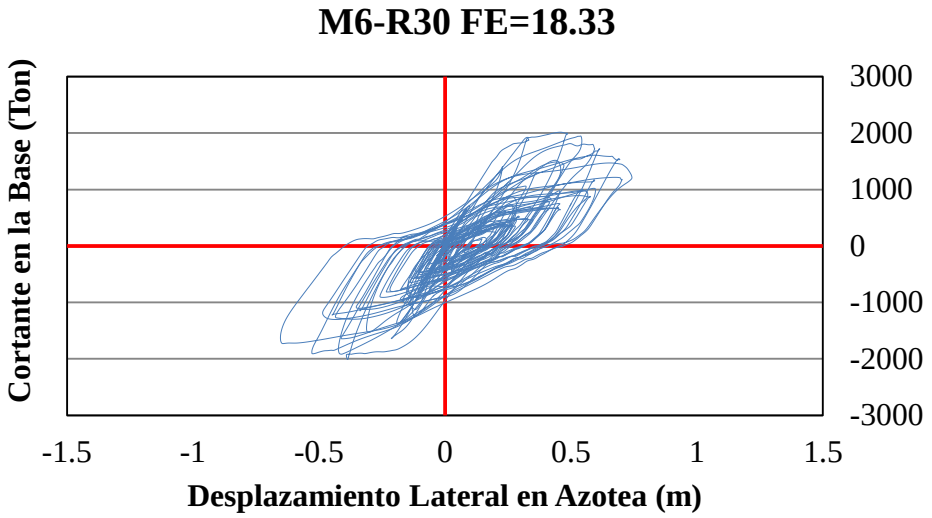

M6-R30 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.4609
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

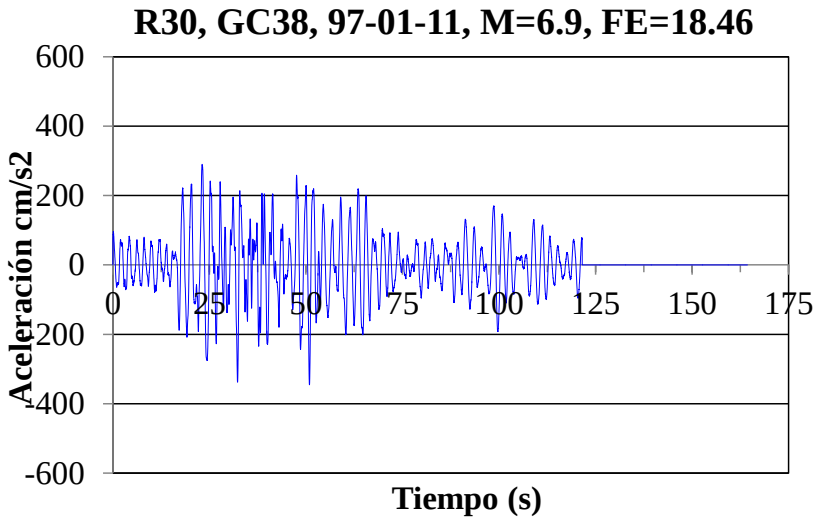

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

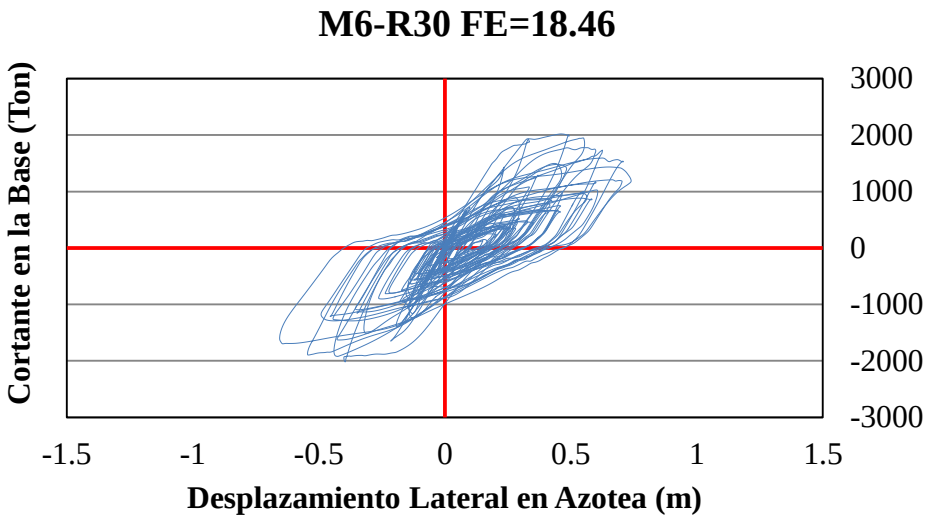

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=18.16
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

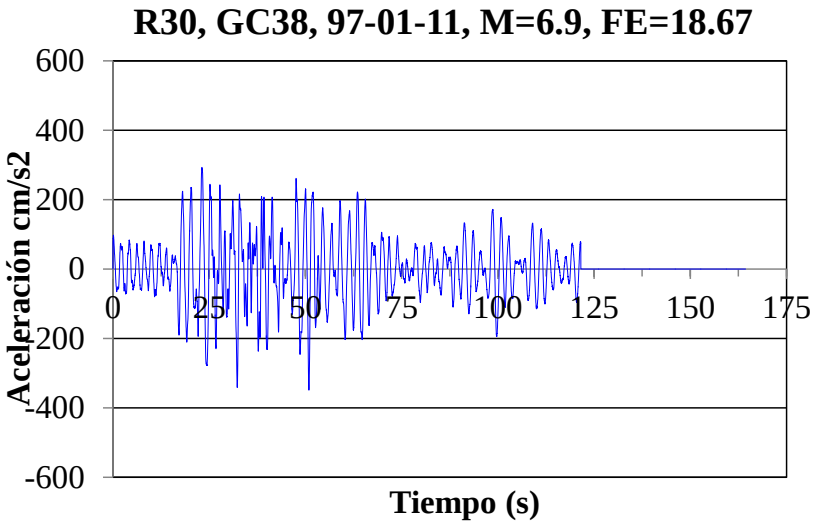

M6-R30 FE=18.16
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
Cortante en la Base (Ton)
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

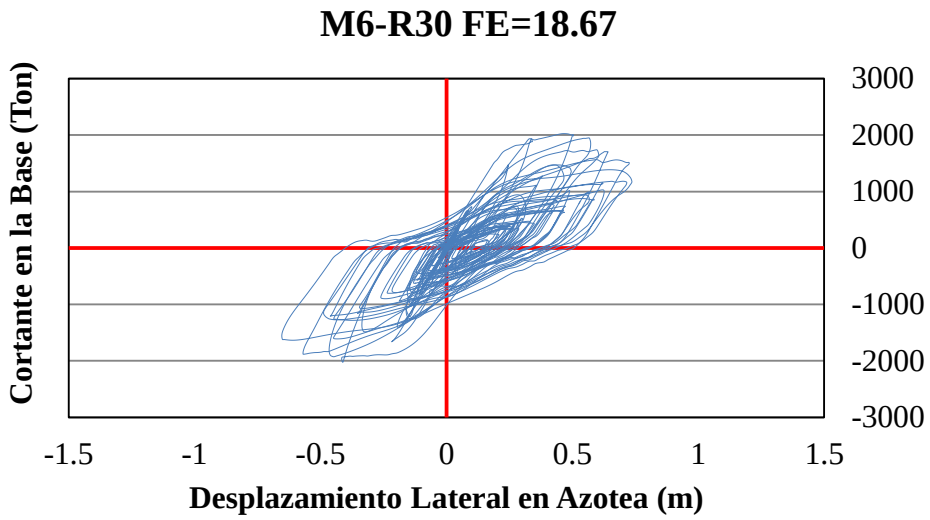

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=18.33
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

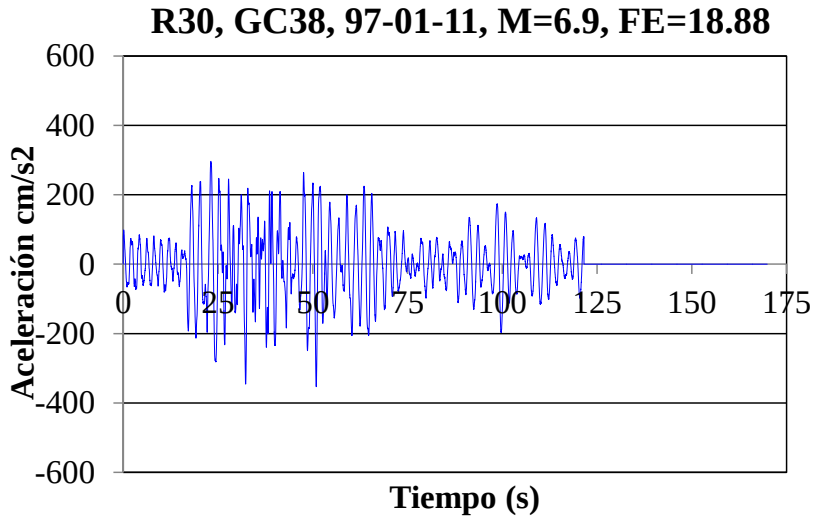

M6-R30 FE=18.33
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

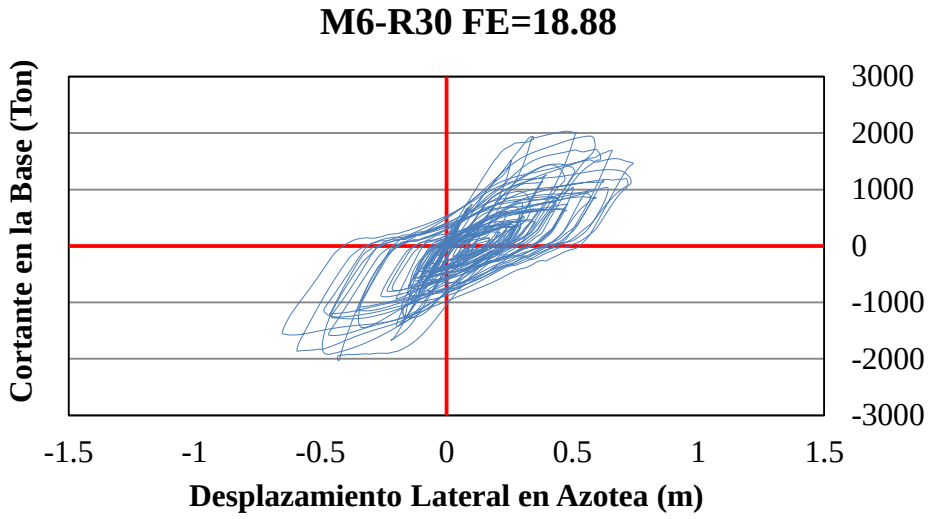

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=18.46
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

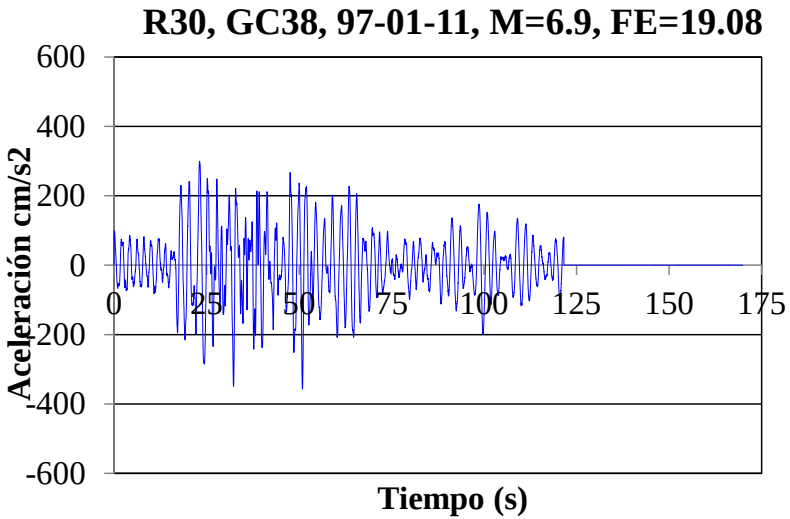

M6-R30 FE=18.46
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

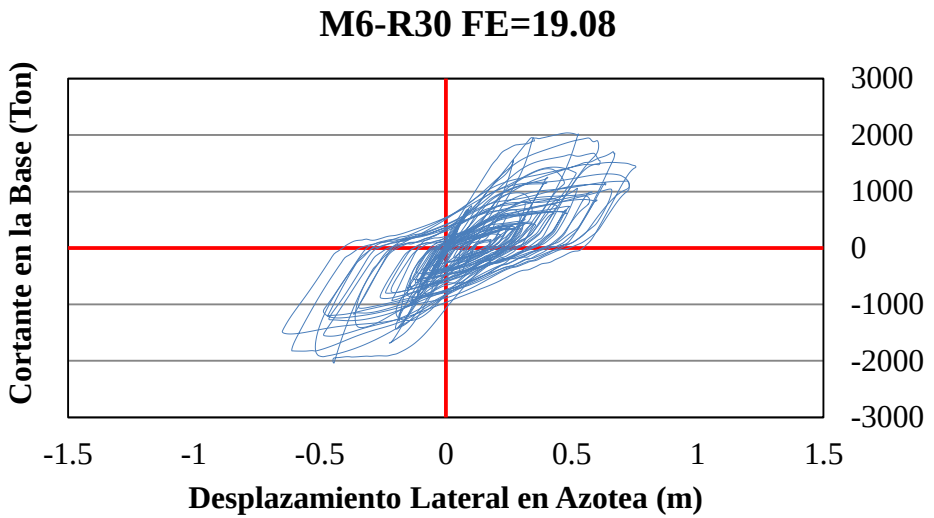

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=18.67
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

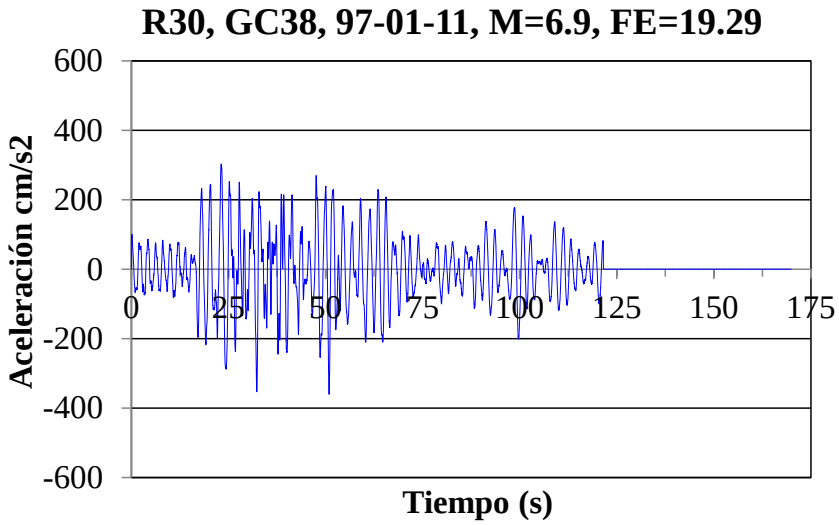

M6-R30 FE=18.67
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

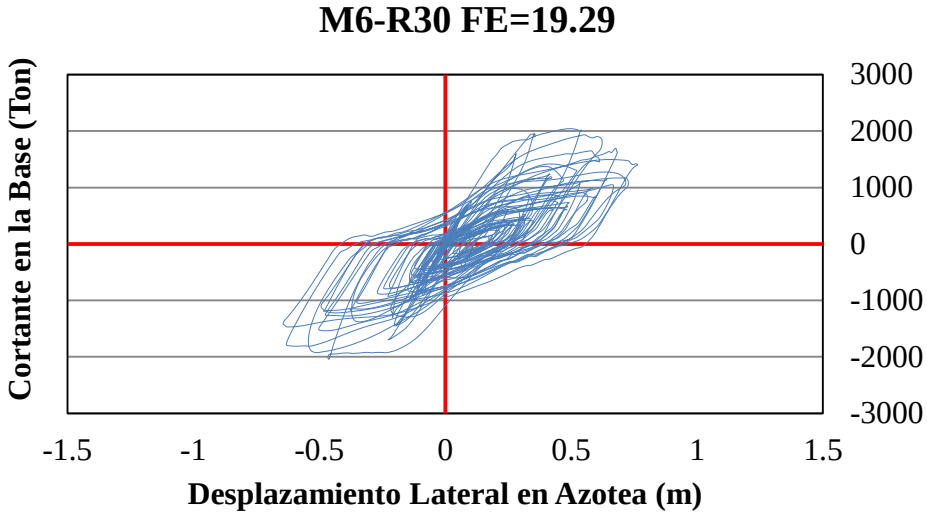

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=18.88
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

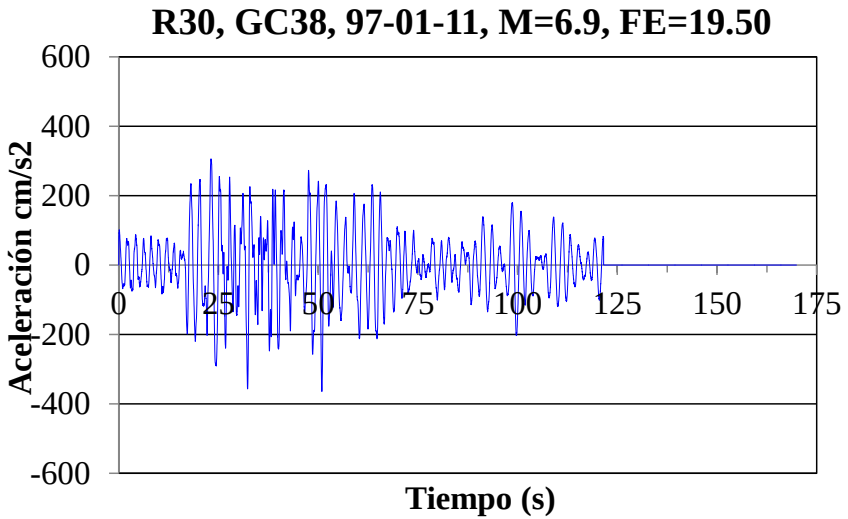

M6-R30 FE=18.88
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

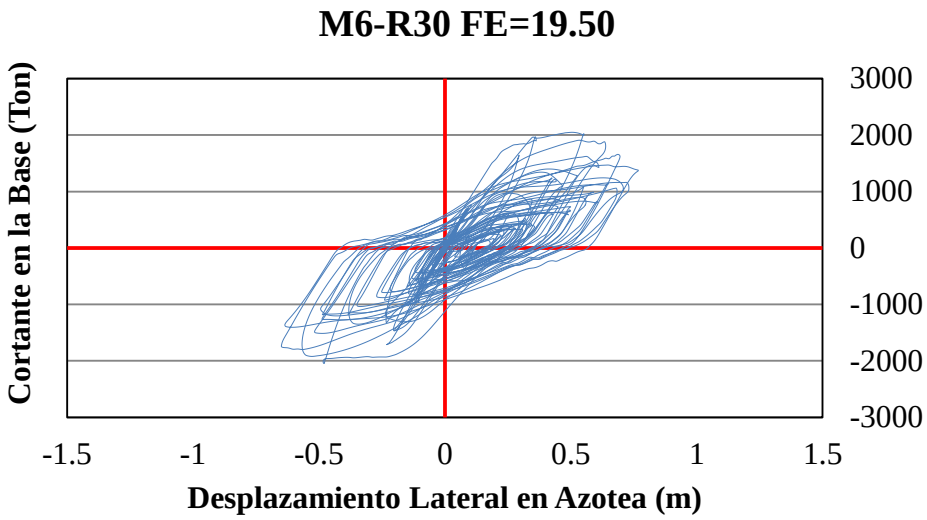

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=19.08
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

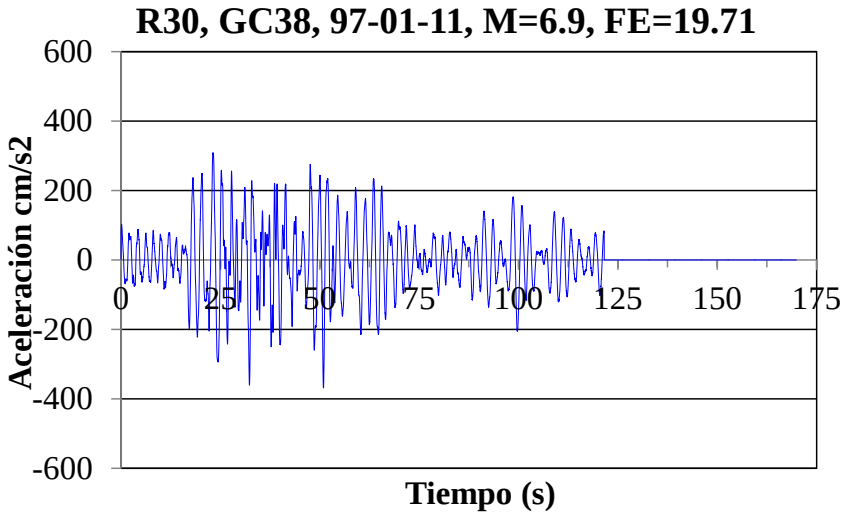

M6-R30 FE=19.08
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

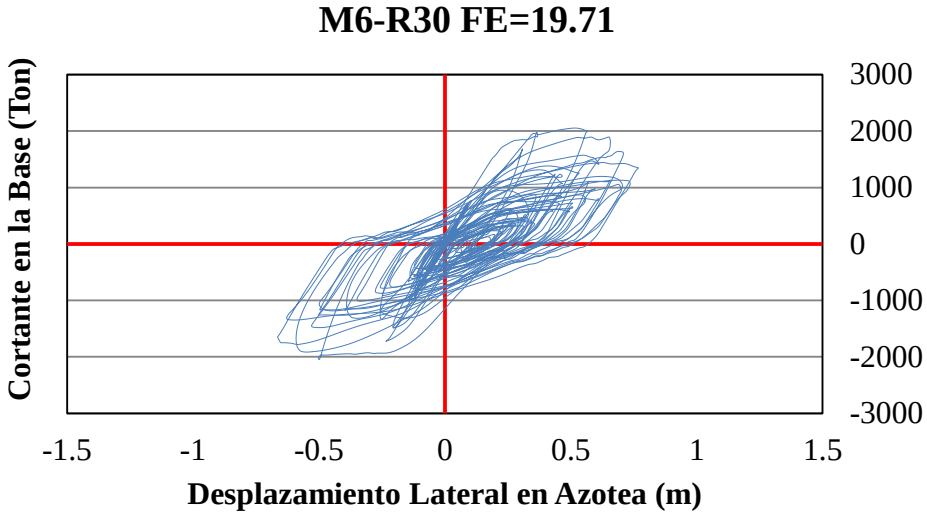

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=19.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

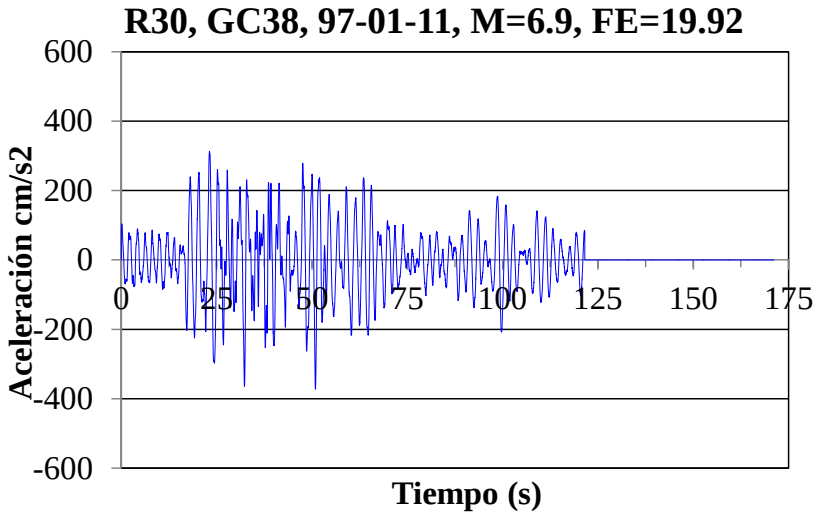

M6-R30 FE=19.29
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

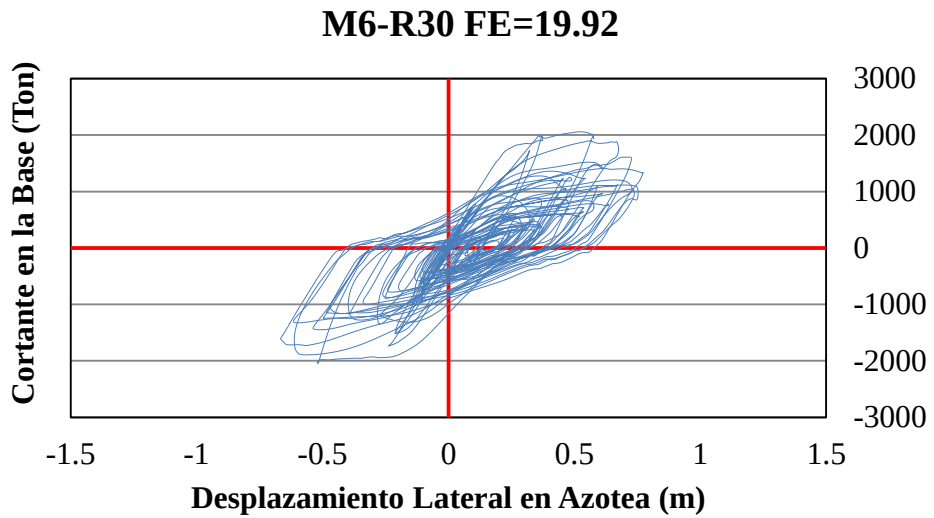

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=19.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

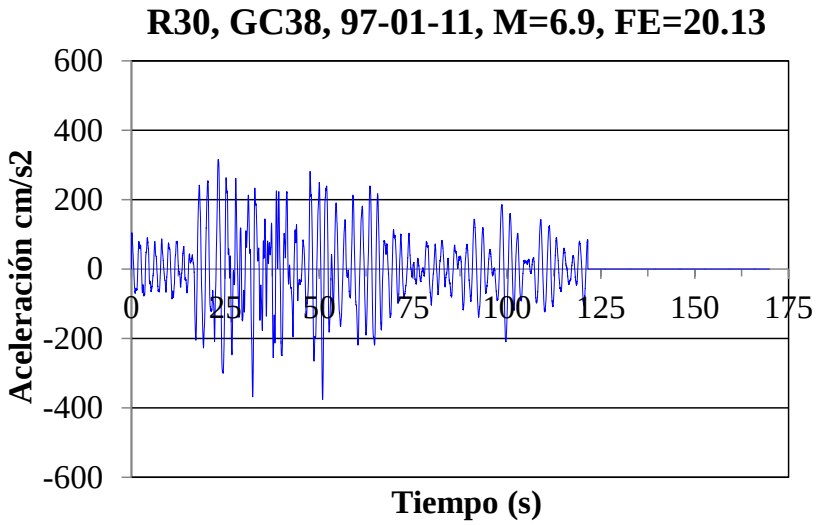

M6-R30 FE=19.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

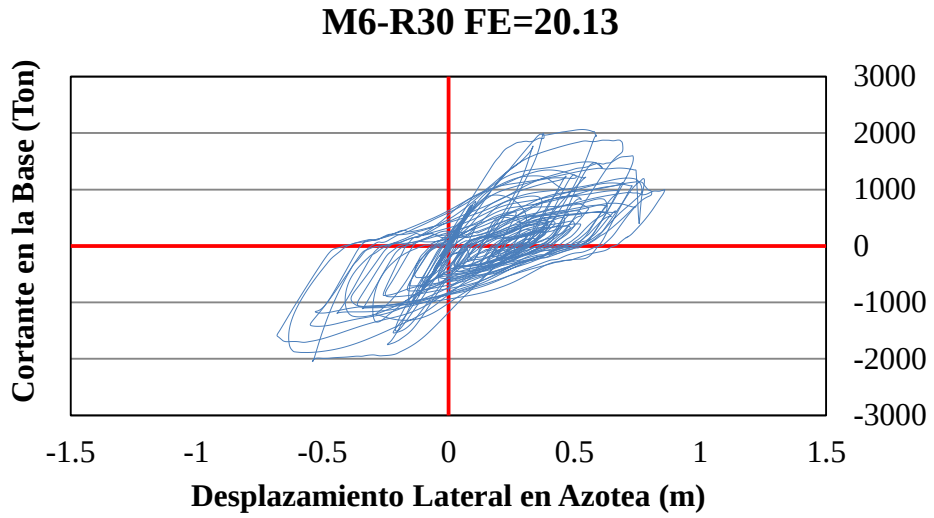

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=19.71
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

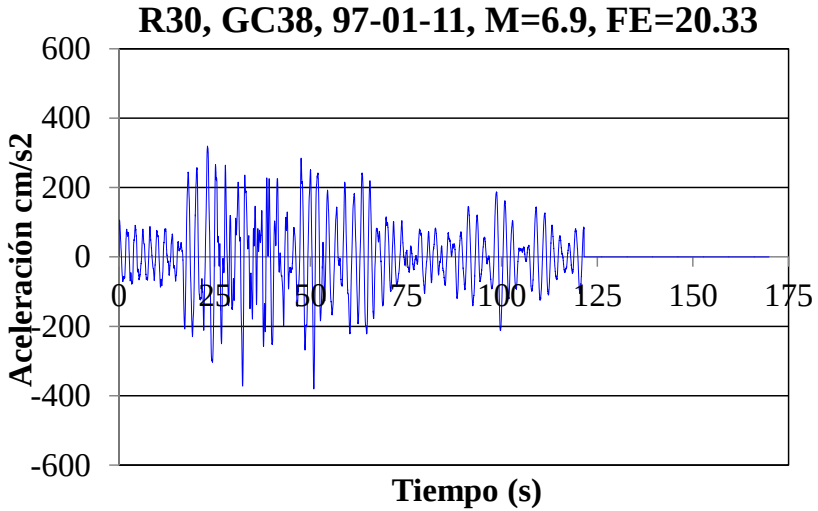

M6-R30 FE=19.71
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

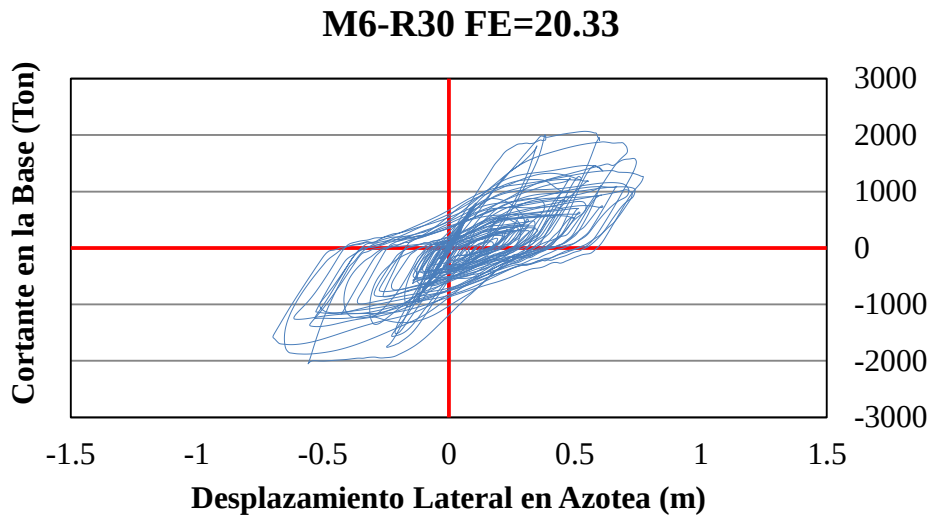

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=19.92
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

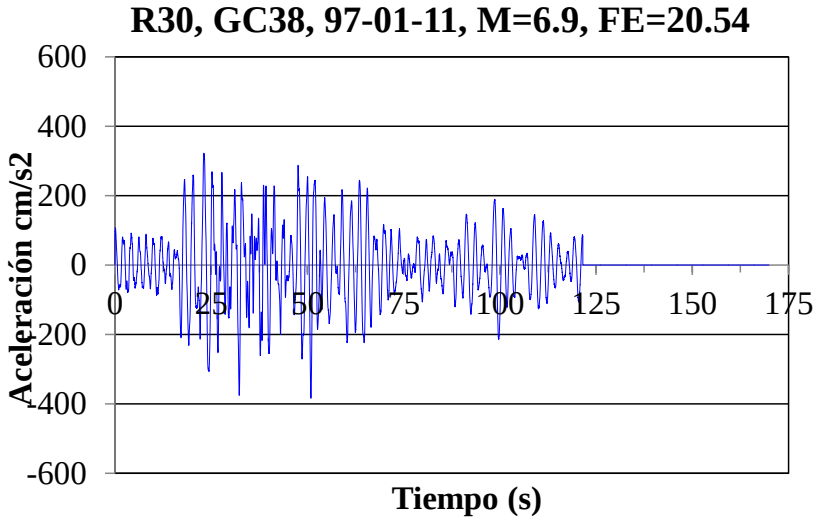

M6-R30 FE=19.92
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

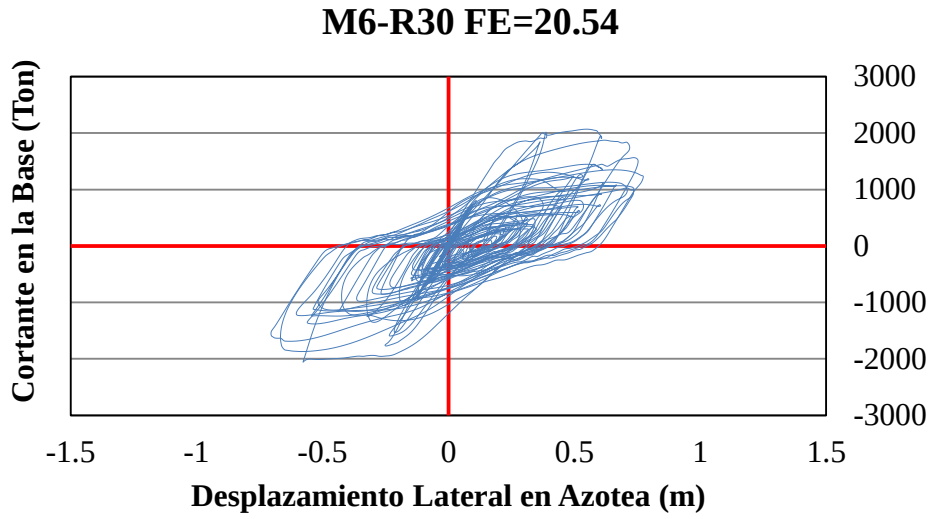

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=20.13
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

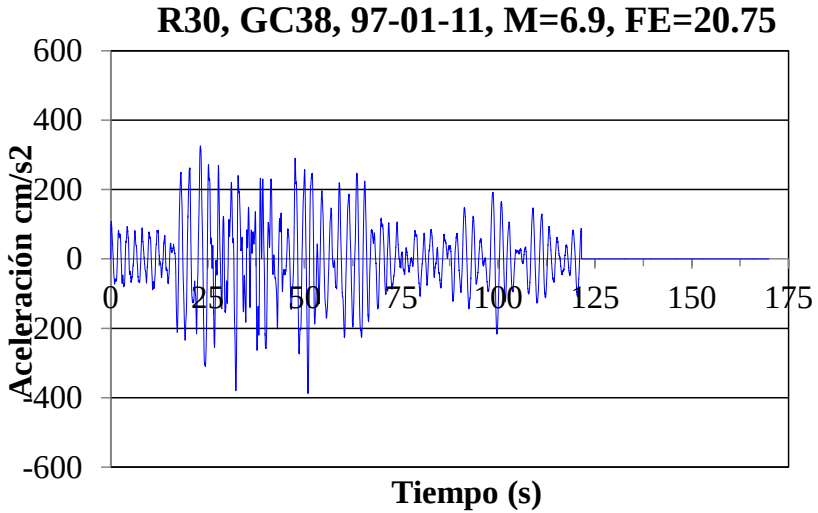

M6-R30 FE=20.13
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

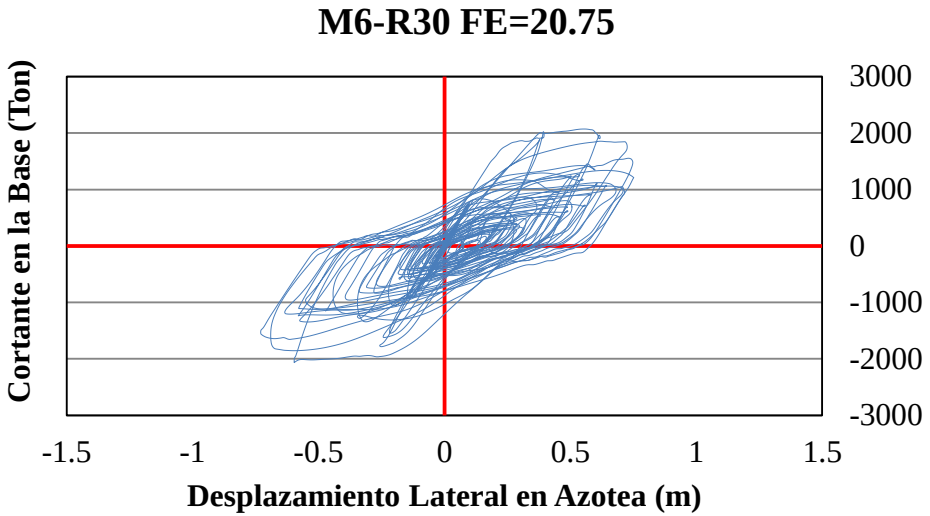

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=20.33
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

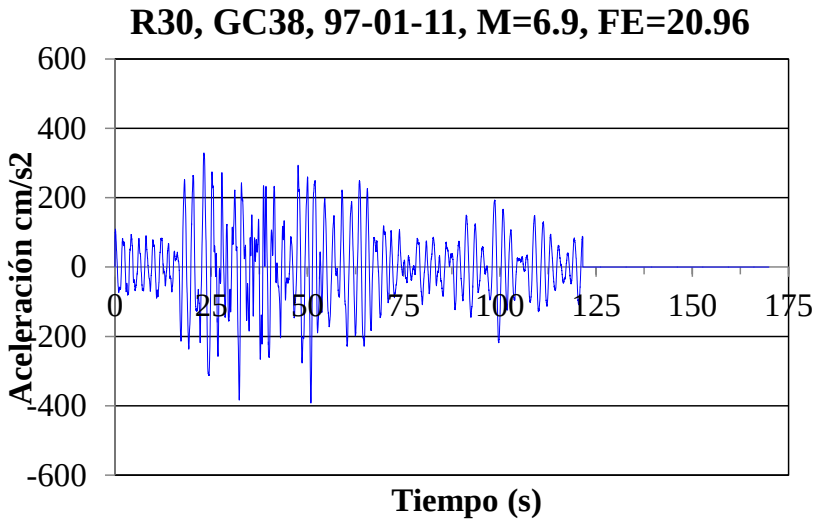

M6-R30 FE=20.33
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

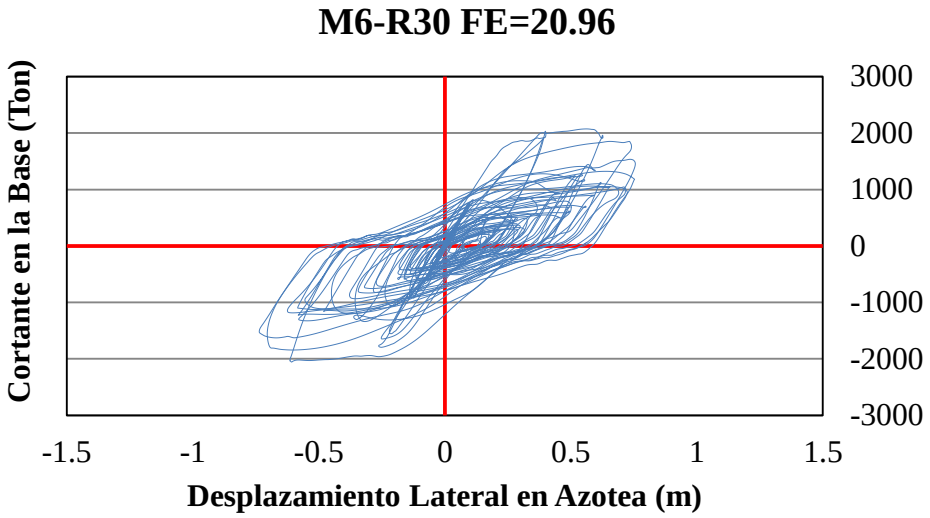

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=20.54
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

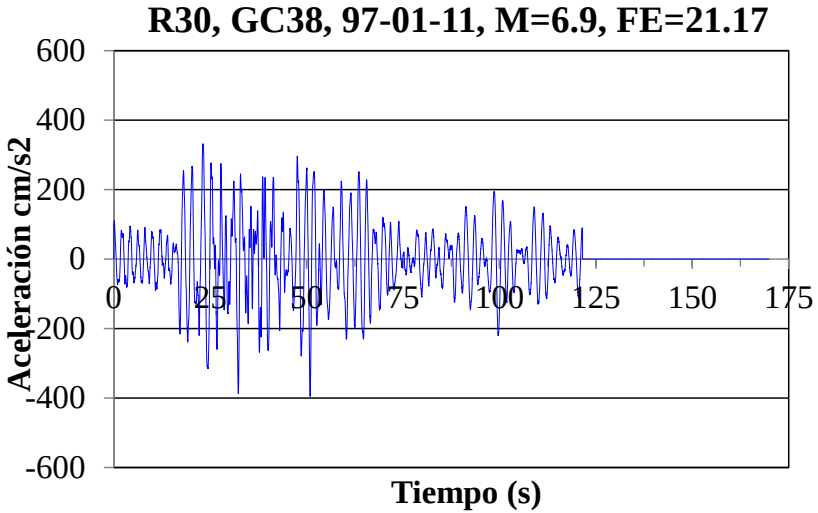

M6-R30 FE=20.54
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

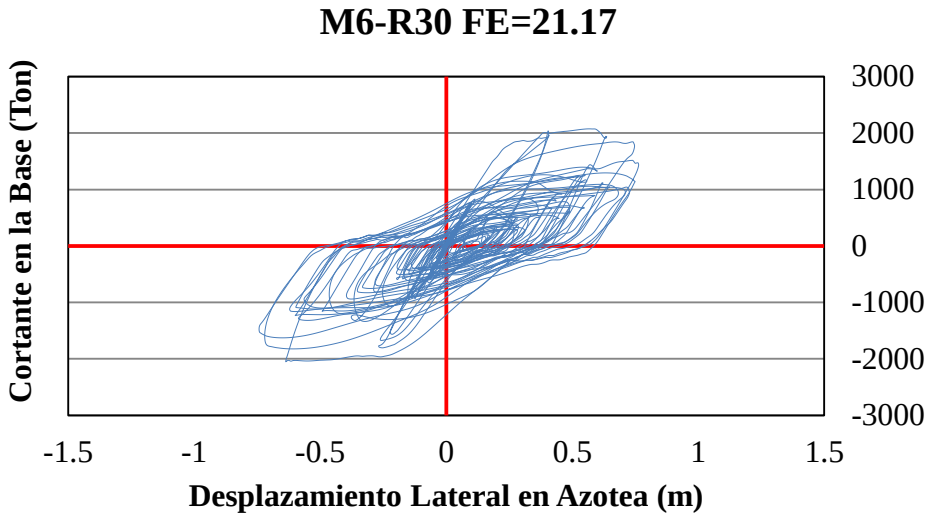

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=20.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

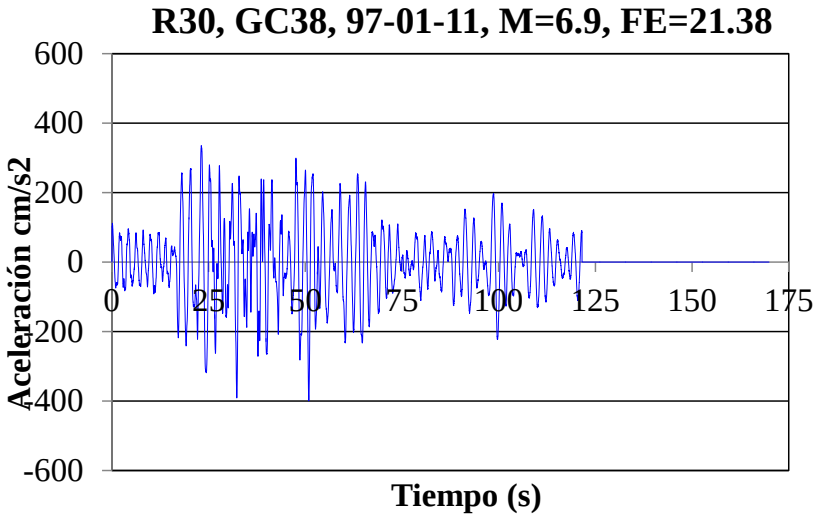

M6-R30 FE=20.75
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

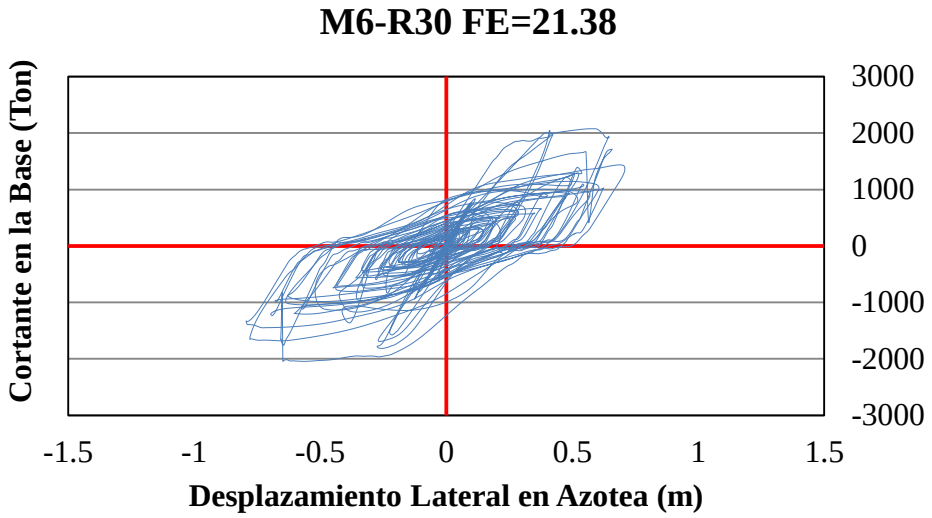

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=20.96
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

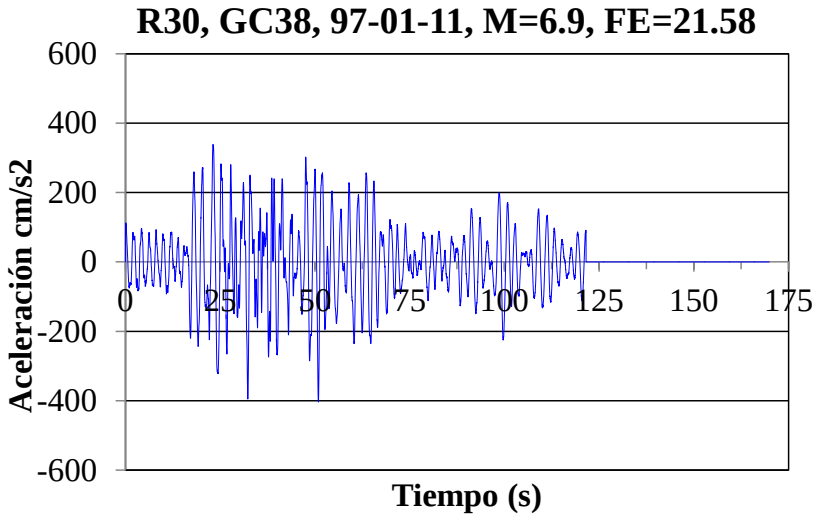

M6-R30 FE=20.96
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

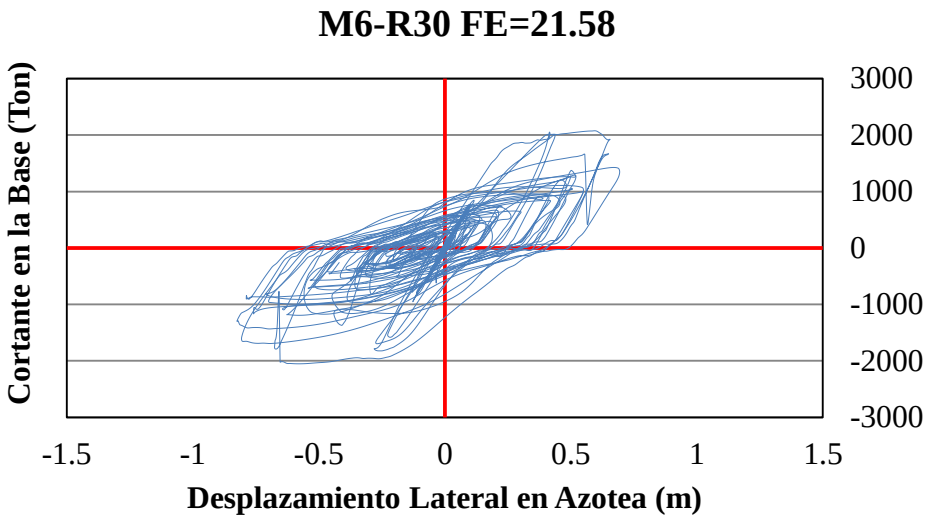

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.17
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

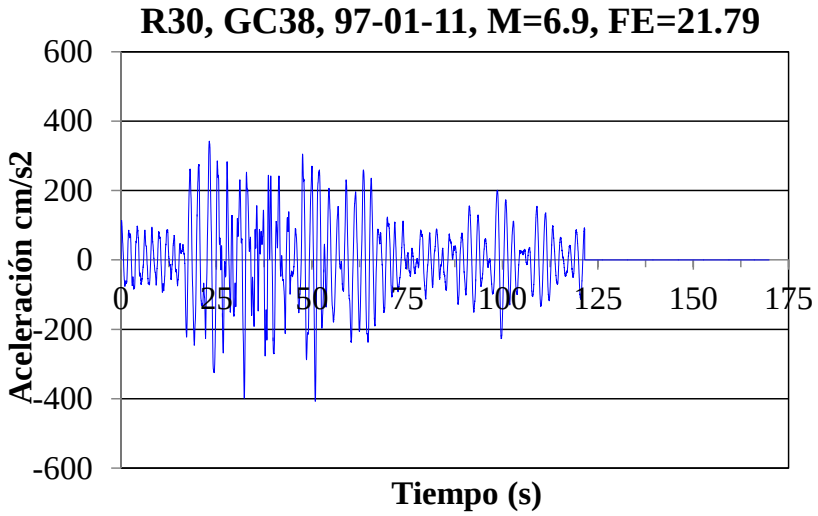

M6-R30 FE=21.17
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

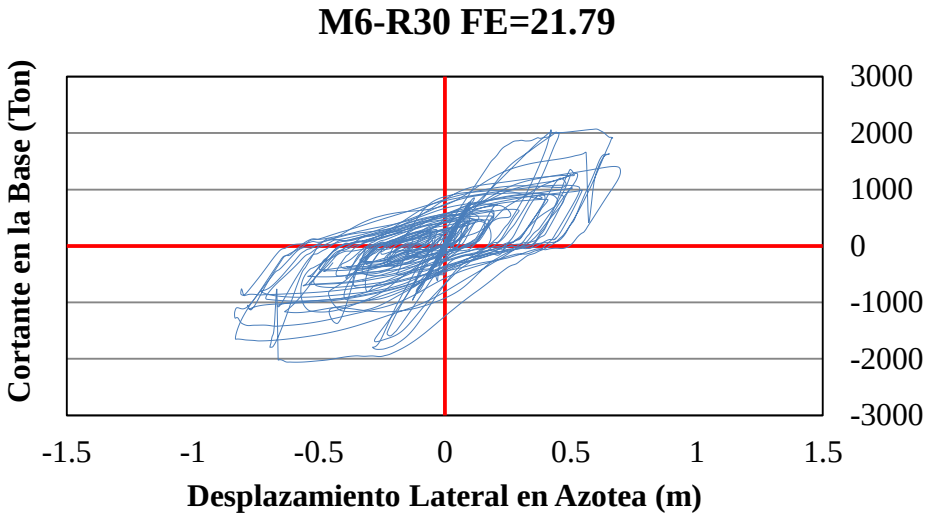

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.38
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

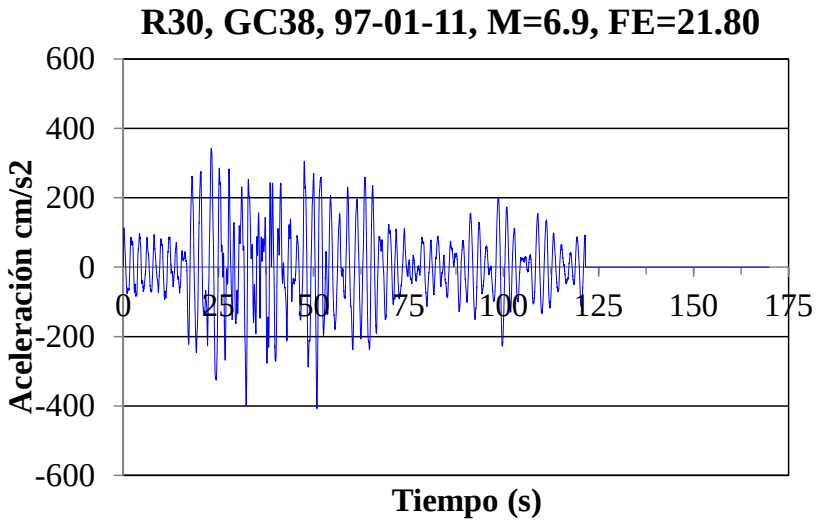

M6-R30 FE=21.38
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

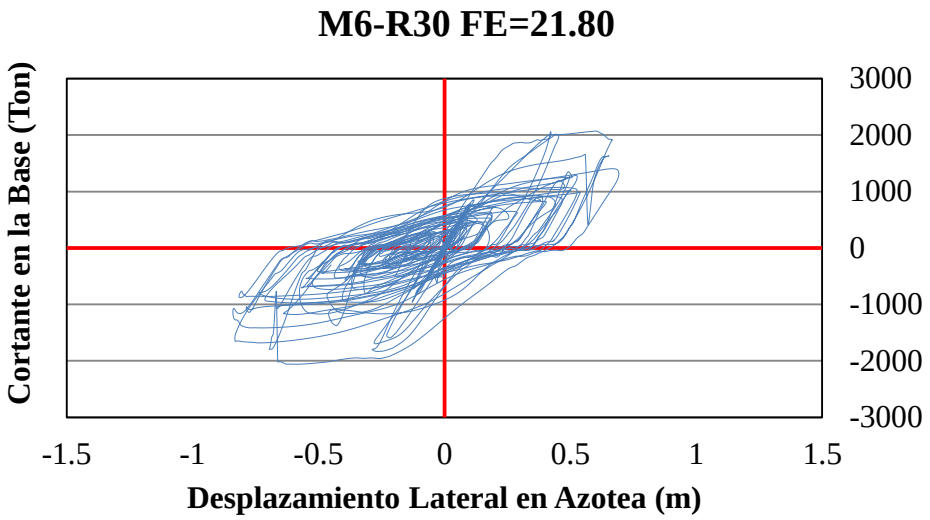

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.58
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

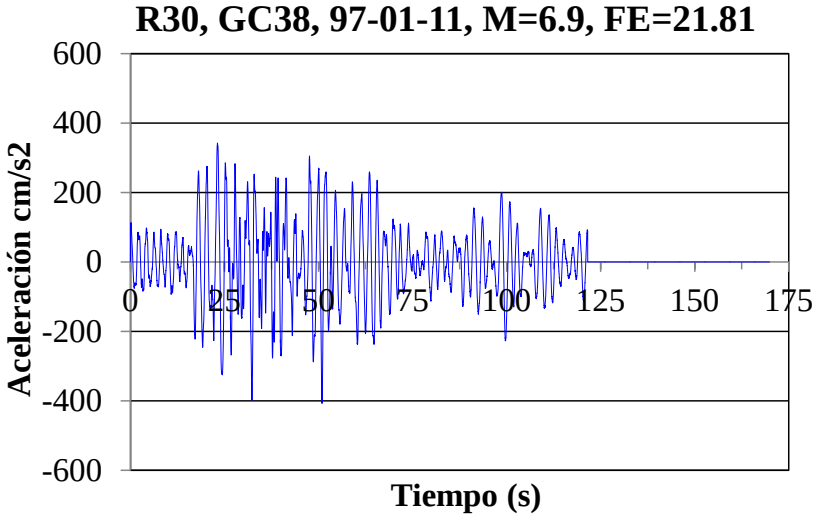

M6-R30 FE=21.58
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

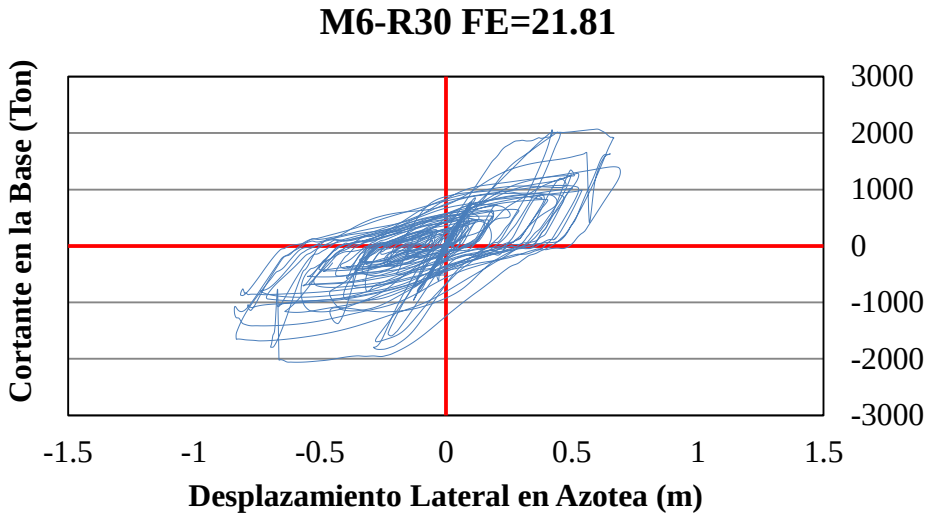

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.79
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

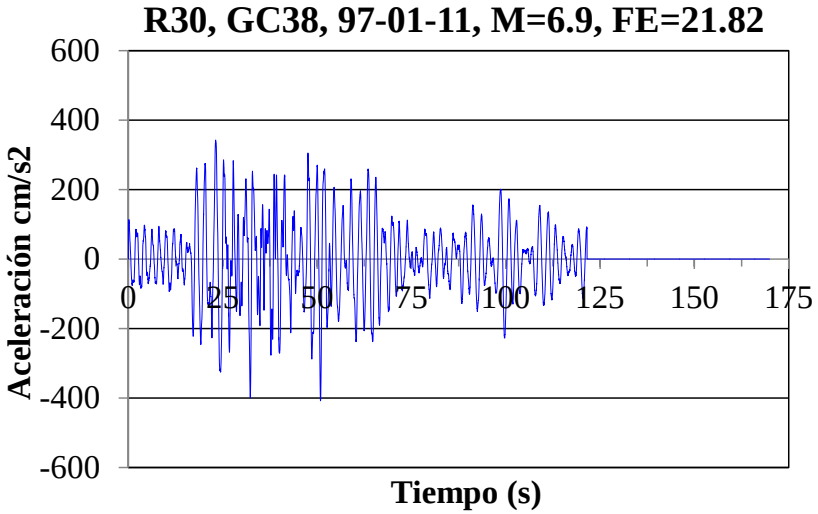

M6-R30 FE=21.79
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

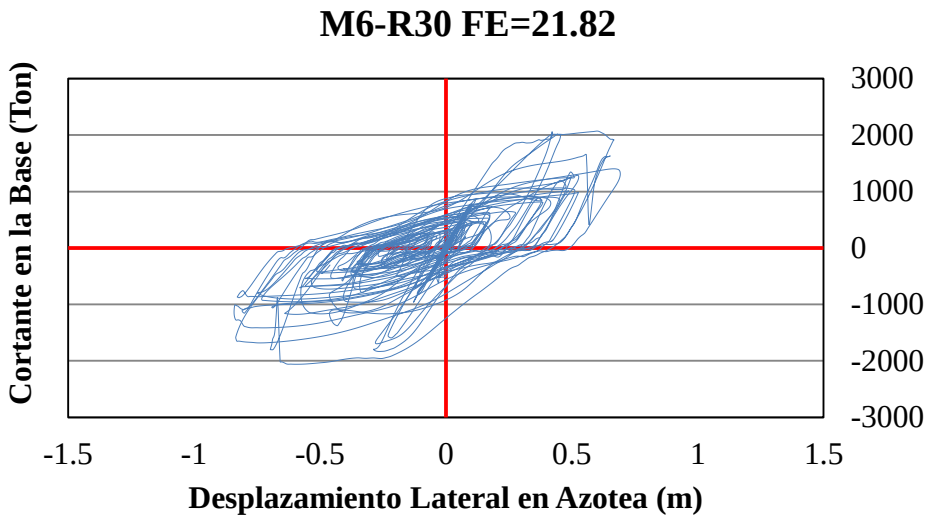

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

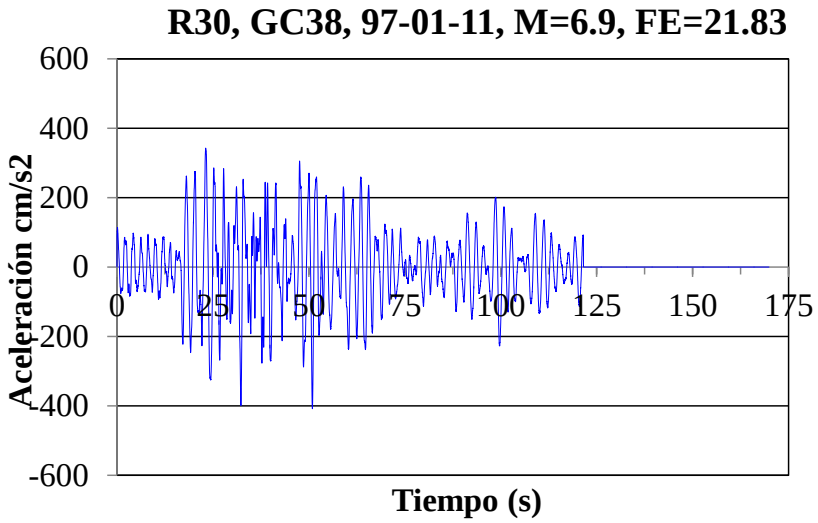

M6-R30 FE=21.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

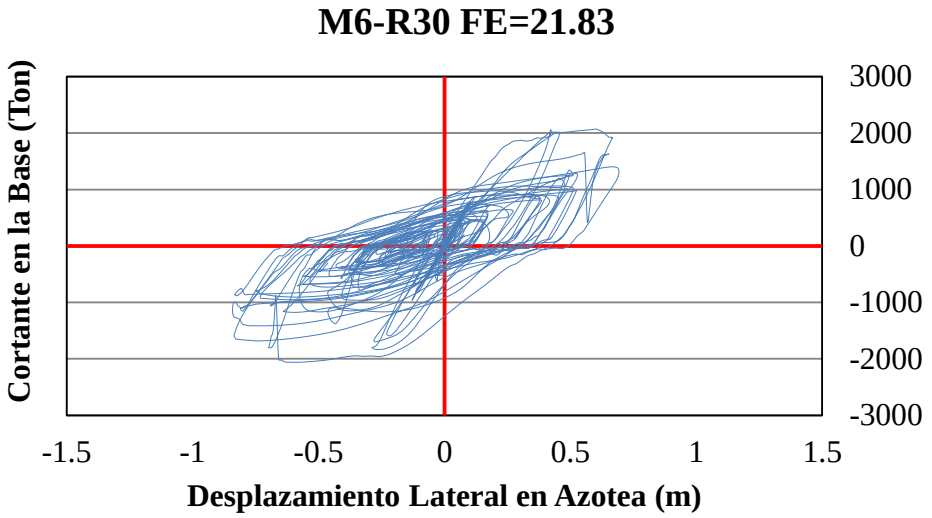

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.81
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

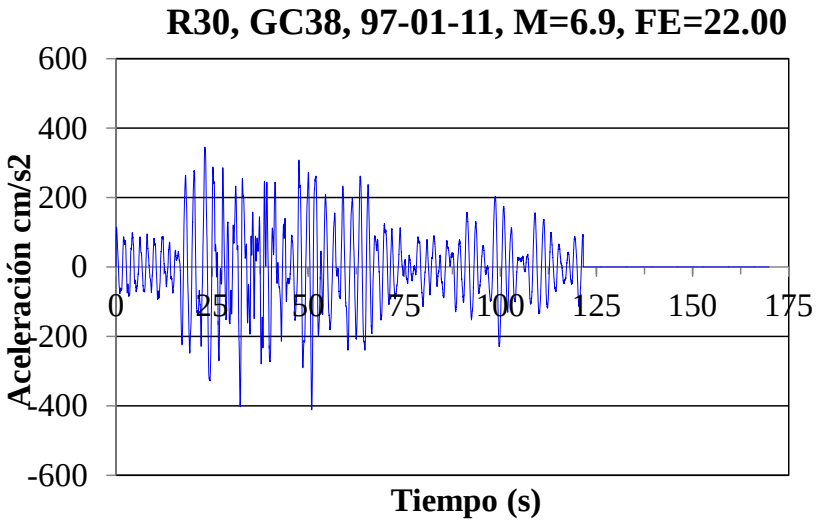

M6-R30 FE=21.81
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

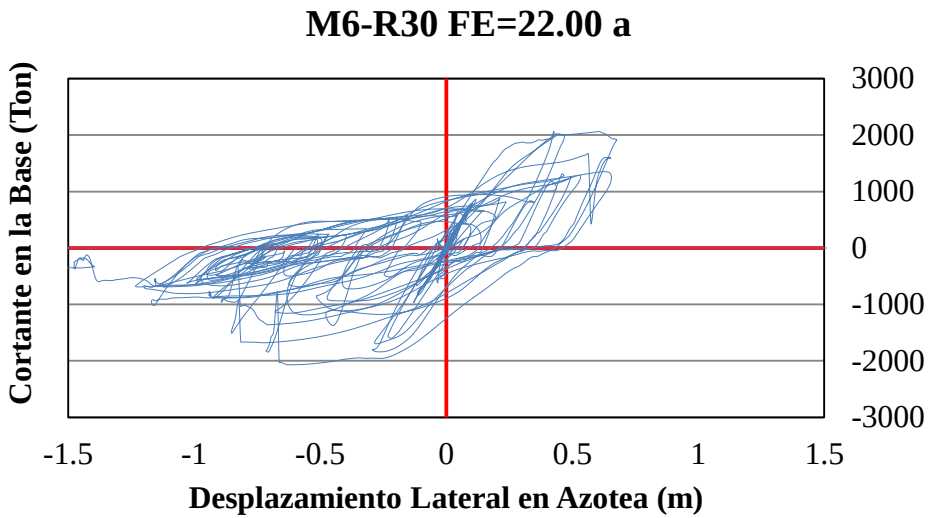

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.82
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

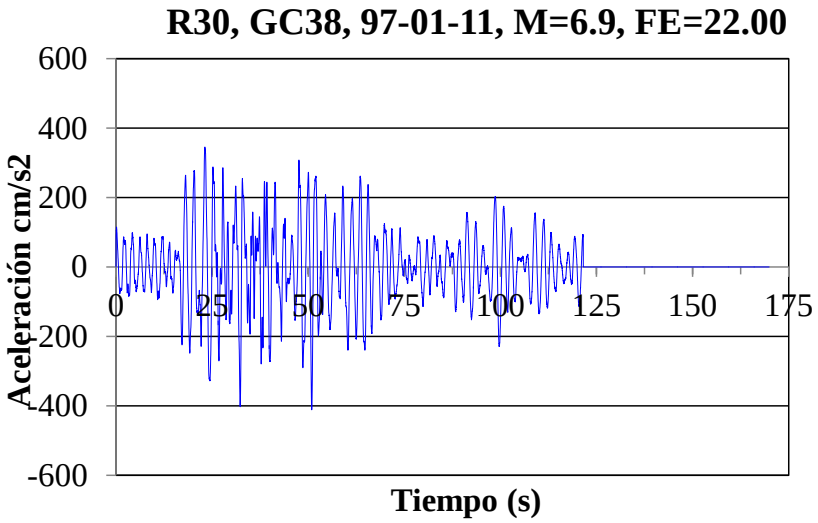

M6-R30 FE=21.82
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

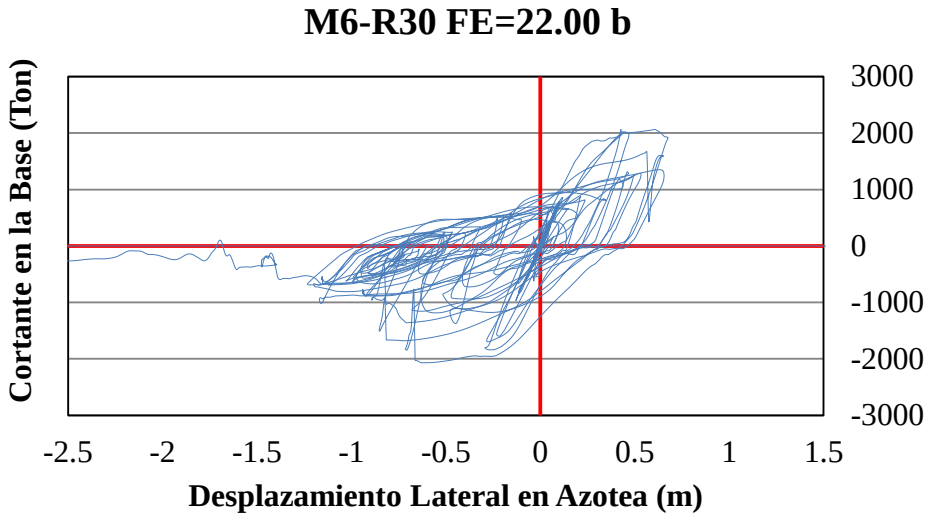

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=21.83
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

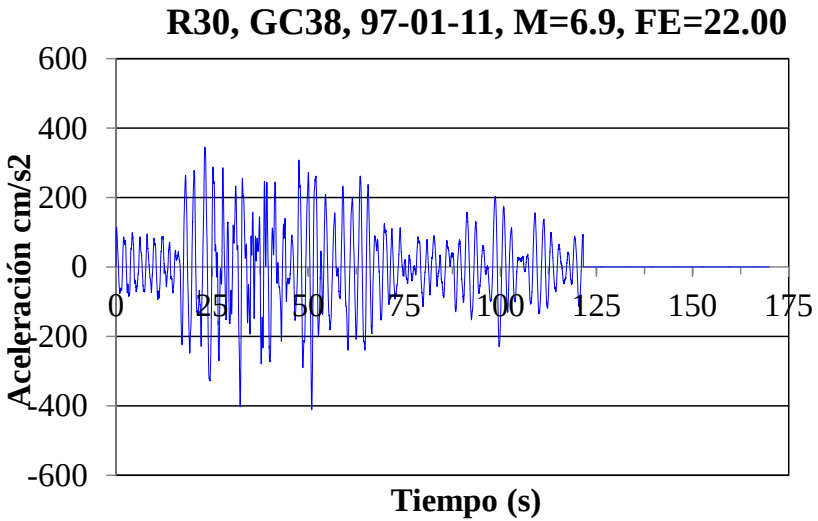

M6-R30 FE=21.83
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

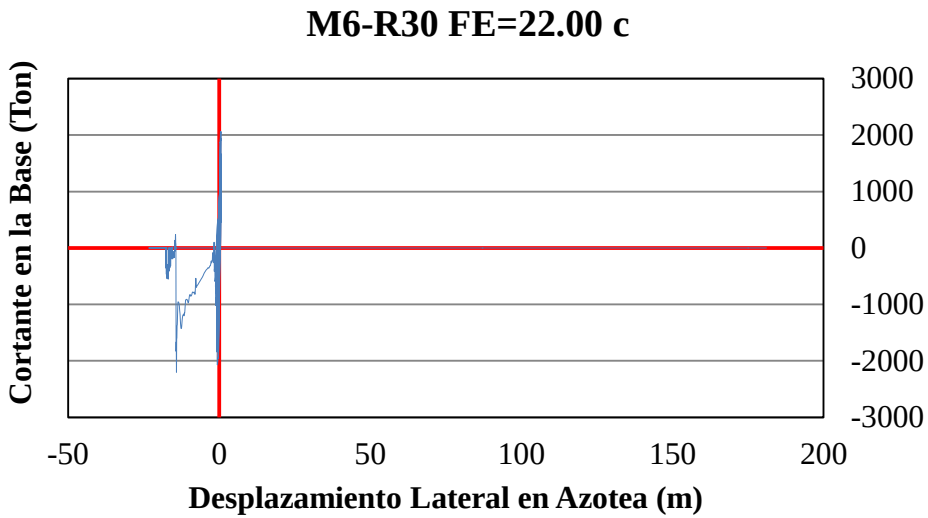

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=22.00
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M6-R30 FE=22.00 a
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=22.00
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M6-R30 FE=22.00 b
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

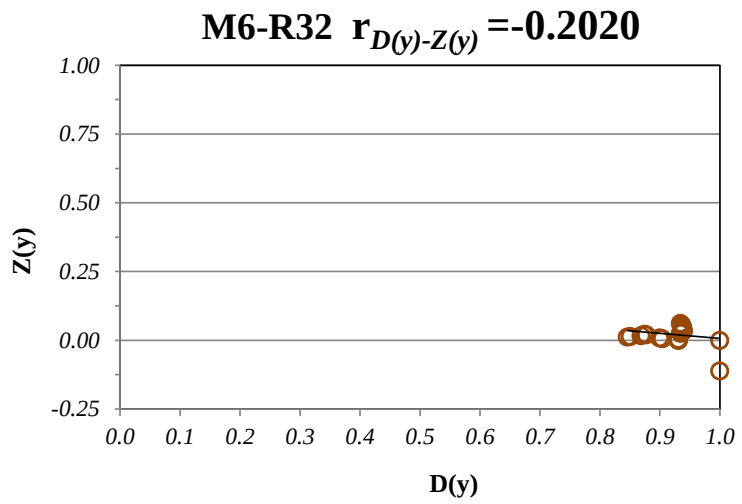

R30, GC38, 97-01-11, M=6.9, FE=22.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

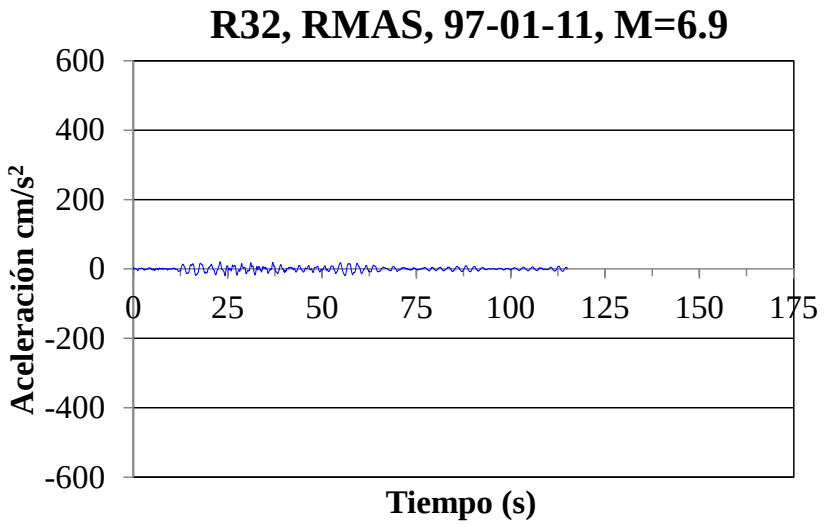

M6-R30 FE=22.00 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-50
0
50
100
150
200
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

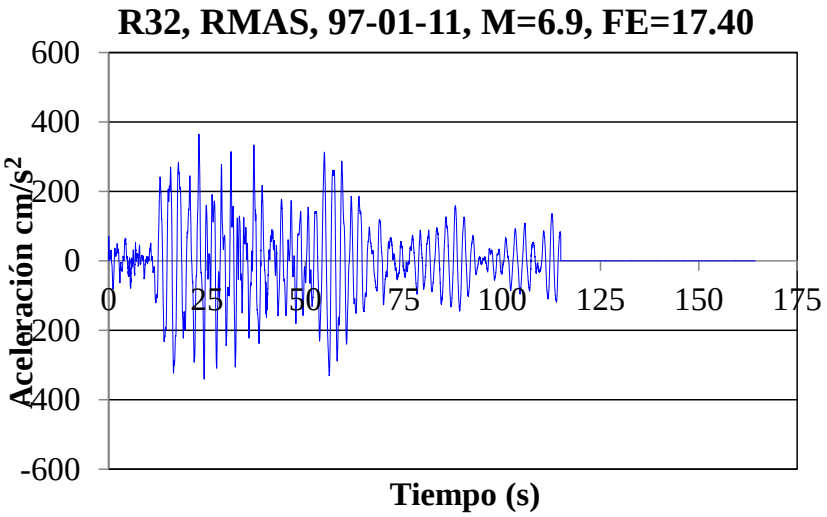
M6-R32

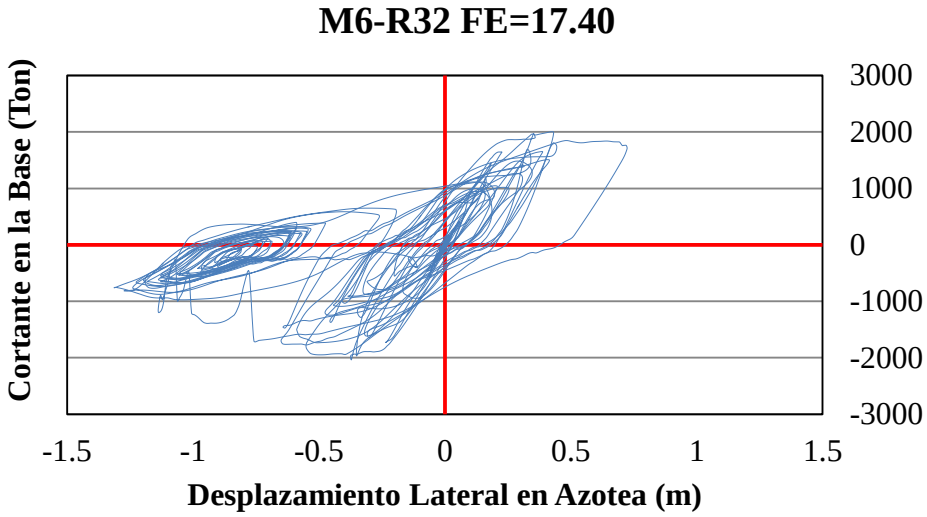
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**8 834.73**	**0.033**	**-0.2020**

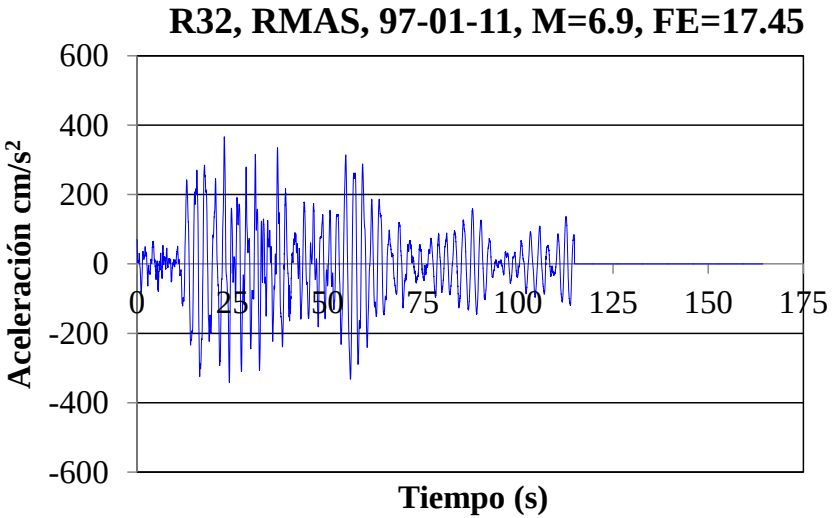
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.5741	17.40	59.2500	1.3132	-760.257	0 578.93	0.9345	0.174
0.5757	17.45	59.2500	1.3132	-750.117	0 571.21	0.9353	0.171
0.5774	17.50	59.2500	1.3350	-748.664	0 560.80	0.9365	0.168
0.5790	17.55	59.2500	1.3359	-748.708	0 560.45	0.9366	0.165
0.5807	17.60	59.2500	1.3328	-737.464	0 553.32	0.9374	0.162
0.5823	17.65	59.2500	1.3266	-749.131	0 564.70	0.9361	0.159
0.5840	17.70	59.2600	1.3009	-714.251	0 549.04	0.9379	0.157
0.5856	17.75	59.2600	1.2911	-708.129	0 548.47	0.9379	0.154
0.5873	17.80	59.2600	1.2847	-700.570	0 545.32	0.9383	0.151
0.5889	17.85	59.2600	1.2699	-685.776	0 540.02	0.9389	0.148
0.5906	17.90	59.2600	1.2718	-681.968	0 536.22	0.9393	0.145
0.5922	17.95	59.2600	1.0798	-610.339	0 565.23	0.9360	0.143
0.5939	18.00	59.2700	1.0774	-621.629	0 576.97	0.9347	0.140
0.5955	18.05	59.2700	1.0509	-605.444	0 576.12	0.9348	0.137
0.5972	18.10	56.8000	0.9875	-1097.210	1 111.10	0.8742	0.134
0.5988	18.15	56.7700	0.9700	-1047.401	1 079.79	0.8778	0.132
0.6005	18.20	56.7500	0.9583	-1111.531	1 159.90	0.8687	0.129
0.6021	18.25	56.7500	0.9437	-1243.689	1 317.89	0.8508	0.126
0.6038	18.30	56.7500	0.9240	-1261.009	1 364.73	0.8455	0.123
0.6054	18.35	58.0400	0.9264	821.656	0 886.93	0.8996	0.121
0.6071	18.40	58.0400	0.9983	842.988	0 844.42	0.9044	0.118
0.6087	18.45	60.4300	1.1297	693.462	0 613.85	0.9305	0.115
0.6104	18.50	60.4200	1.2144	739.881	0 609.26	0.9310	0.112
0.6104	18.501	60.4200	1.2142	738.962	0 608.60	0.9311	0.112
0.6104	18.502	60.4200	1.2143	738.672	0 608.31	0.9311	0.112
0.6105	18.503	60.4200	1.2149	739.957	0 609.07	0.9311	0.112
0.6110	18.52	112.6300	299.0548	0.000	0 000.00	1.0000	0.111
0.6830	20.70	0.0000	212.8312	0.003	0 000.00	1.0000	0.000

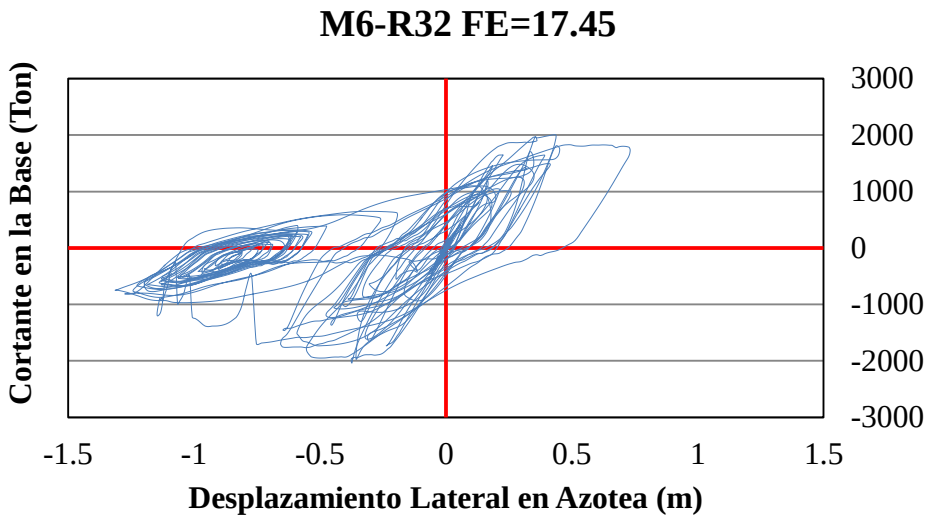

M6-R32 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.2020
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

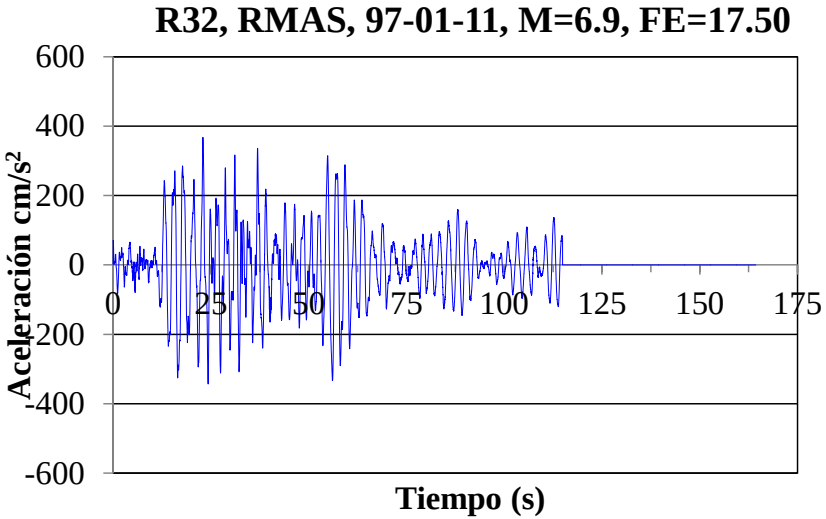

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

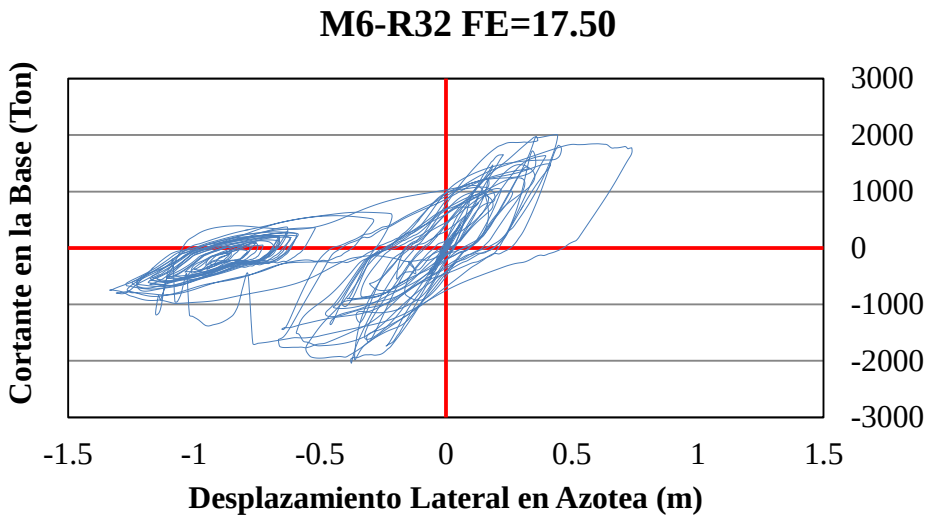

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.40
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

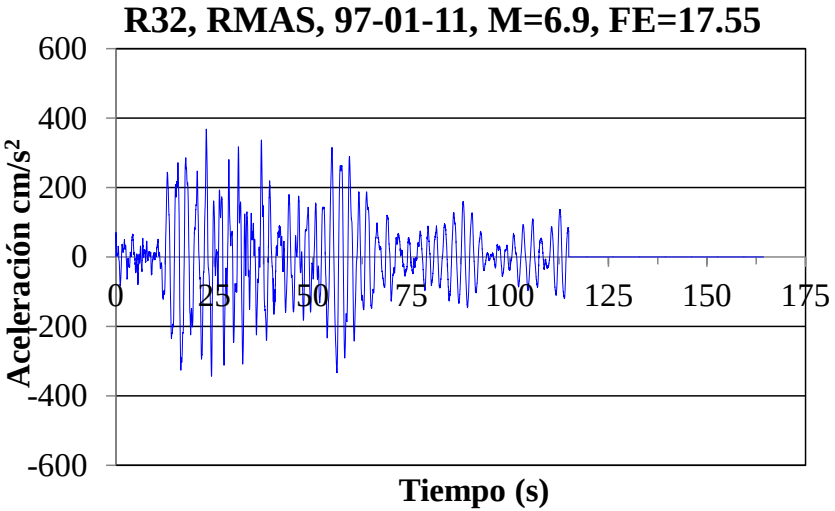

M6-R32 FE=17.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

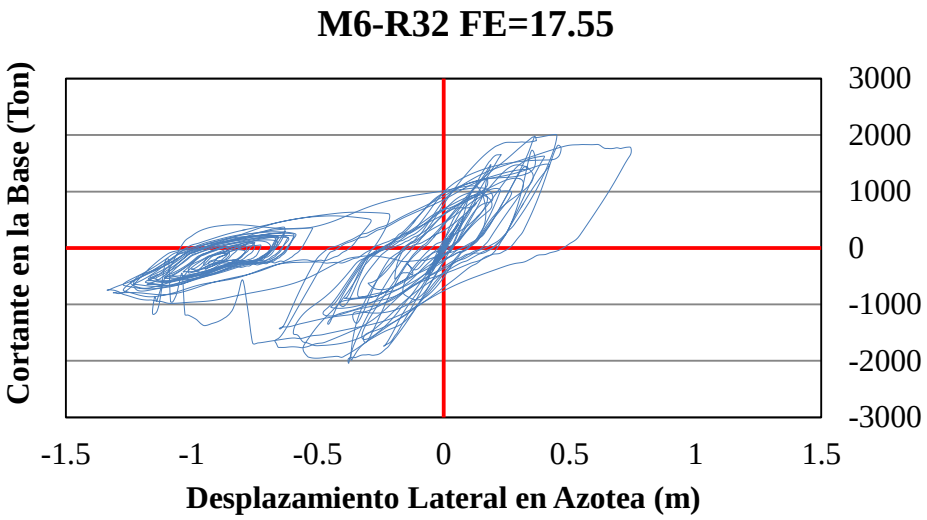

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.45
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

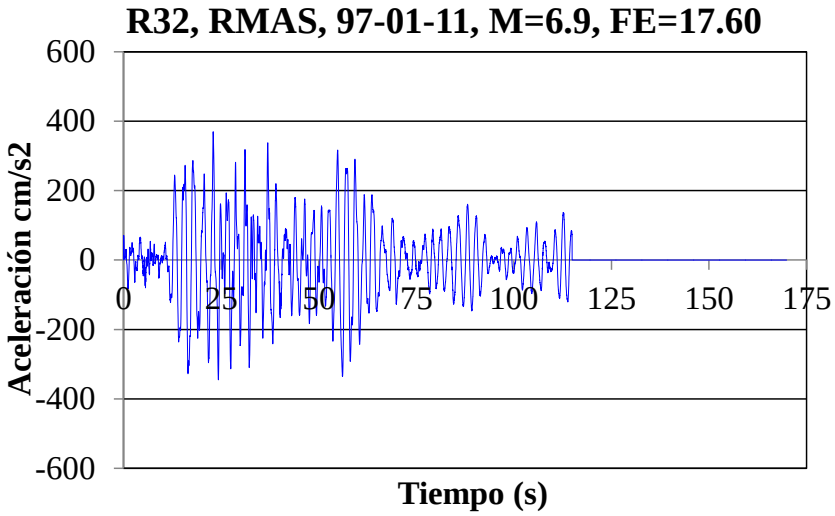

M6-R32 FE=17.45
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

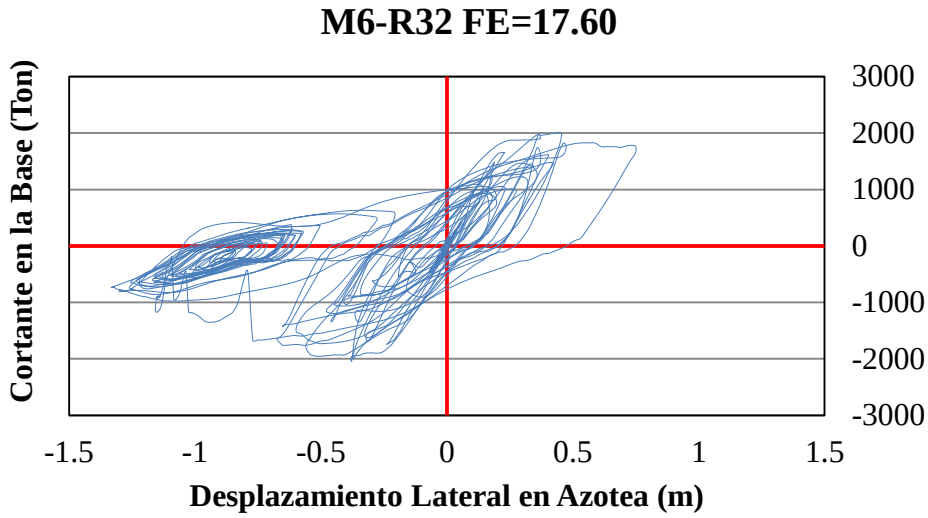

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.50
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

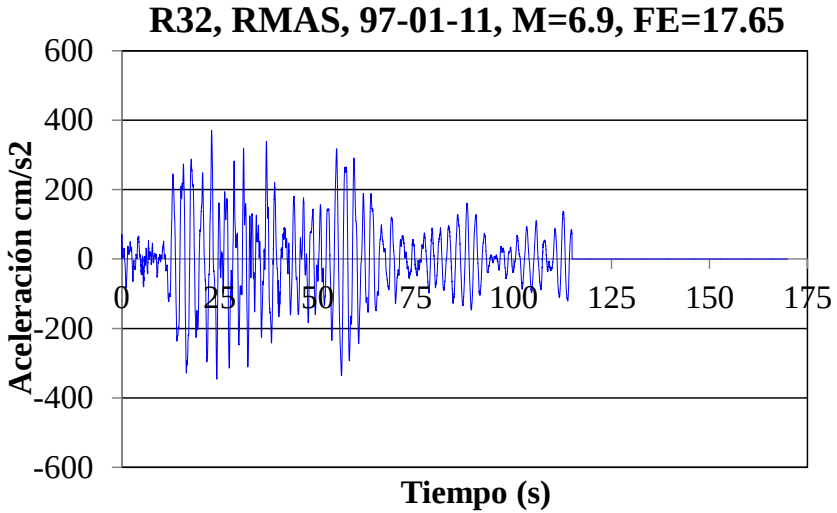

M6-R32 FE=17.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

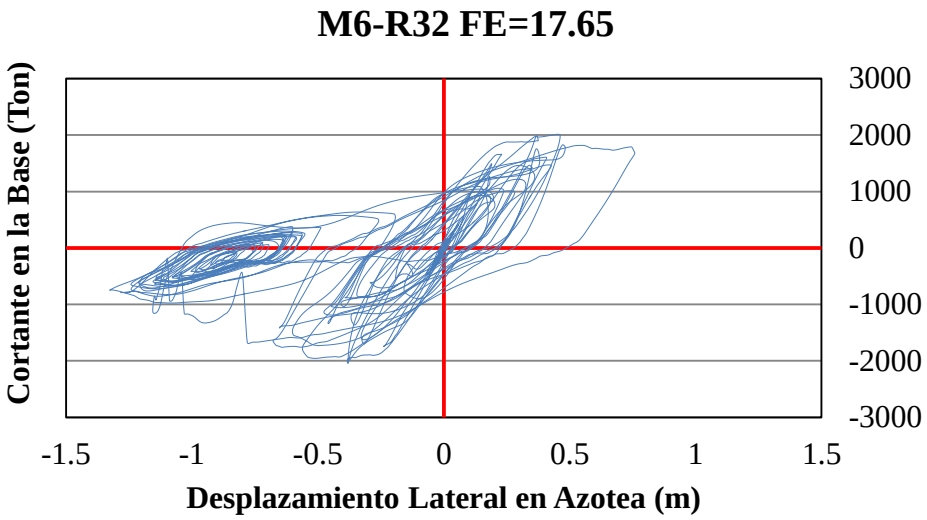

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.55
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

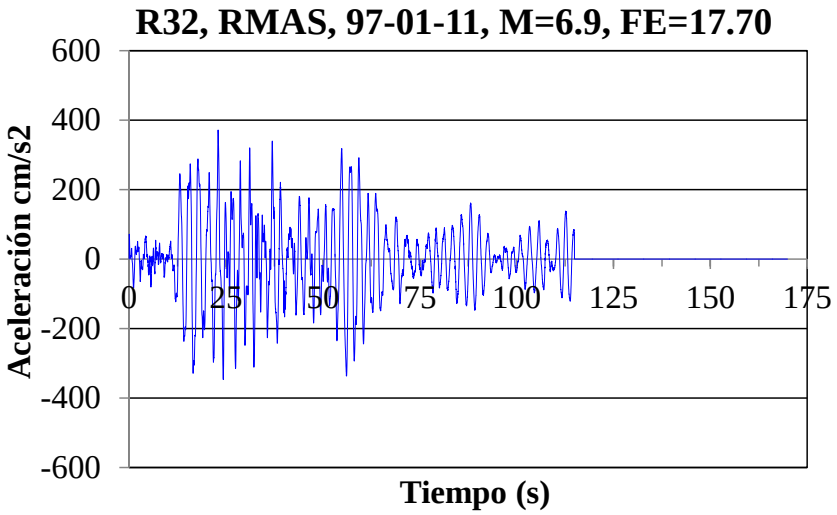

M6-R32 FE=17.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

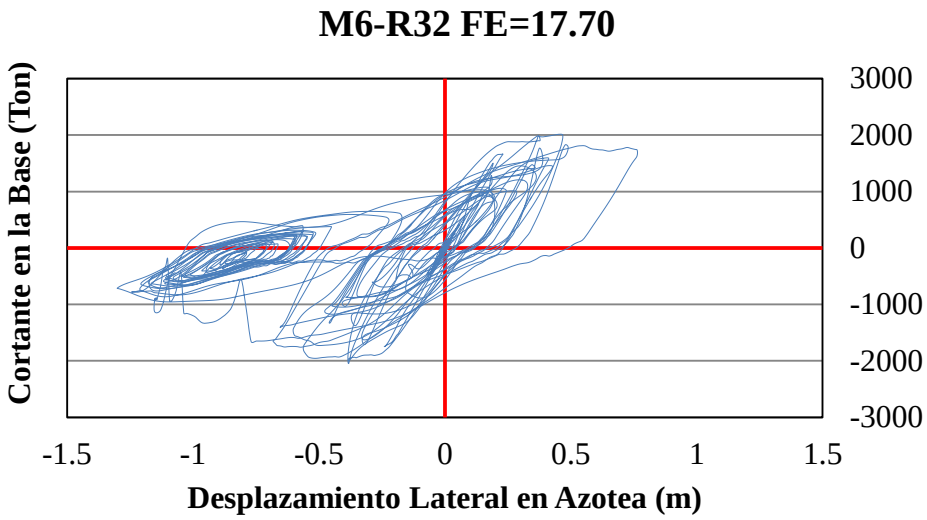

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

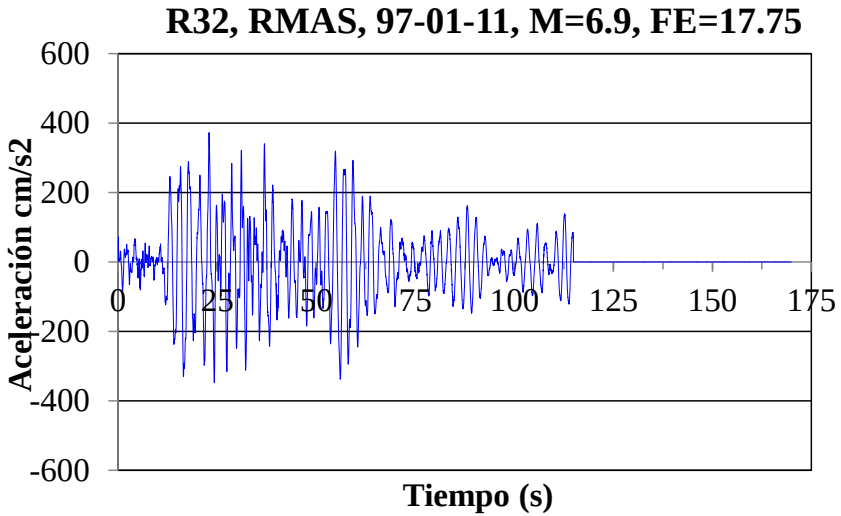

M6-R32 FE=17.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

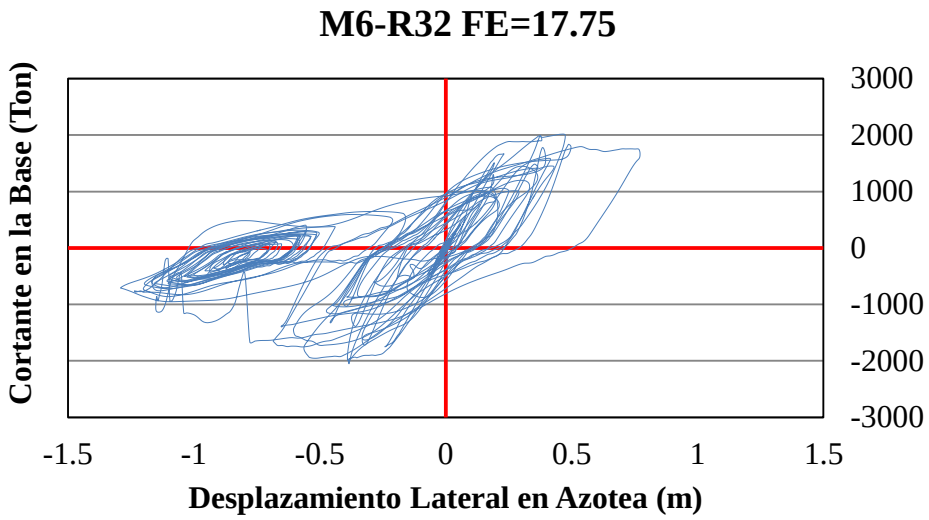

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.65
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

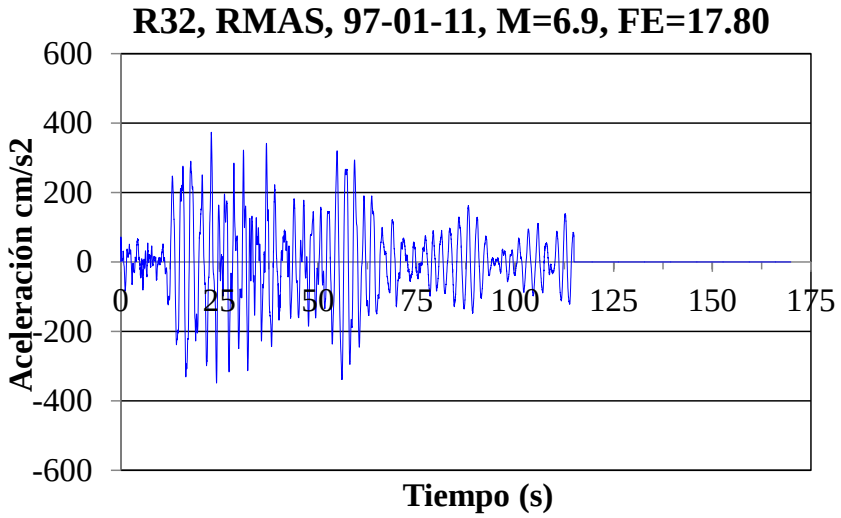

M6-R32 FE=17.65
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

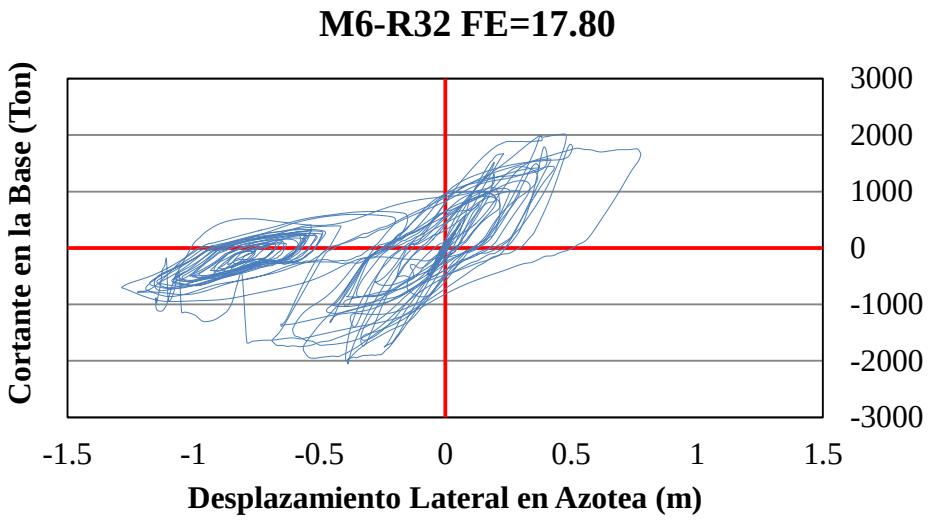

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

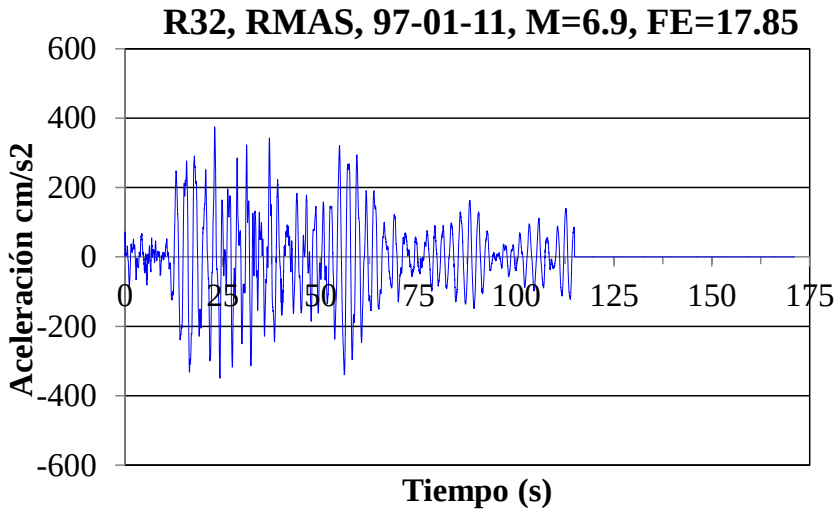

M6-R32 FE=17.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

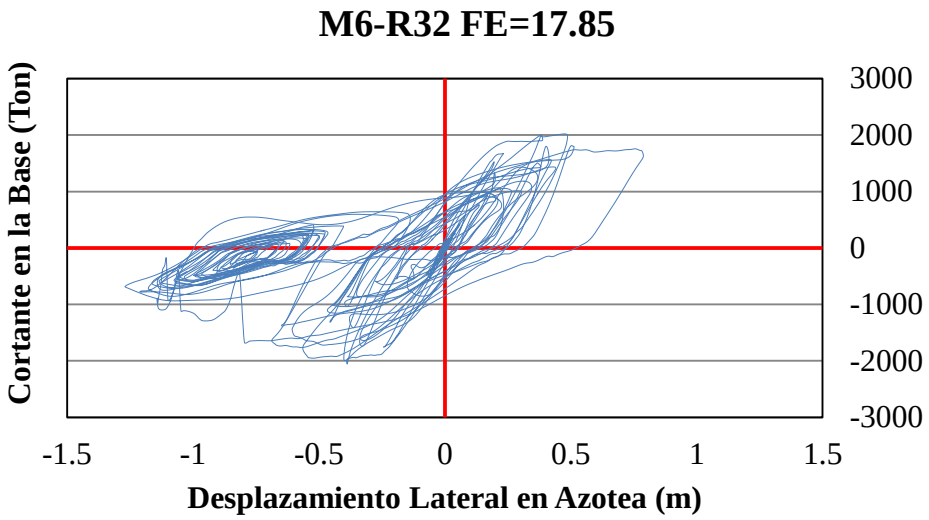

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.75
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

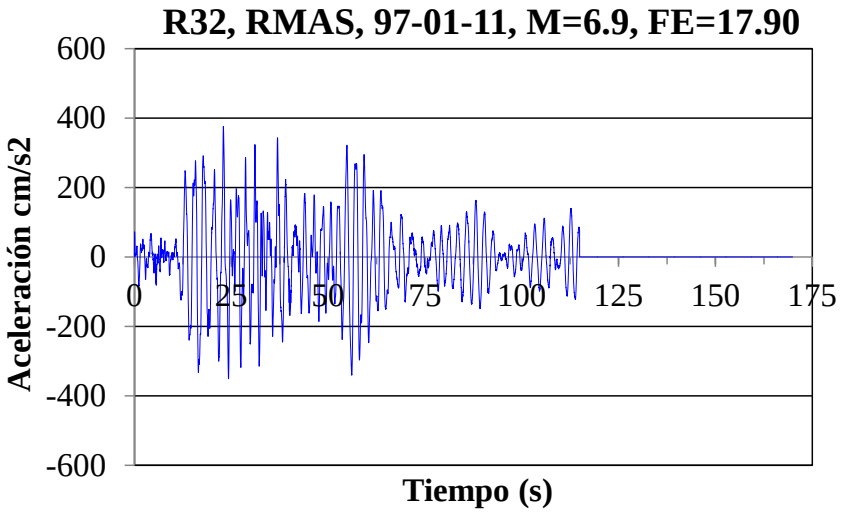

M6-R32 FE=17.75
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

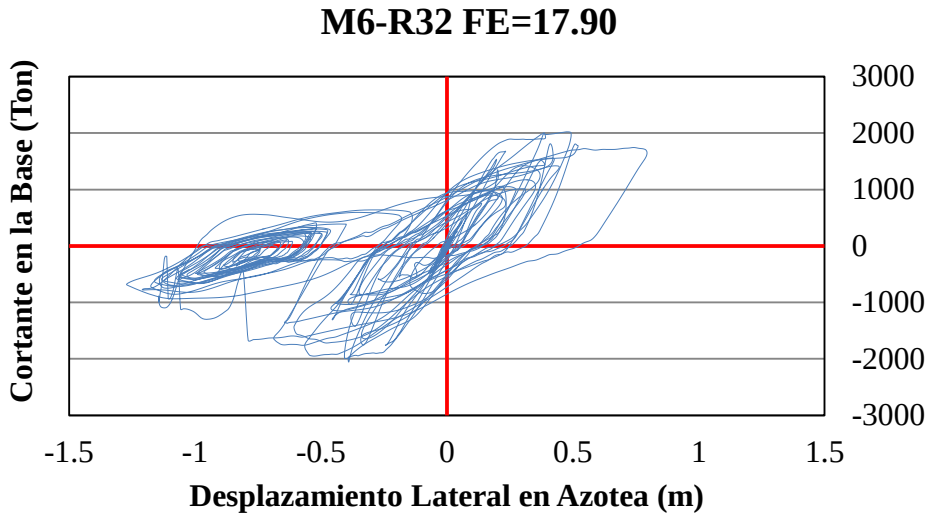

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.80
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

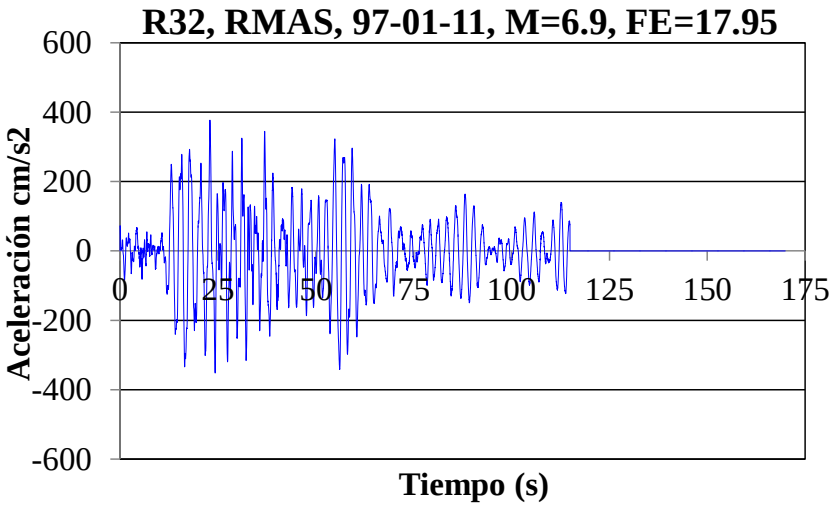

M6-R32 FE=17.80
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

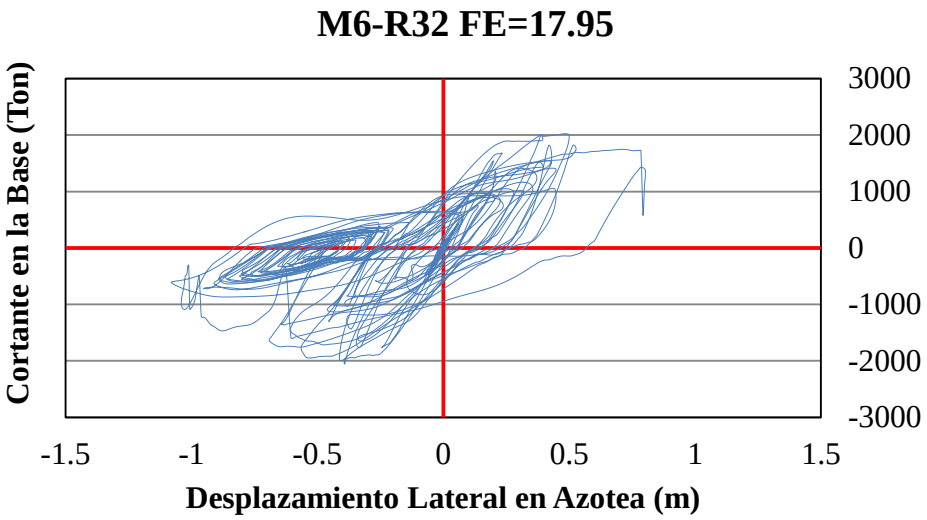

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.85
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

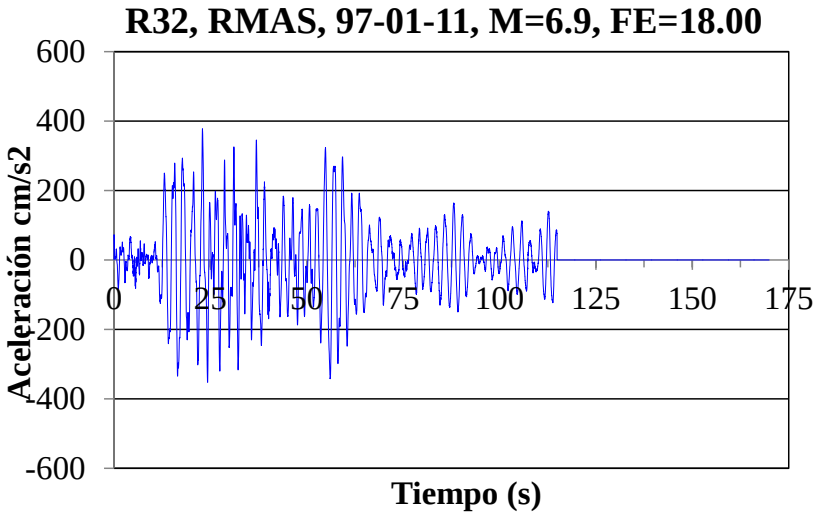

M6-R32 FE=17.85
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

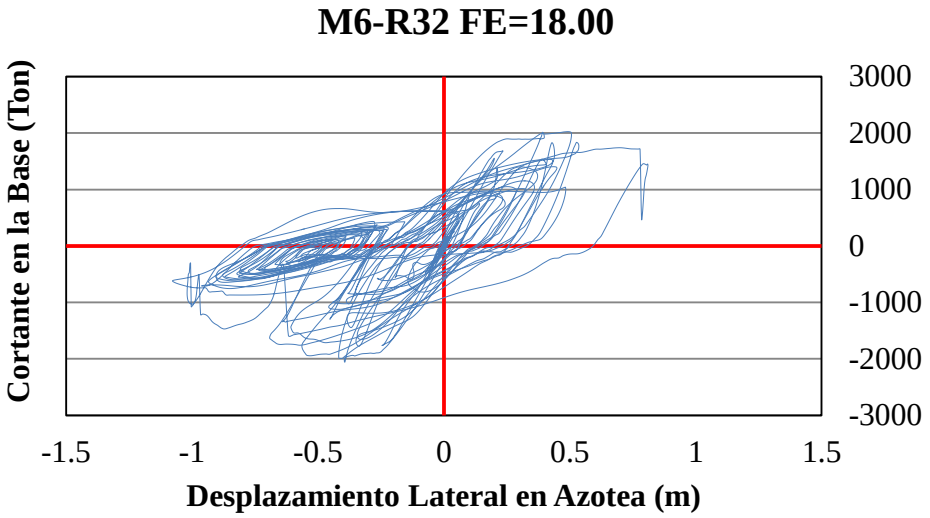

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

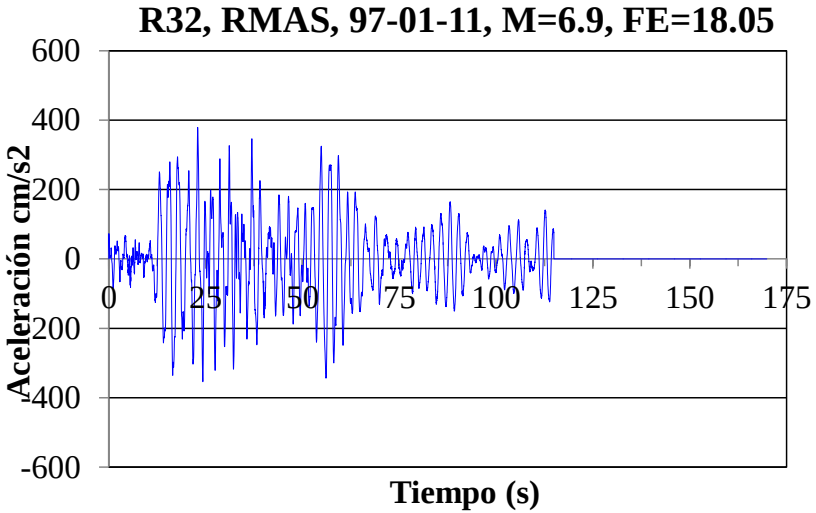

M6-R32 FE=17.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

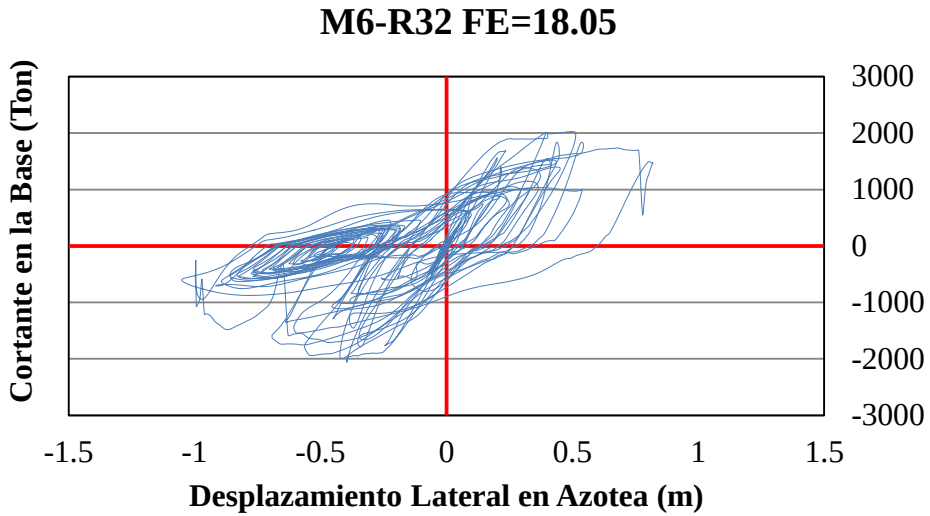

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=17.95
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

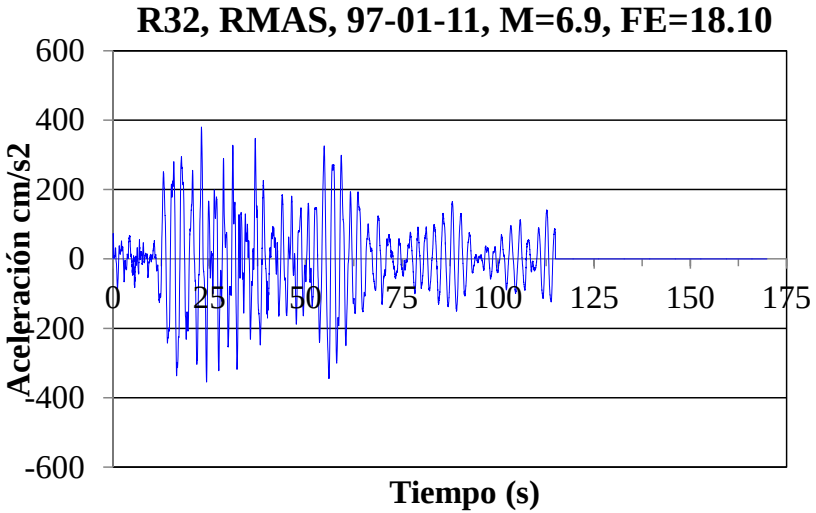

M6-R32 FE=17.95
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

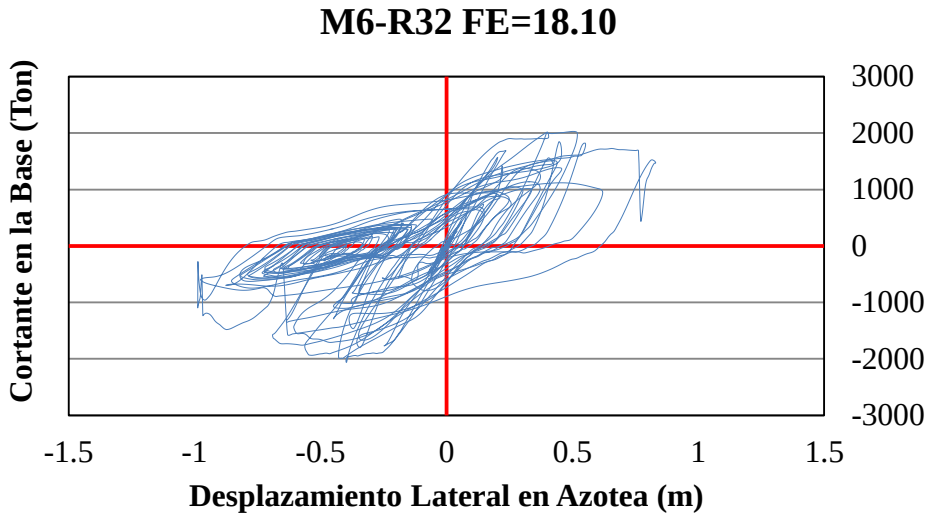

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.00
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

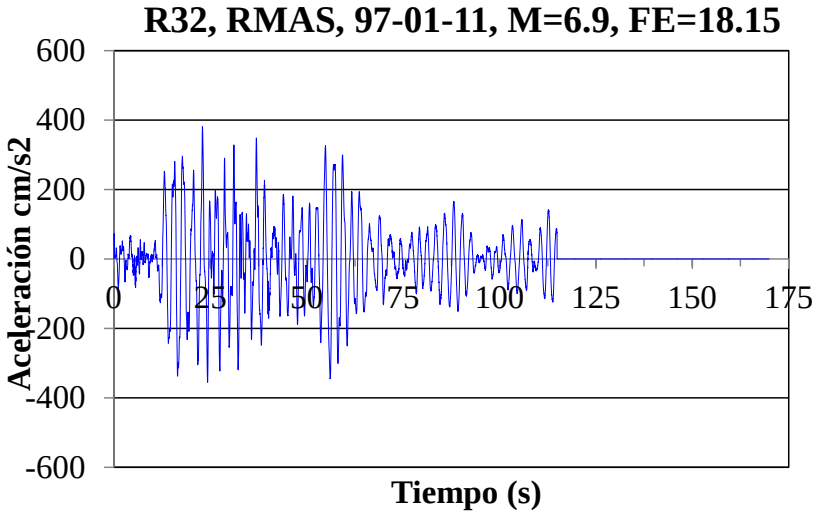

M6-R32 FE=18.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

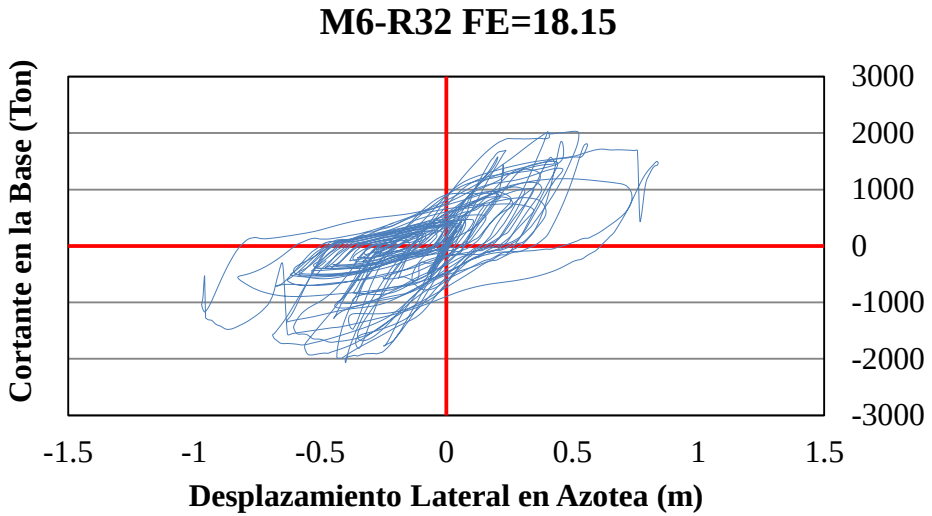

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.05
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

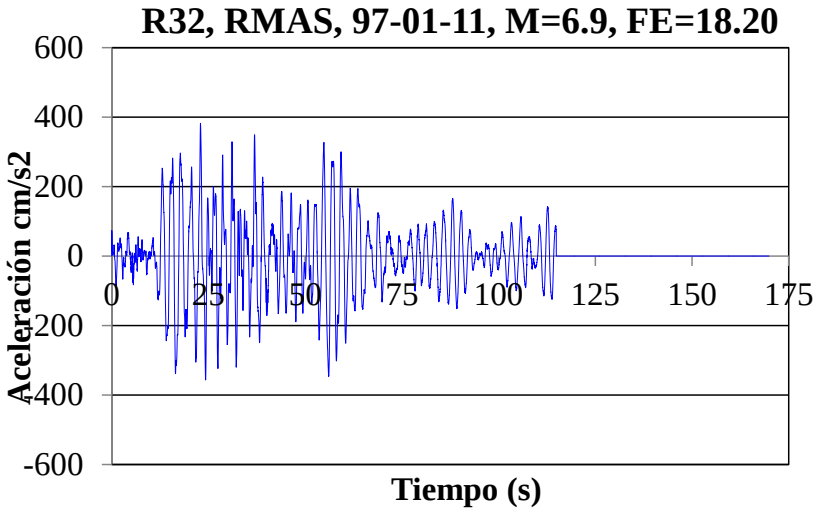

M6-R32 FE=18.05
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

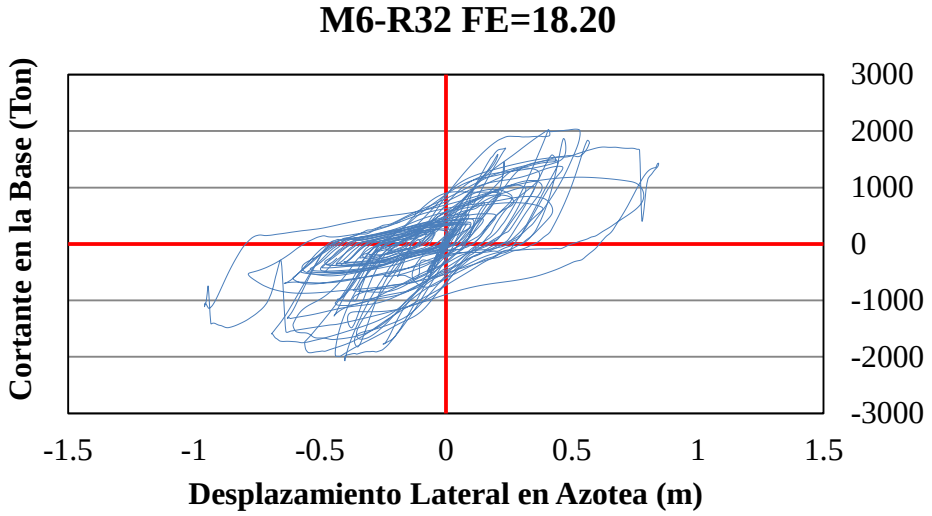

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.10
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

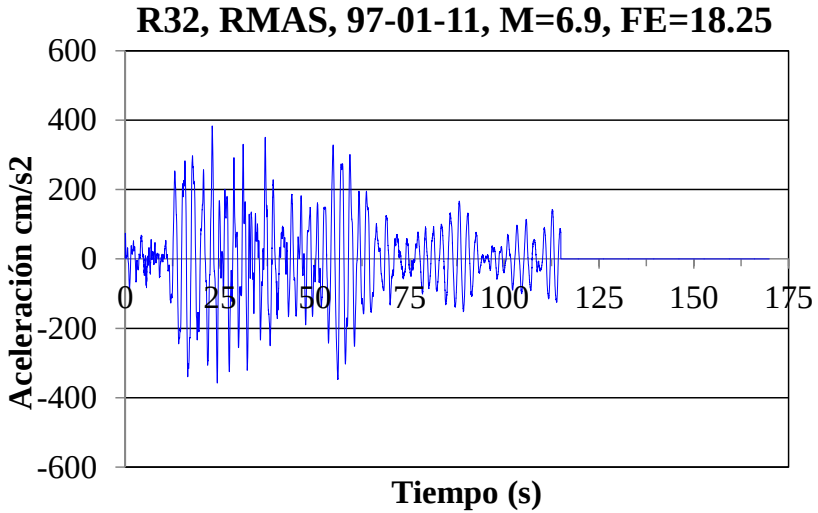

M6-R32 FE=18.10
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

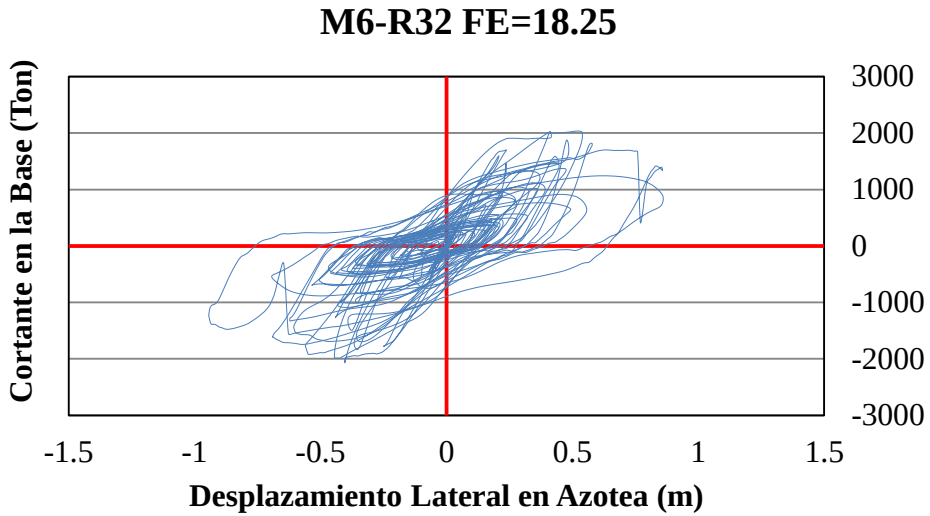

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.15
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

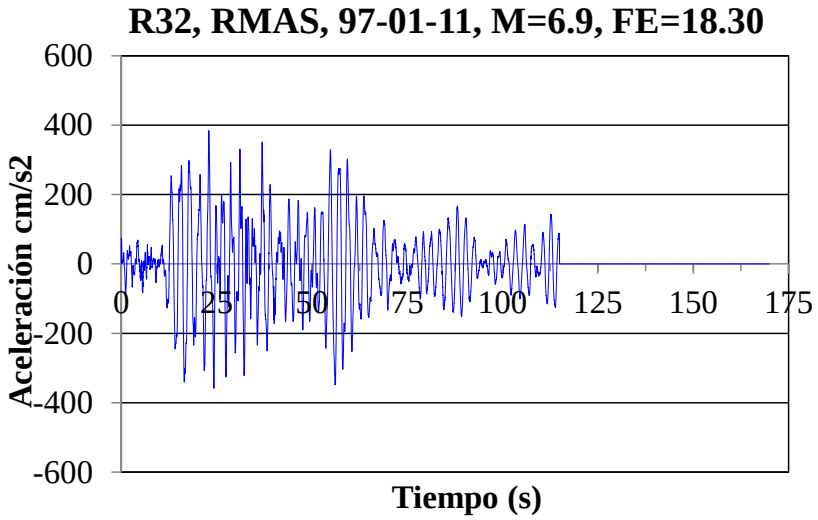

M6-R32 FE=18.15
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

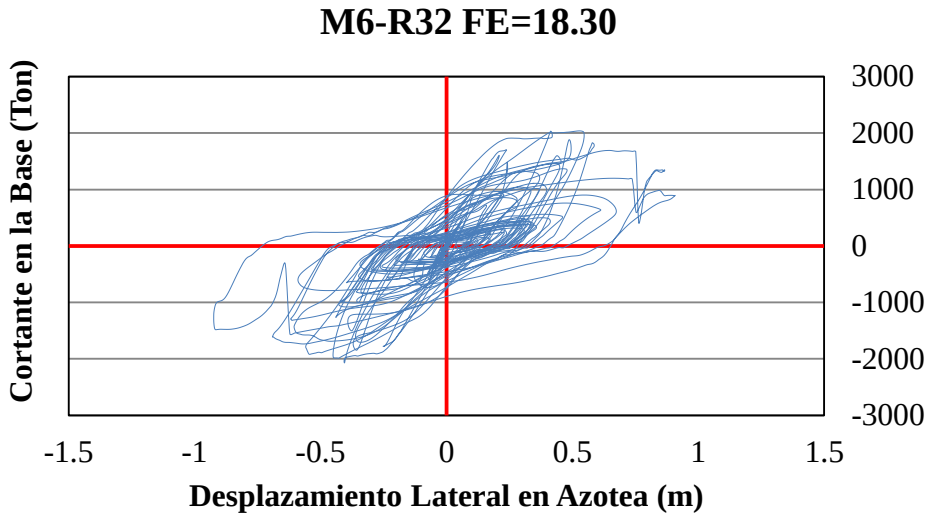

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

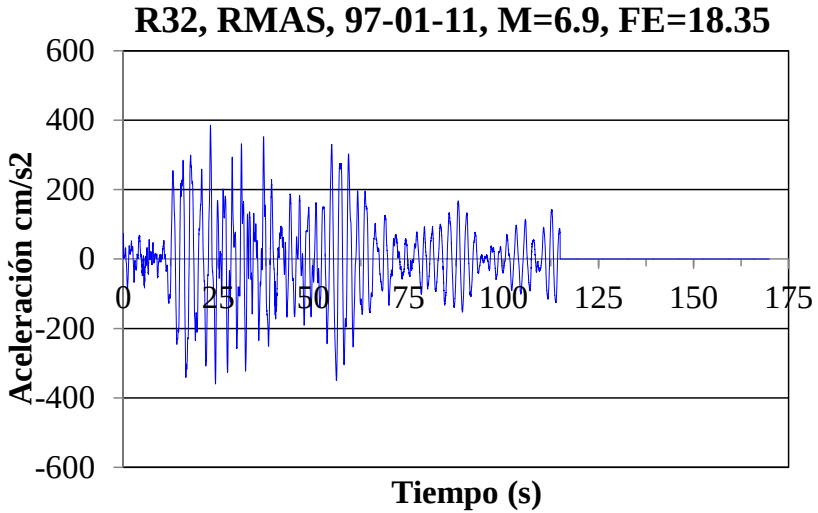

M6-R32 FE=18.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

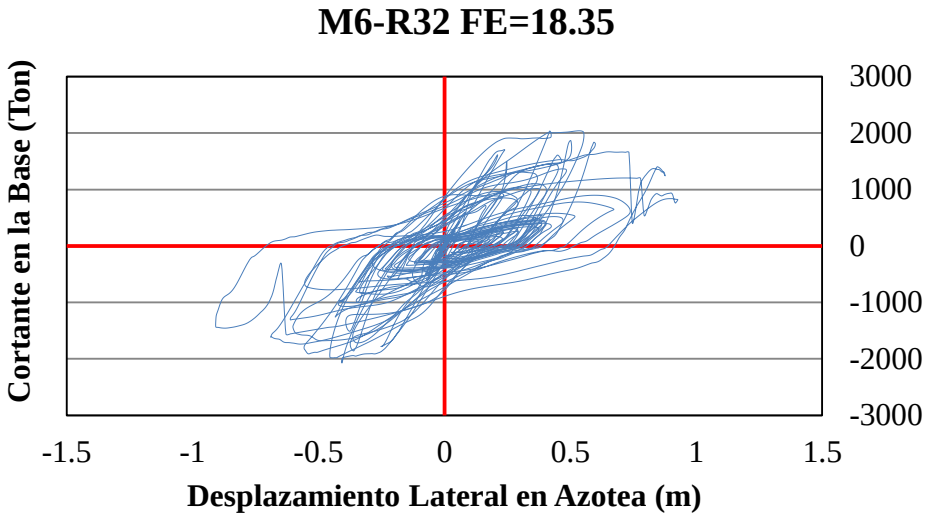

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

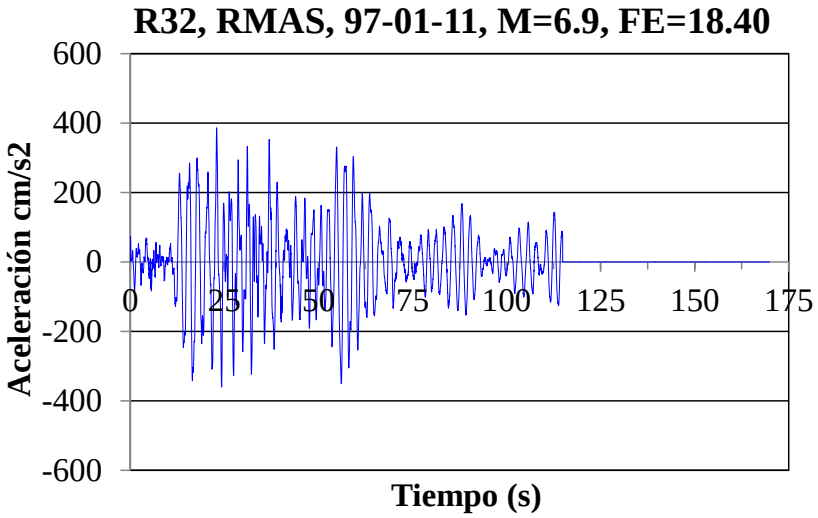

M6-R32 FE=18.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

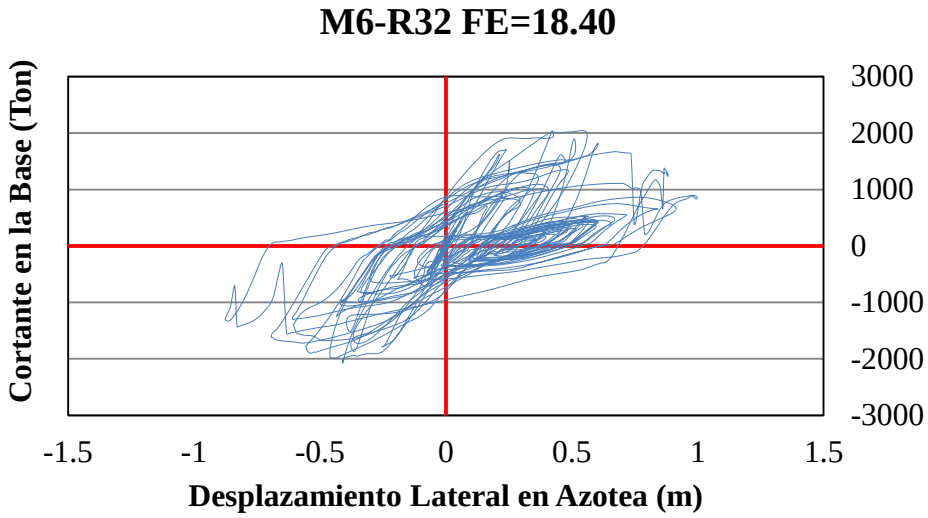

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

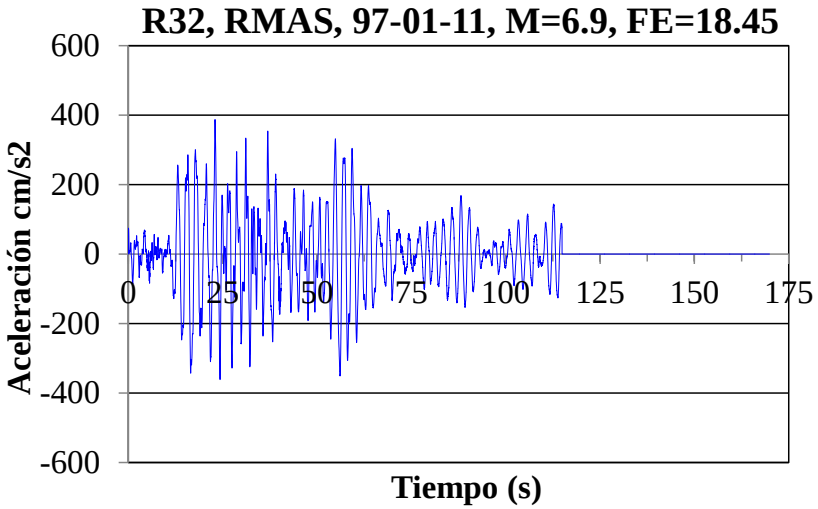

M6-R32 FE=18.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

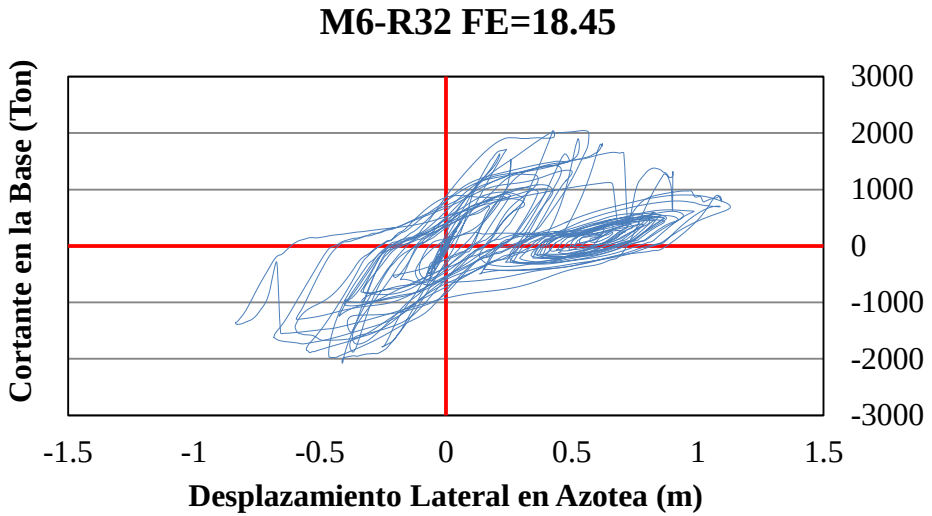

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

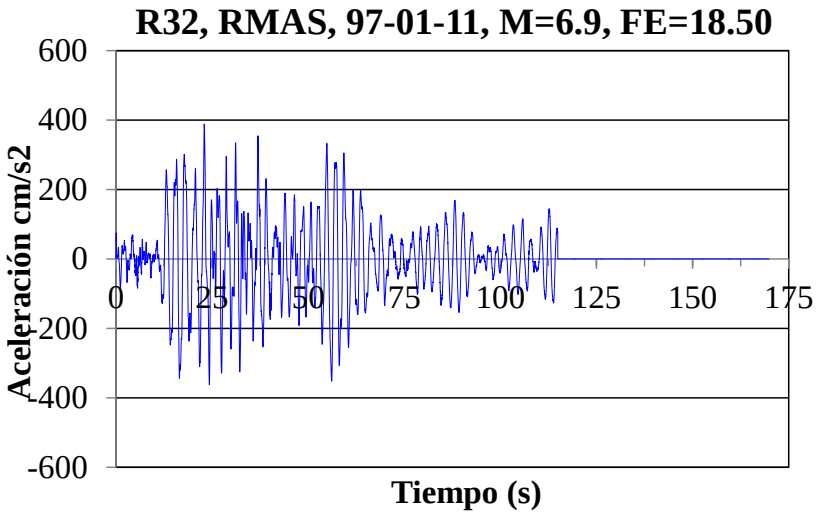

M6-R32 FE=18.35
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

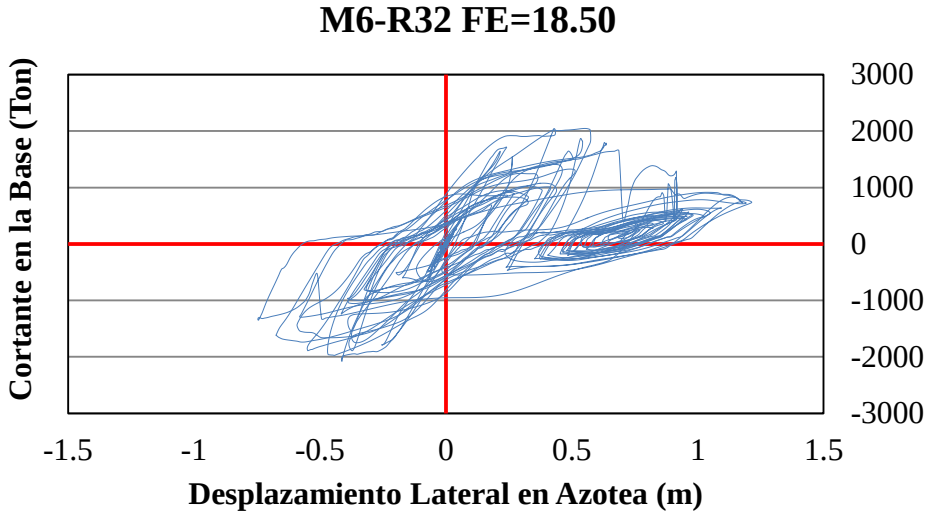

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

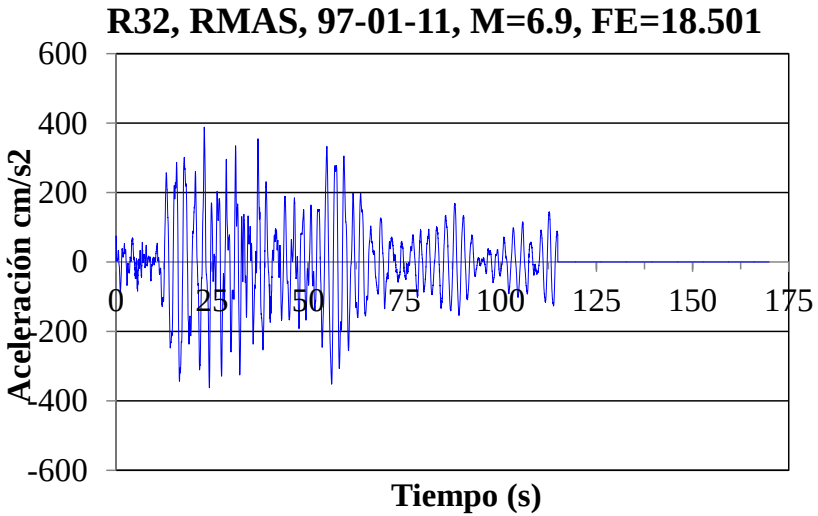

M6-R32 FE=18.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

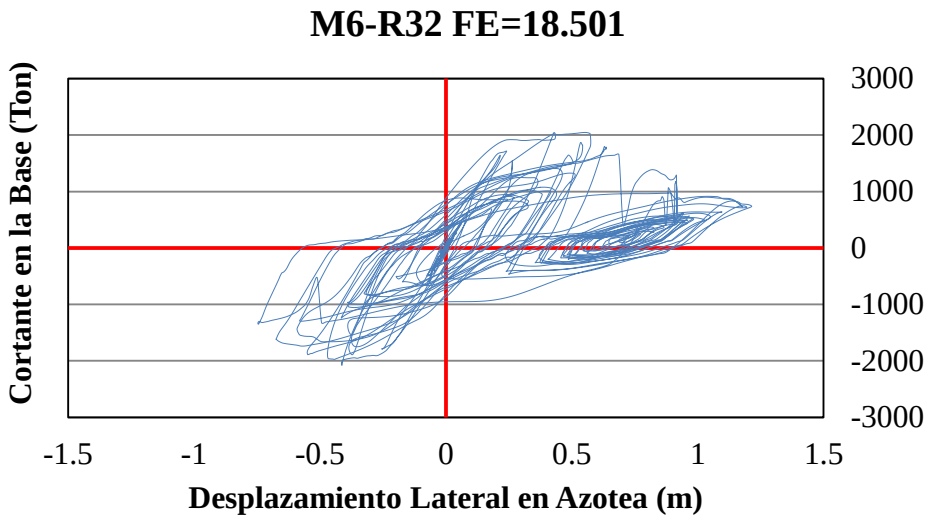

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

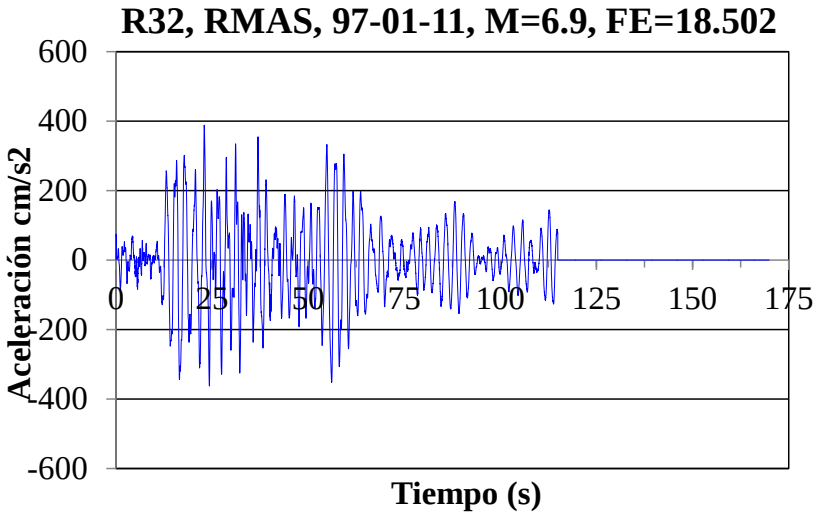

M6-R32 FE=18.45
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

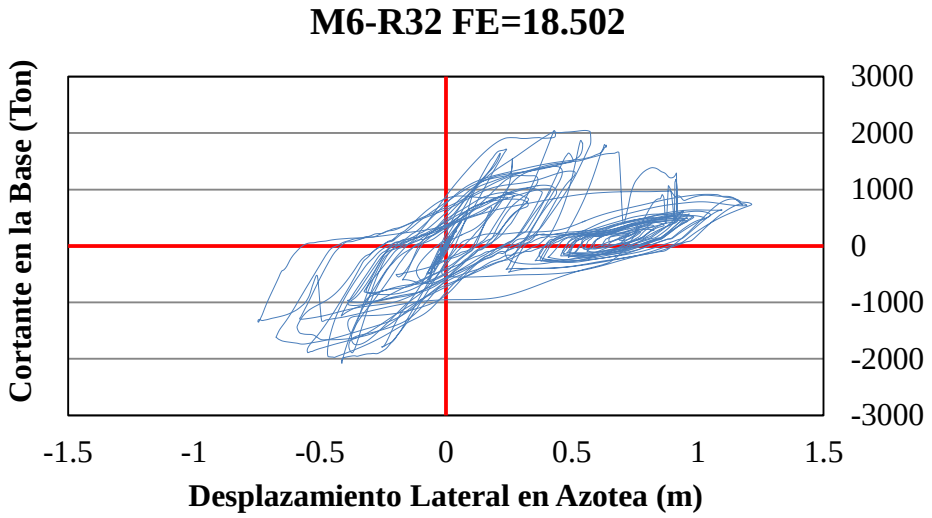

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.50
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

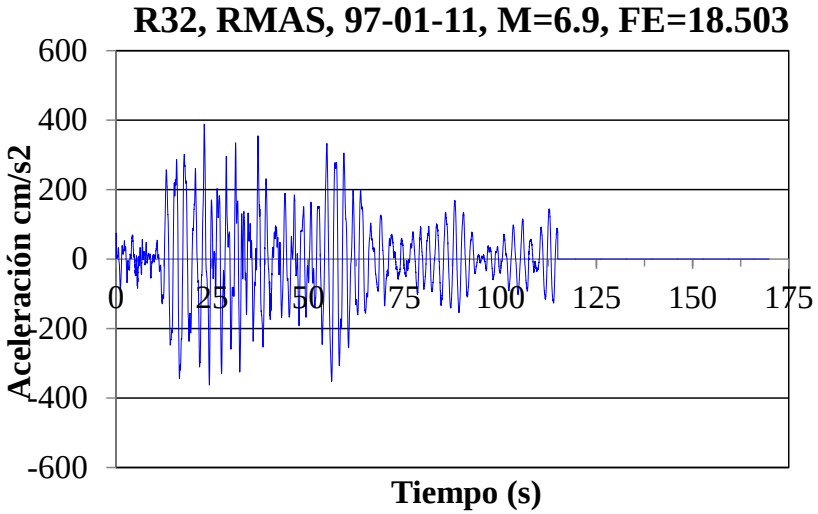

M6-R32 FE=18.50
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

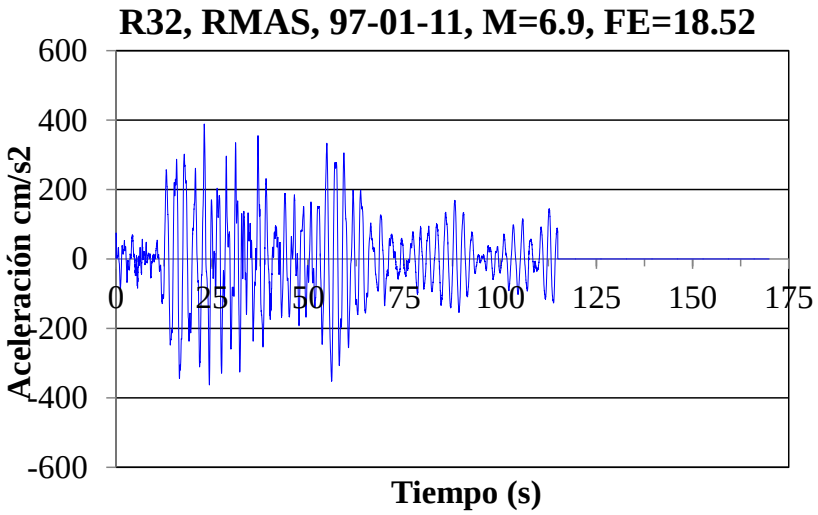

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.501
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

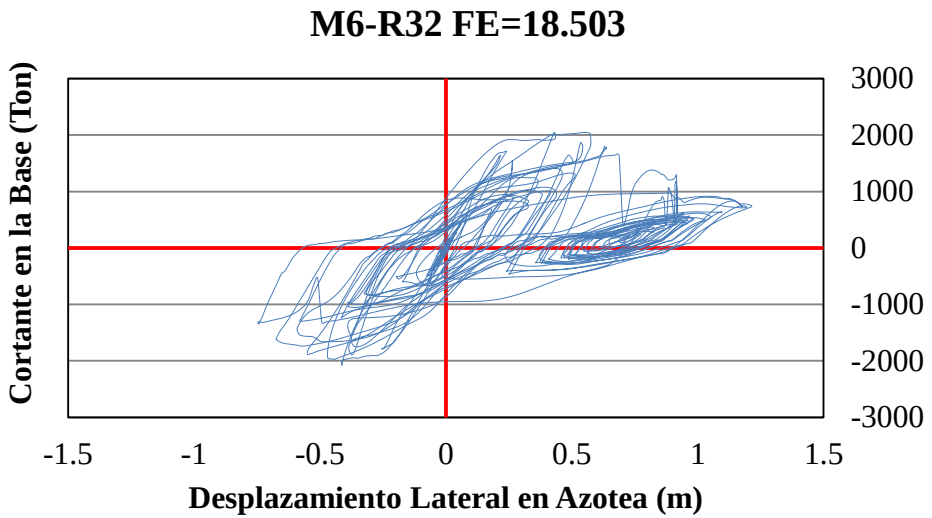

M6-R32 FE=18.501
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

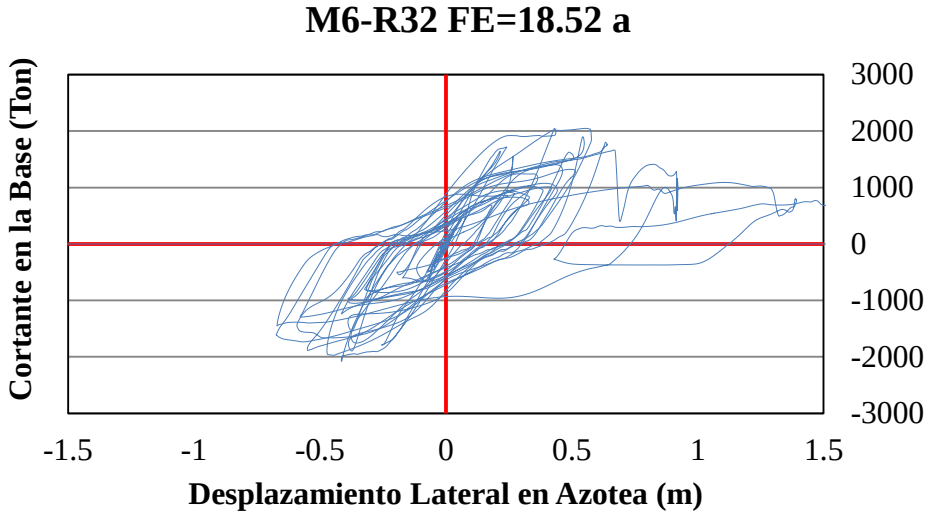

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.502
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

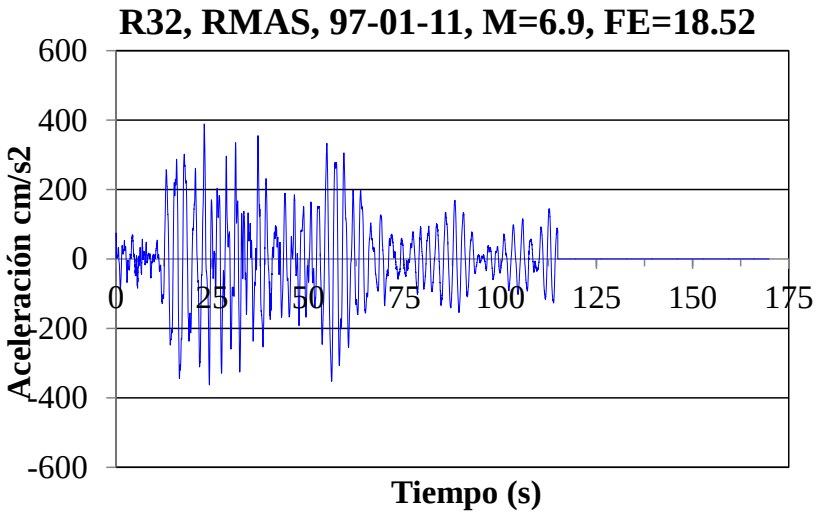

M6-R32 FE=18.502
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

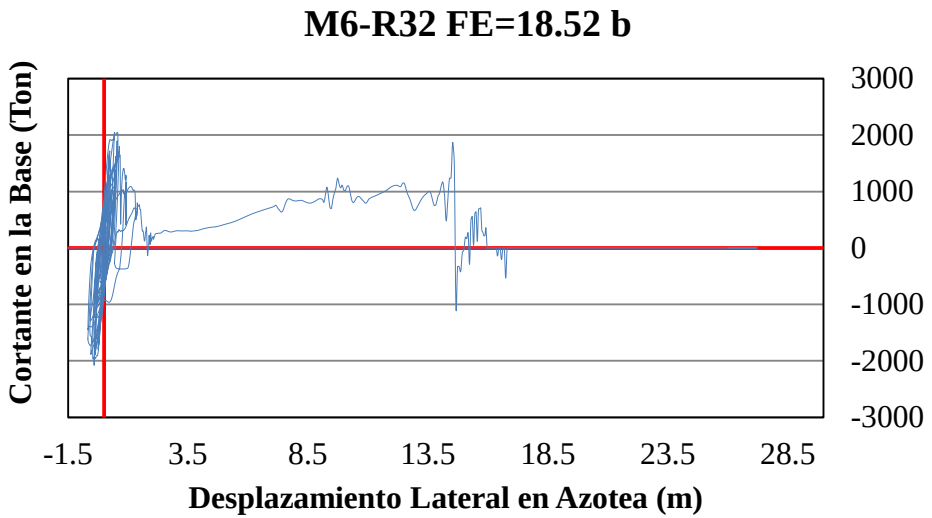

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.503
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

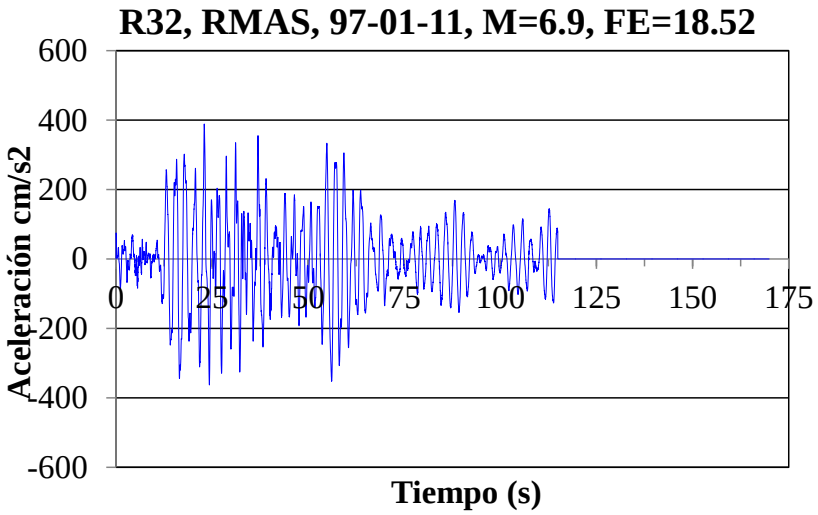

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.52
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

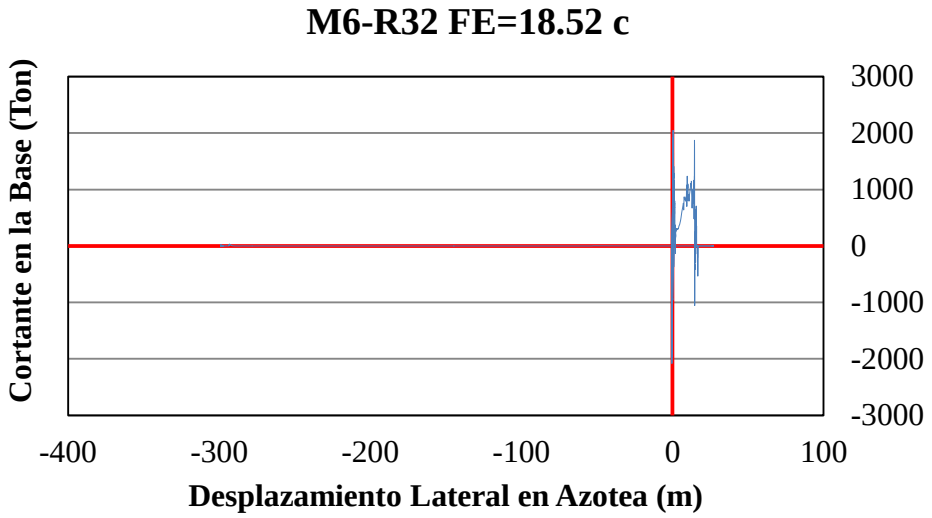

M6-R32 FE=18.503
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

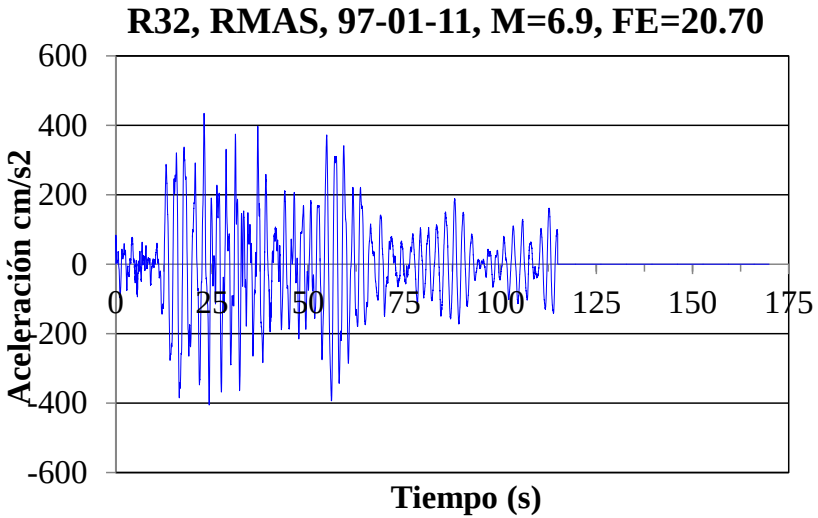

M6-R32 FE=18.52 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

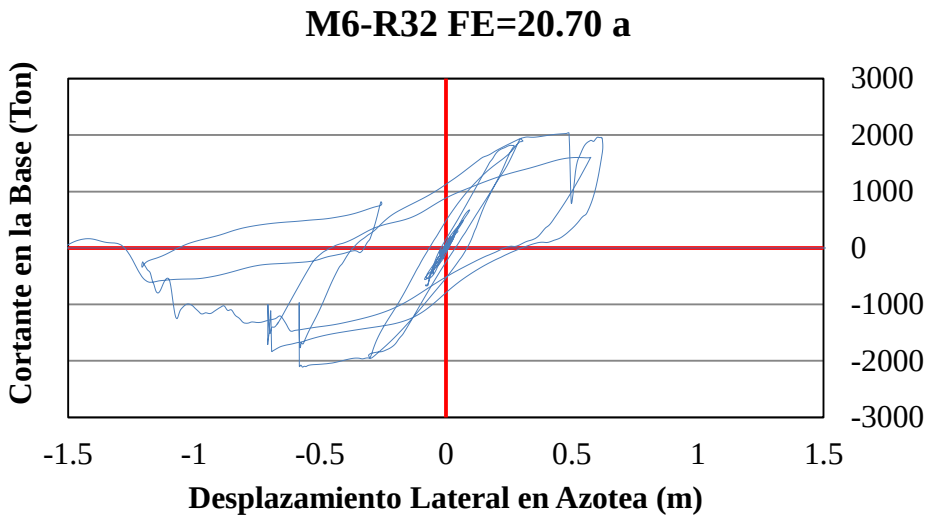

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.52
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

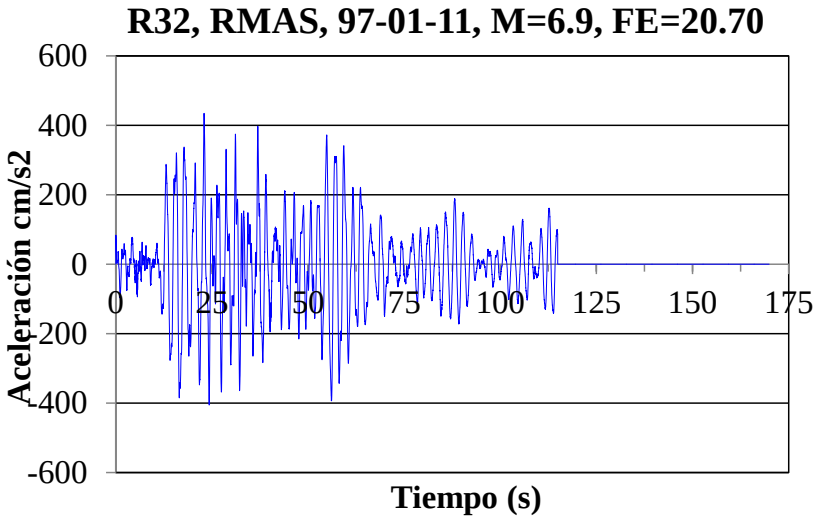

M6-R32 FE=18.52 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
3.5
8.5
13.5
18.5
23.5
28.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

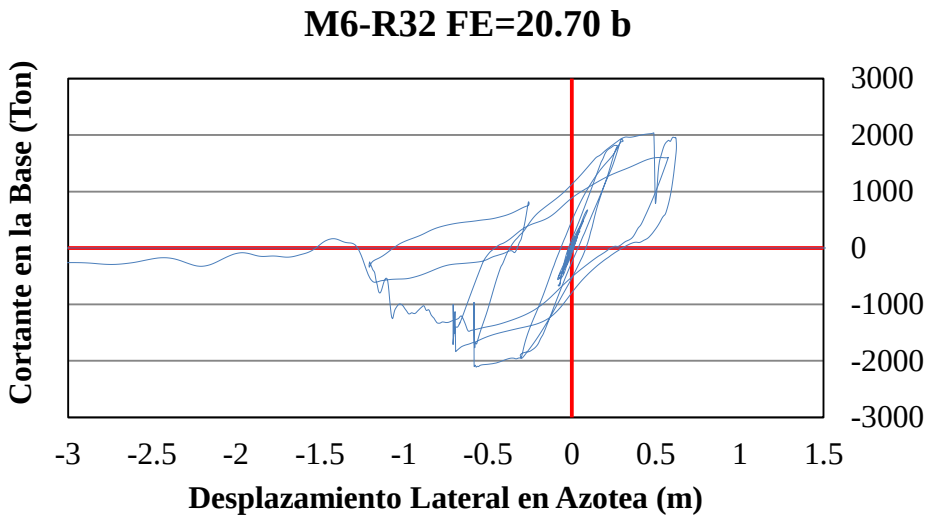

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=18.52
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

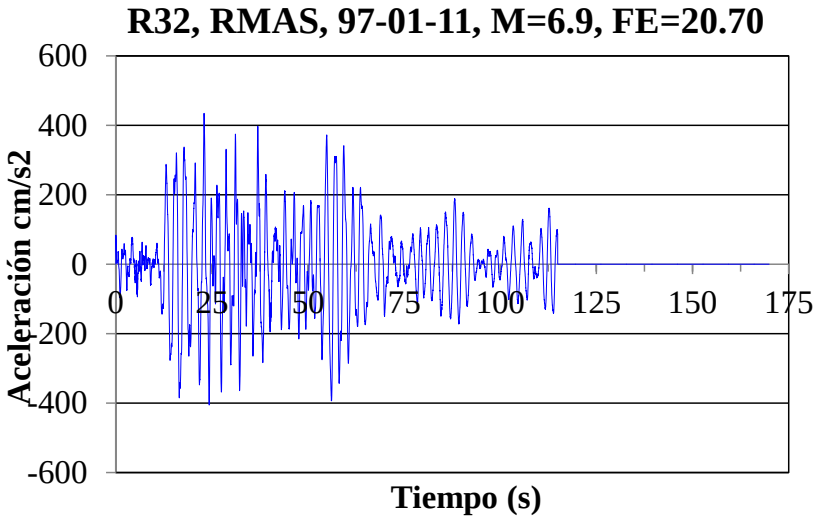

M6-R32 FE=18.52 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-400
-300
-200
-100
0
100
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

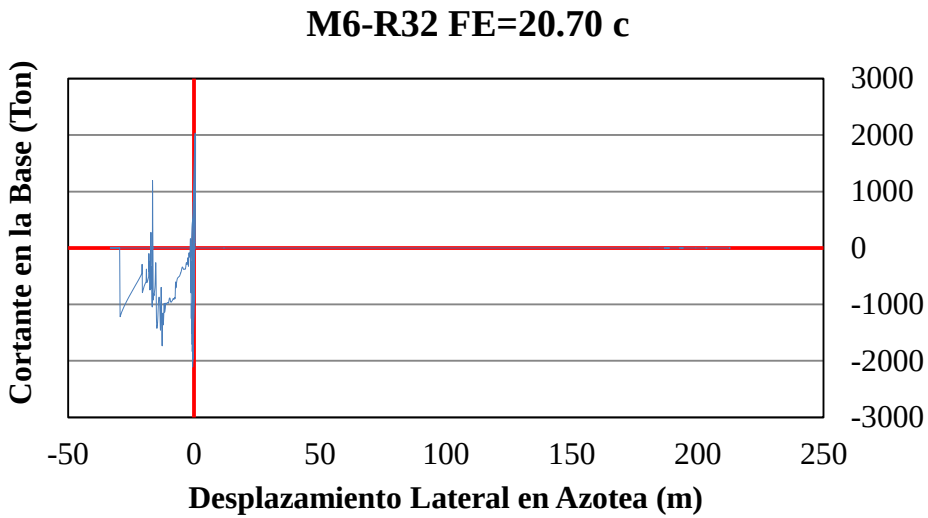

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=20.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R32 FE=20.70 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=20.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R32 FE=20.70 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

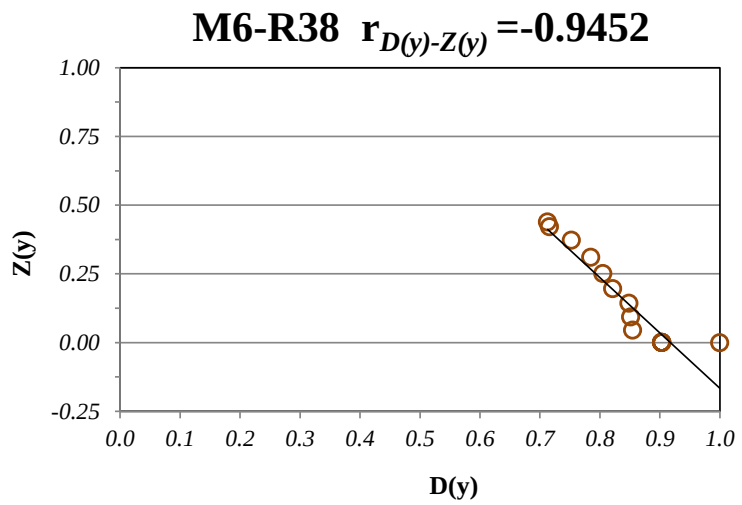

R32, RMAS, 97-01-11, M=6.9, FE=20.70
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

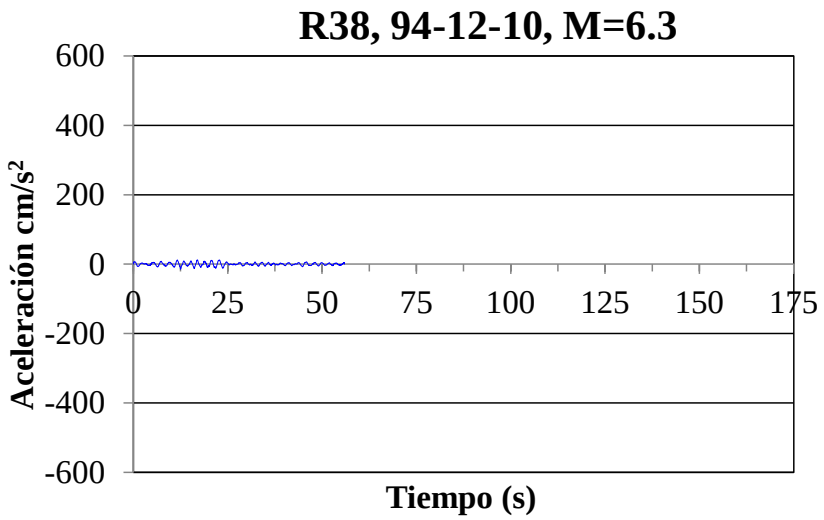

M6-R32 FE=20.70 c
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-50
0
50
100
150
200
250
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

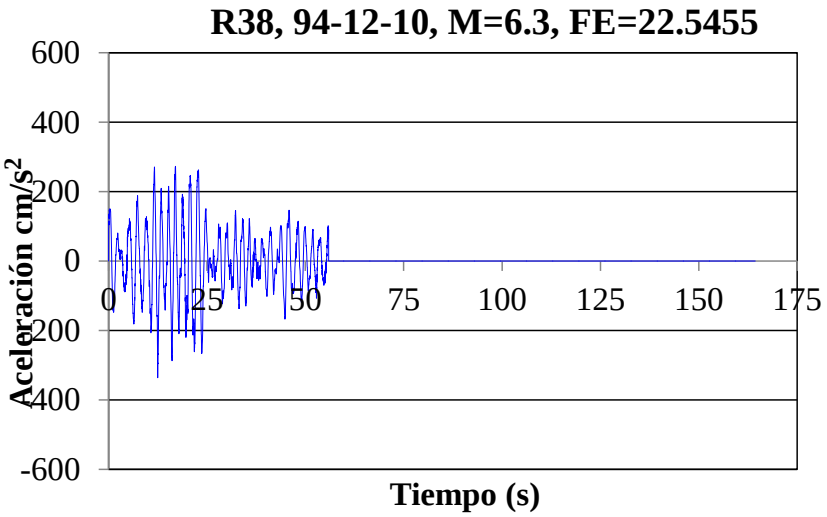
M6-R38

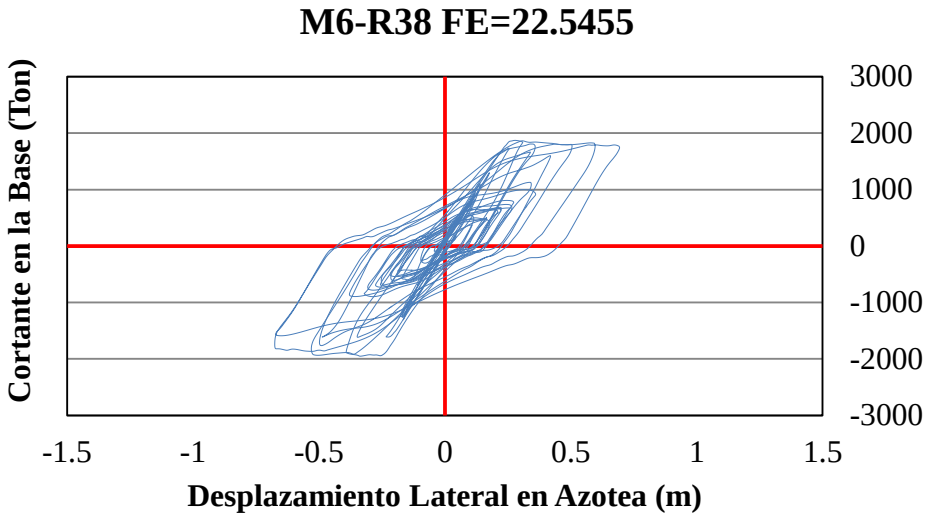
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.3	**6.83**	**8 834.73**	**0.030**	**-0.9452**

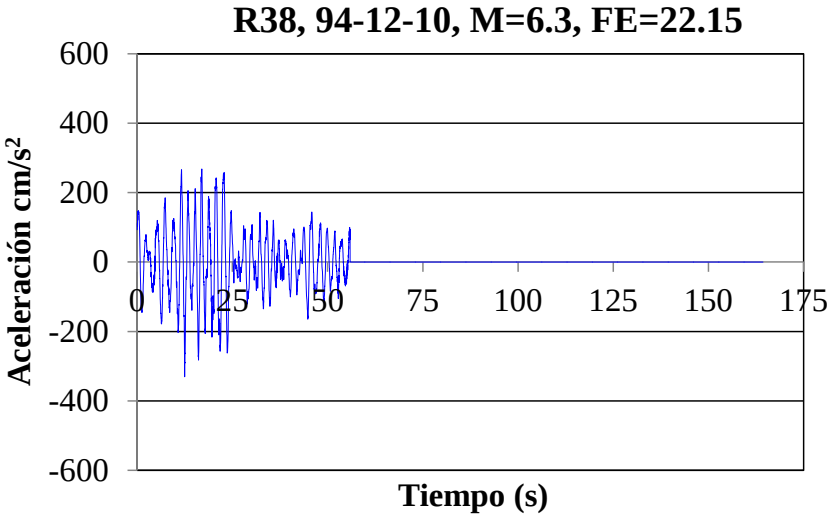
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6830	22.55	23.3200	0.6937	1740.344	2 508.78	0.7160	0.000
0.6711	22.15	23.3000	0.6964	1766.730	2 536.95	0.7128	0.018
0.7173	23.68	22.3100	0.7461	-1632.506	2 188.05	0.7523	-0.049
0.7635	25.20	22.3400	0.7980	-1516.986	1 900.98	0.7848	-0.111
0.8097	26.73	22.3700	0.8365	-1443.041	1 725.09	0.8047	-0.170
0.8559	28.25	22.4000	0.8725	-1376.646	1 577.82	0.8214	-0.226
0.9021	29.78	22.4200	0.9060	-1211.489	1 337.18	0.8486	-0.278
0.9483	31.30	22.4300	0.9096	-1193.447	1 312.06	0.8515	-0.328
0.9945	32.83	22.4400	0.9017	-1158.692	1 285.01	0.8546	-0.376
1.0407	34.35	23.6100	1.1081	949.842	0 857.18	0.9030	-0.421
1.0407	34.351	23.6100	1.1081	949.925	0 857.26	0.9030	-0.421
1.0407	34.352	23.6100	1.1081	949.789	0 857.13	0.9030	-0.421
1.0407	34.353	23.6100	1.1081	949.785	0 857.13	0.9030	-0.421
1.0408	34.354	23.6100	1.1116	947.503	0 852.38	0.9035	-0.421
1.0408	34.355	23.6100	1.1116	947.484	0 852.36	0.9035	-0.421
1.0408	34.356	23.6100	1.1117	947.371	0 852.18	0.9035	-0.421
1.0416	34.38	54.6900	46.0648	-0.003	0 000.00	1.0000	-0.422

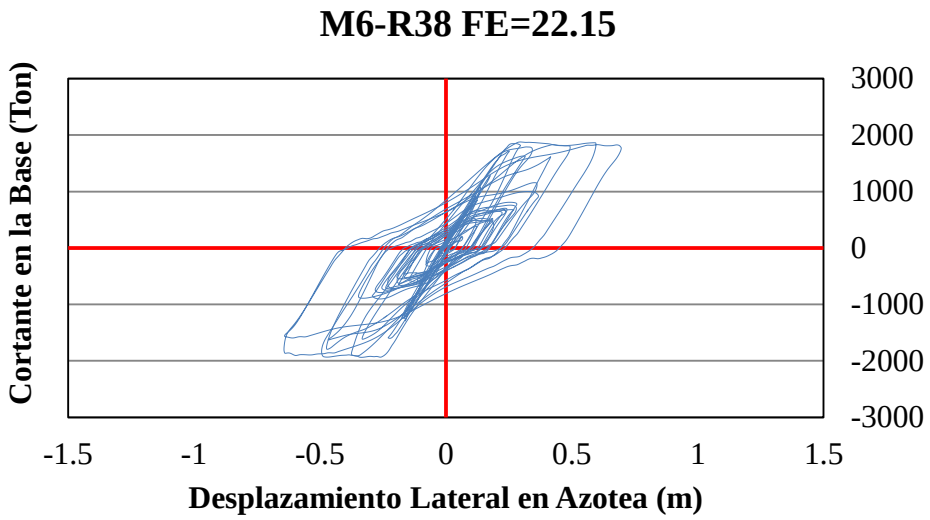

M6-R38 r D(y)-Z(y) =-0.9452
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

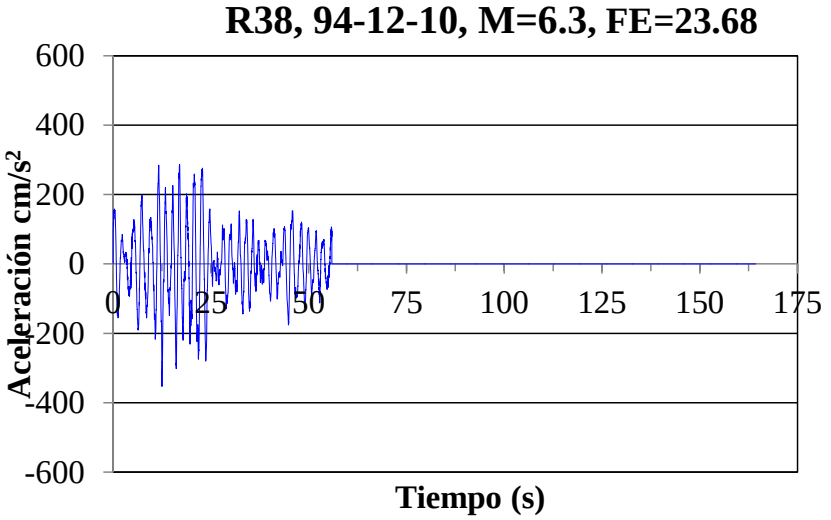

R38, 94-12-10, M=6.3
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

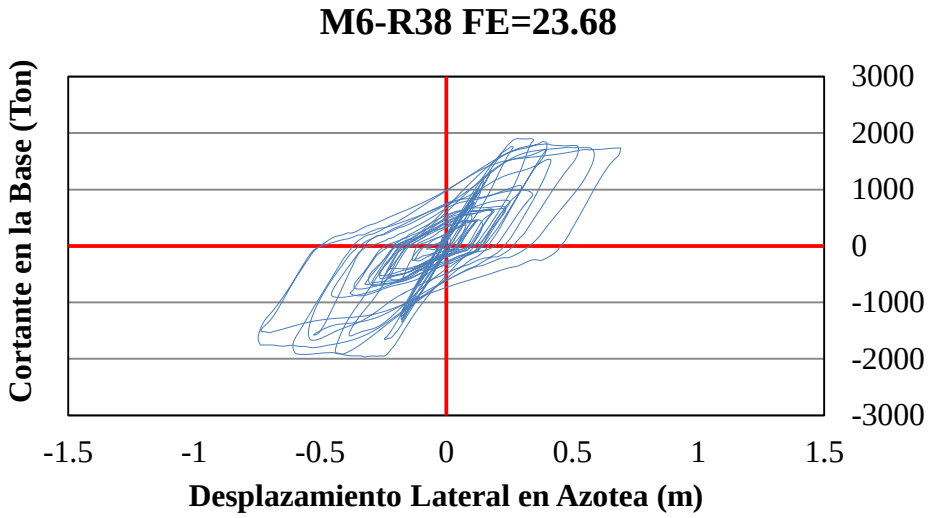

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=22.5455
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

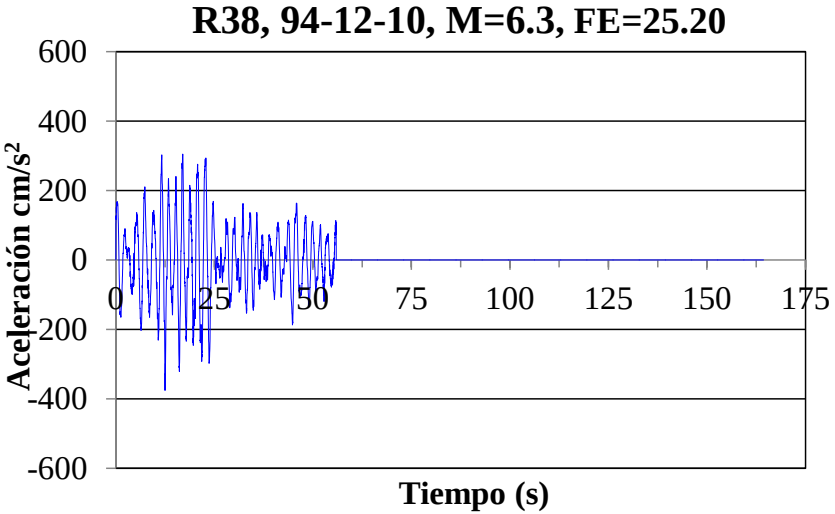

M6-R38 FE=22.5455
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
Cortante en la Base (Ton)
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

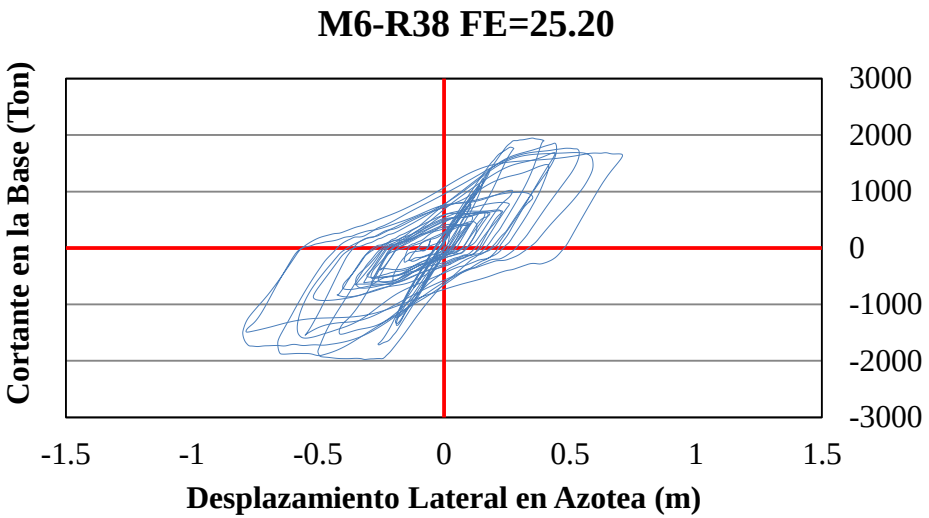

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=22.15
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

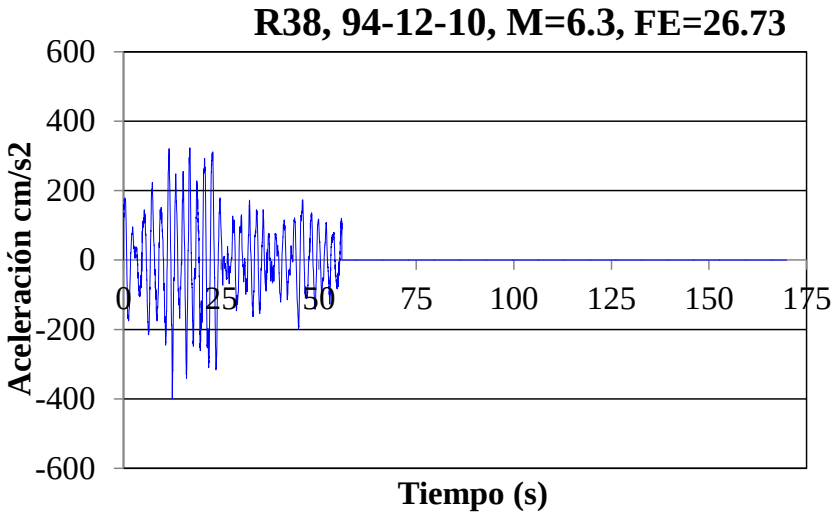

M6-R38 FE=22.15
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

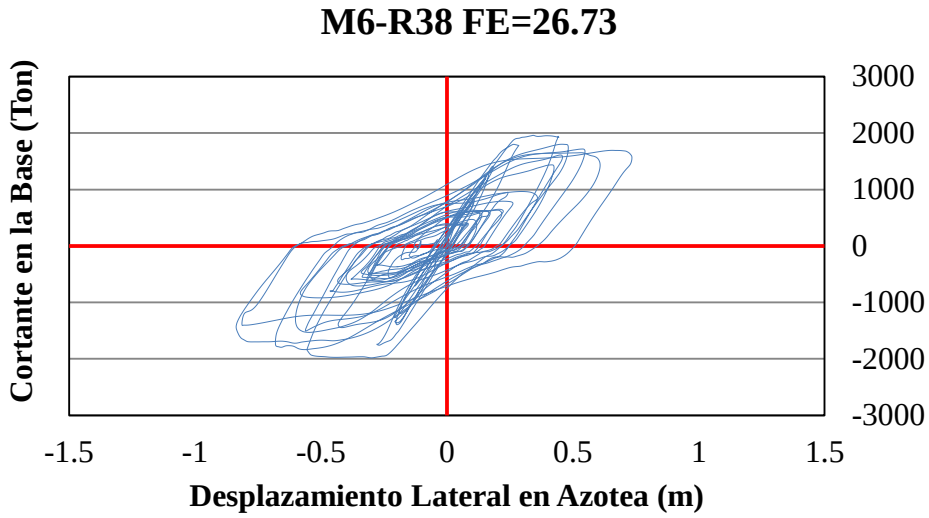

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=23.68
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

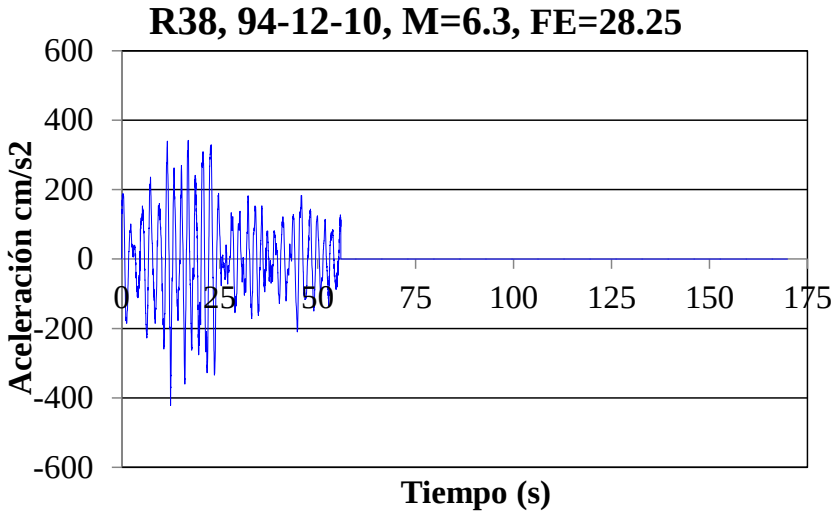

M6-R38 FE=23.68
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

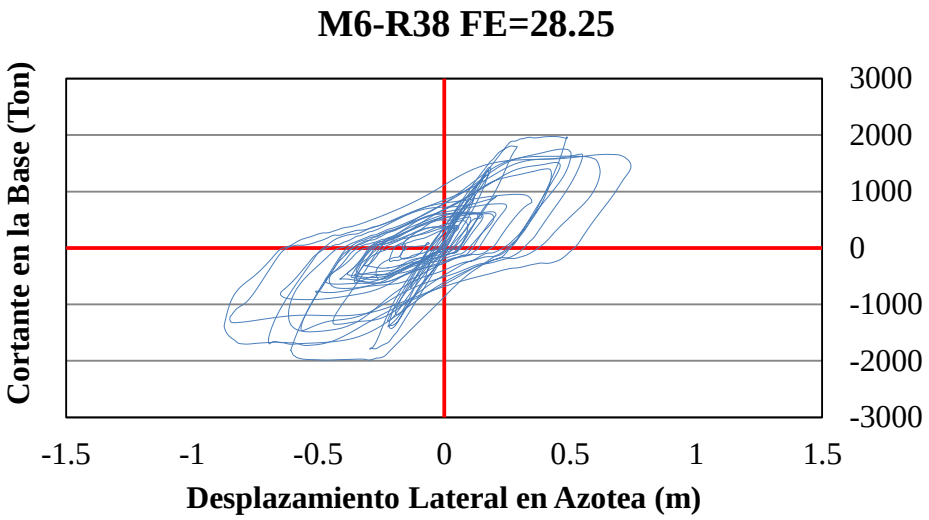

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=25.20
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

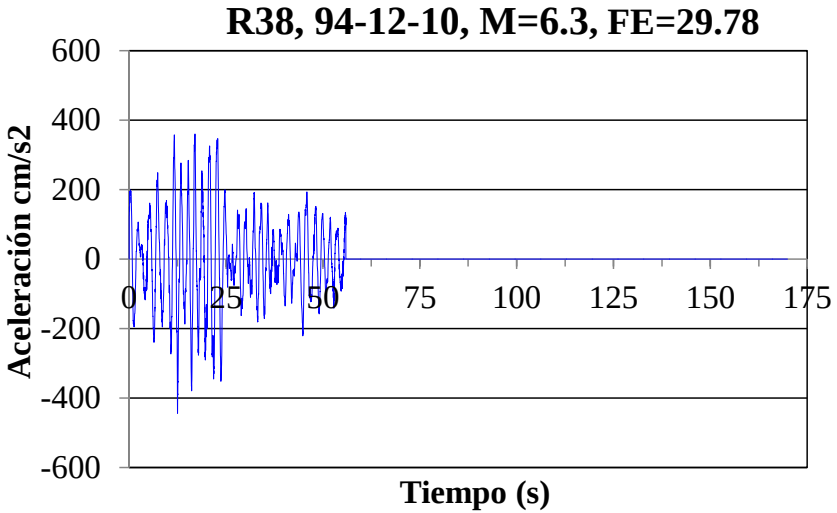

M6-R38 FE=25.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

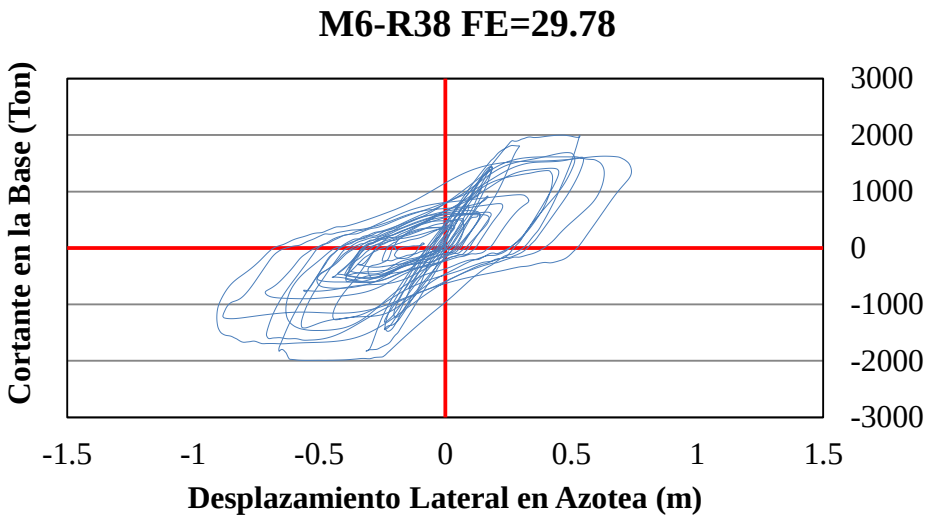

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=26.73
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

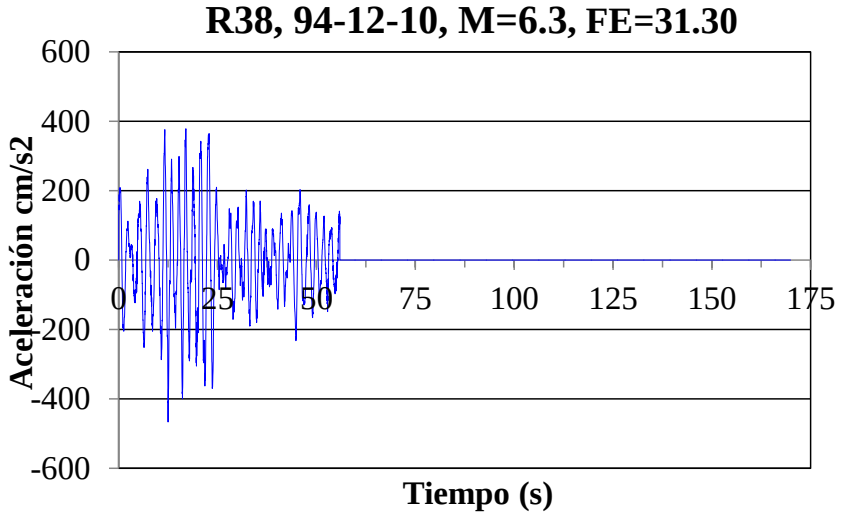

M6-R38 FE=26.73
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

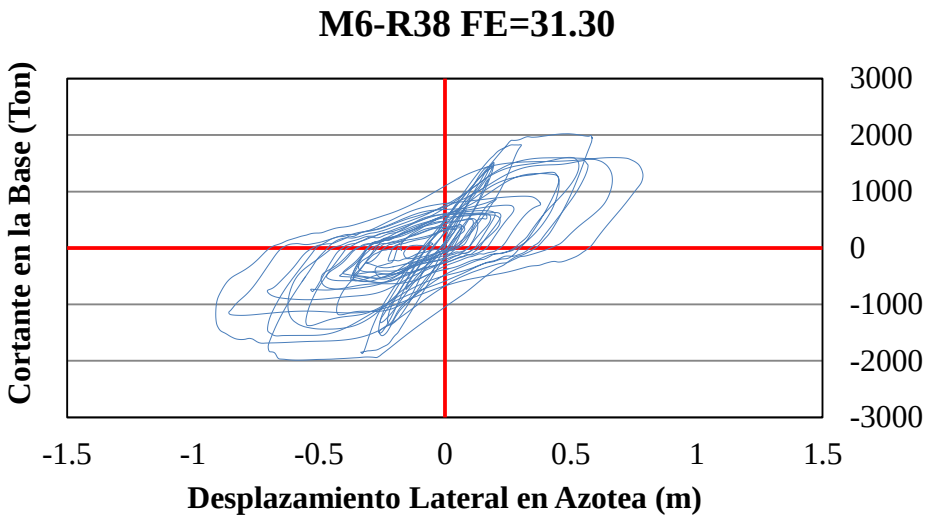

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=28.25
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

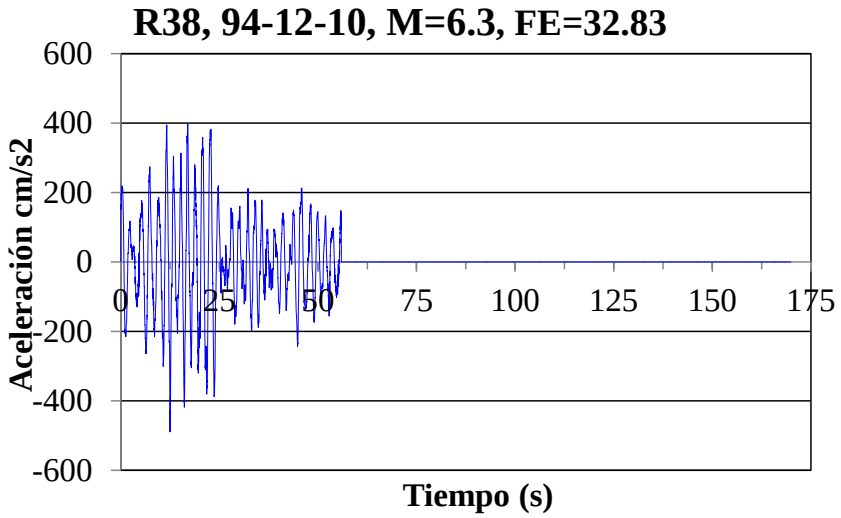

M6-R38 FE=28.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

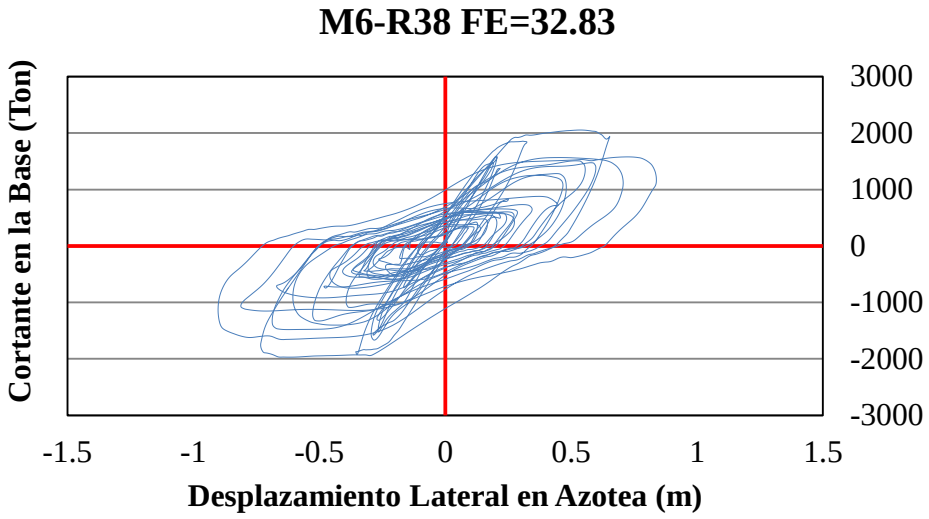

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=29.78
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

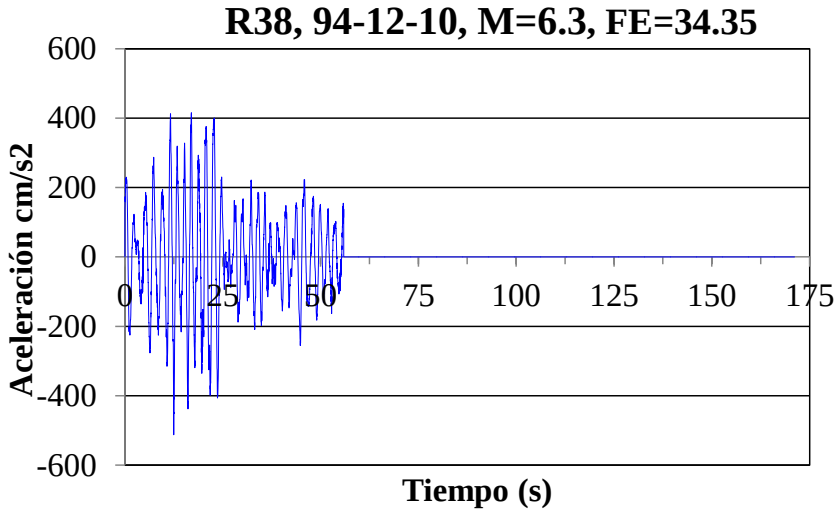

M6-R38 FE=29.78
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

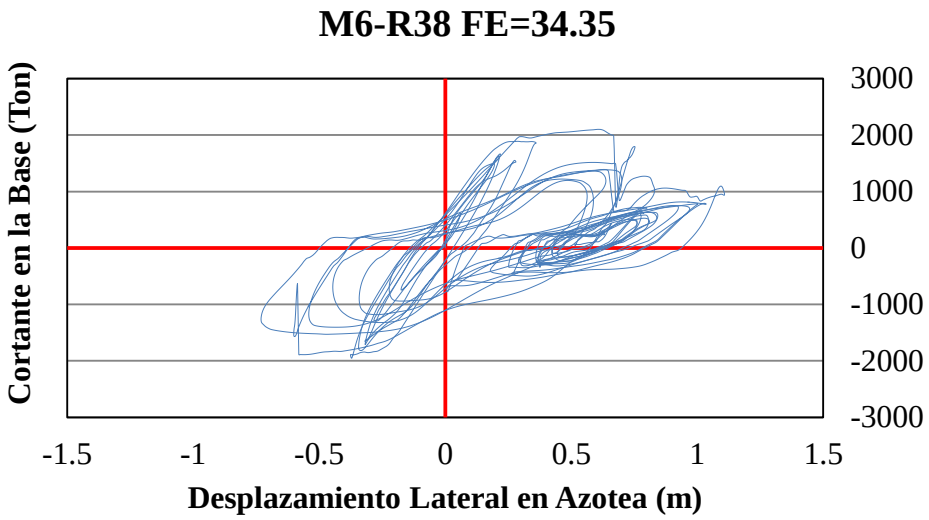

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=31.30
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

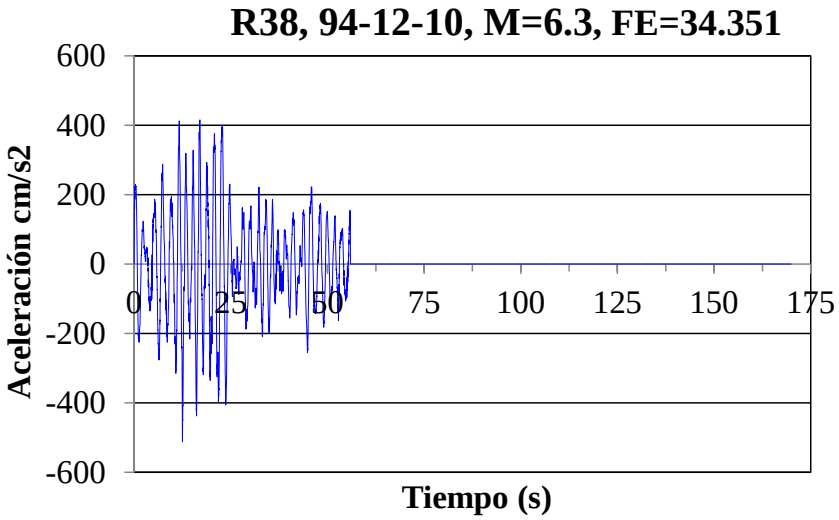

M6-R38 FE=31.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

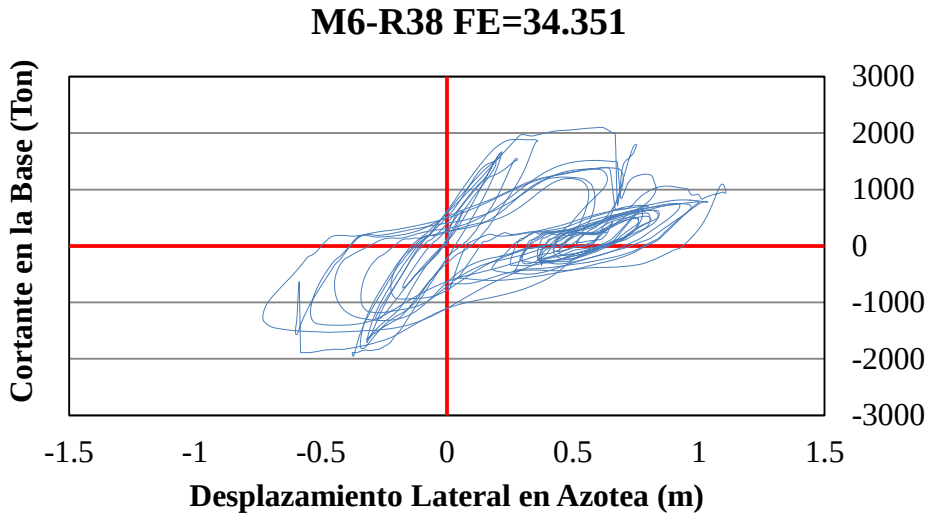

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=32.83
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

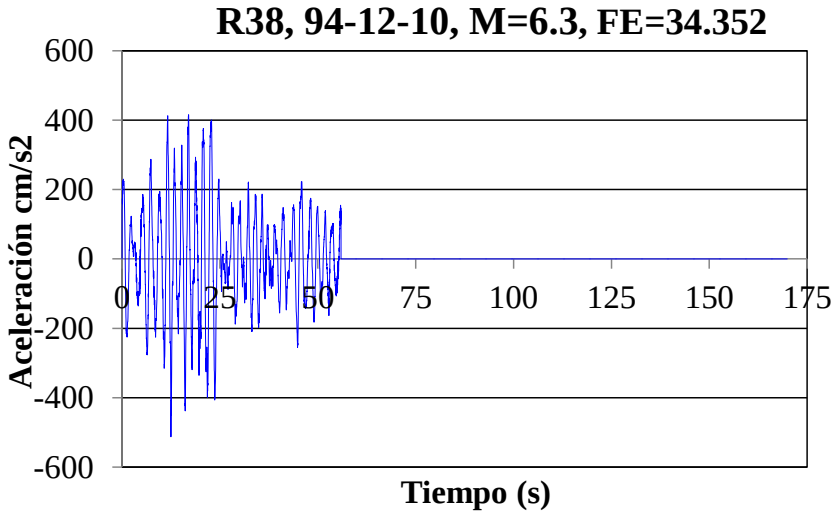

M6-R38 FE=32.83
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

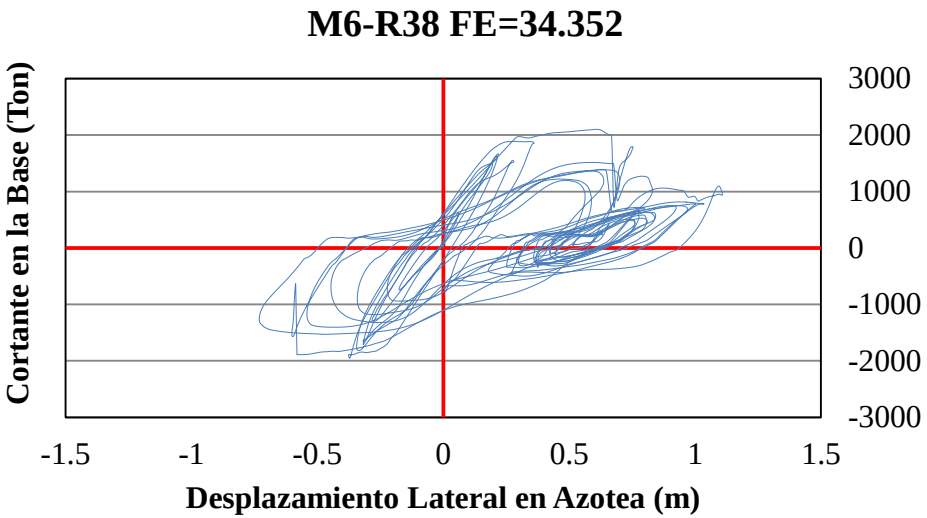

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.35
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

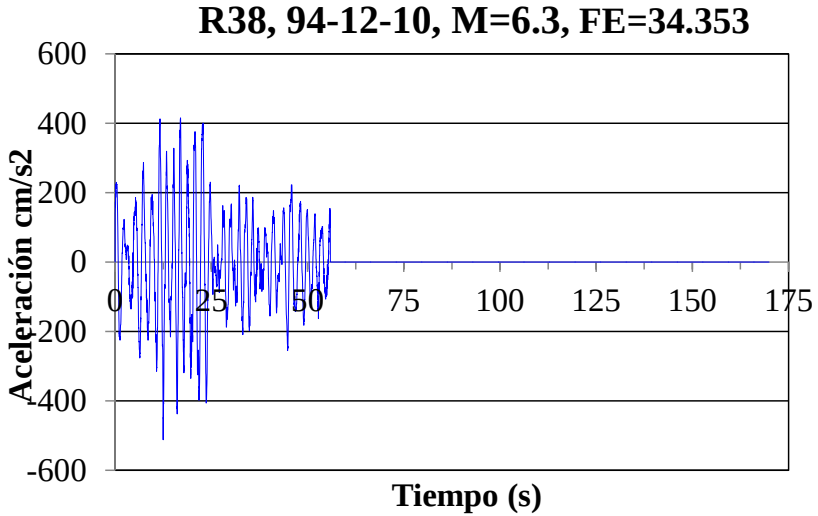

M6-R38 FE=34.35
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

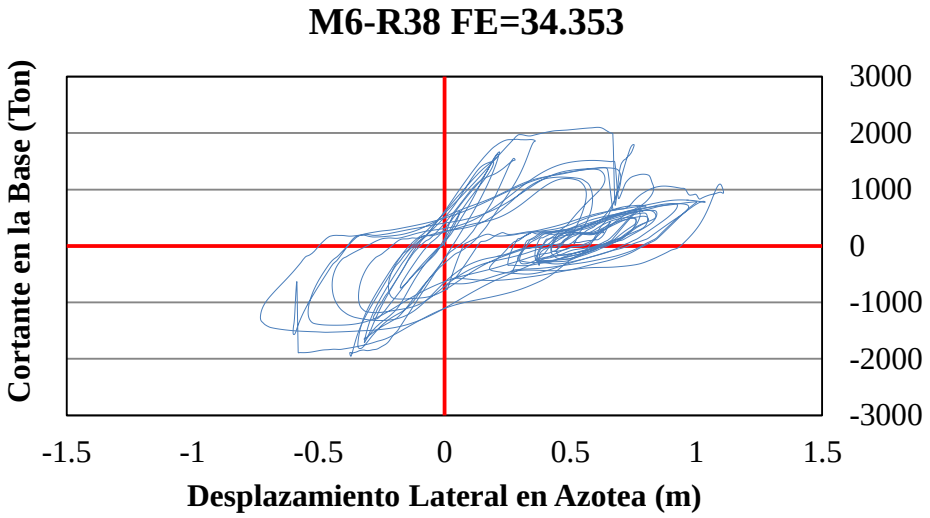

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.351
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

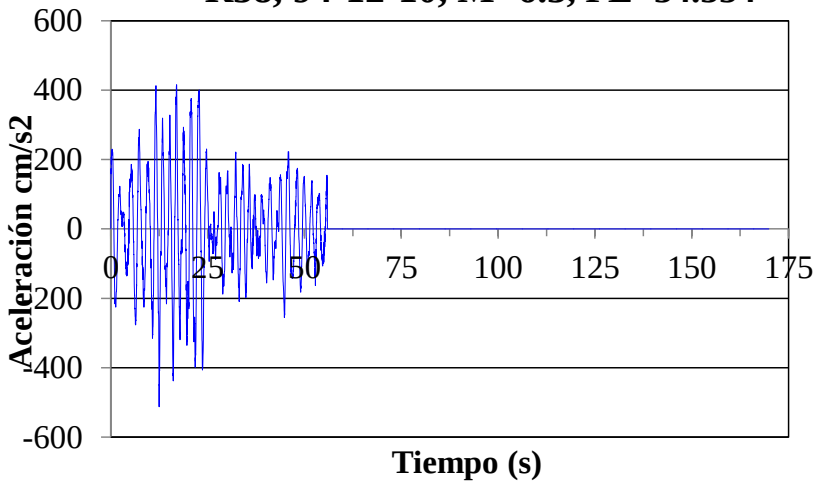

M6-R38 FE=34.351
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

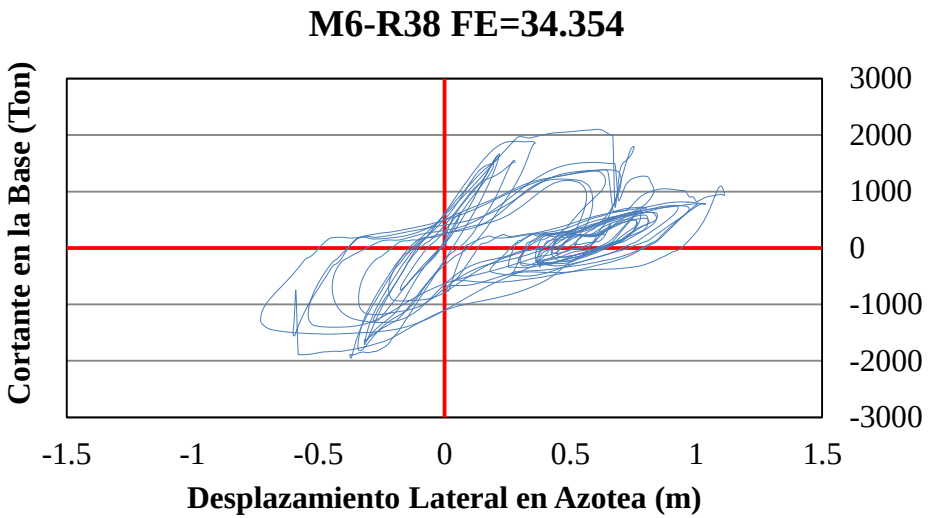

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.352
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

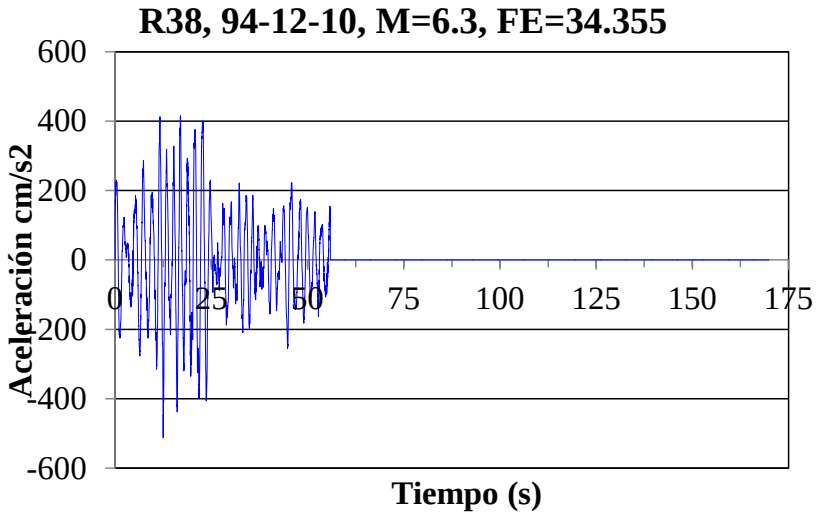

M6-R38 FE=34.352
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

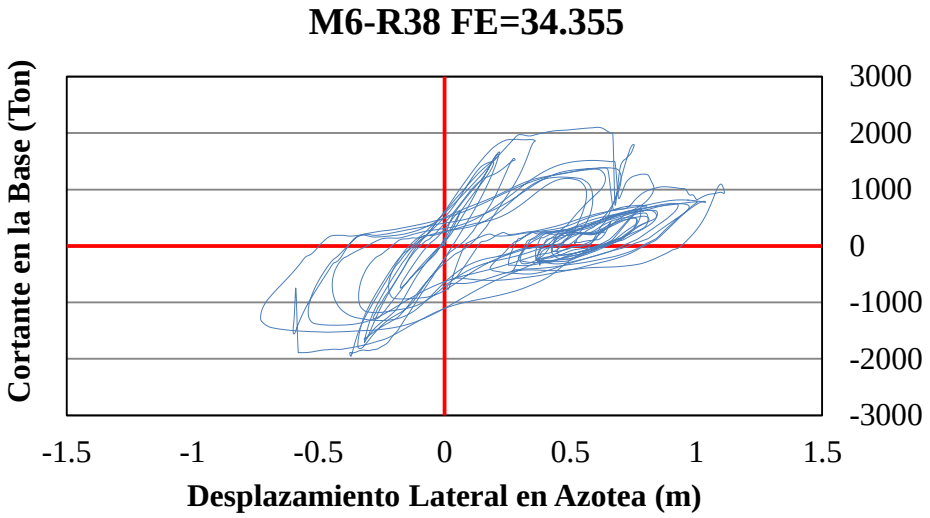

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.353
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

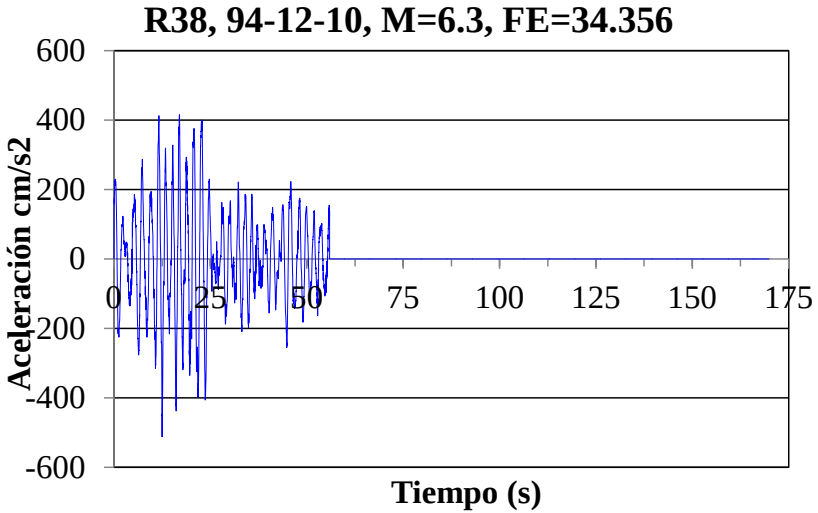

M6-R38 FE=34.353
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

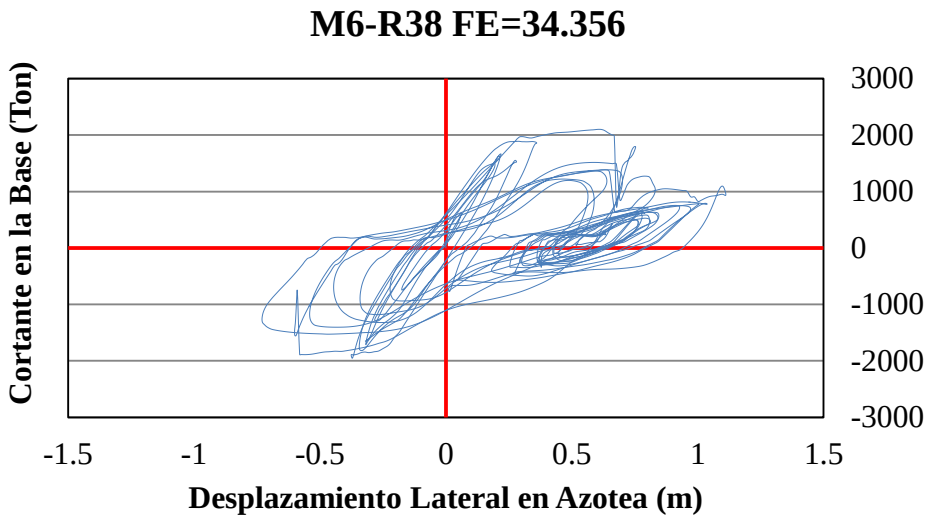

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.354
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

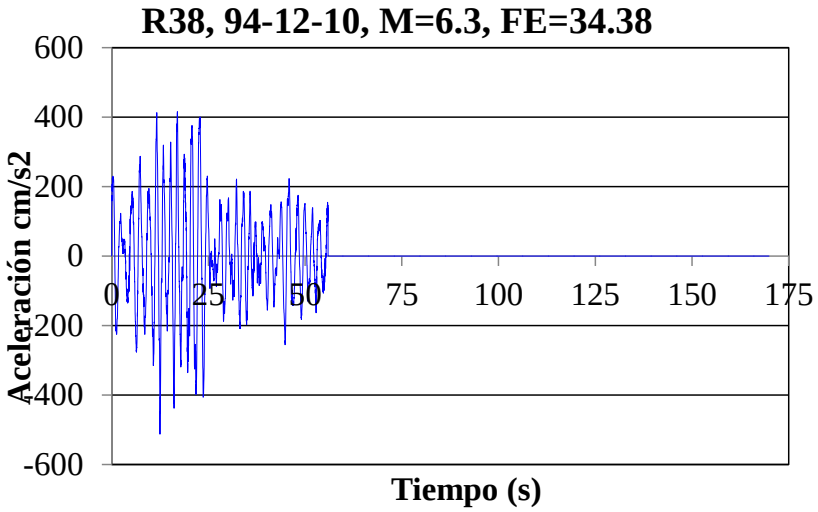

M6-R38 FE=34.354
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

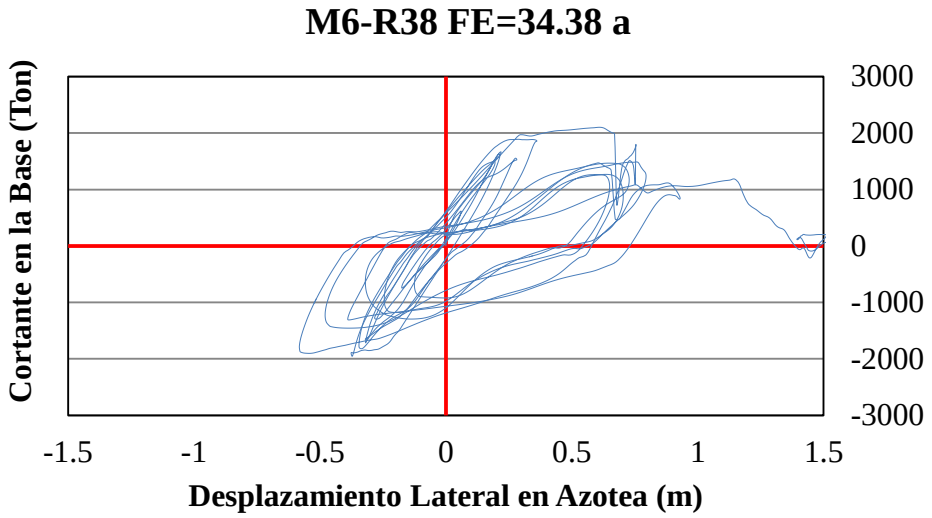

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.355
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

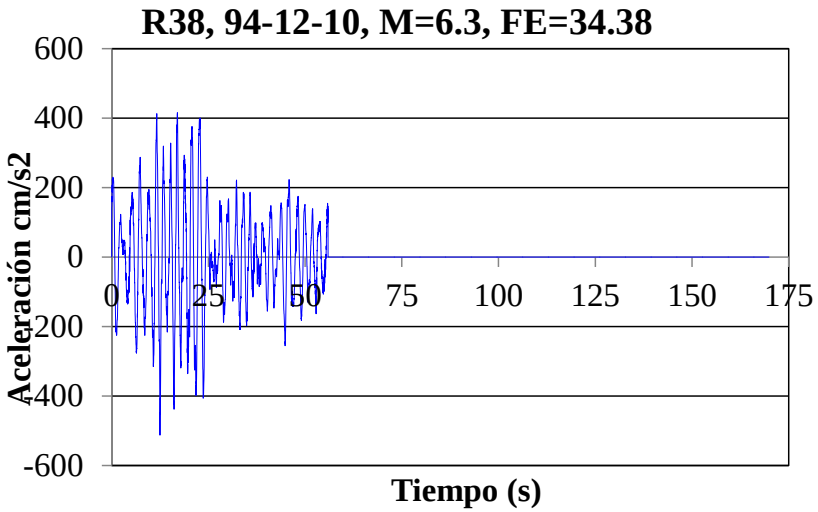

M6-R38 FE=34.355
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

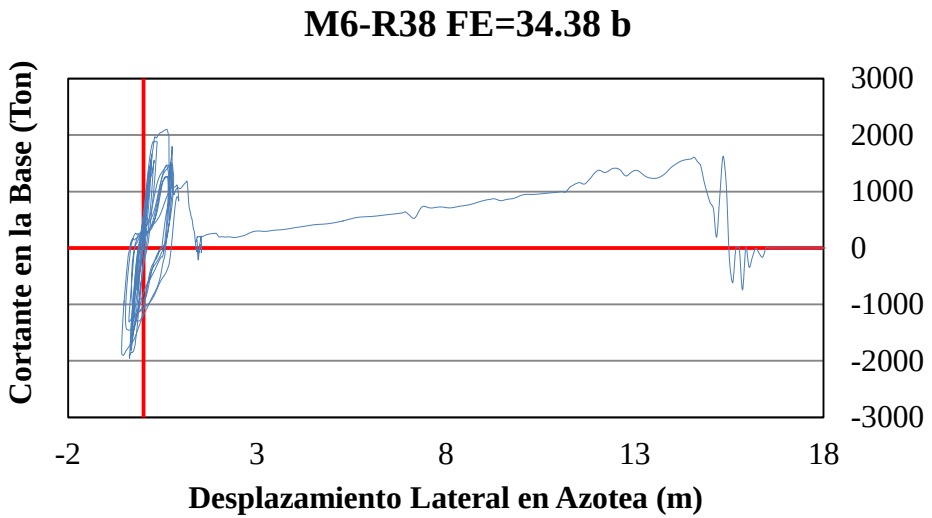

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.356
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

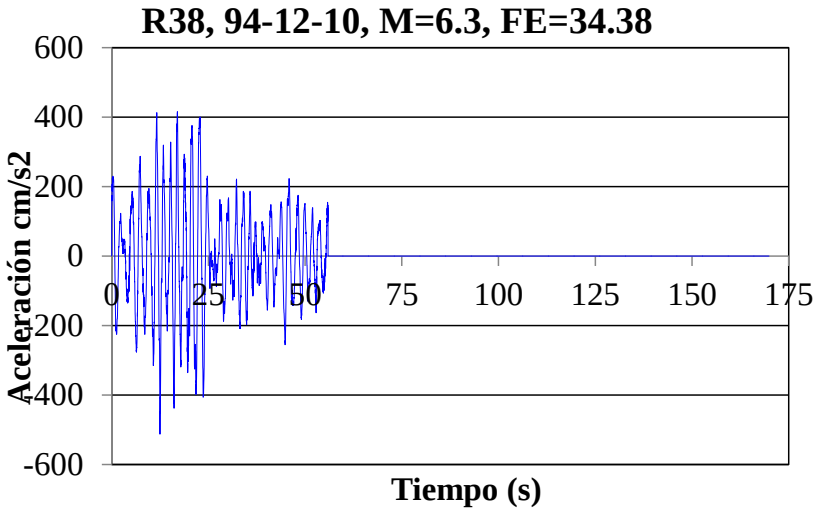

M6-R38 FE=34.356
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

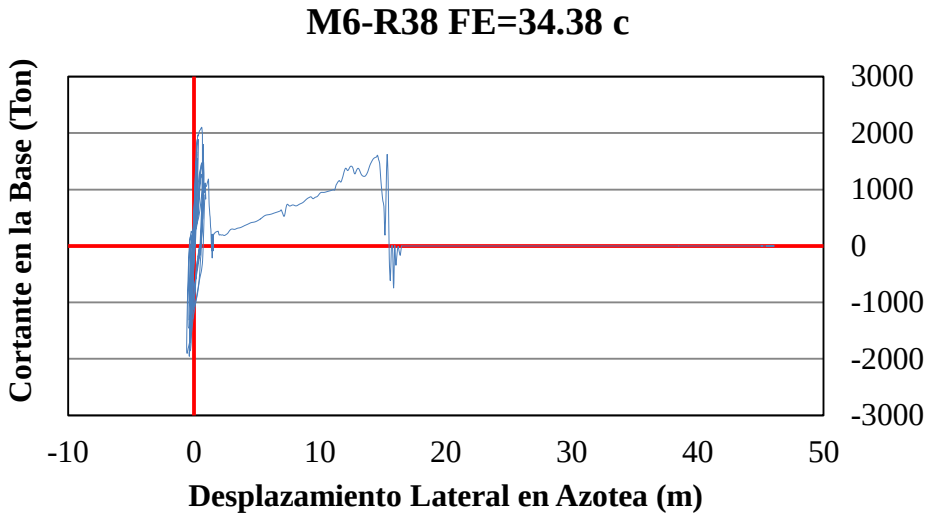

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.38
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R38 FE=34.38 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.38
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M6-R38 FE=34.38 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2
3
8
13
18
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

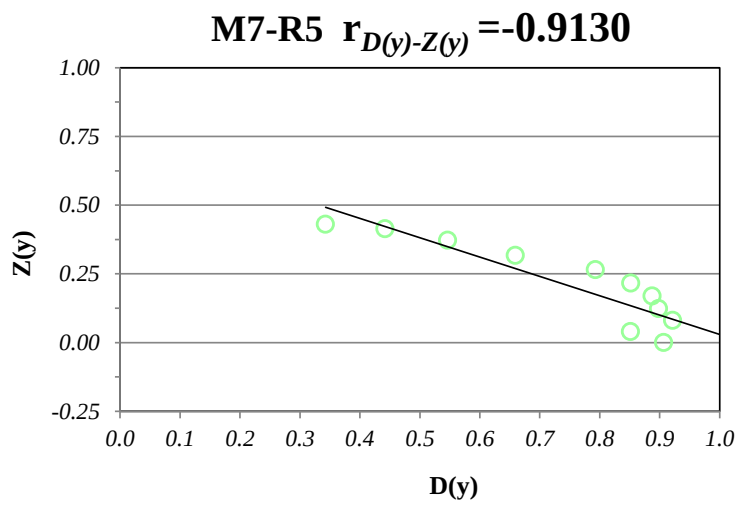

R38, 94-12-10, M=6.3, FE=34.38
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

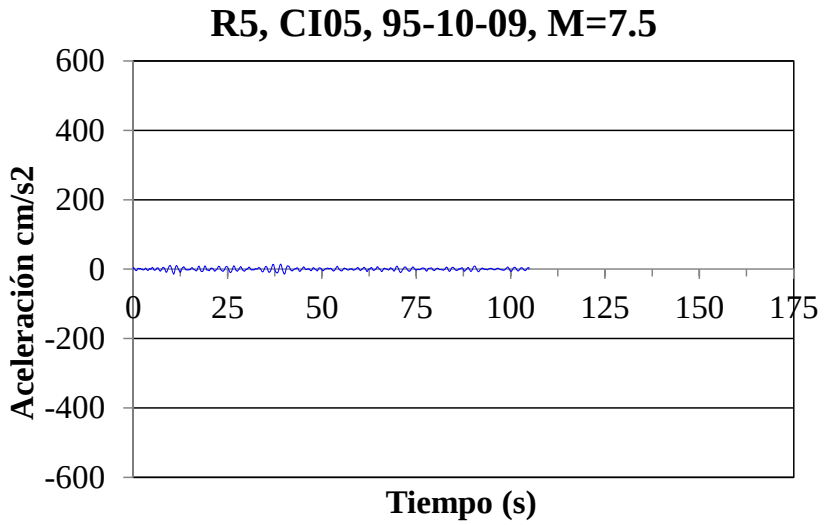

M6-R38 FE=34.38 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-10
0
10
20
30
40
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

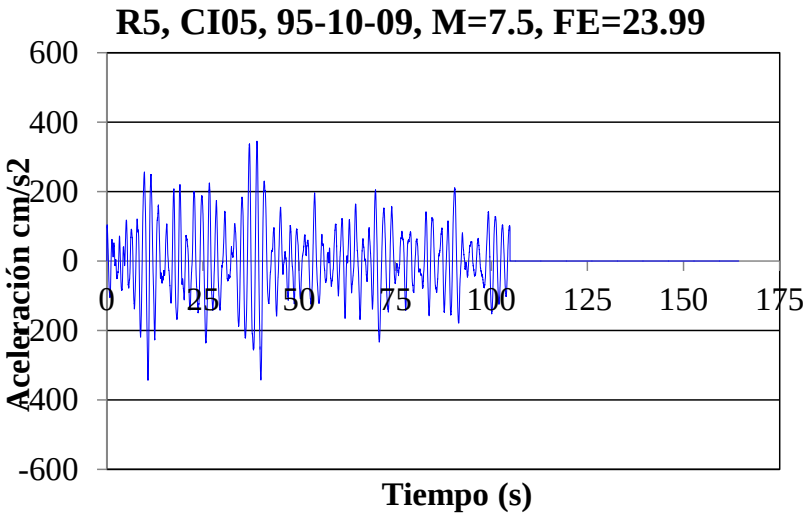
M7-R5

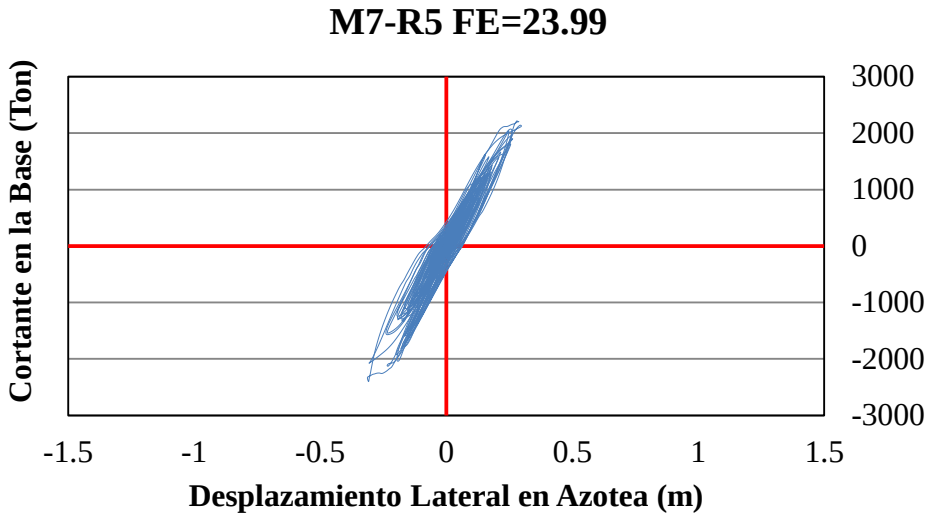
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.5	**6.86**	**11 365.15**	**0.028**	**-0.9130**

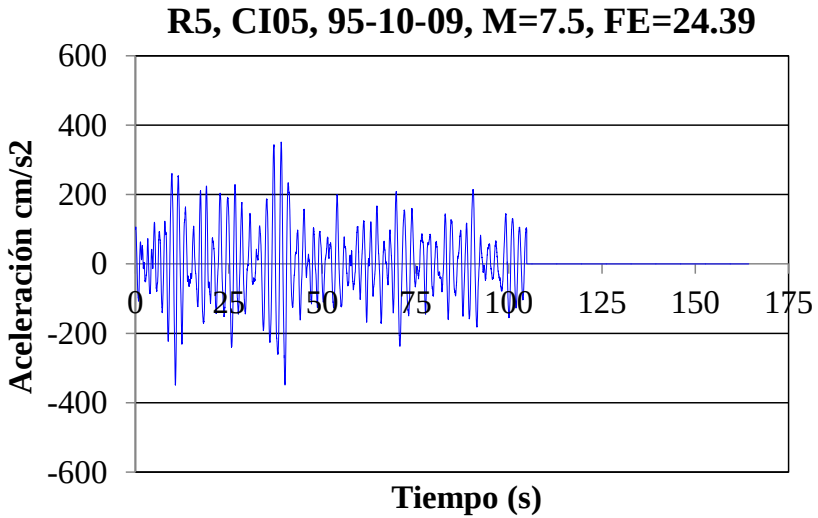
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6786	23.990	41.1300	0.3125	-2332.833	7 465.07	0.3426	0.431
0.6900	24.390	71.0300	0.3363	-2130.852	6 336.16	0.4421	0.414
0.7191	25.420	71.1600	0.4337	-2234.097	5 151.25	0.5464	0.373
0.7597	26.860	40.4700	0.6181	-2392.012	3 869.94	0.6592	0.318
0.8003	28.290	39.5800	0.8855	2083.168	2 352.53	0.7928	0.266
0.8409	29.730	39.7100	1.1173	1880.503	1 683.08	0.8518	0.216
0.8815	31.160	39.7800	1.2108	1550.060	1 280.19	0.8873	0.169
0.9221	32.600	39.8000	1.2056	1392.245	1 154.82	0.8983	0.124
0.9627	34.030	91.2100	1.1671	1036.702	0 888.27	0.9218	0.081
1.0033	35.470	37.7400	1.0588	1785.712	1 686.54	0.8515	0.040
1.0439	36.902	40.8300	1.0676	-1133.371	1 061.61	0.9065	0.000
1.0845	38.337	2.8500	2.2644	15.741	-0 006.95	1.0006	-0.038

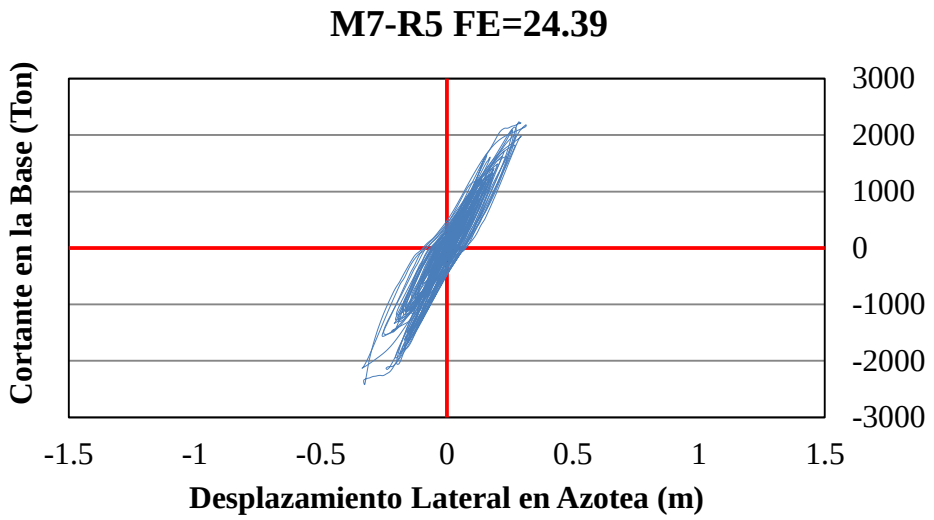

M7-R5 r D(y)-Z(y) =-0.9130
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

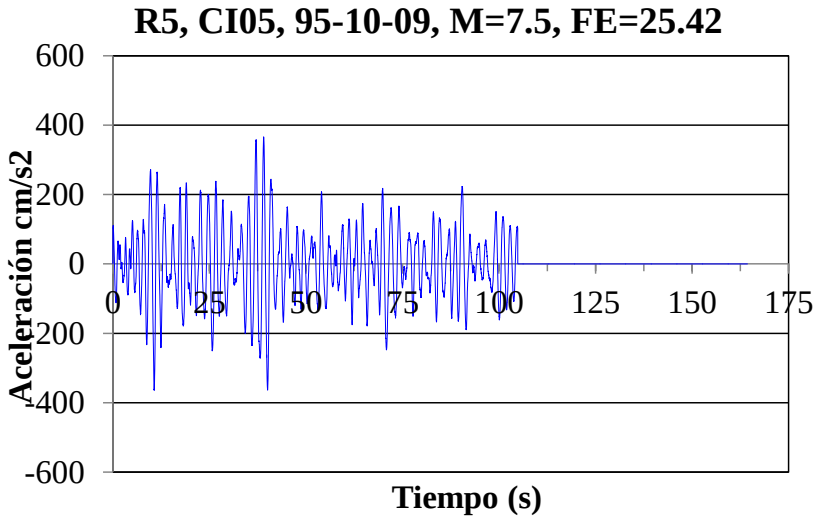

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

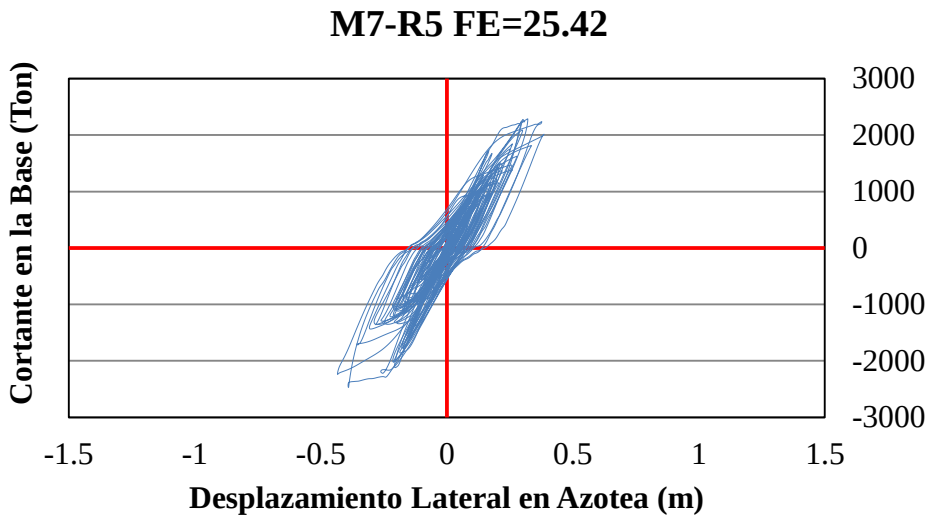

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=23.99
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

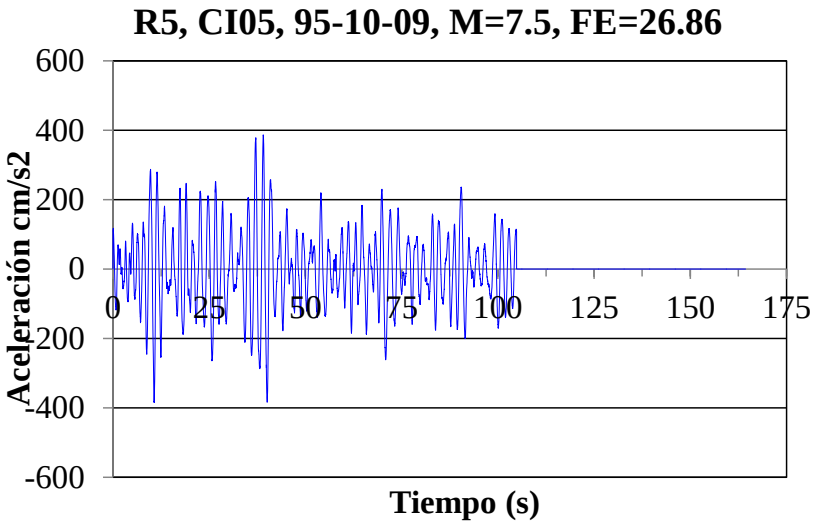

M7-R5 FE=23.99
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
Cortante en la Base (Ton)
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

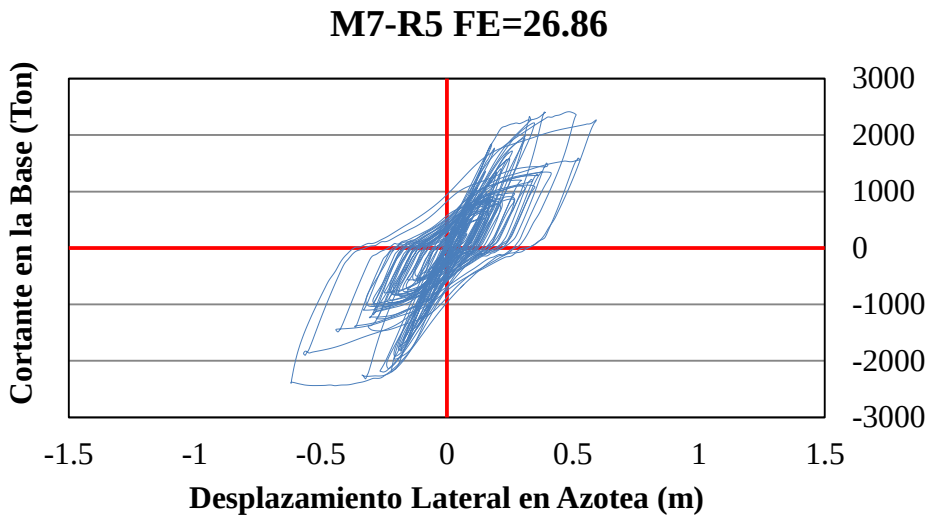

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=24.39
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

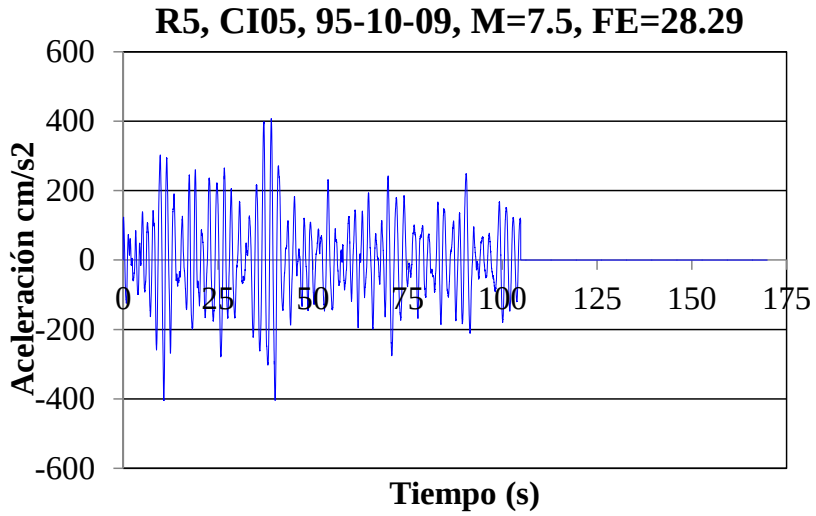

M7-R5 FE=24.39
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

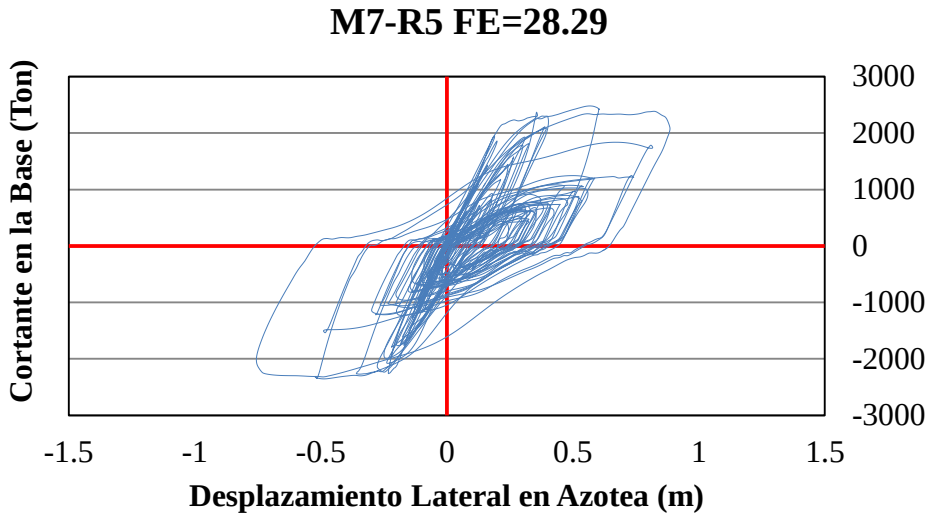

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=25.42
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

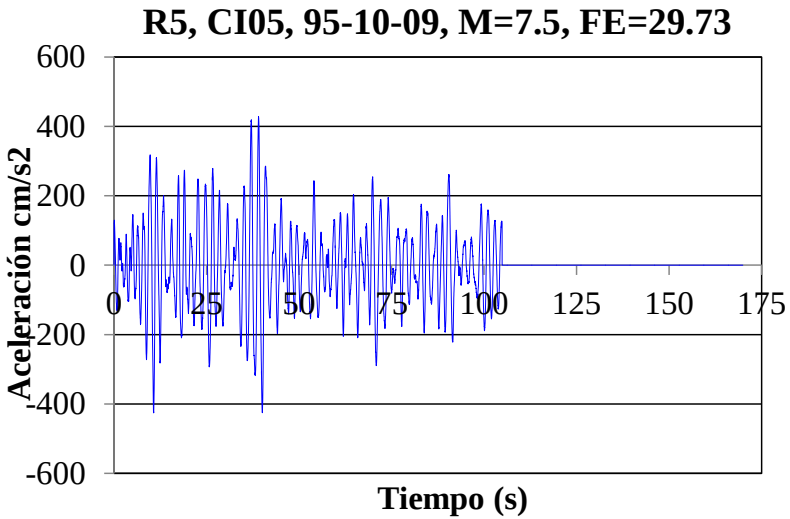

M7-R5 FE=25.42
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

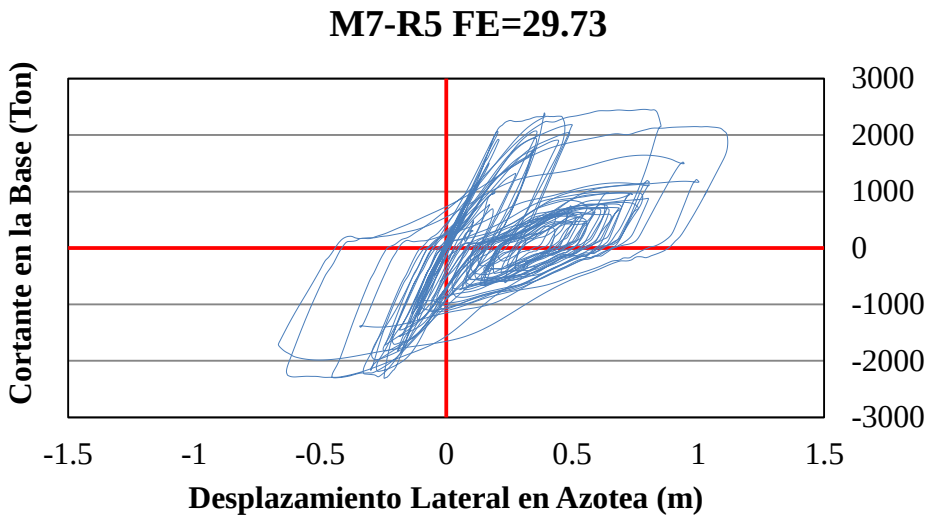

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=26.86
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

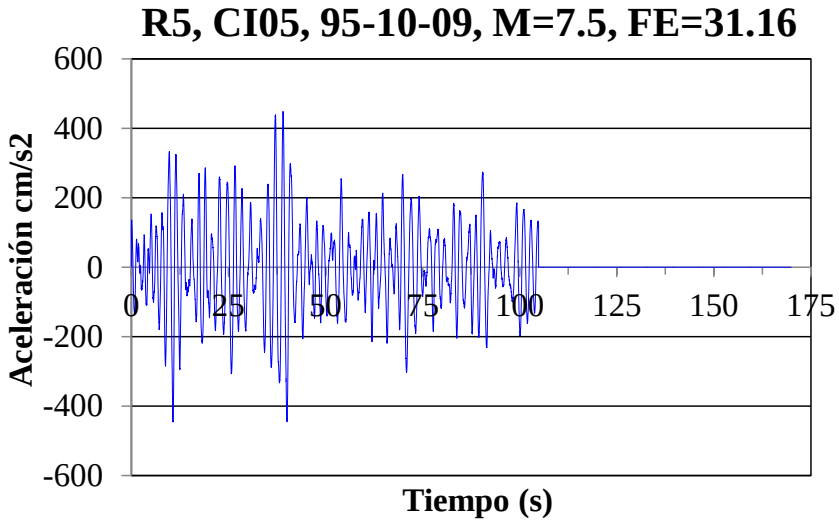

M7-R5 FE=26.86
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

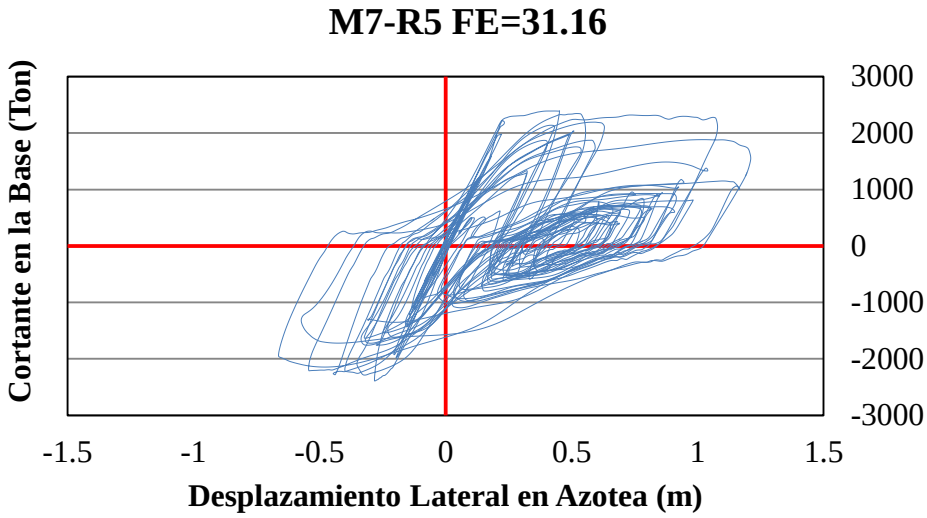

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=28.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

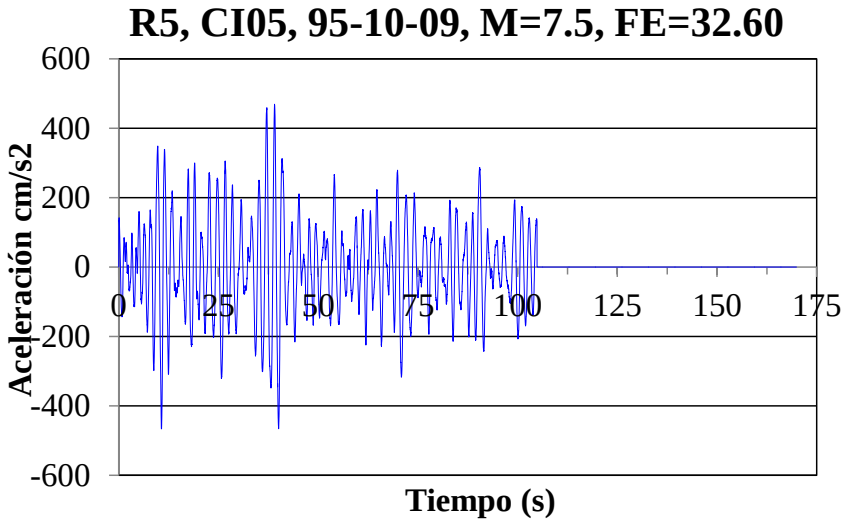

M7-R5 FE=28.29
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

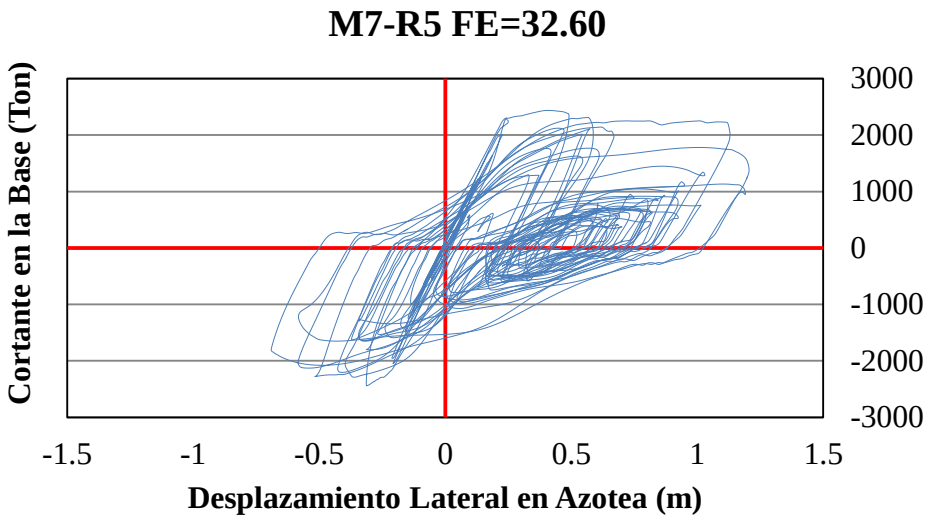

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=29.73
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

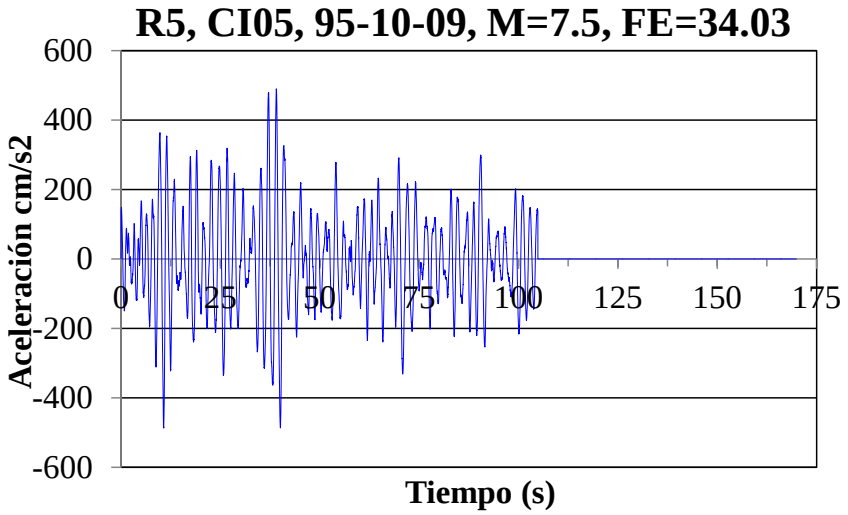

M7-R5 FE=29.73
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

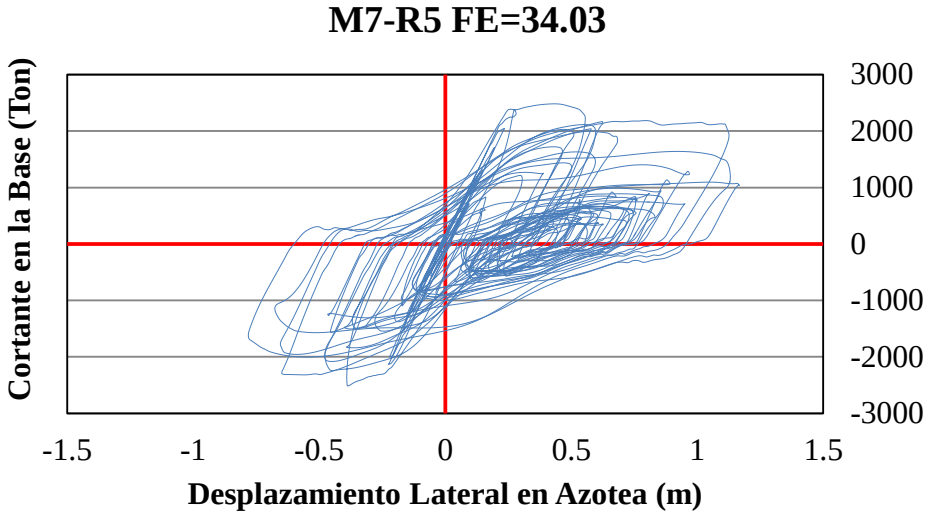

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=31.16
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

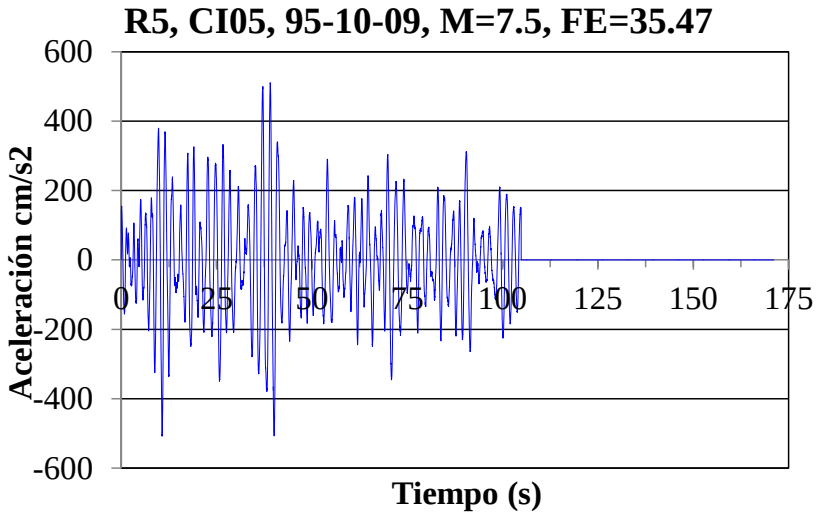

M7-R5 FE=31.16
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

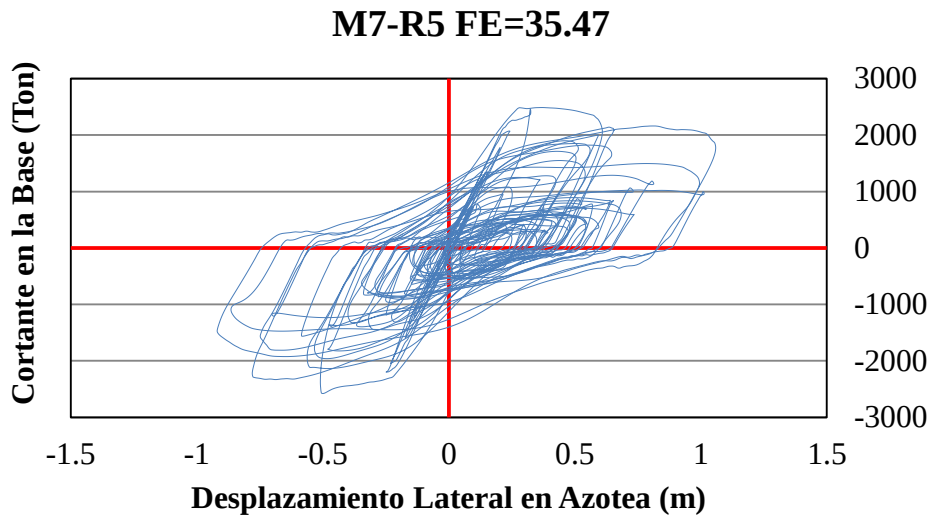

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=32.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

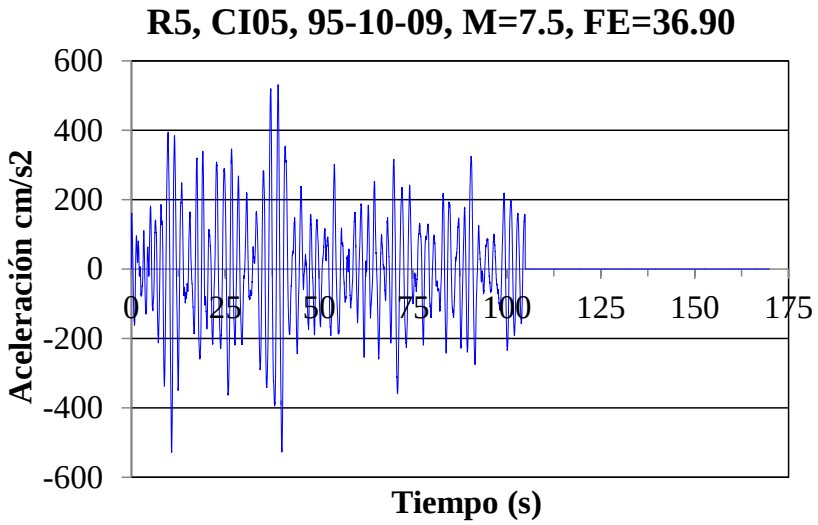

M7-R5 FE=32.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

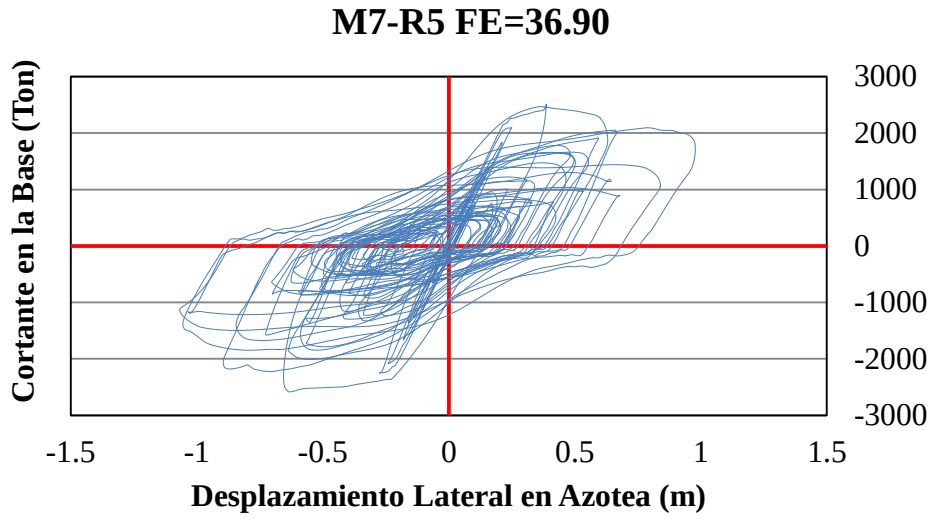

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=34.03
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

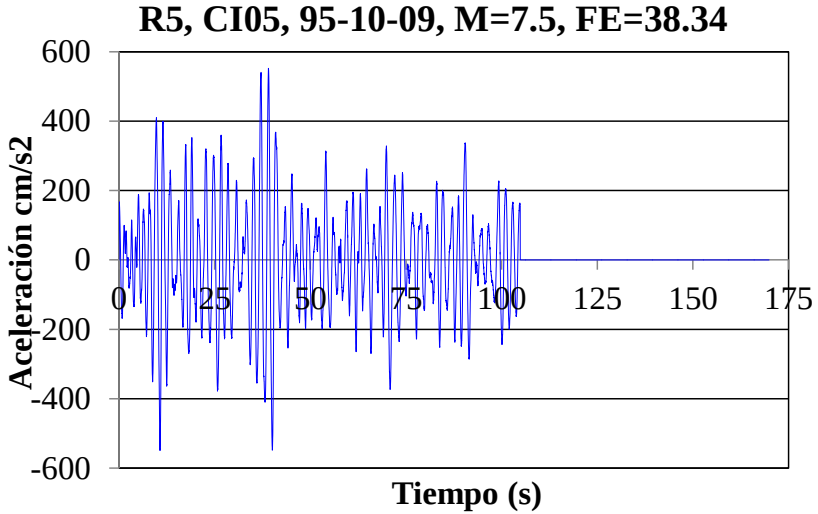

M7-R5 FE=34.03
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

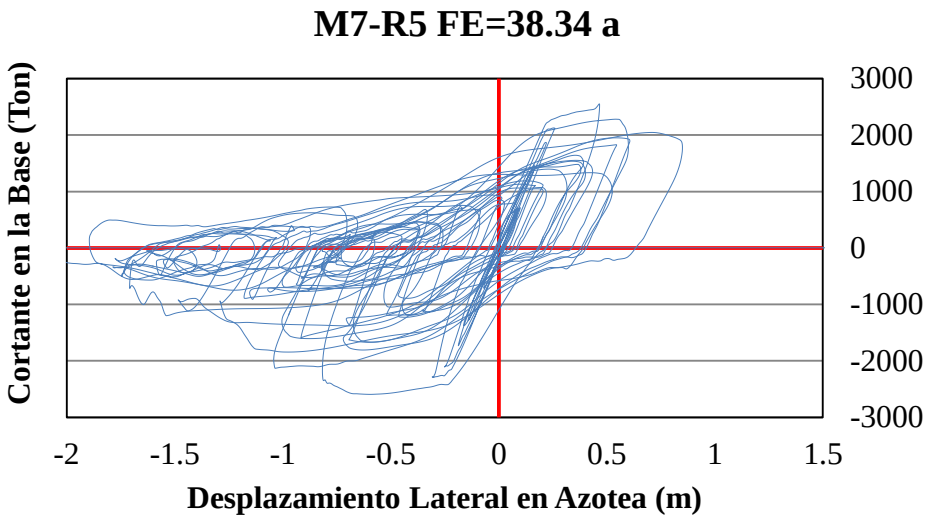

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=35.47
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

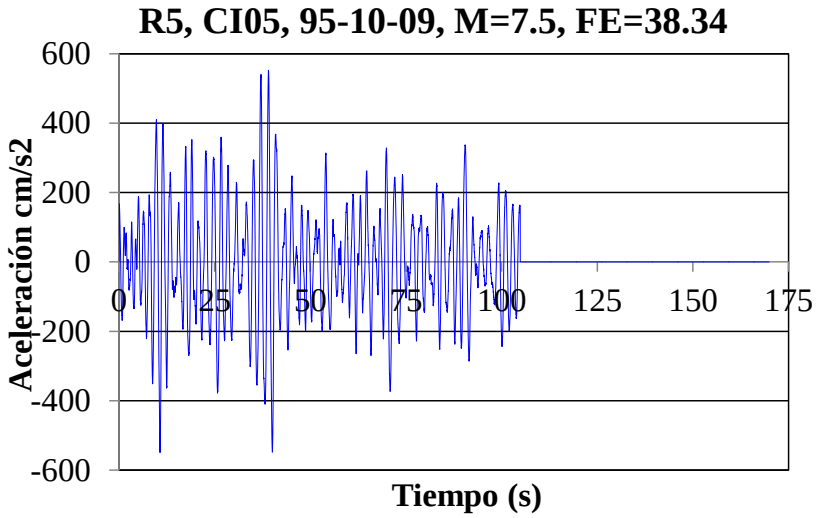

M7-R5 FE=35.47
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

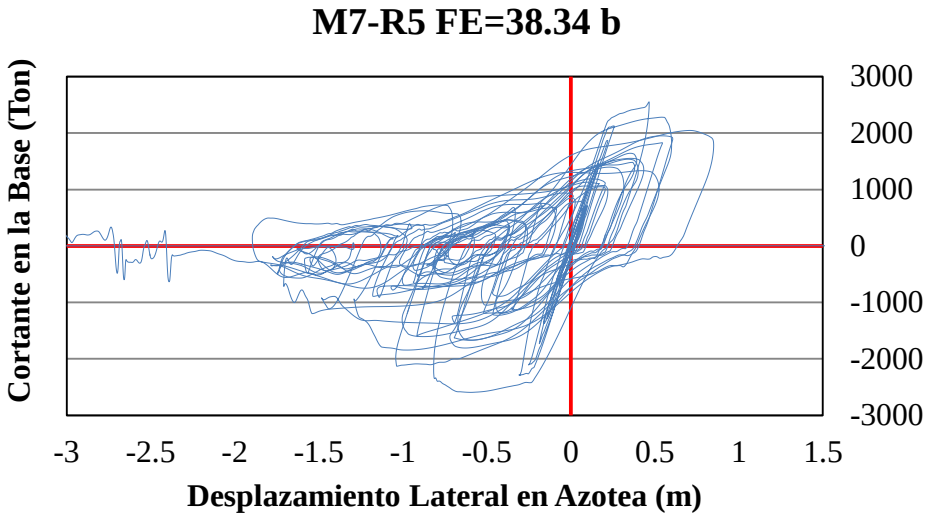

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=36.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

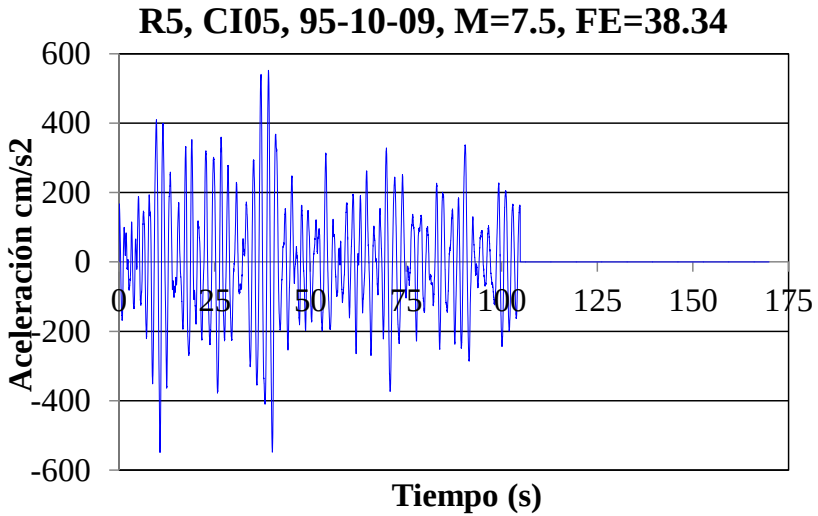

M7-R5 FE=36.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

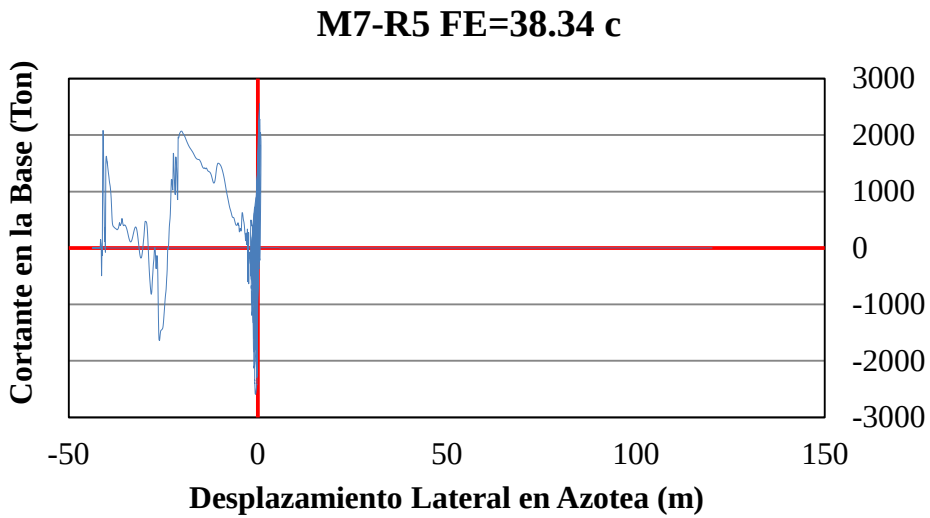

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=38.34
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R5 FE=38.34 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=38.34
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R5 FE=38.34 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

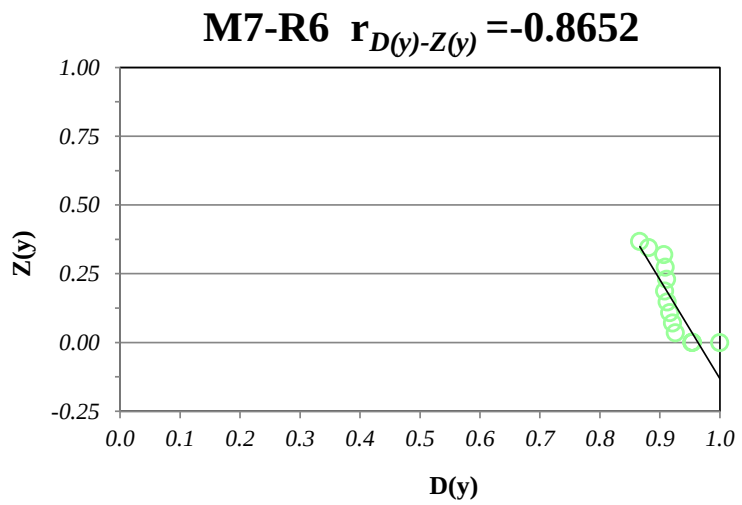

R5, CI05, 95-10-09, M=7.5, FE=38.34
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

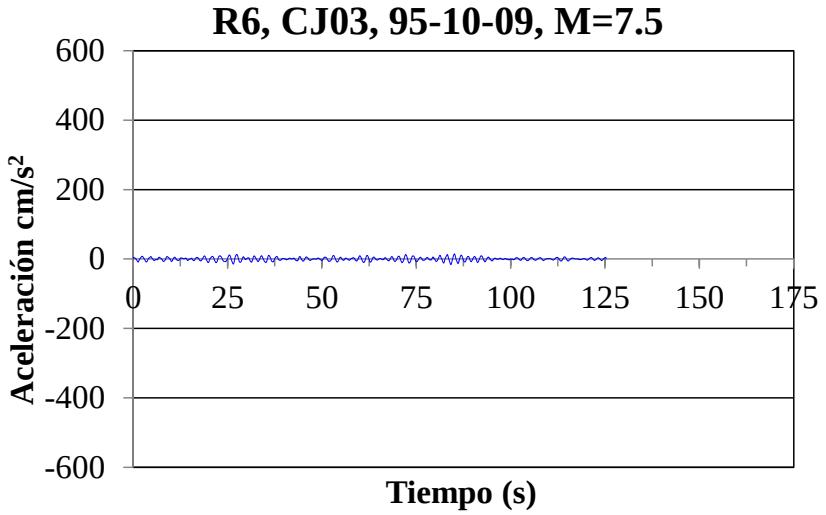

M7-R5 FE=38.34 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-50
0
50
100
150
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

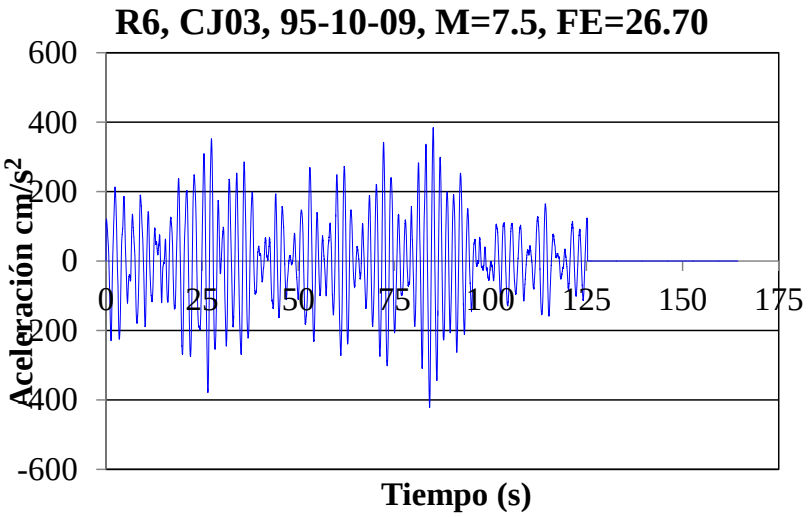
M7-R6

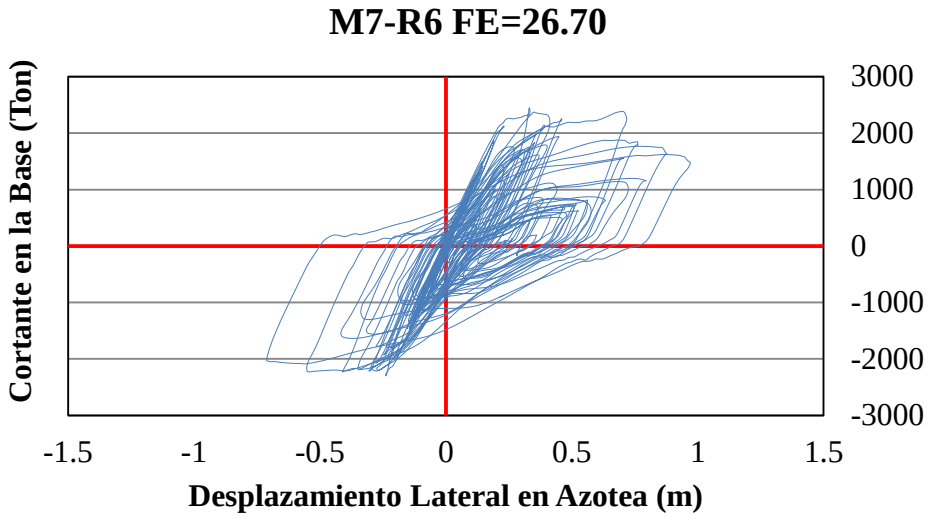
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.3	**6.86**	**11 365.15**	**0.025**	**-0.8652**

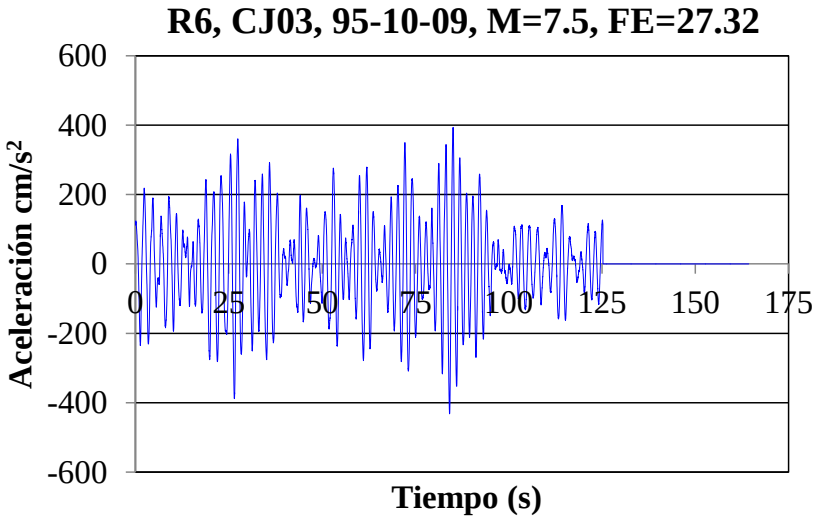
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6835	26.700	85.8200	0.9710	1473.448	1 517.45	0.8664	0.367
0.6992	27.320	85.8400	1.0269	1381.529	1 345.34	0.8815	0.344
0.7172	28.020	85.8700	1.1201	1188.661	1 061.21	0.9066	0.319
0.7509	29.340	85.8900	1.0743	1113.558	1 036.54	0.9087	0.273
0.7846	30.650	85.9000	1.0132	1020.464	1 007.17	0.9113	0.229
0.8183	31.970	83.9000	1.0439	1091.044	1 045.16	0.9080	0.187
0.8520	33.290	83.9200	1.0955	1094.551	0 999.13	0.9120	0.147
0.8857	34.600	83.9200	1.0787	1024.252	0 949.52	0.9164	0.108
0.9194	35.920	83.9300	1.0453	934.011	0 893.53	0.9213	0.071
0.9531	37.240	84.9500	1.1190	-941.689	0 841.55	0.9259	0.035
0.9868	38.550	84.9700	1.2805	-672.643	0 525.30	0.9537	0.000
0.9867	38.551	84.9700	1.2816	-664.466	0 518.47	0.9543	0.000
0.9867	38.552	84.9700	1.2809	-679.820	0 530.74	0.9533	0.000
0.9867	38.553	84.9700	1.2810	-679.809	0 530.69	0.9533	0.000
0.9874	38.580	125.0900	361.1219	-0.067	0 000.00	1.0000	-0.001

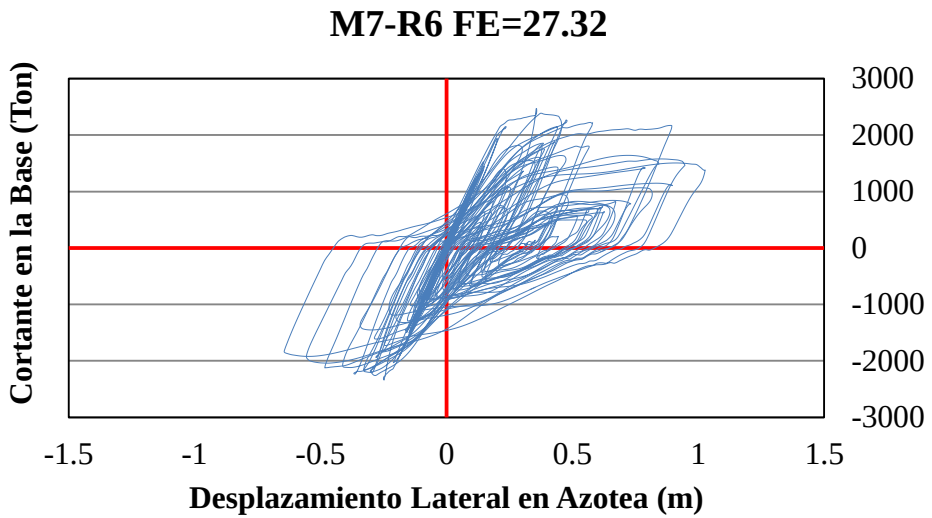

M7-R6 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.8652
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

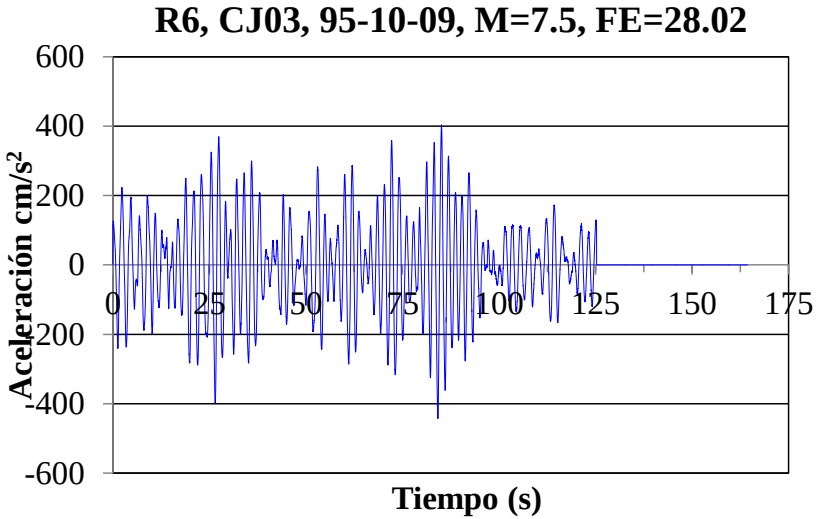

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

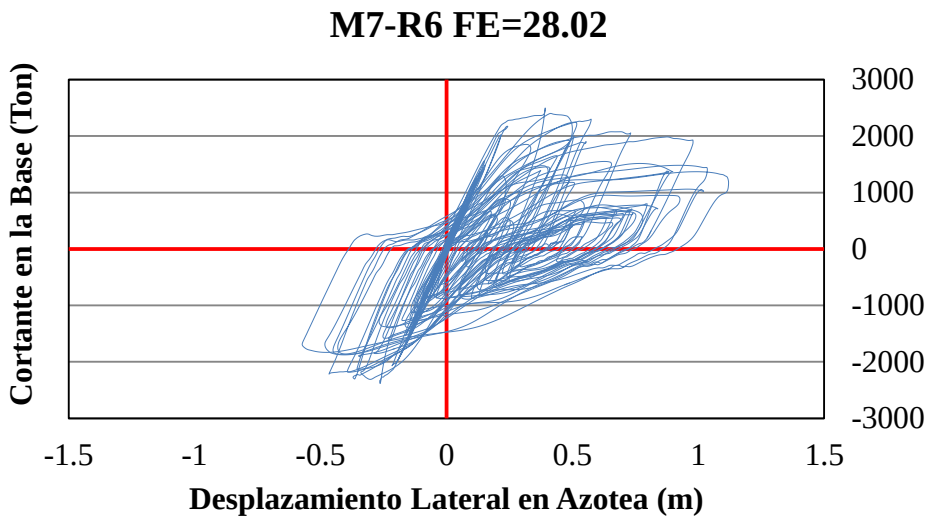

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=26.70
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

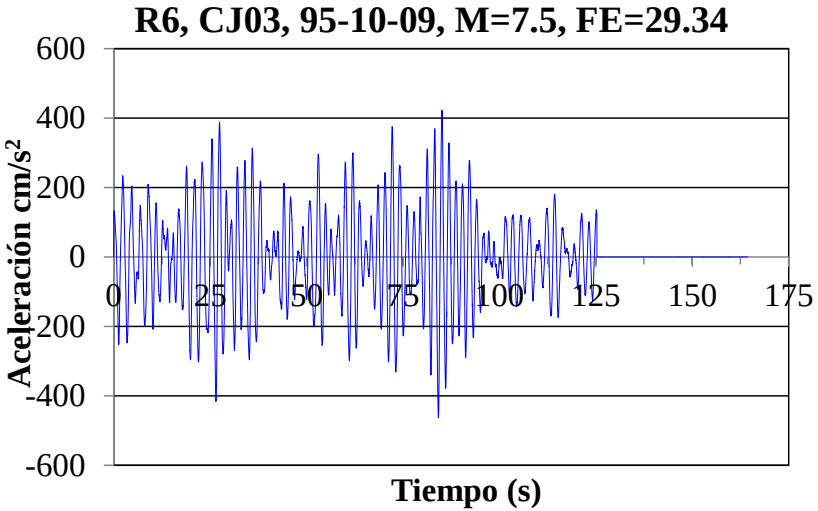

M7-R6 FE=26.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

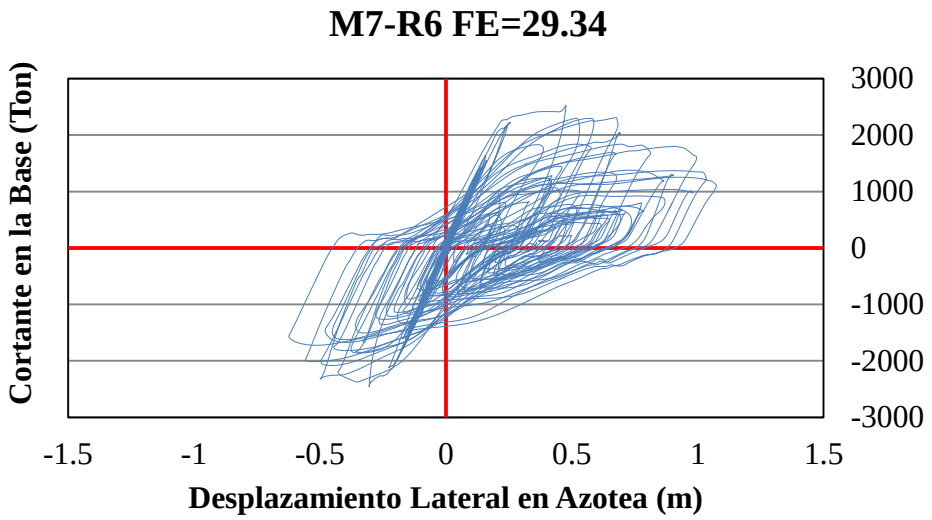

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=27.32
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

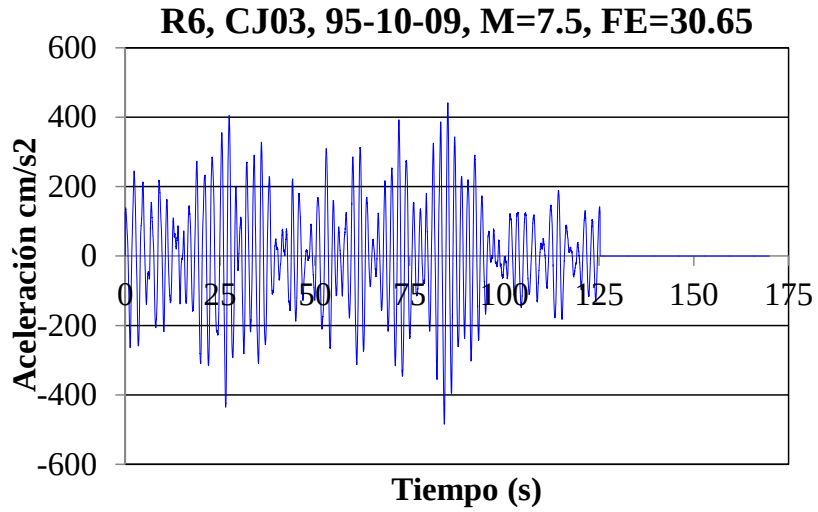

M7-R6 FE=27.32
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

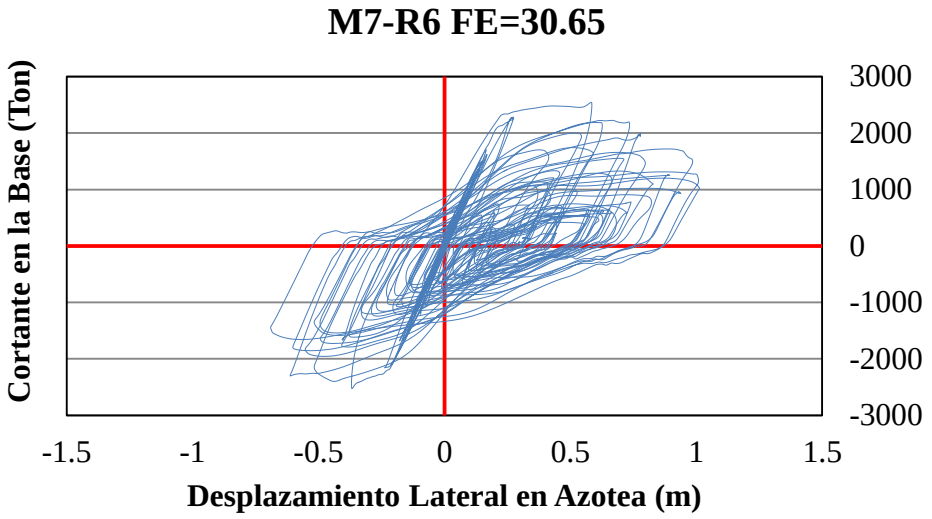

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=28.02
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

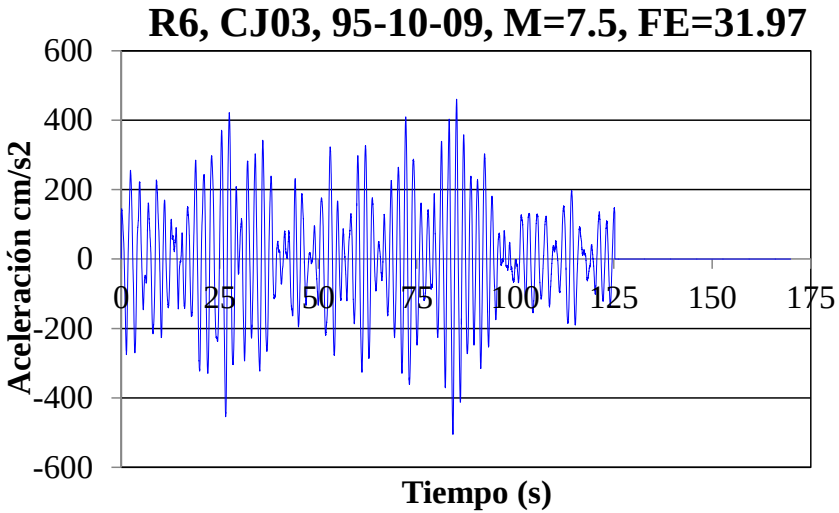

M7-R6 FE=28.02
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

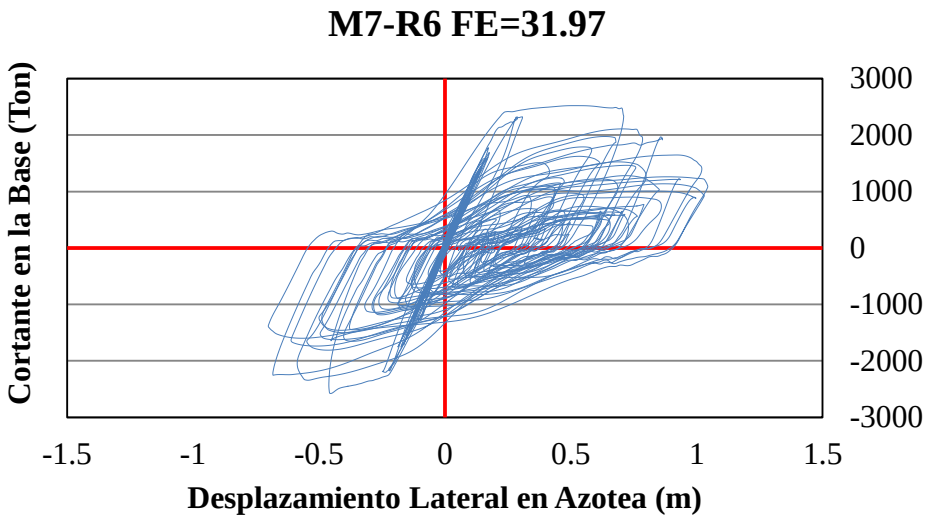

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=29.34
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

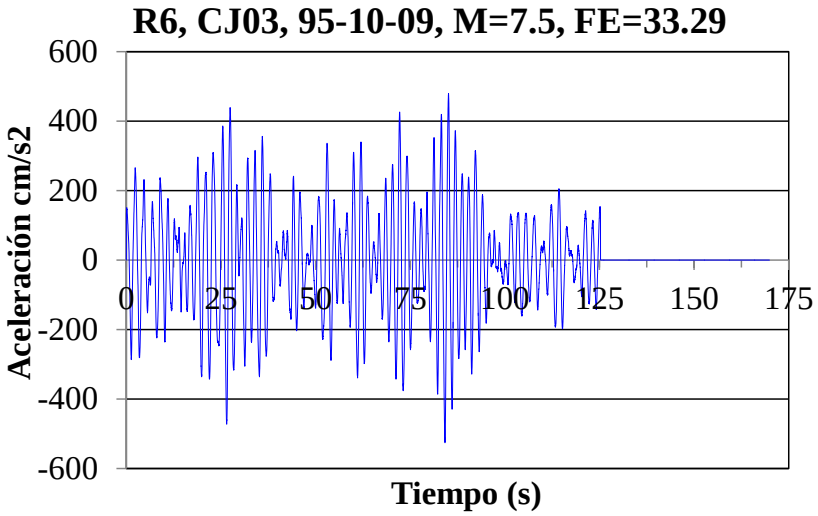

M7-R6 FE=29.34
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

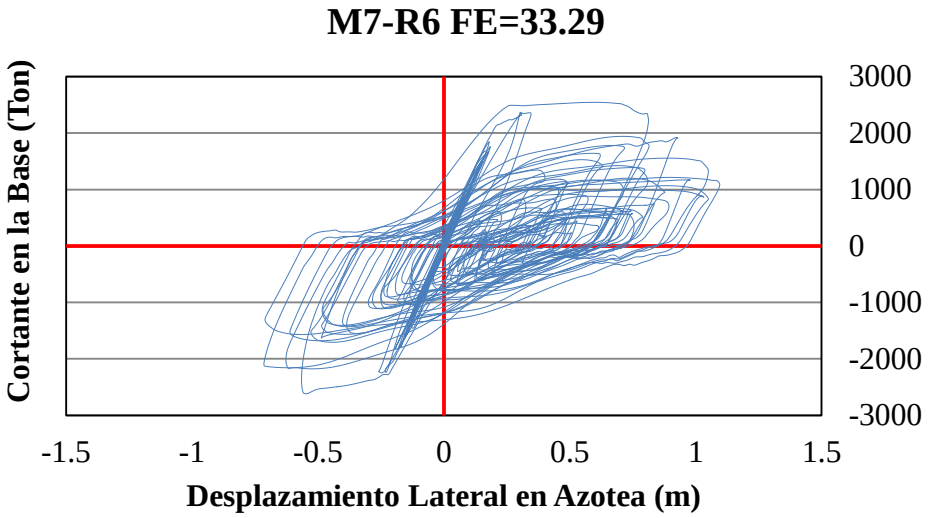

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=30.65
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

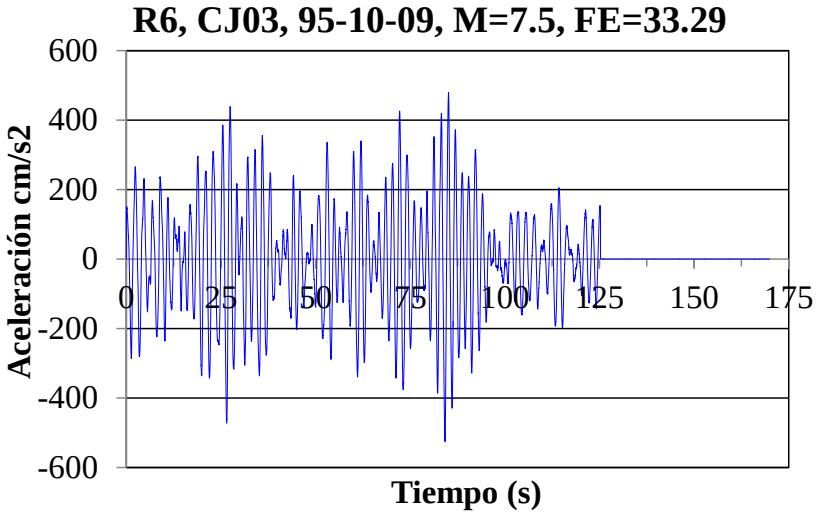

M7-R6 FE=30.65
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

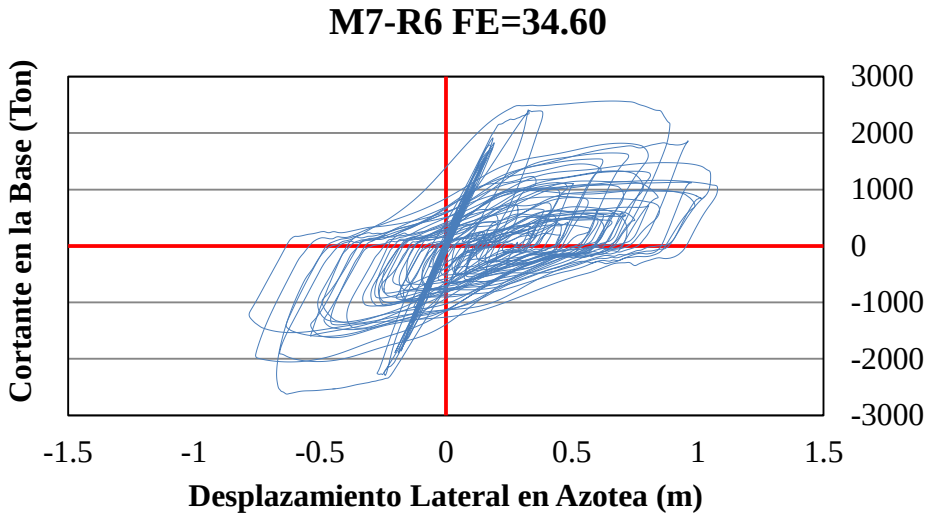

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=31.97
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

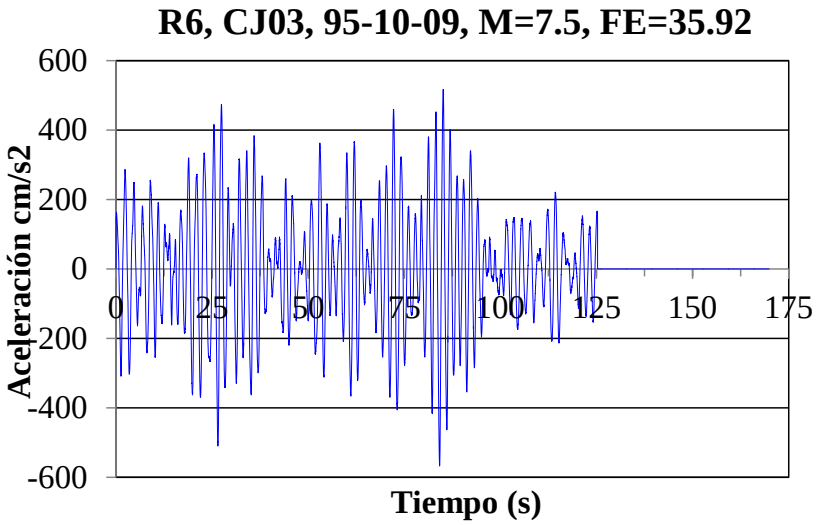

M7-R6 FE=31.97
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

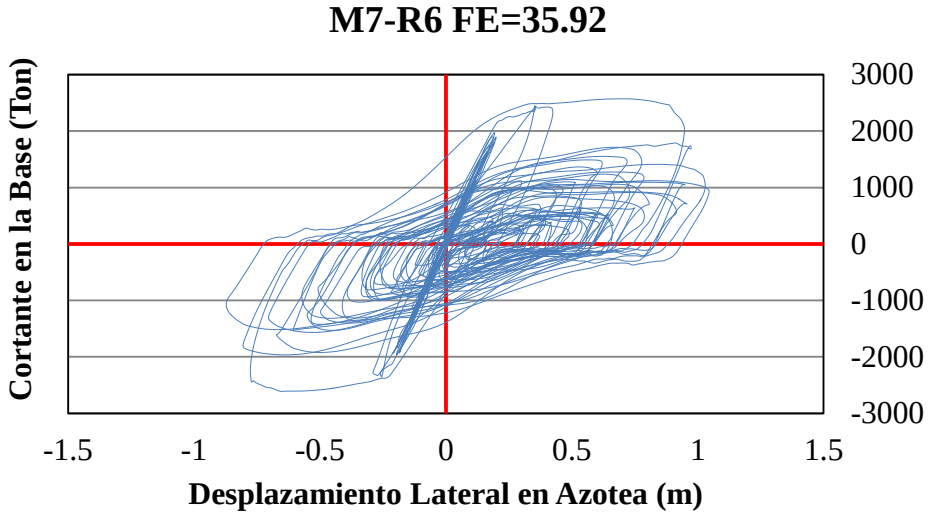

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=33.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

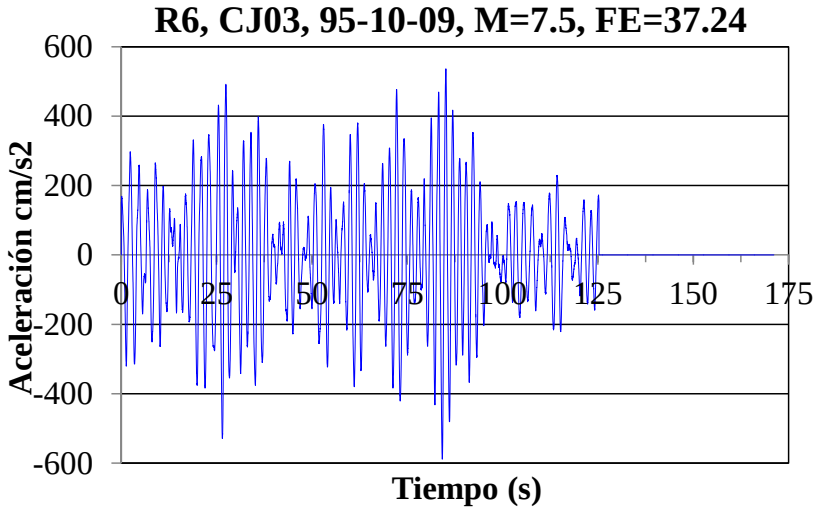

M7-R6 FE=33.29
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

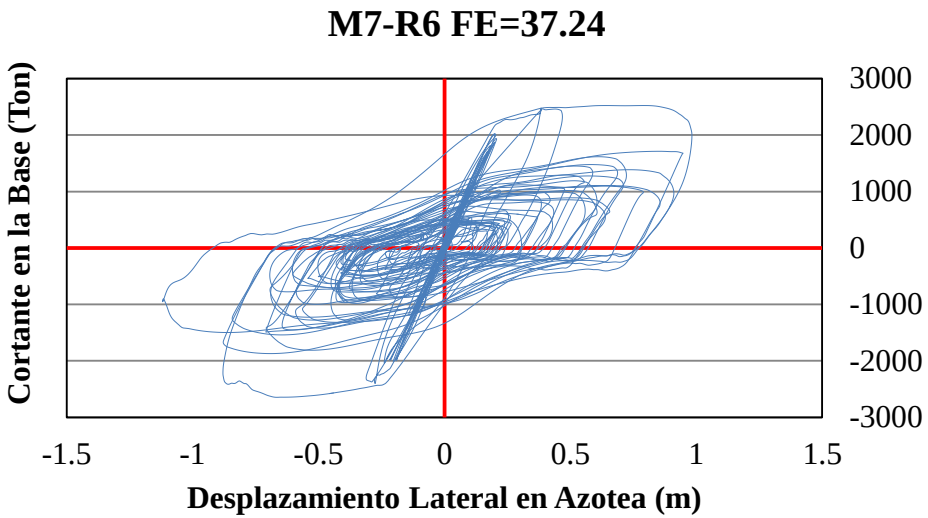

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=33.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

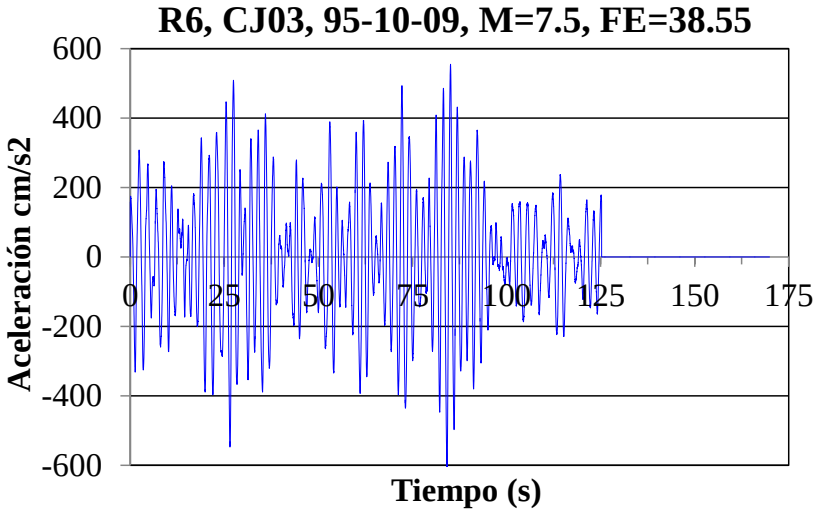

M7-R6 FE=34.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

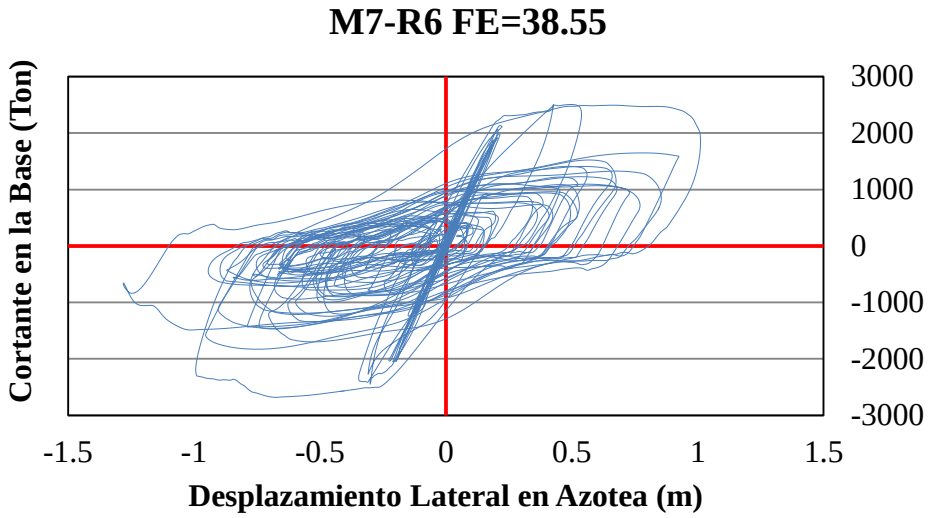

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=35.92
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

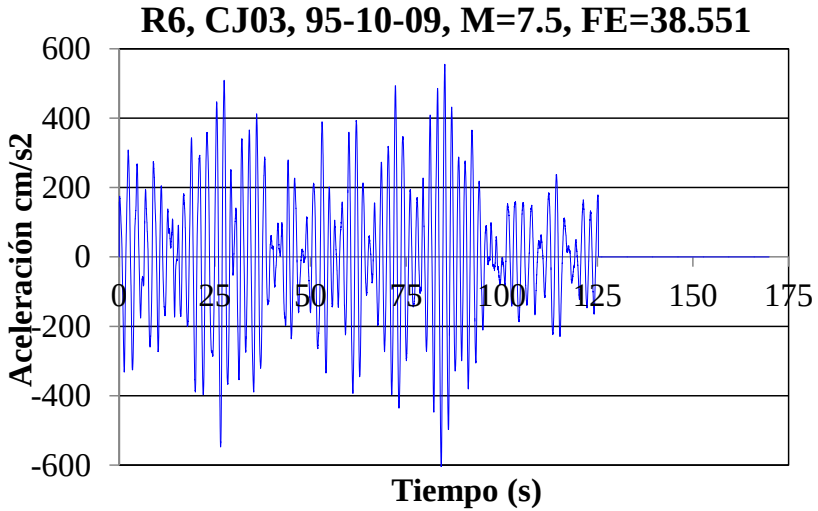

M7-R6 FE=35.92
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

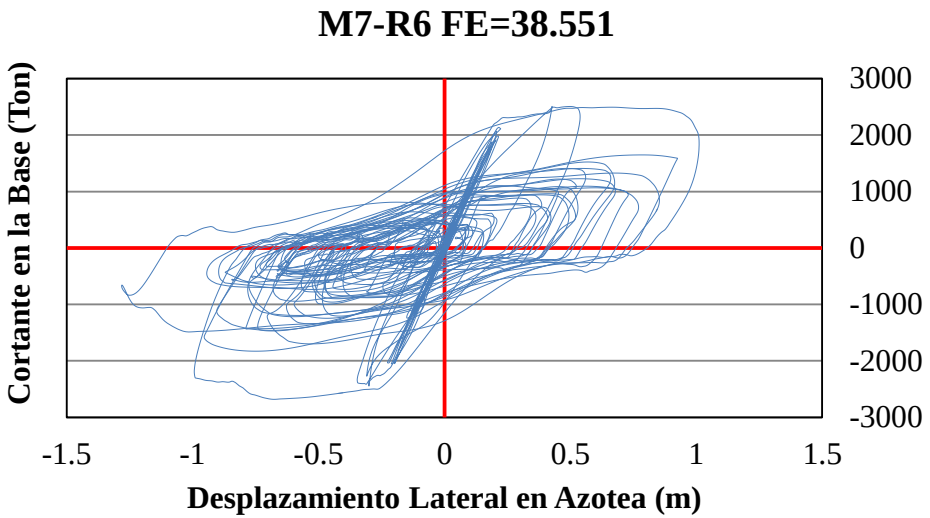

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=37.24
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

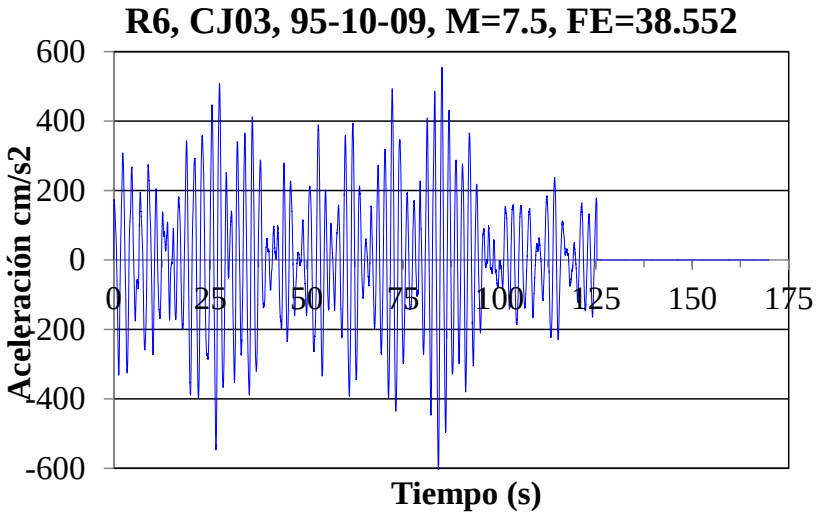

M7-R6 FE=37.24
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

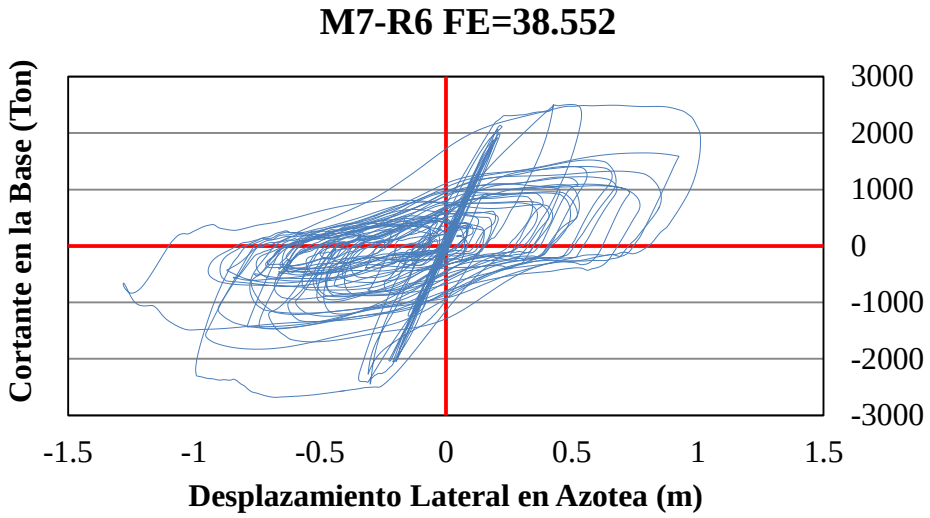

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=38.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

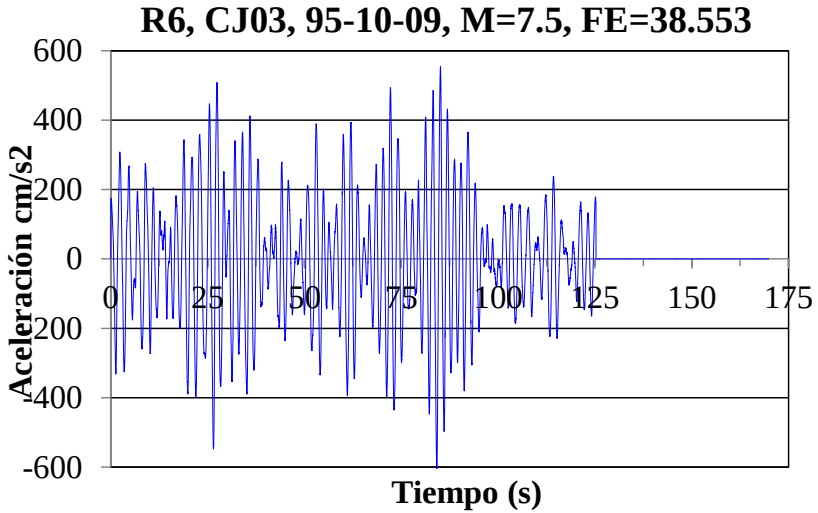

M7-R6 FE=38.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

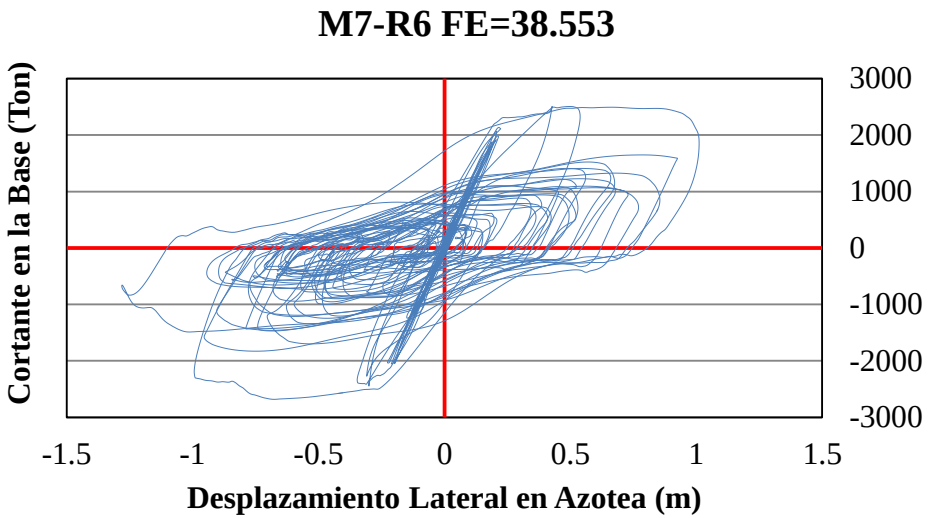

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=38.551
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

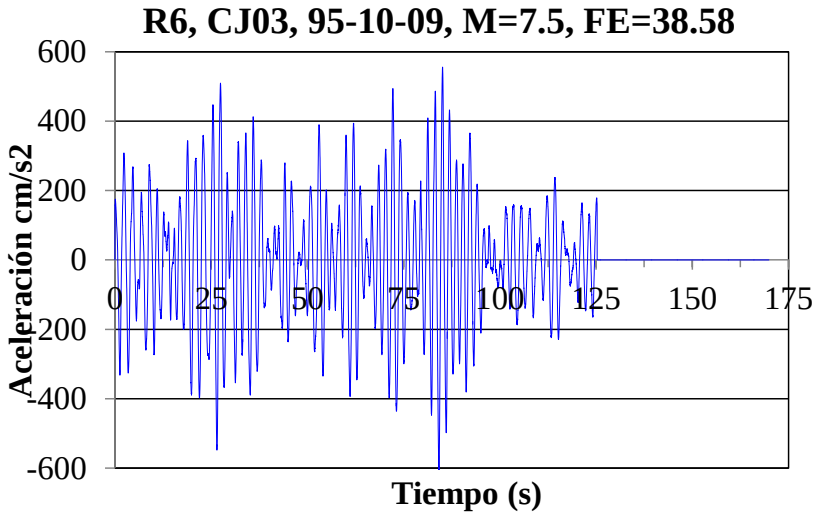

M7-R6 FE=38.551
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

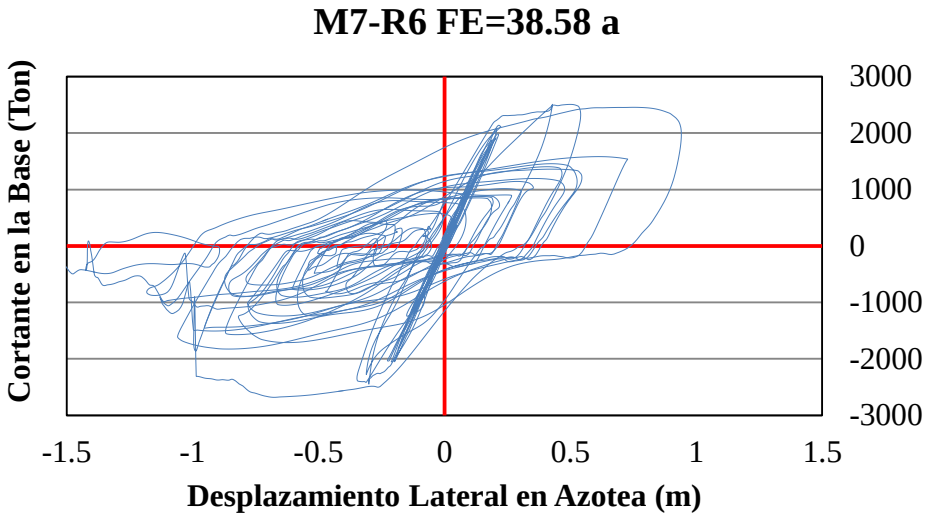

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=38.552
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

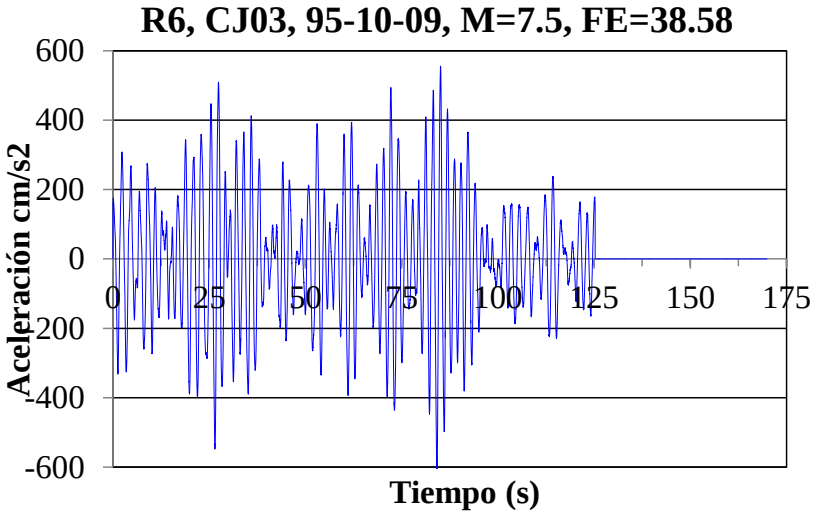

M7-R6 FE=38.552
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

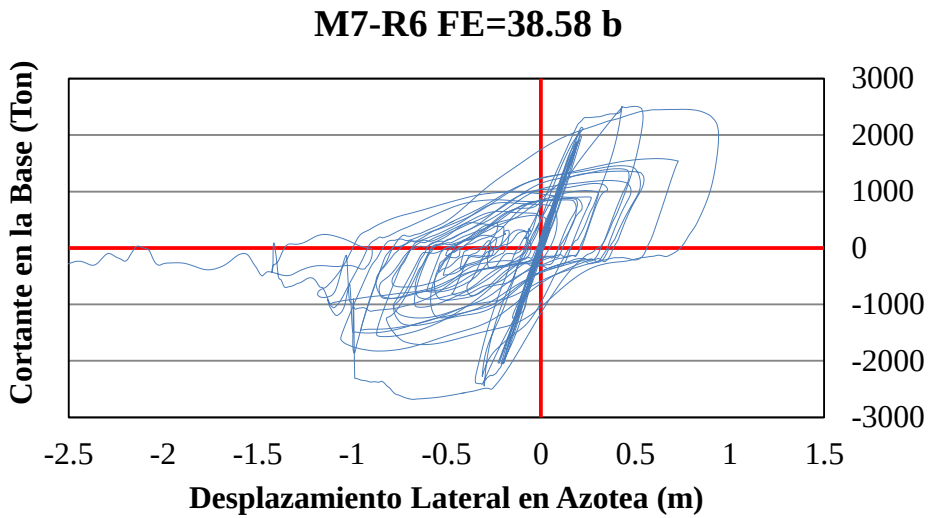

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=38.553
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

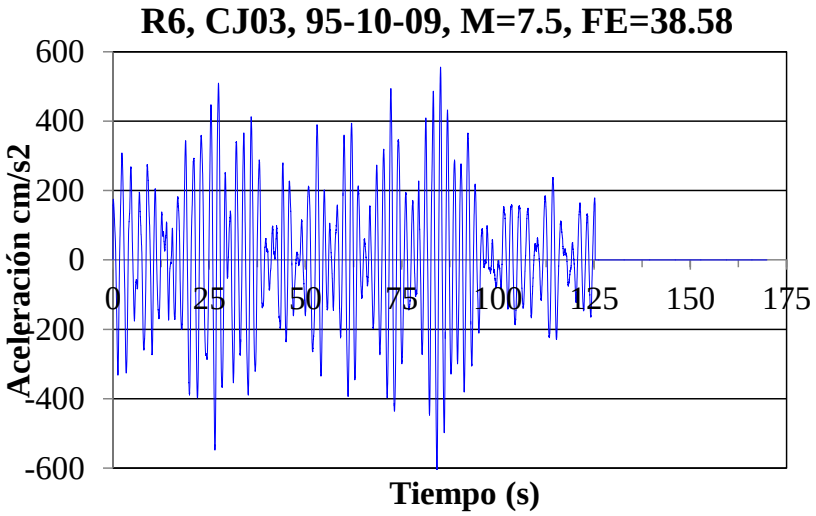

M7-R6 FE=38.553
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

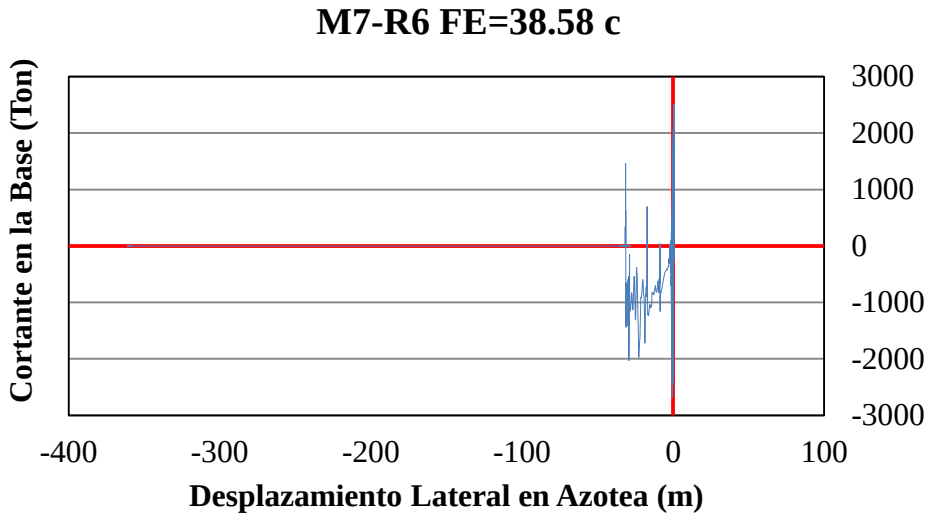

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=38.58
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R6 FE=38.58 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=38.58
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R6 FE=38.58 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

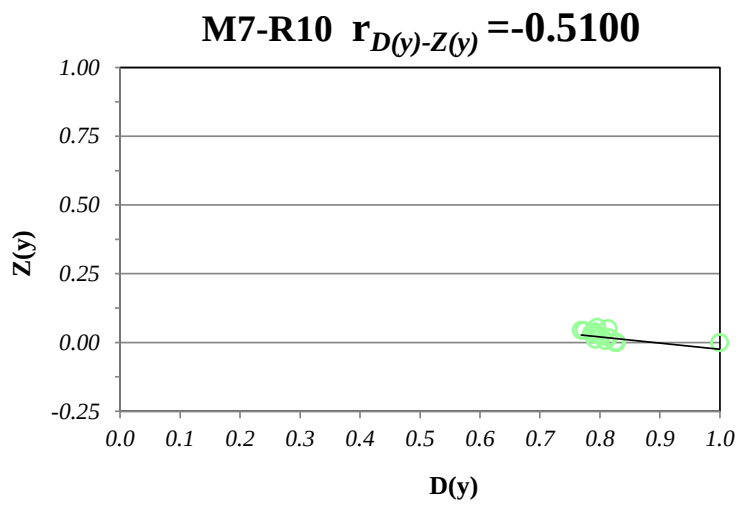

R6, CJ03, 95-10-09, M=7.5, FE=38.58
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

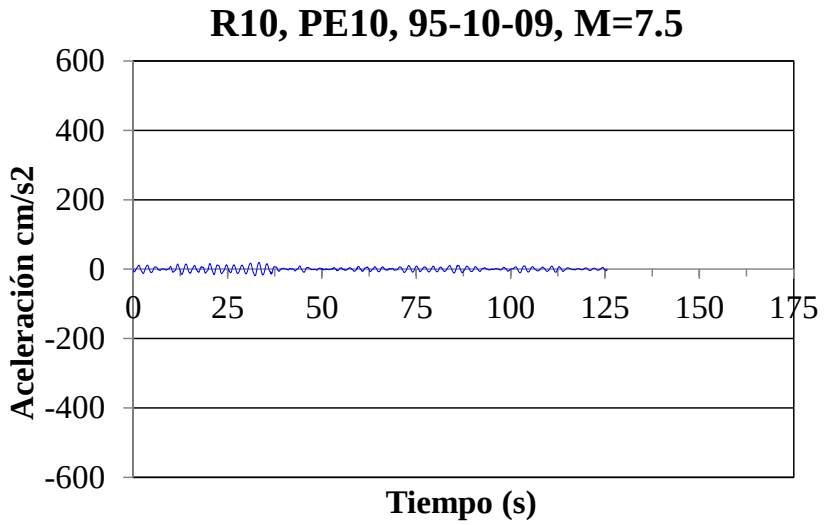

M7-R6 FE=38.58 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-400
-300
-200
-100
0
100
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

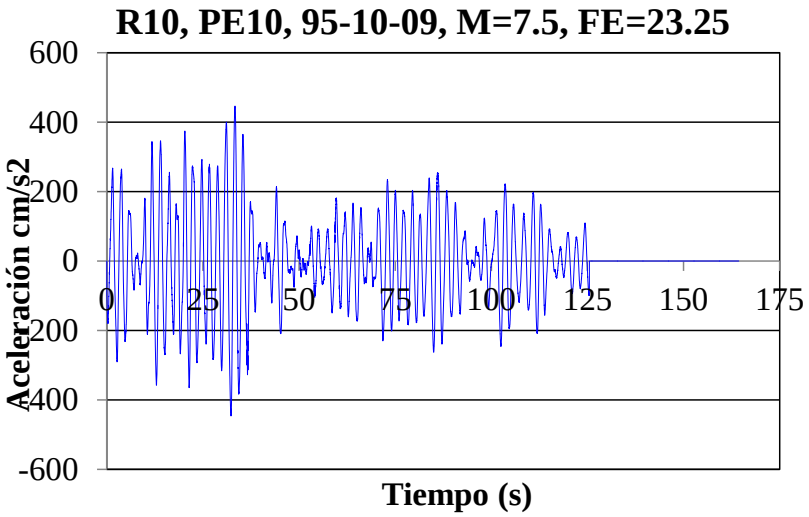
M7-R10

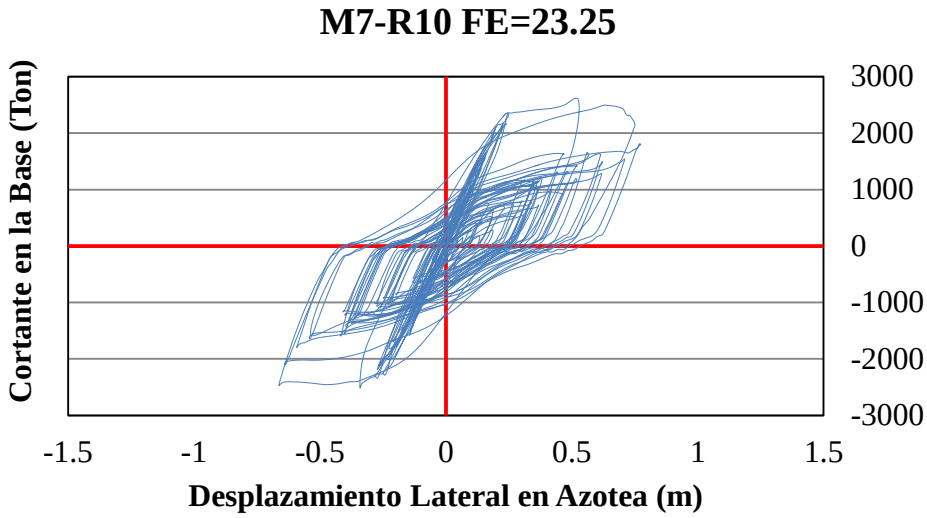
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.5	**6.83**	**11 365.15**	**0.029**	**-0.5100**

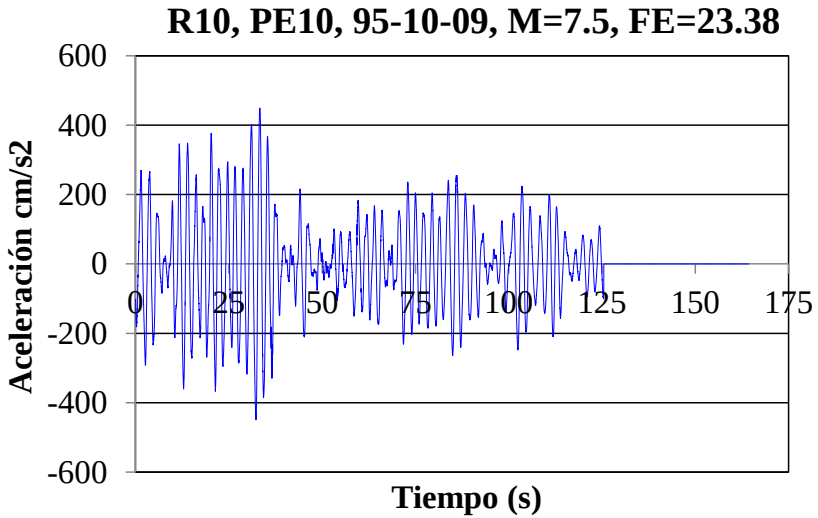
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6761	23.25	86.7300	0.7739	1800.690	2 326.77	0.7951	0.010
0.6799	23.38	86.7700	0.8032	1698.482	2 114.64	0.8138	0.005
0.6836	23.51	36.0100	0.8125	2134.038	2 626.51	0.7687	-0.001
0.6848	23.55	36.0200	0.8247	2114.918	2 564.47	0.7742	-0.003
0.6874	23.64	36.0400	0.8575	2032.385	2 370.40	0.7913	-0.006
0.6912	23.77	36.0700	0.8762	2128.123	2 428.81	0.7861	-0.012
0.6950	23.90	36.0900	0.9003	2088.272	2 319.53	0.7957	-0.017
0.6988	24.03	36.1200	0.9166	2064.110	2 251.92	0.8017	-0.023
0.7025	24.16	36.1400	0.9210	1941.514	2 108.05	0.8144	-0.028
0.7063	24.29	33.9000	0.9752	2302.411	2 360.96	0.7921	-0.034
0.7101	24.42	33.9400	1.0358	2245.046	2 167.45	0.8091	-0.039
0.7139	24.55	33.9700	1.0690	2109.467	1 973.31	0.8262	-0.044
0.7140	24.56	33.9700	1.0703	2113.687	1 974.85	0.8261	-0.044
0.7142	24.56	33.9700	1.0721	2105.901	1 964.28	0.8270	-0.045
0.7143	24.57	33.9700	1.0727	2107.616	1 964.78	0.8270	-0.045
0.7145	24.57	33.9700	1.0757	2115.416	1 966.55	0.8268	-0.045
0.7145	24.57	33.9700	1.0757	2116.591	1 967.64	0.8267	-0.045
0.7145	24.57	33.9700	1.0760	2118.775	1 969.12	0.8266	-0.045
0.7145	24.57	33.9700	1.0763	2119.239	1 969.00	0.8266	-0.045
0.7146	24.57	33.9700	1.0766	2124.977	1 973.79	0.8262	-0.045
0.7146	24.58	33.9700	1.0769	2118.534	1 967.25	0.8268	-0.045
0.7153	24.60	125.5000	271.4514	0.003	0 000.00	1.0000	-0.046

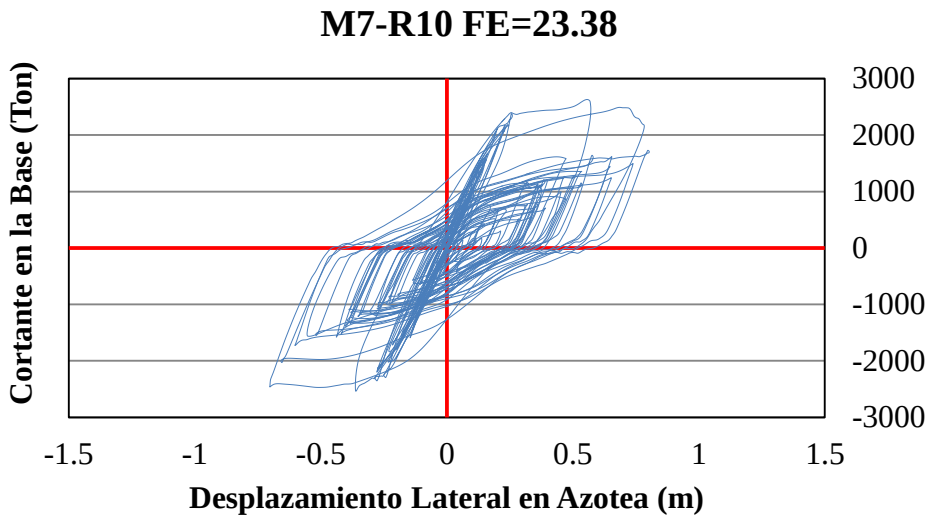

M7-R10 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.5100
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

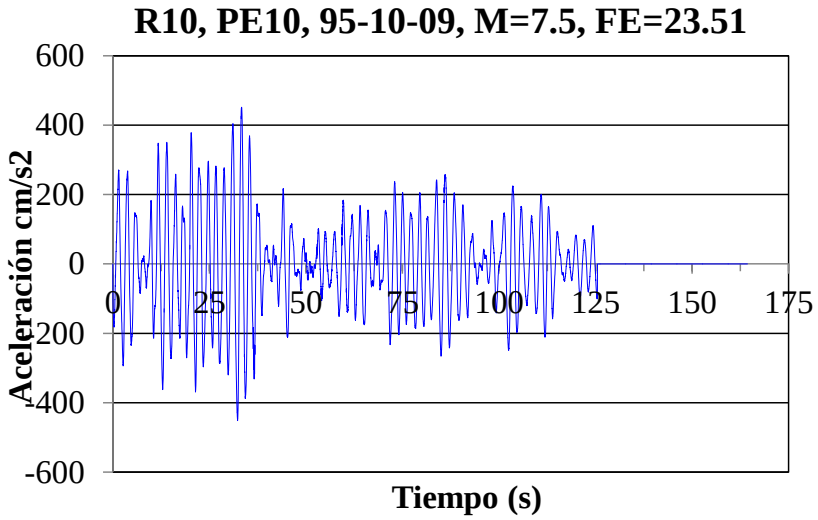

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

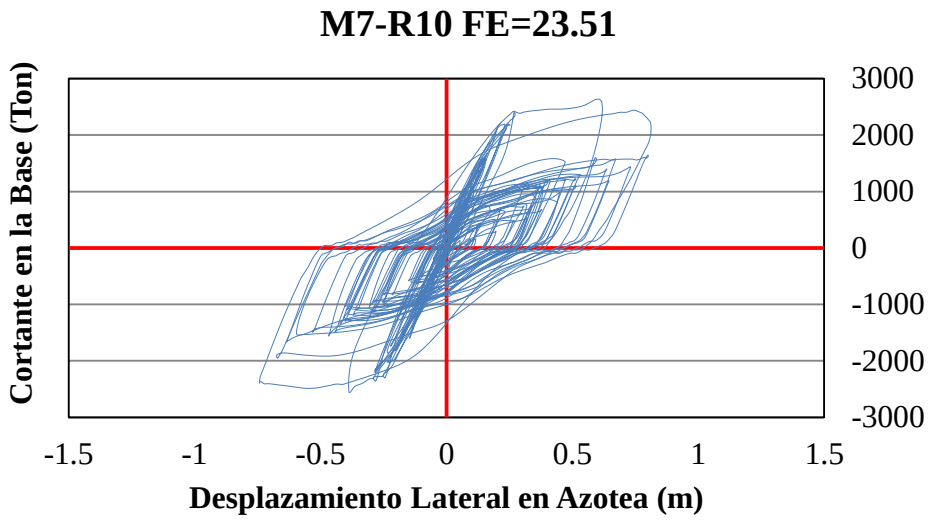

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=23.25
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

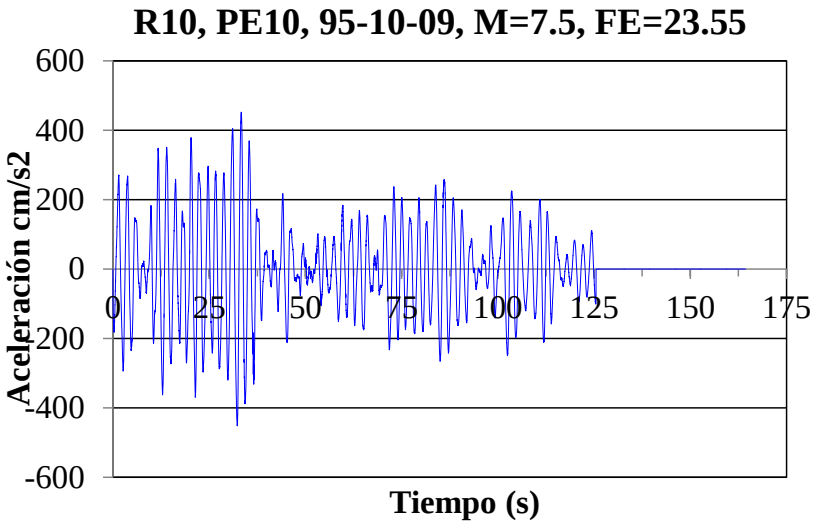

M7-R10 FE=23.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

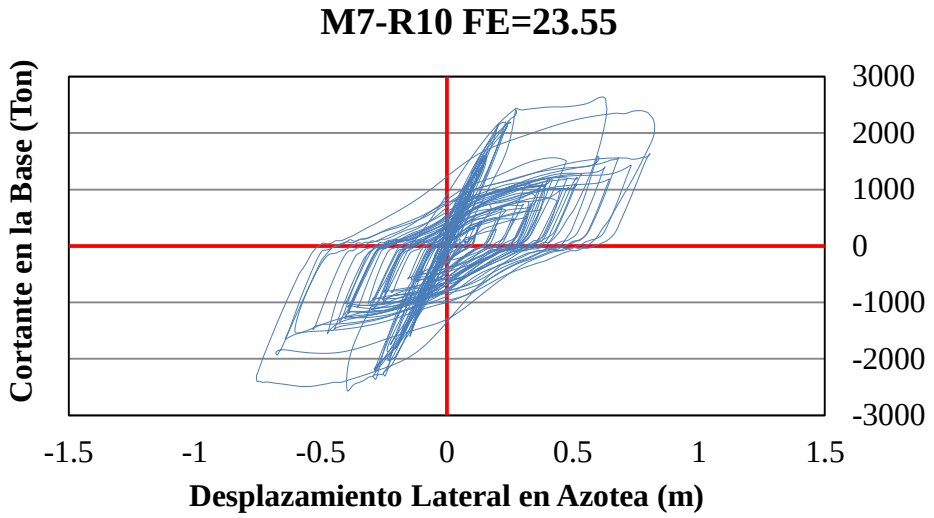

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=23.38
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

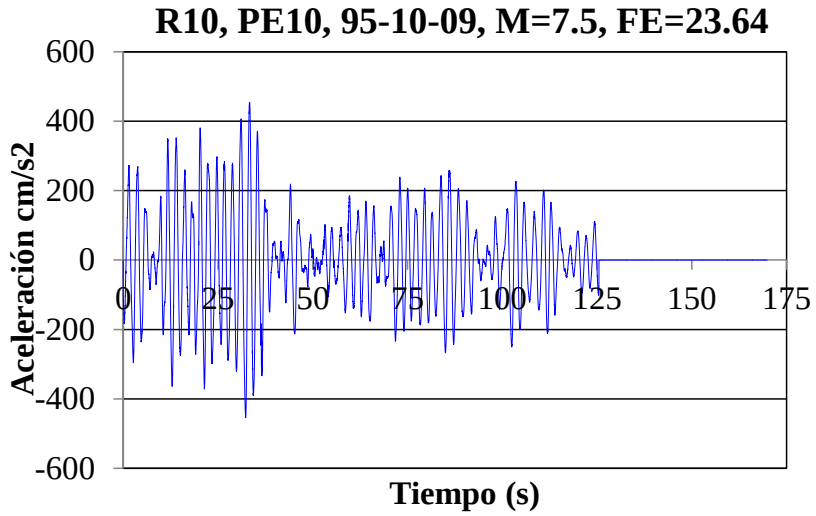

M7-R10 FE=23.38
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

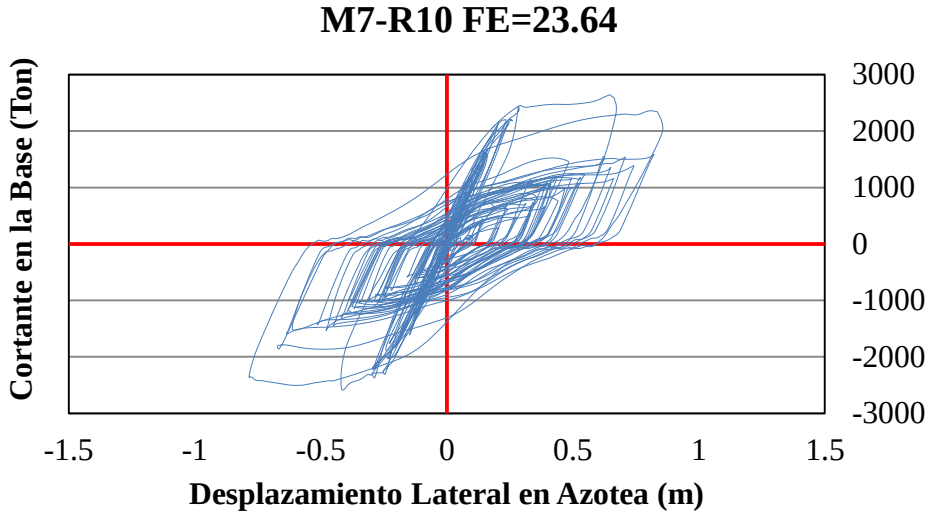

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=23.51
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

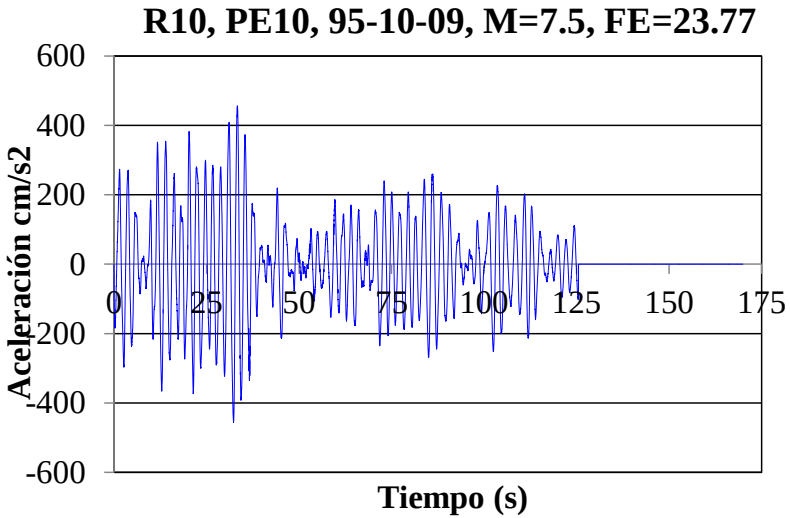

M7-R10 FE=23.51
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

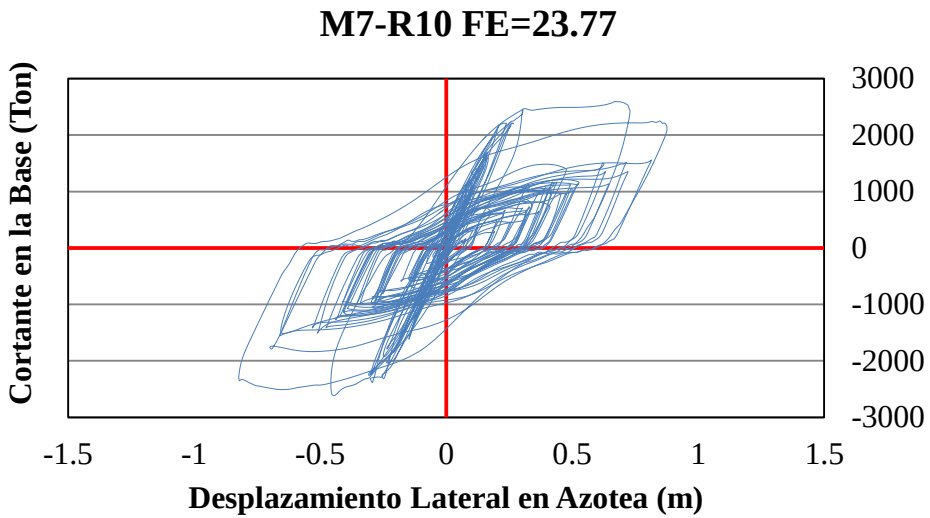

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=23.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

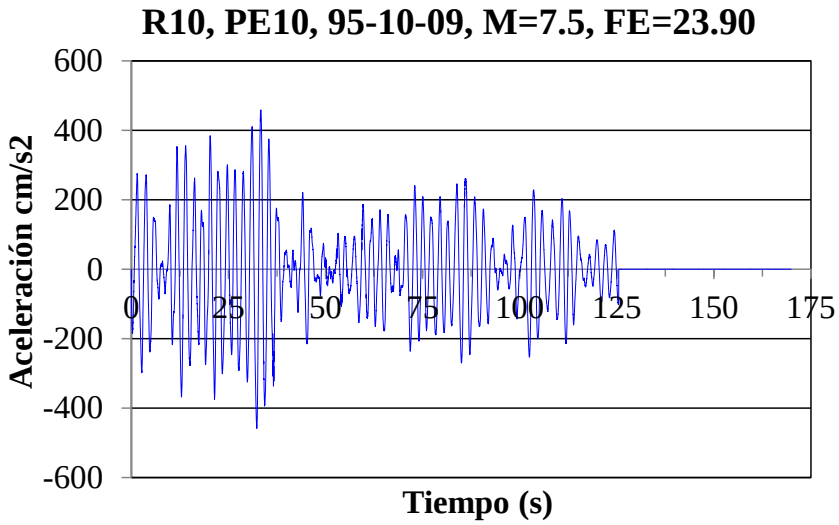

M7-R10 FE=23.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

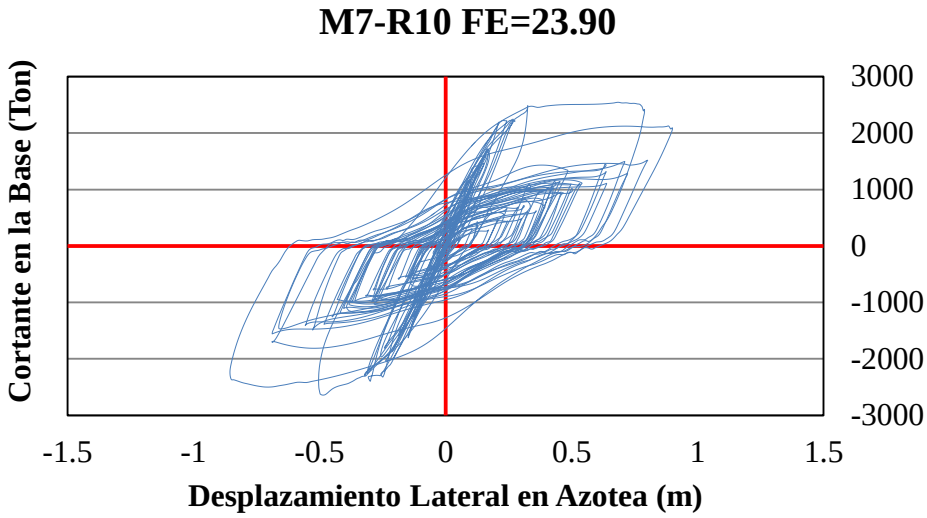

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=23.64
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

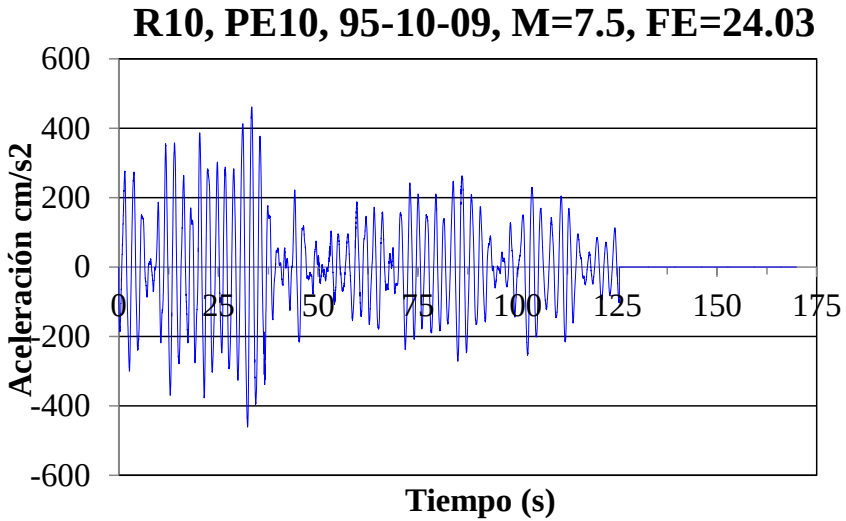

M7-R10 FE=23.64
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

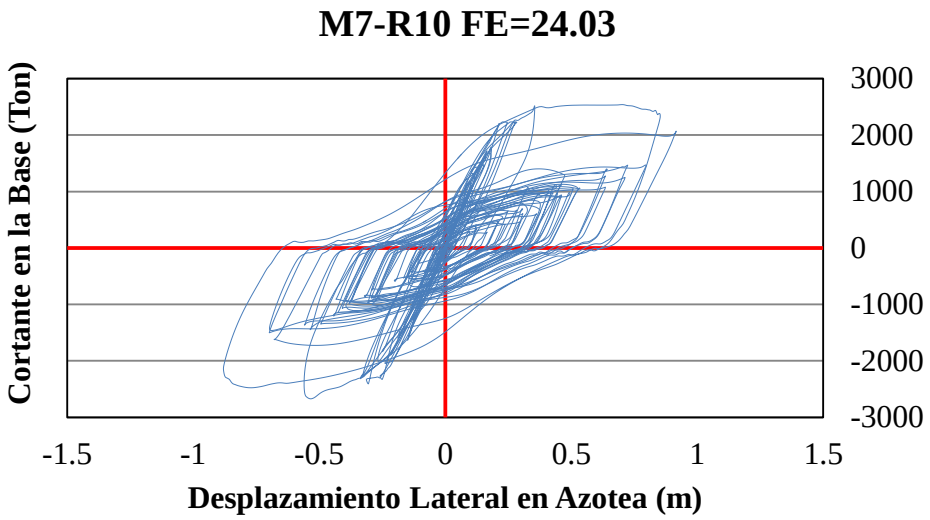

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=23.77
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

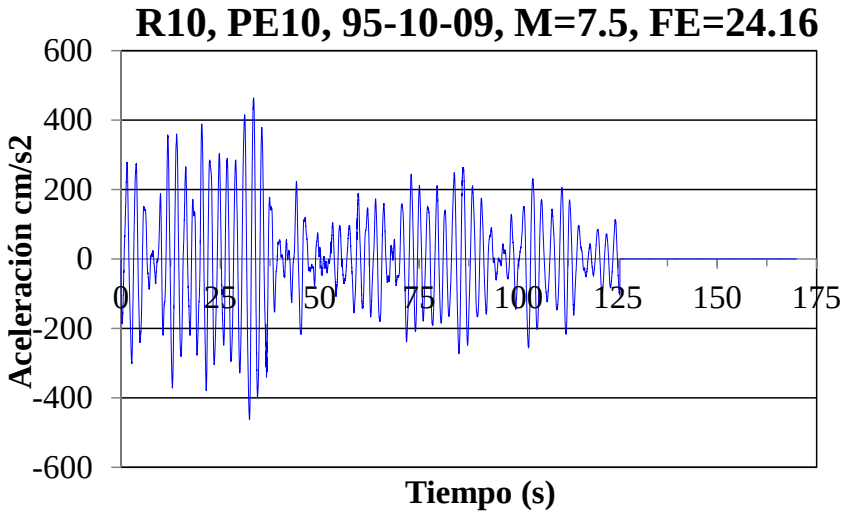

M7-R10 FE=23.77
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

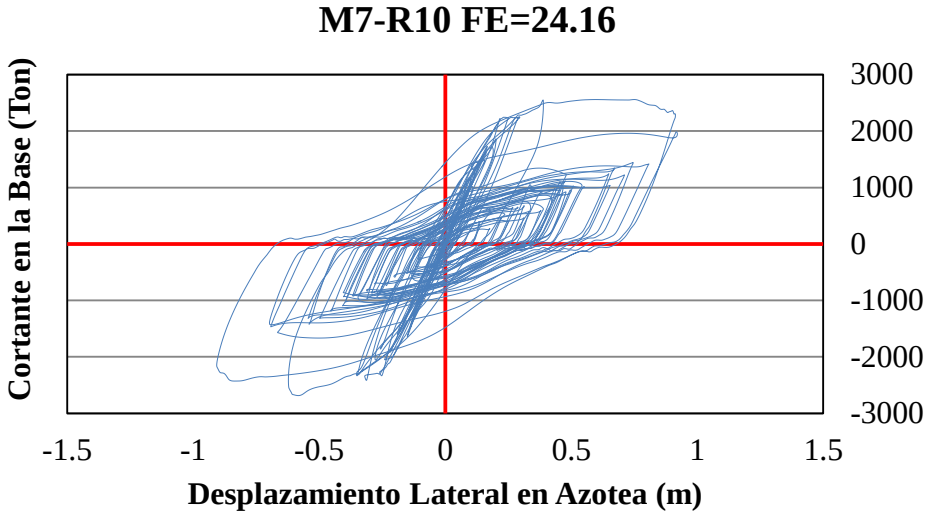

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=23.90
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

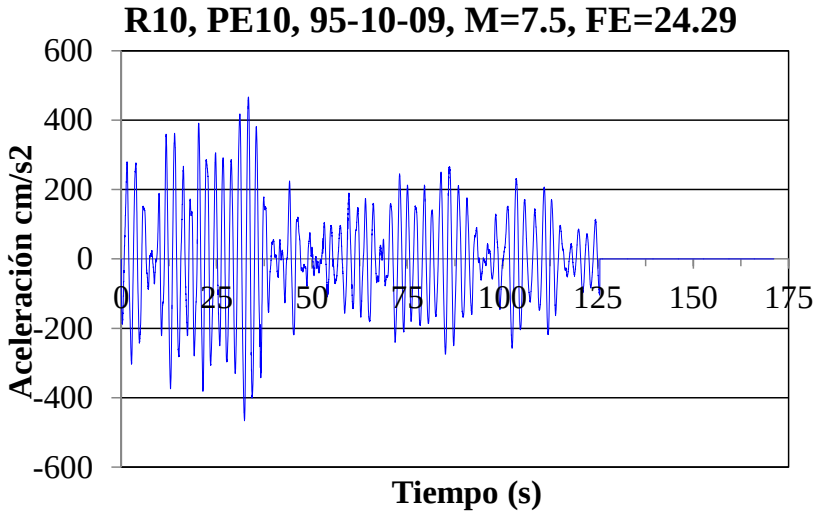

M7-R10 FE=23.90
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

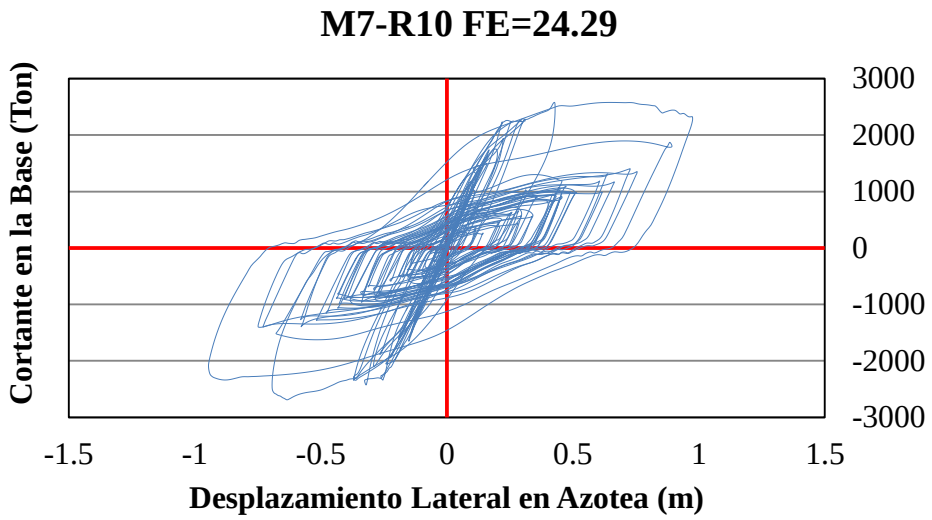

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.03
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

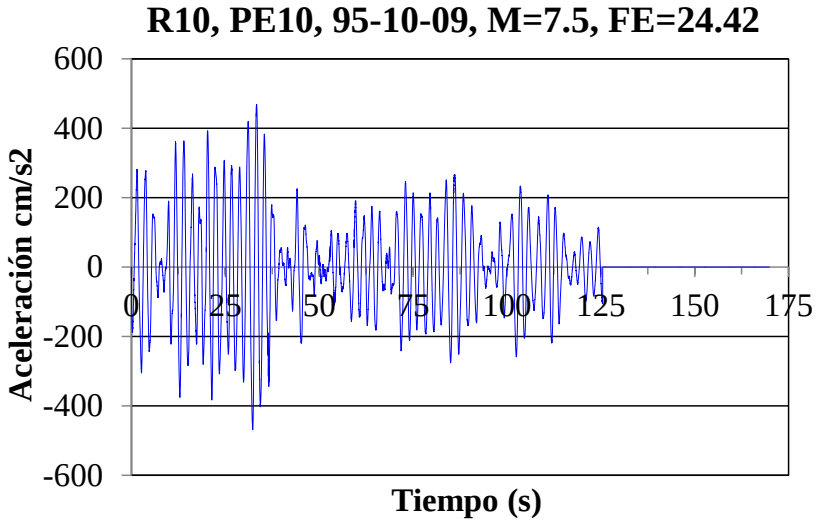

M7-R10 FE=24.03
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

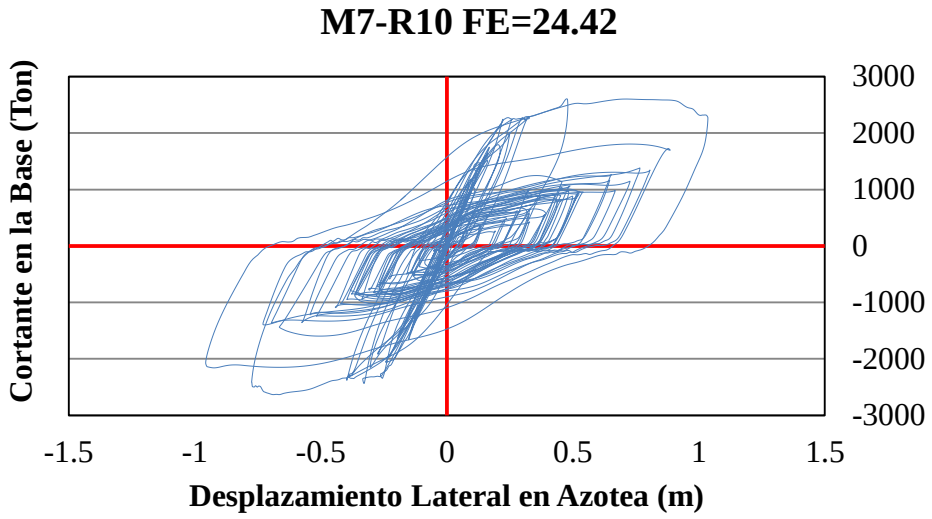

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.16
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

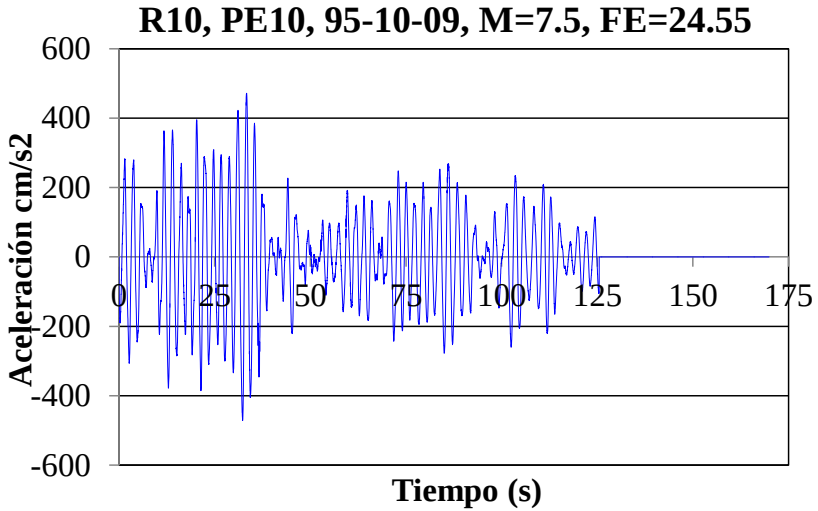

M7-R10 FE=24.16
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

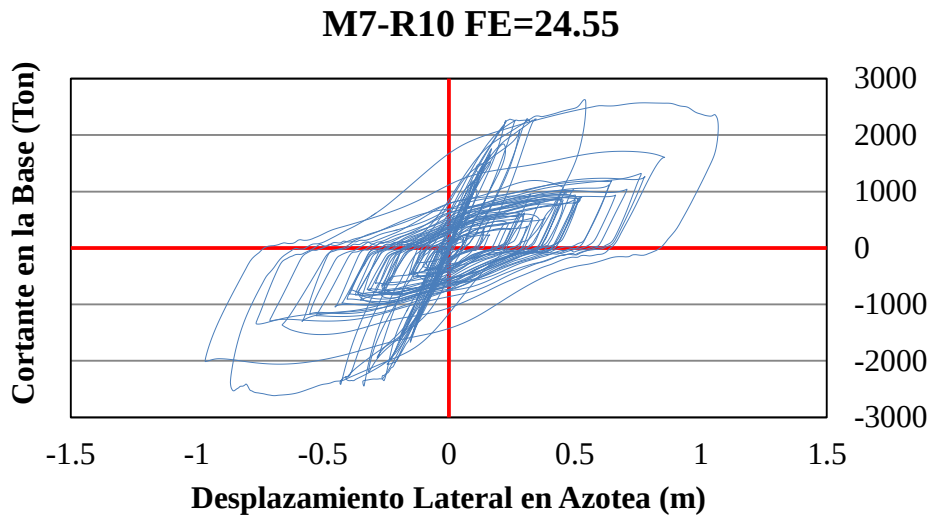

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.29
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

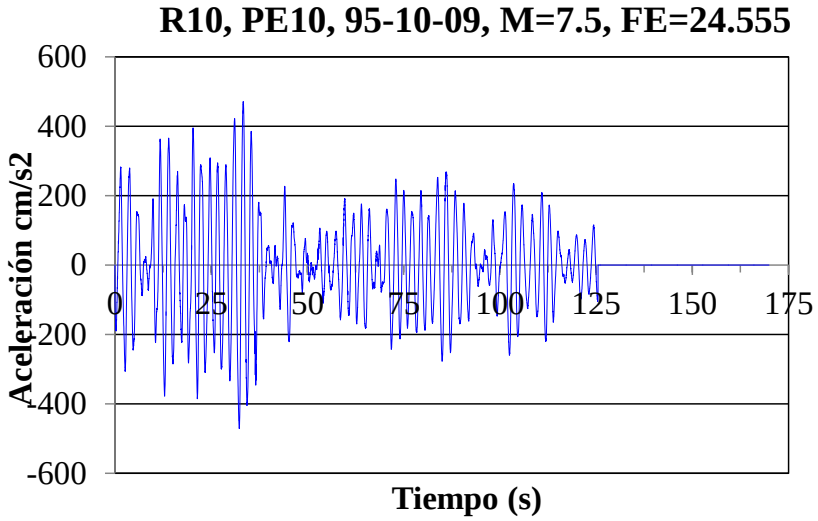

M7-R10 FE=24.29
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

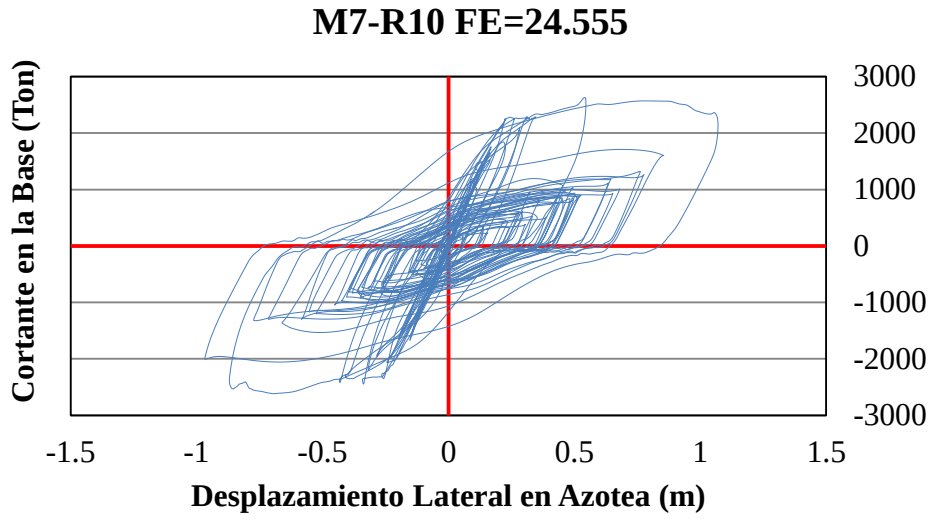

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.42
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

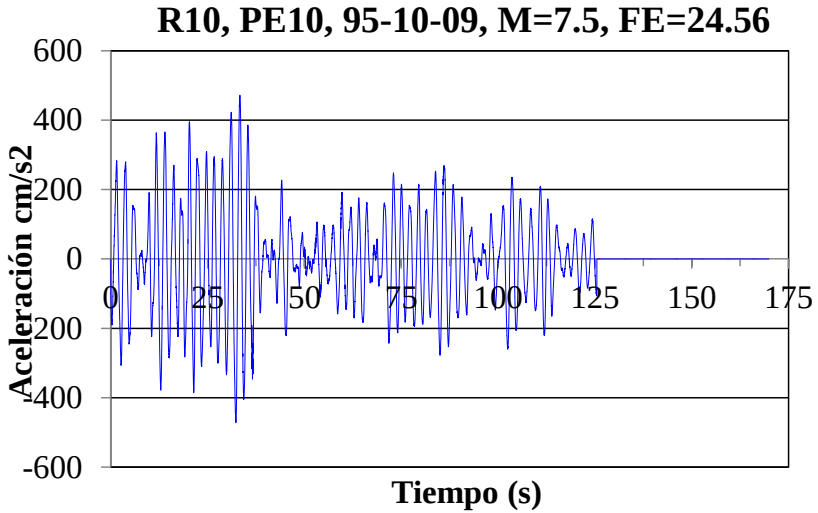

M7-R10 FE=24.42
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

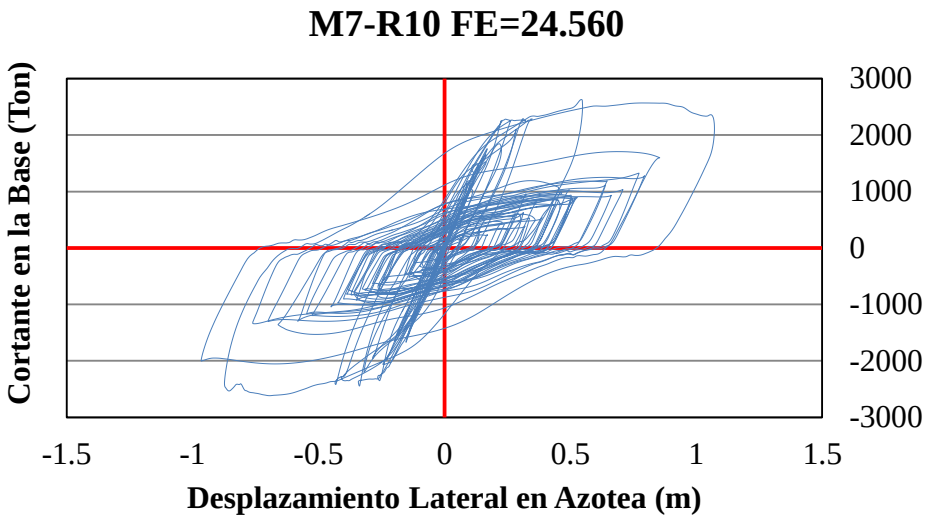

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

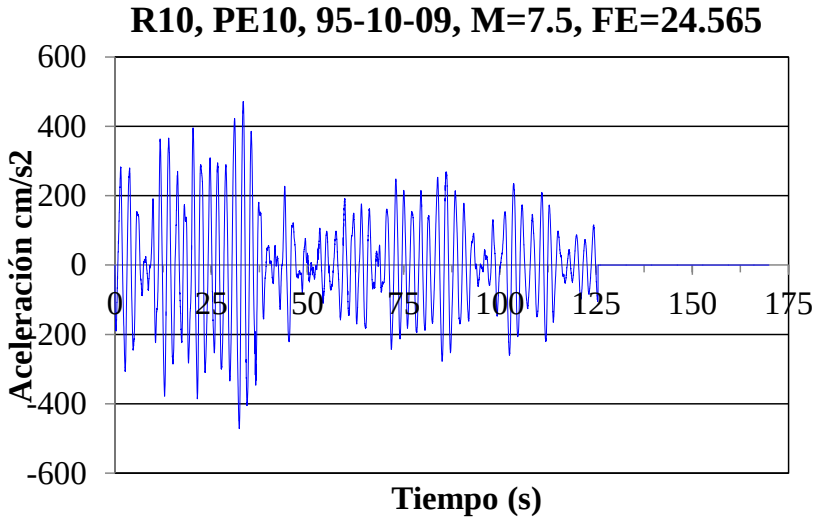

M7-R10 FE=24.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

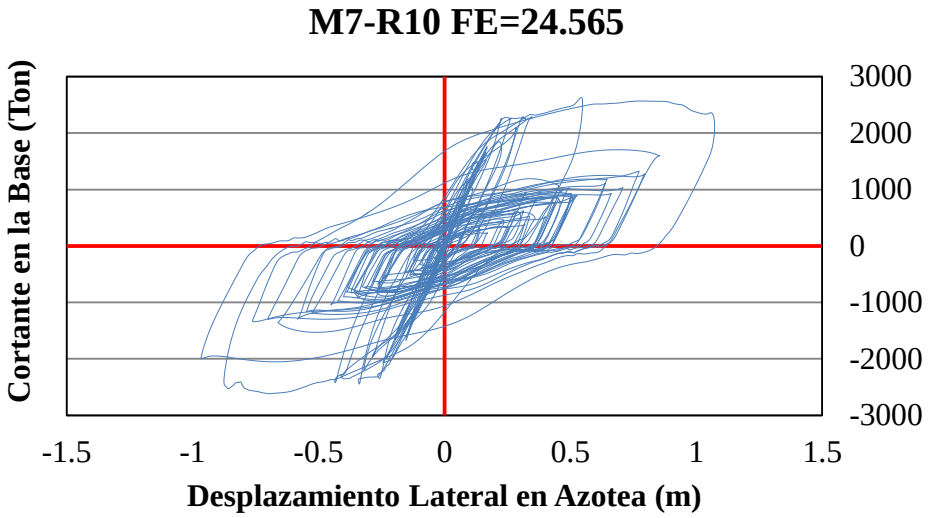

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.555
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

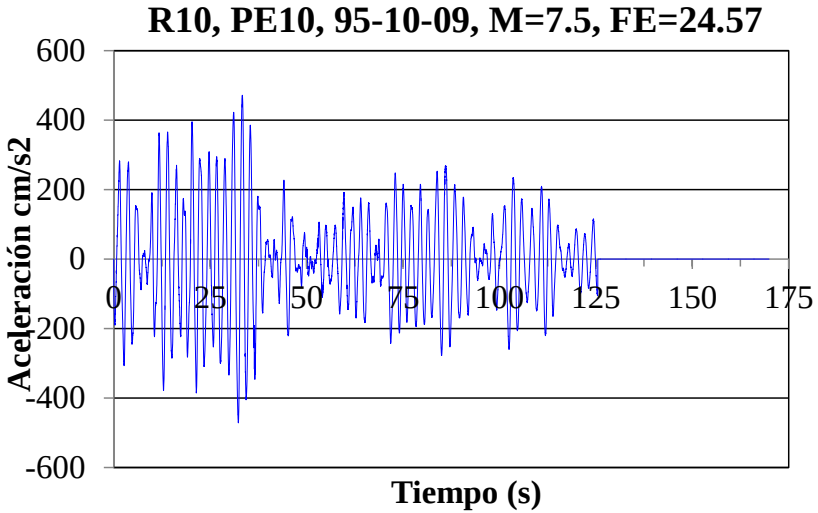

M7-R10 FE=24.555
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

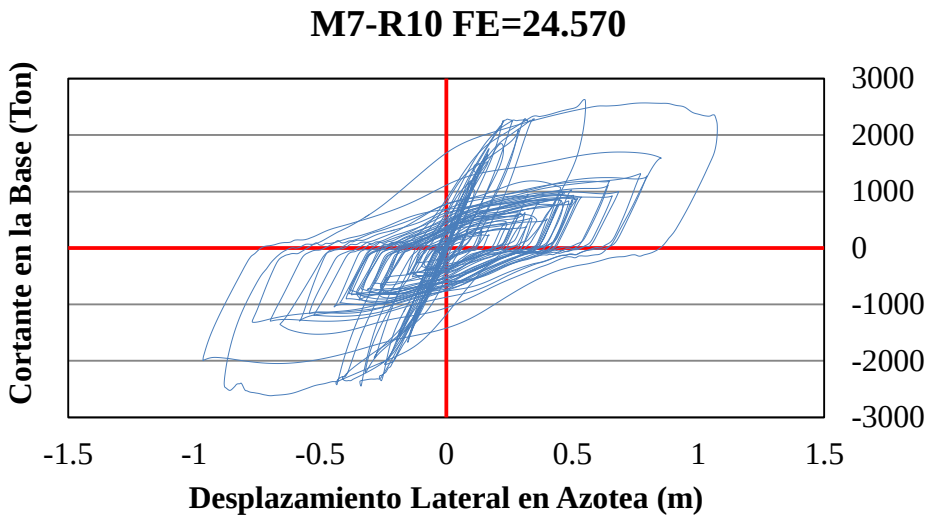

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.56
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

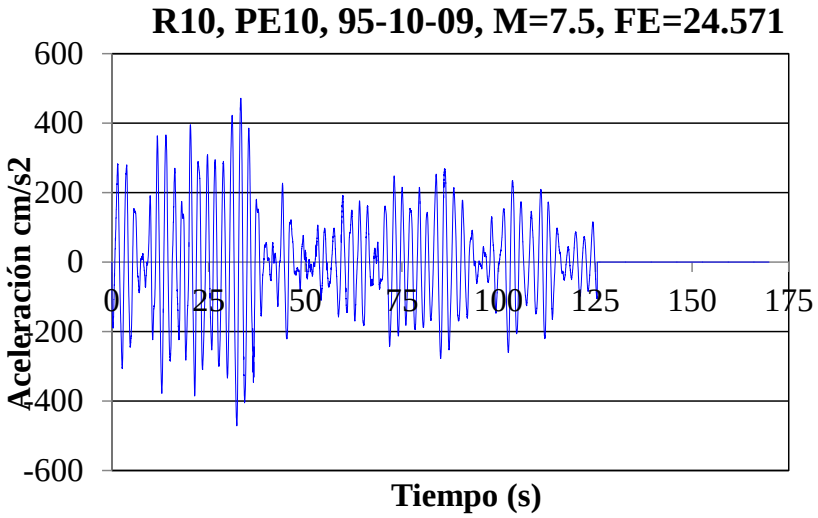

M7-R10 FE=24.560
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

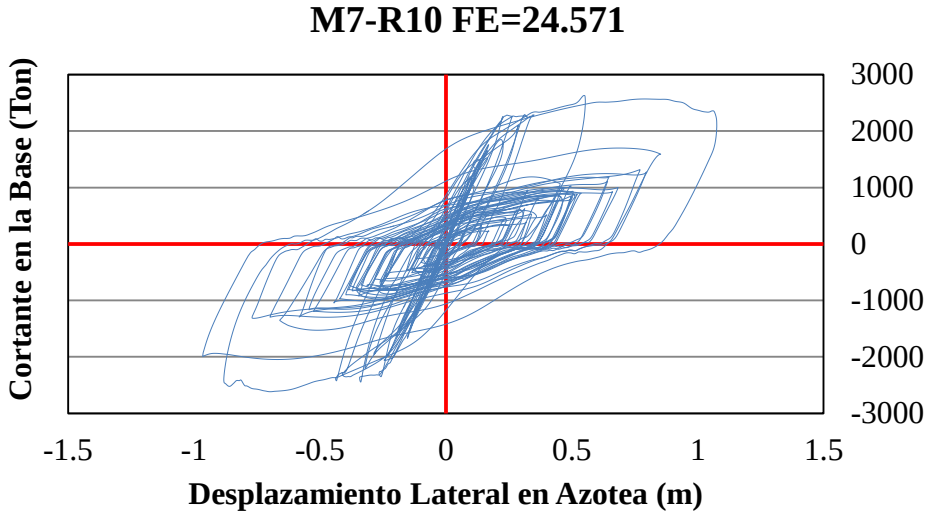

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.565
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

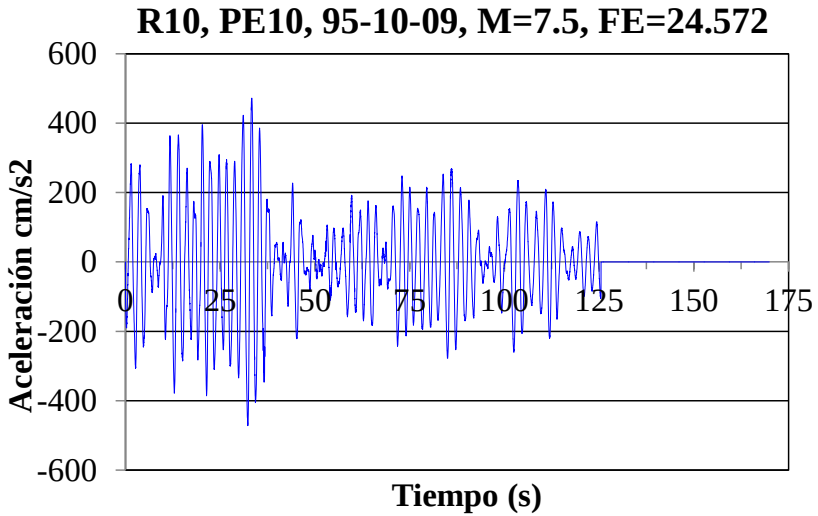

M7-R10 FE=24.565
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

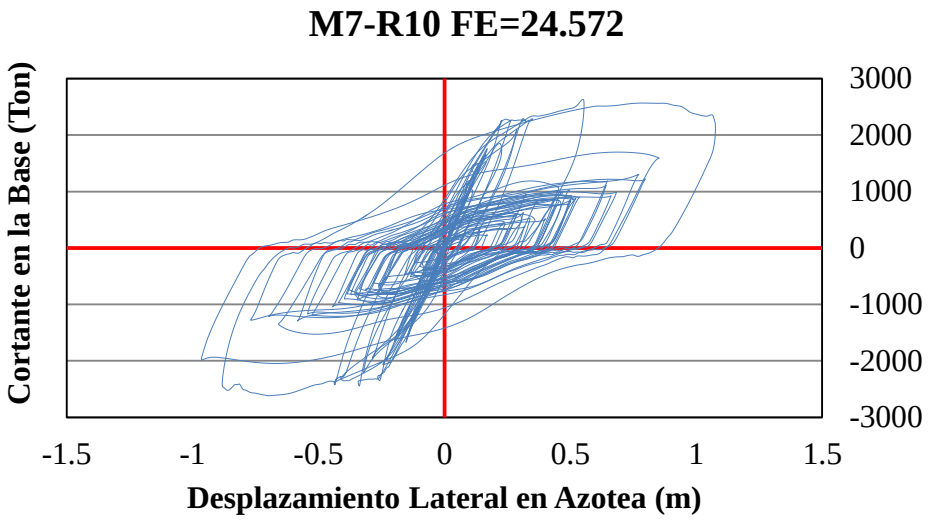

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.57
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

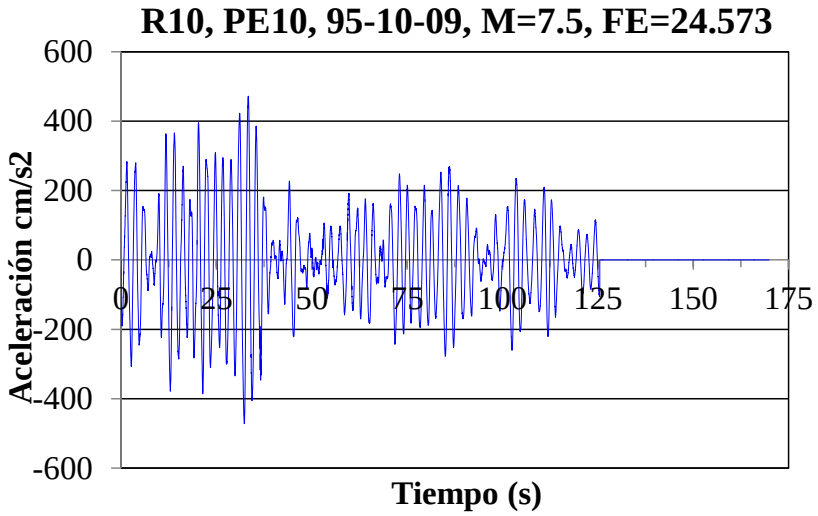

M7-R10 FE=24.570
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

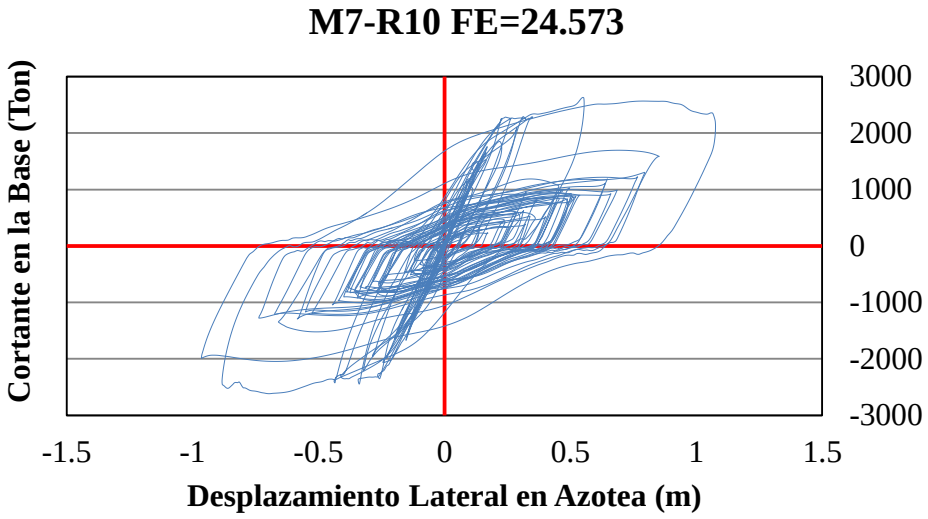

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.571
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

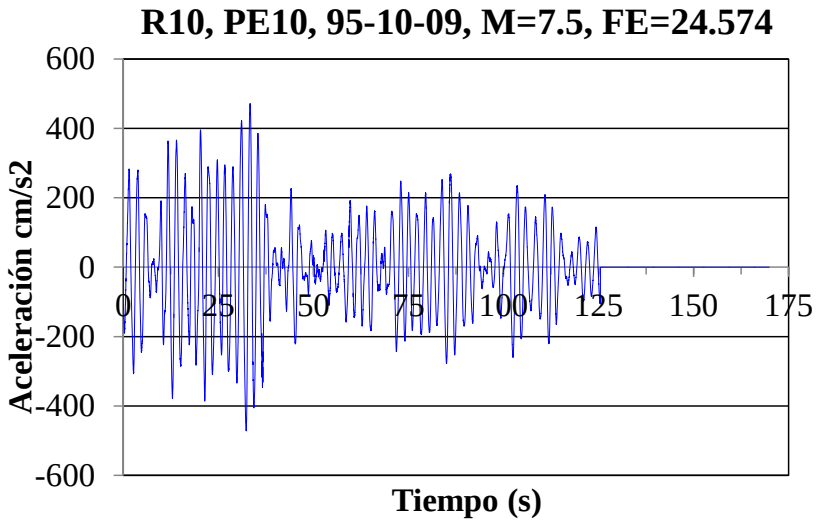

M7-R10 FE=24.571
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

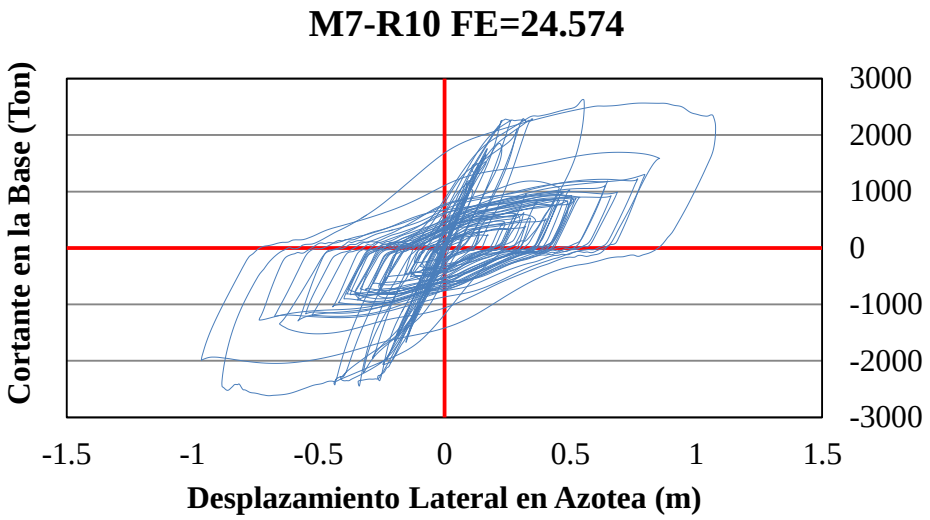

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.572
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175

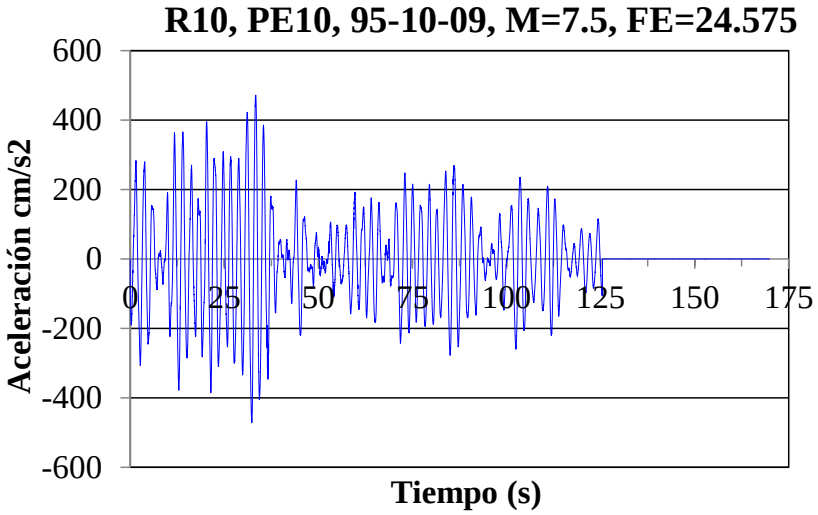

M7-R10 FE=24.572
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5

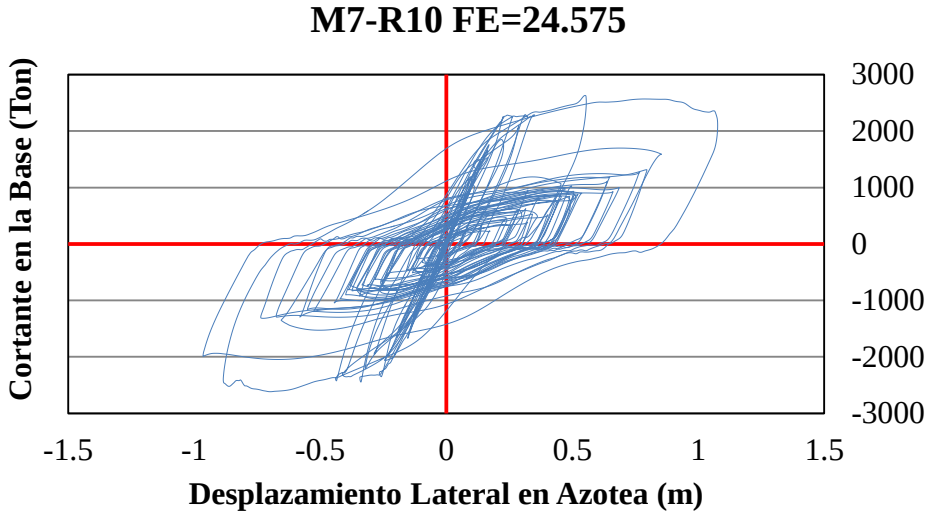

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.573
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175

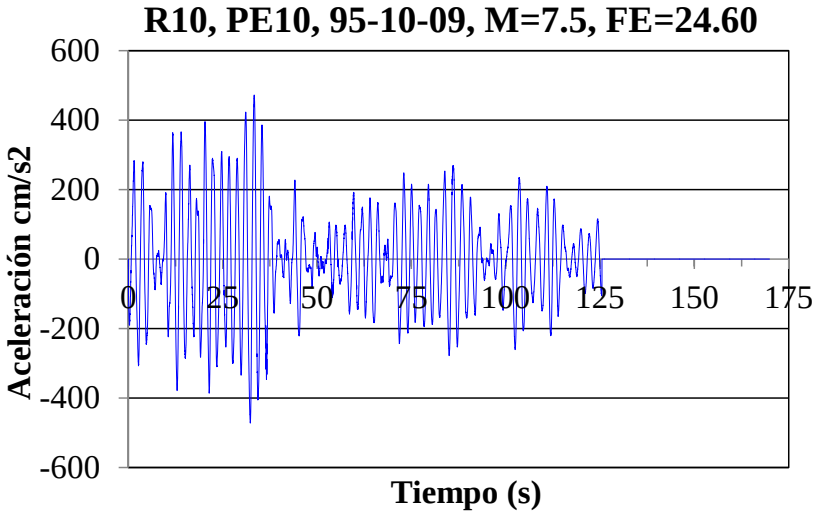

M7-R10 FE=24.573
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5

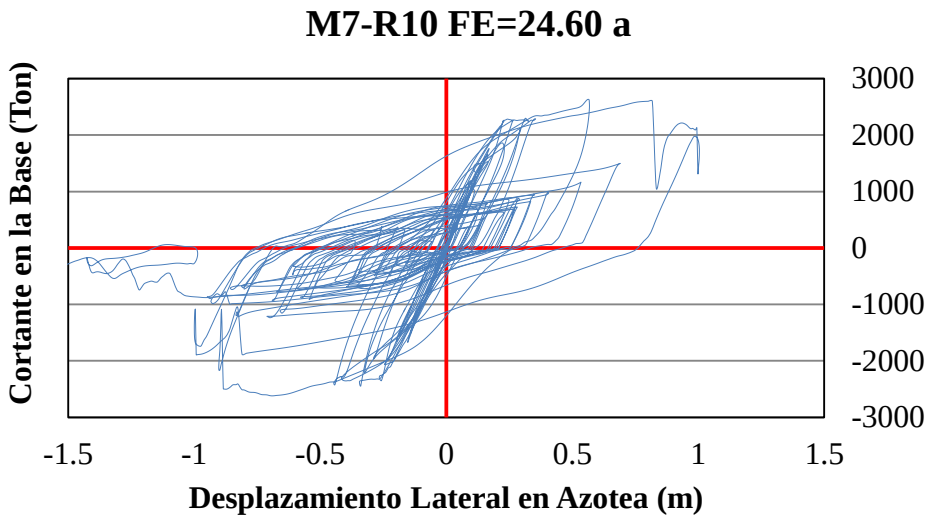

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.574
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

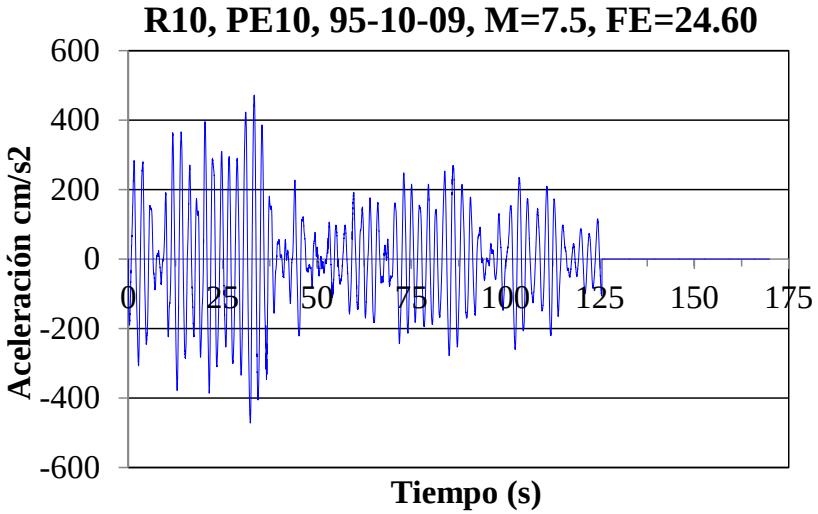

M7-R10 FE=24.574
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

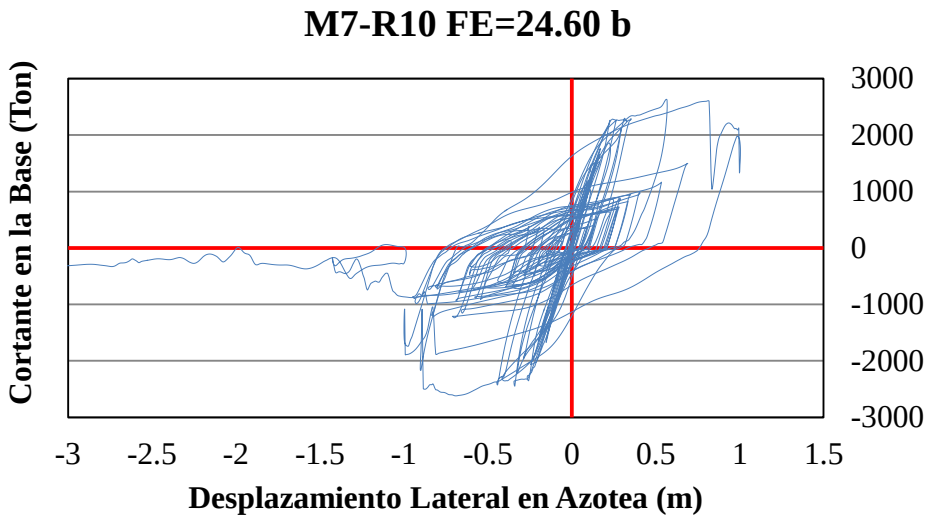

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.575
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

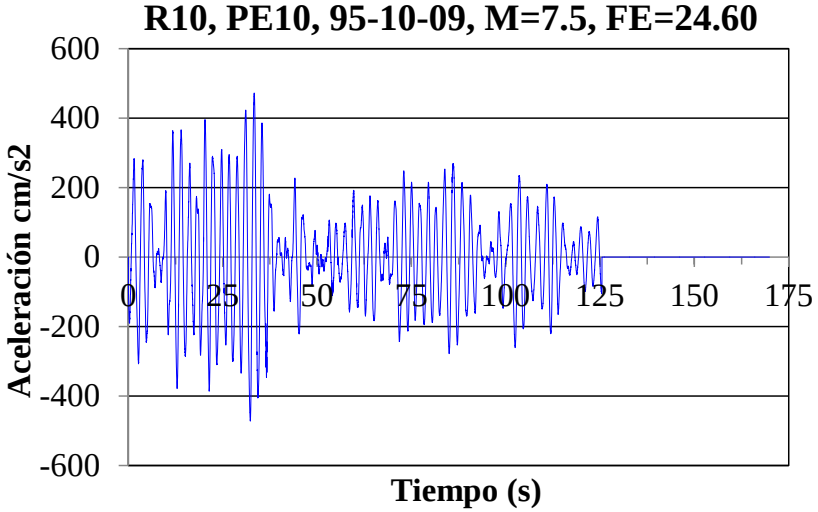

M7-R10 FE=24.575
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

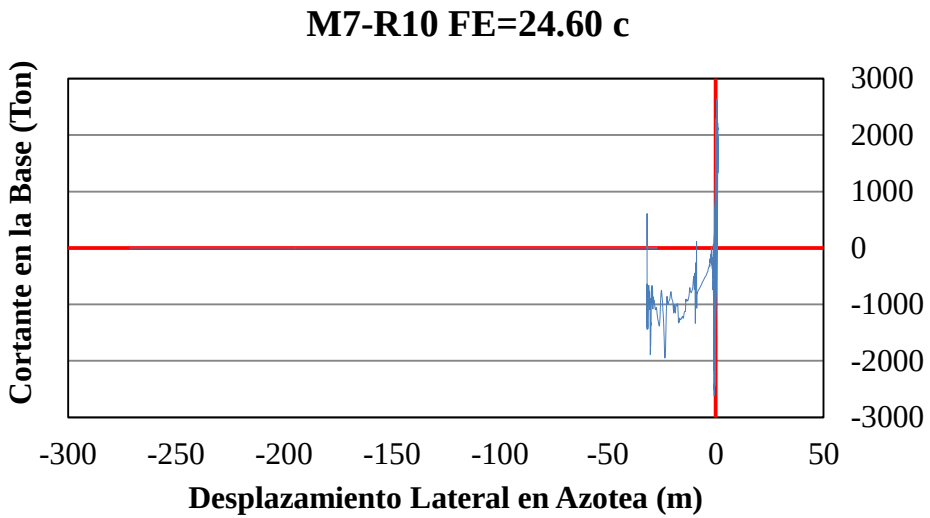

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R10 FE=24.60 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R10 FE=24.60 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-3
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

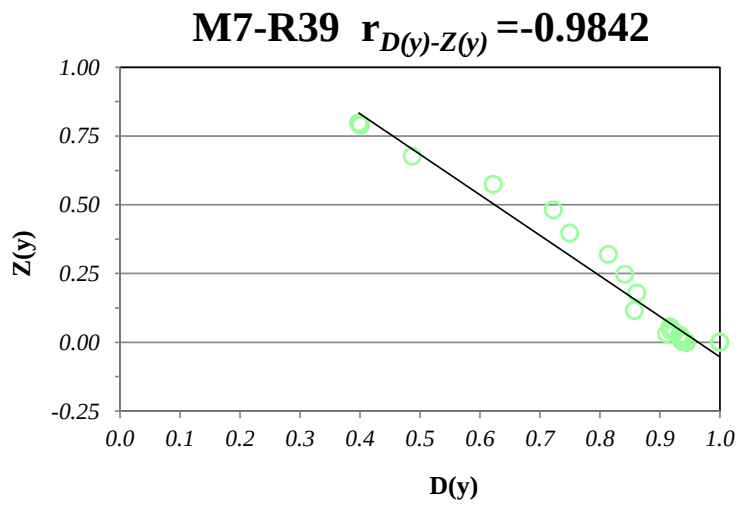

R10, PE10, 95-10-09, M=7.5, FE=24.60
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

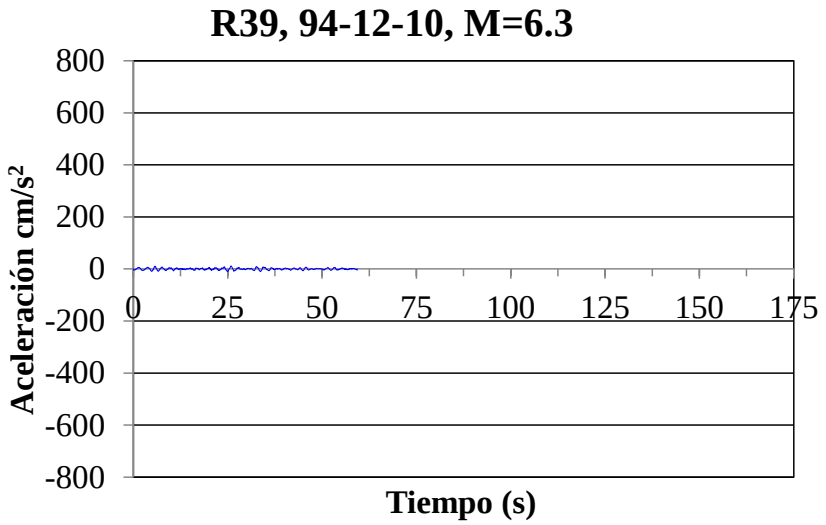

M7-R10 FE=24.60 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-300
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

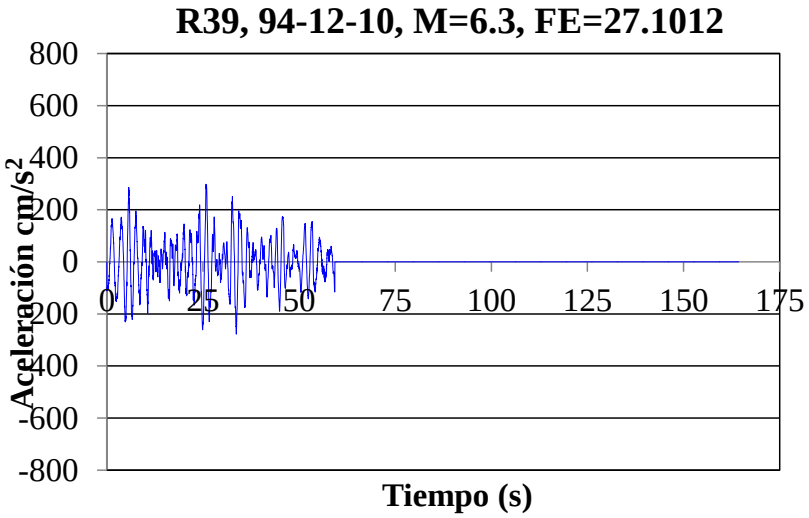
M7-R39

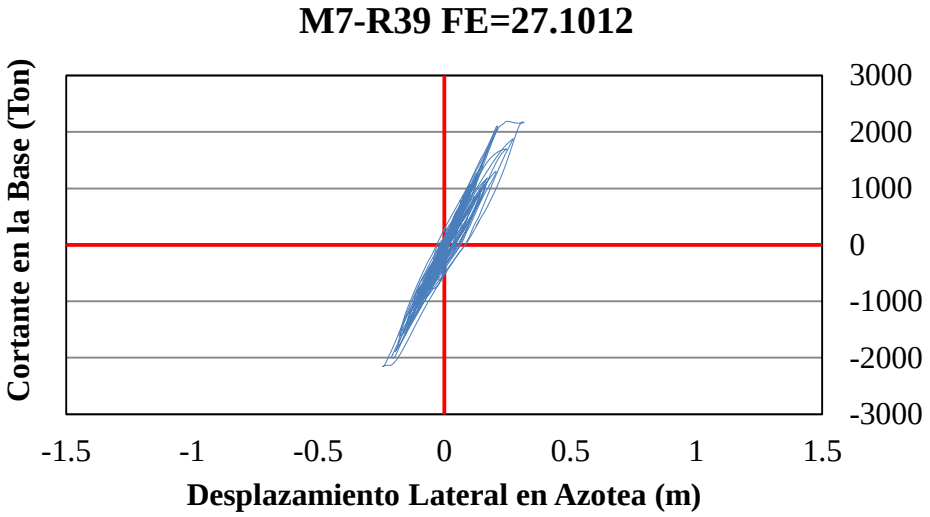
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.6	**6.83**	**11 365.15**	**0.025**	**-0.9842**

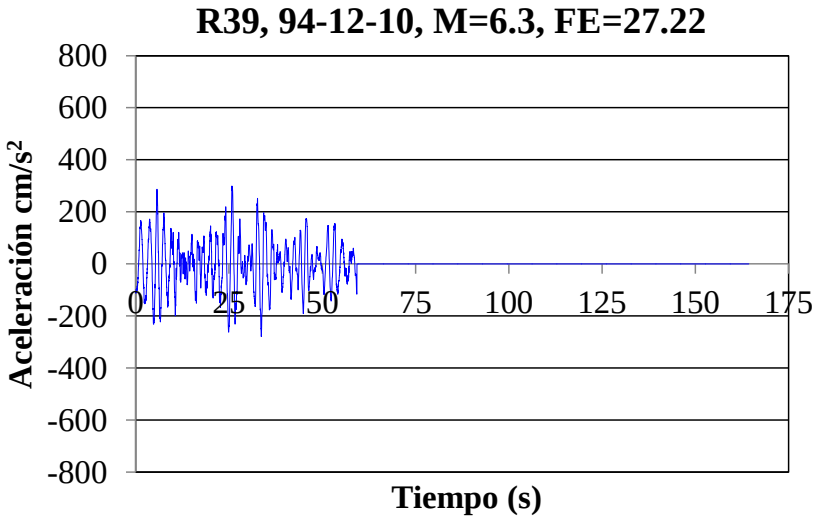
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6830	27.10	32.90	0.3166	2164.135	6 835.55	0.3981	0.000
0.6859	27.22	32.90	0.3179	2165.995	6 813.45	0.4000	-0.004
0.6885	27.32	32.90	0.3188	2167.973	6 800.42	0.4012	-0.008
0.7713	30.60	46.03	0.3711	2159.637	5 819.56	0.4875	-0.122
0.8540	33.89	34.03	0.5434	-2329.864	4 287.57	0.6224	-0.223
0.9368	37.17	34.18	0.7083	-2232.660	3 152.14	0.7224	-0.316
1.0196	40.46	26.36	0.7704	2191.122	2 844.14	0.7496	-0.401
1.1023	43.74	26.48	0.9344	1970.180	2 108.72	0.8143	-0.479
1.1851	47.02	26.56	0.9995	1796.680	1 797.58	0.8417	-0.551
1.2679	50.31	26.60	1.0620	1669.528	1 572.06	0.8616	-0.619
1.3506	53.59	25.60	1.1099	-1797.605	1 619.61	0.8574	-0.682
1.4334	56.88	26.66	1.1827	1117.047	0 944.49	0.9168	-0.741
1.4365	57.00	26.66	1.1835	1113.450	0 940.81	0.9172	-0.743
1.4448	57.33	26.66	1.1873	1104.760	0 930.48	0.9181	-0.749
1.4531	57.66	26.67	1.1887	1097.165	0 923.00	0.9187	-0.755
1.4617	58.00	26.67	1.2042	1031.746	0 856.79	0.9246	-0.761
1.4700	58.33	26.67	1.2484	1258.798	1 008.33	0.9112	-0.767
1.4783	58.66	26.67	1.2444	934.437	0 750.91	0.9339	-0.772
1.4869	59.00	26.67	1.2503	965.387	0 772.12	0.9320	-0.778
1.4952	59.33	26.67	1.2590	928.217	0 737.27	0.9351	-0.784
1.5035	59.66	26.67	1.2662	924.510	0 730.15	0.9357	-0.789
1.5121	60.00	26.68	1.2703	907.351	0 714.28	0.9371	-0.795
1.5161	60.16	26.68	1.2744	810.163	0 635.72	0.9440	-0.797
1.5163	60.17	1.27	1.2746	810.181	0 635.64	0.9440	-0.798
1.5163	60.17	26.68	1.2746	810.019	0 635.51	0.9440	-0.798
1.5163	60.167	26.68	1.2746	810.176	0 635.63	0.9440	-0.798
1.5163	60.168	0.00	0.0000	0.000	0 000.00	1.0000	-0.798
1.5164	60.17	58.34	351.6491	0.000	0 000.00	1.0000	-0.798

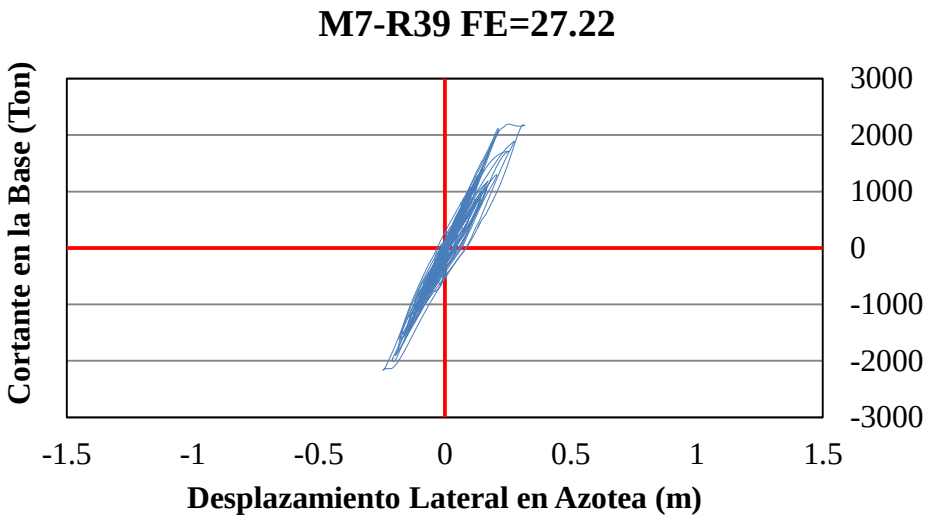

M7-R39 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.9842
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

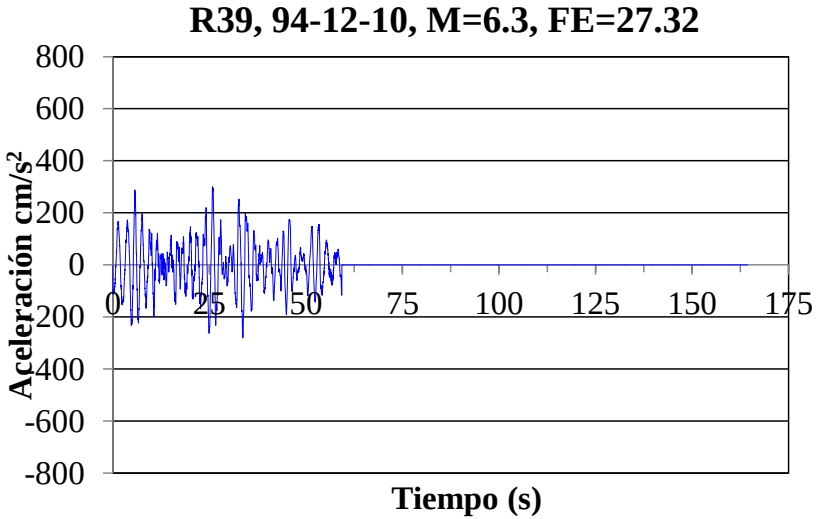

R39, 94-12-10, M=6.3
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

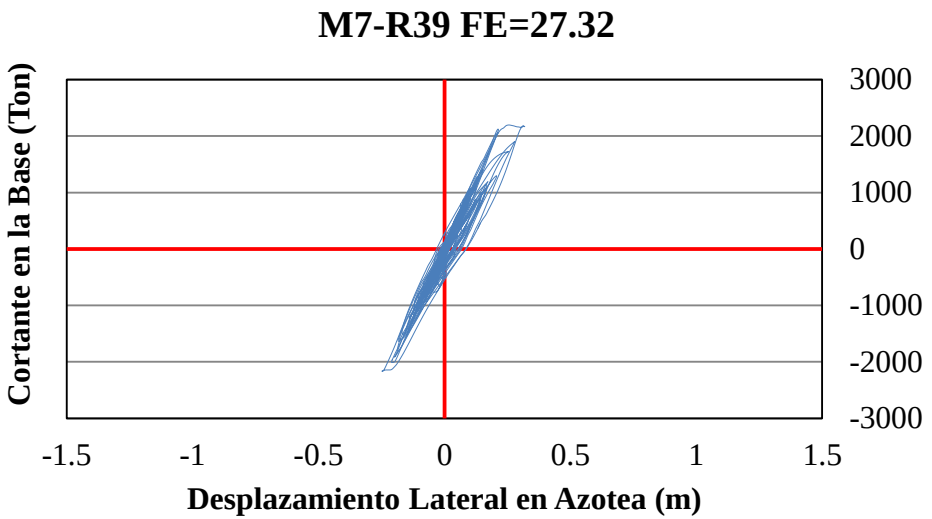

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=27.1012
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

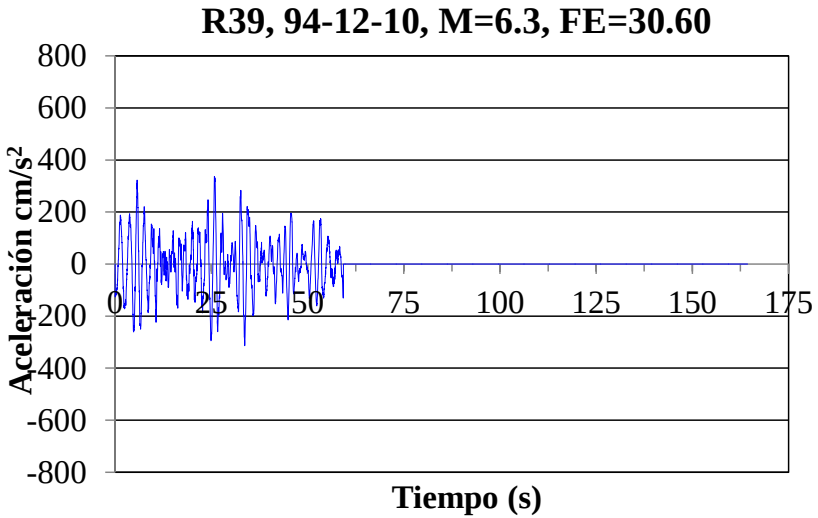

M7-R39 FE=27.1012
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

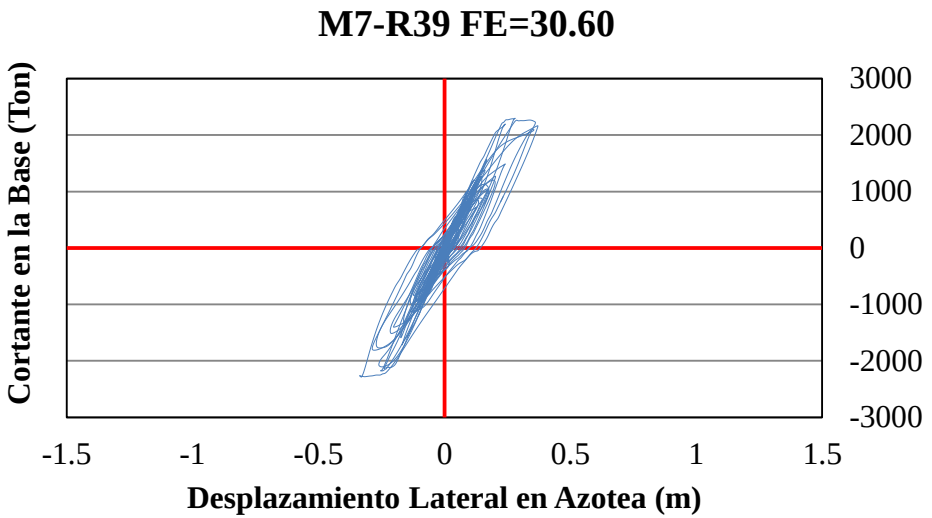

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=27.22
Aceleración cm/s²
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

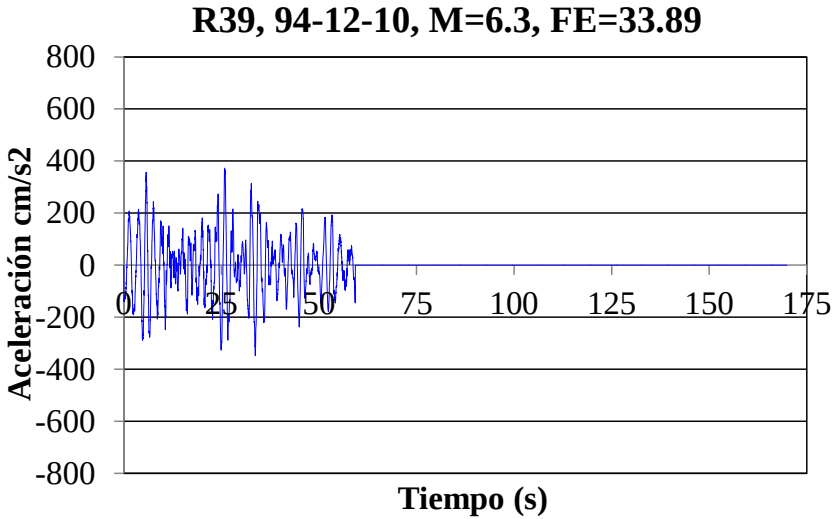

M7-R39 FE=27.22
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

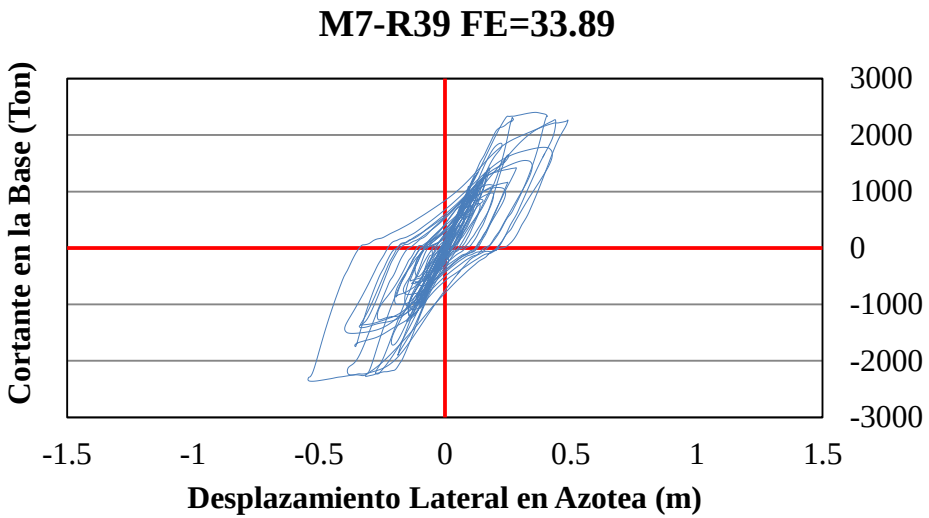

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=27.32
Aceleración cm/s²
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

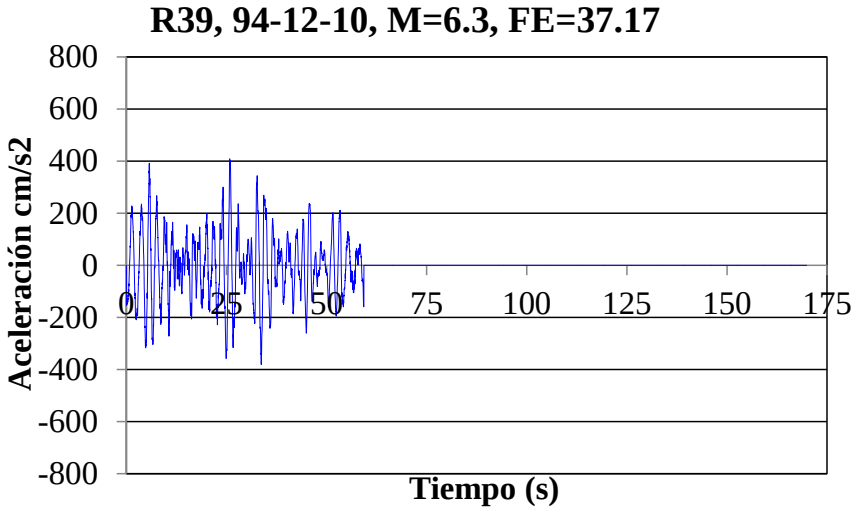

M7-R39 FE=27.32
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

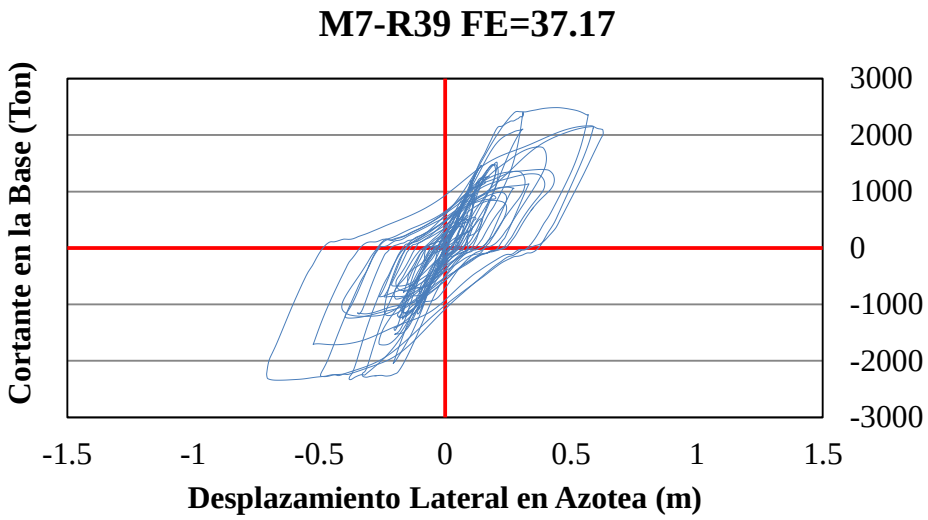

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=30.60
Aceleración cm/s²
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

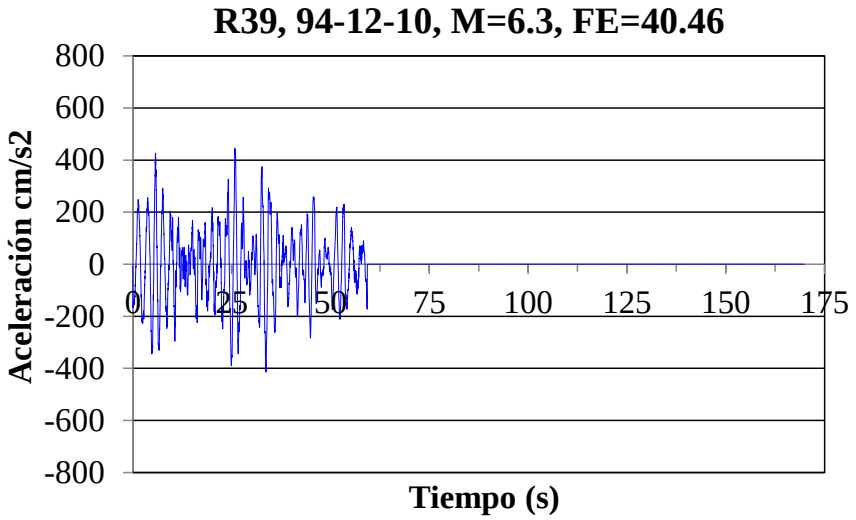

M7-R39 FE=30.60
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

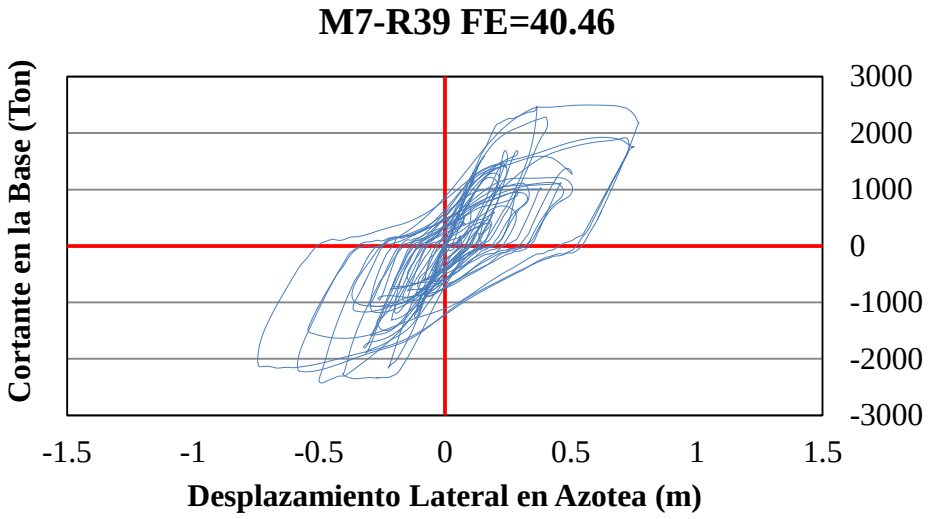

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=33.89
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

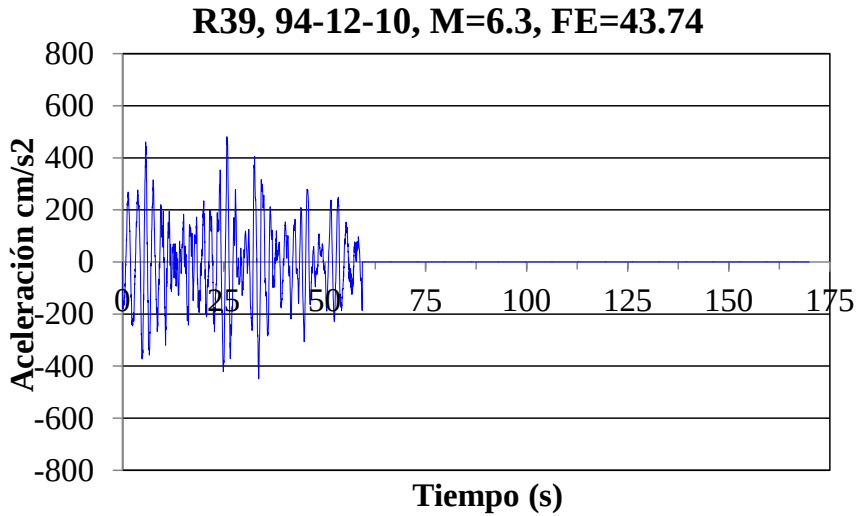

M7-R39 FE=33.89
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

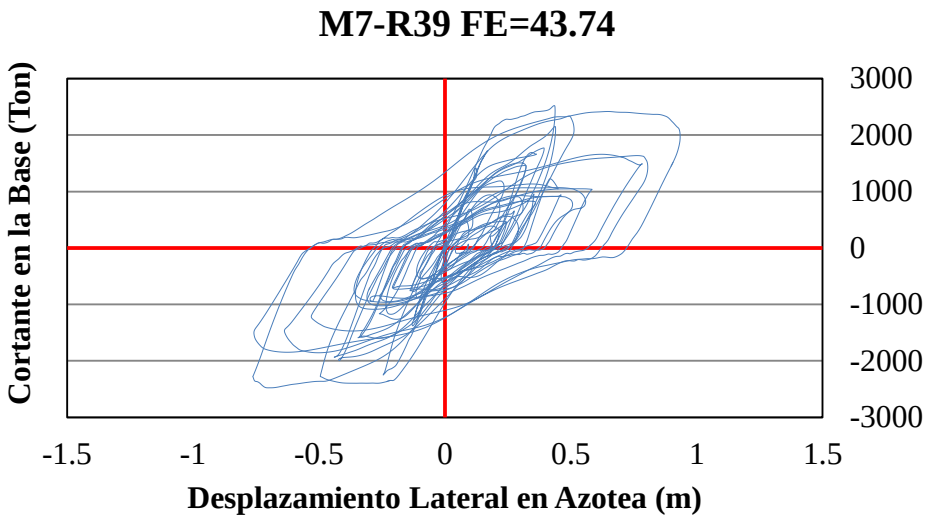

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=37.17
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

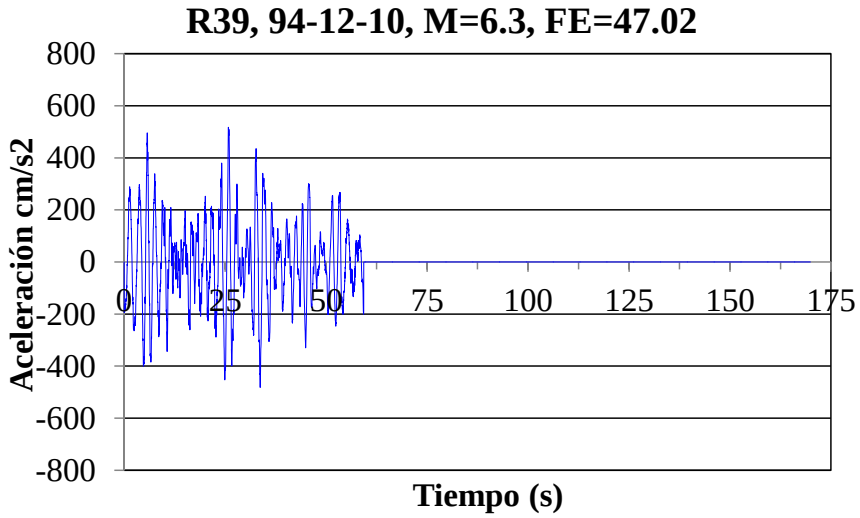

M7-R39 FE=37.17
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

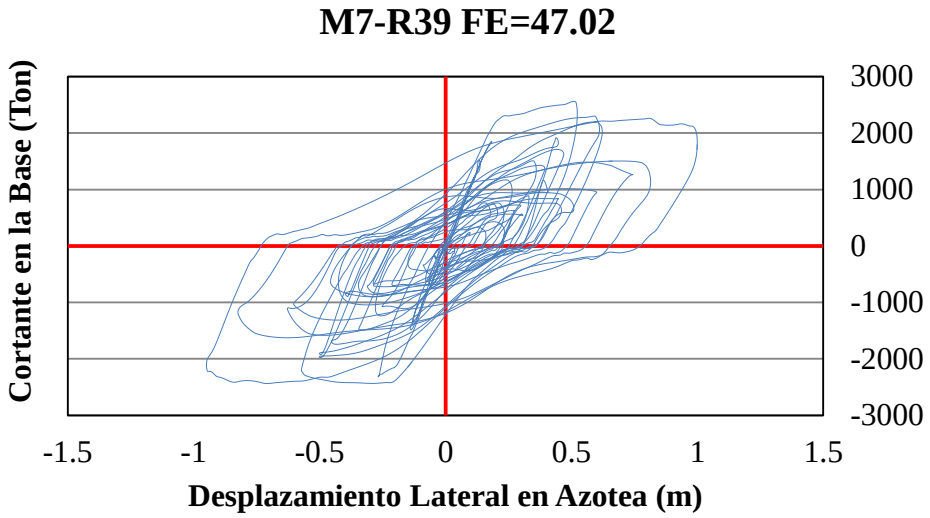

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=40.46
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

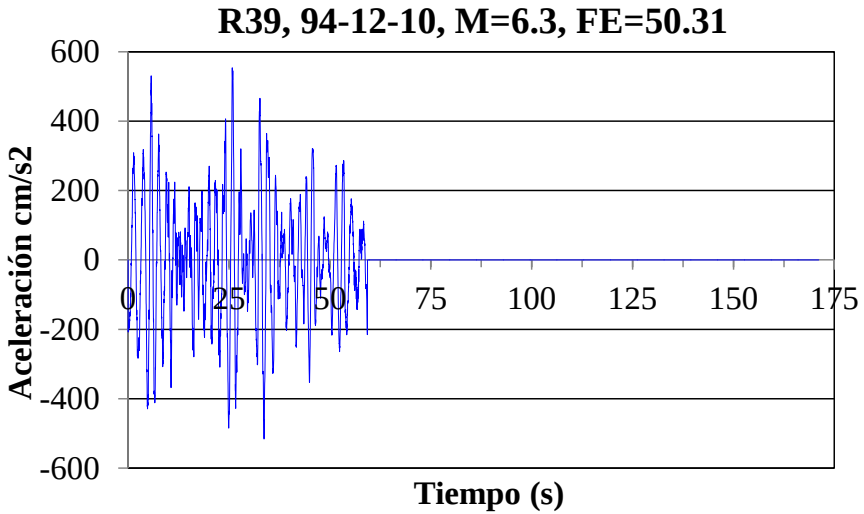

M7-R39 FE=40.46
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

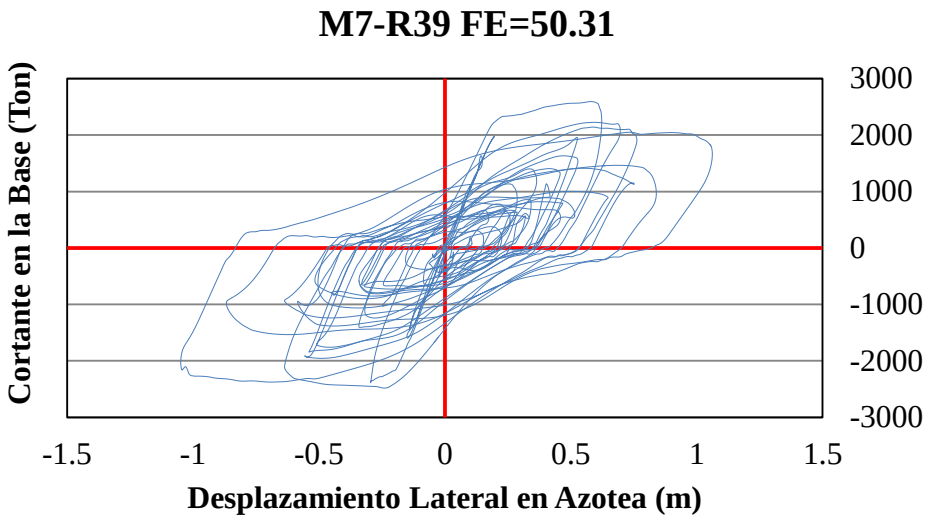

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=43.74
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

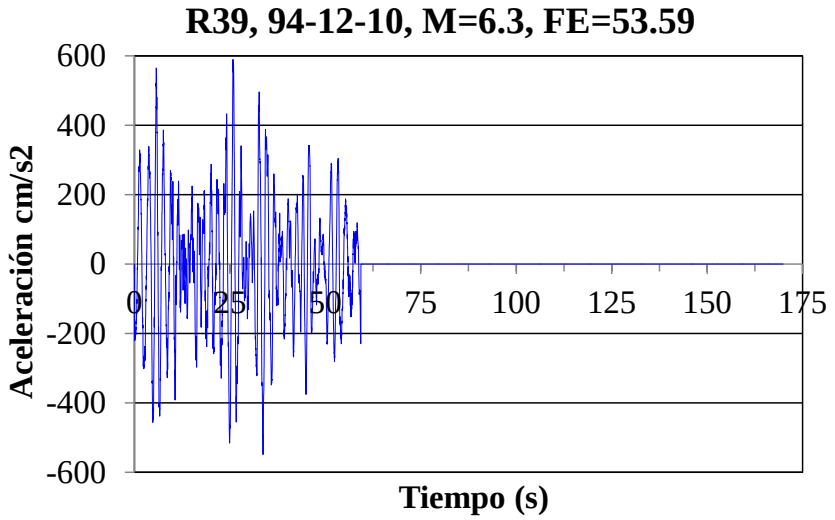

M7-R39 FE=43.74
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

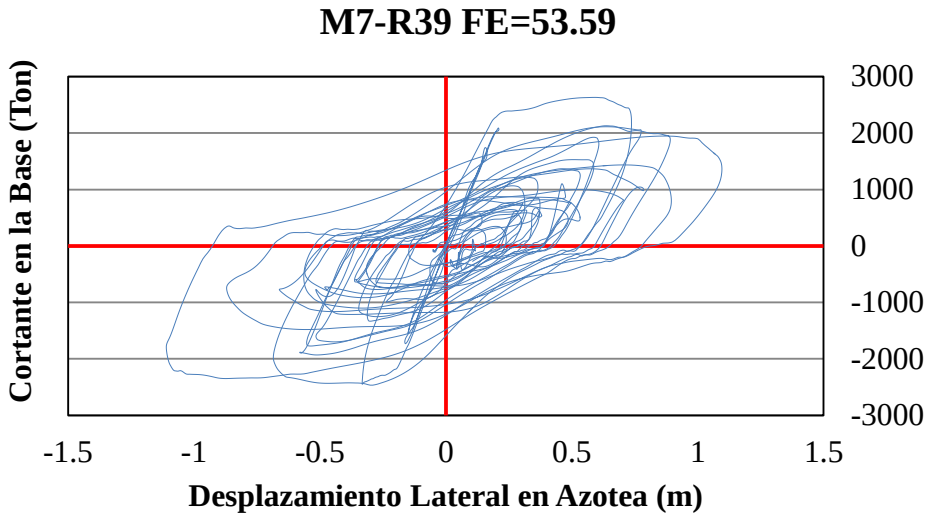

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=47.02
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

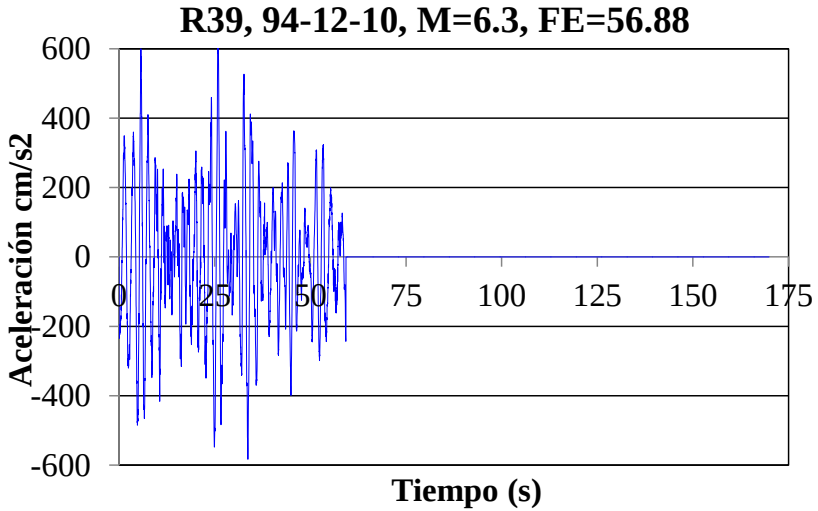

M7-R39 FE=47.02
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

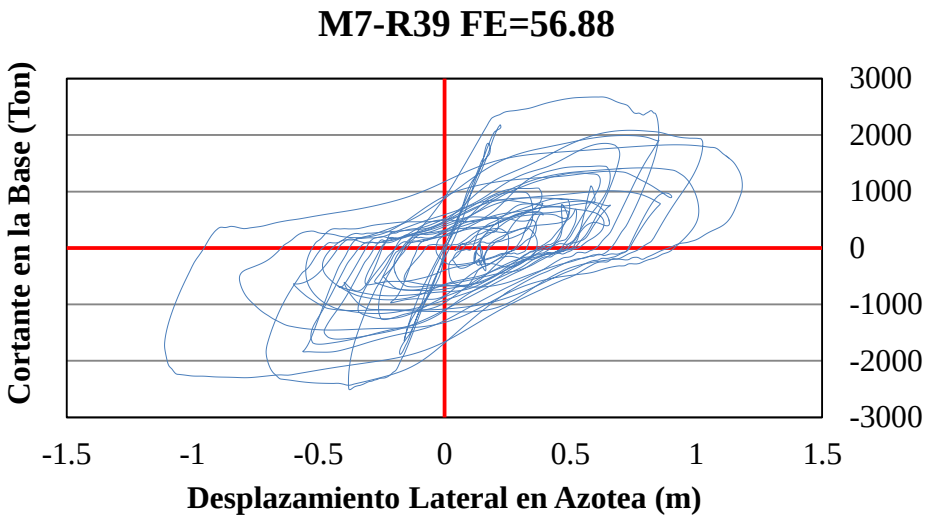

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=50.31
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

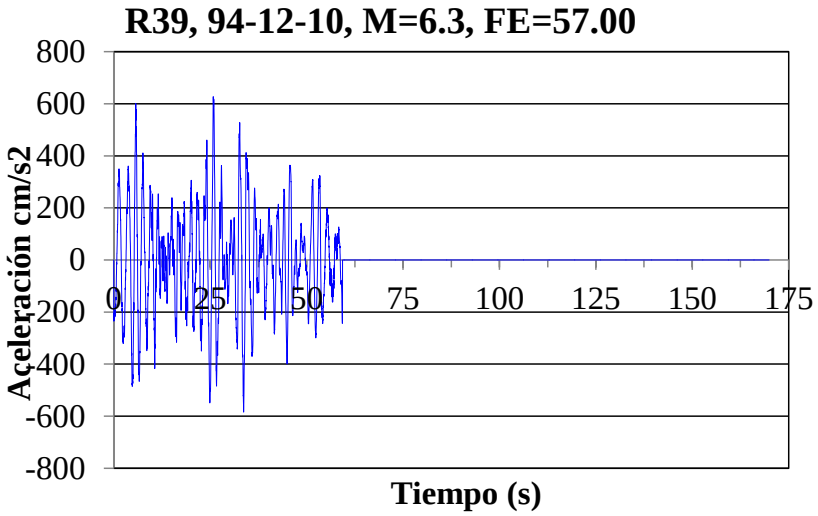

M7-R39 FE=50.31
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

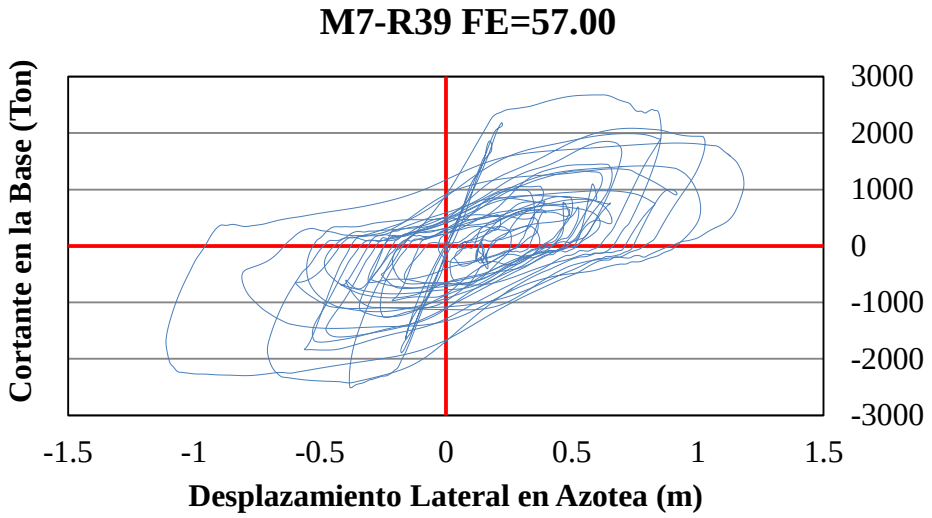

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=53.59
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

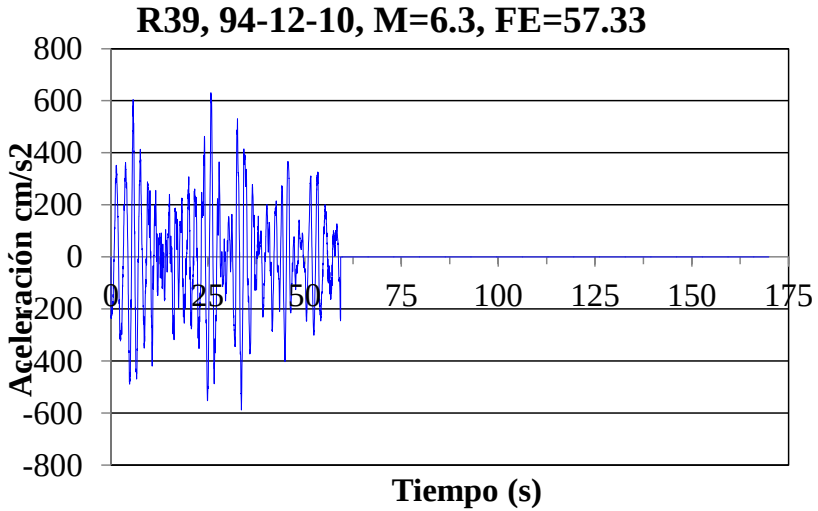

M7-R39 FE=53.59
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

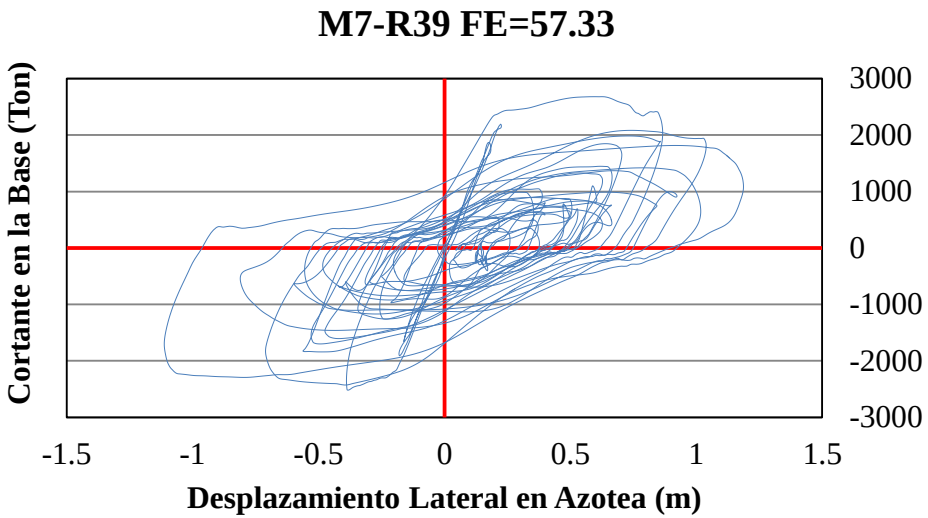

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=56.88
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

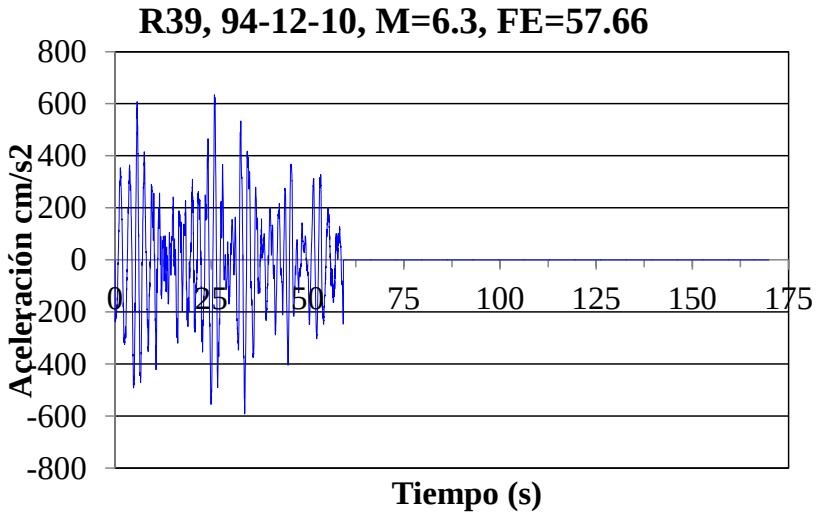

M7-R39 FE=56.88
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

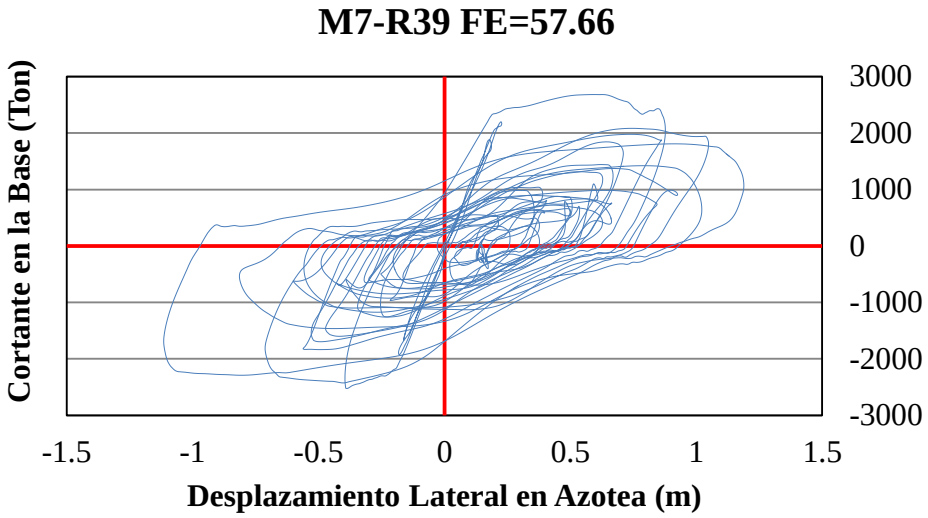

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=57.00
Açeleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

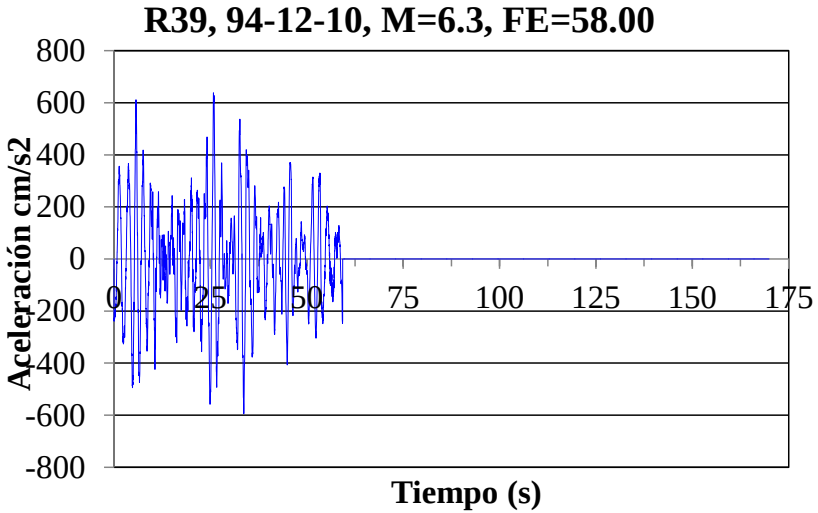

M7-R39 FE=57.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

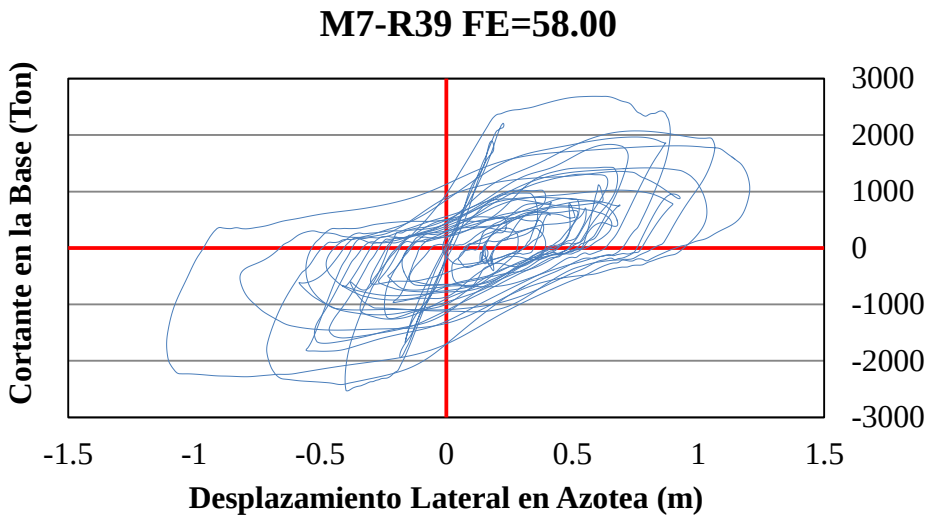

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=57.33
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

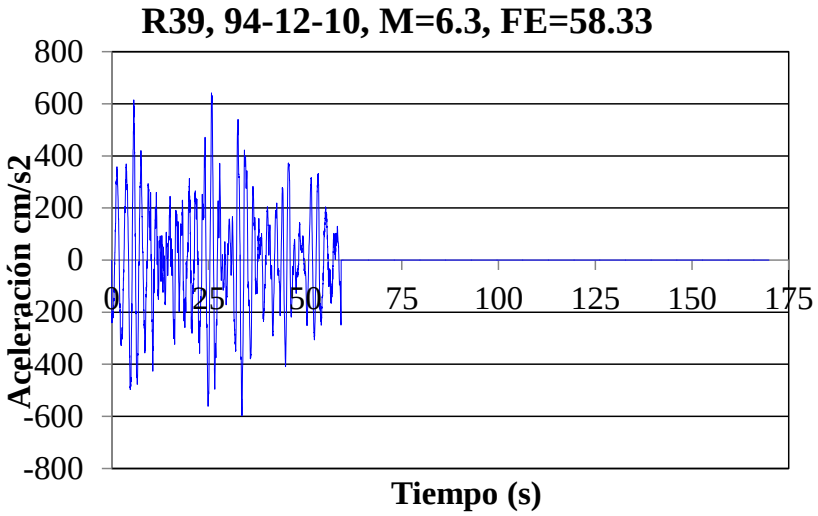

M7-R39 FE=57.33
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

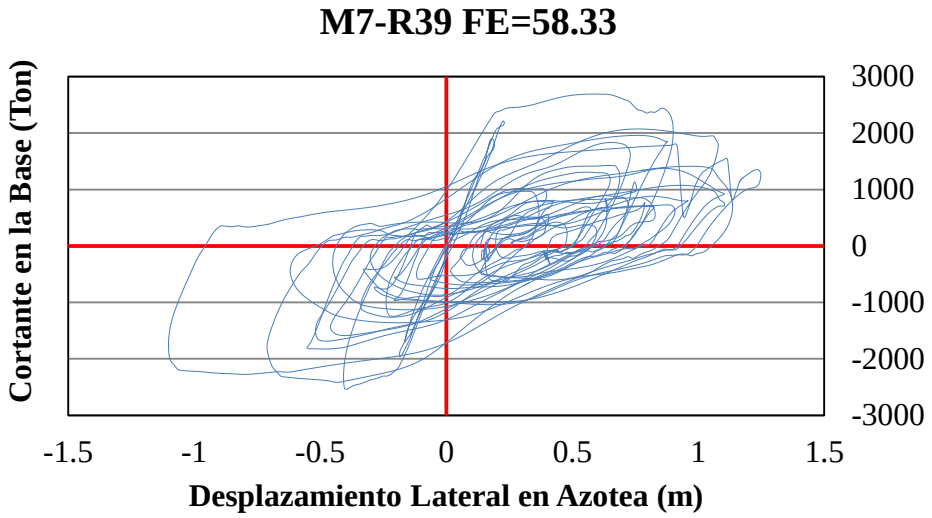

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=57.66
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

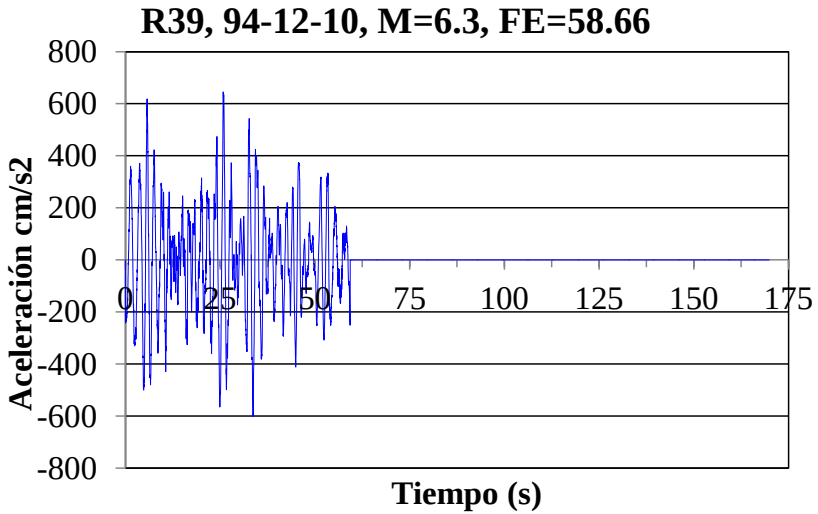

M7-R39 FE=57.66
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

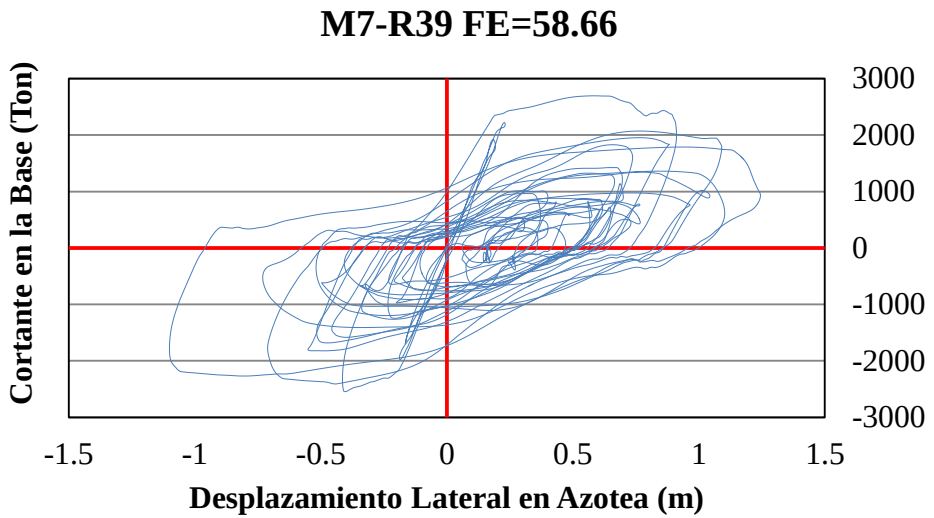

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=58.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

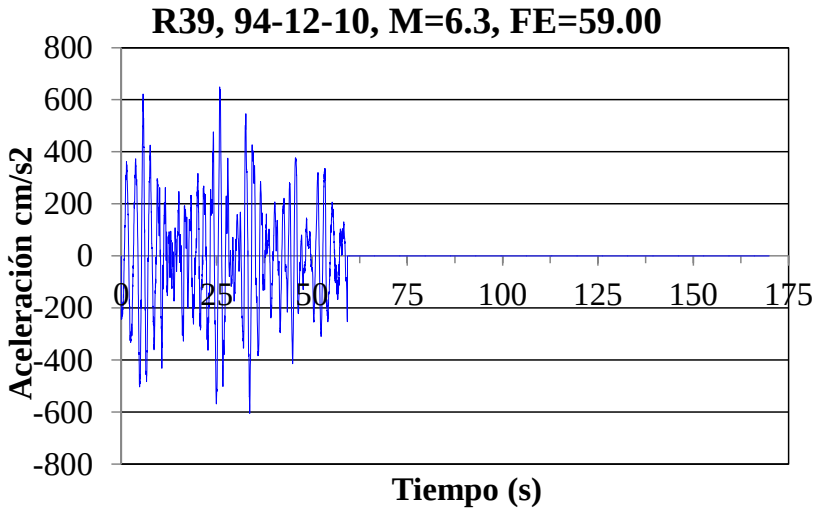

M7-R39 FE=58.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

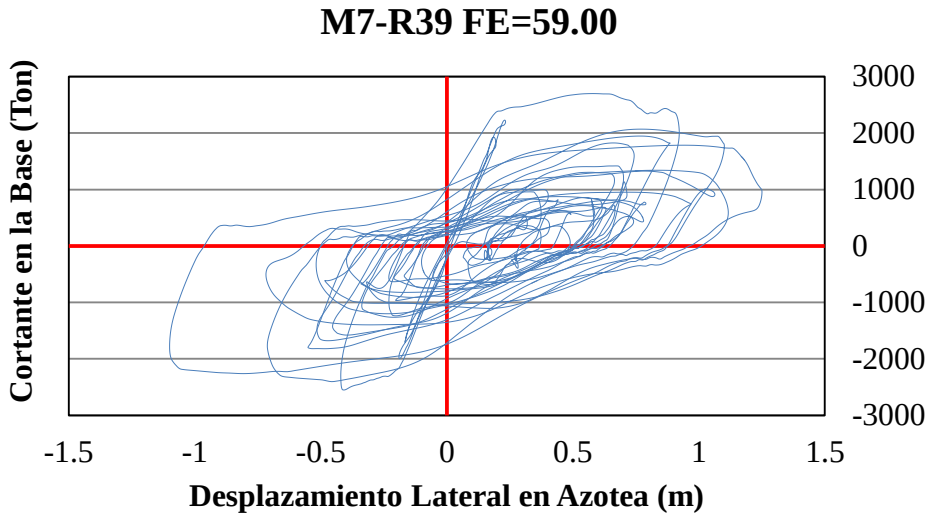

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=58.33
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

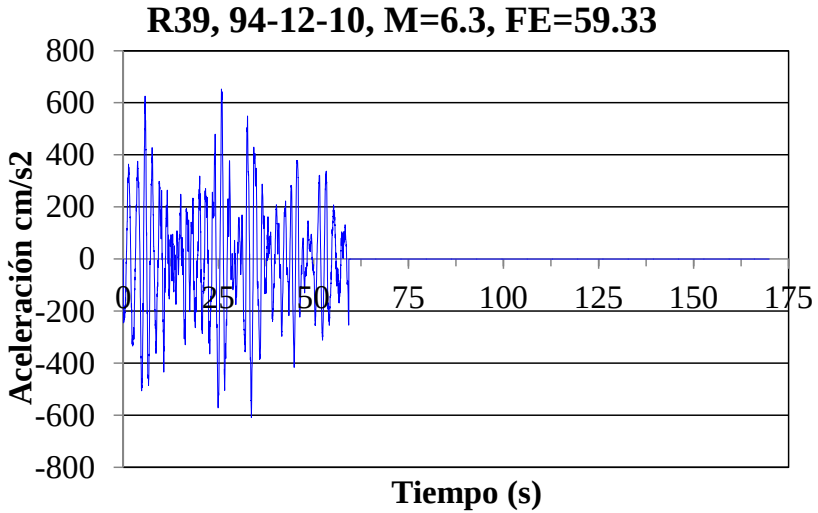

M7-R39 FE=58.33
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

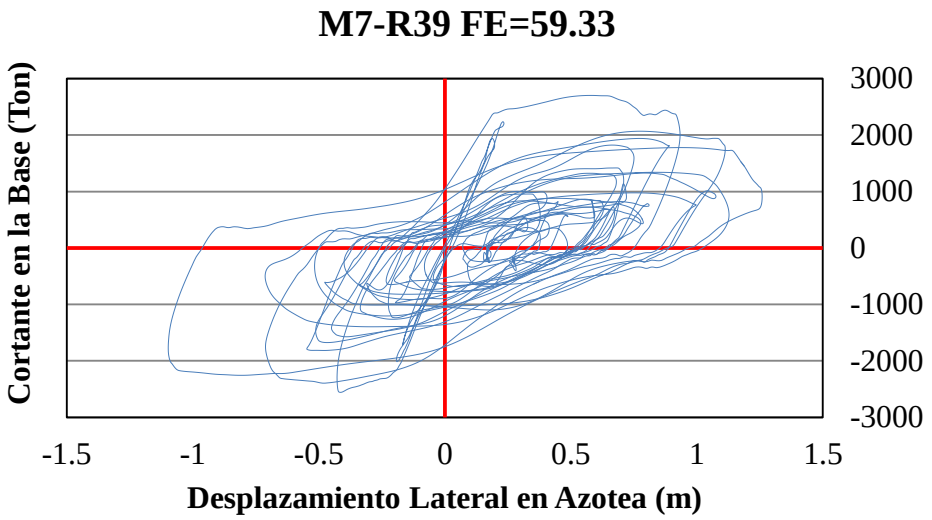

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=58.66
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

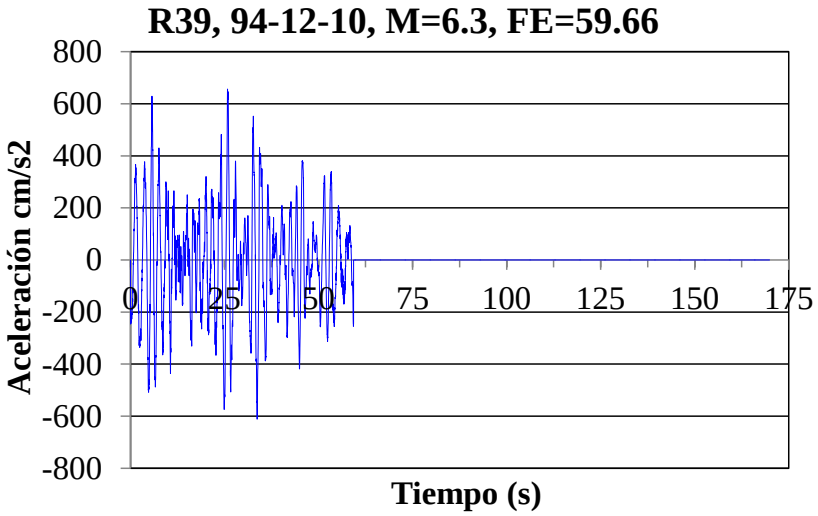

M7-R39 FE=58.66
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

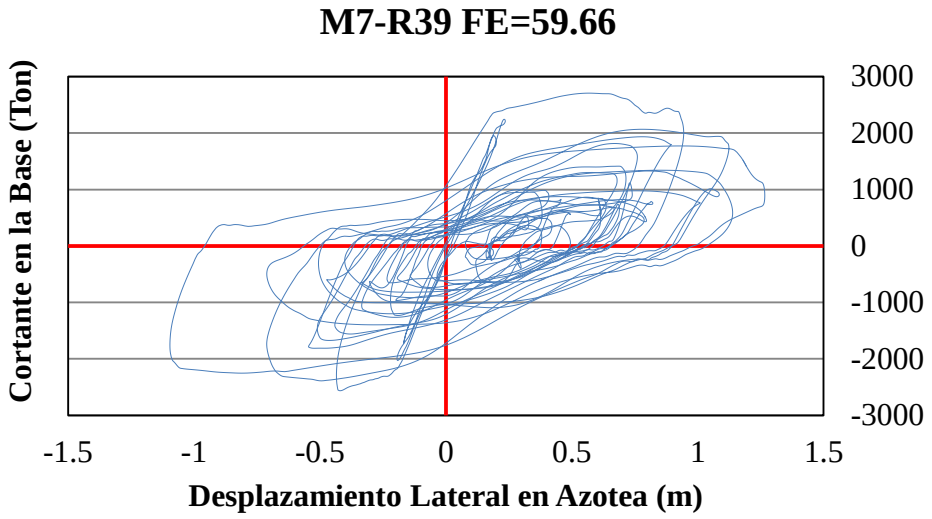

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=59.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

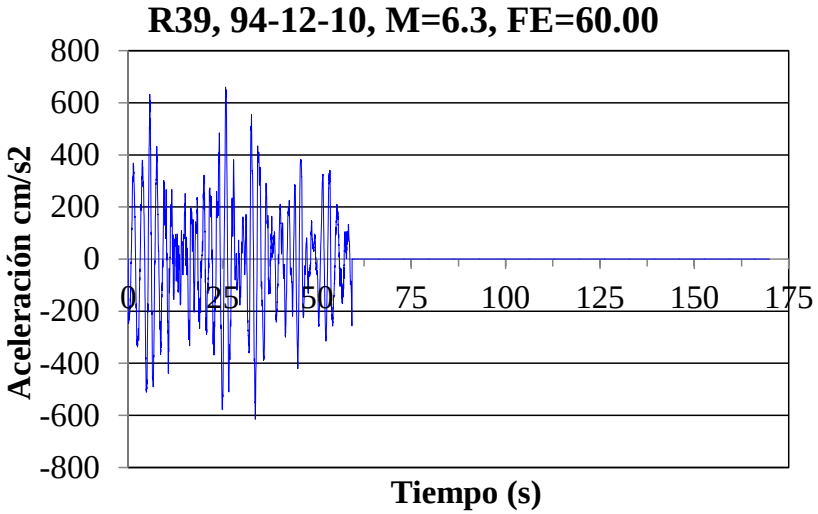

M7-R39 FE=59.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

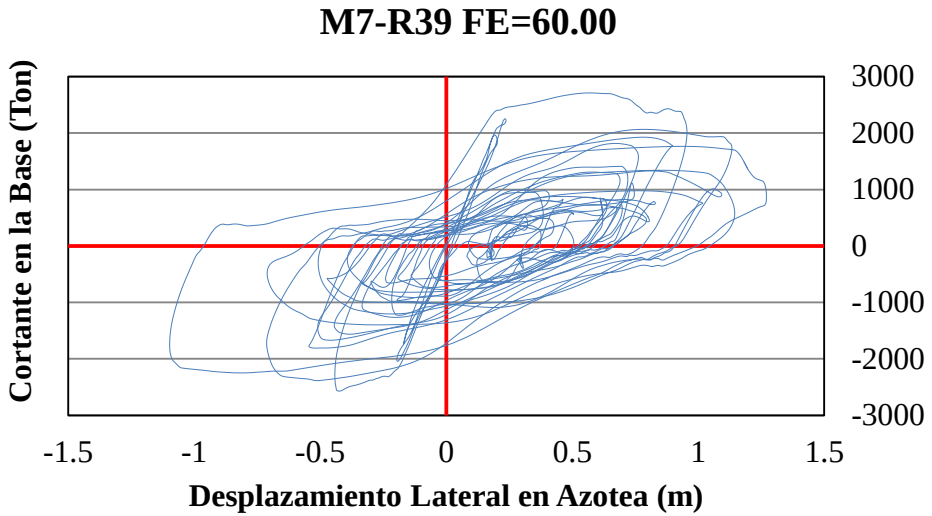

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=59.33
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

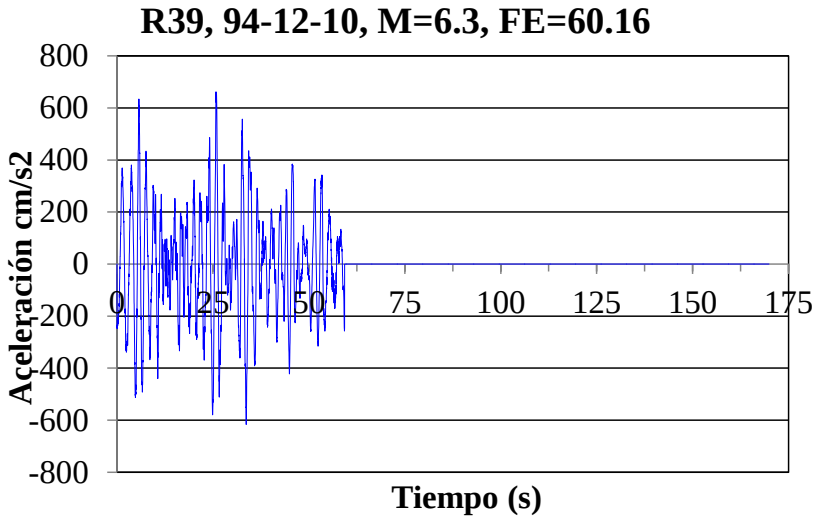

M7-R39 FE=59.33
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

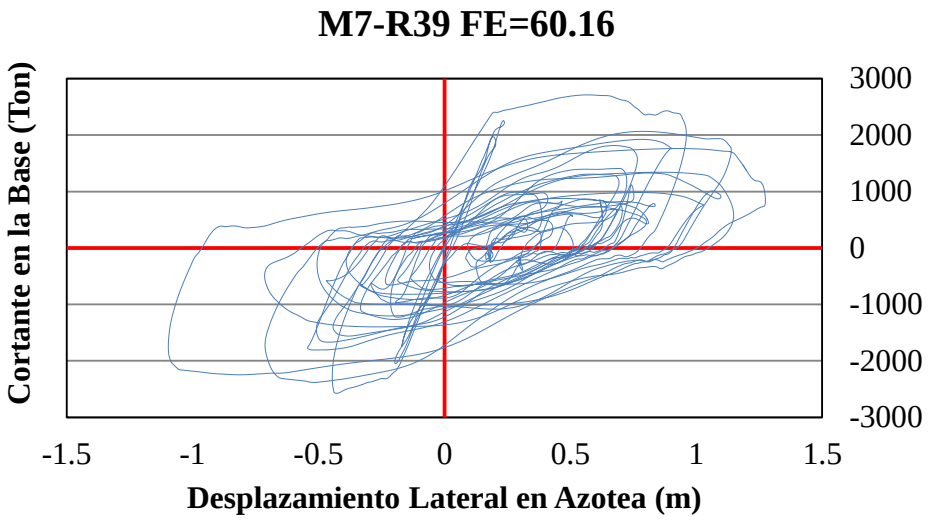

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=59.66
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

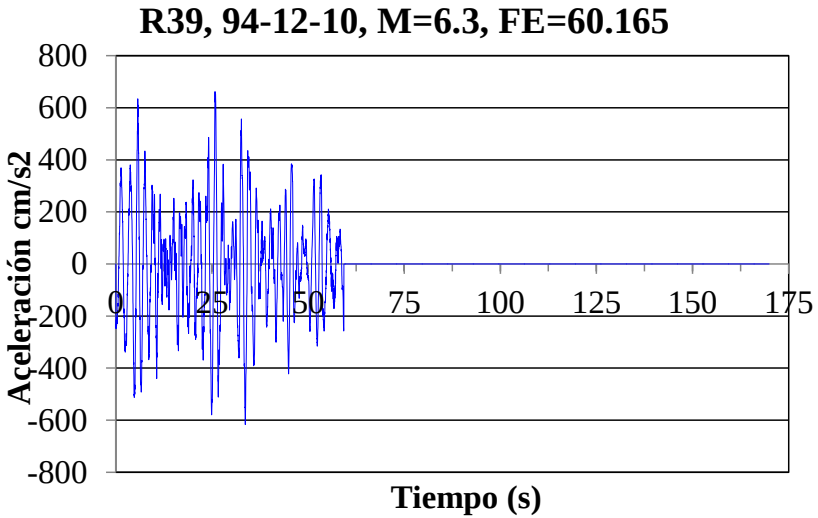

M7-R39 FE=59.66
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

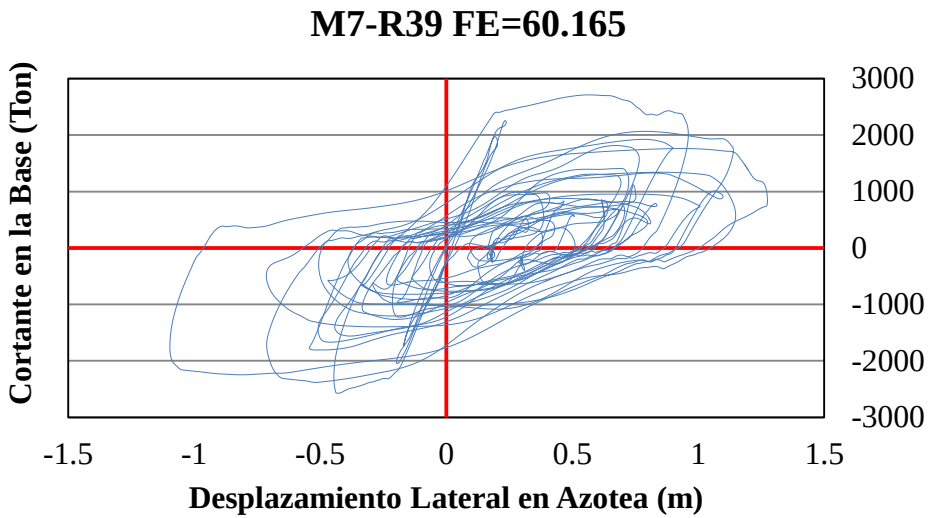

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

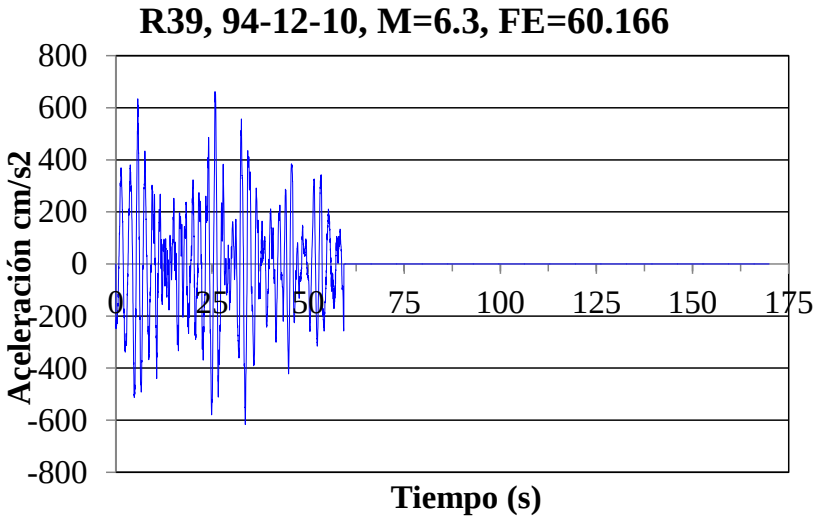

M7-R39 FE=60.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

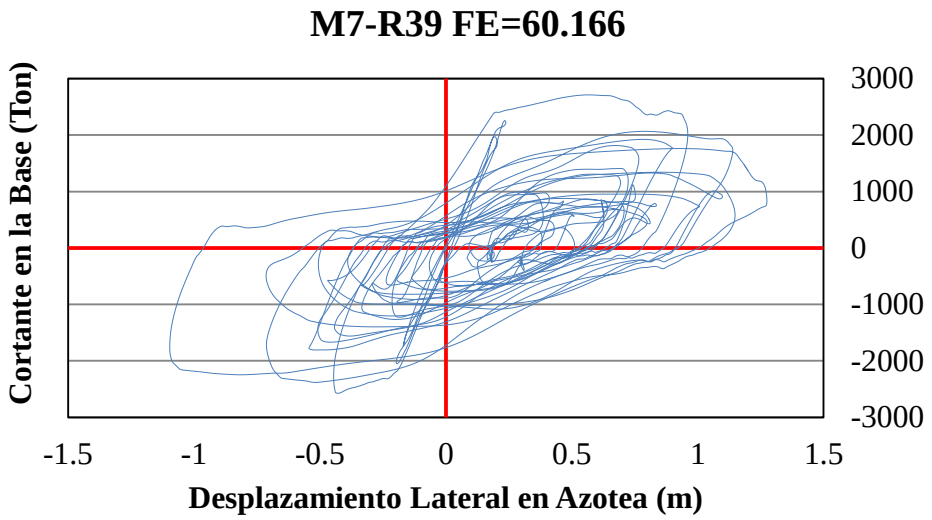

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.16
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

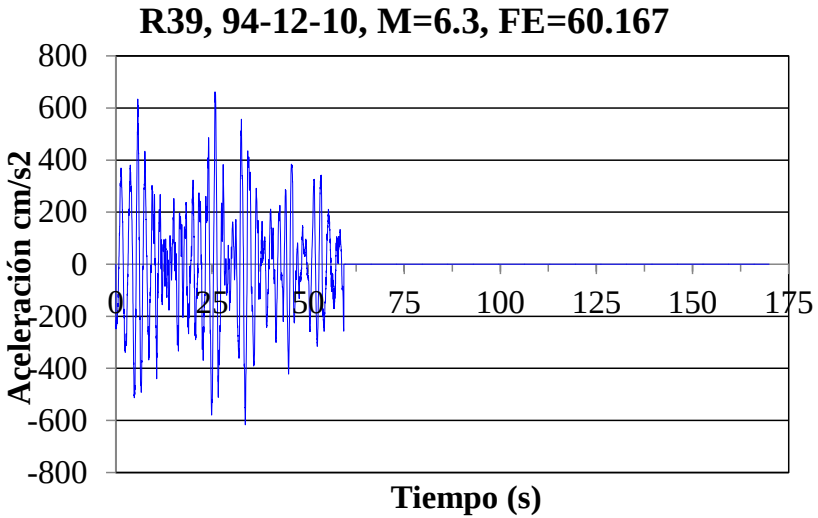

M7-R39 FE=60.16
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

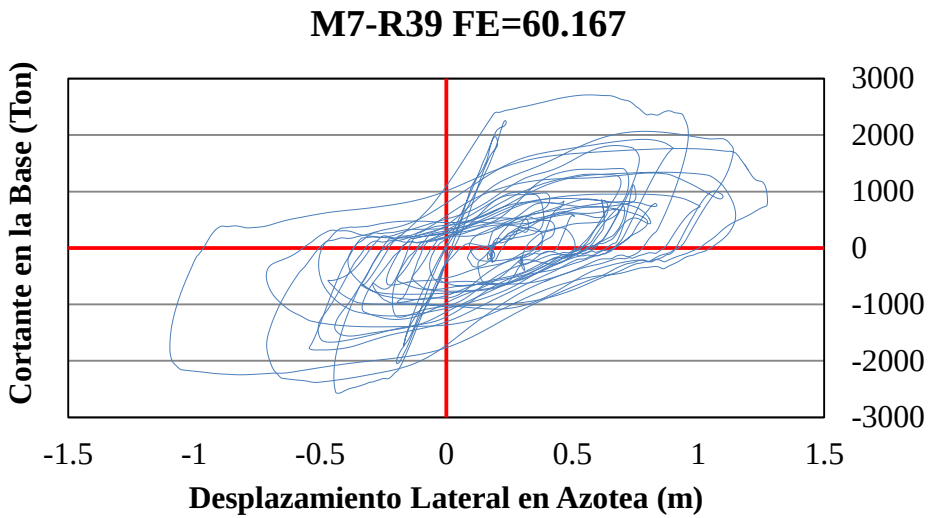

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.165
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

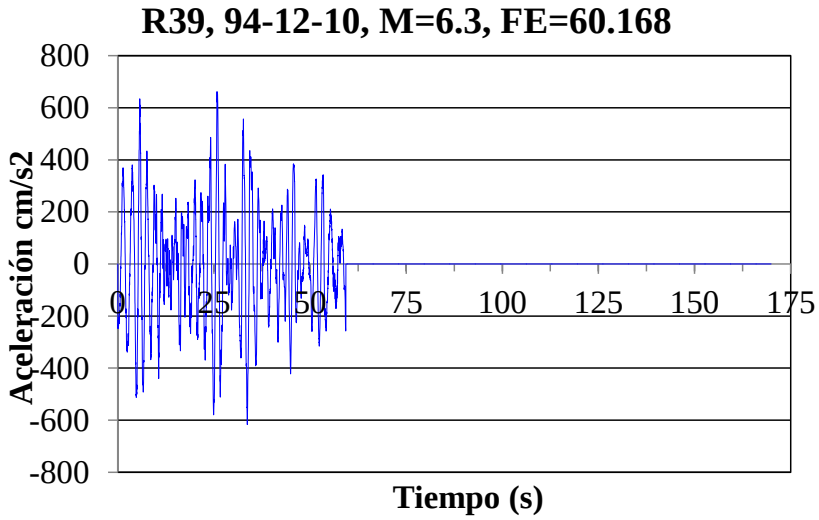

M7-R39 FE=60.165
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

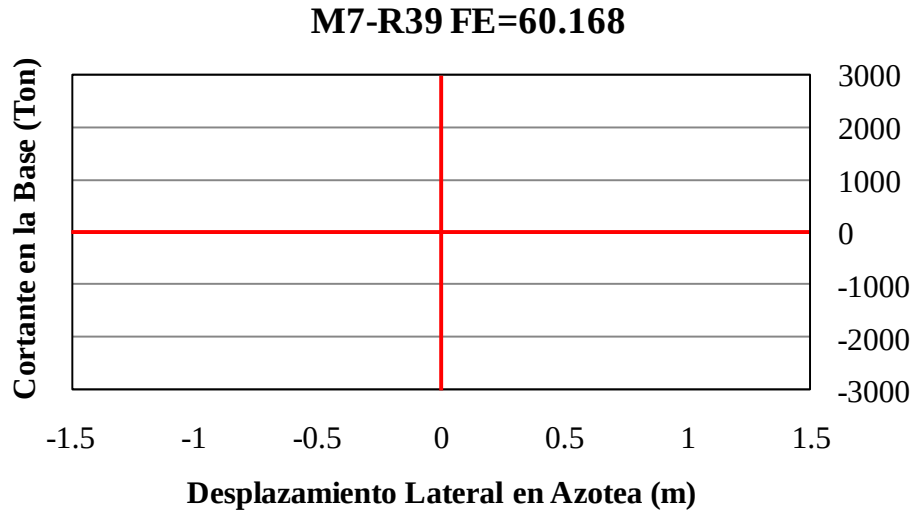

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.166
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

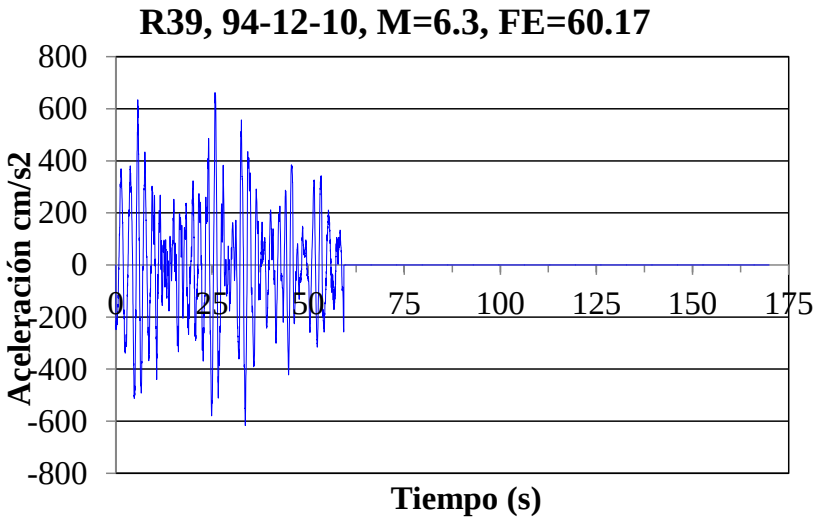

M7-R39 FE=60.166
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

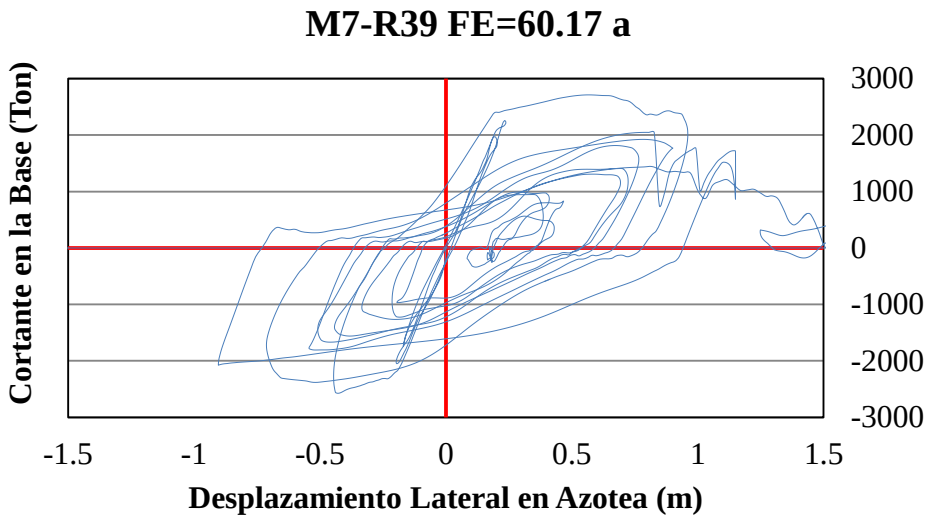

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.167
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

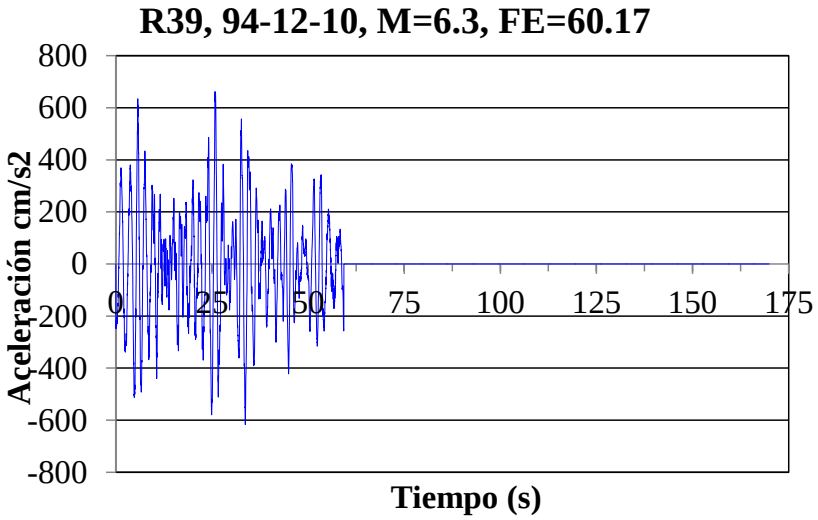

M7-R39 FE=60.167
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

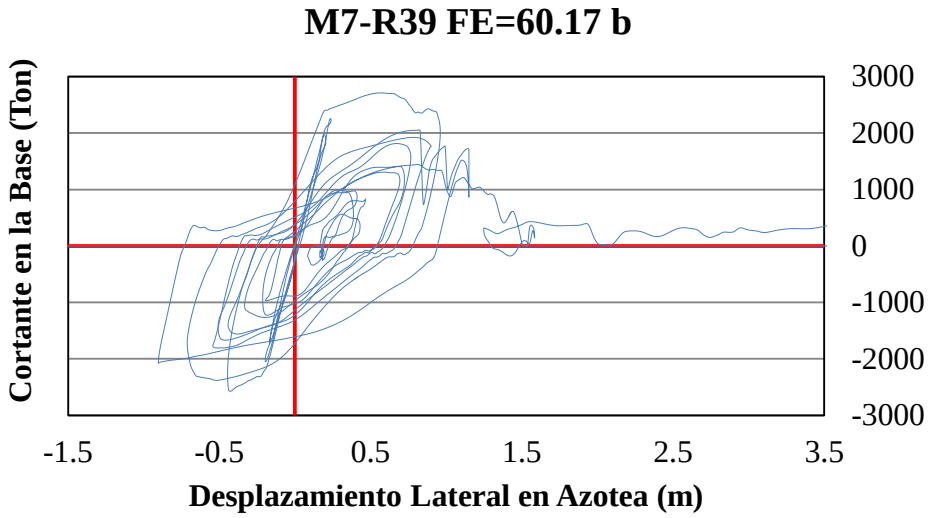

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.168
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

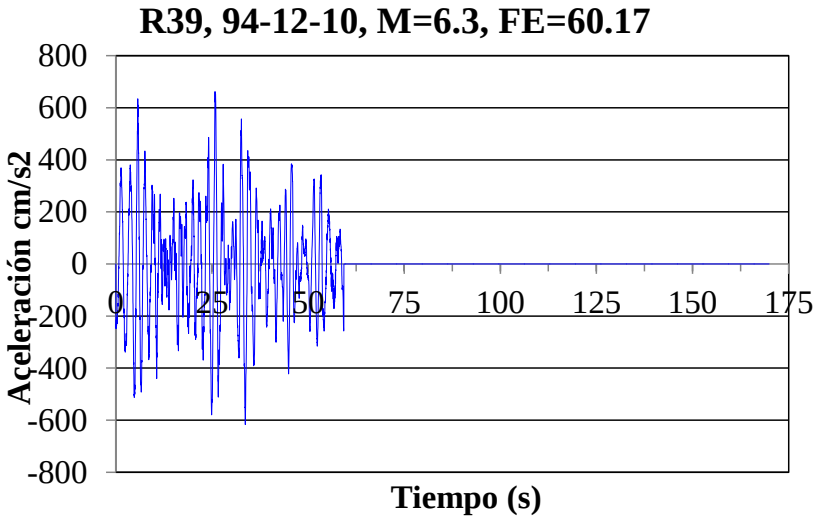

M7-R39 FE=60.168
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

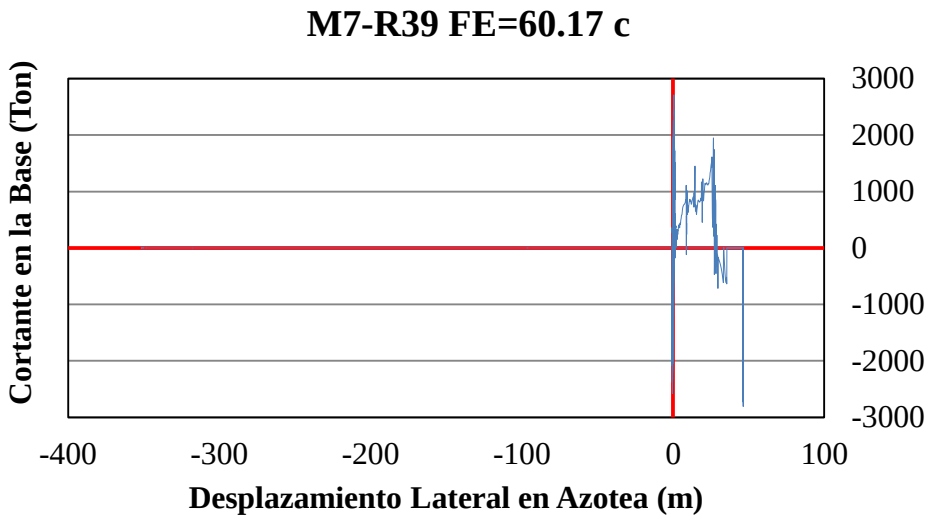

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.17
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M7-R39 FE=60.17 a
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.17
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M7-R39 FE=60.17 b
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-0.5
0.5
1.5
2.5
3.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

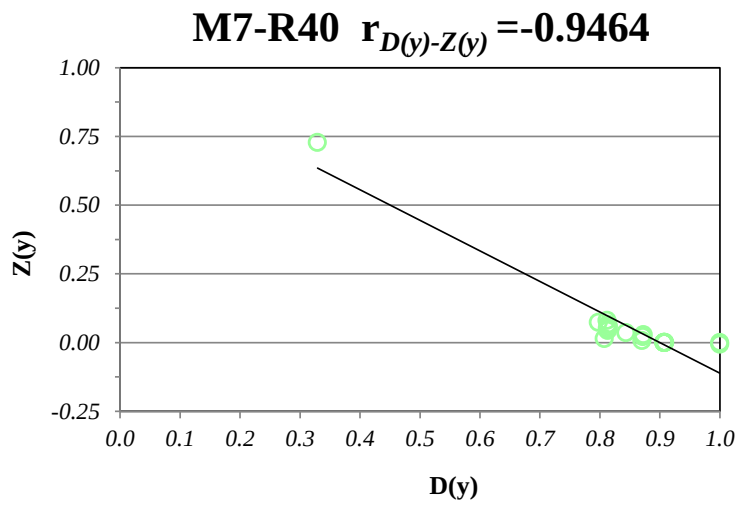

R39, 94-12-10, M=6.3, FE=60.17
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

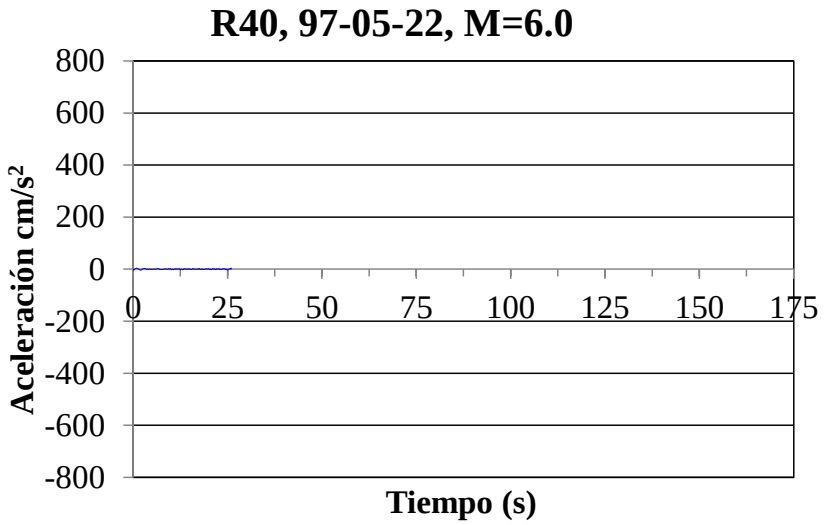

M7-R39 FE=60.17 c
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-400
-300
-200
-100
0
100
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

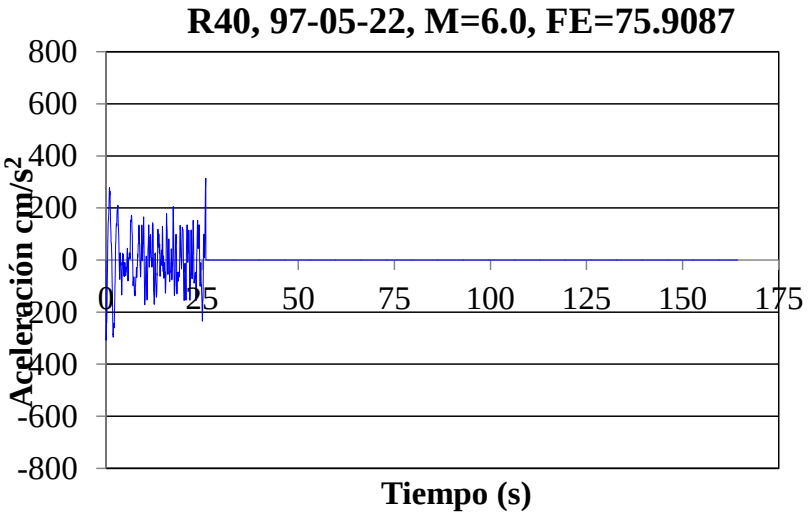
M7-R40

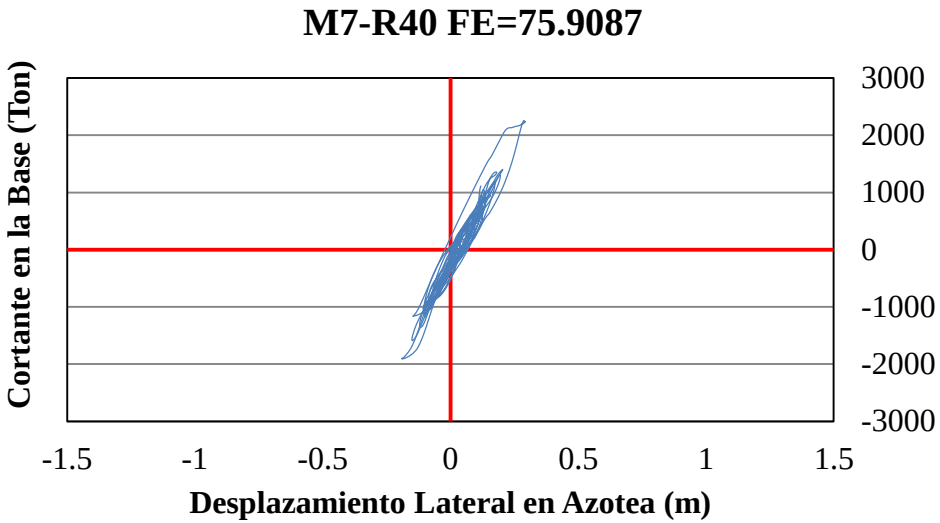
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.0	**6.83**	**11 365.15**	**0.009**	**-0.9464**

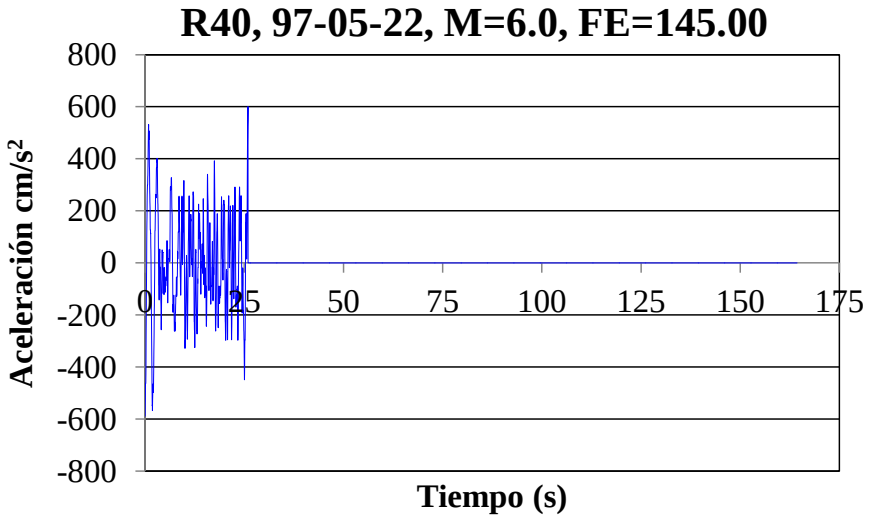
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6832	75.9087	1.0900	0.2935	2236.321	7 619.49	0.3290	0.000
1.3050	145.00	2.5900	0.9725	-2077.506	2 136.25	0.8119	-0.647
1.3149	146.10	2.5900	0.9171	-2109.136	2 299.79	0.7975	-0.655
1.3248	147.20	2.6000	0.9143	1937.647	2 119.27	0.8134	-0.663
1.3347	148.30	3.7200	0.9245	1951.278	2 110.63	0.8141	-0.670
1.3446	149.40	3.7300	0.9164	1953.821	2 132.06	0.8123	-0.677
1.3545	150.50	3.7400	0.9203	1957.387	2 126.90	0.8127	-0.685
1.3653	151.70	3.7700	1.0103	1798.852	1 780.51	0.8432	-0.693
1.3752	152.80	3.7800	1.0358	1501.954	1 450.04	0.8723	-0.700
1.3851	153.90	3.7900	1.0416	1523.040	1 462.21	0.8712	-0.707
1.3950	155.00	2.5800	0.9609	-2103.103	2 188.68	0.8073	-0.714
1.4049	156.10	3.7900	1.0429	1540.971	1 477.58	0.8699	-0.721
1.4148	157.20	7.1300	1.0863	1149.461	1 058.14	0.9068	-0.728
1.4149	157.21	7.1300	1.0864	1149.517	1 058.10	0.9068	-0.728
1.4150	157.22	7.1300	1.0865	1149.563	1 058.04	0.9068	-0.728
1.4151	157.23	7.1300	1.0866	1133.986	1 043.61	0.9081	-0.728
1.4152	157.24	7.1300	1.0867	1133.993	1 043.52	0.9081	-0.729
1.4153	157.25	7.1300	1.0868	1138.499	1 047.57	0.9078	-0.729
1.4153	157.26	7.1300	1.0870	1138.600	1 047.47	0.9078	-0.729
1.4154	157.27	7.1300	1.0871	1138.661	1 047.43	0.9078	-0.729
1.4154	157.271	0.0000	0.0000	0.000	0 000.00	1.0000	-0.729
1.4238	158.20	25.9000	74.8436	-0.001	0 000.00	1.0000	-0.735

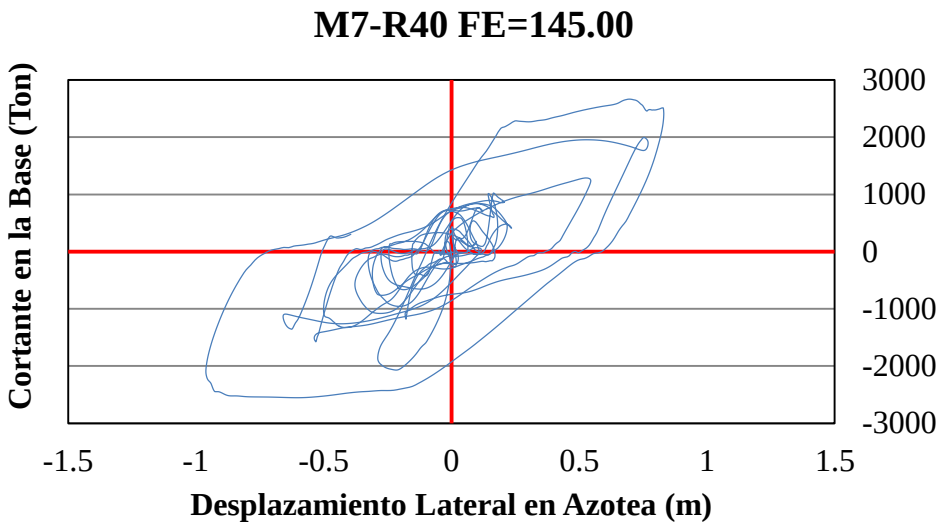

M7-R40 r D(y)-Z(y) =-0.9464
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

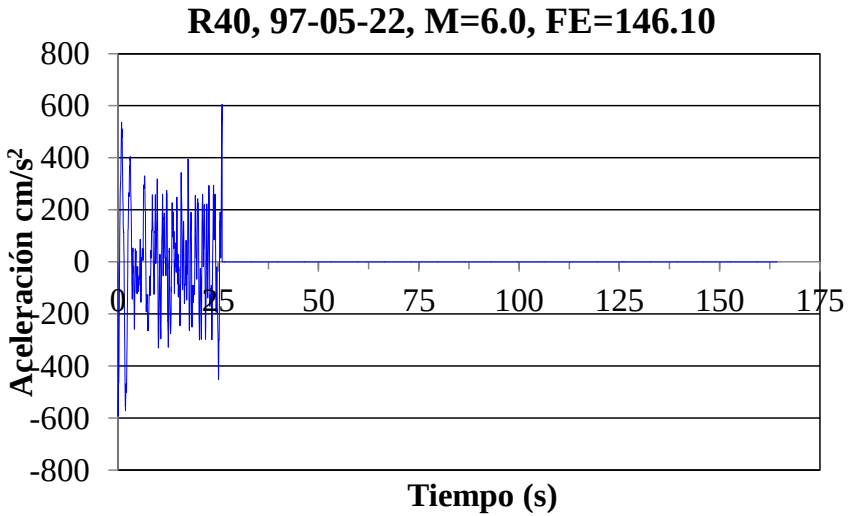

R40, 97-05-22, M=6.0
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

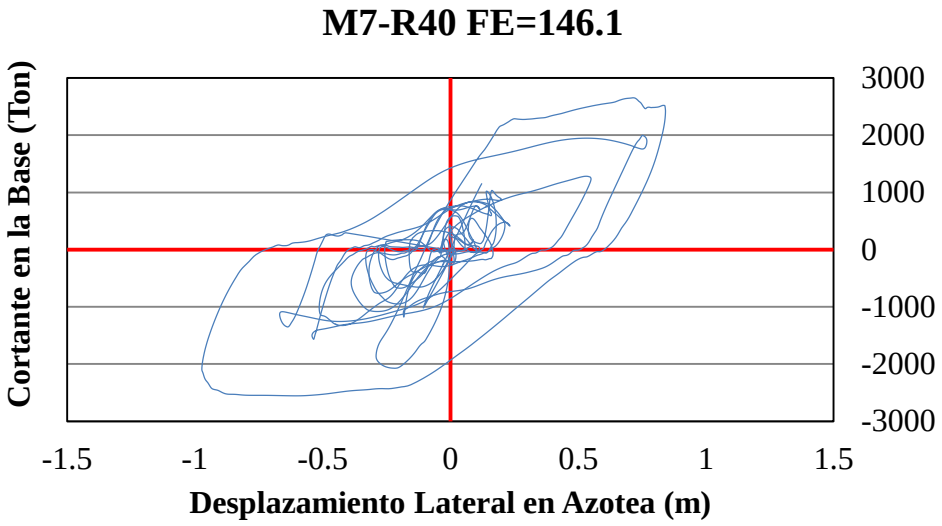

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=75.9087
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

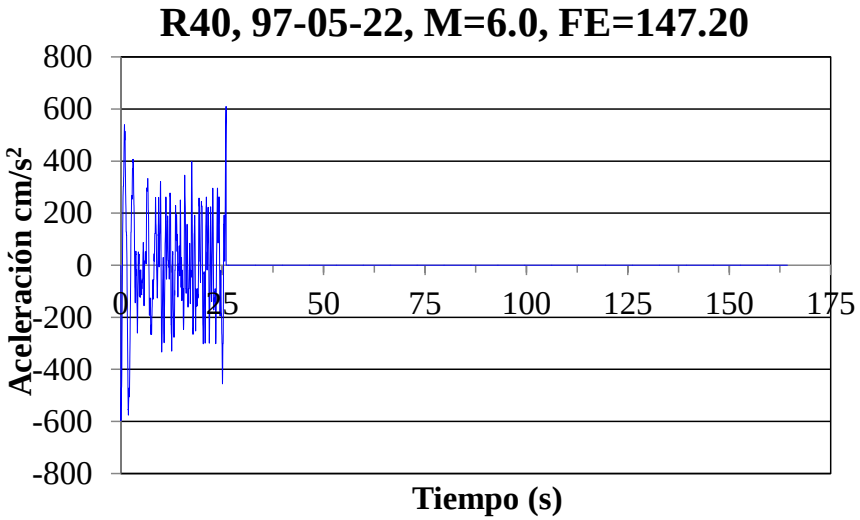

M7-R40 FE=75.9087
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

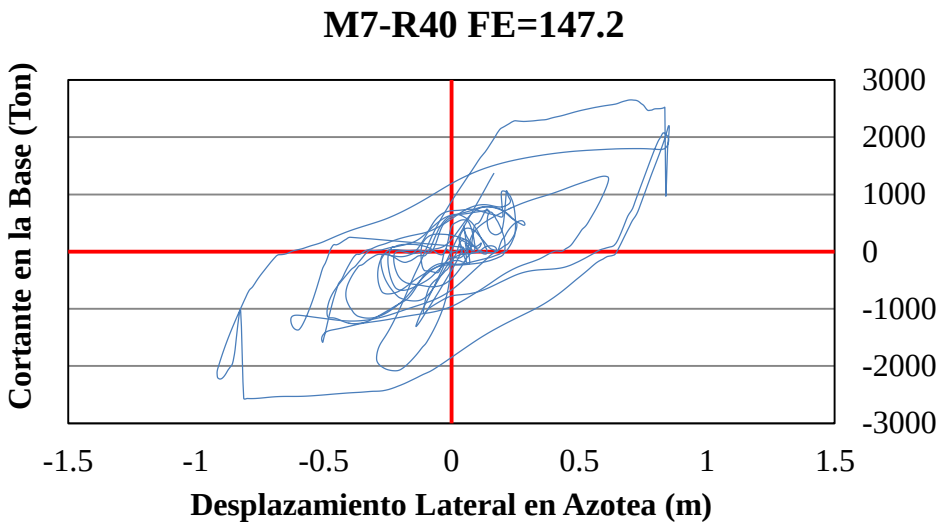

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=145.00
Aceleración cm/s²
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

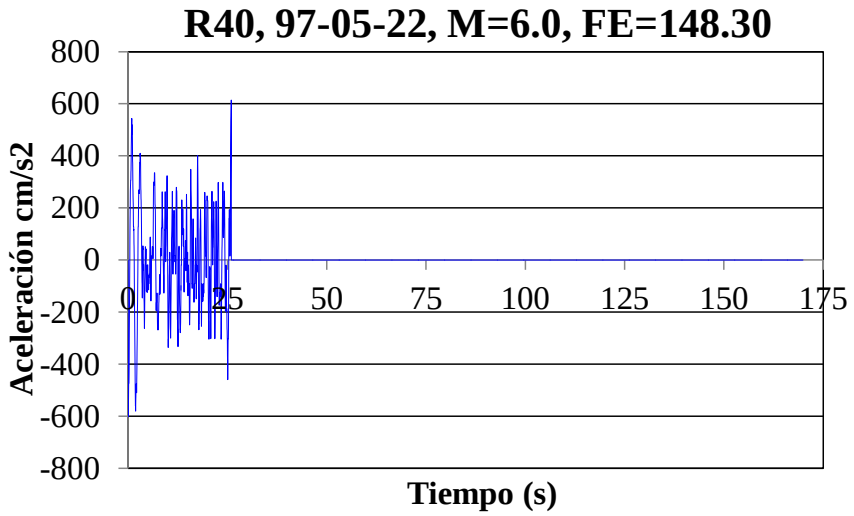

M7-R40 FE=145.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

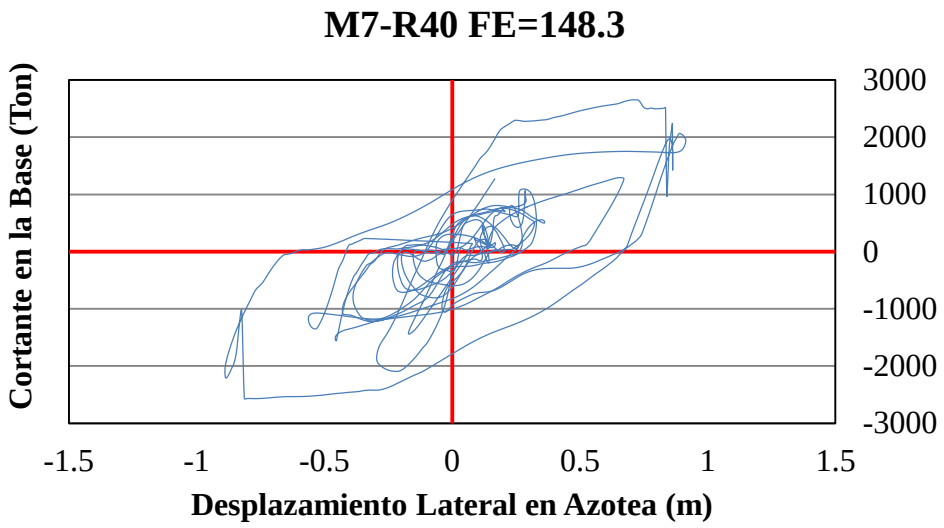

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=146.10
Aceleración cm/s²
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

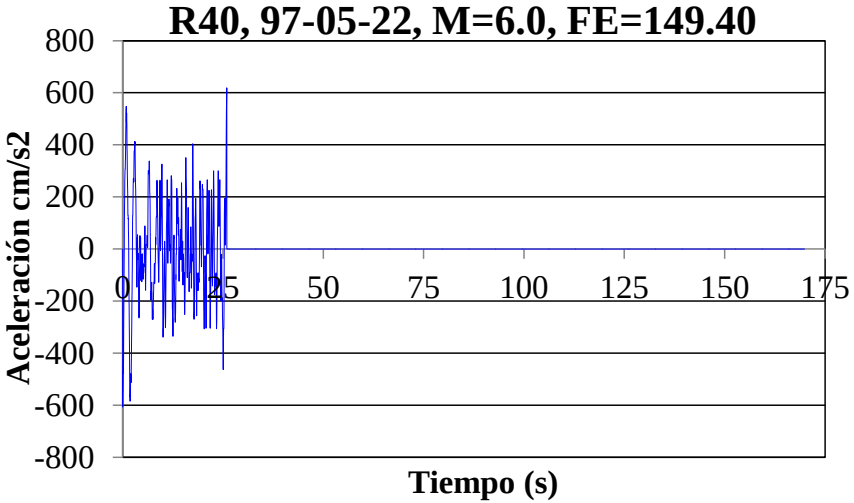

M7-R40 FE=146.1
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

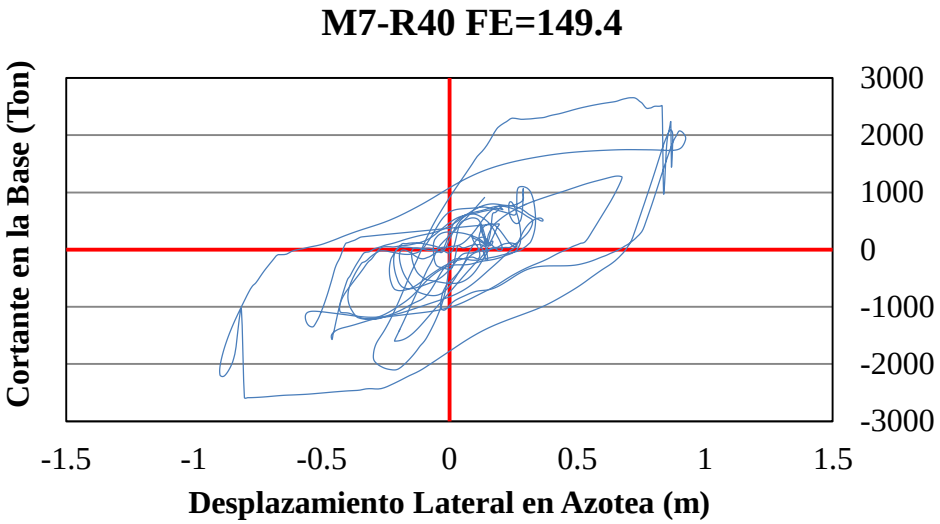

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=147.20
Aceleración cm/s²
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

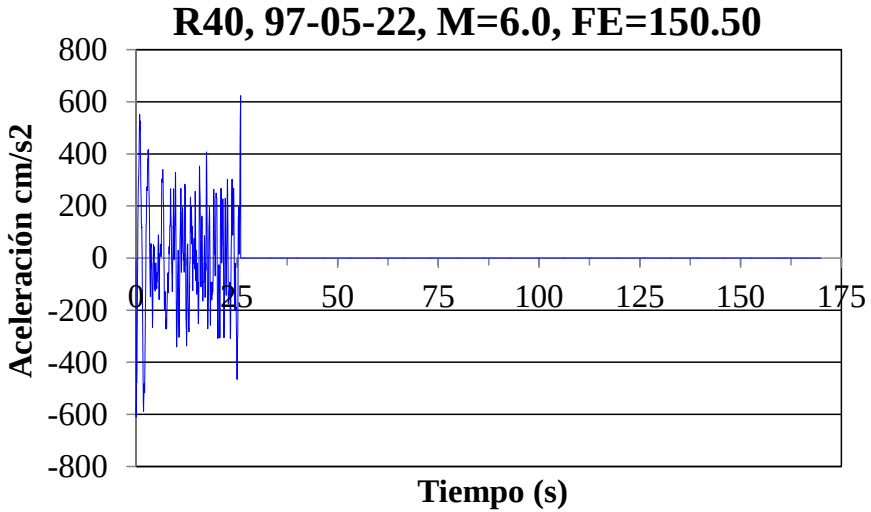

M7-R40 FE=147.2
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

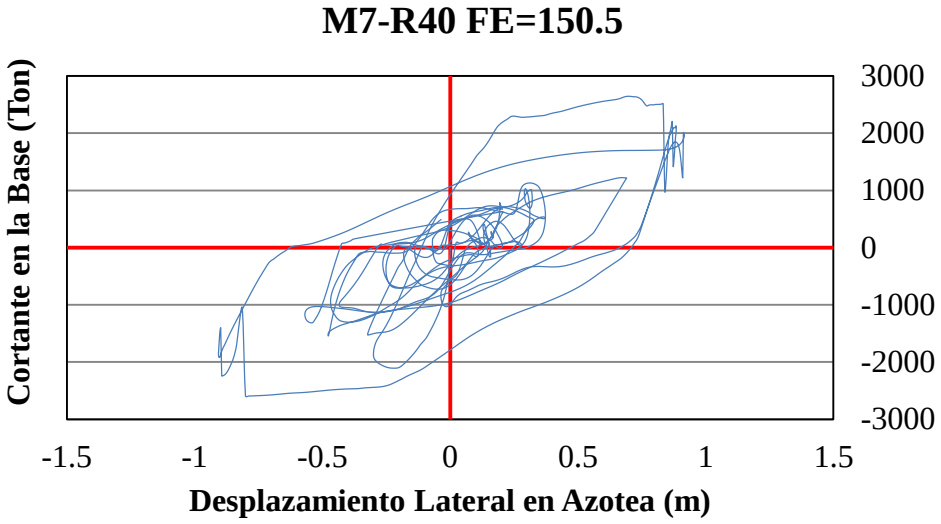

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=148.30
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

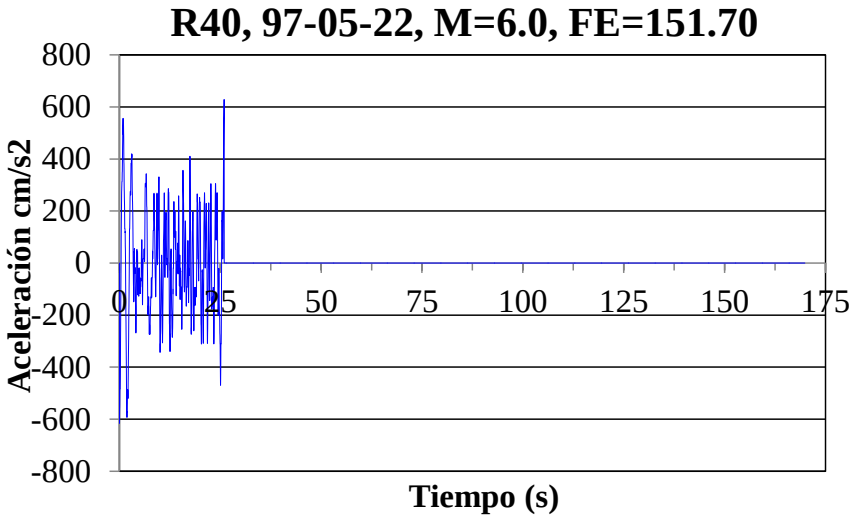

M7-R40 FE=148.3
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

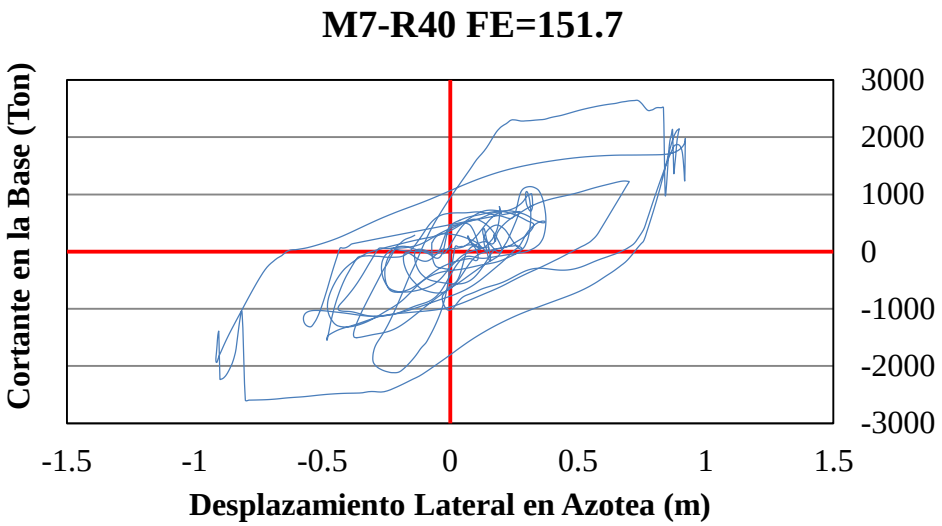

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=149.40
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

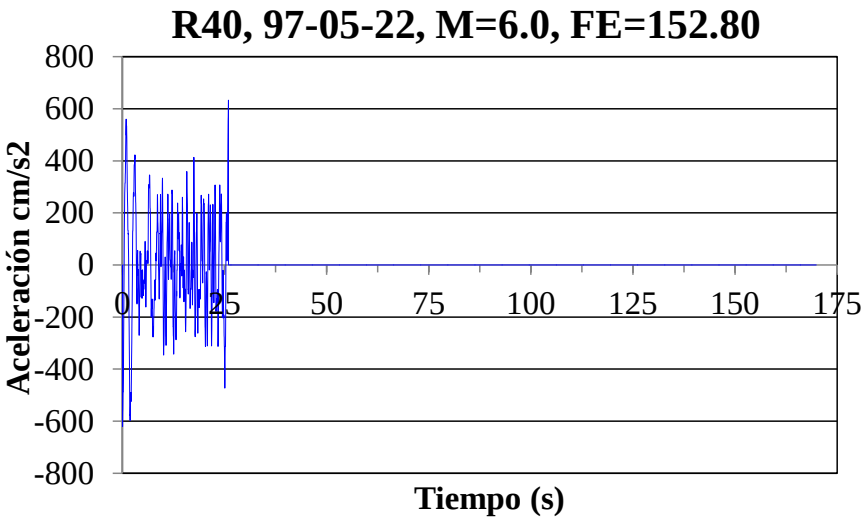

M7-R40 FE=149.4
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

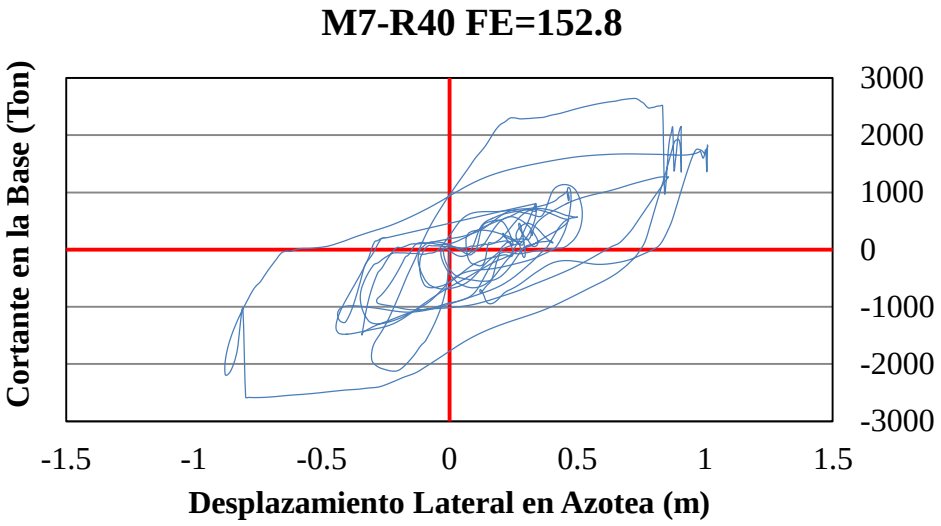

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=150.50
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

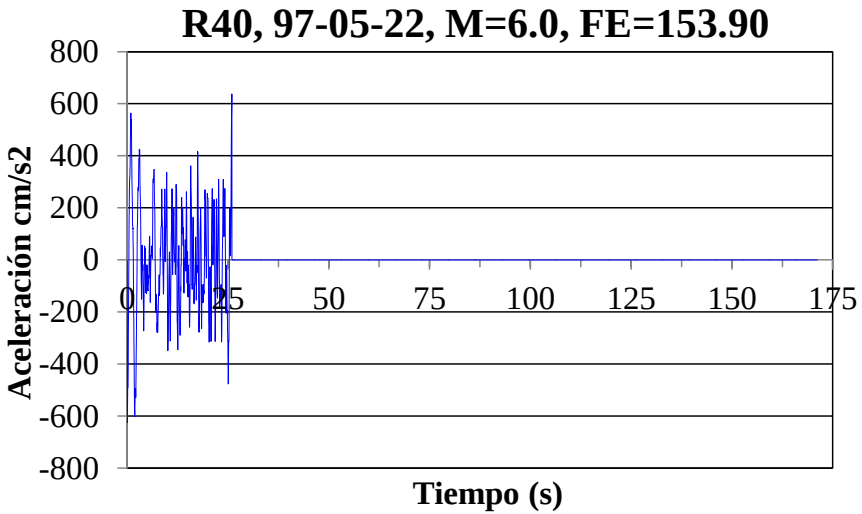

M7-R40 FE=150.5
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

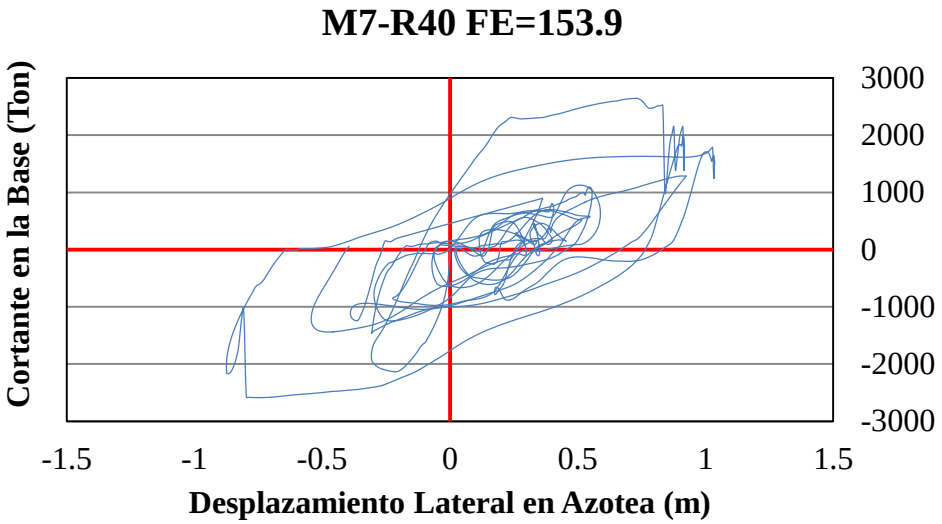

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=151.70
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

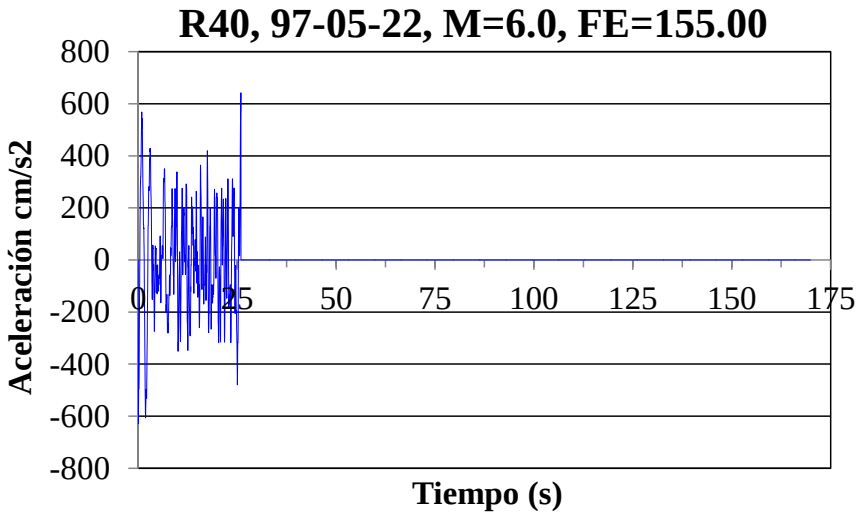

M7-R40 FE=151.7
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

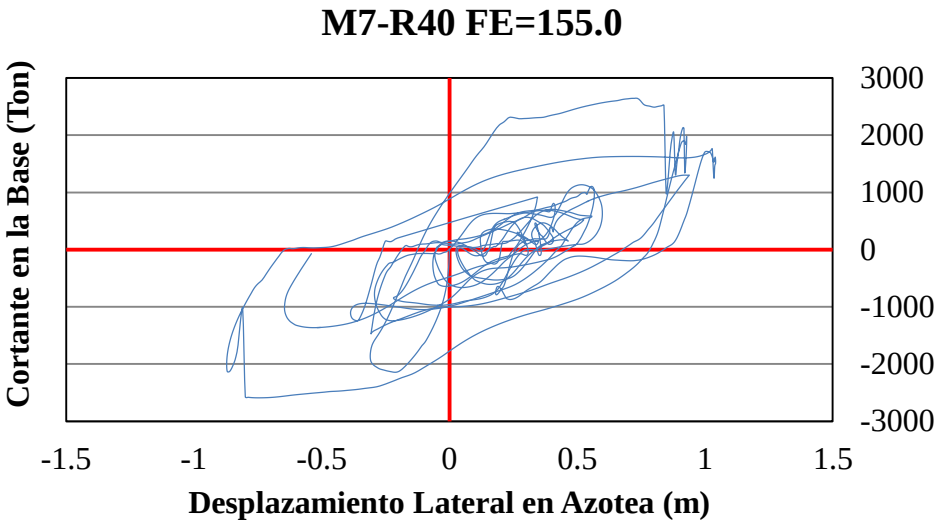

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=152.80
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

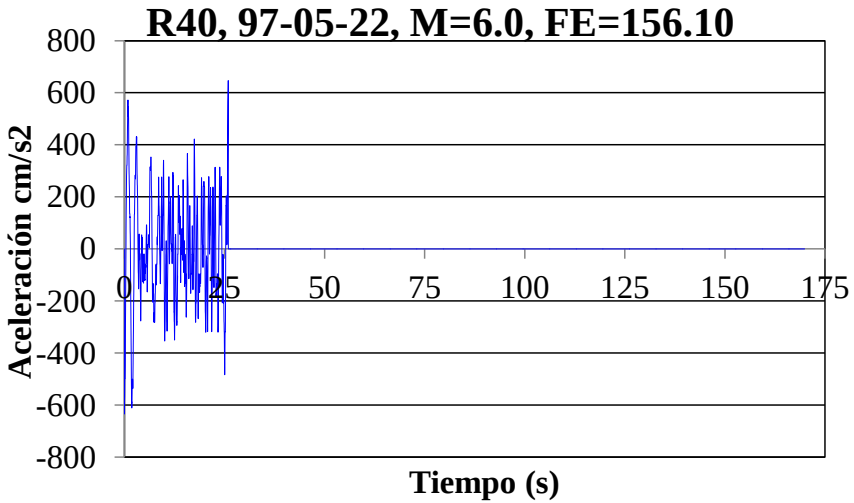

M7-R40 FE=152.8
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

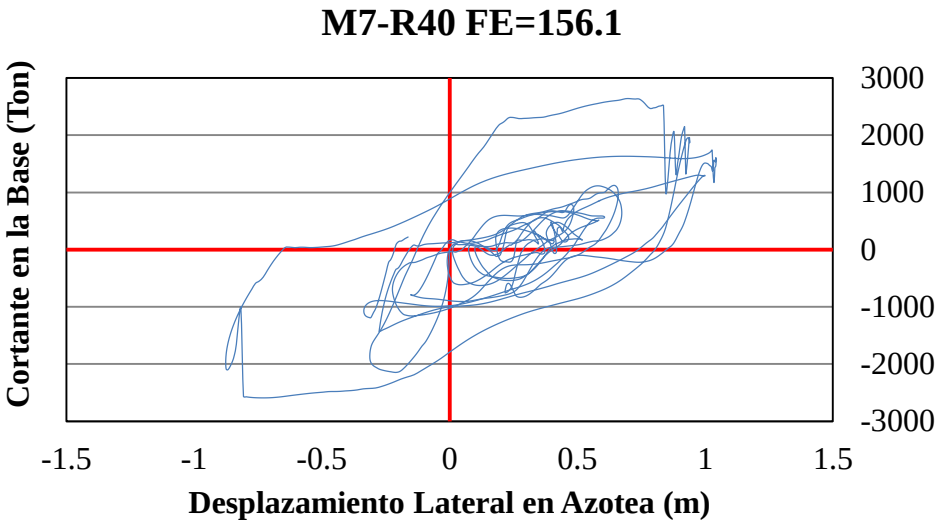

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=153.90
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

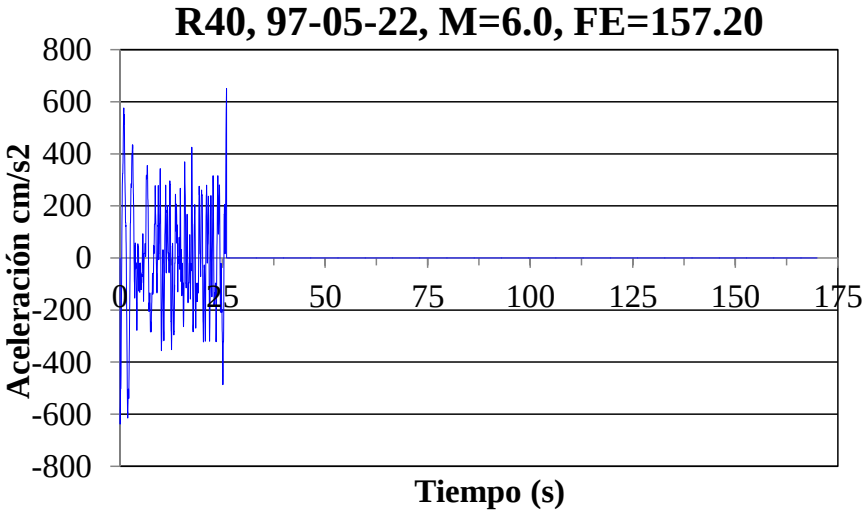

M7-R40 FE=153.9
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

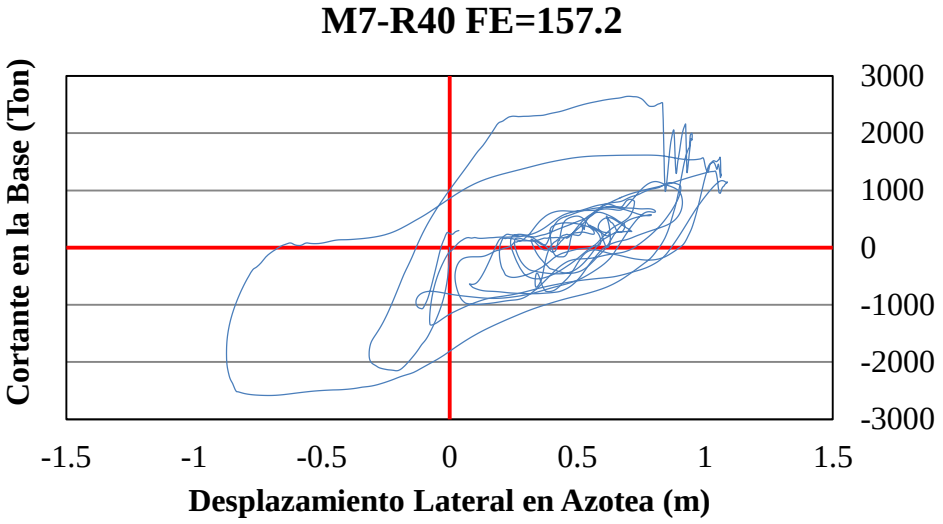

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=155.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

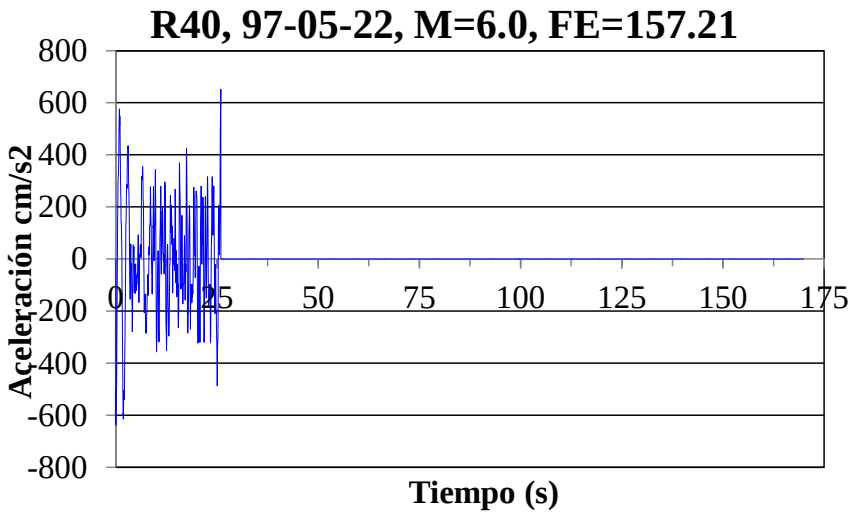

M7-R40 FE=155.0
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

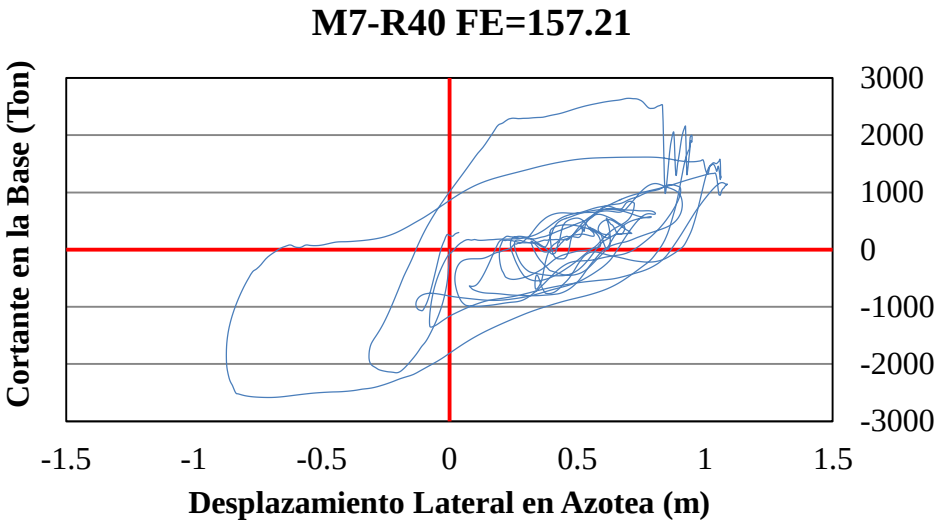

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=156.10
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

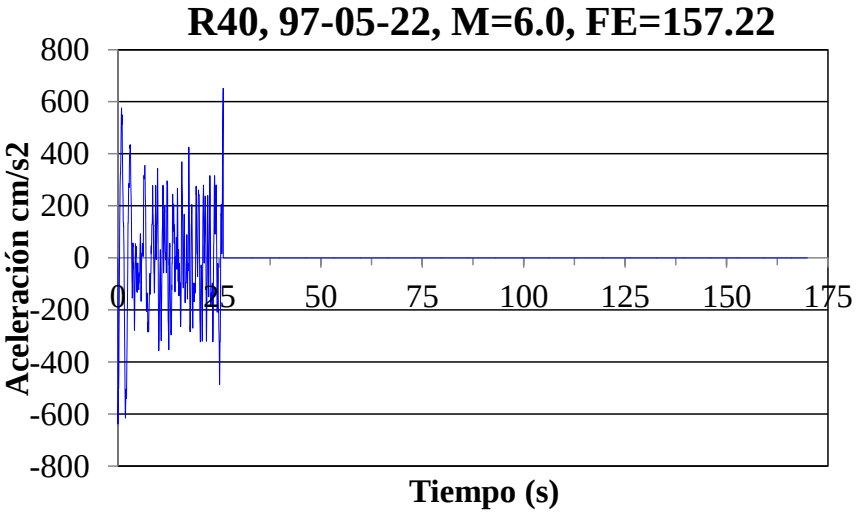

M7-R40 FE=156.1
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

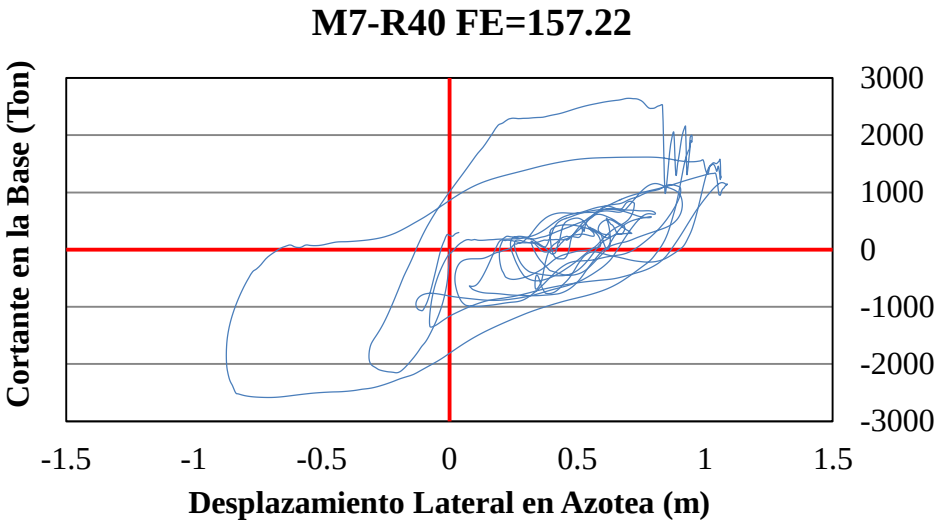

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.20
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

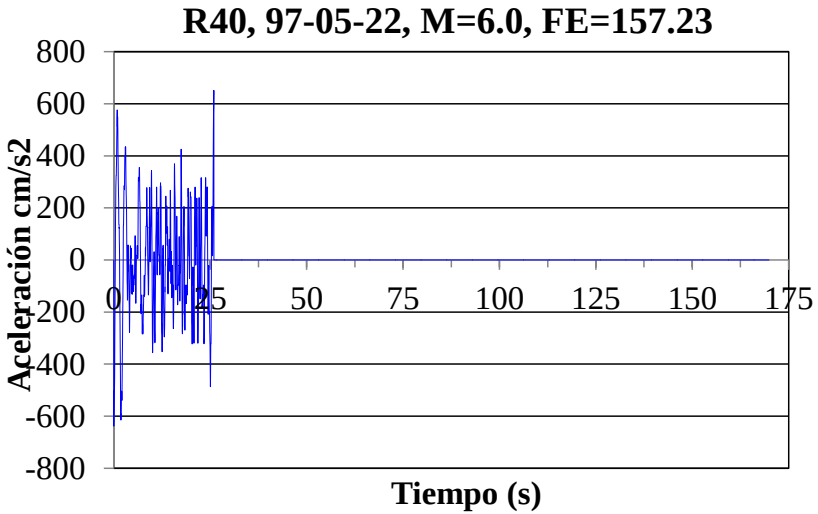

M7-R40 FE=157.2
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

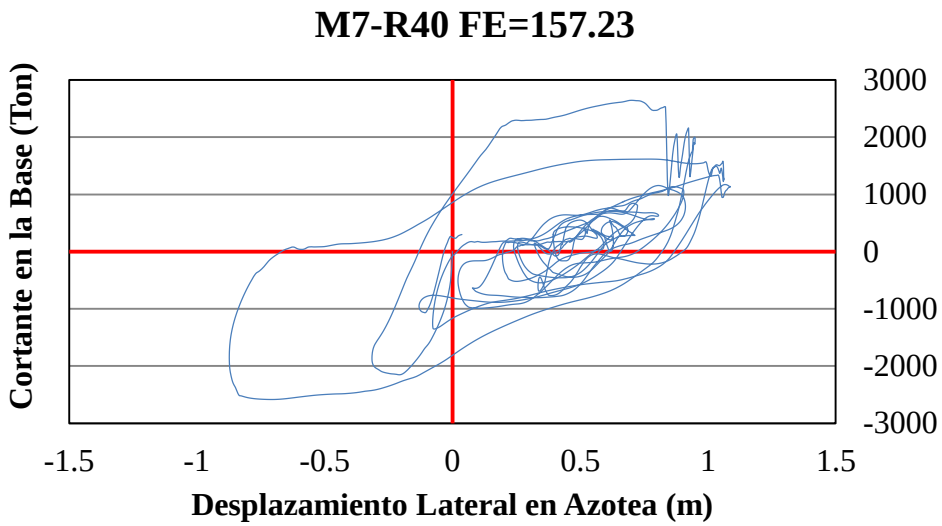

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.21
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

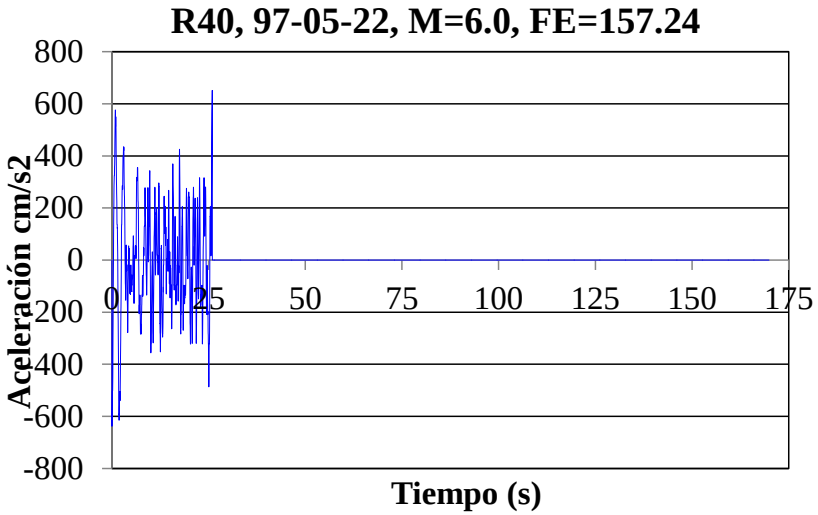

M7-R40 FE=157.21
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

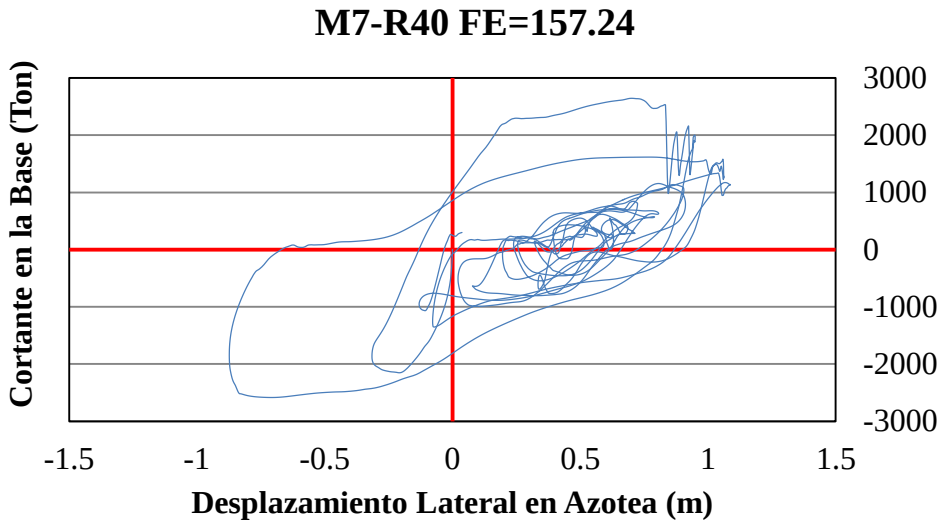

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.22
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

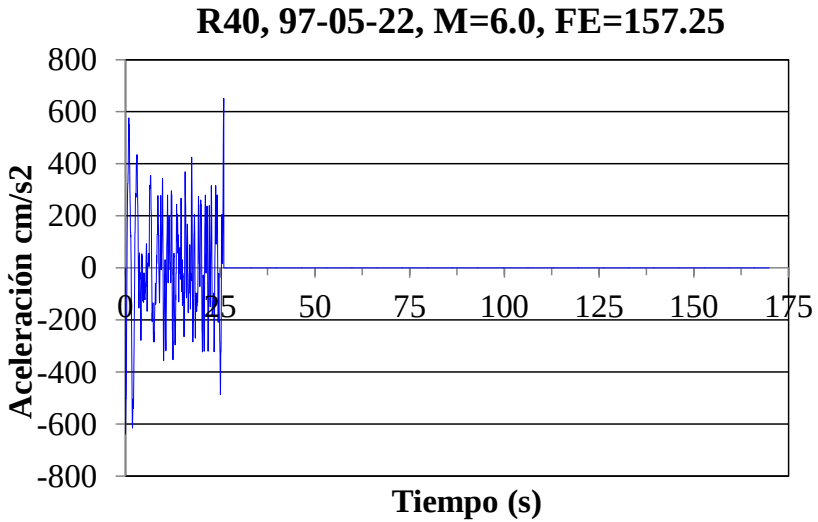

M7-R40 FE=157.22
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

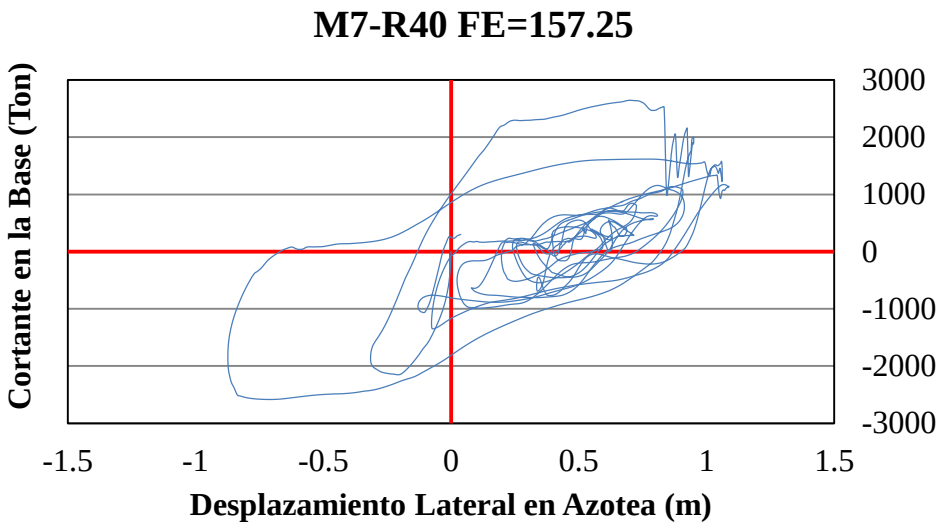

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.23
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

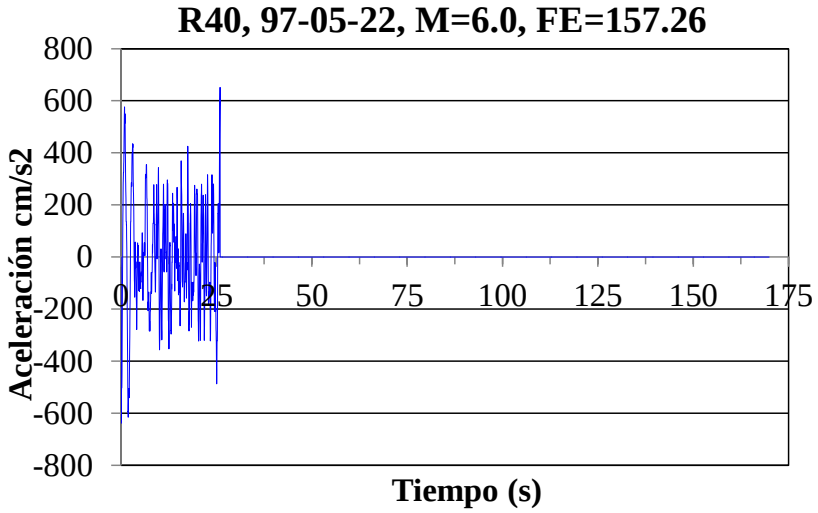

M7-R40 FE=157.23
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

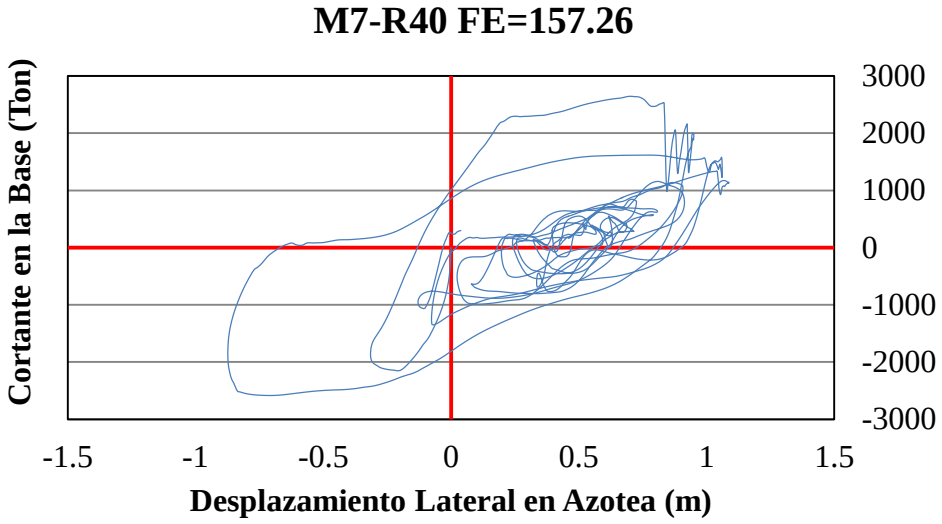

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.24
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

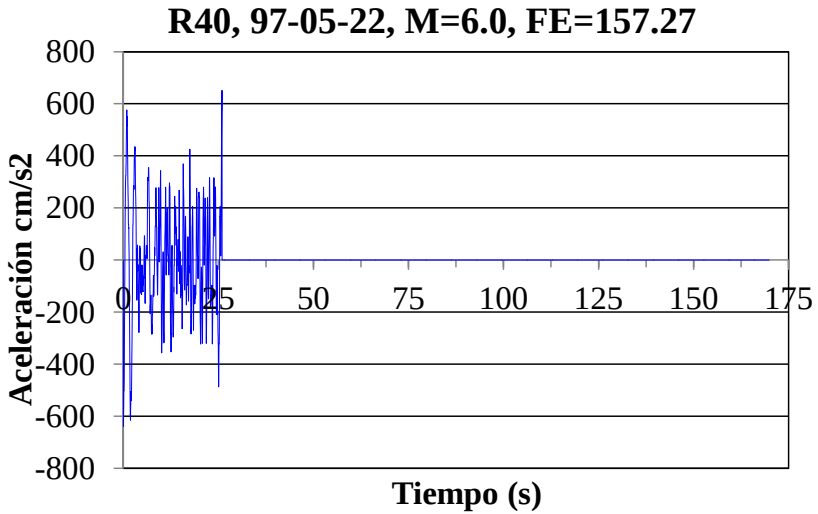

M7-R40 FE=157.24
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

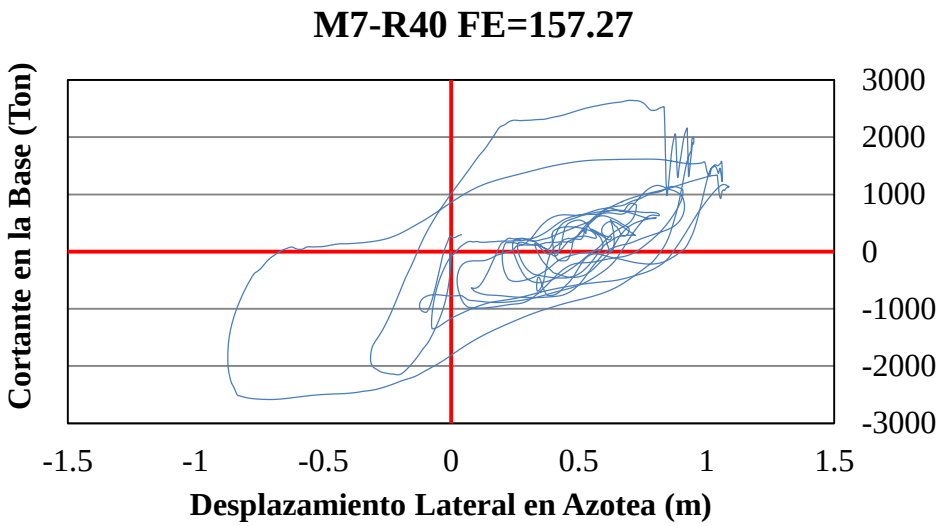

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.25
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

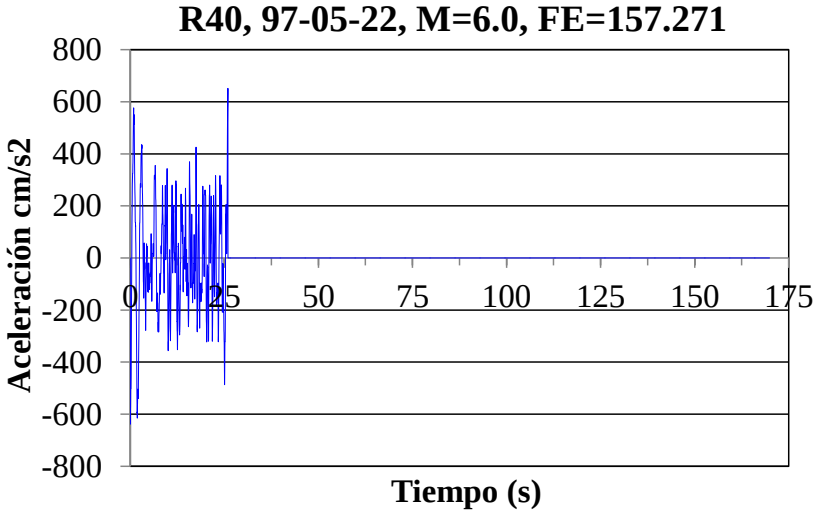

M7-R40 FE=157.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

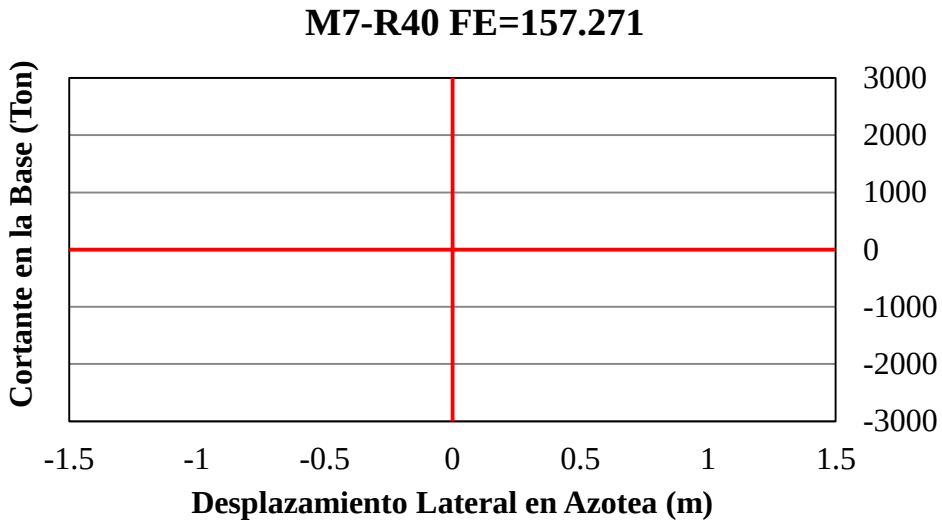

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.26
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

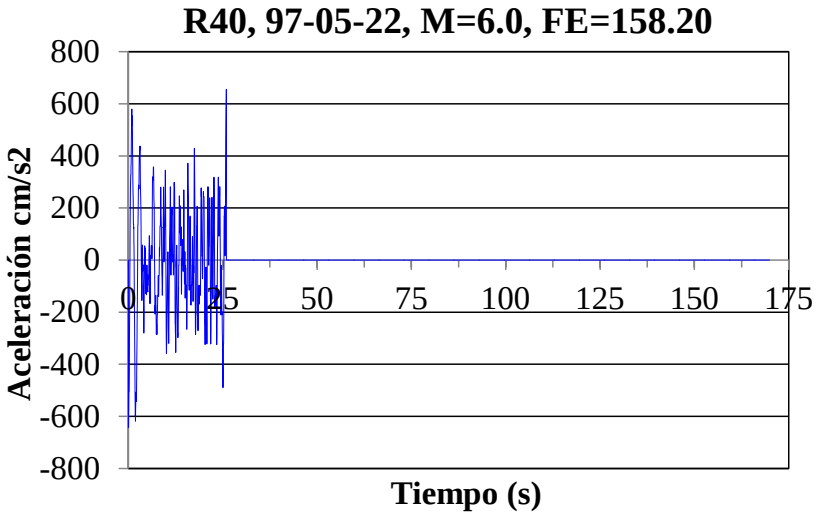

M7-R40 FE=157.26
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

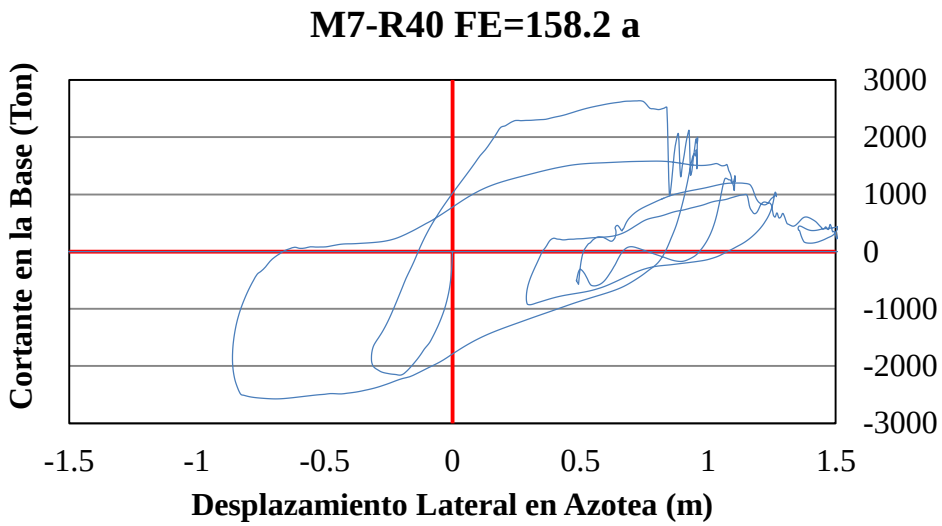

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.27
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

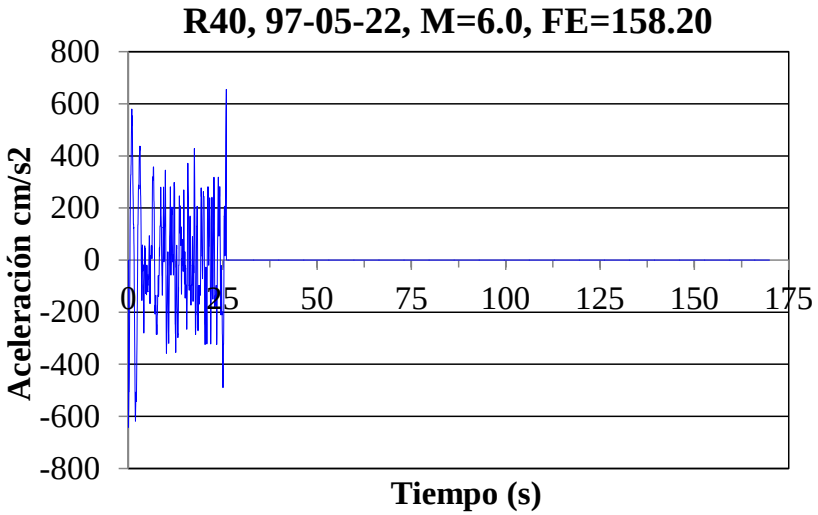

M7-R40 FE=157.27
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

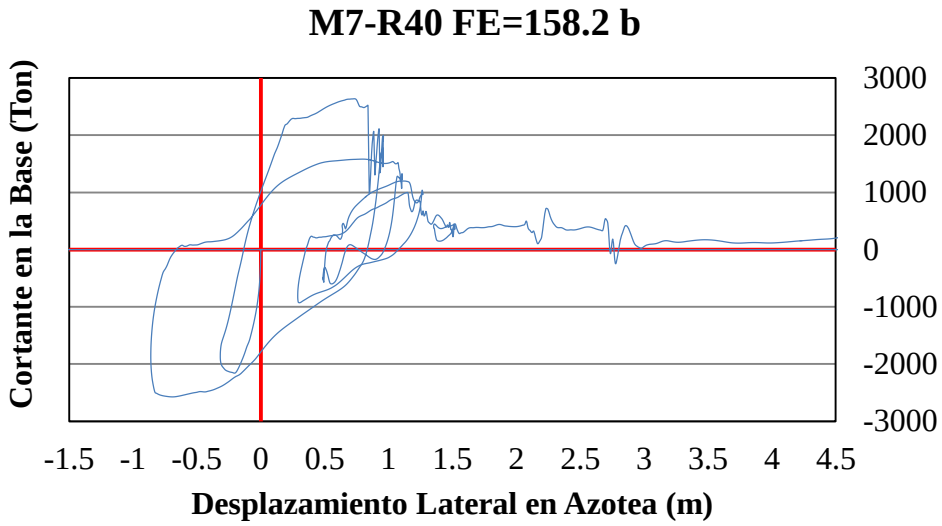

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=157.271
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

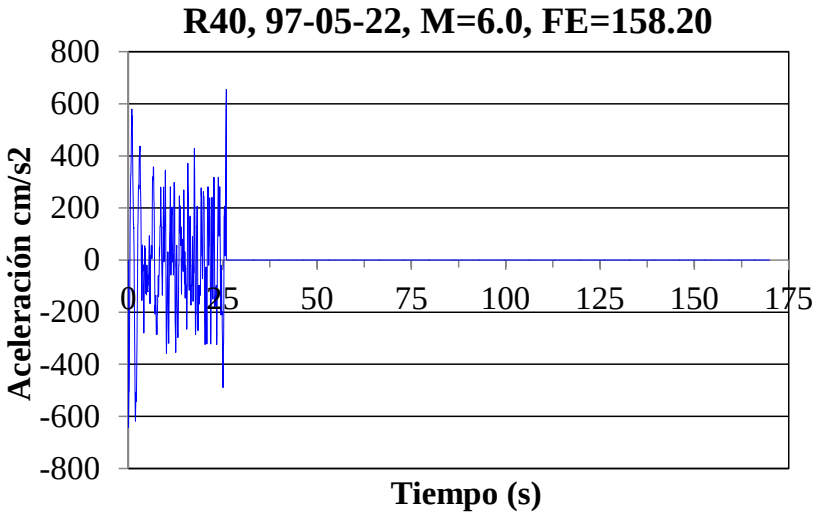

M7-R40 FE=157.271
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

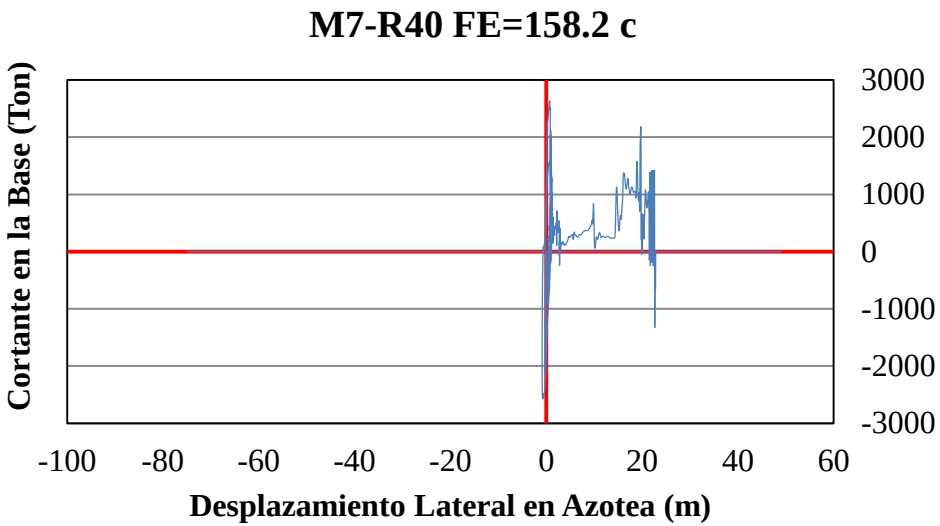

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=158.20
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R40 FE=158.2 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R40, 97-05-22, M=6.0, FE=158.20
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M7-R40 FE=158.2 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

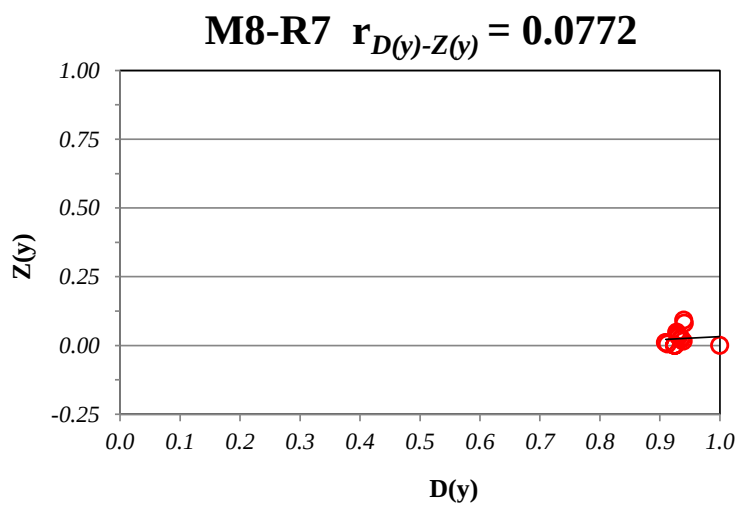

R40, 97-05-22, M=6.0, FE=158.20
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

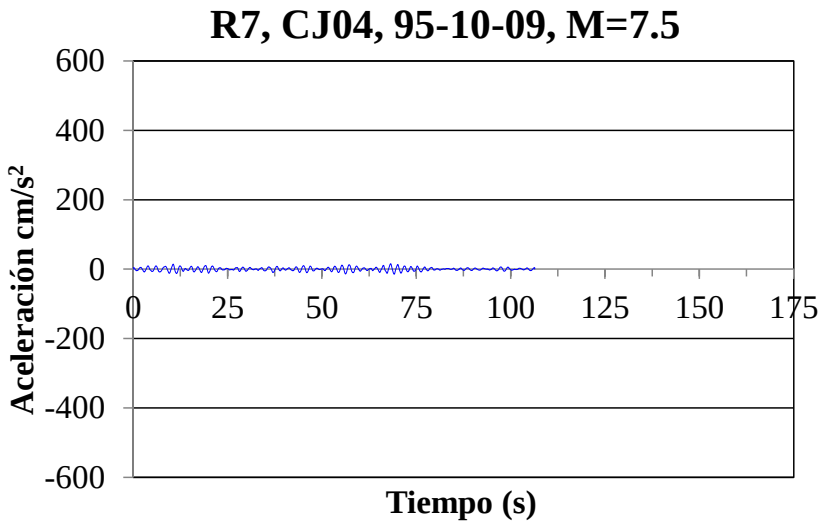

M7-R40 FE=158.2 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

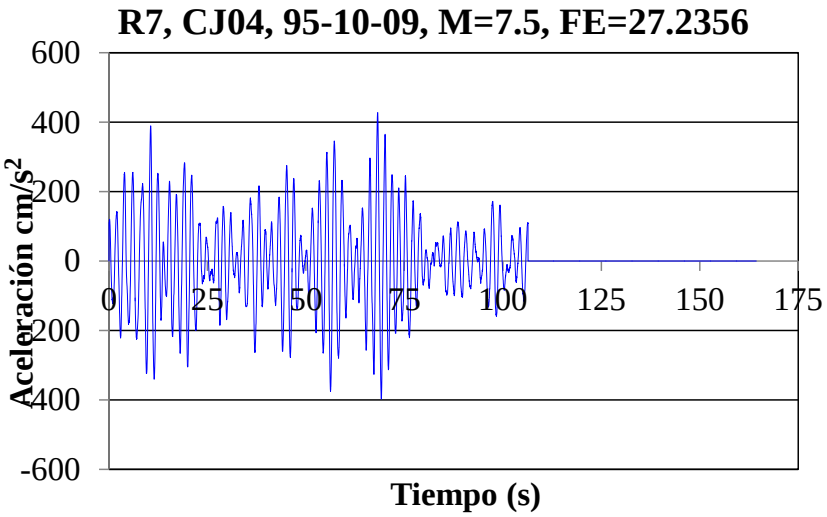
M8-R7

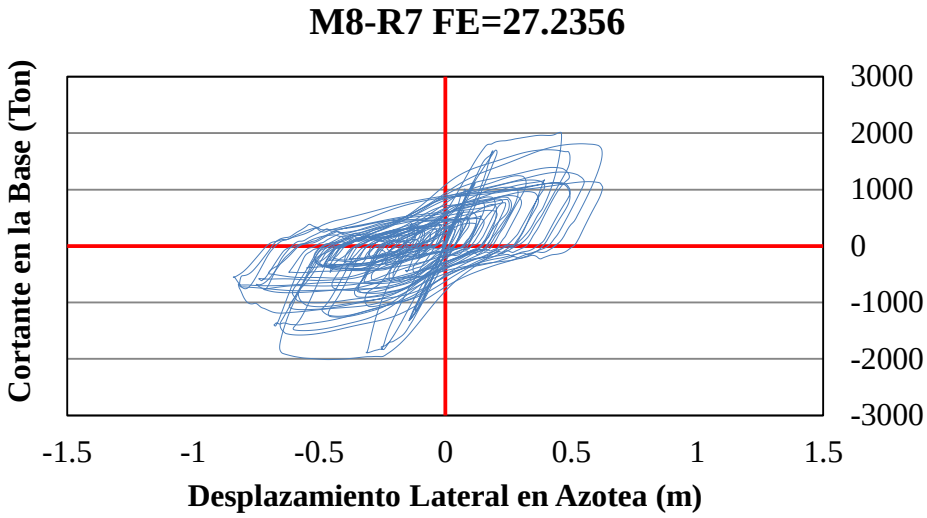
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.9	**6.83**	**10 913.69**	**0.024**	**0.0772**

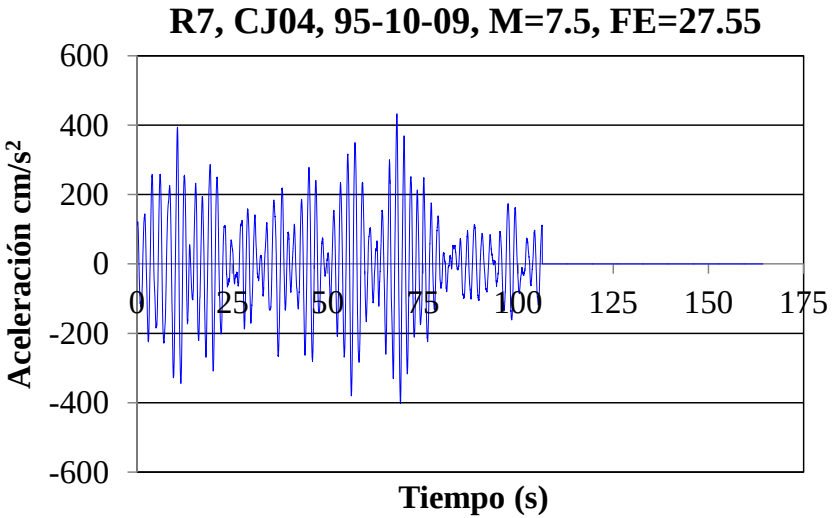
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6830	27.24	69.9800	0.8405	-551.002	0 655.56	0.9399	0.000
0.6908	27.55	68.9600	0.8261	-533.672	0 646.01	0.9408	-0.011
0.7137	28.46	57.0500	0.8320	-652.505	0 784.26	0.9281	-0.044
0.7176	28.62	57.0500	0.8293	-640.281	0 772.07	0.9293	-0.049
0.7215	28.77	57.0500	0.8352	-633.972	0 759.07	0.9304	-0.055
0.7254	28.93	57.0500	0.8340	-623.217	0 747.26	0.9315	-0.060
0.7293	29.08	57.0500	0.8167	-577.646	0 707.29	0.9352	-0.066
0.7332	29.24	57.0500	0.8002	-562.716	0 703.22	0.9356	-0.071
0.7371	29.39	57.0500	0.7893	-524.817	0 664.91	0.9391	-0.076
0.7410	29.55	68.9700	0.7879	776.951	0 986.10	0.9096	-0.082
0.7449	29.70	68.9800	0.8011	764.406	0 954.20	0.9126	-0.087
0.7488	29.8600	68.9800	0.8284	680.529	0 821.50	0.9247	-0.092
0.7488	29.8610	0.8286	0.8286	680.783	0 821.61	0.9247	-0.092
0.7489	29.8620	68.9800	0.8286	680.371	0 821.11	0.9248	-0.092
0.7489	29.8630	68.9800	0.8292	679.223	0 819.13	0.9249	-0.092
0.7489	29.8640	68.9800	0.8293	679.221	0 819.03	0.9250	-0.092
0.7491	29.8700	106.4000	247.1135	-0.001	0 000.00	1.0000	-0.092

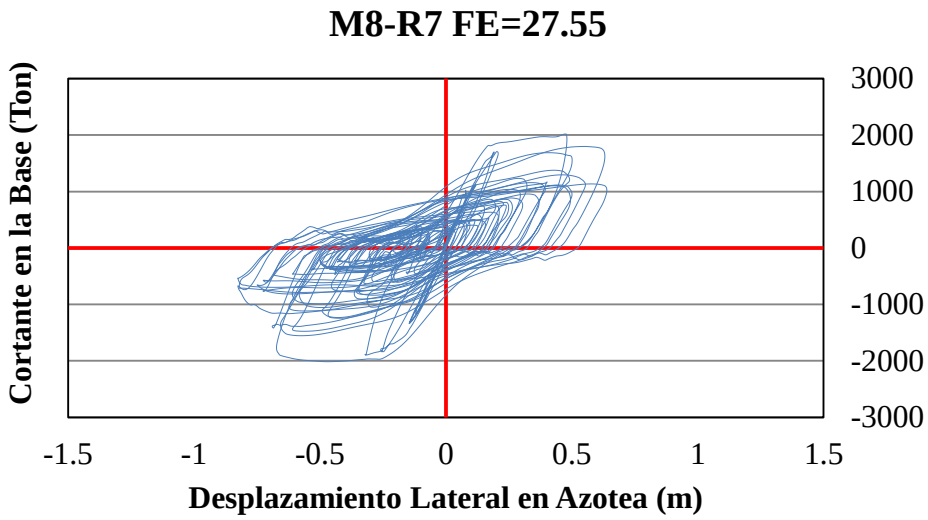

M8-R7 $r_{D(y)-Z(y)}$ = 0.0772
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

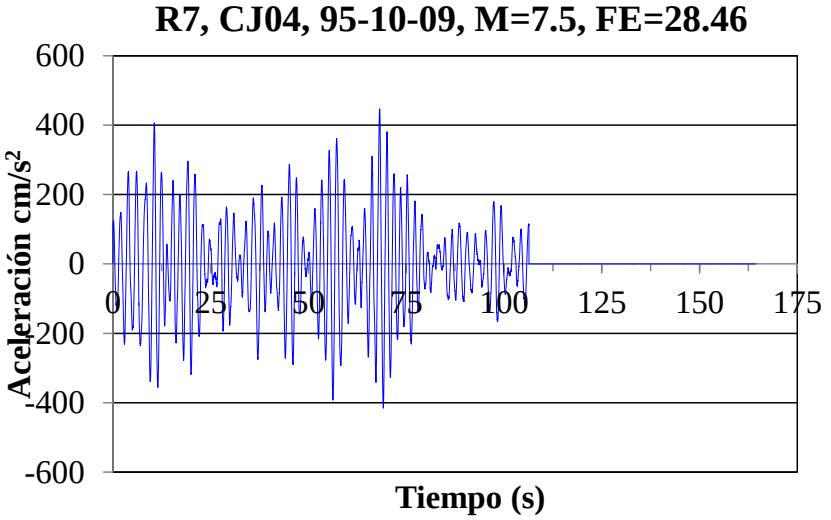

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

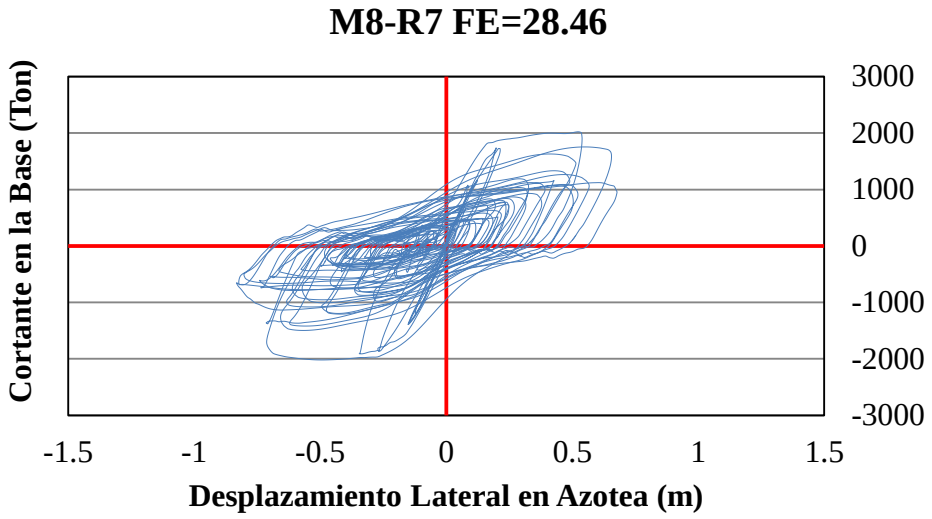

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=27.2356
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s²
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

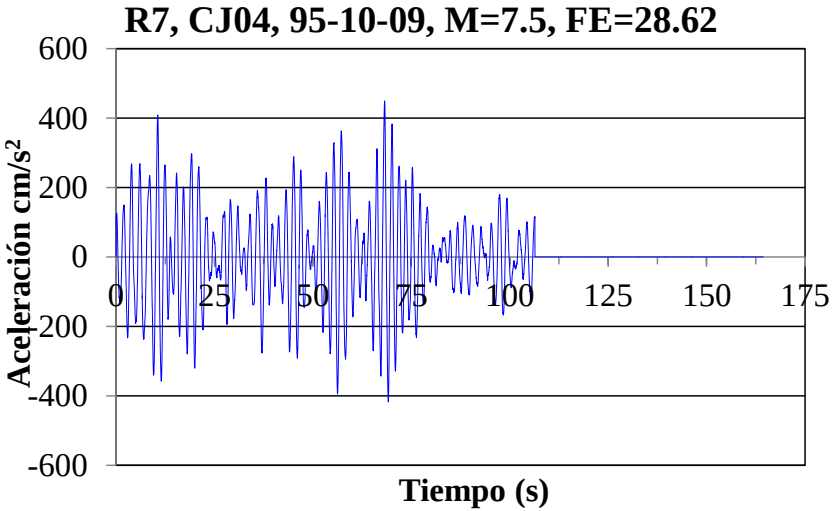

M8-R7 FE=27.2356
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

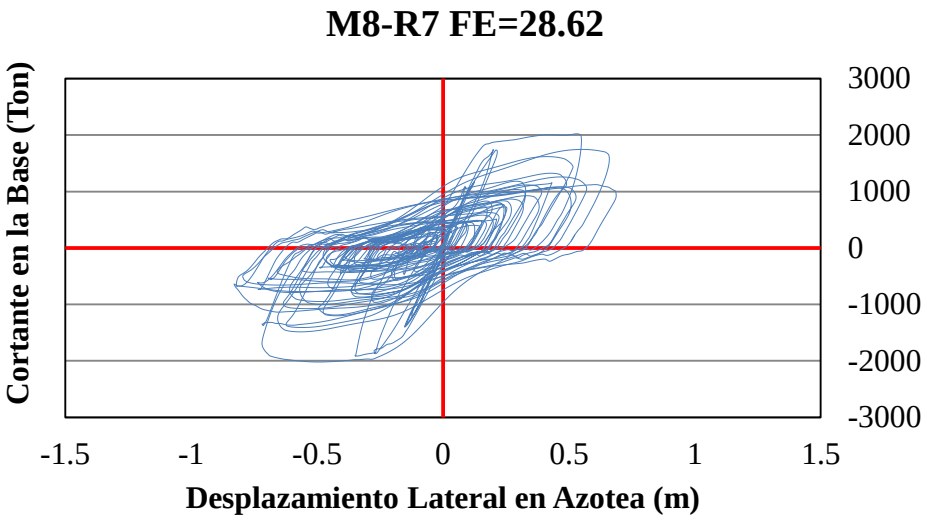

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=27.55
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

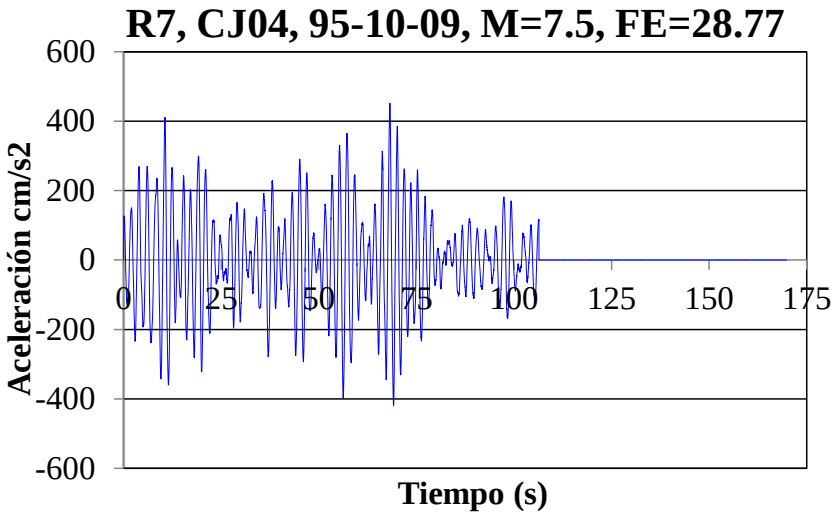

M8-R7 FE=27.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

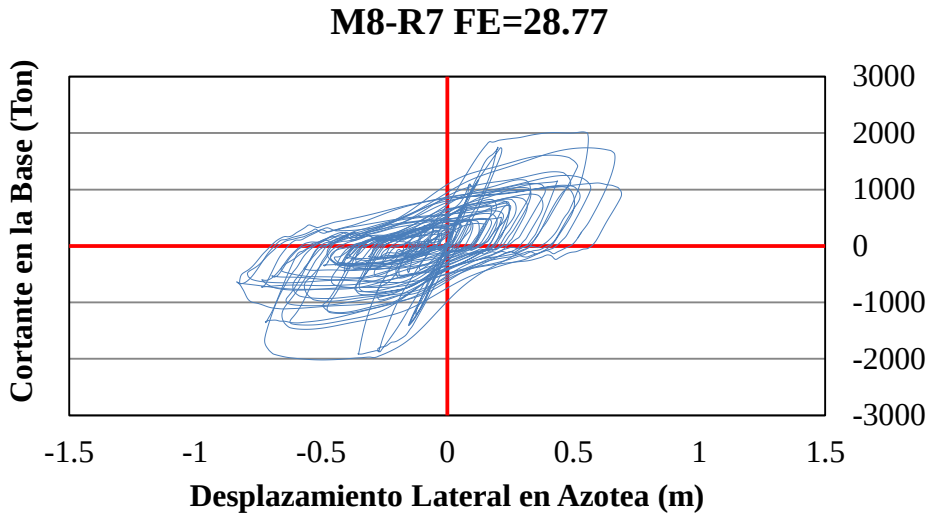

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=28.46
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

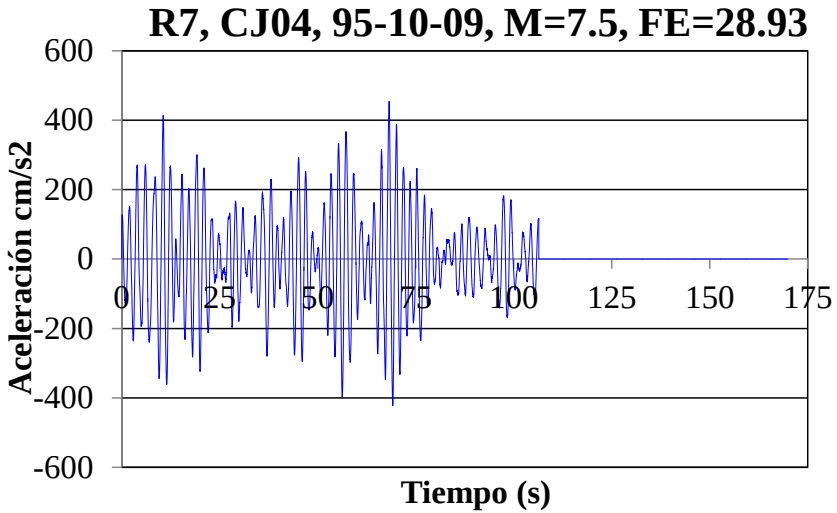

M8-R7 FE=28.46
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

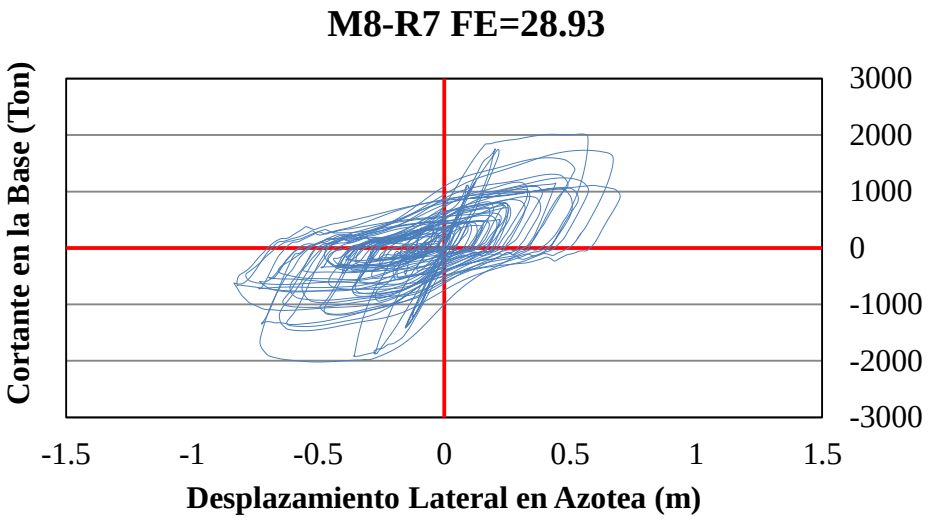

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=28.62
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

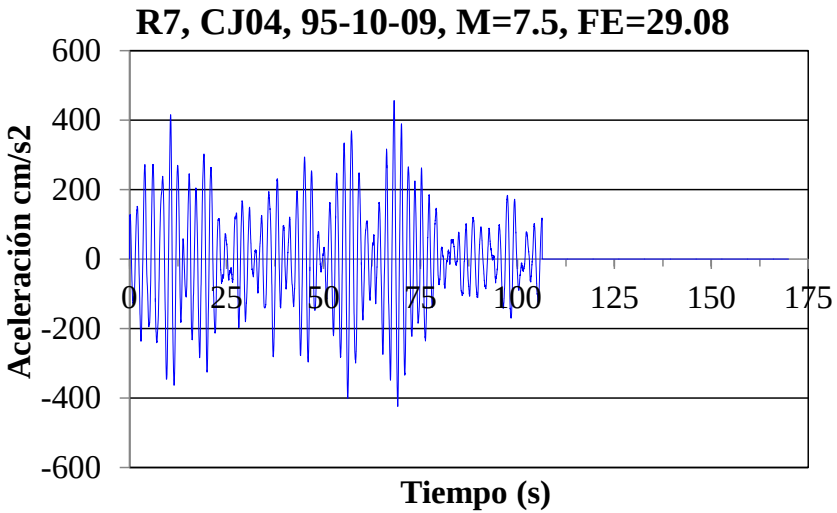

M8-R7 FE=28.62
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

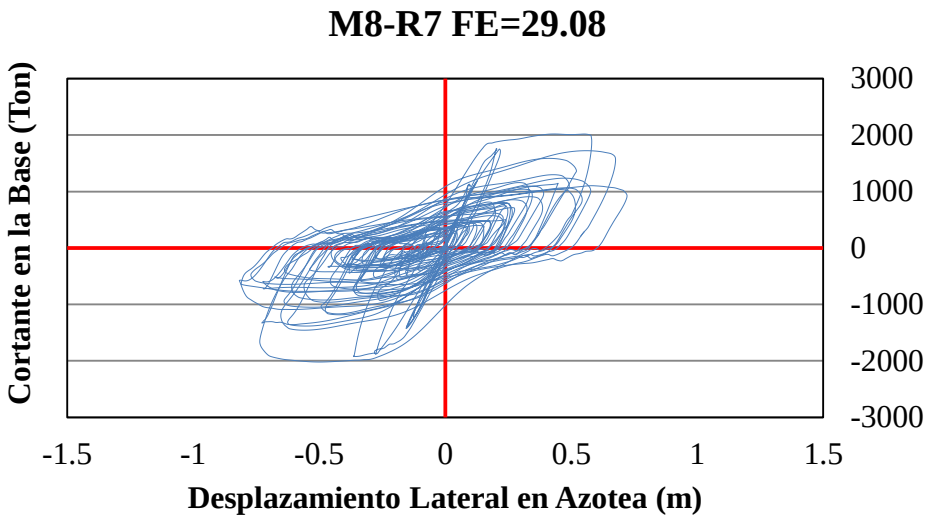

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=28.77
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

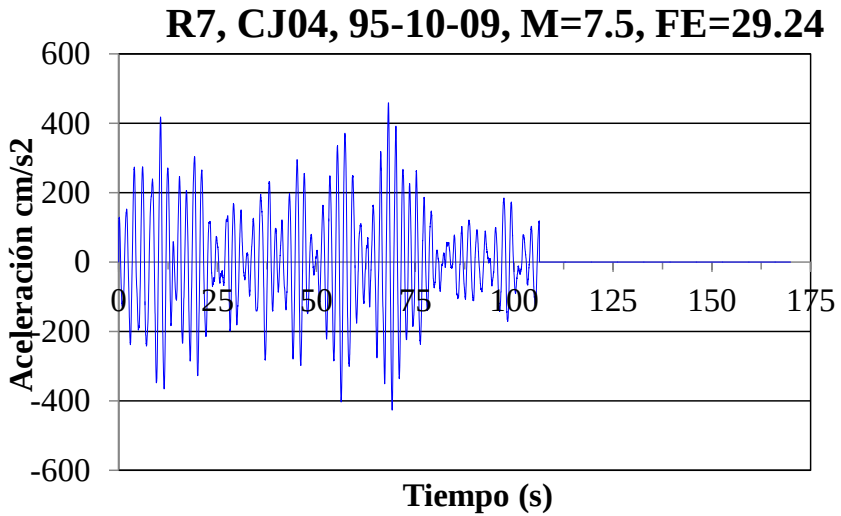

M8-R7 FE=28.77
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

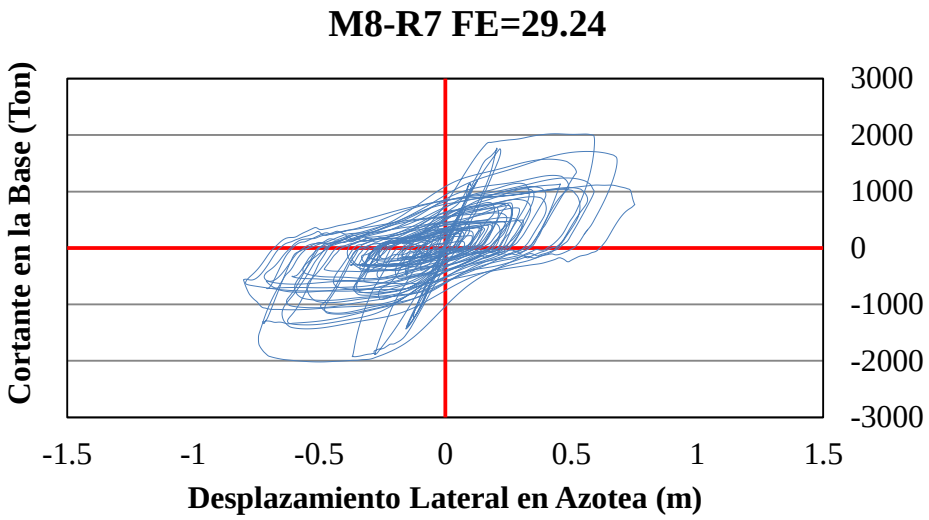

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=28.93
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

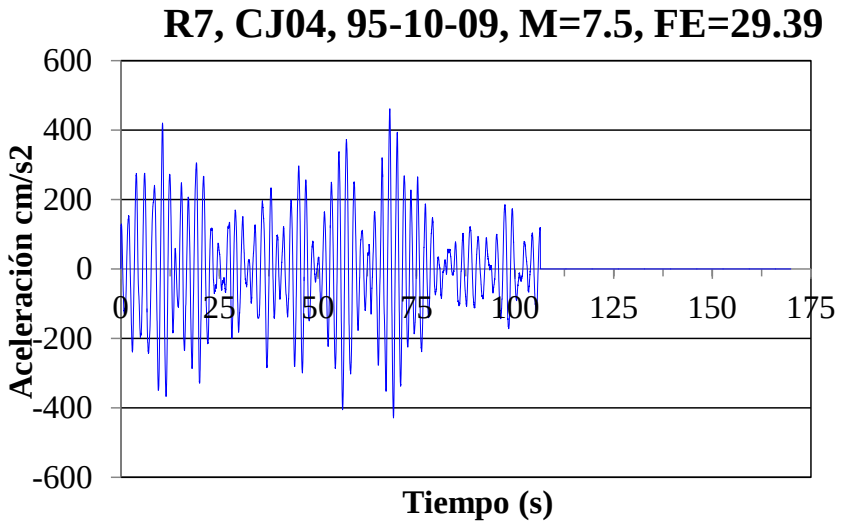

M8-R7 FE=28.93
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

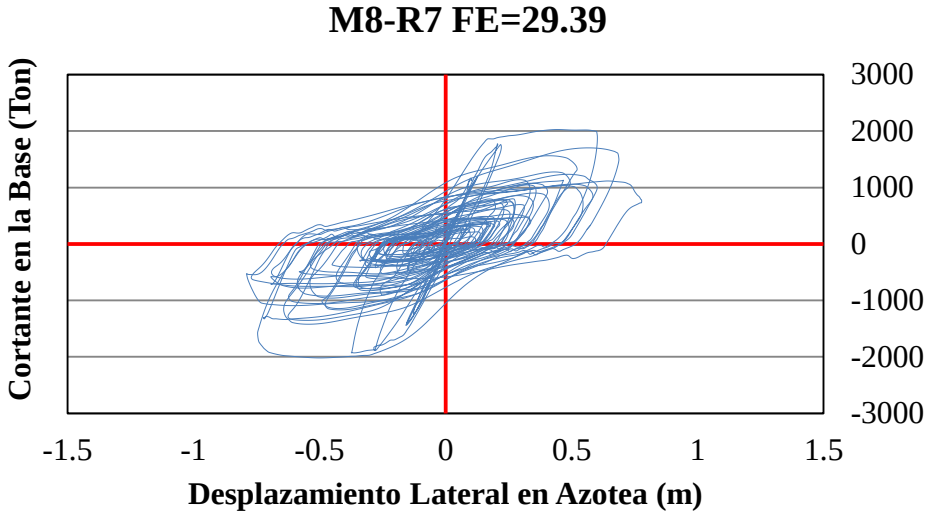

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.08
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

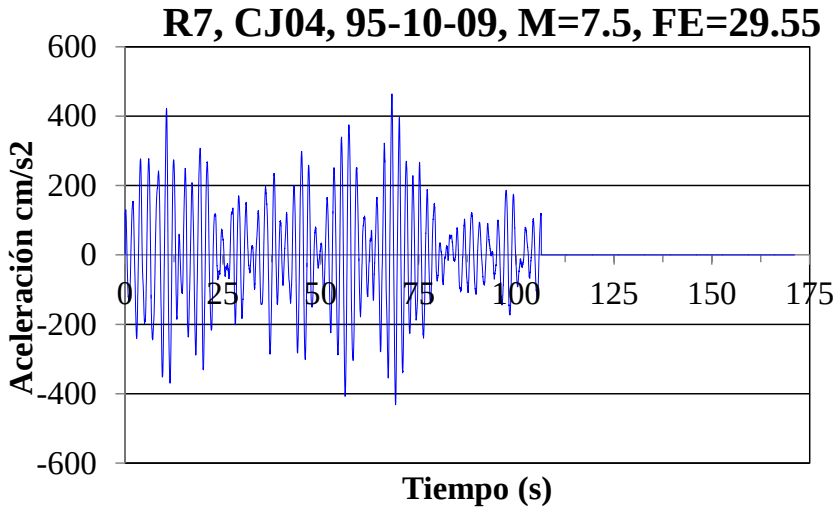

M8-R7 FE=29.08
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

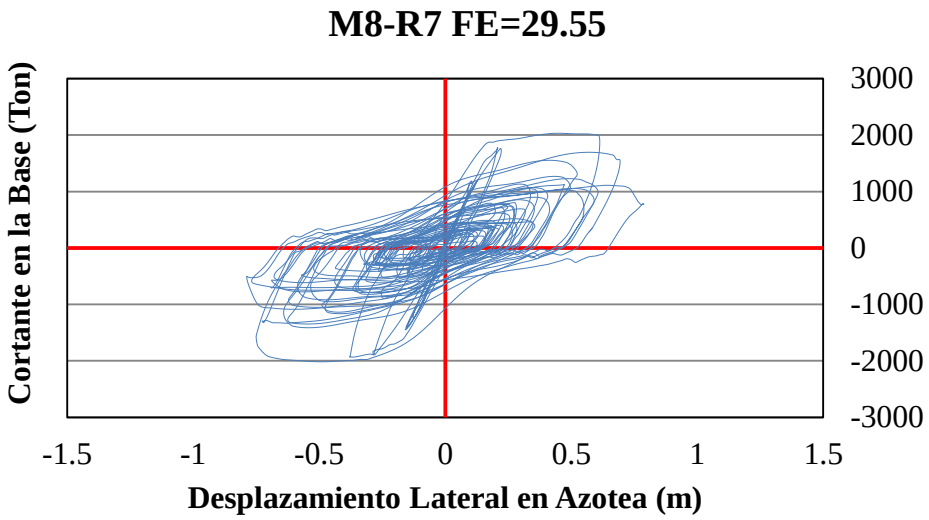

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.24
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

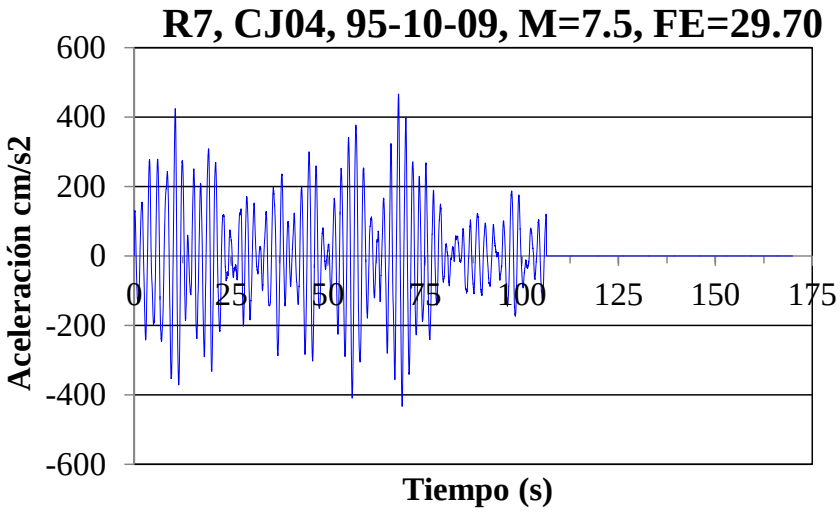

M8-R7 FE=29.24
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

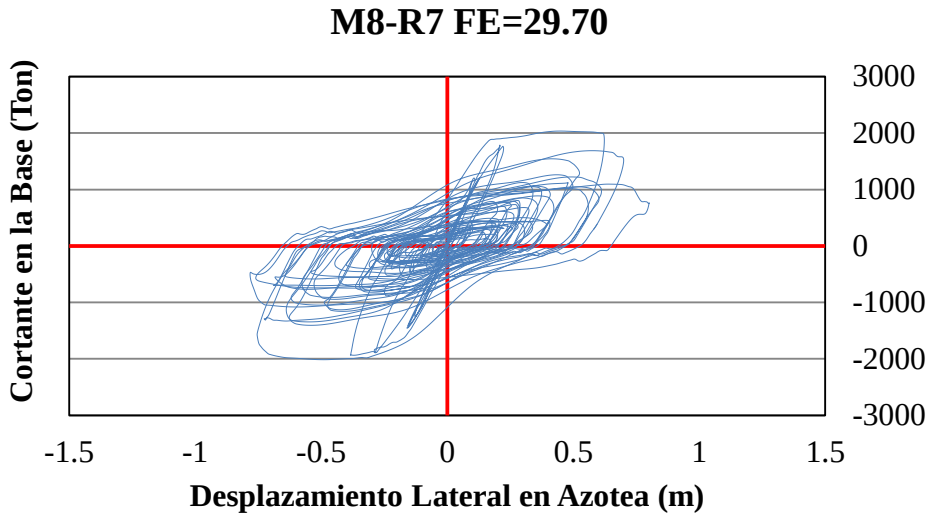

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.39
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

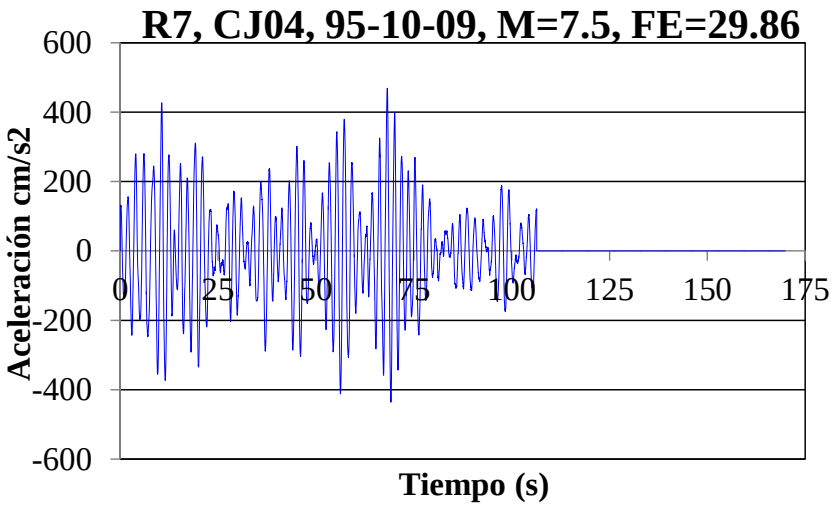

M8-R7 FE=29.39
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

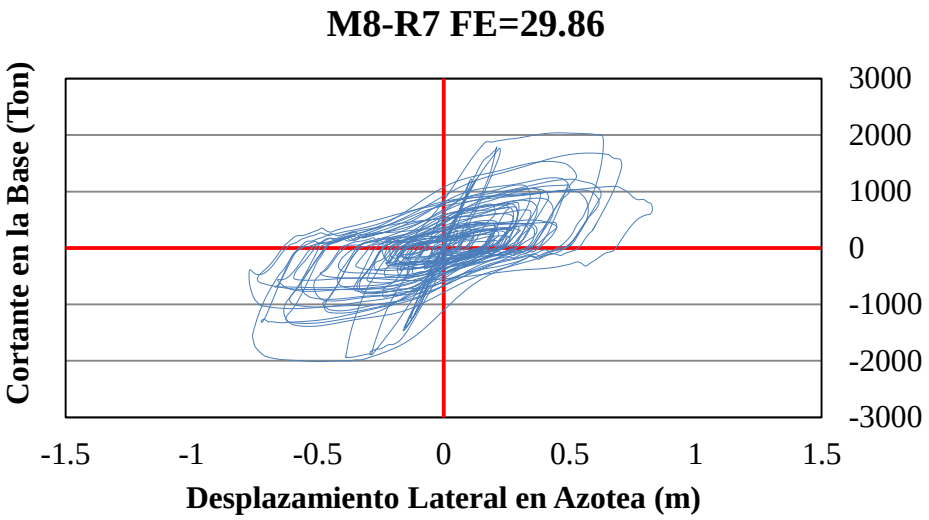

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.55
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

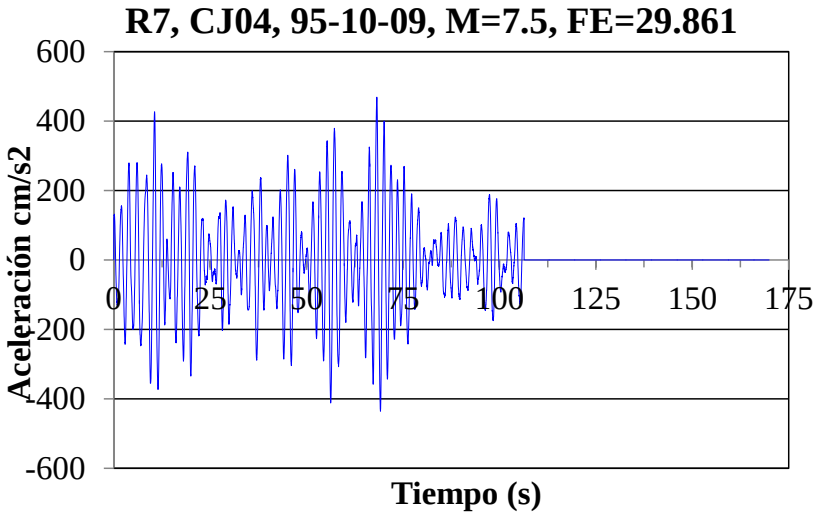

M8-R7 FE=29.55
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

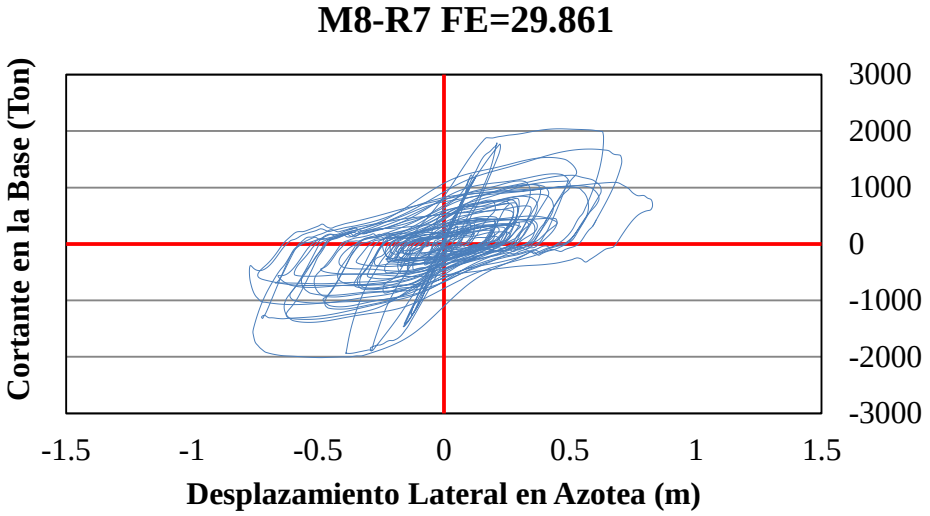

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.70
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

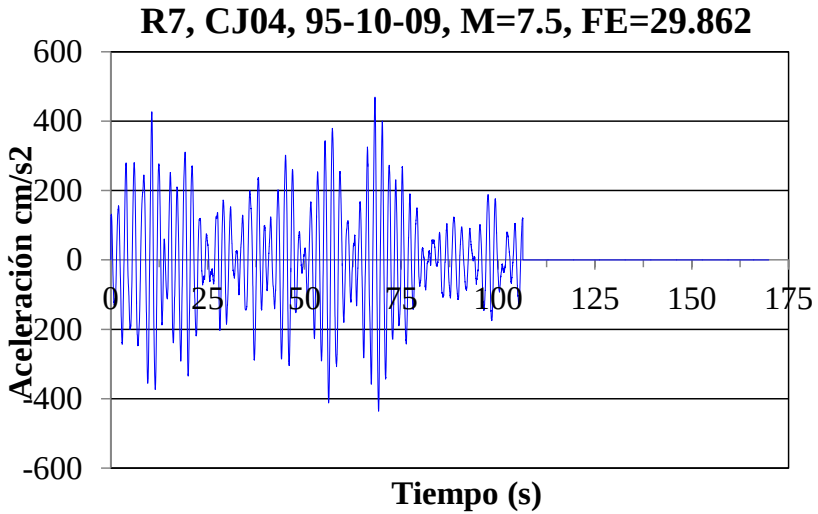

M8-R7 FE=29.70
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

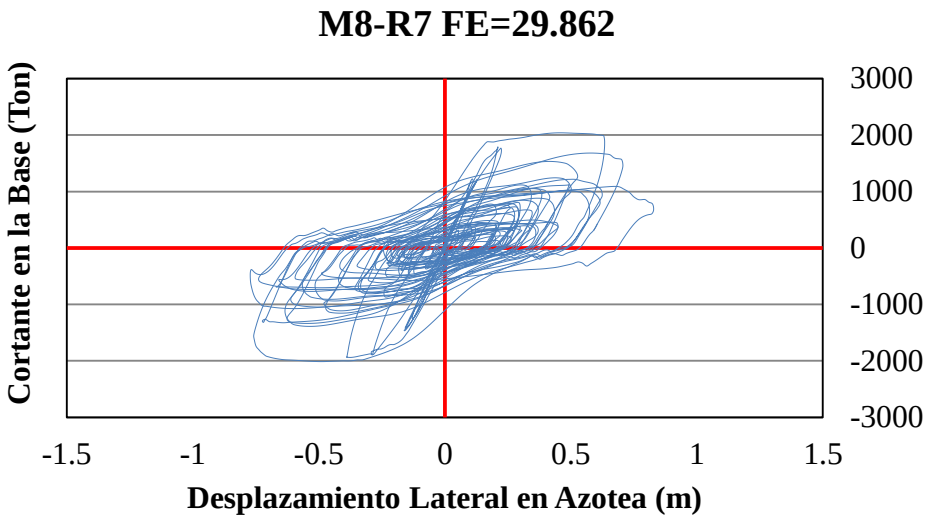

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.86
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

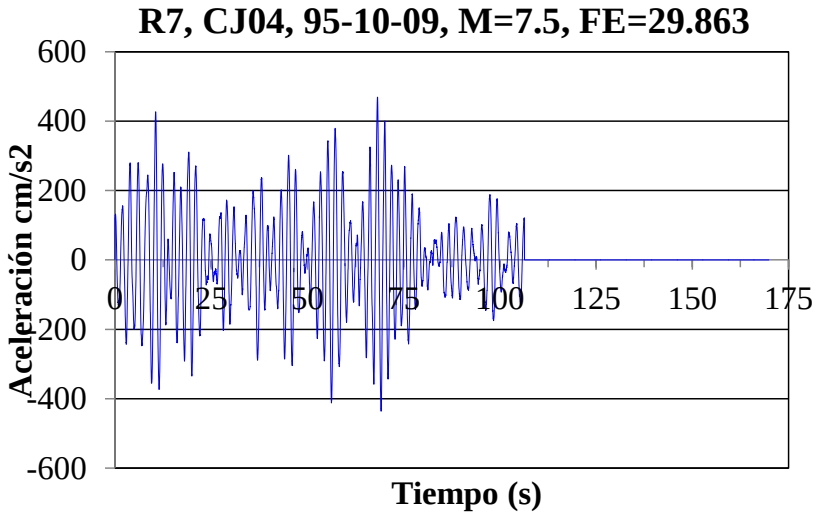

M8-R7 FE=29.86
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

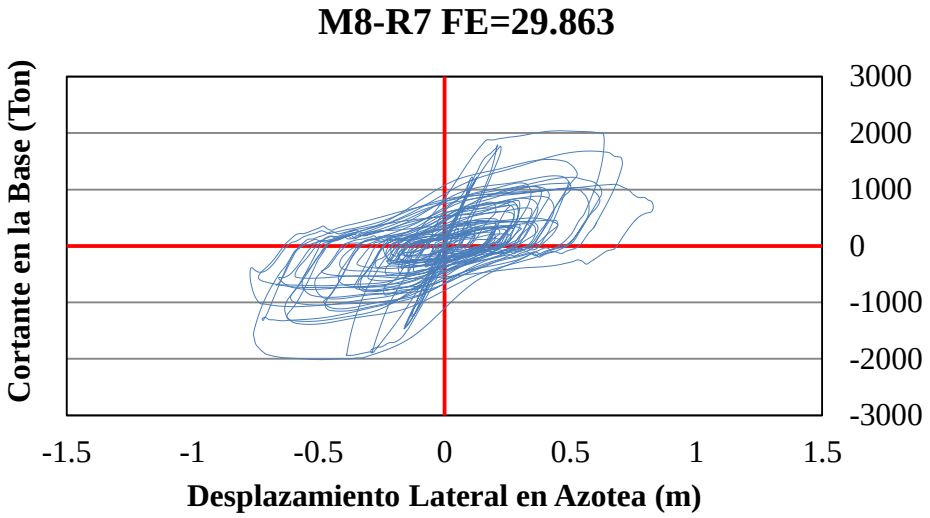

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.861
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

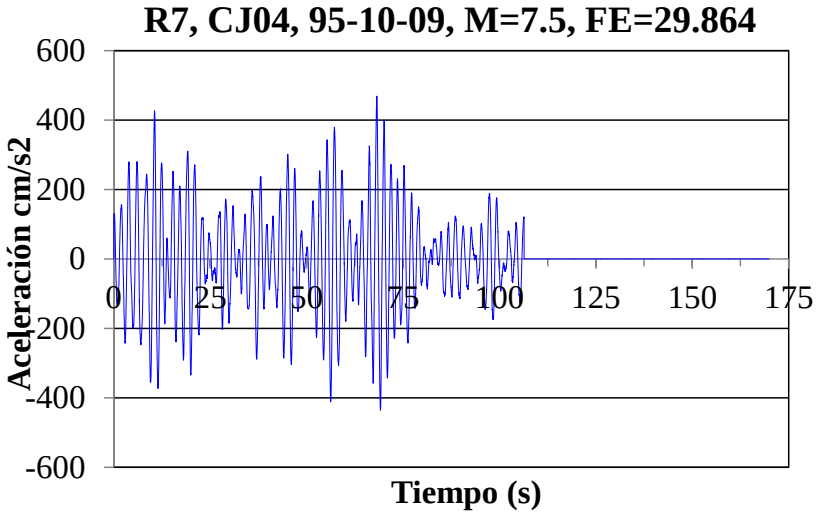

M8-R7 FE=29.861
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

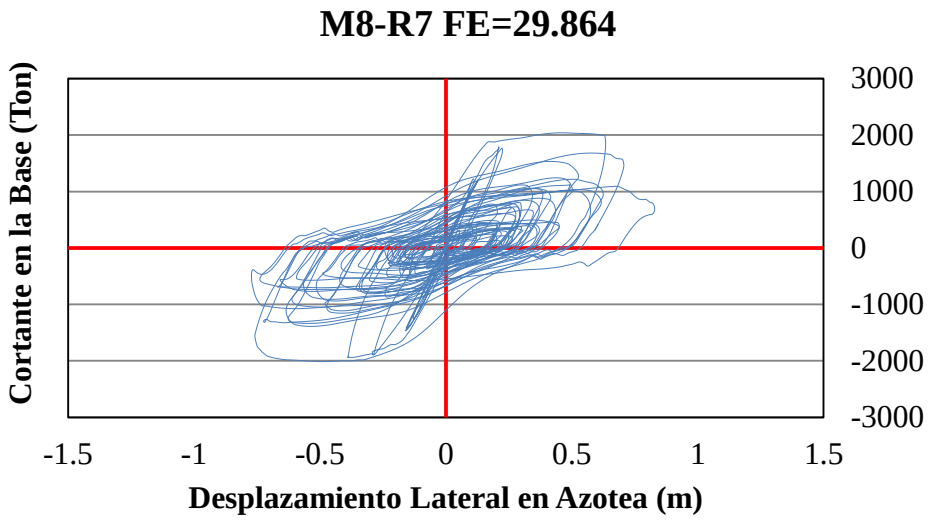

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.862
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

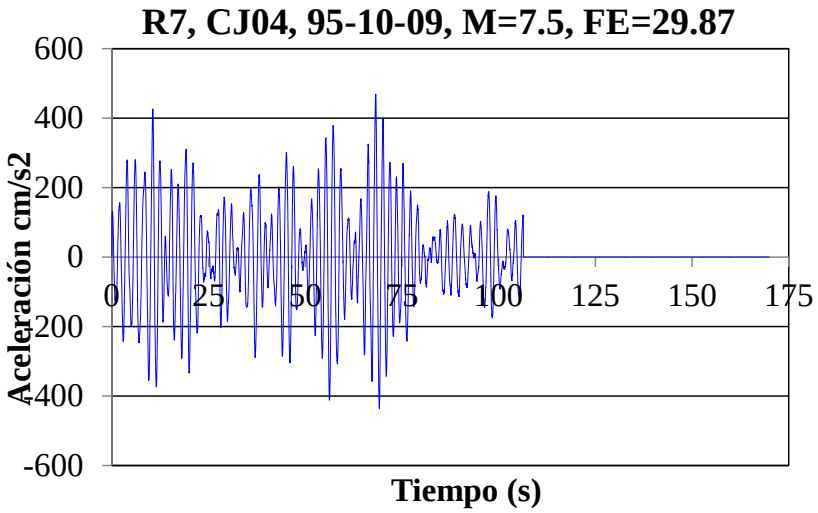

M8-R7 FE=29.862
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

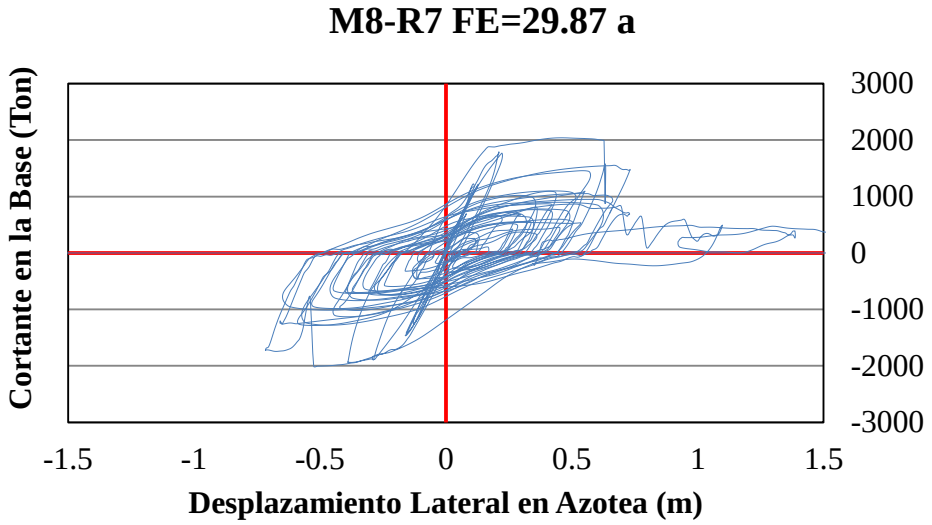

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.863
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

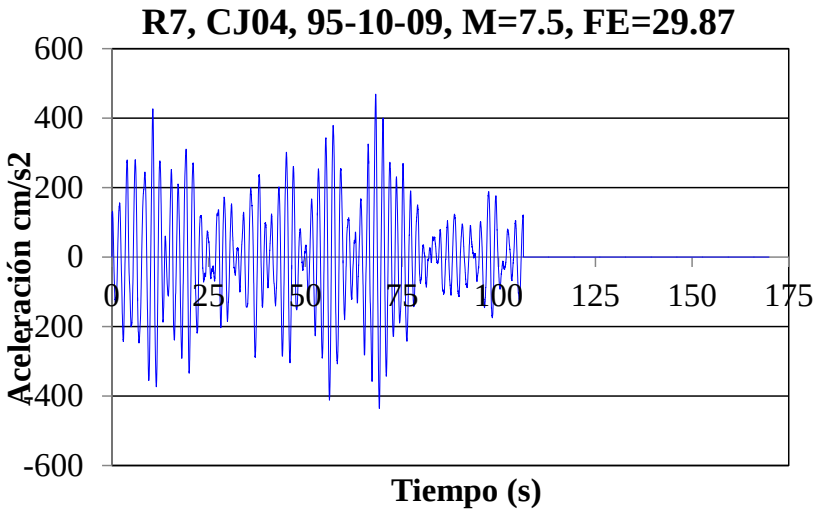

M8-R7 FE=29.863
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

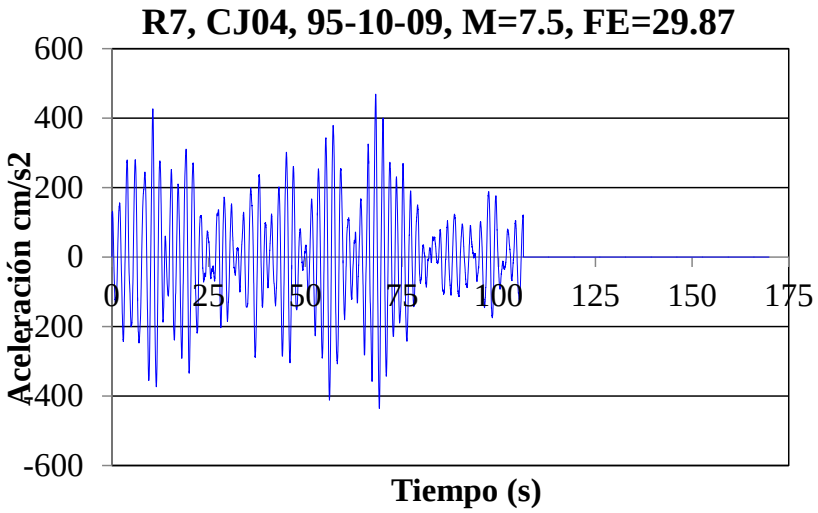

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.864
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

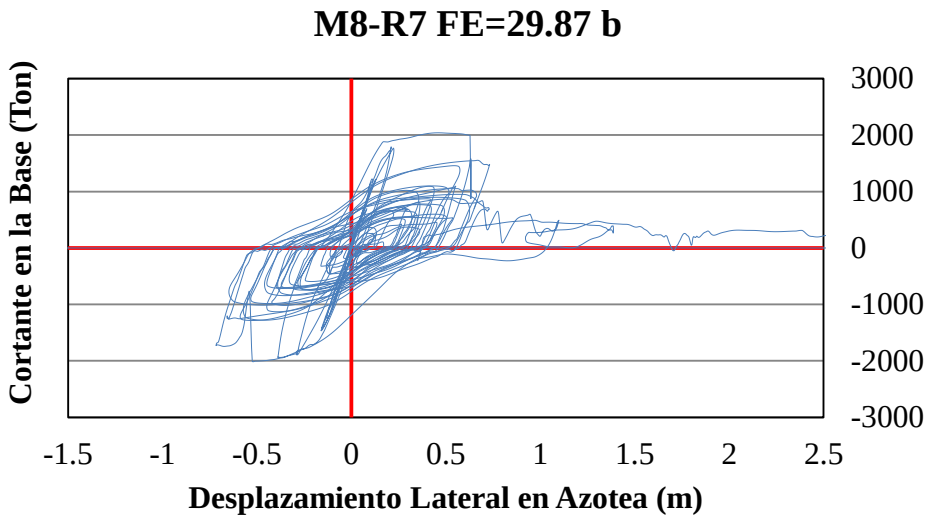

M8-R7 FE=29.864
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

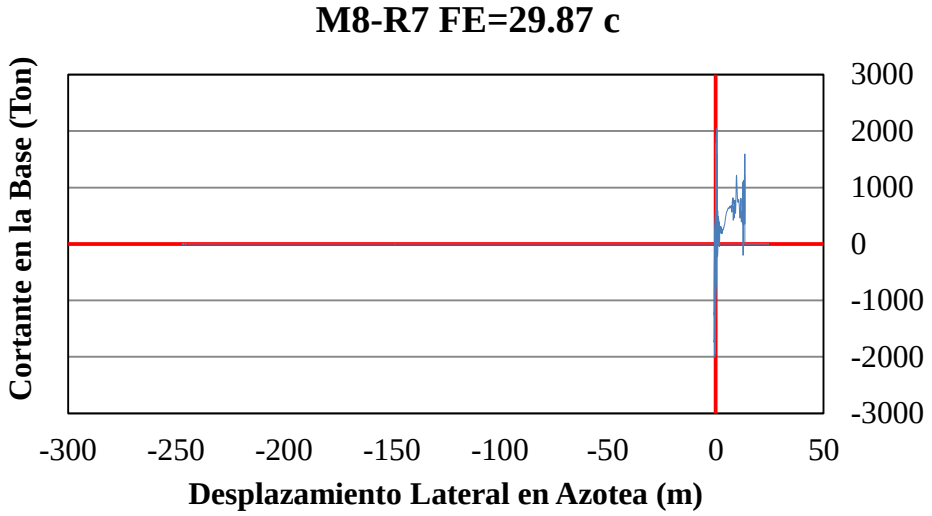

R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.87
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R7 FE=29.87 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.87
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


R7, CJ04, 95-10-09, M=7.5, FE=29.87
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

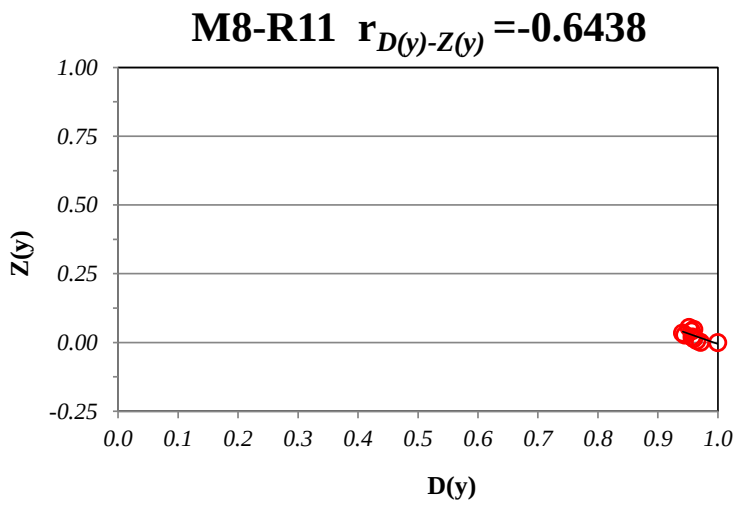

M8-R7 FE=29.87 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

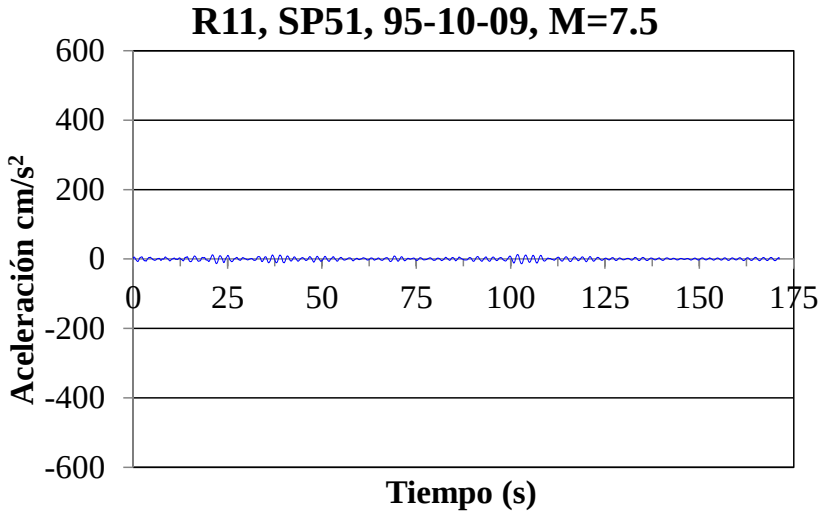

M8-R7 FE=29.87 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-300
-250
-200
-150
-100
-50
0
50
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

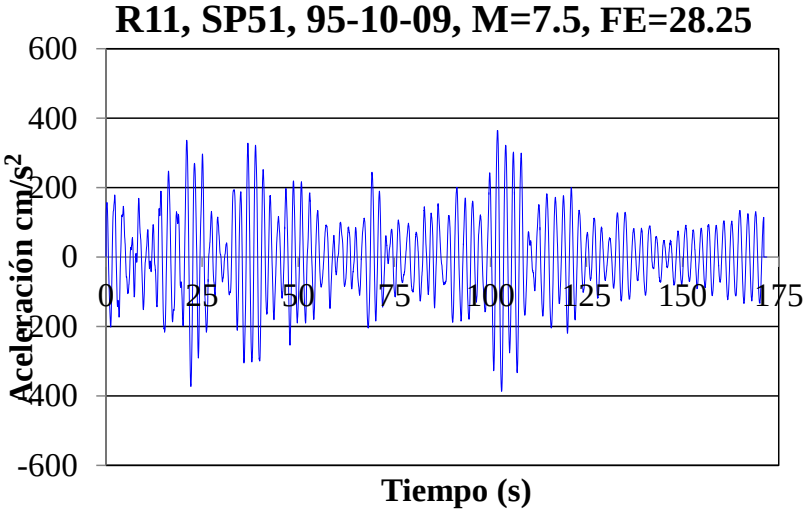
M8-R11

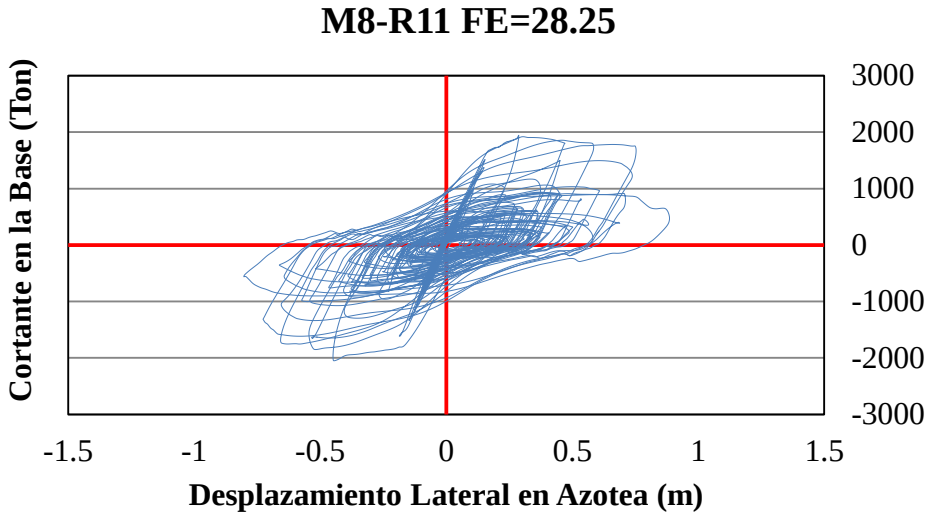
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.6	**6.86**	**10 913.69**	**0.022**	**-0.6438**

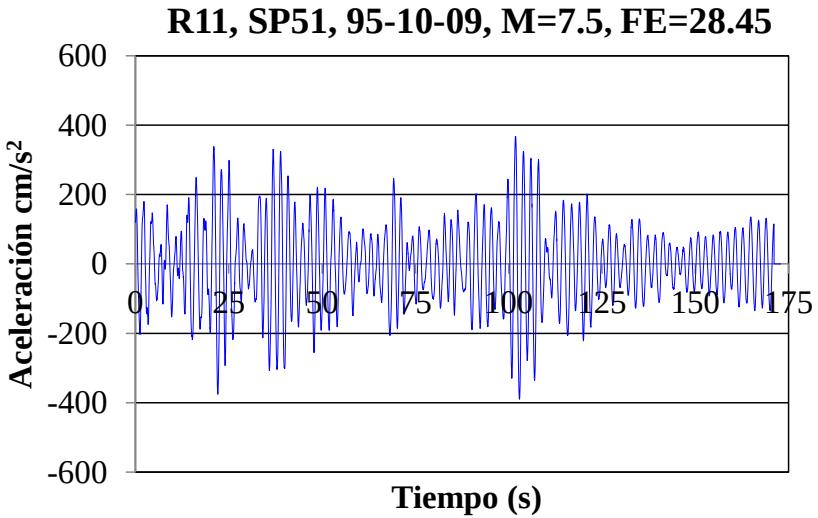
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6455	28.250	102.7100	0.8859	463.929	0 523.68	0.9520	0.054
0.6500	28.450	102.7100	0.9052	394.787	0 436.13	0.9600	0.047
0.6545	28.650	102.7100	0.8584	410.177	0 477.84	0.9562	0.041
0.6591	28.840	103.8300	0.8797	-563.509	0 640.57	0.9413	0.034
0.6636	29.040	103.8300	0.9139	-548.536	0 600.21	0.9450	0.027
0.6681	29.240	103.8500	1.0206	-474.319	0 464.75	0.9574	0.020
0.6726	29.440	103.8500	1.0686	-467.876	0 437.84	0.9599	0.013
0.6771	29.630	103.8600	1.1401	-432.370	0 379.24	0.9653	0.007
0.6816	29.830	107.8700	1.1730	-366.828	0 312.73	0.9713	0.000
0.6818	29.840	170.0200	316.8271	0.000	0 000.00	1.0000	0.000

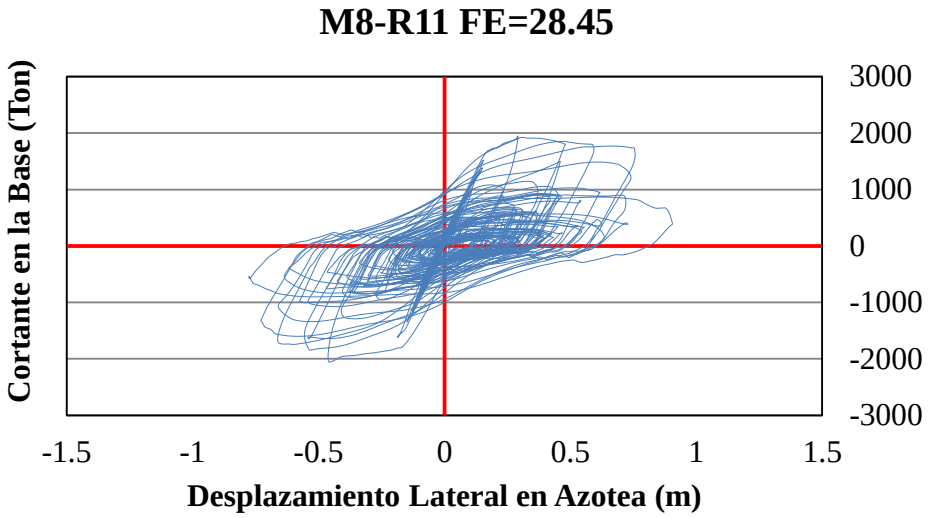

M8-R11 r D(y)-Z(y) =-0.6438
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

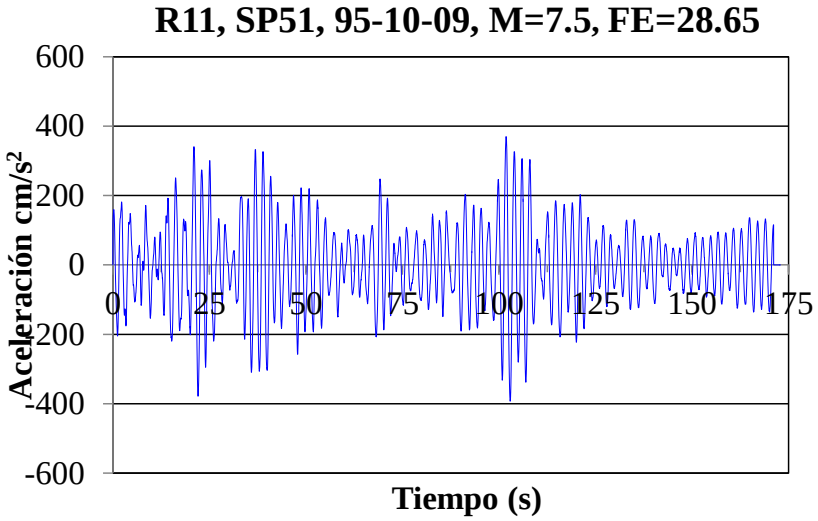

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

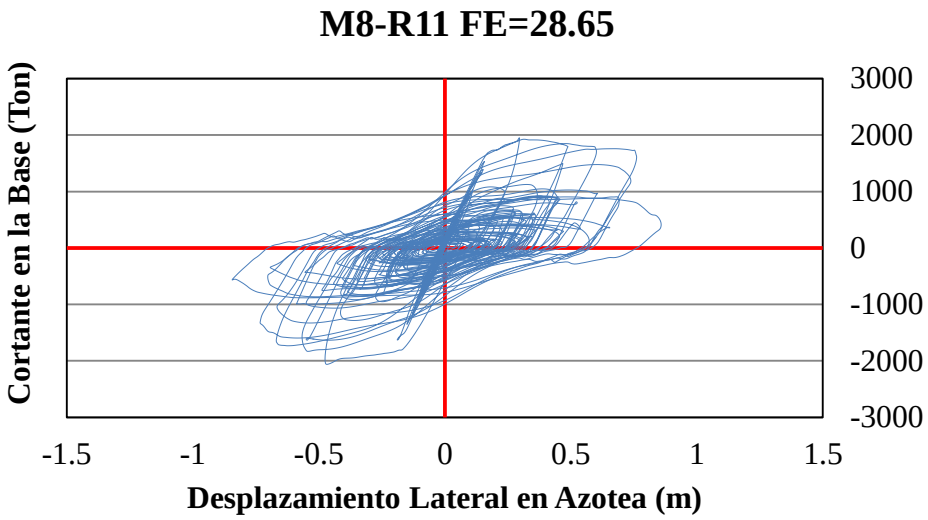

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=28.25
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

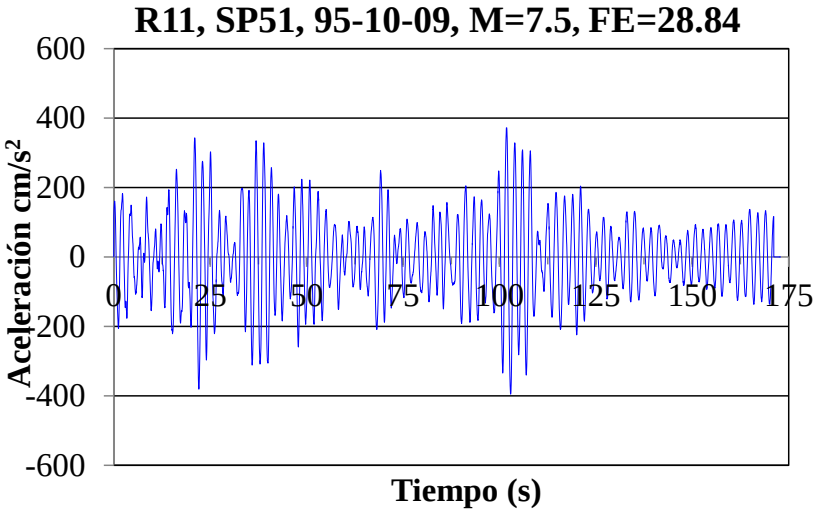

M8-R11 FE=28.25
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

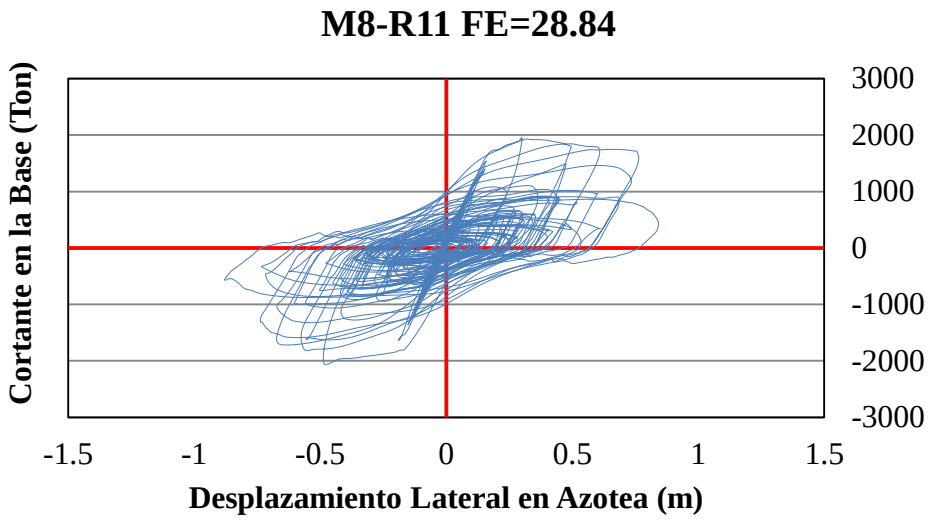

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=28.45
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

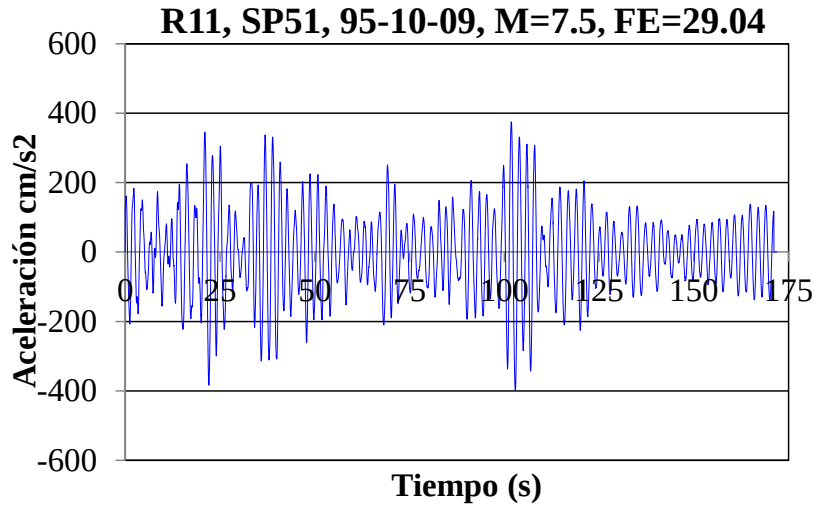

M8-R11 FE=28.45
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

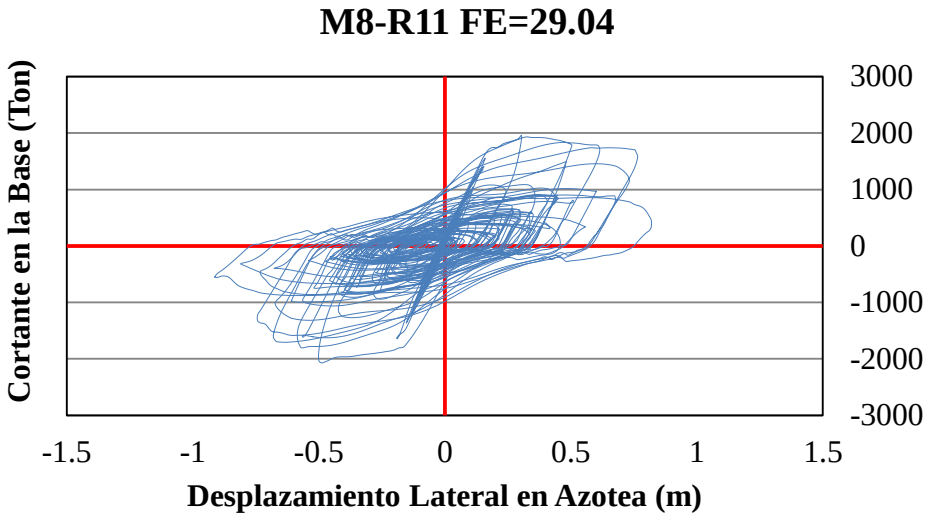

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=28.65
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

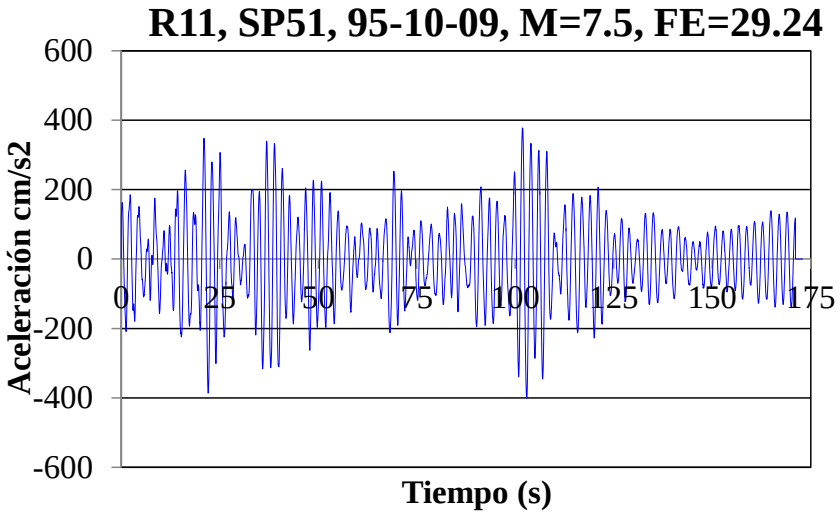

M8-R11 FE=28.65
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

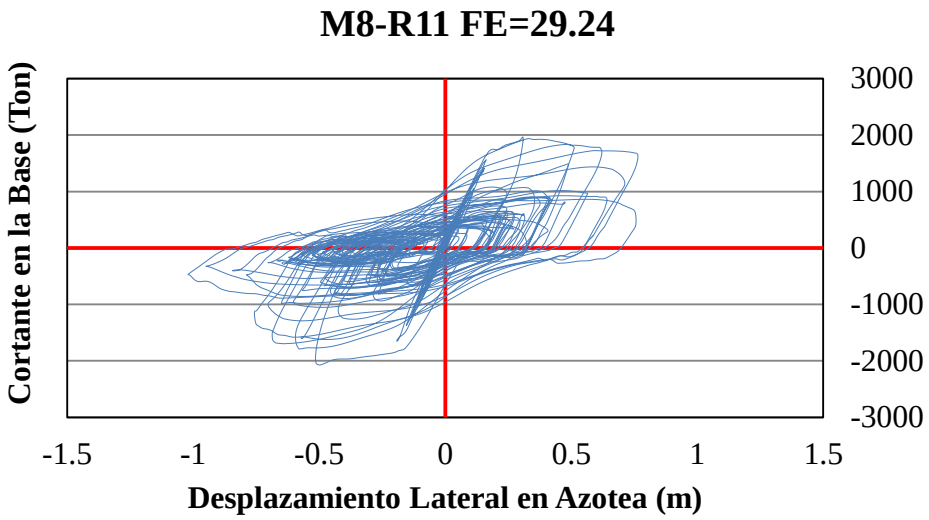

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=28.84
Aceleración cm/s²
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

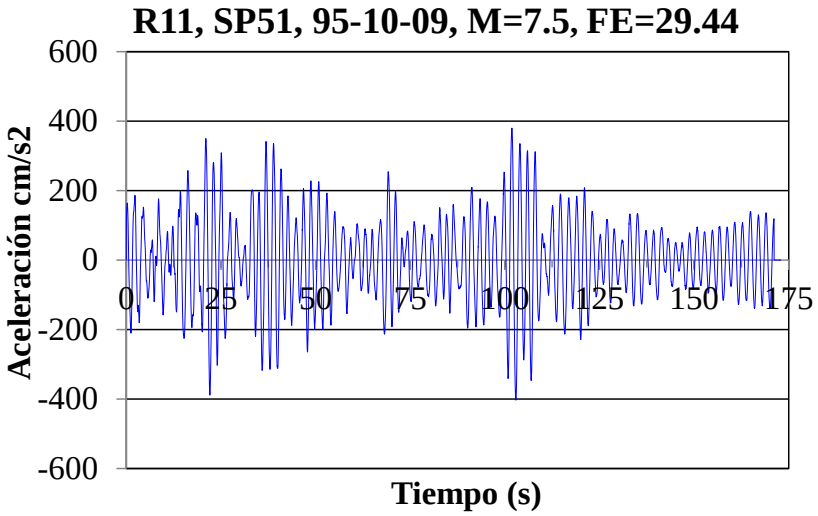

M8-R11 FE=28.84
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

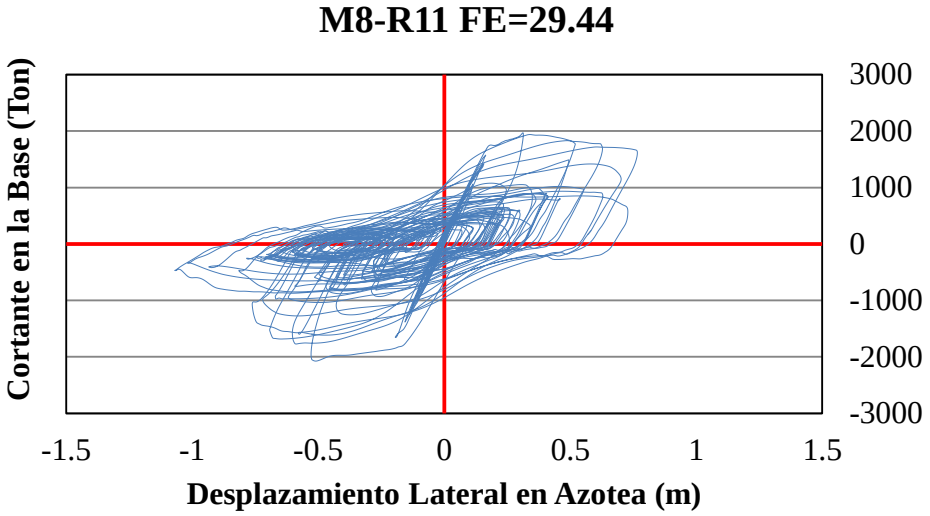

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.04
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

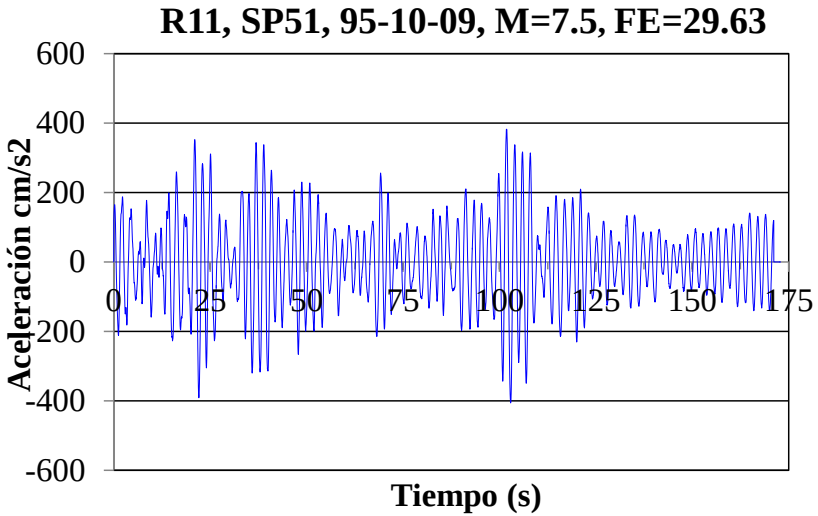

M8-R11 FE=29.04
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

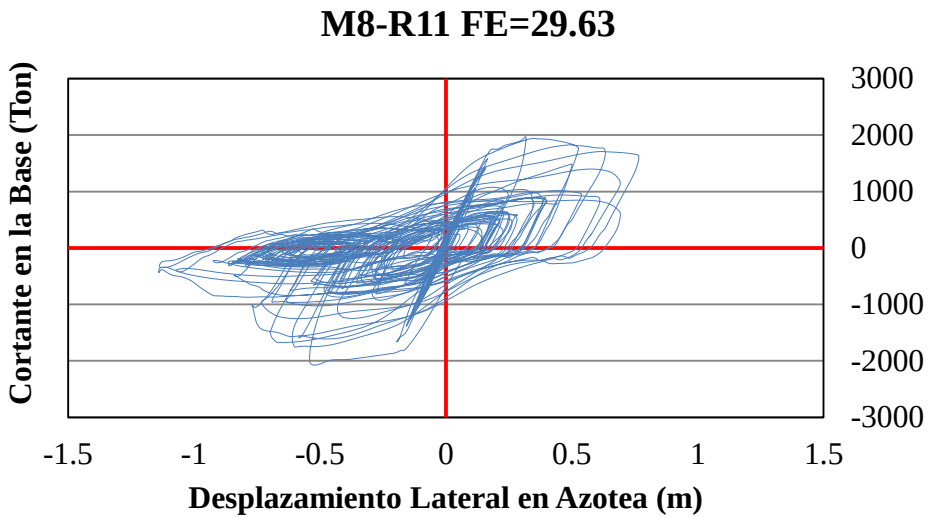

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.24
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

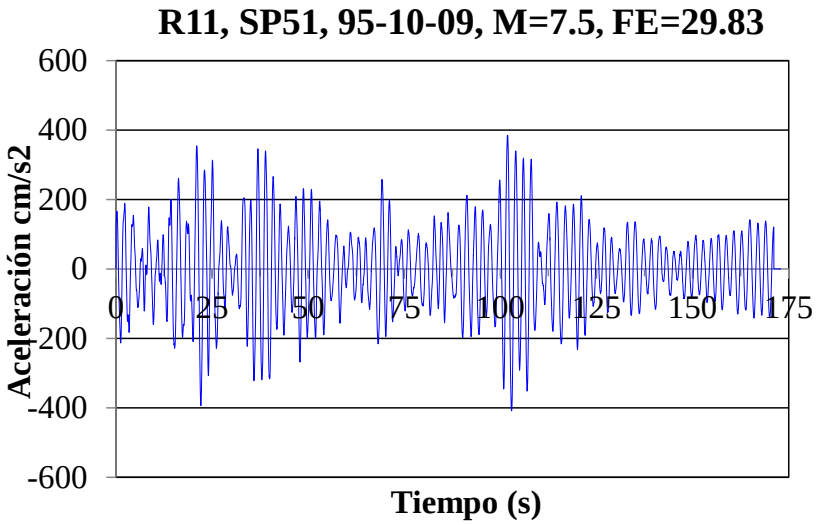

M8-R11 FE=29.24
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

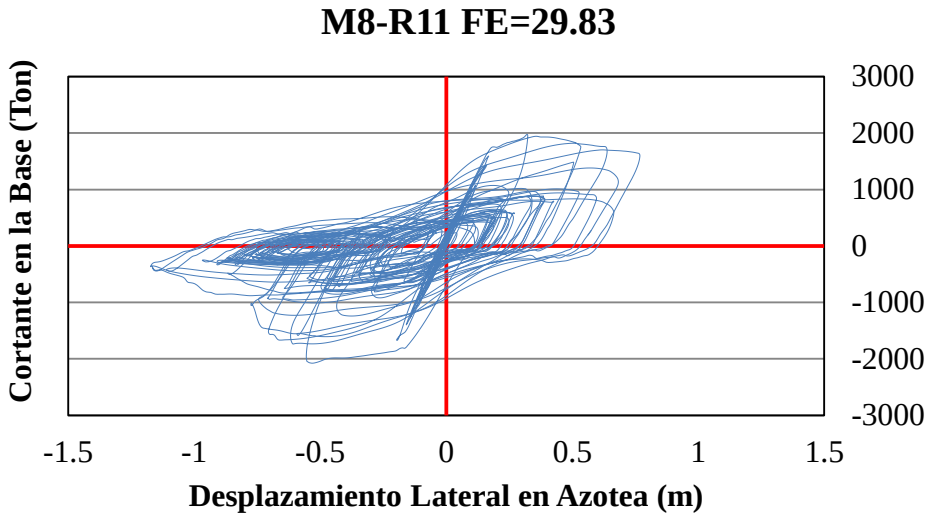

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.44
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

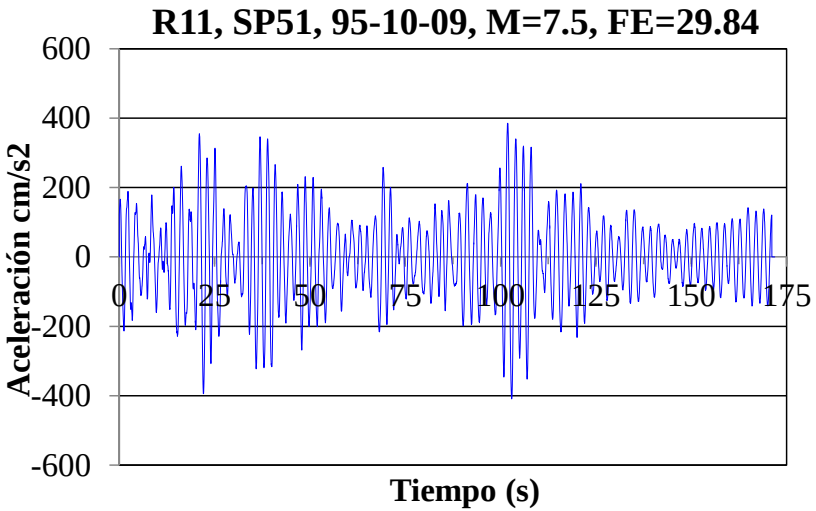

M8-R11 FE=29.44
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

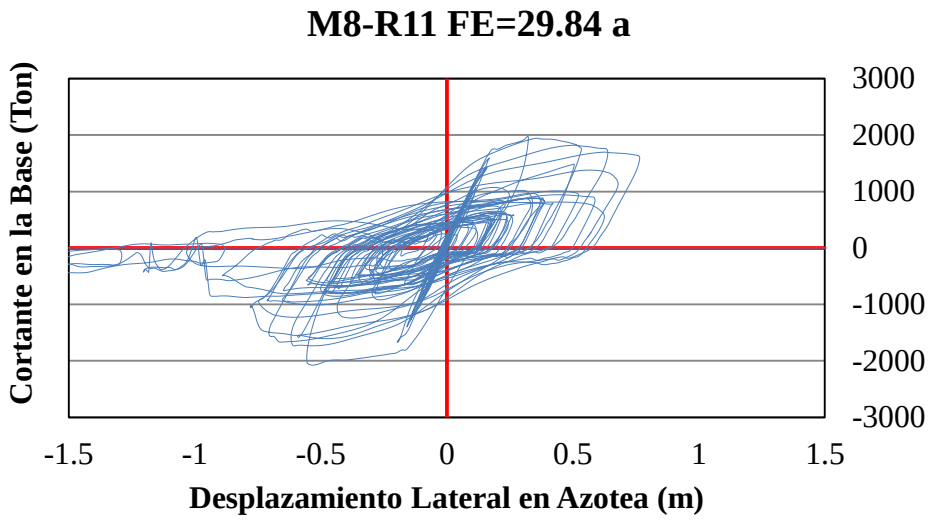

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.63
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

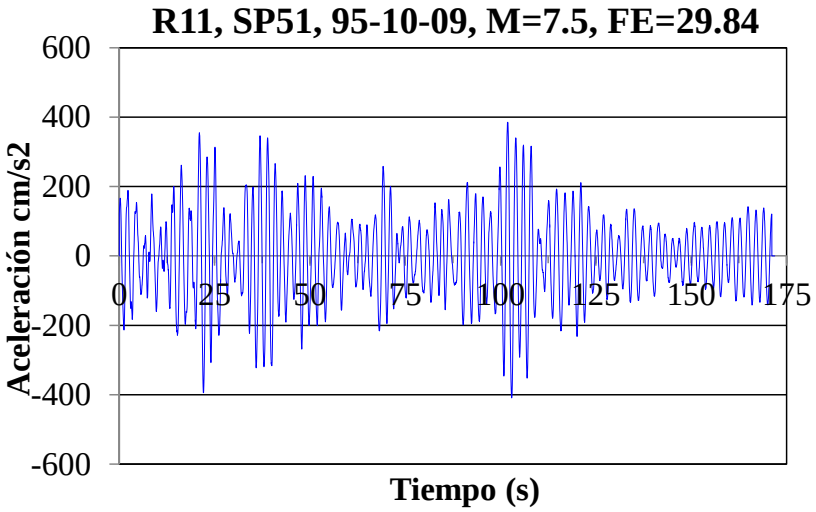

M8-R11 FE=29.63
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

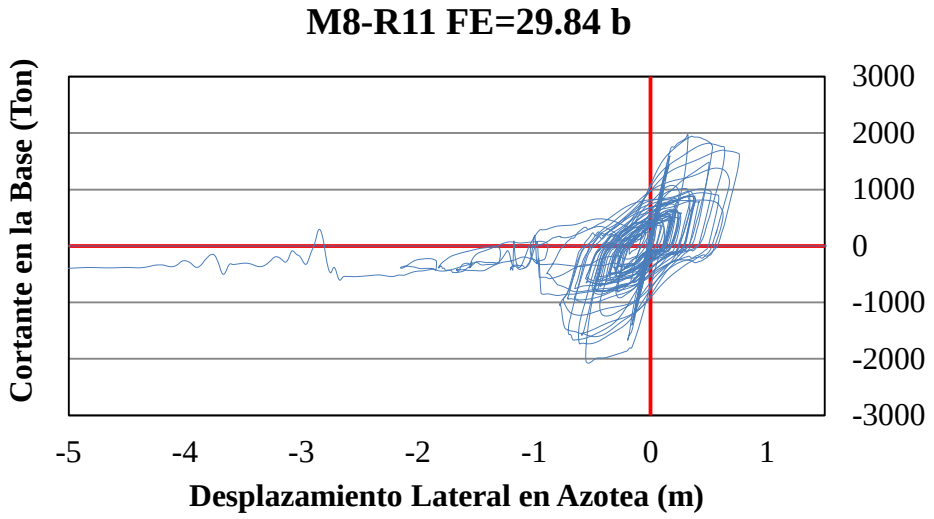

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.83
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

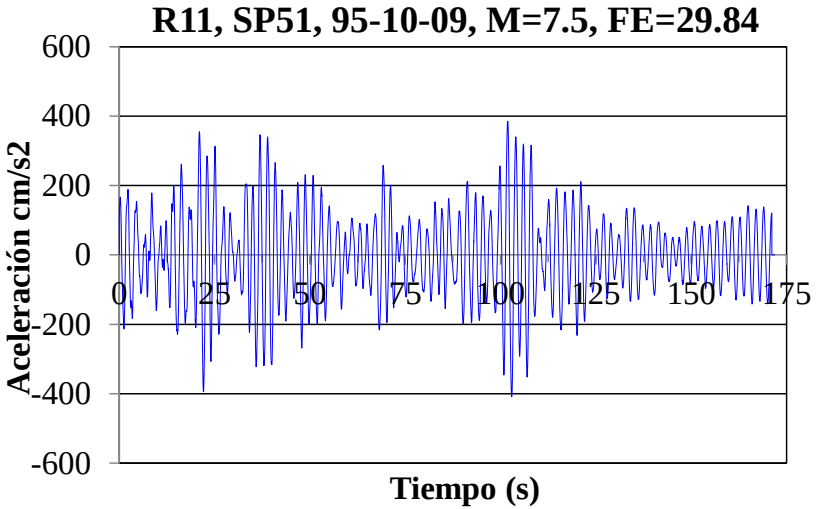

M8-R11 FE=29.83
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

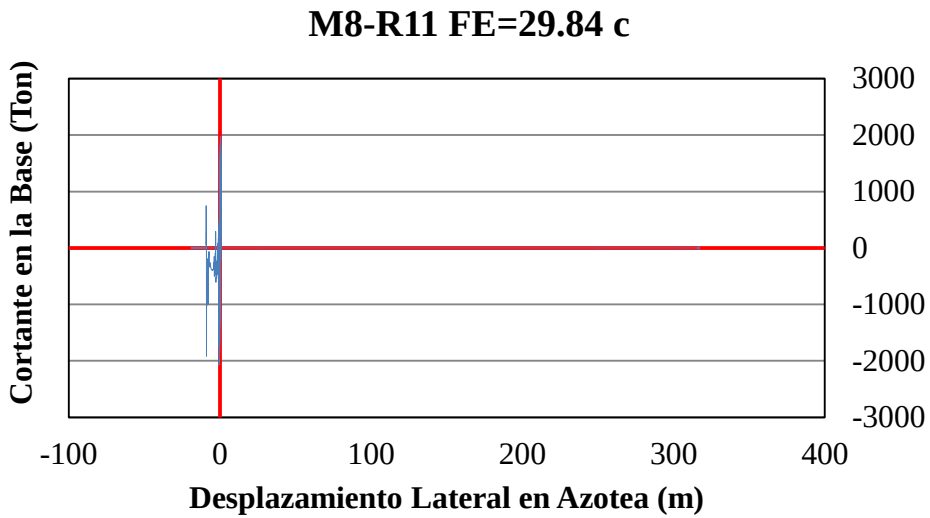

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.84
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R11 FE=29.84 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.84
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R11 FE=29.84 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

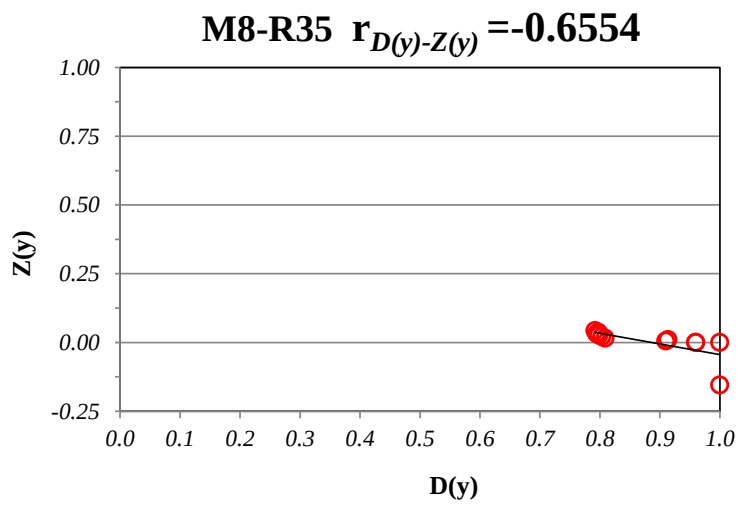

R11, SP51, 95-10-09, M=7.5, FE=29.84
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

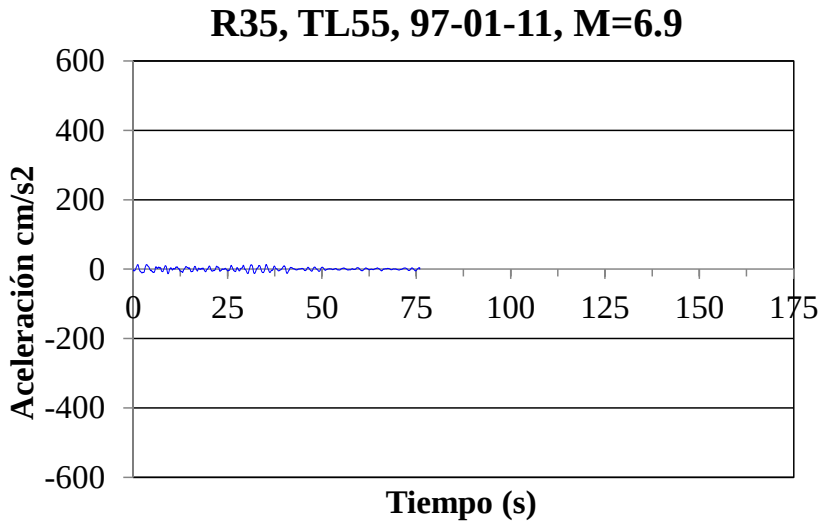

M8-R11 FE=29.84 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-100
0
100
200
300
400
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

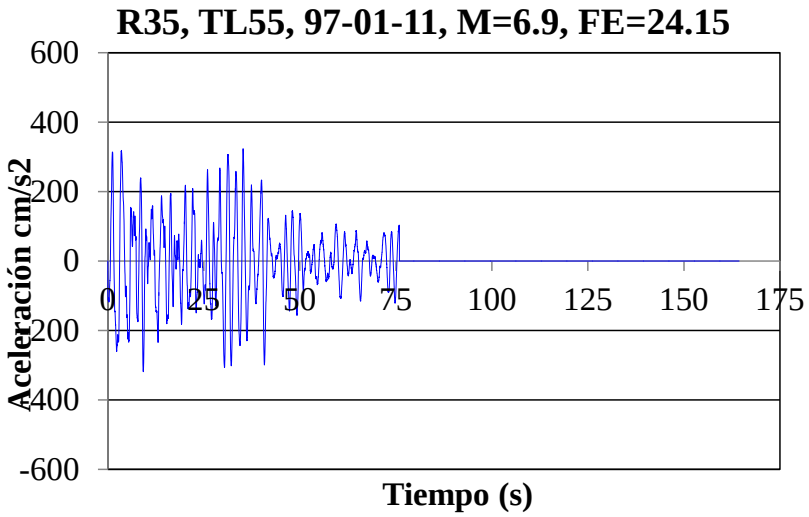
M8-R35

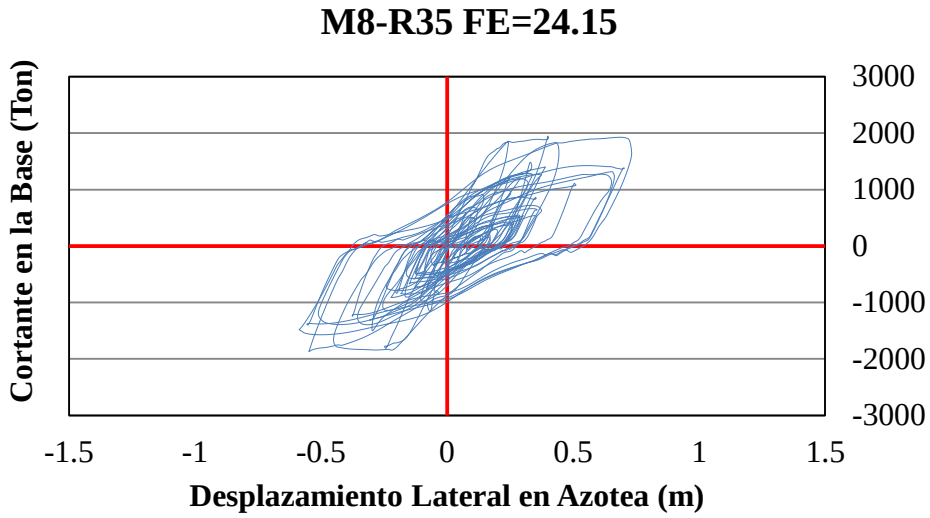
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.5	**6.83**	**10 913.69**	**0.023**	**-0.6554**

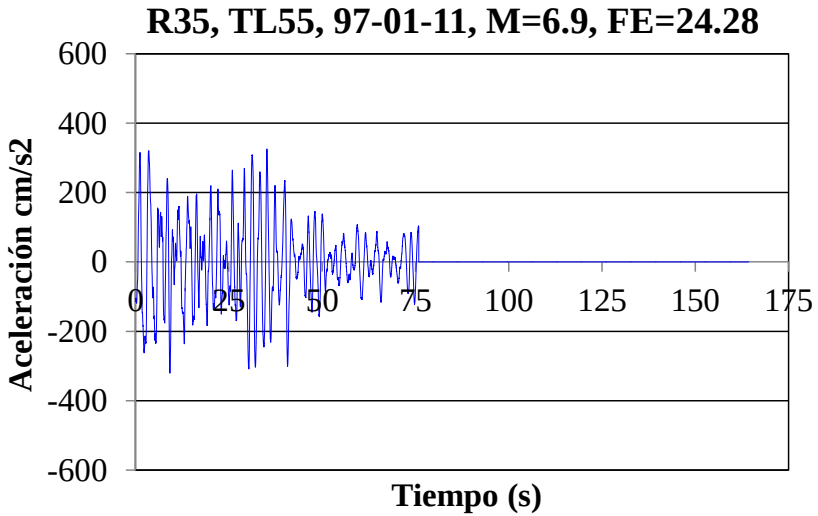
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.5690	24.15	31.8500	0.7322	1662.293	2 270.27	0.7920	0.183
0.5721	24.28	31.8500	0.7402	1635.811	2 209.96	0.7975	0.177
0.5752	24.41	31.8500	0.7473	1675.101	2 241.54	0.7946	0.172
0.5783	24.54	31.8600	0.7549	1660.023	2 199.00	0.7985	0.166
0.5814	24.68	31.8600	0.7627	1634.825	2 143.47	0.8036	0.161
0.5845	24.81	31.8700	0.7699	1606.542	2 086.69	0.8088	0.156
0.5876	24.94	40.5600	0.9225	869.979	0 943.07	0.9136	0.151
0.5907	25.07	40.5700	0.9304	913.292	0 981.61	0.9101	0.145
0.5938	25.20	72.9300	1.2929	568.497	0 439.71	0.9597	0.140
0.5939	25.21	72.9200	1.2905	565.341	0 438.08	0.9599	0.140
0.5940	25.21	75.9000	24.3436	0.002	0 000.00	1.0000	0.140
0.6933	29.42	36.6400	307.0926	0.000	0 000.00	1.0000	-0.015

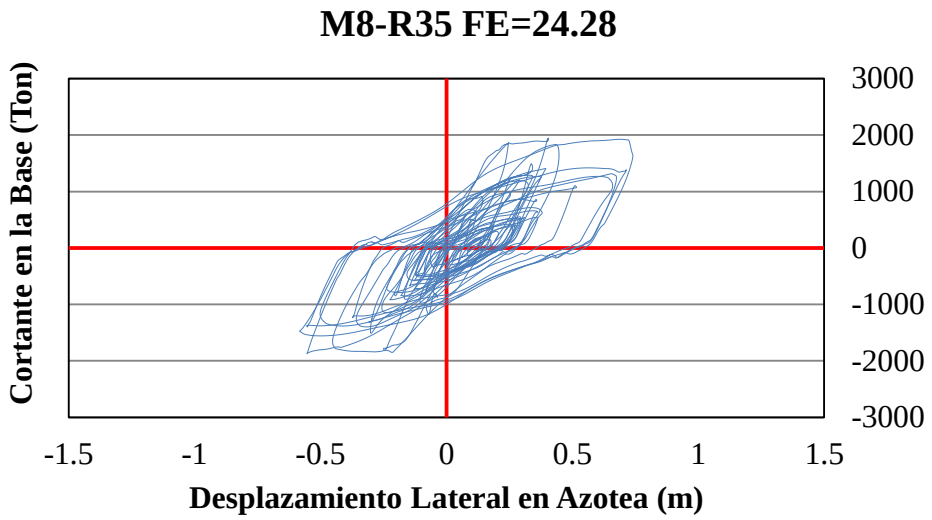

M8-R35 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.6554
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

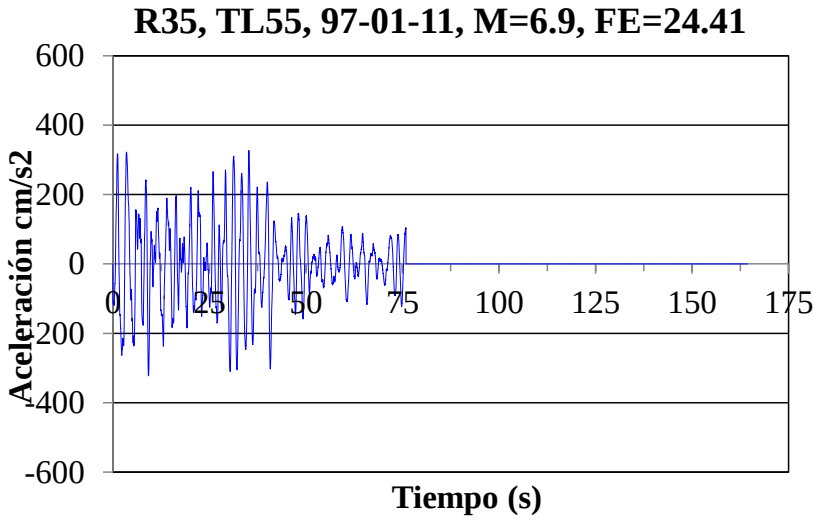

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

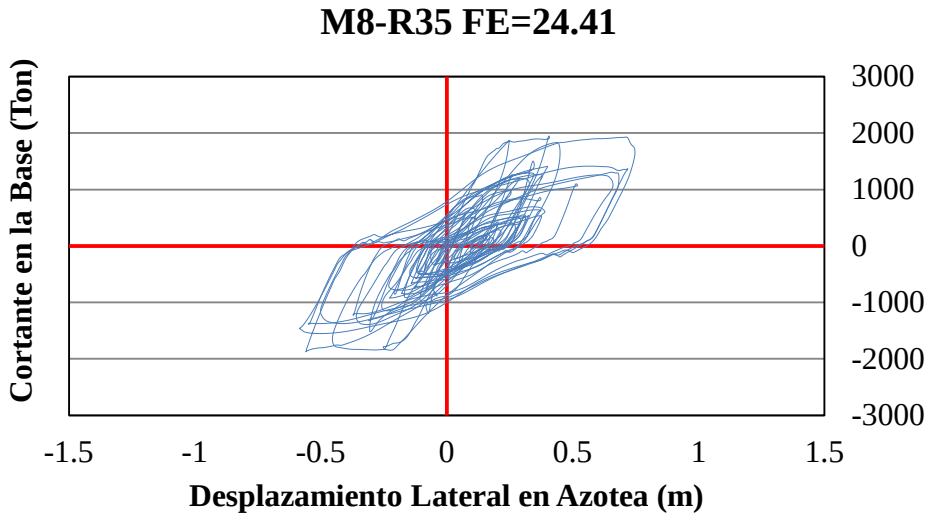

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=24.15
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

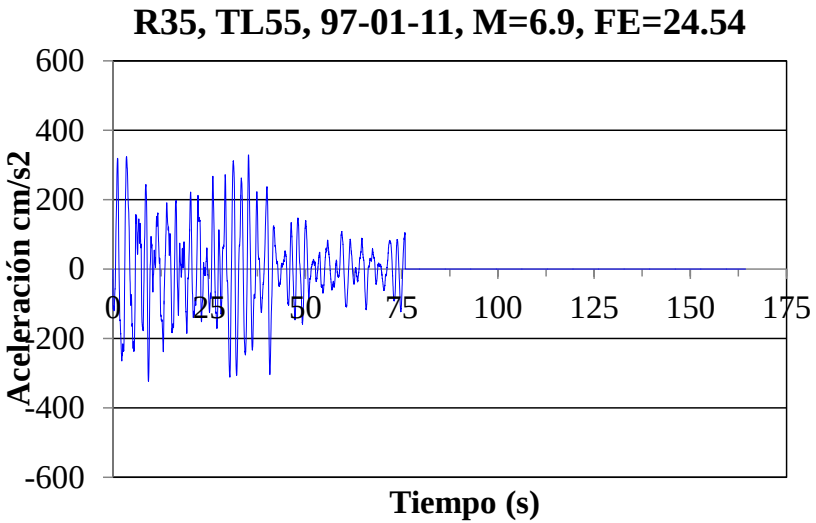

M8-R35 FE=24.15
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

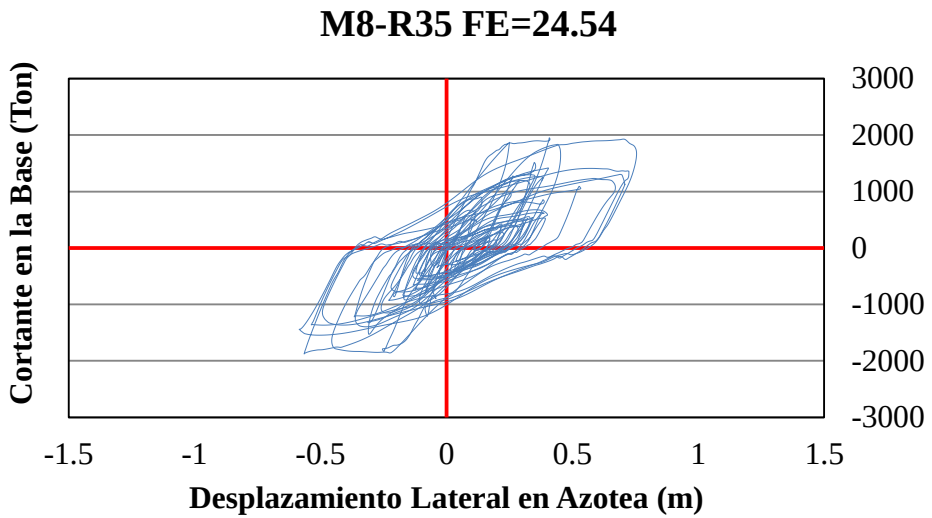

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=24.28
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

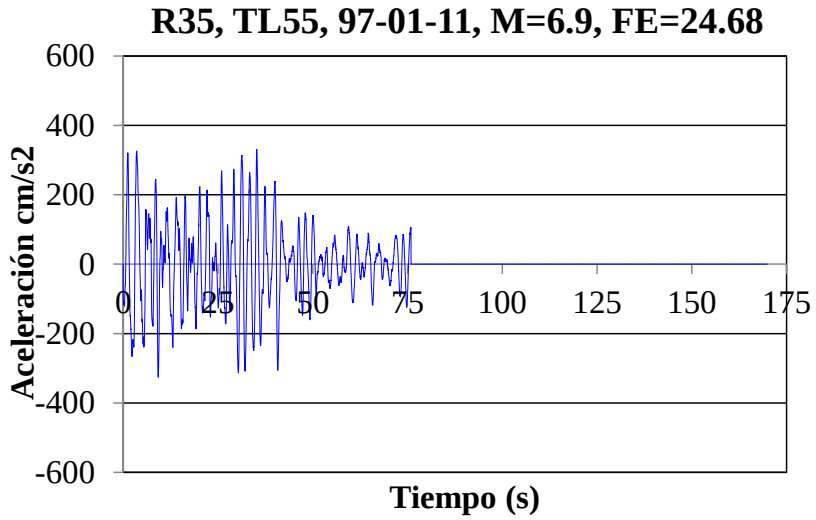

M8-R35 FE=24.28
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

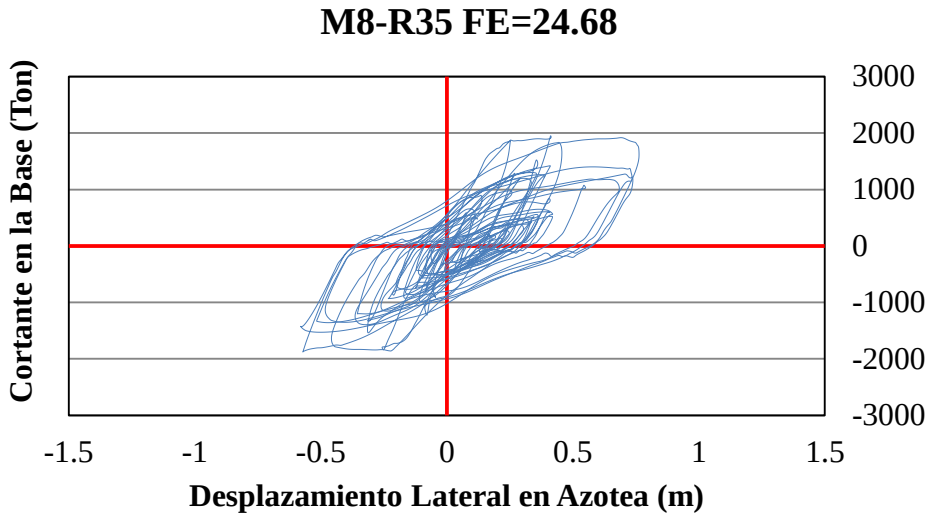

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=24.41
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

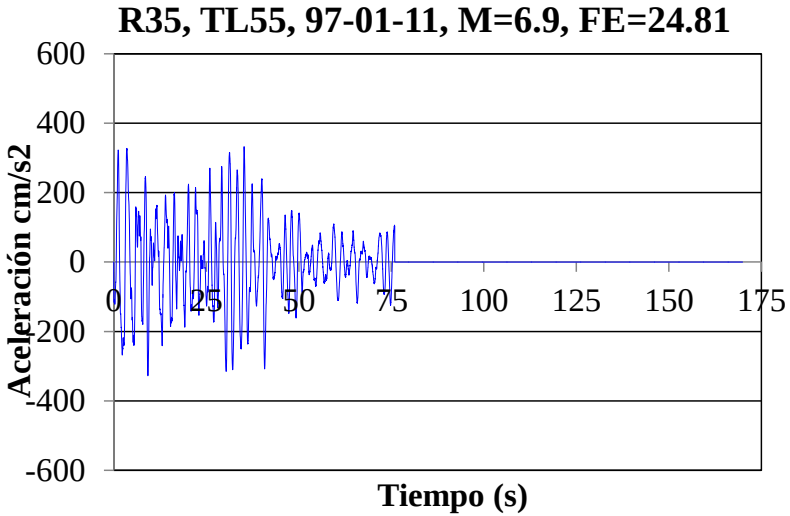

M8-R35 FE=24.41
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

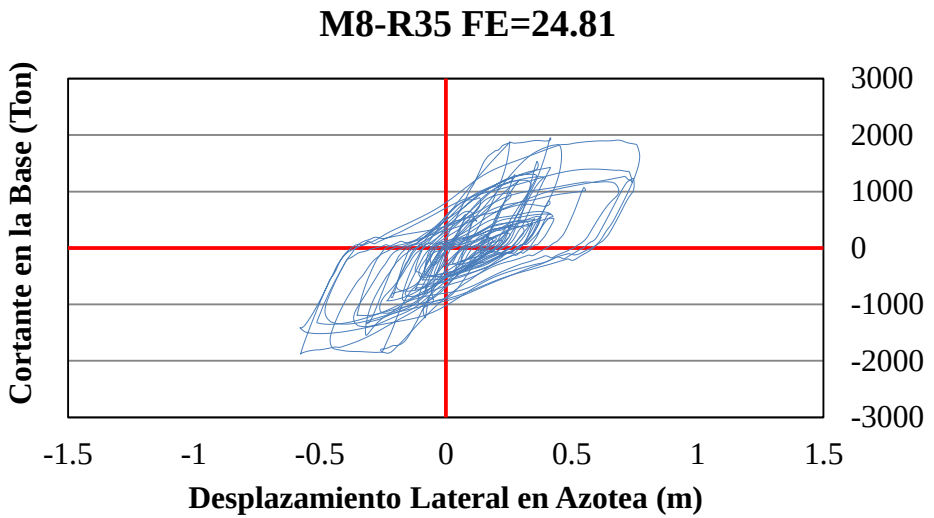

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=24.54
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

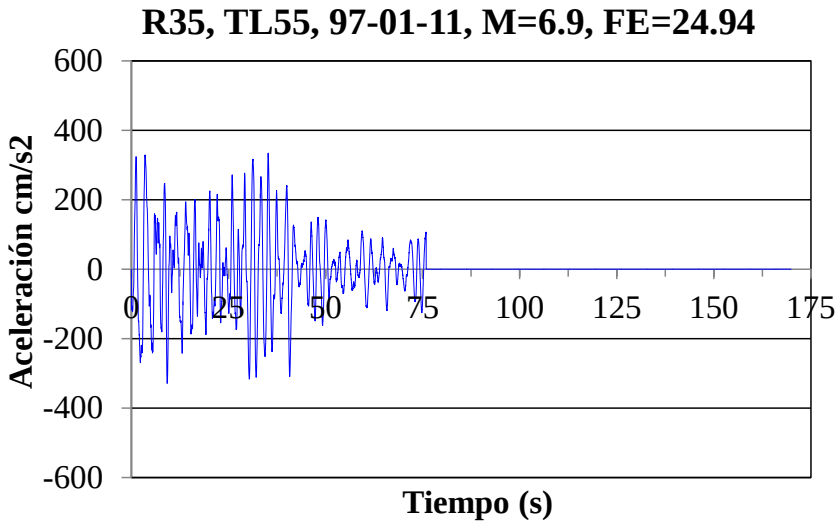

M8-R35 FE=24.54
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

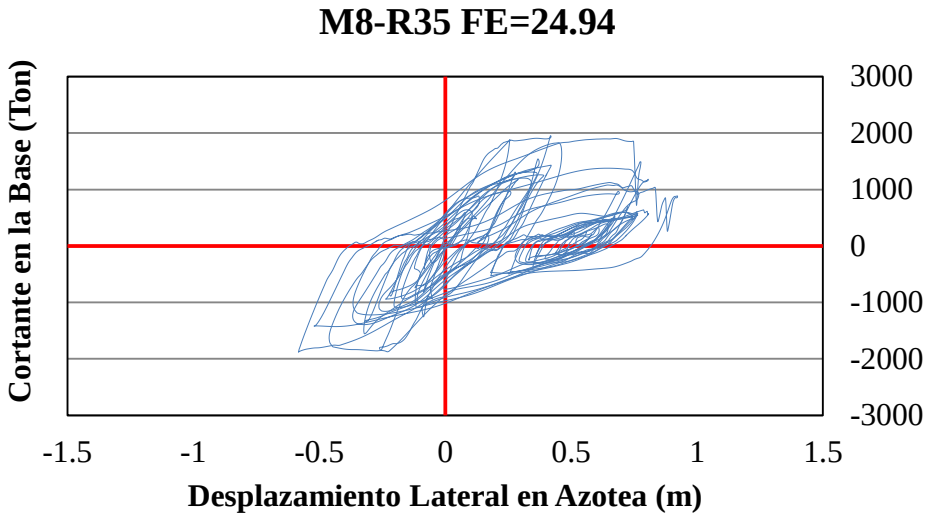

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=24.68
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

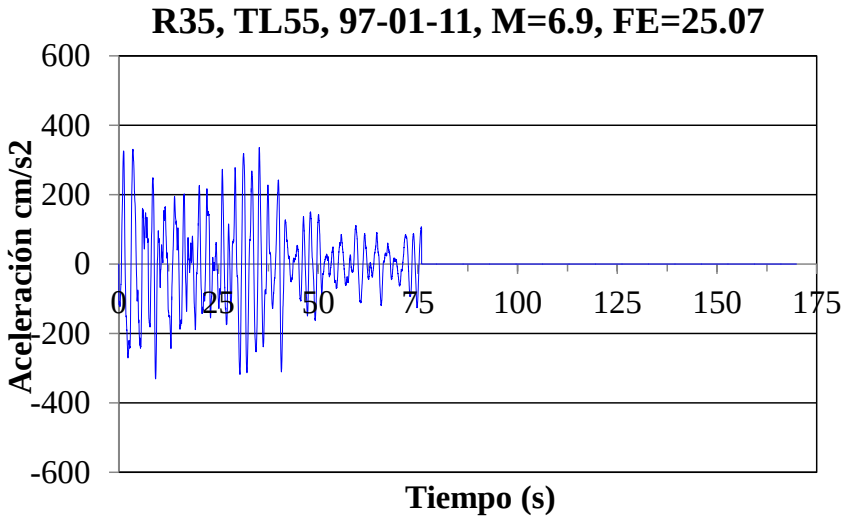

M8-R35 FE=24.68
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

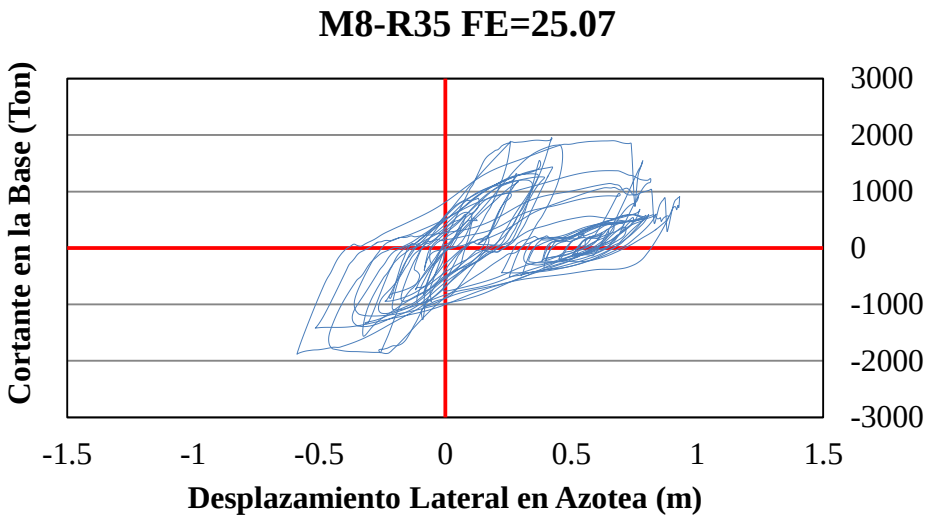

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=24.81
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

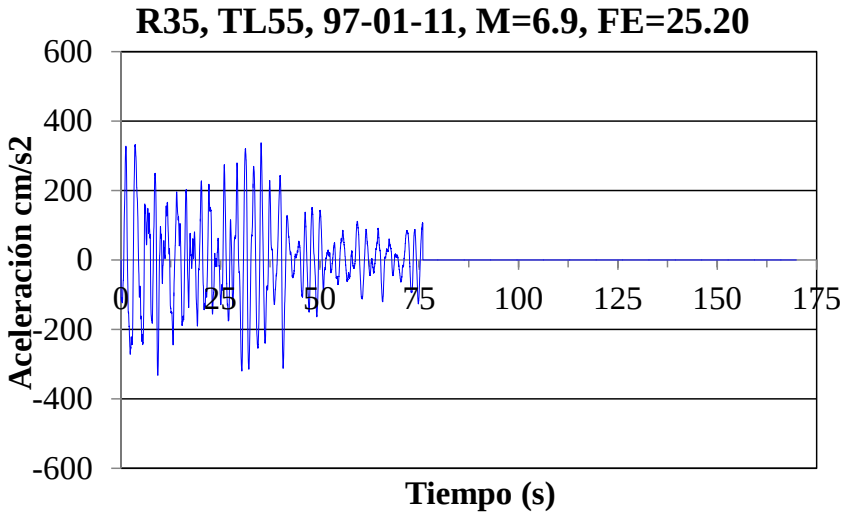

M8-R35 FE=24.81
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

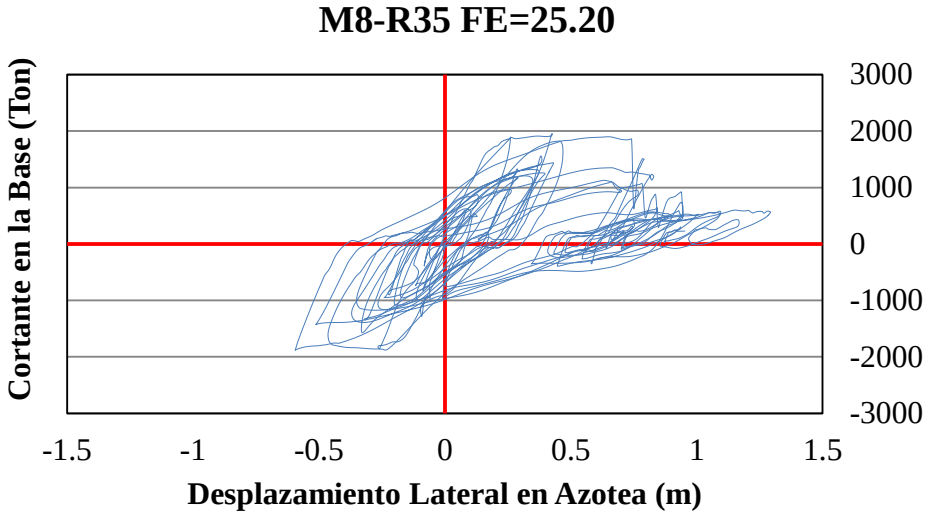

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=24.94
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

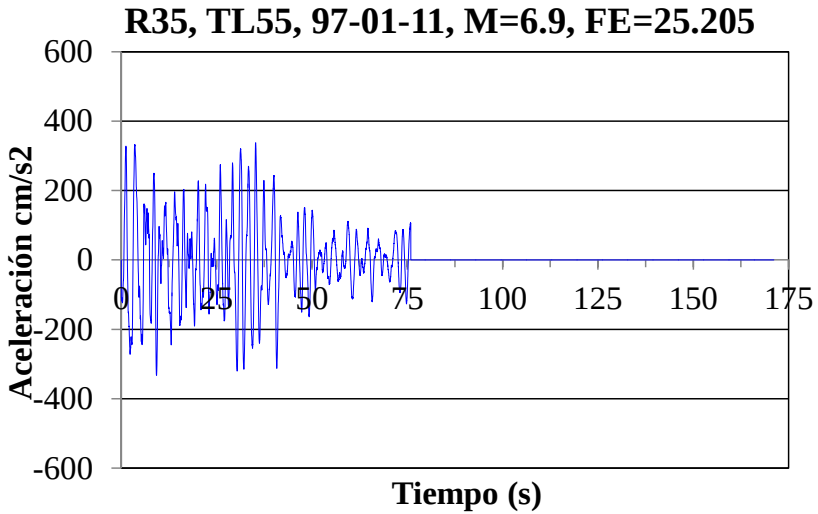

M8-R35 FE=24.94
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

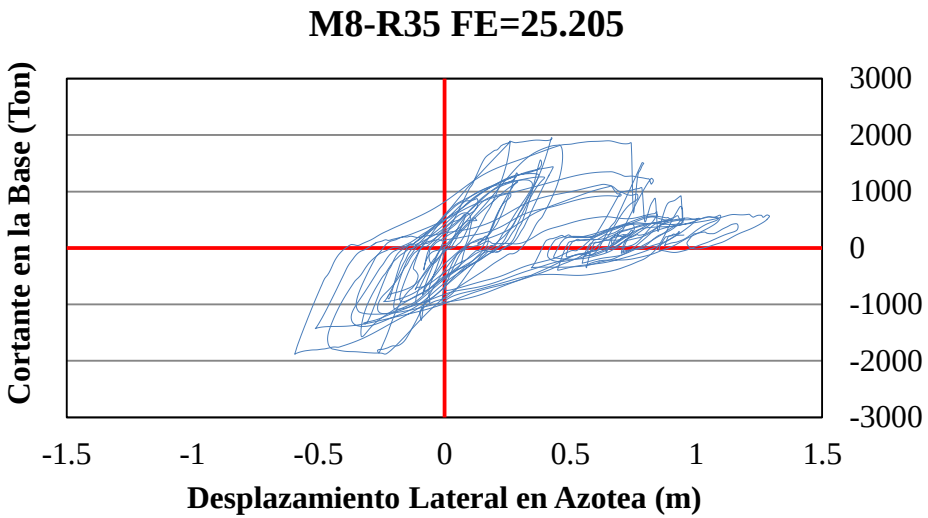

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=25.07
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

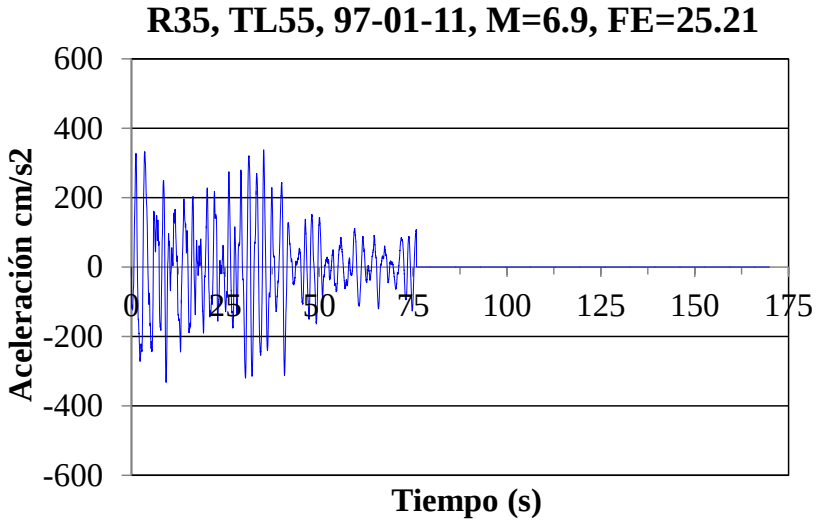

M8-R35 FE=25.07
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

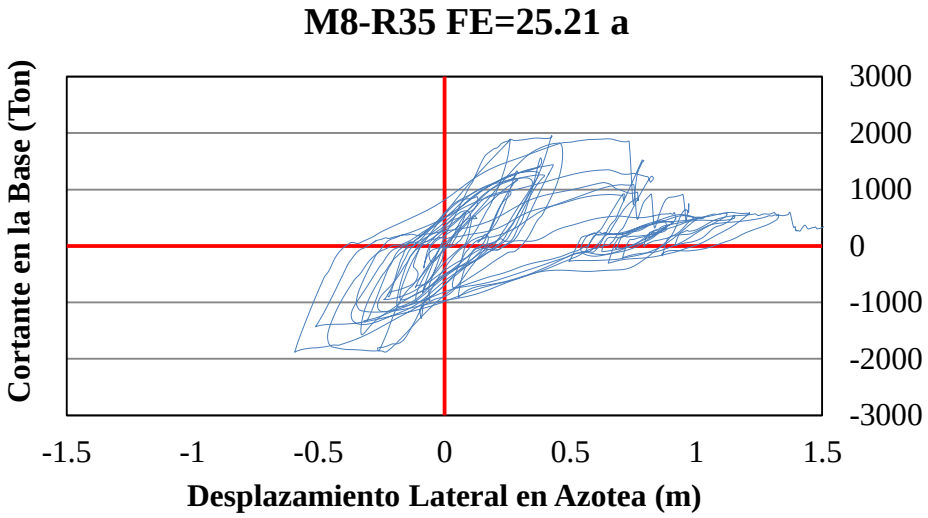

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=25.20
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

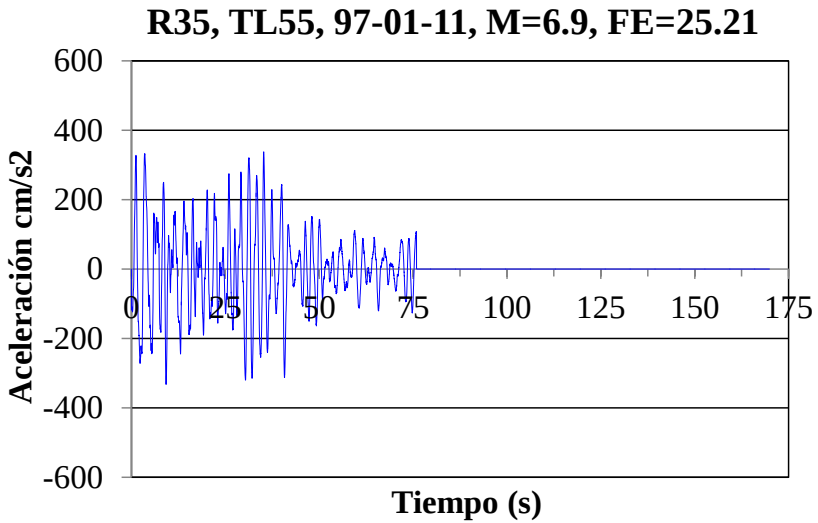

M8-R35 FE=25.20
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

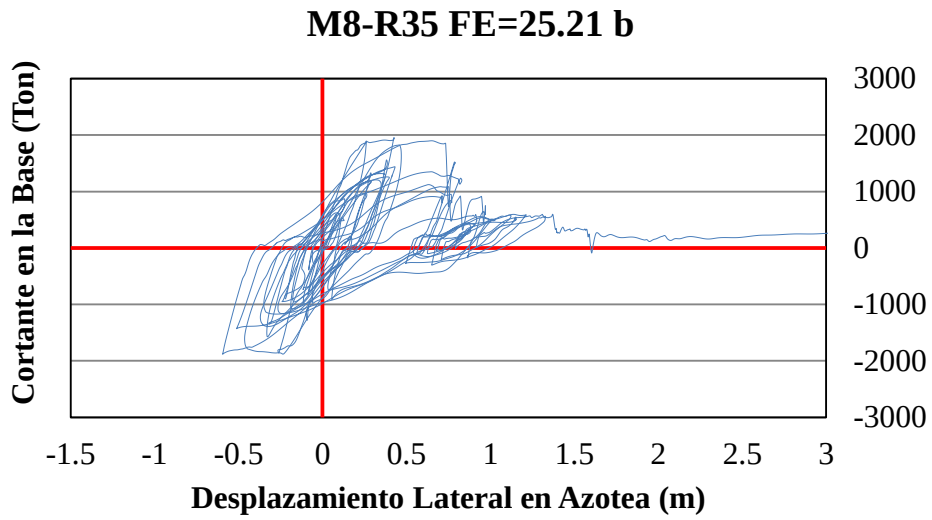

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=25.205
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

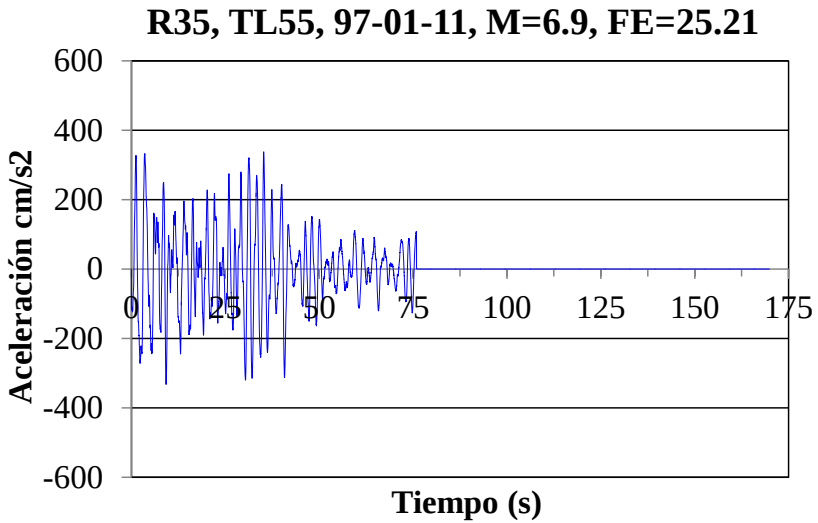

M8-R35 FE=25.205
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

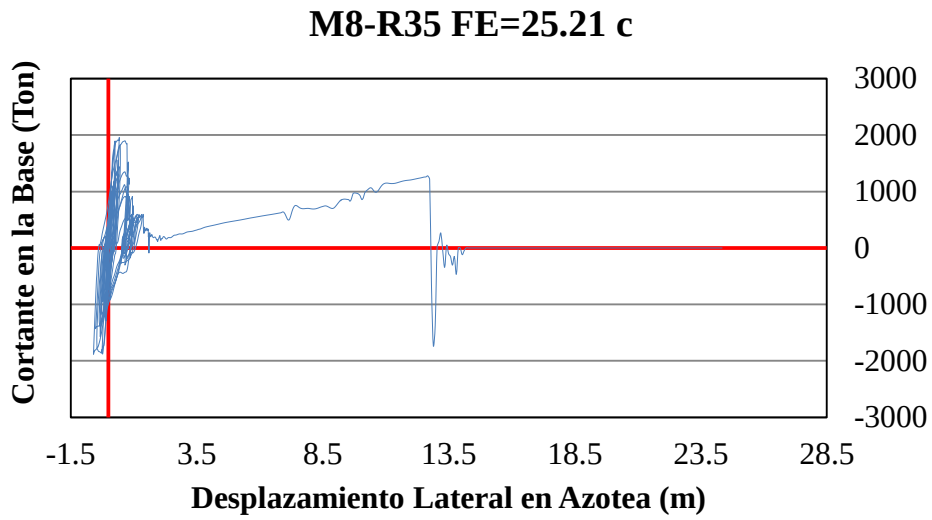

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=25.21
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

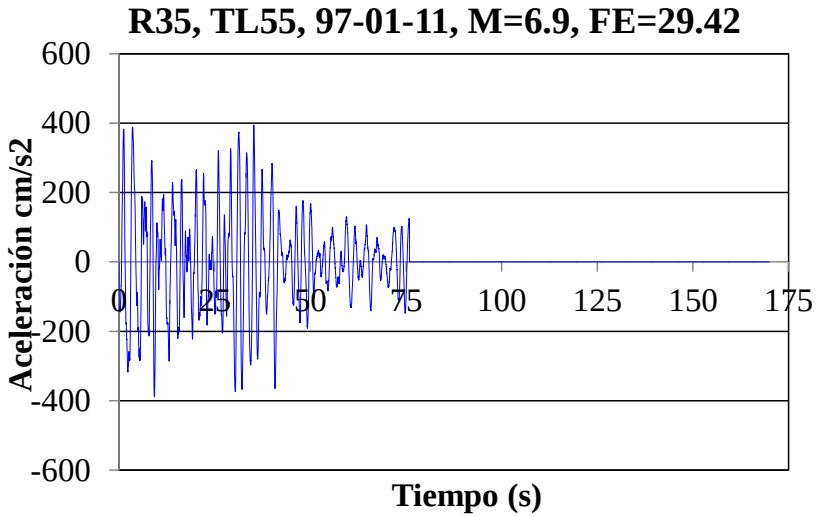

M8-R35 FE=25.21 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

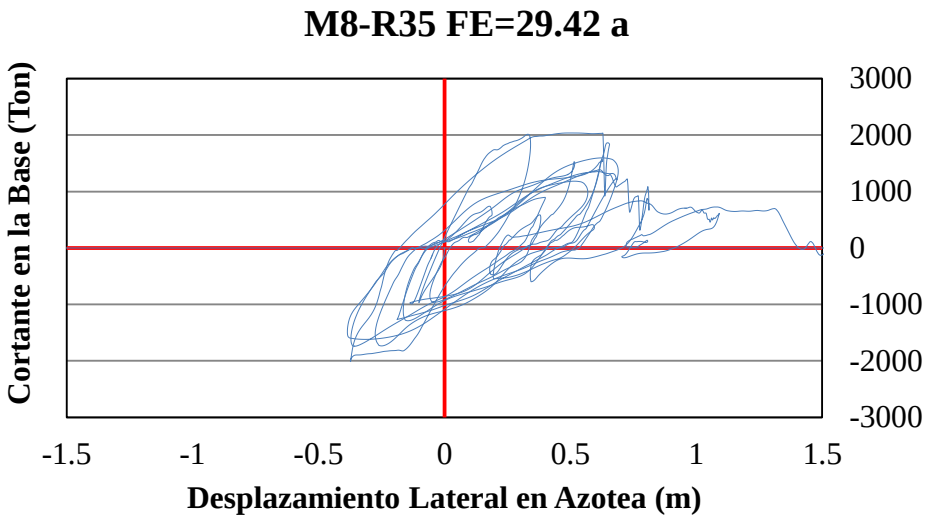

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=25.21
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

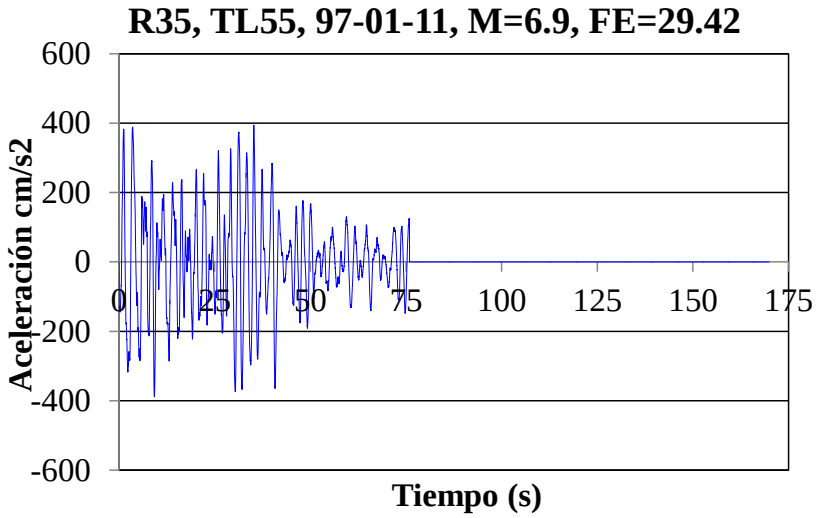

M8-R35 FE=25.21 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

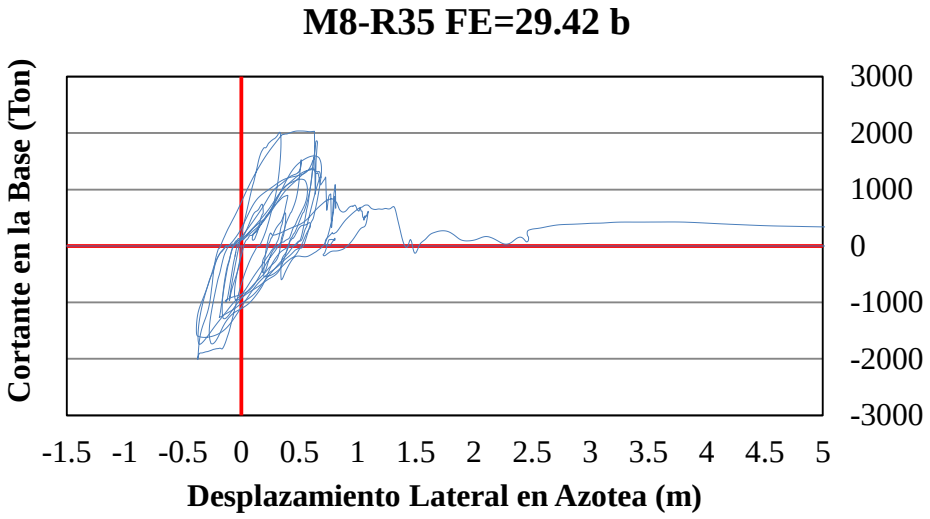

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=25.21
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

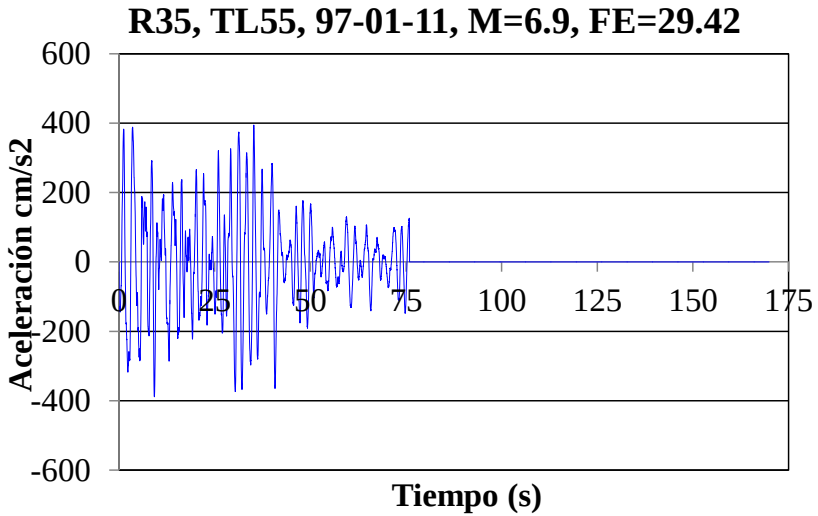

M8-R35 FE=25.21 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
3.5
8.5
13.5
18.5
23.5
28.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

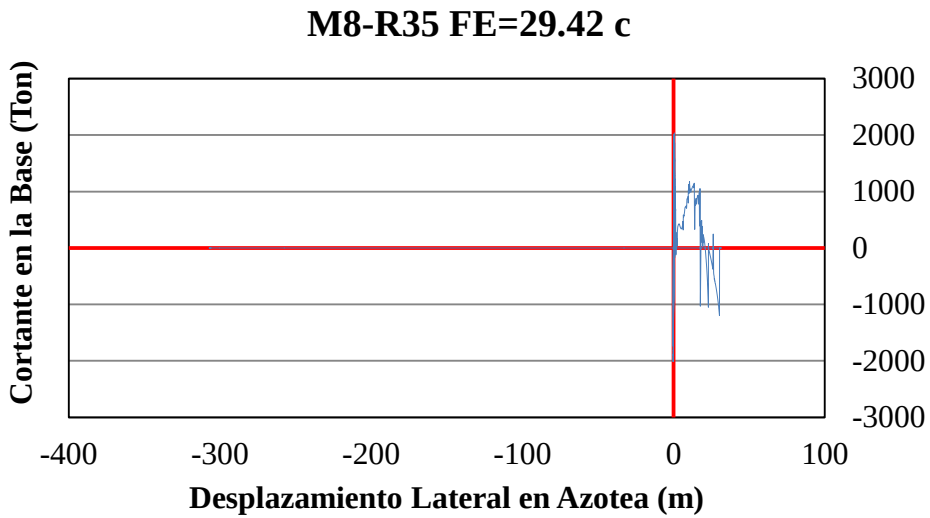

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=29.42
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R35 FE=29.42 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=29.42
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R35 FE=29.42 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

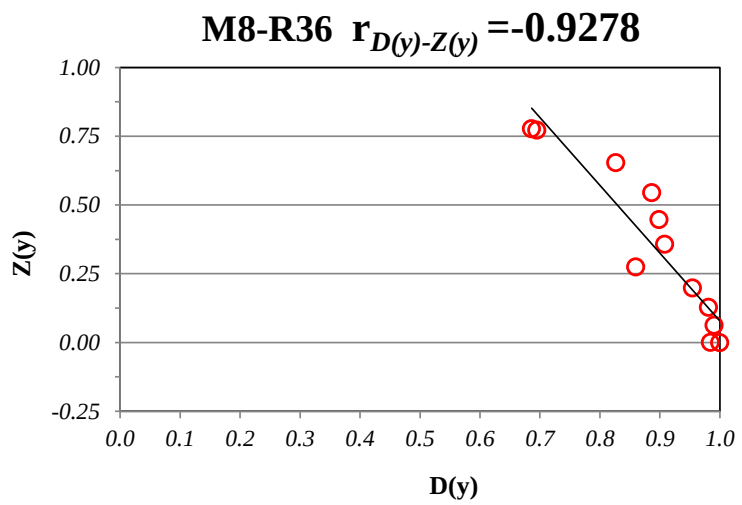

R35, TL55, 97-01-11, M=6.9, FE=29.42
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

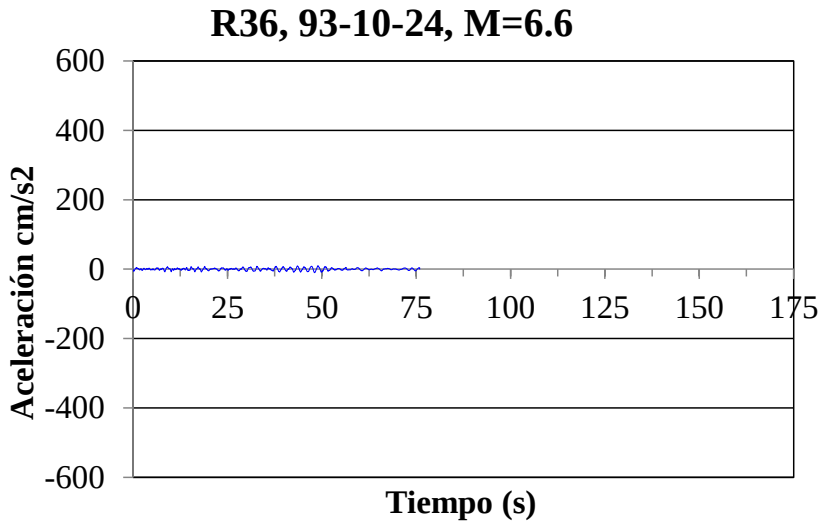

M8-R35 FE=29.42 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-400
-300
-200
-100
0
100
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

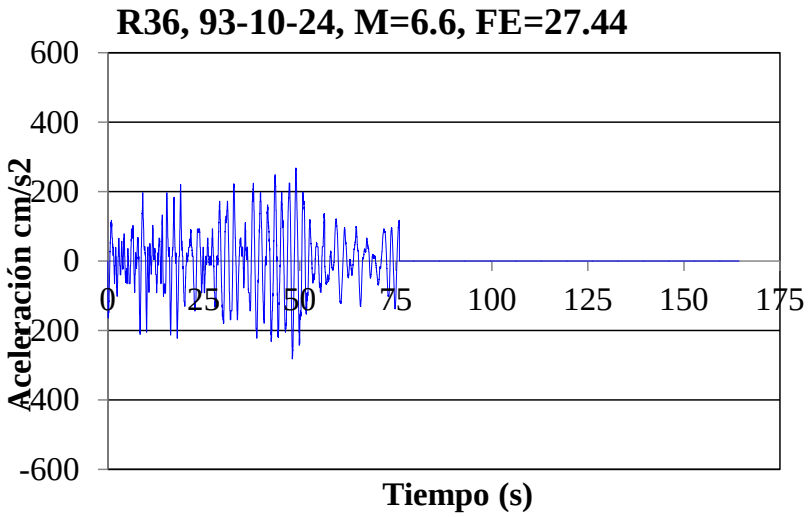
M8-R36

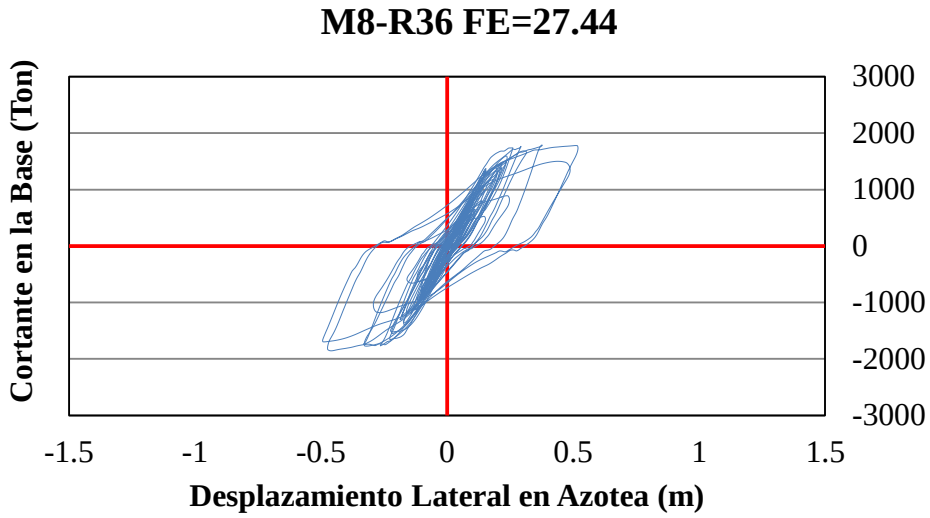
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
7.5	**6.86**	**10 913.69**	**0.025**	**-0.9278**

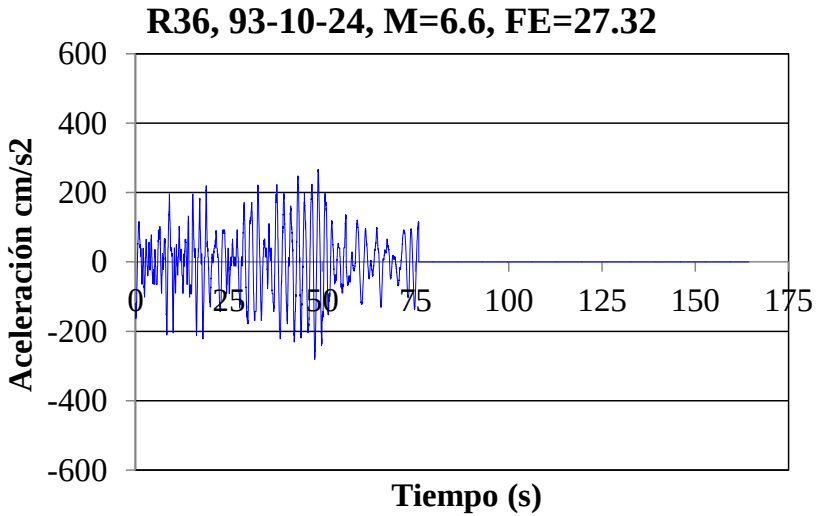
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo **(seg)**	Desplazamiento Máximo Absoluto **(m)**	Cortante Basal Máximo **(Ton)**	Rigidez Secante k_{y_i} **(Ton/m)**	Índice de la Degradación de la Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6884	27.440	49.5100	0.5195	1728.808	3 327.83	0.6951	0.772
0.6854	27.320	49.5000	0.5093	1745.439	3 427.13	0.6860	0.777
0.7748	30.880	49.7000	0.6696	1268.100	1 893.82	0.8265	0.654
0.8642	34.450	49.7600	0.7337	908.966	1 238.88	0.8865	0.545
0.9536	38.010	49.7800	0.7217	799.497	1 107.80	0.8985	0.446
1.0430	41.580	47.9600	0.7078	711.531	1 005.27	0.9079	0.357
1.1325	45.140	38.5000	0.7370	1127.564	1 529.94	0.8598	0.274
1.2219	48.710	49.8300	0.8181	405.806	0 496.03	0.9545	0.198
1.3113	52.270	49.8500	1.0250	211.794	0 206.63	0.9811	0.128
1.4007	55.840	49.8800	1.3109	137.438	0 104.84	0.9904	0.062
1.4901	59.400	56.4000	3.1622	536.629	0 169.70	0.9845	0.000
1.4914	59.450	56.4000	21.5179	-0.002	0 000.00	1.0000	-0.001

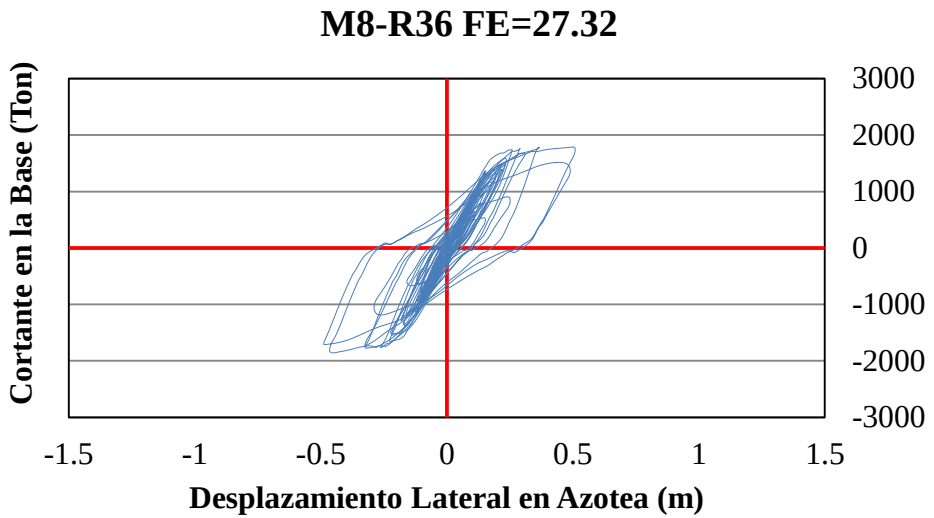

M8-R36 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.9278
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

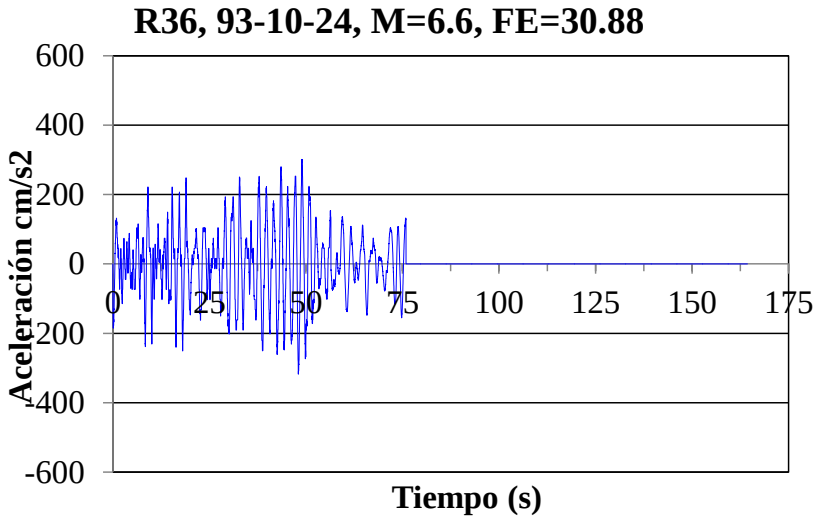

R36, 93-10-24, M=6.6
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

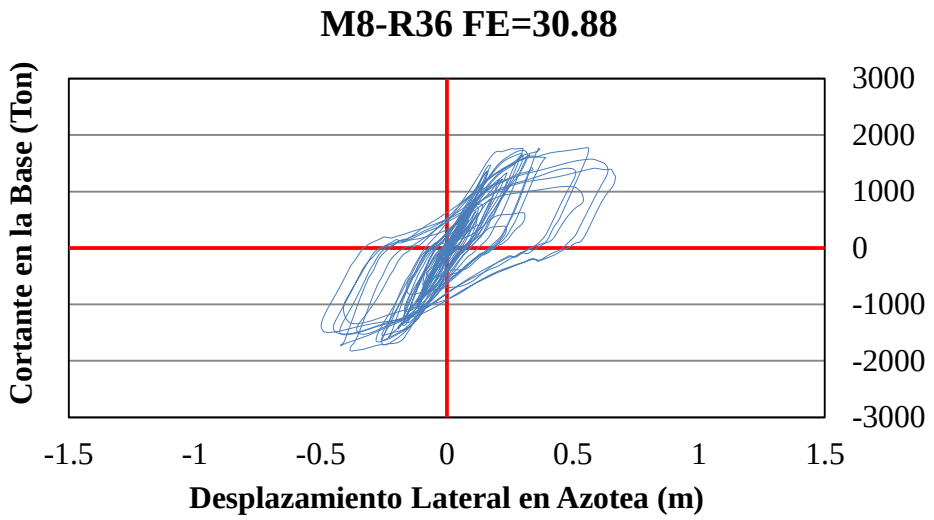

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=27.44
600
400
200
0
-200
-400
-600
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

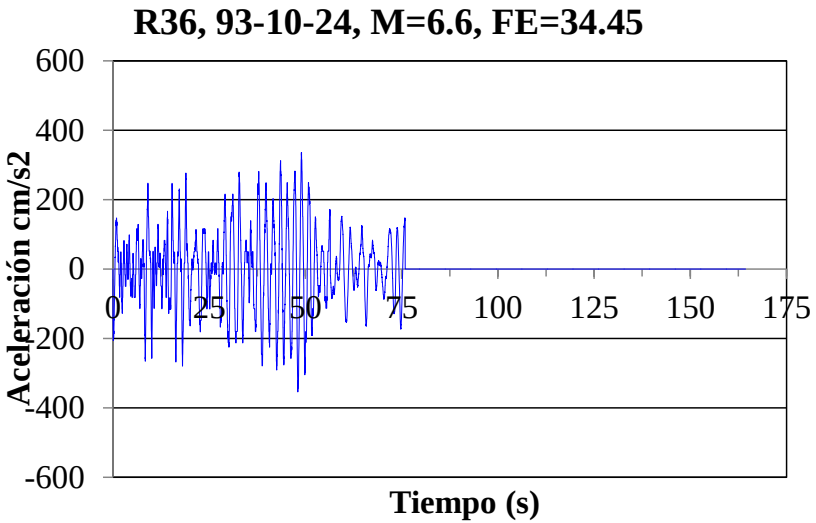

M8-R36 FE=27.44
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
Cortante en la Base (Ton)
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

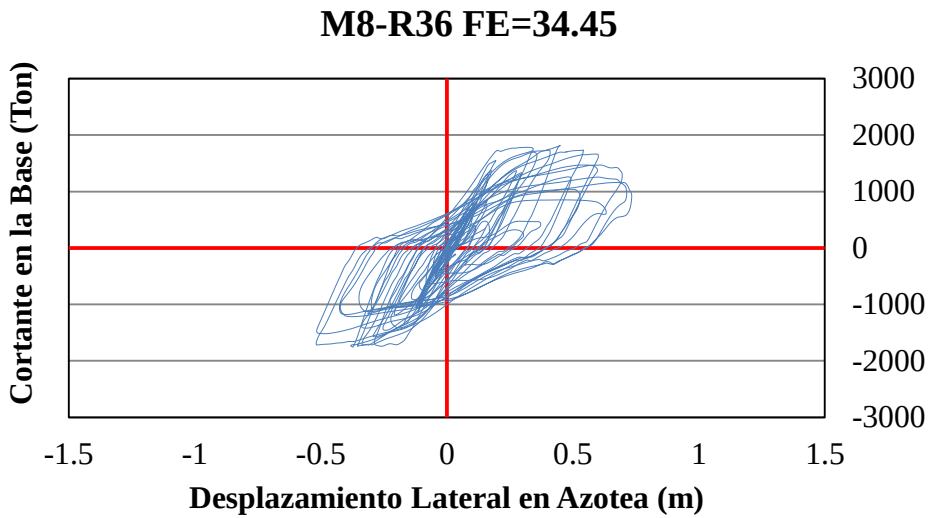

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=27.32
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

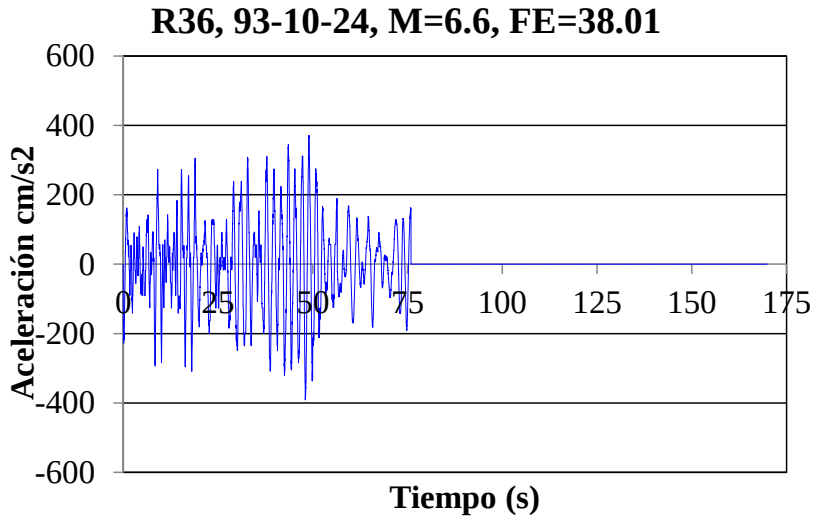

M8-R36 FE=27.32
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

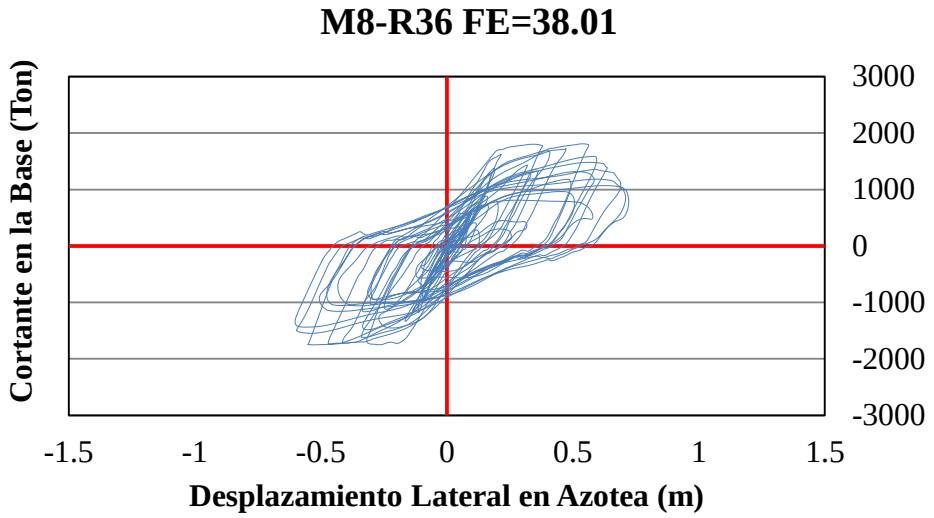

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=30.88
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

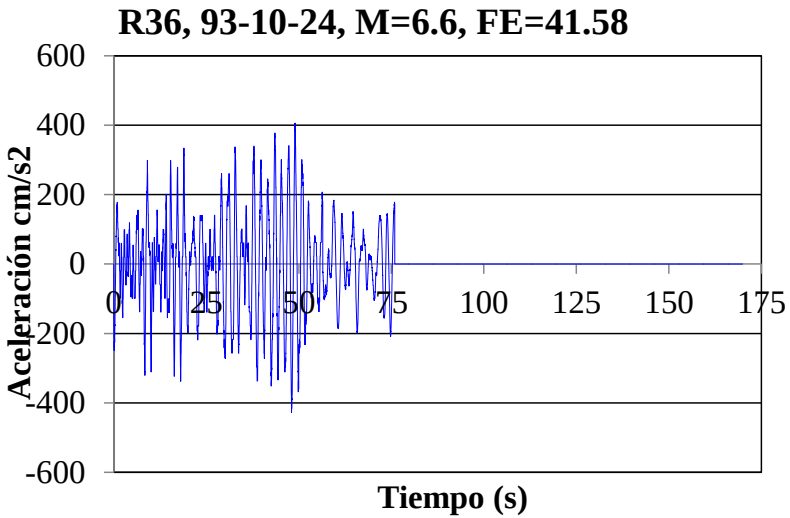

M8-R36 FE=30.88
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

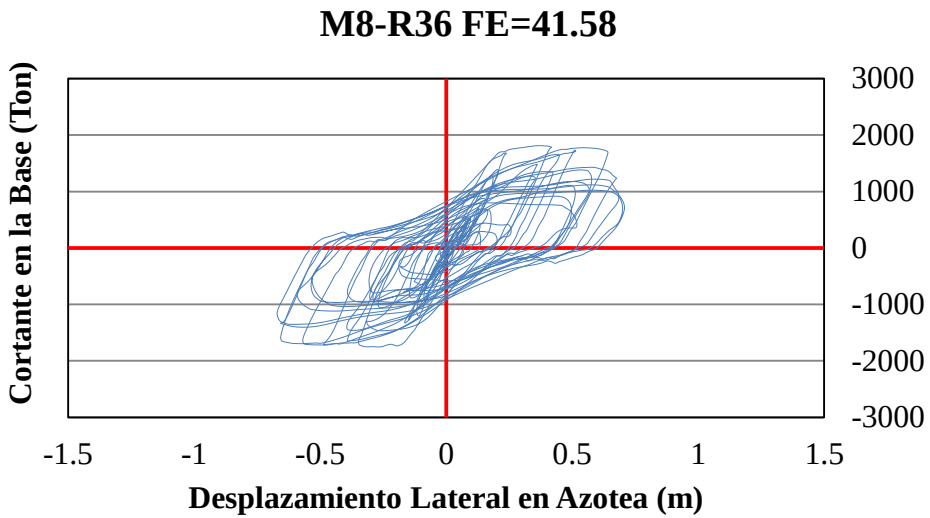

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=34.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

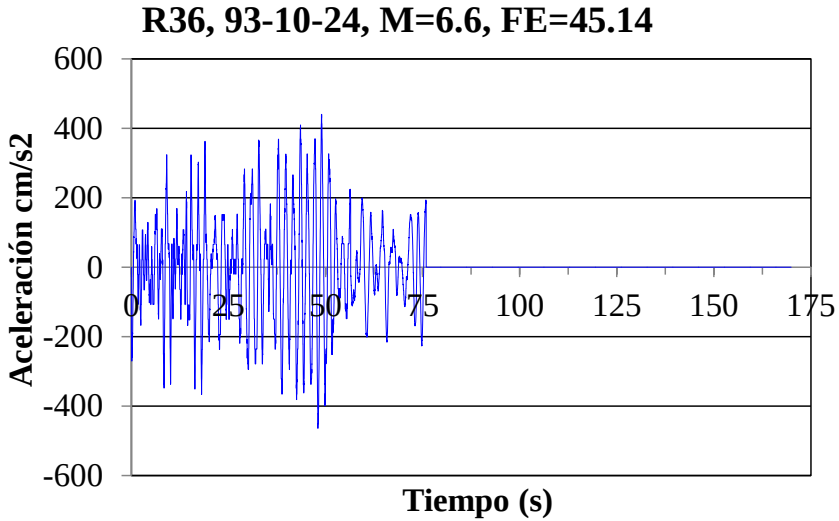

M8-R36 FE=34.45
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

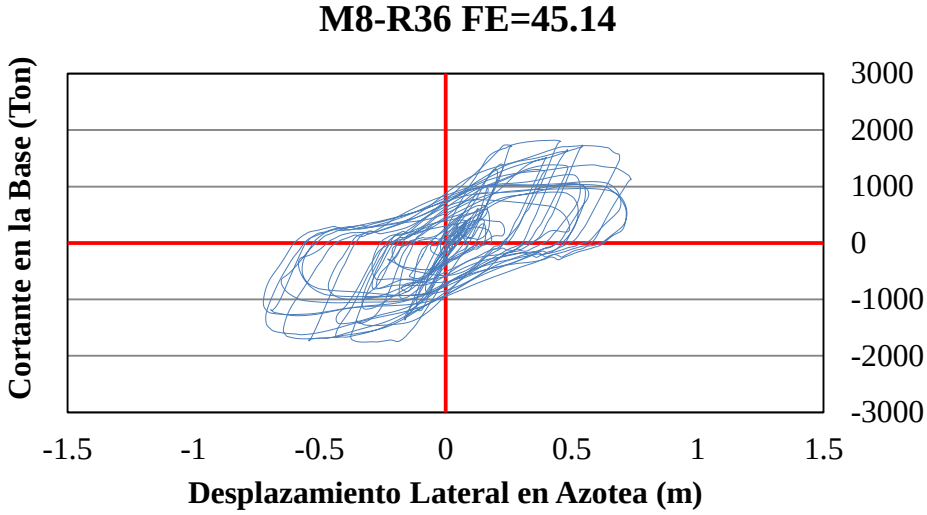

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=38.01
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

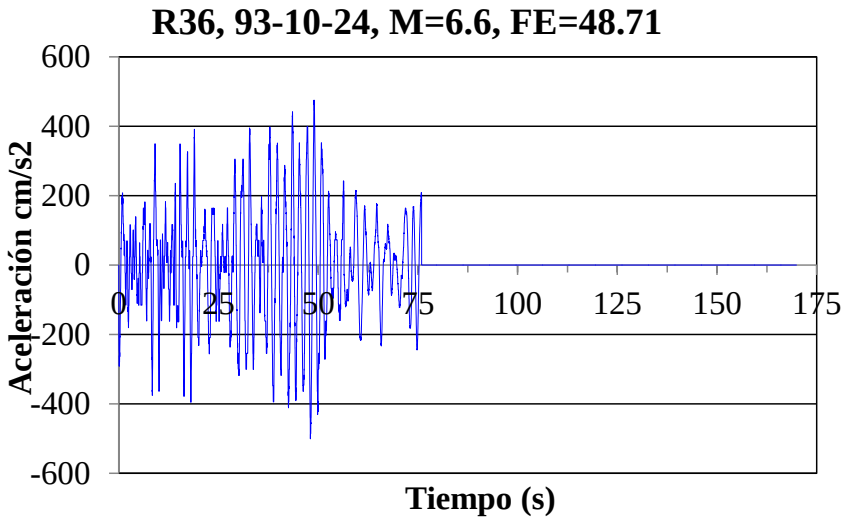

M8-R36 FE=38.01
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

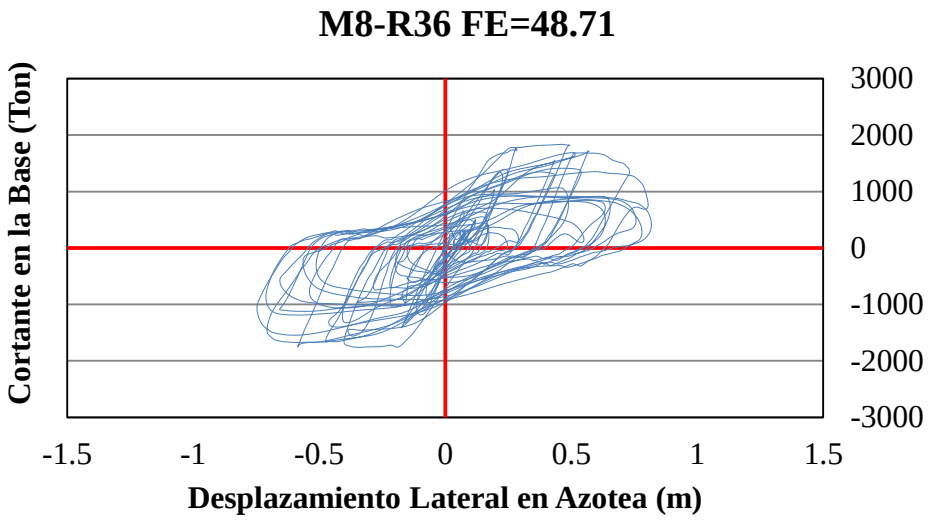

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=41.58
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

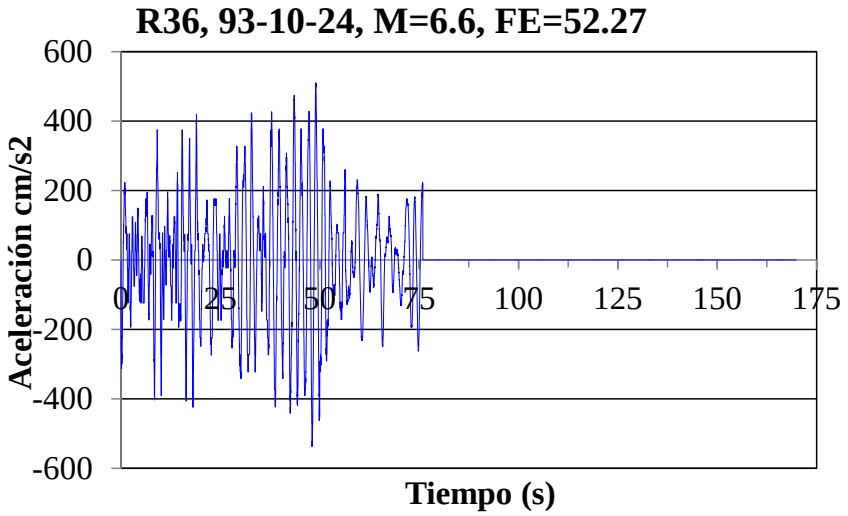

M8-R36 FE=41.58
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

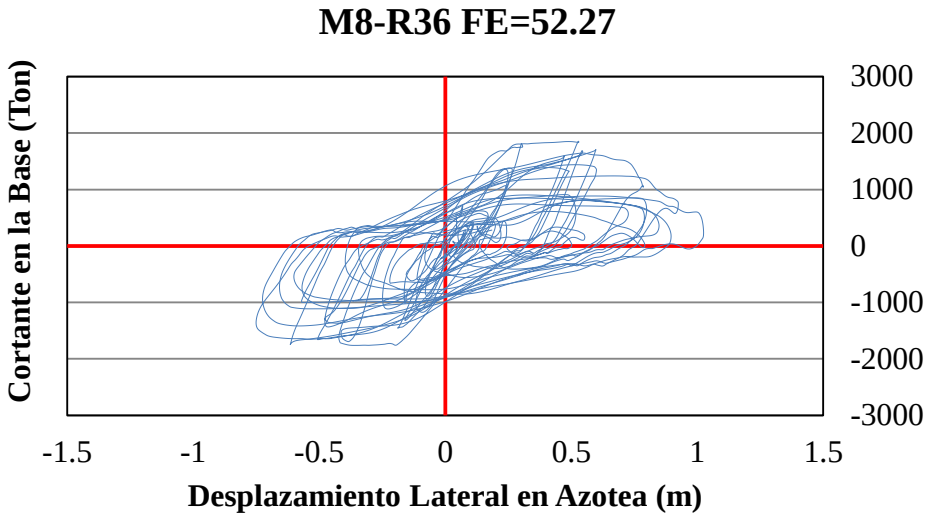

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=45.14
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

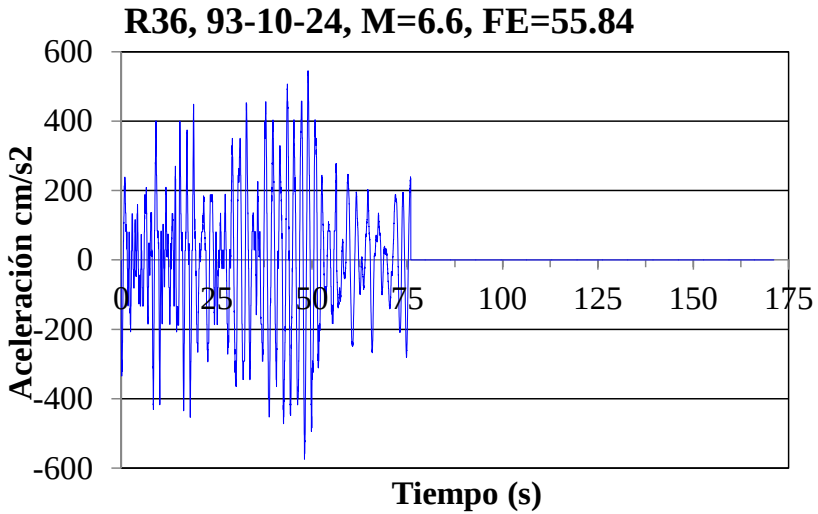

M8-R36 FE=45.14
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

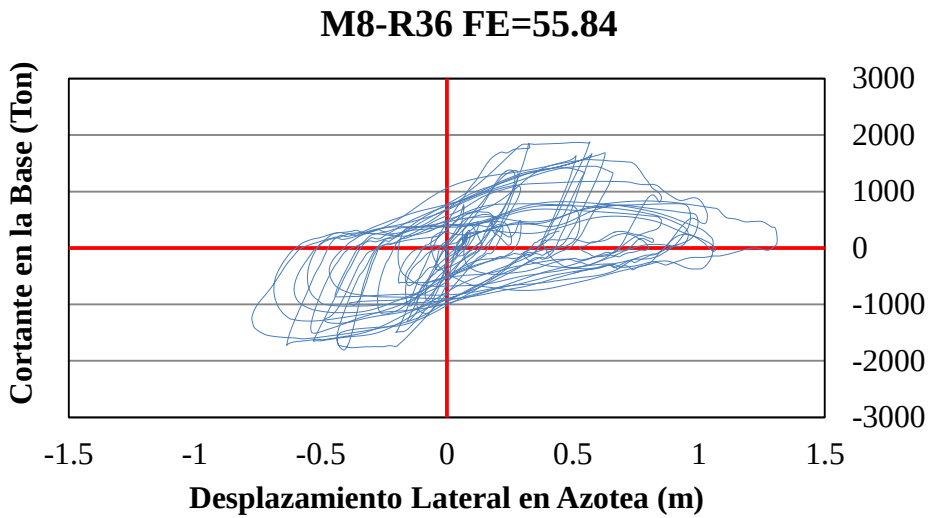

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=48.71
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

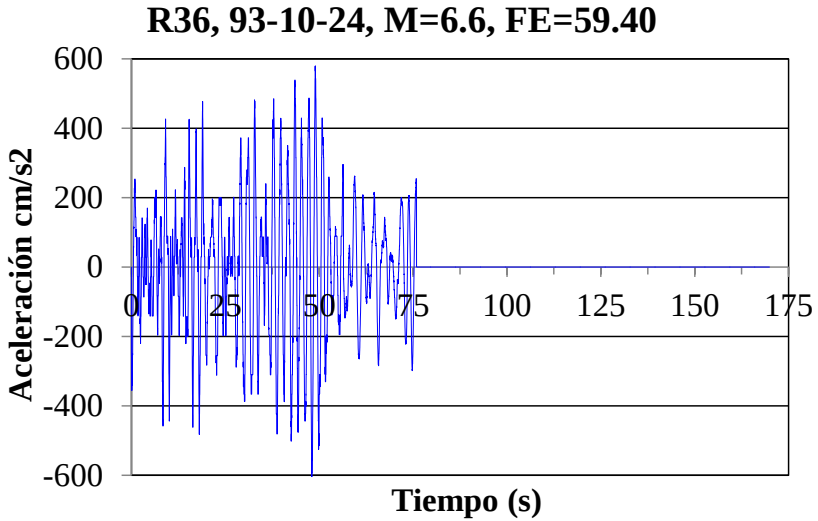

M8-R36 FE=48.71
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

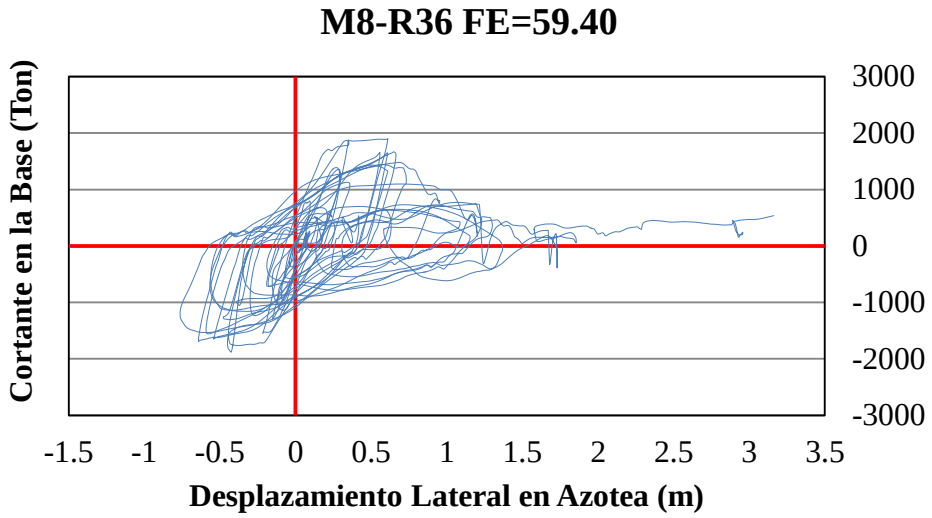

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=52.27
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

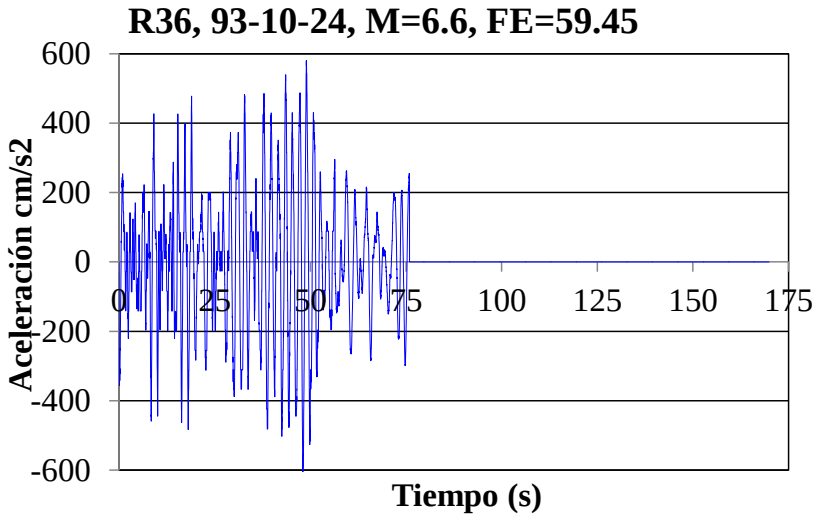

M8-R36 FE=52.27
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

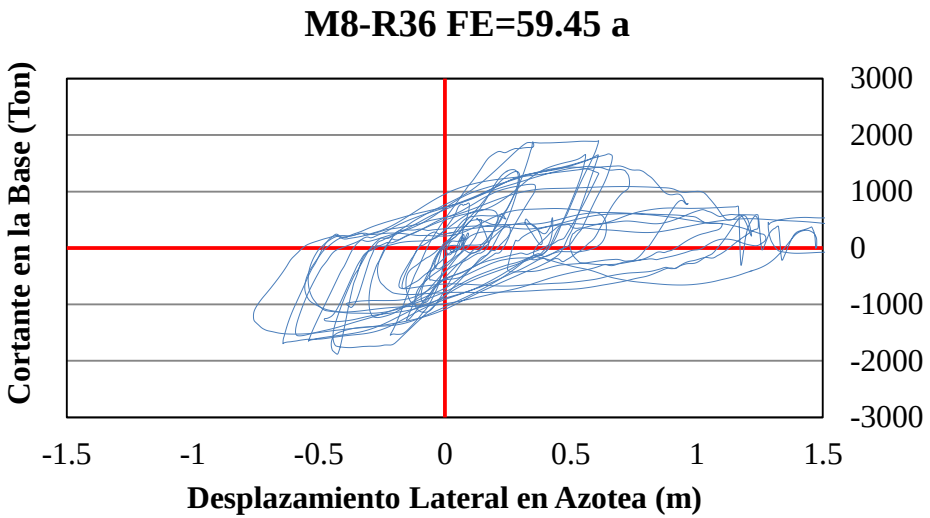

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=55.84
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

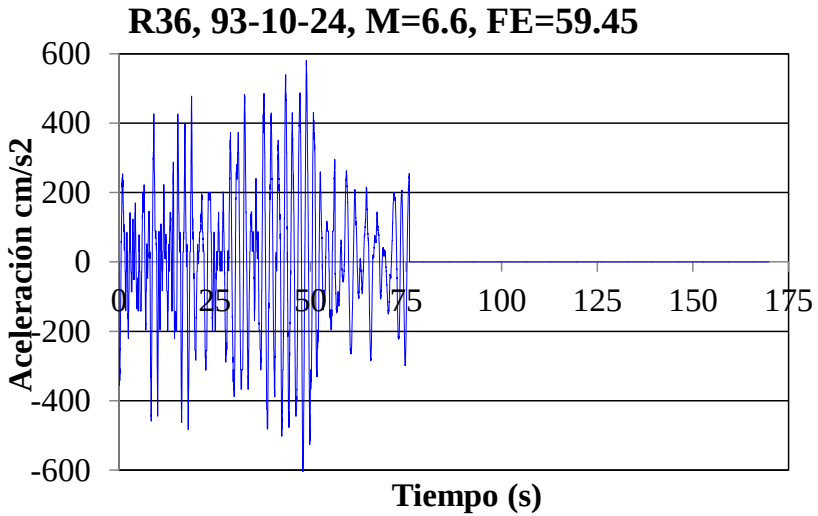

M8-R36 FE=55.84
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

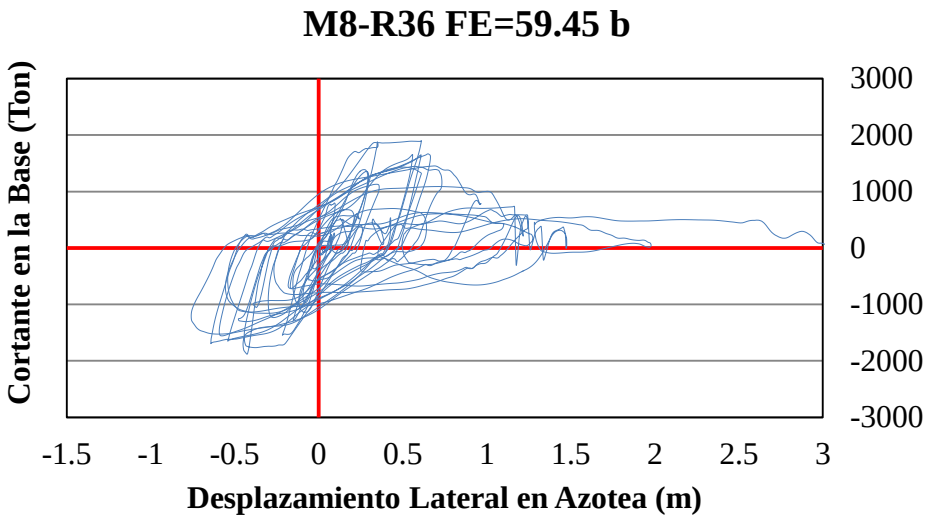

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=59.40
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

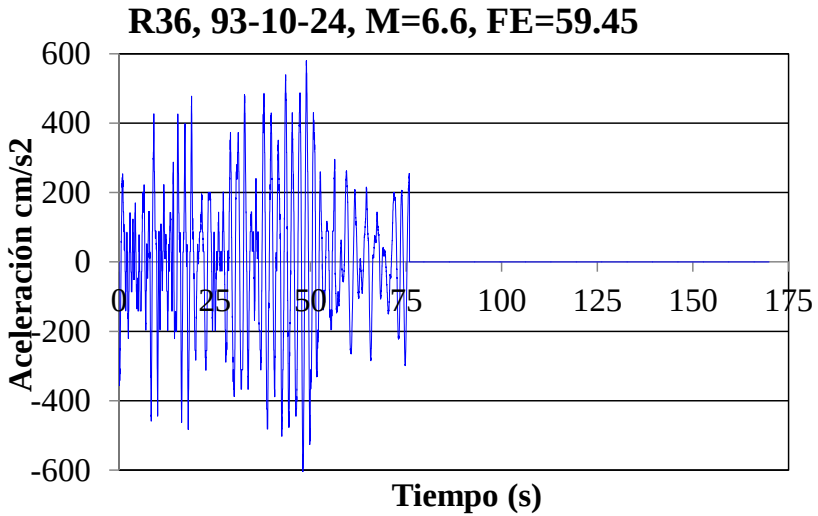

M8-R36 FE=59.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

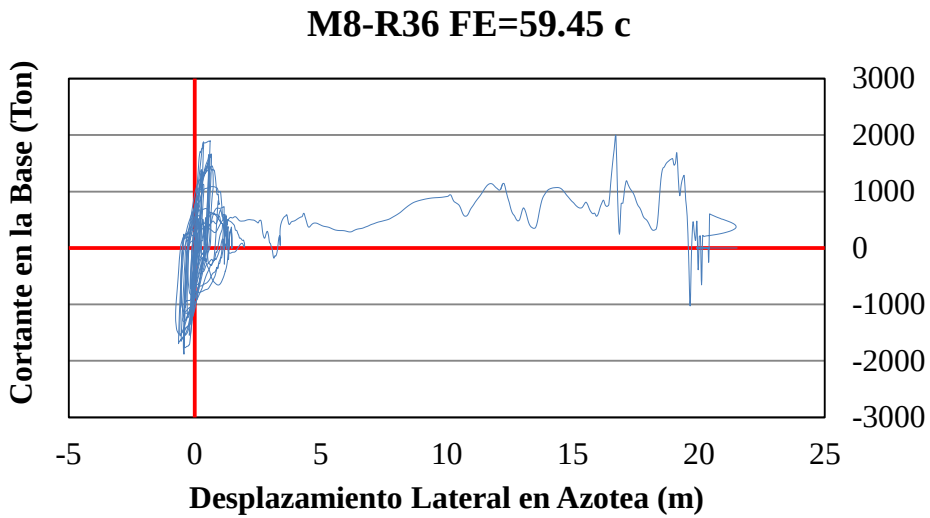

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=59.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R36 FE=59.45 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R36, 93-10-24, M=6.6, FE=59.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R36 FE=59.45 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

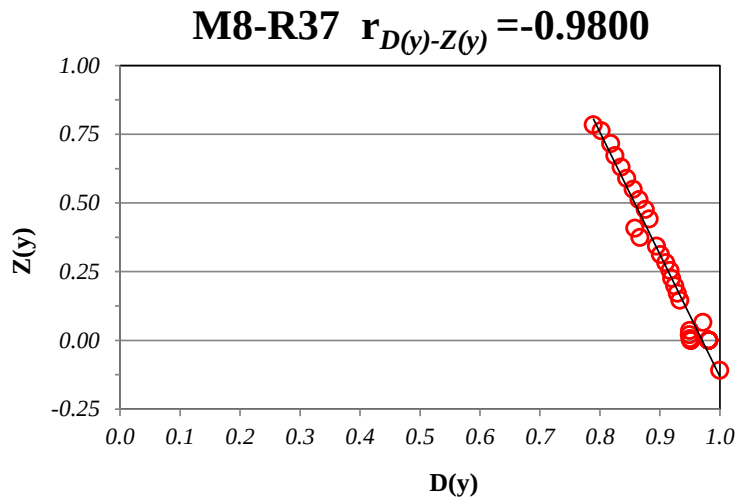

R36, 93-10-24, M=6.6, FE=59.45
Aceleración cm/s2
600
400
200
0
-200
-400
-600
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

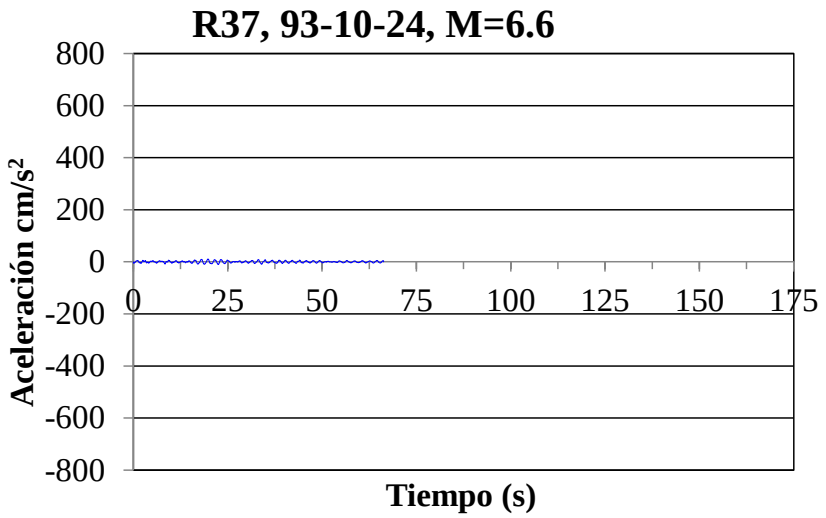

M8-R36 FE=59.45 c
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-5
0
5
10
15
20
25
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

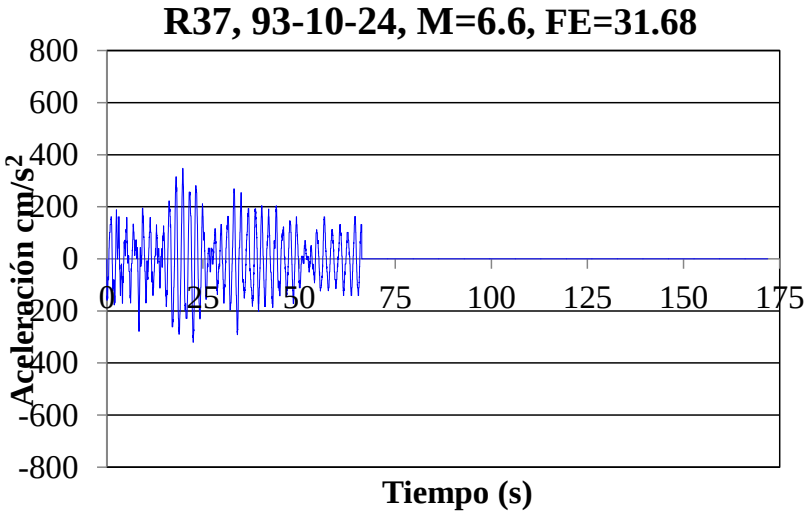
M8-R37

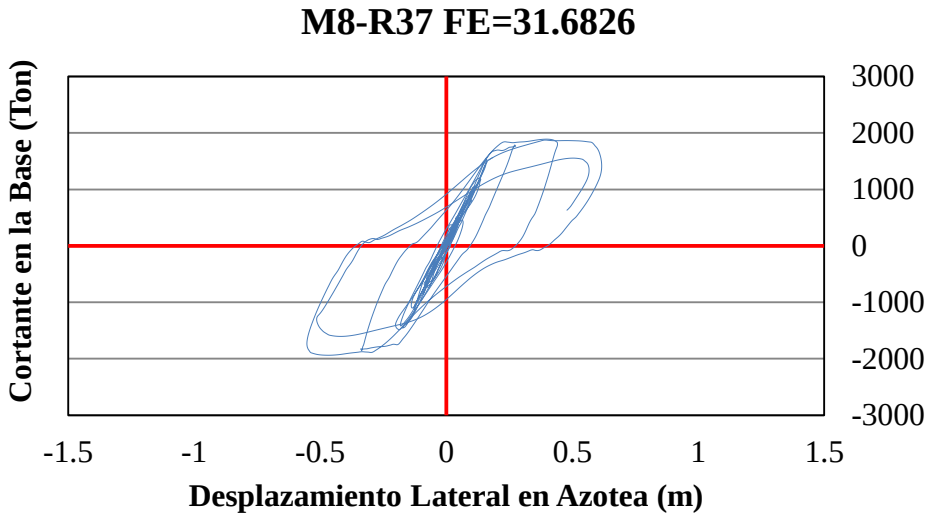
Magnitud del Sismo	Y_C	k_0 (Ton/m)	Seudo Aceleración $\frac{S_a}{g}$	Coeficiente de Correlación $r_{D(y)-Z(y)}$
6.0	6.83	10 913.69	0.009	-0.9800

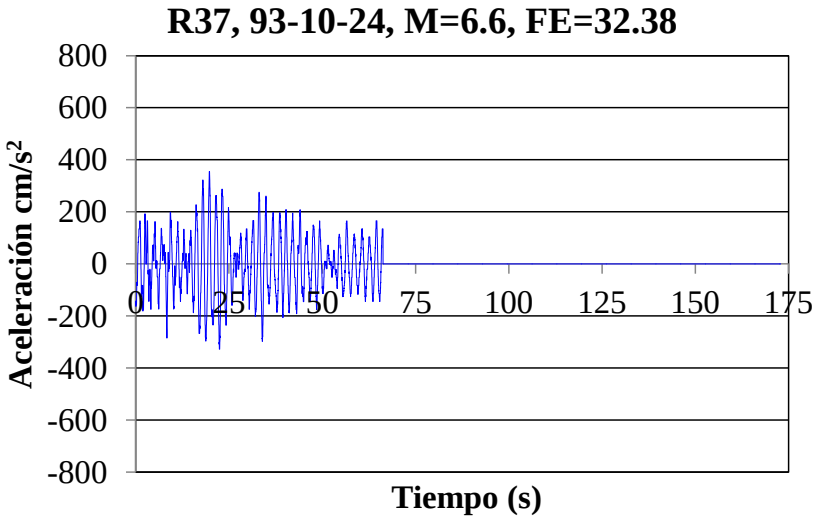
Intensidad a Escalar	Factor de Escala FE DRAIN	Tiempo (seg)	Desplazamiento Máximo Absoluto (m)	Cortante Basal Máximo (Ton)	Rigidez Secante k_{y_i} (Ton/m)	Índice de Rigidez Secante D_{y_i}	Z
0.6830	31.68	20.3000	0.6168	1419.589	2 301.54	0.7891	0.000
0.6981	32.38	20.3200	0.6319	1365.134	2 160.36	0.8021	-0.022
0.7312	33.92	20.3500	0.6613	1313.272	1 985.89	0.8180	-0.068
0.7643	35.45	20.3700	0.6880	1313.745	1 909.51	0.8250	-0.112
0.7974	36.99	20.3900	0.7124	1280.575	1 797.55	0.8353	-0.155
0.8304	38.52	20.4000	0.7381	1251.526	1 695.60	0.8446	-0.195
0.8635	40.06	20.4100	0.7625	1203.769	1 578.71	0.8553	-0.235
0.8966	41.59	20.4200	0.7726	1133.760	1 467.46	0.8655	-0.272
0.9296	43.12	20.4300	0.7747	1051.227	1 356.95	0.8757	-0.308
0.9627	44.66	20.4400	0.7770	1000.503	1 287.65	0.8820	-0.343
0.9958	46.19	18.6600	0.7793	1203.158	1 543.90	0.8585	-0.377
1.0289	47.73	18.6800	0.7854	1143.407	1 455.83	0.8666	-0.410
1.0619	49.26	20.4600	0.8045	928.969	1 154.72	0.8942	-0.441
1.0950	50.79	20.4600	0.8310	899.406	1 082.32	0.9008	-0.472
1.1281	52.33	20.4700	0.8774	862.579	0 983.11	0.9099	-0.502
1.1612	53.86	20.4800	0.9140	827.864	0 905.76	0.9170	-0.531
1.1942	55.40	20.4800	0.9513	835.418	0 878.19	0.9195	-0.559
1.2273	56.93	20.4900	0.9803	801.639	0 817.75	0.9251	-0.586
1.2604	58.47	20.5000	1.0162	785.377	0 772.86	0.9292	-0.613
1.2935	60.00	20.5000	1.0503	766.846	0 730.12	0.9331	-0.639
1.4012	65.00	20.5200	1.1402	352.447	0 309.11	0.9717	-0.719
1.4444	67.00	20.5200	1.0895	599.104	0 549.89	0.9496	-0.749
1.4659	68.00	20.5200	1.0365	572.163	0 552.01	0.9494	-0.764
1.4875	69.00	20.5200	0.9484	516.227	0 544.31	0.9501	-0.778
1.4939	69.30	20.5200	0.9348	495.787	0 530.37	0.9514	-0.783
1.4961	69.40	20.5200	0.9279	487.993	0 525.91	0.9518	-0.784
1.4965	69.420	20.5200	0.9262	487.451	0 526.29	0.9518	-0.784
1.4965	69.421	20.5200	0.9262	487.424	0 526.26	0.9518	-0.784
1.4966	69.422	20.5200	0.9262	487.397	0 526.23	0.9518	-0.784
1.4966	69.423	21.4900	0.9269	187.398	0 202.18	0.9815	-0.784
1.4966	69.424	21.4900	0.9270	187.420	0 202.18	0.9815	-0.784
1.4966	69.425	21.4900	0.9270	187.437	0 202.20	0.9815	-0.784
1.4967	69.426	21.4900	0.9270	187.458	0 202.22	0.9815	-0.784
1.4967	69.427	21.4900	0.9271	187.477	0 202.22	0.9815	-0.785
1.4967	69.428	21.4900	0.9271	187.493	0 202.24	0.9815	-0.785
1.4967	69.429	21.4900	0.9271	187.513	0 202.26	0.9815	-0.785
1.4967	69.430	21.4900	0.9272	187.531	0 202.26	0.9815	-0.785
1.6694	77.440	22.3500	18.4065	489.406	0 026.59	0.9976	-0.894

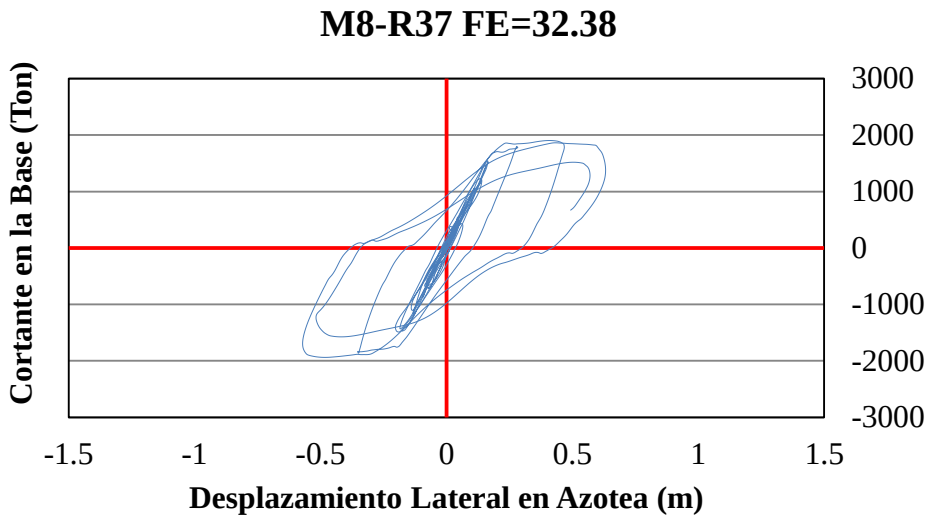

M8-R37 $r_{D(y)-Z(y)}$ =-0.9800
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
Z(y)
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
D(y)

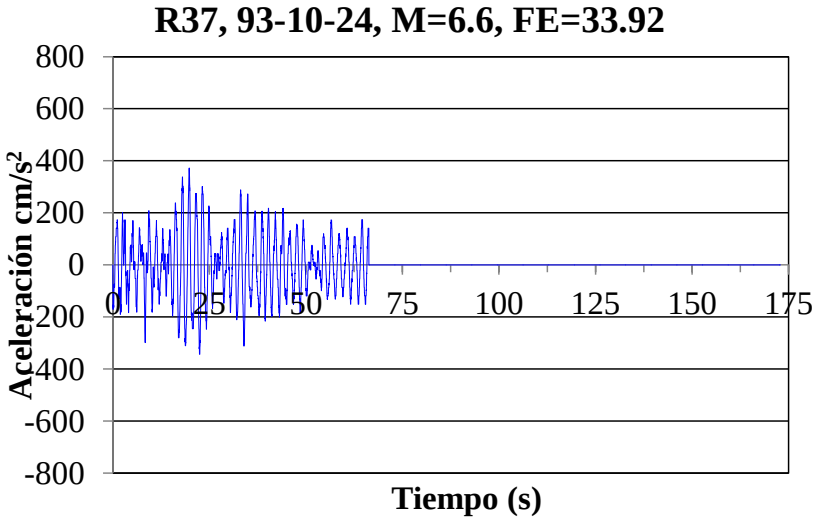

R37, 93-10-24, M=6.6
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

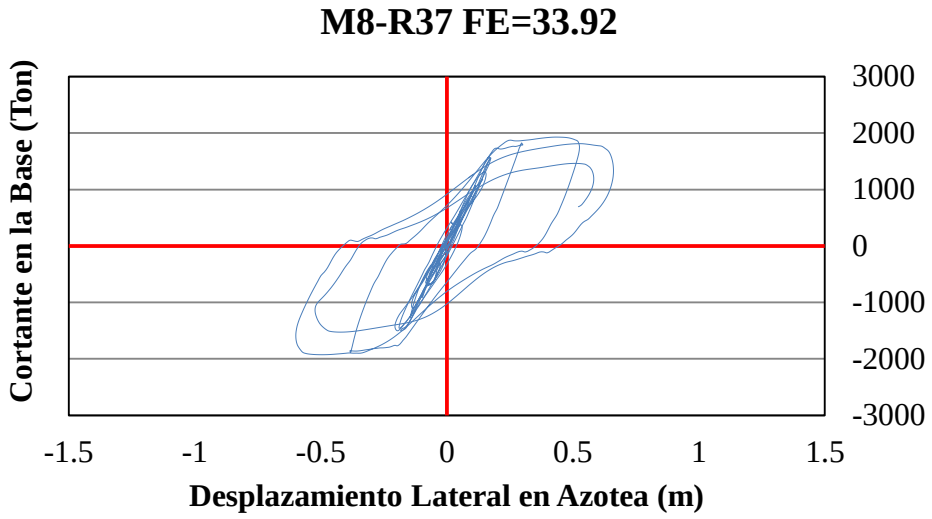

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=31.68
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Aceleración cm/s2
0 25 50 75 100 125 150 175
Tiempo (s)

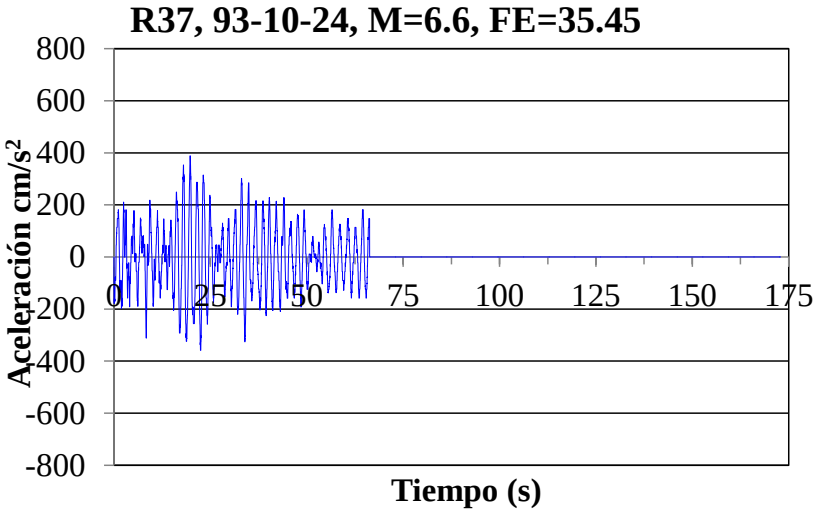

M8-R37 FE=31.6826
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

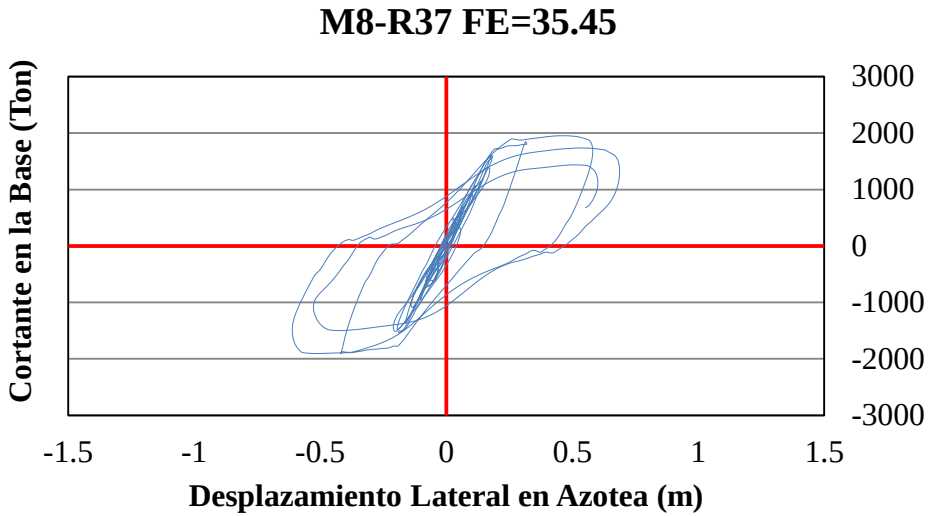

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=32.38
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s²
Tiempo (s)

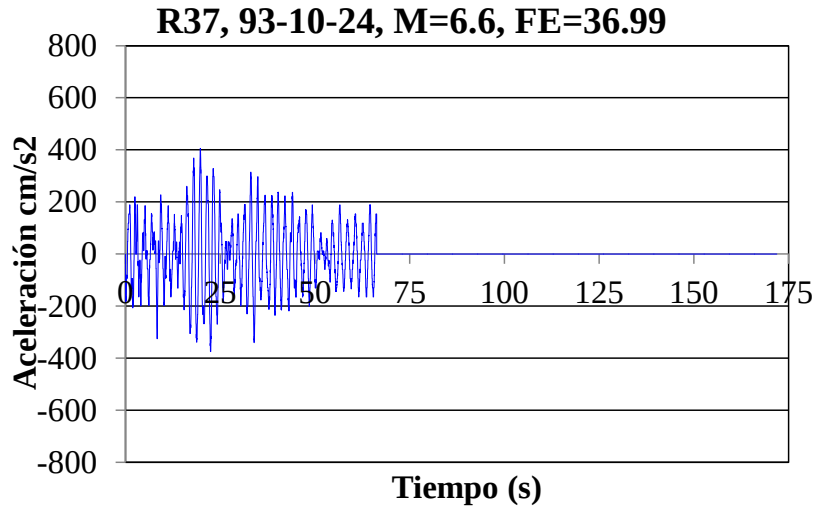

M8-R37 FE=32.38
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

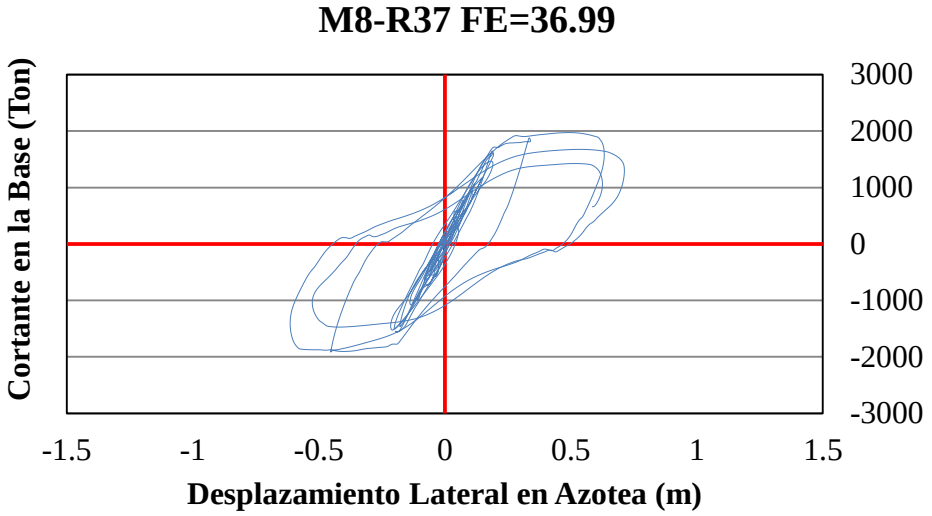

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=33.92
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s²
Tiempo (s)

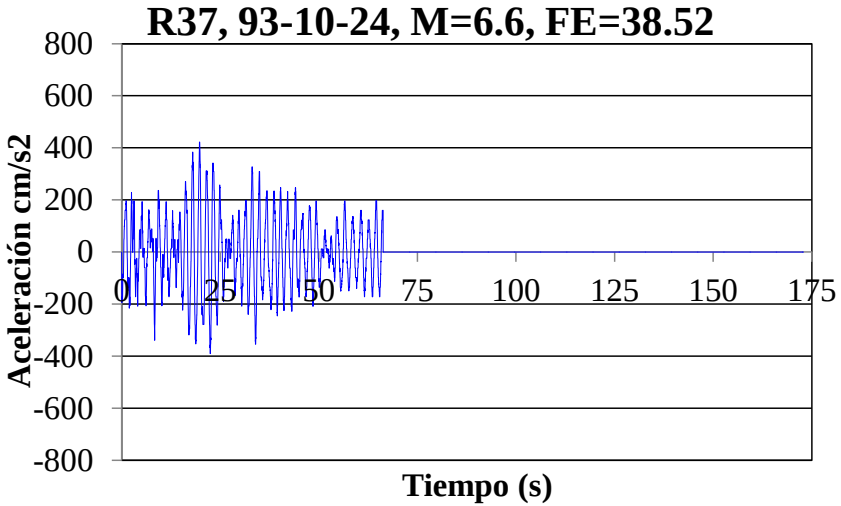

M8-R37 FE=33.92
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

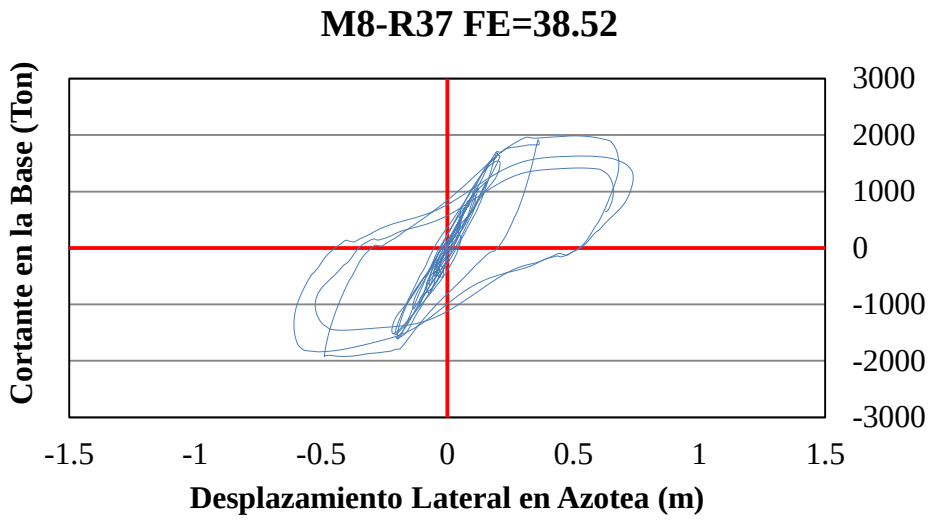

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=35.45
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s²
Tiempo (s)

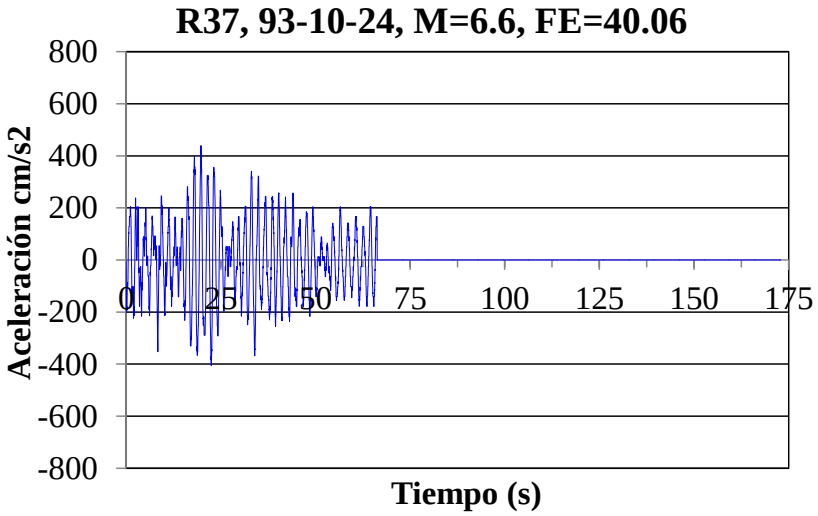

M8-R37 FE=35.45
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

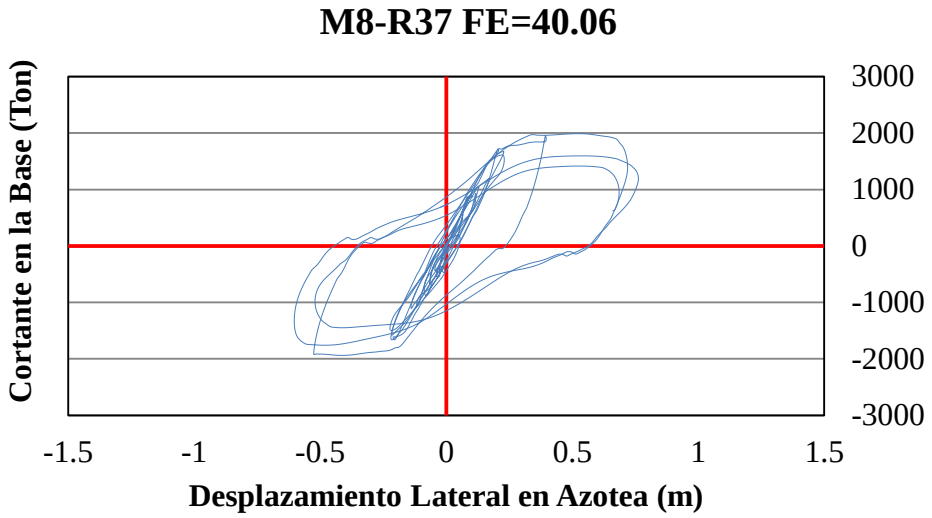

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=36.99
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

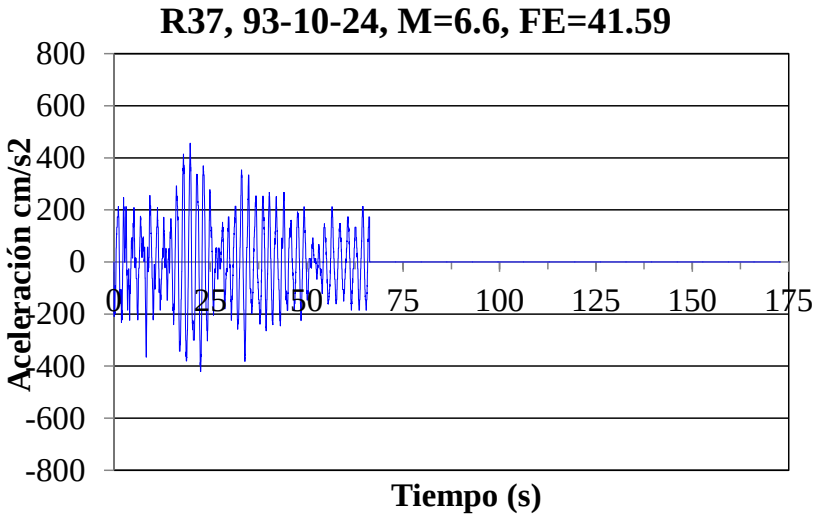

M8-R37 FE=36.99
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

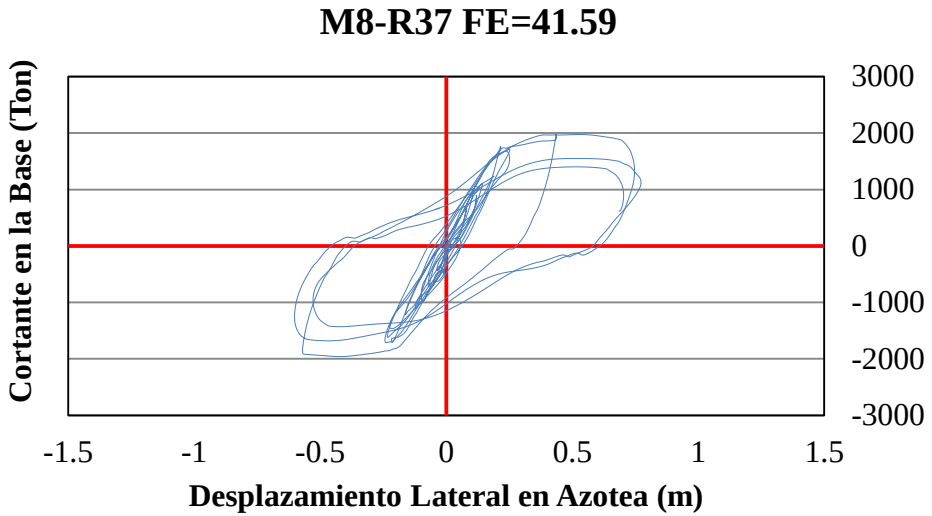

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=38.52
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

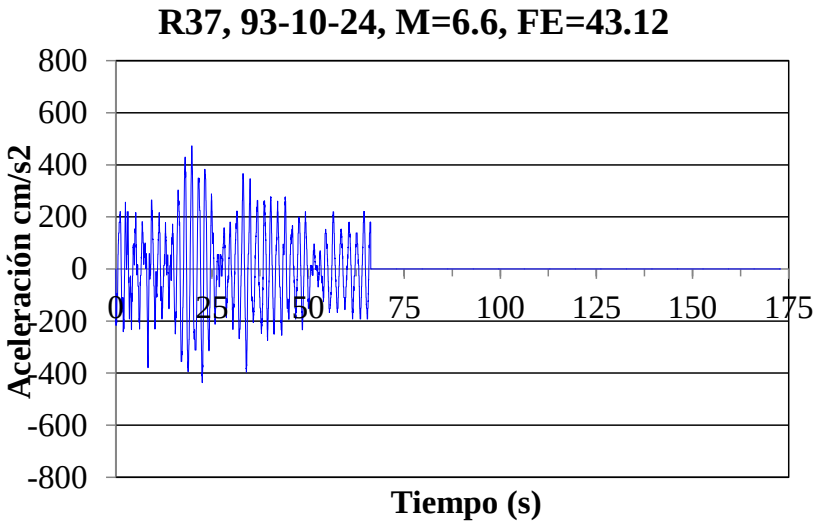

M8-R37 FE=38.52
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

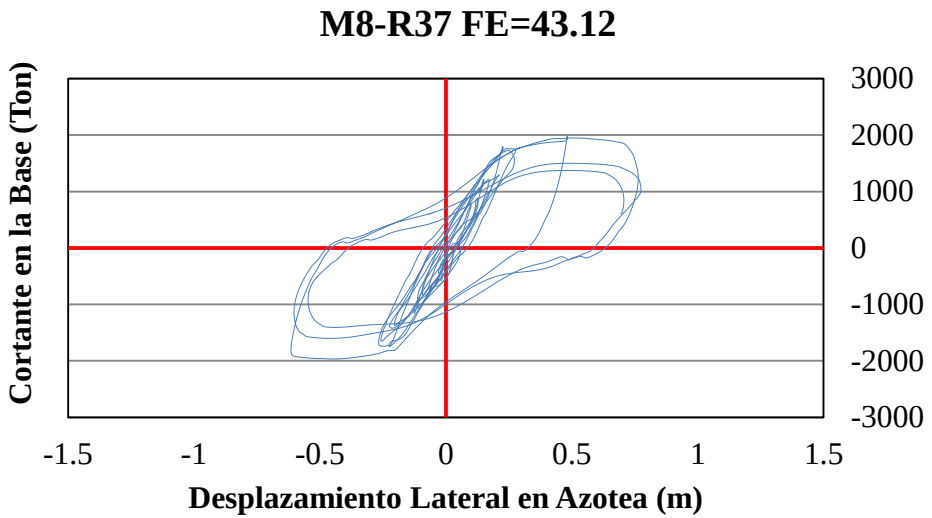

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=40.06
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

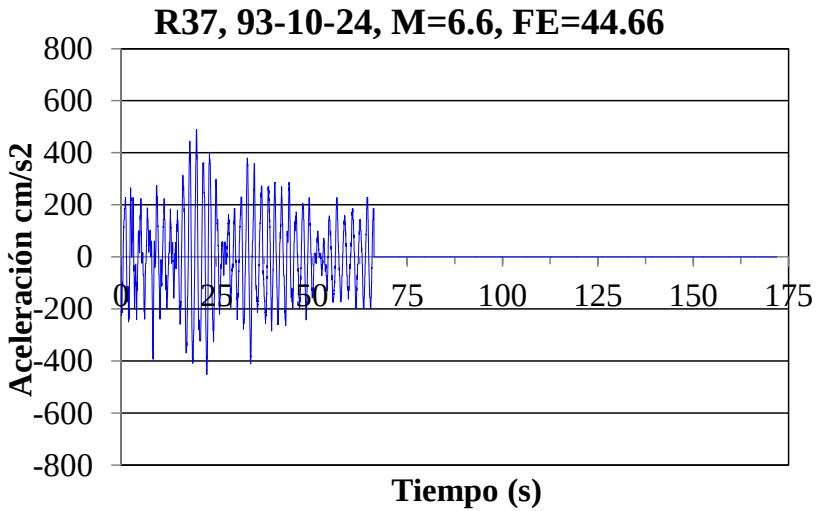

M8-R37 FE=40.06
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

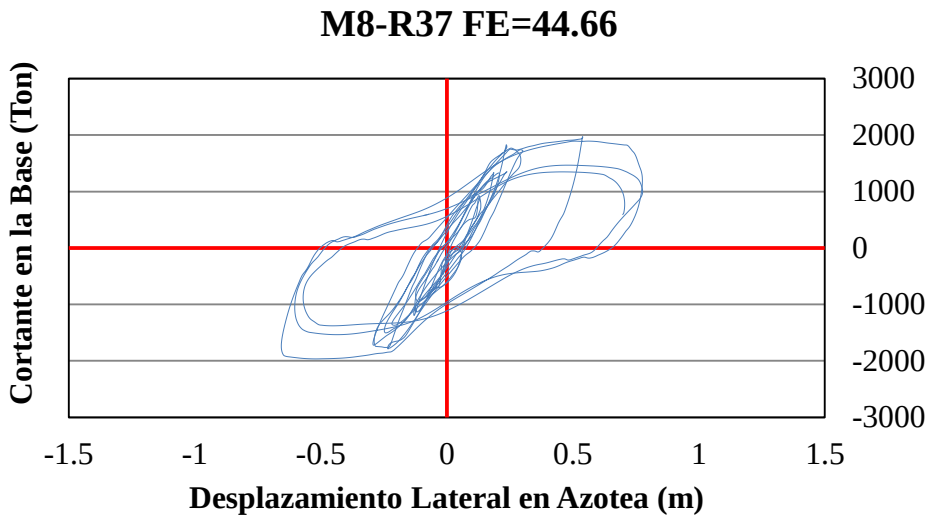

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=41.59
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

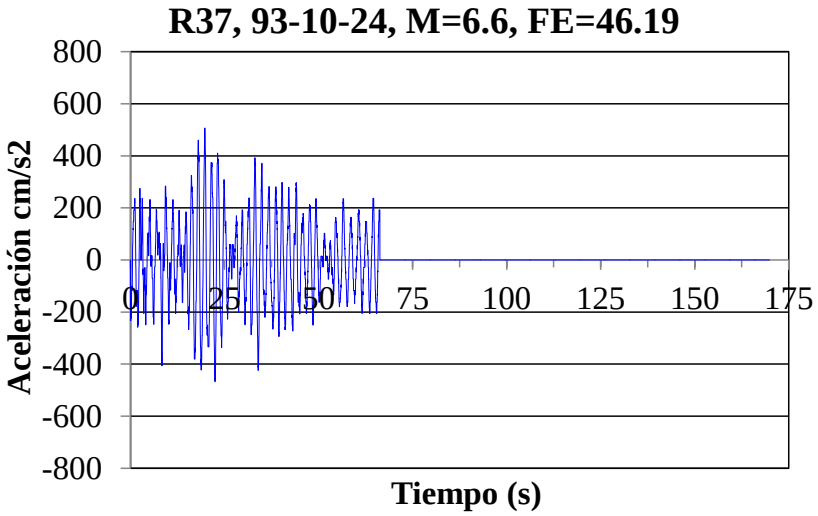

M8-R37 FE=41.59
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

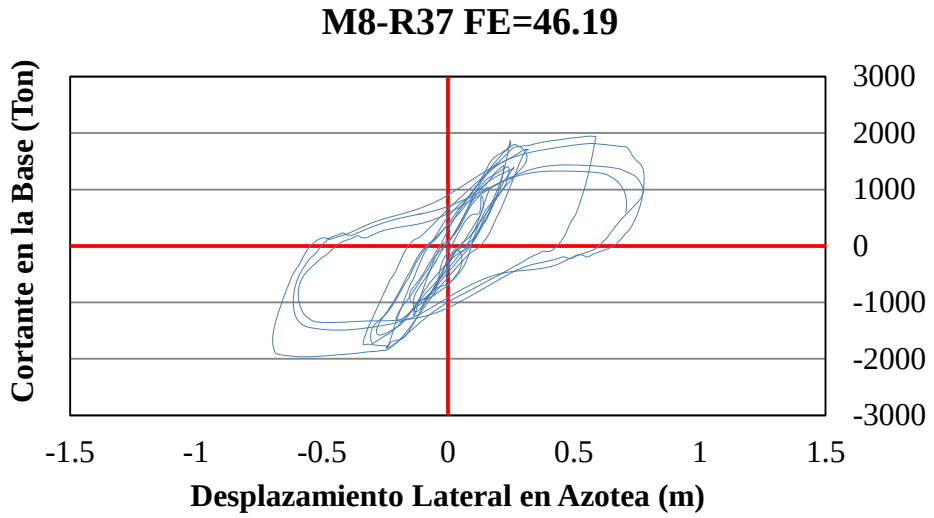

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=43.12
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

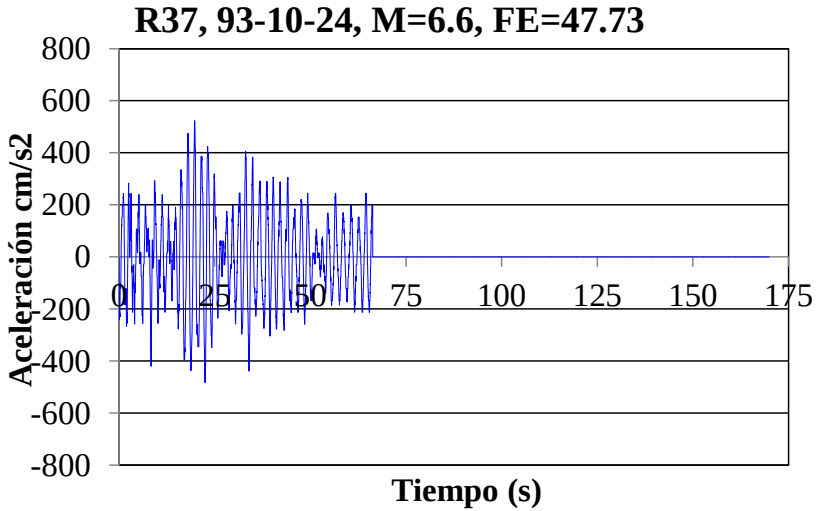

M8-R37 FE=43.12
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

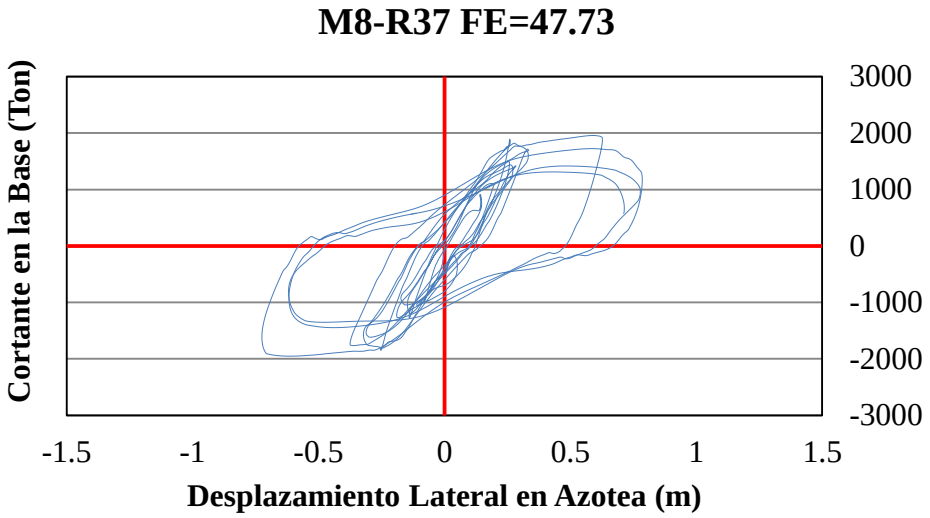

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=44.66
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

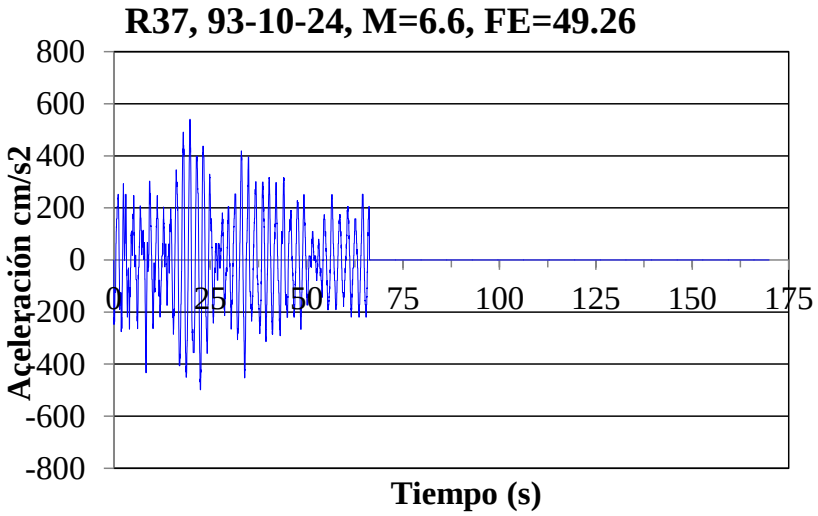

M8-R37 FE=44.66
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

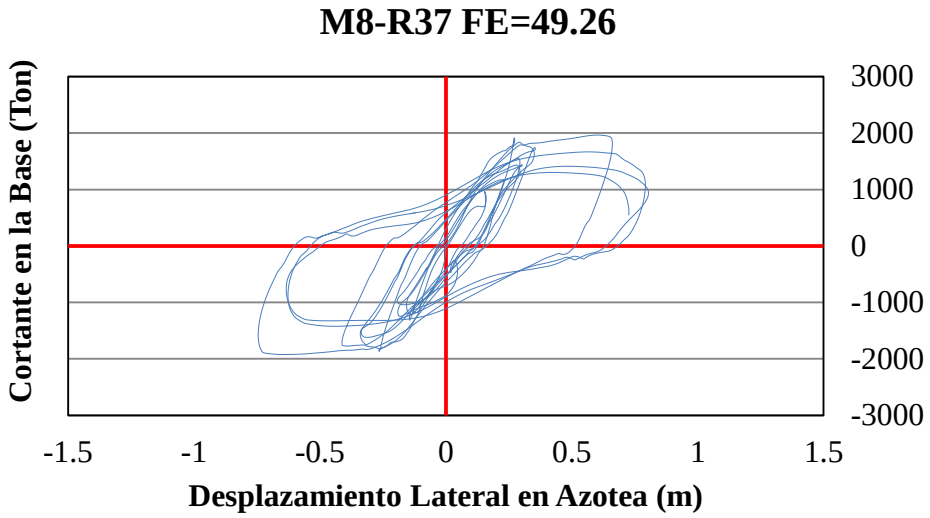

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=46.19
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

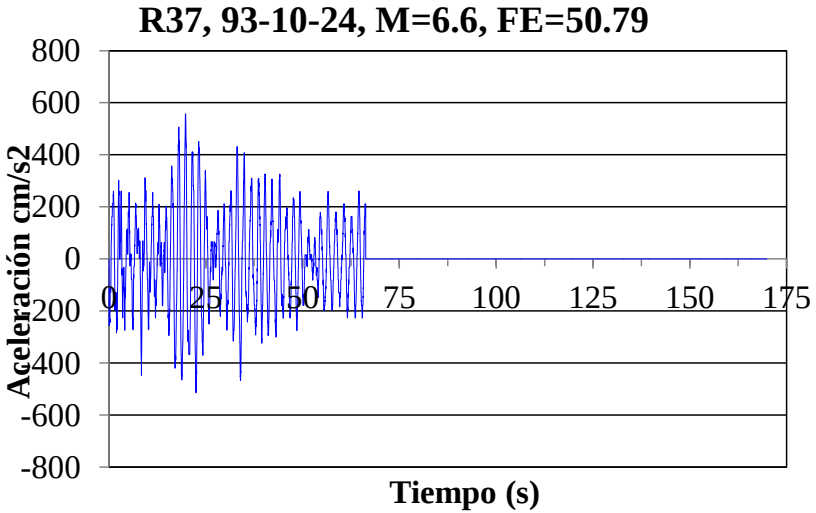

M8-R37 FE=46.19
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

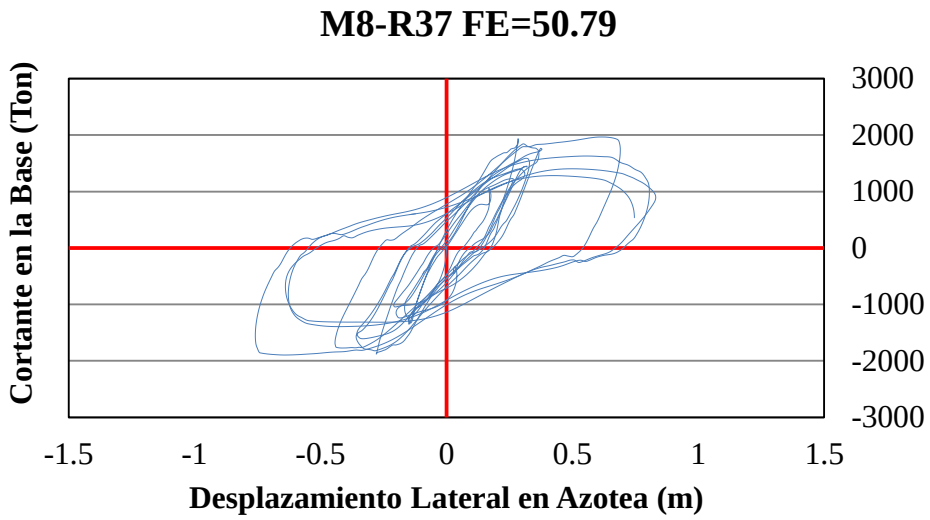

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=47.73
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Aceleración cm/s2
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

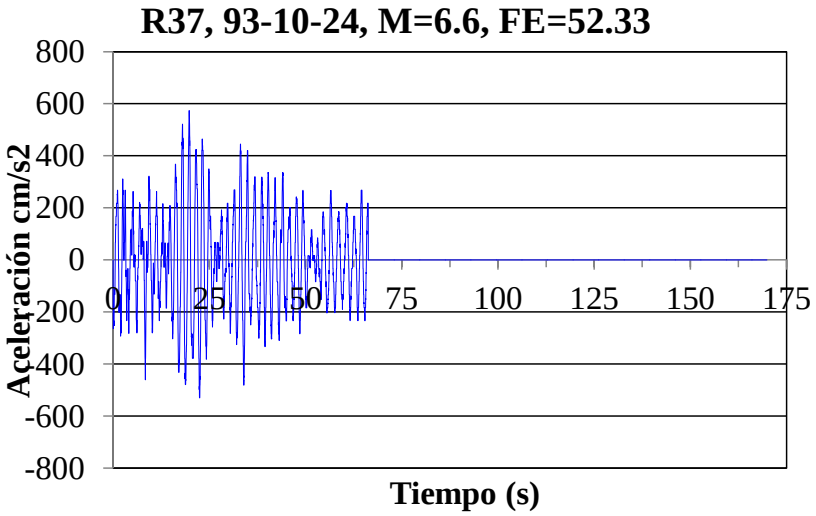

M8-R37 FE=47.73
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

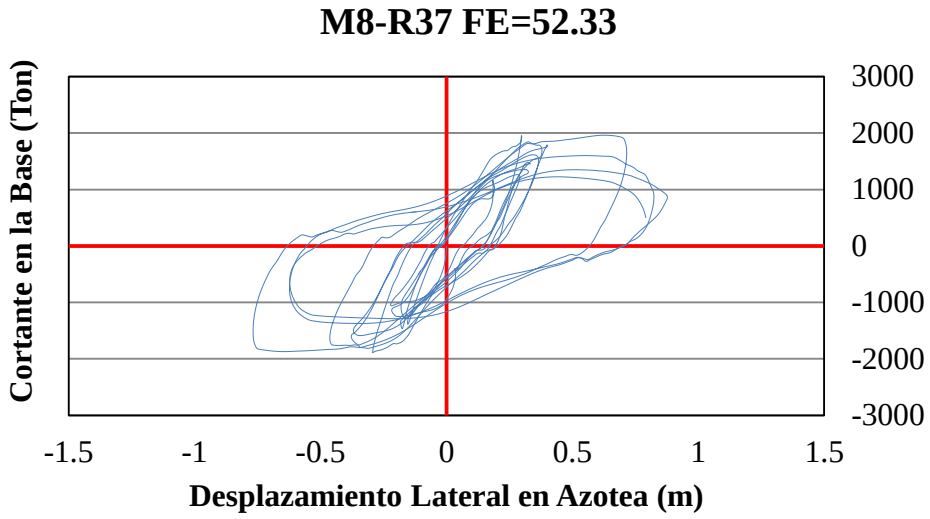

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=49.26
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
Açeleración cm/s2
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

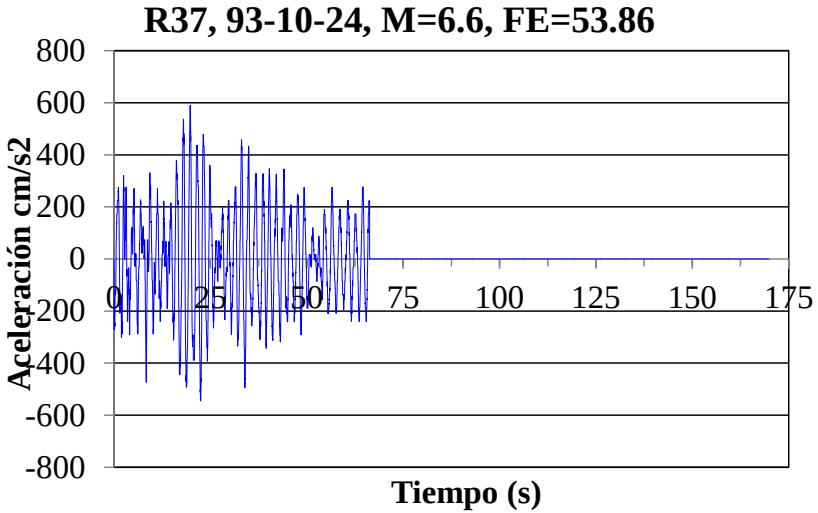

M8-R37 FE=49.26
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

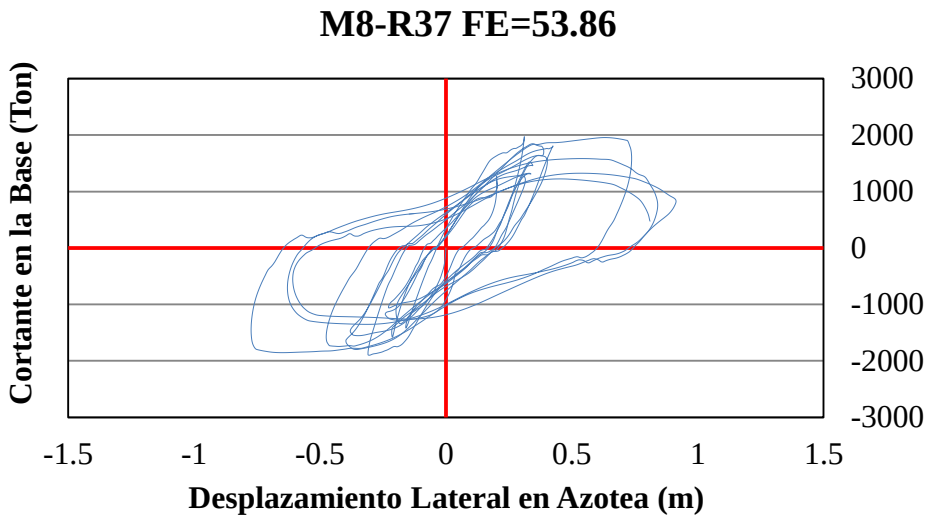

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=50.79
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

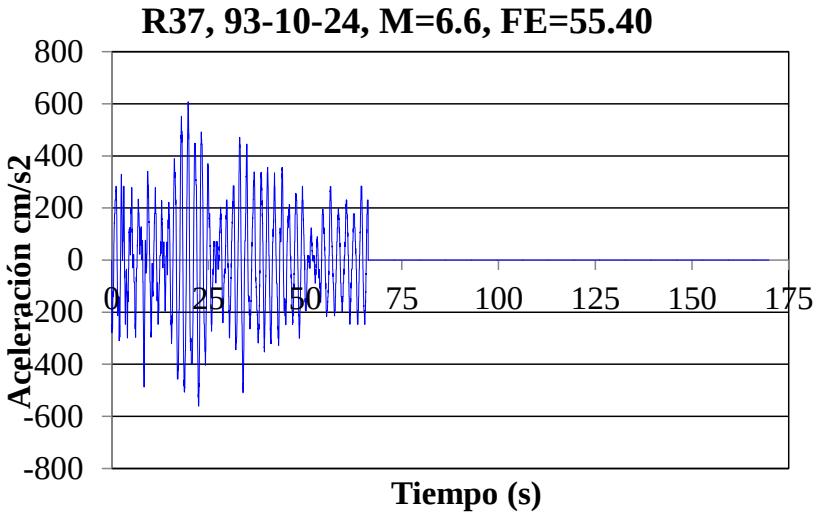

M8-R37 FE=50.79
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

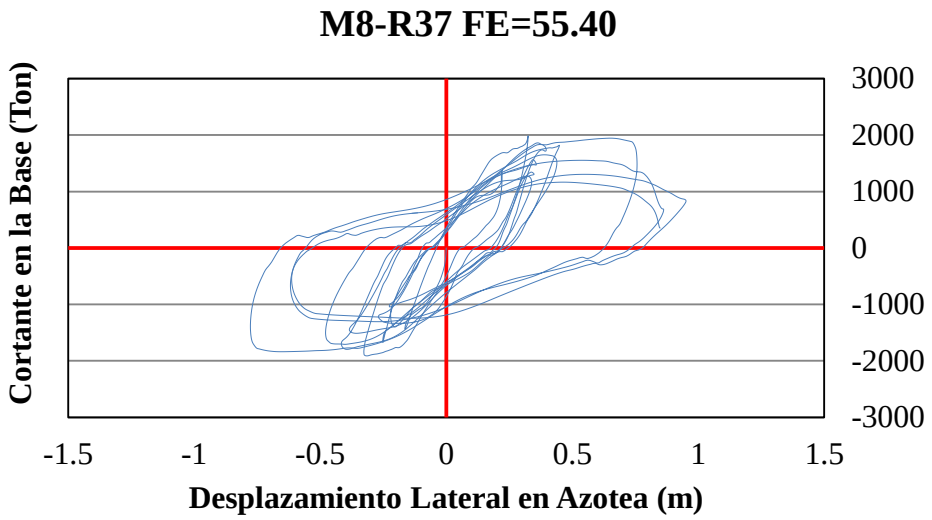

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=52.33
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

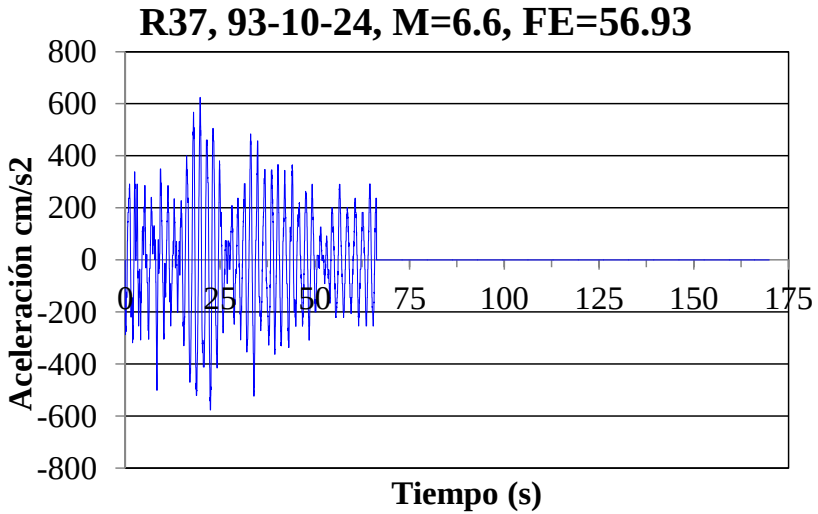

M8-R37 FE=52.33
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

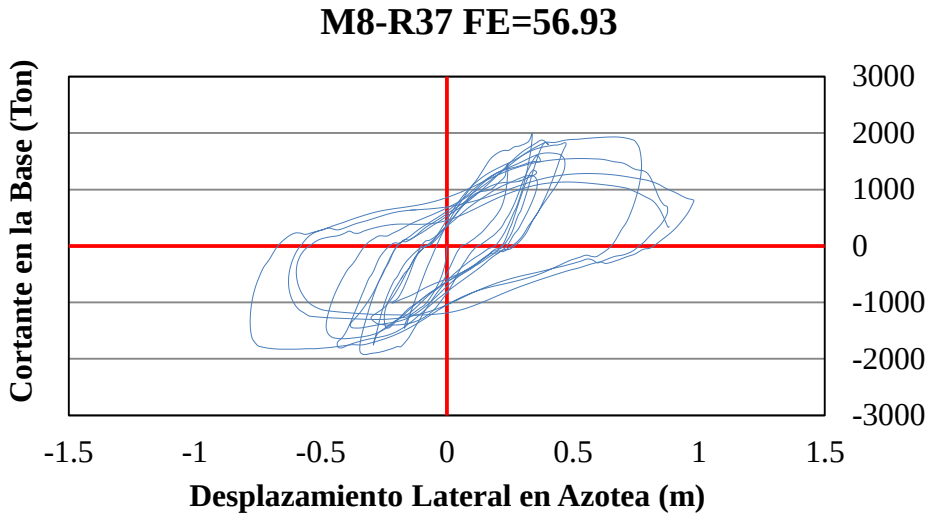

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=53.86
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

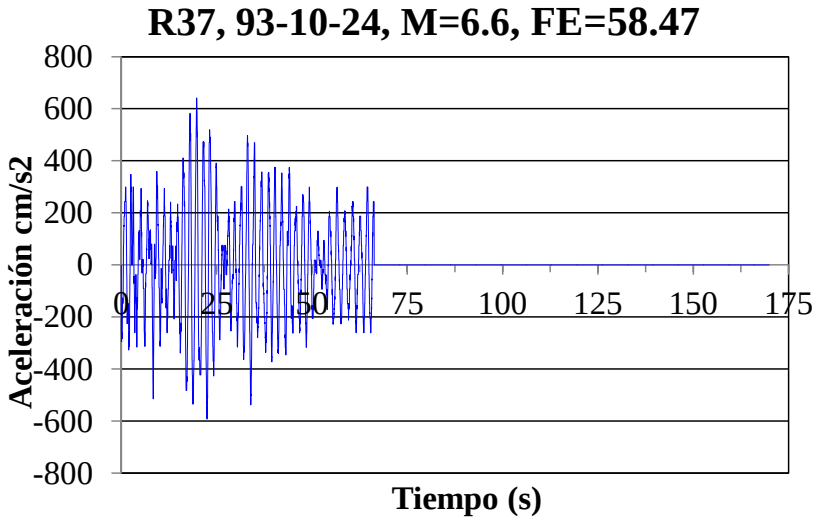

M8-R37 FE=53.86
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

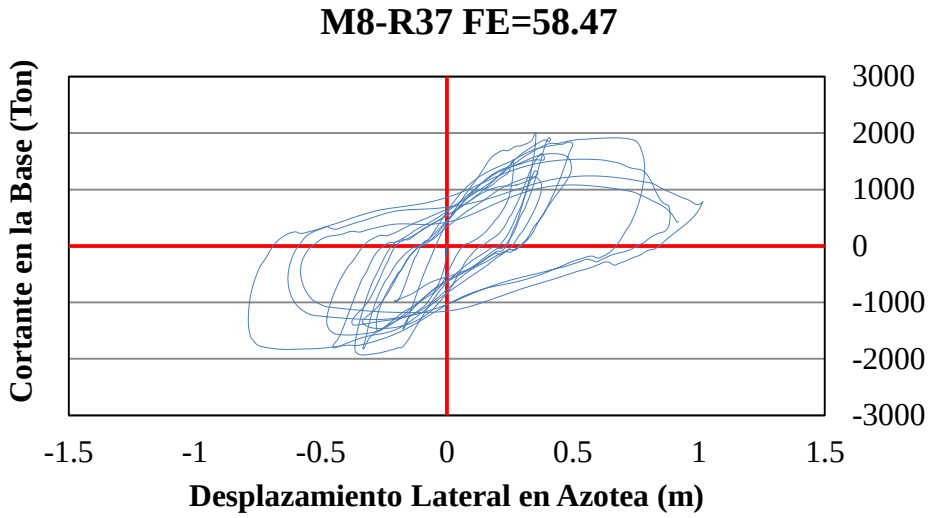

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=55.40
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

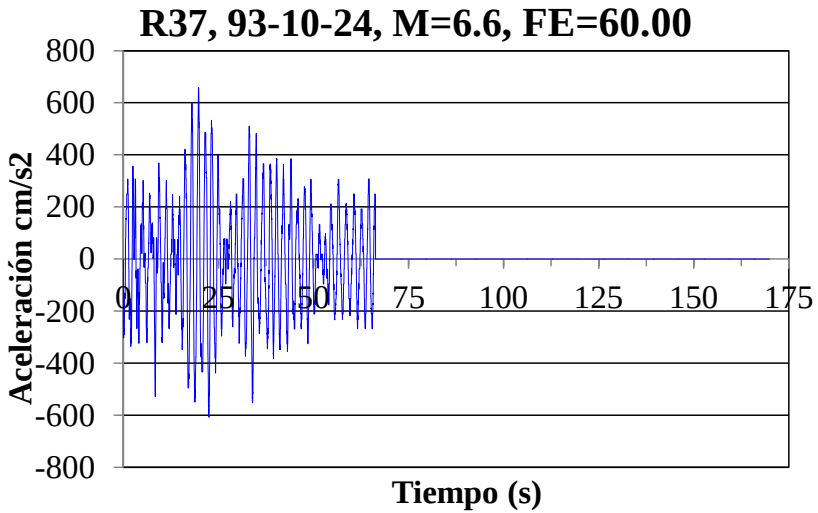

M8-R37 FE=55.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

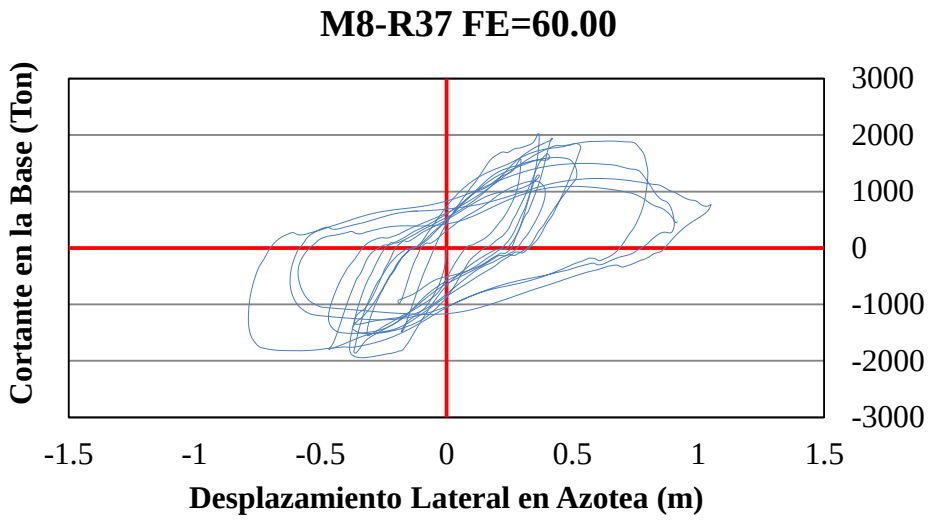

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=56.93
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

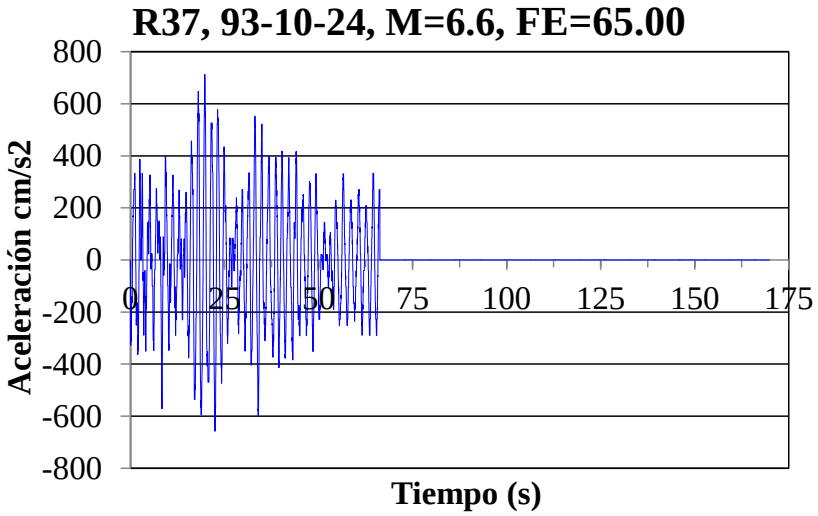

M8-R37 FE=56.93
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

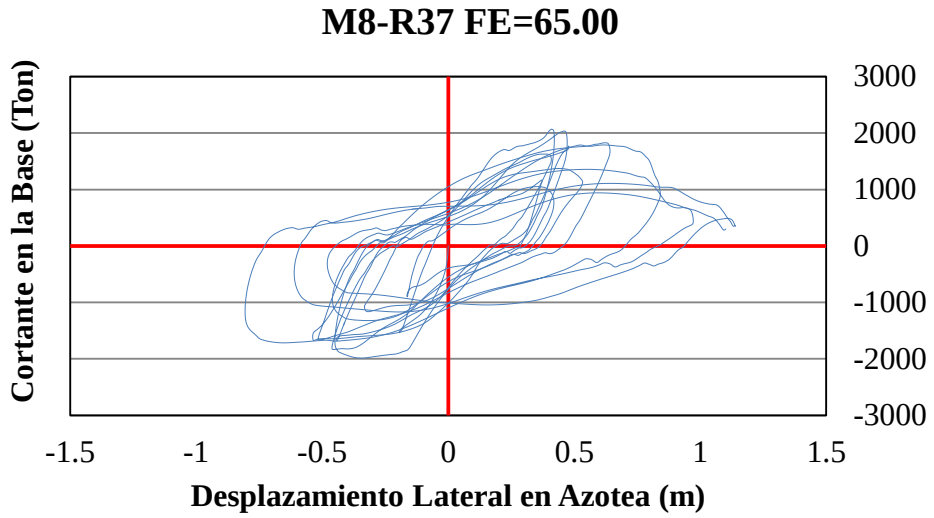

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=58.47
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)

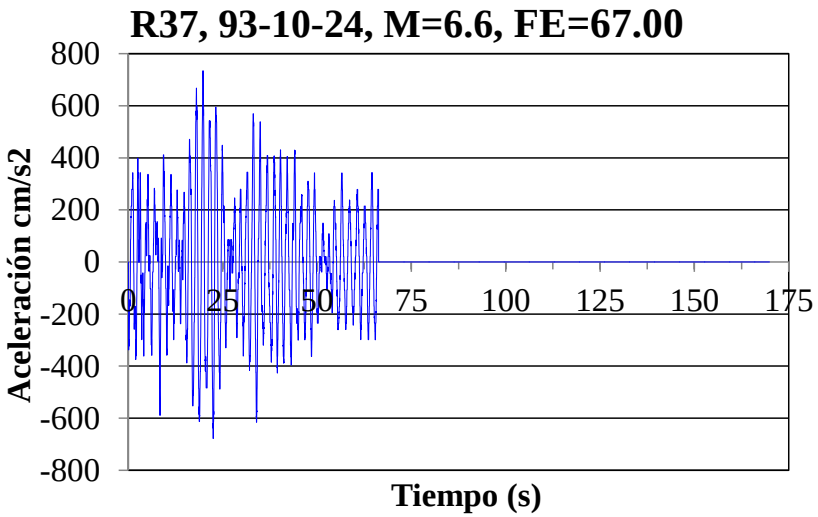

M8-R37 FE=58.47
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

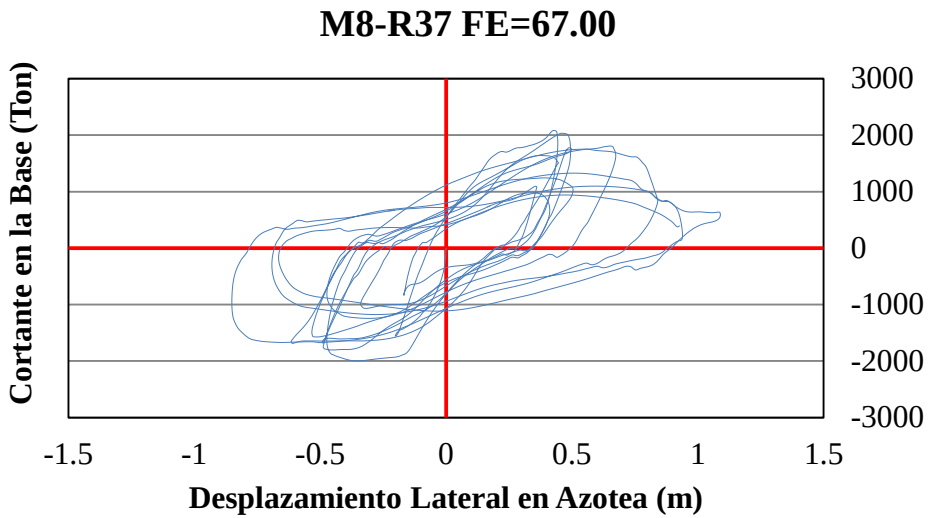

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=60.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

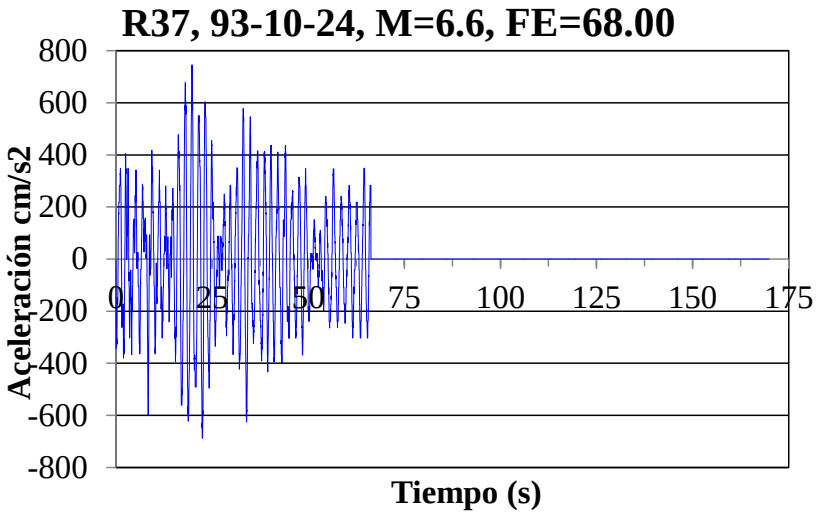

M8-R37 FE=60.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

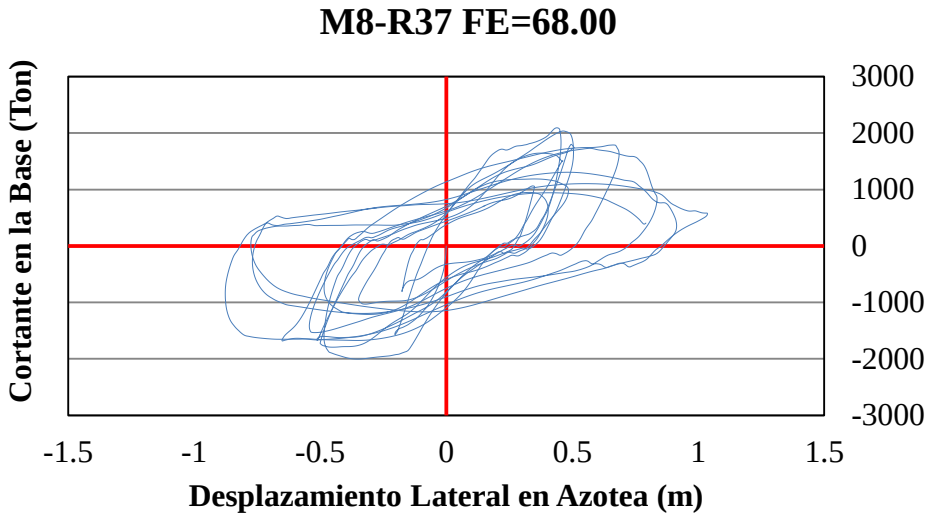

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=65.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

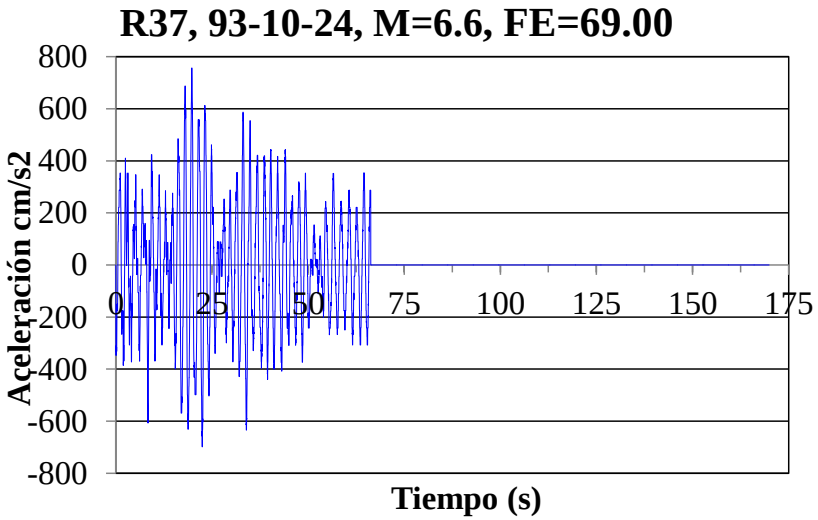

M8-R37 FE=65.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

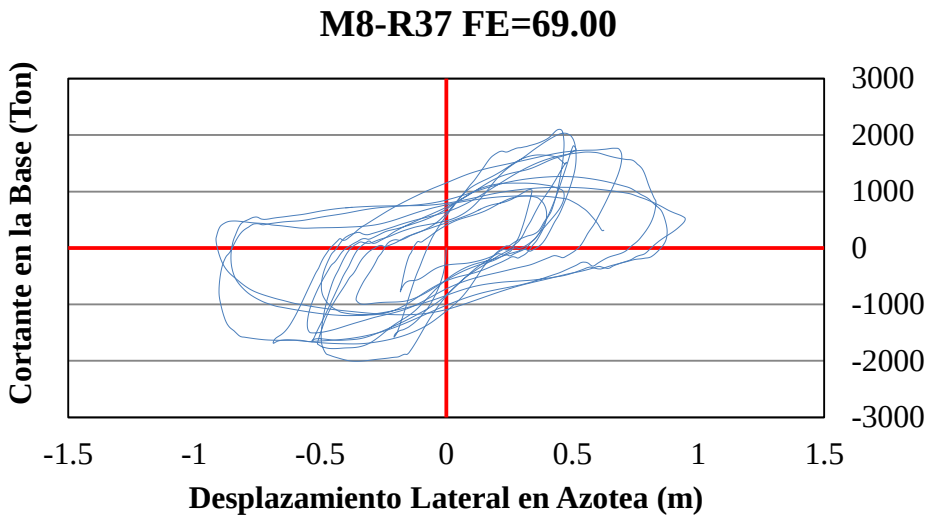

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=67.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

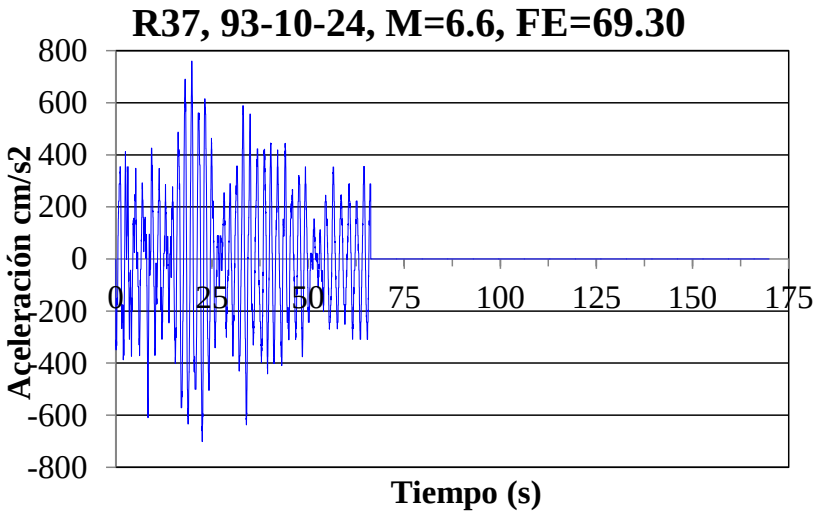

M8-R37 FE=67.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

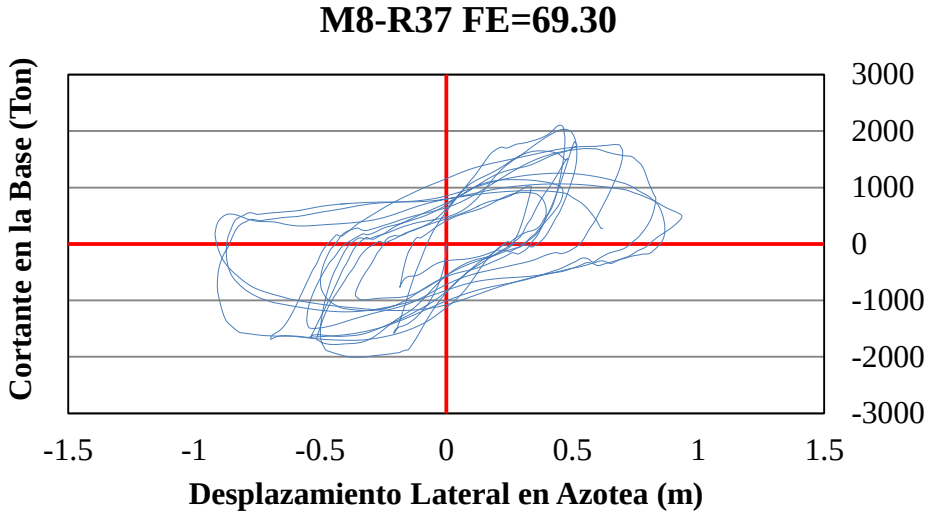

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=68.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

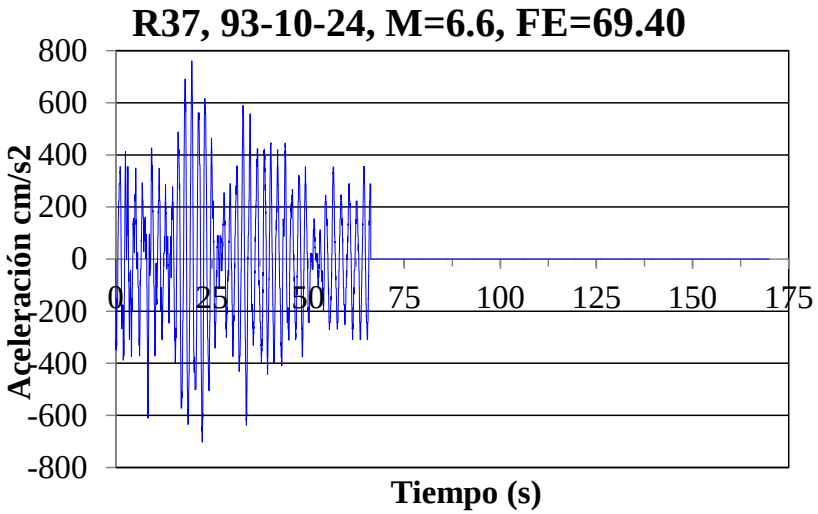

M8-R37 FE=68.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

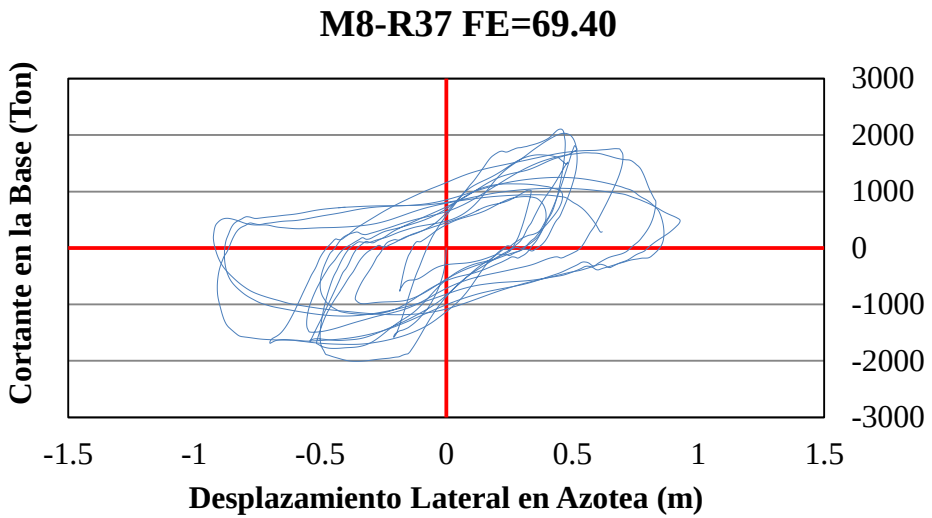

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.00
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

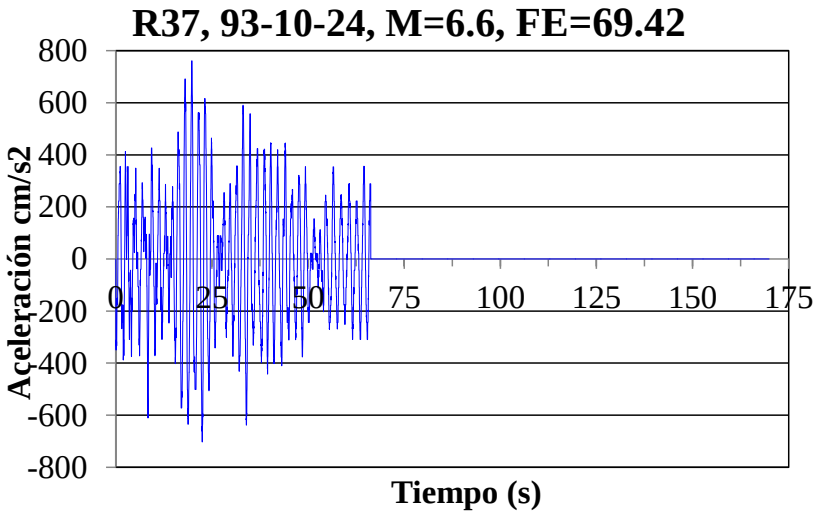

M8-R37 FE=69.00
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

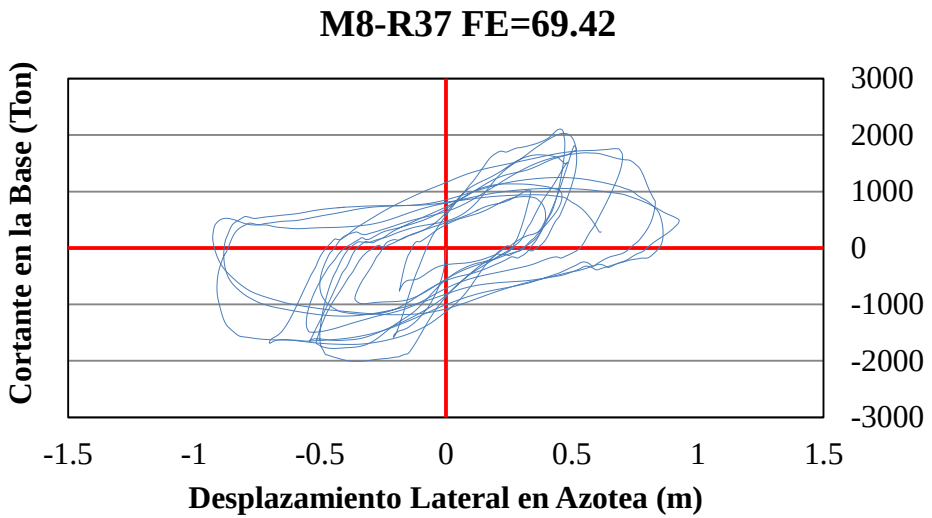

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.30
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

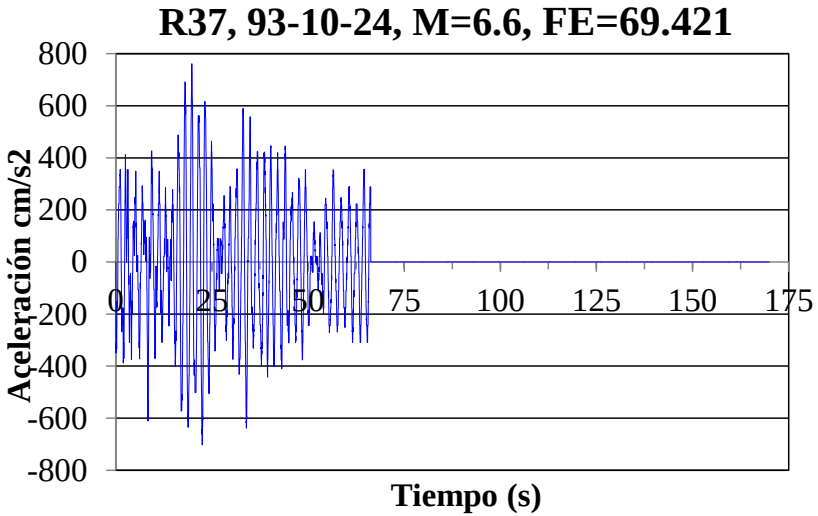

M8-R37 FE=69.30
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

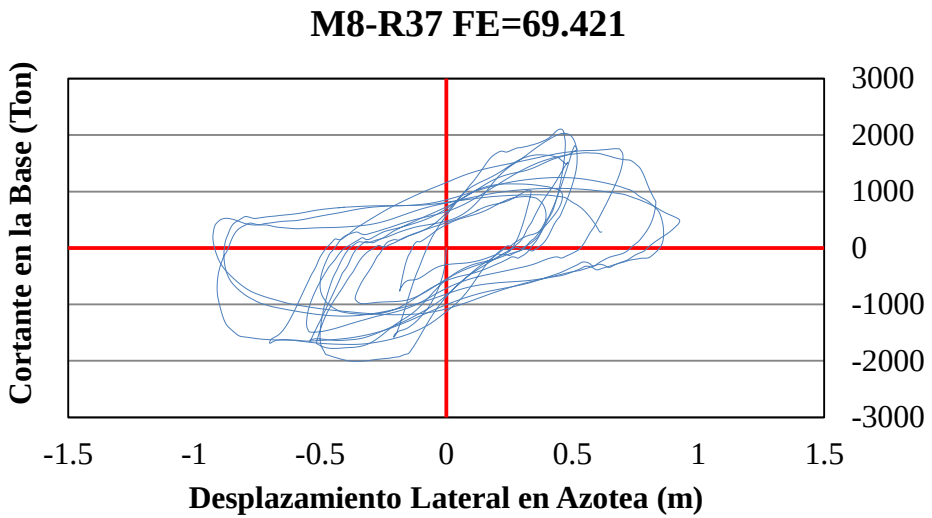

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.40
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

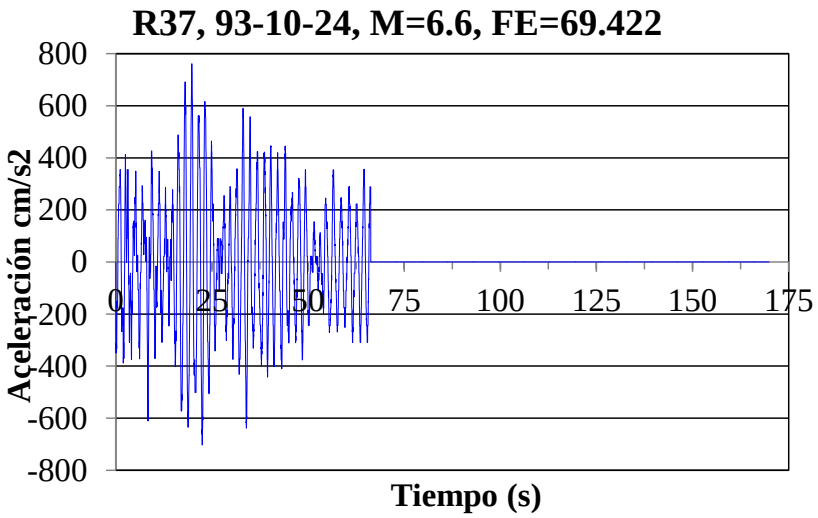

M8-R37 FE=69.40
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

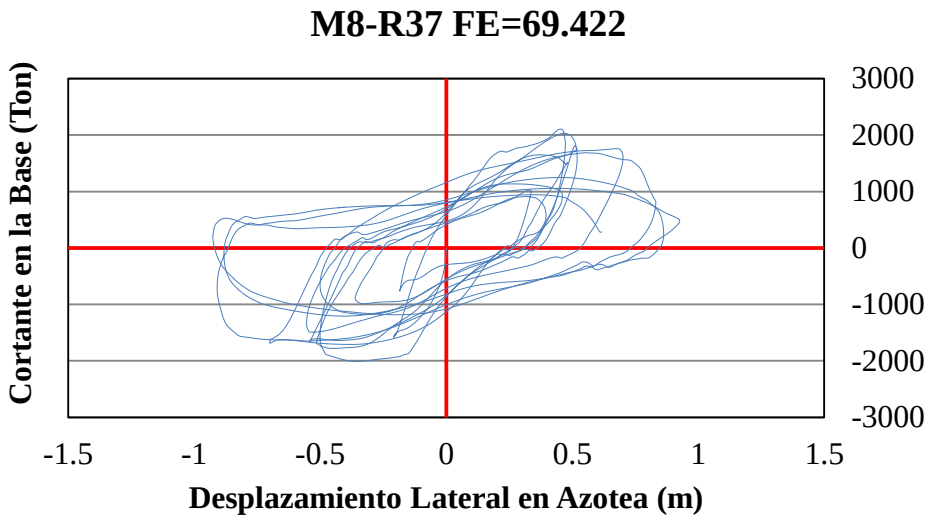

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.42
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

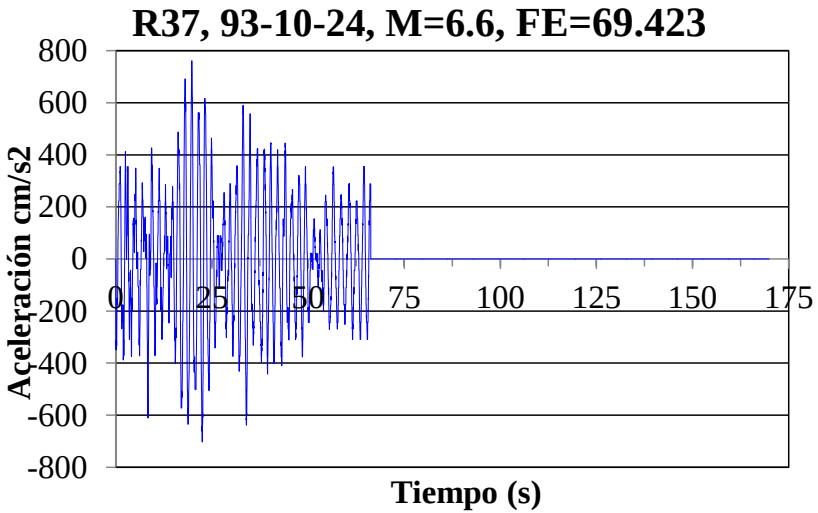

M8-R37 FE=69.42
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

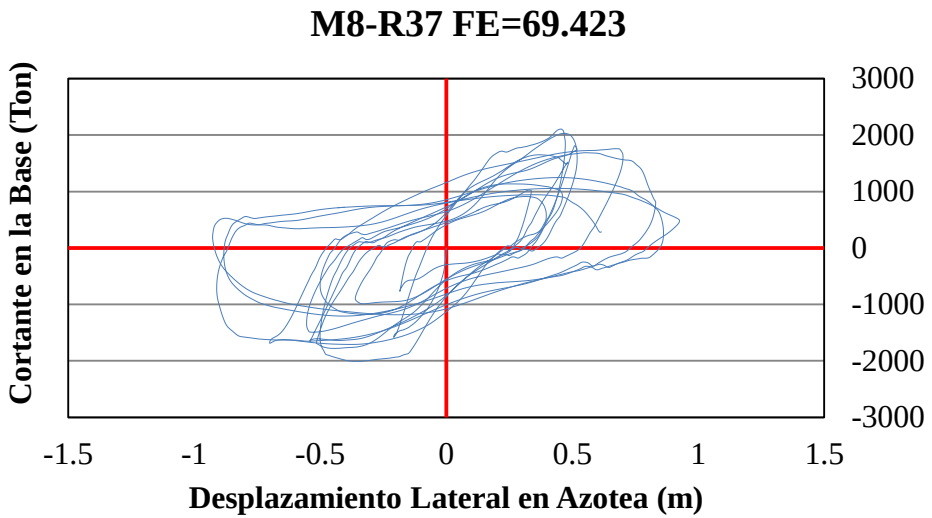

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.421
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

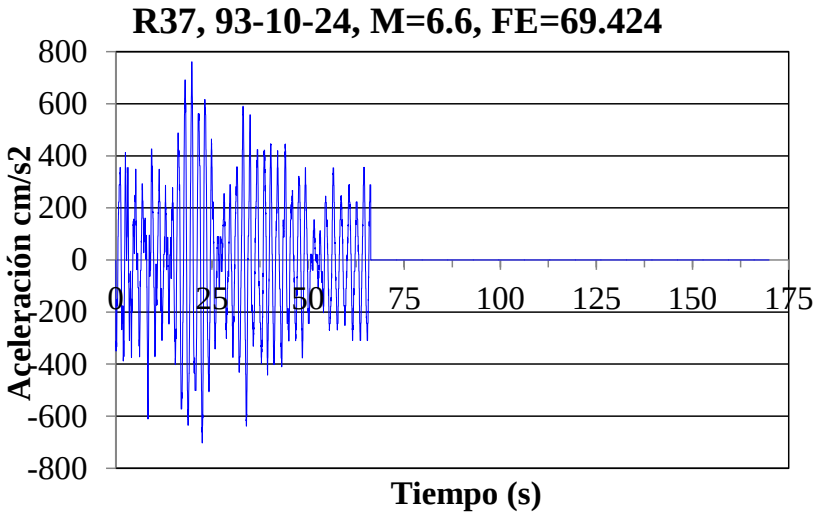

M8-R37 FE=69.421
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

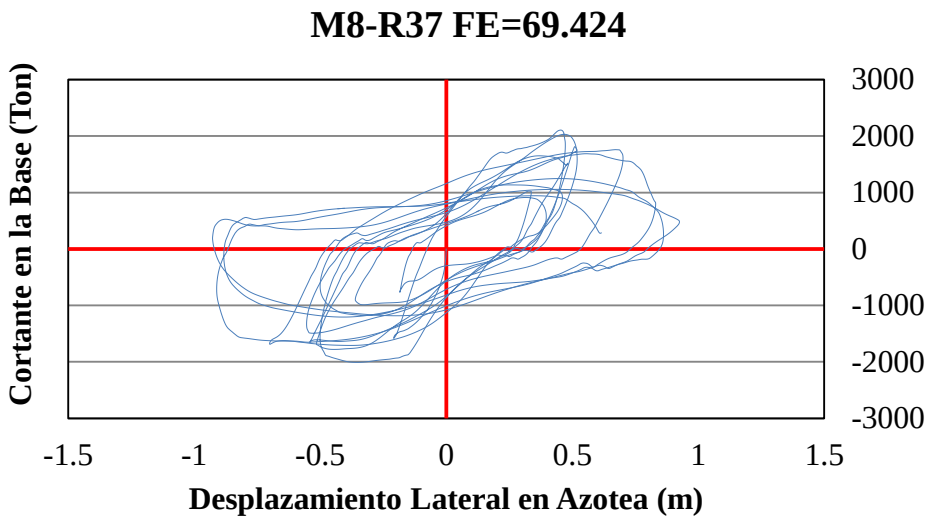

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.422
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

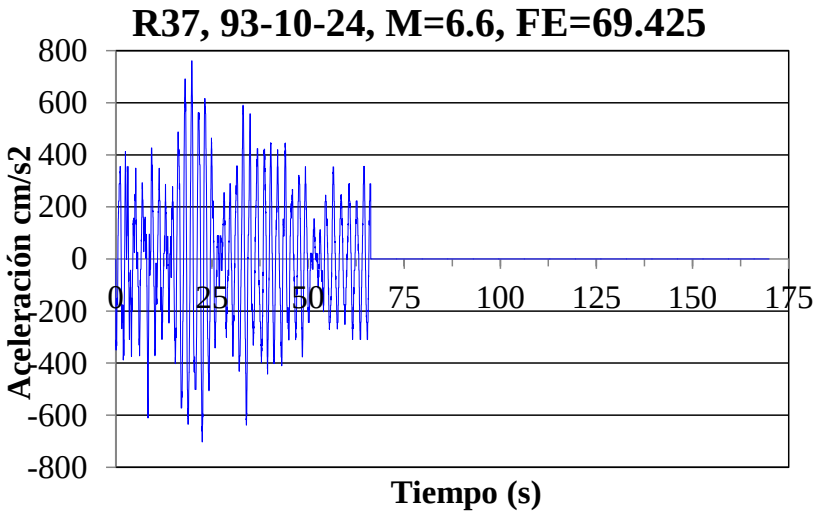

M8-R37 FE=69.422
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

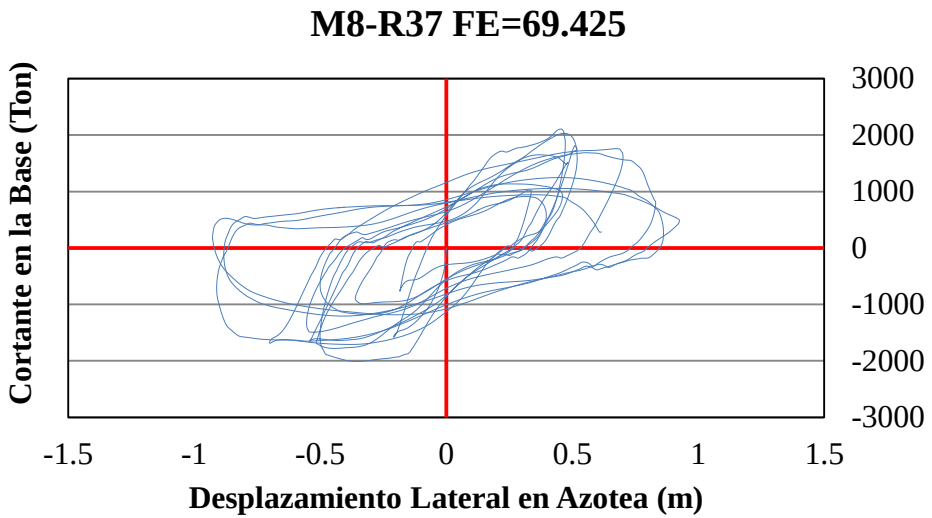

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.423
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

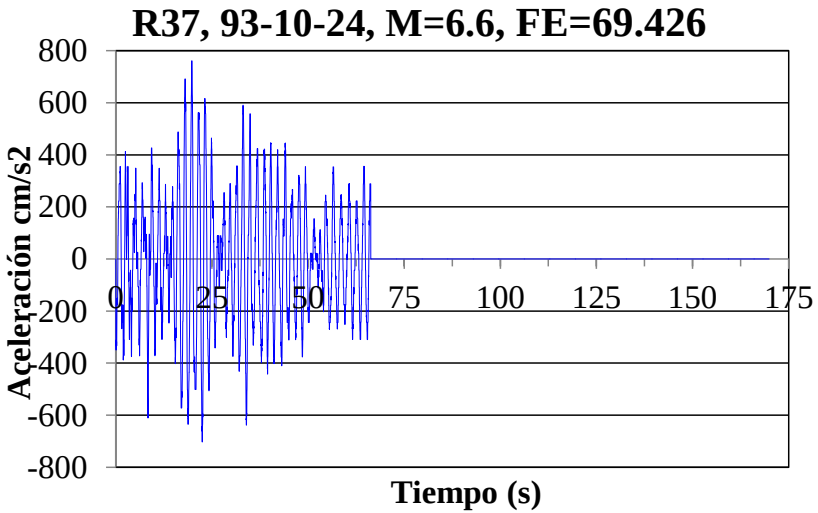

M8-R37 FE=69.423
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

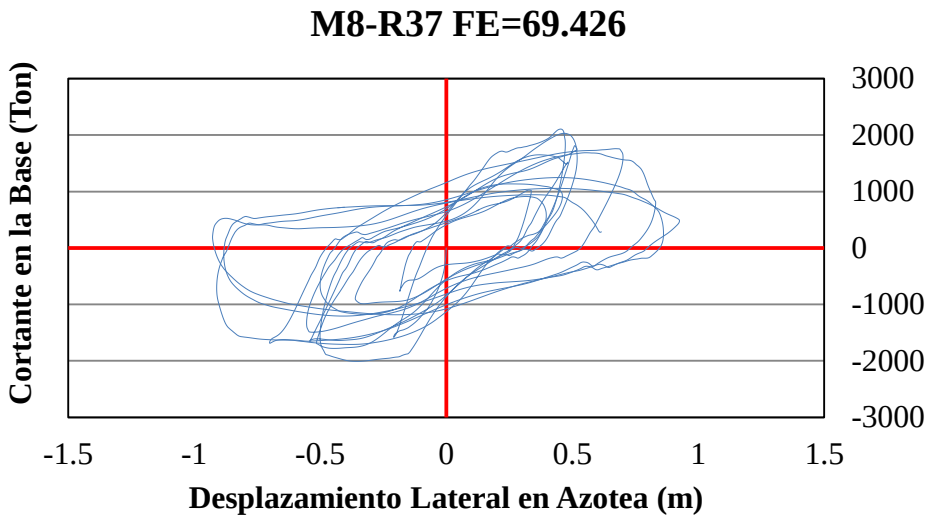

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.424
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

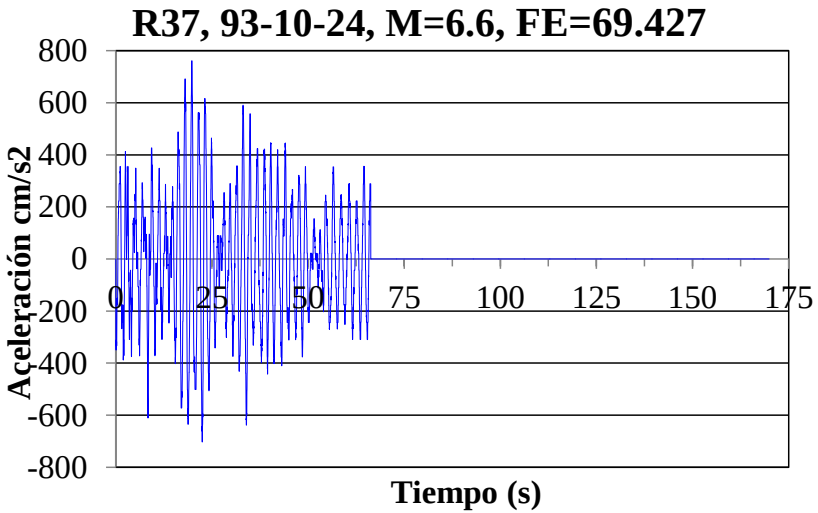

M8-R37 FE=69.424
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

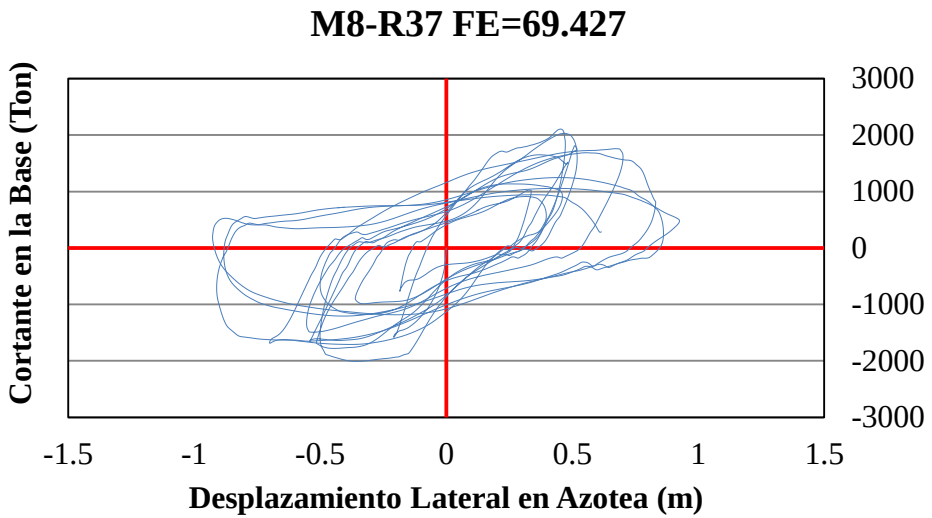

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.425
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

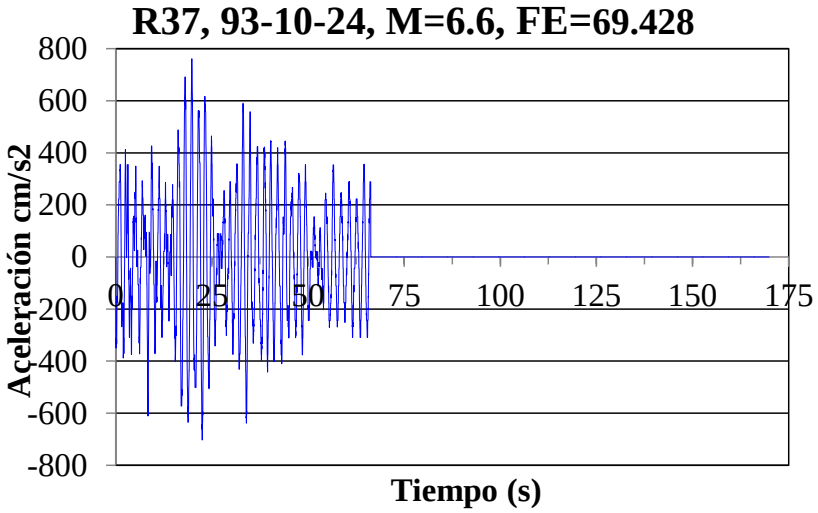

M8-R37 FE=69.425
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

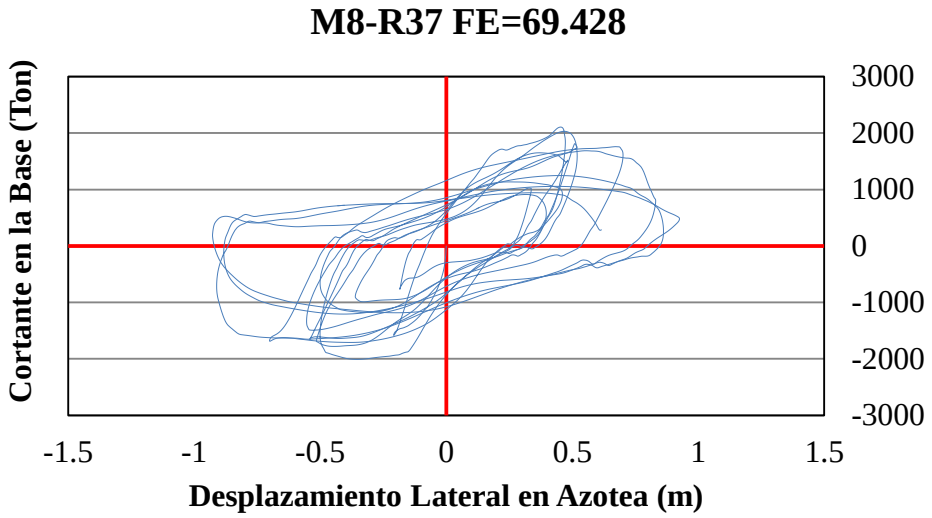

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.426
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

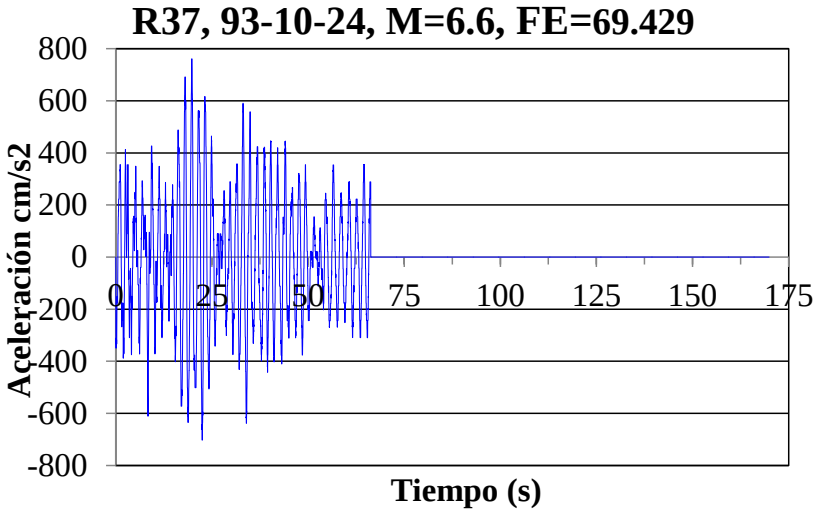

M8-R37 FE=69.426
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

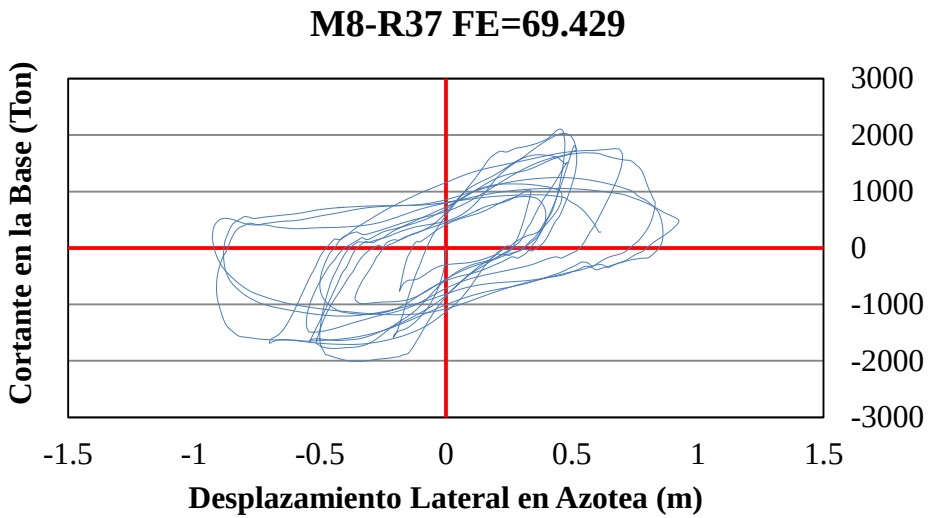

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.427
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

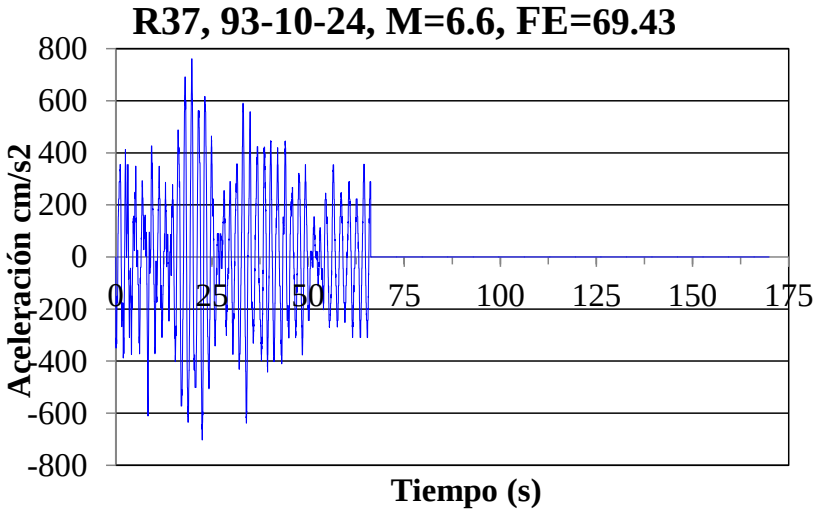

M8-R37 FE=69.427
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

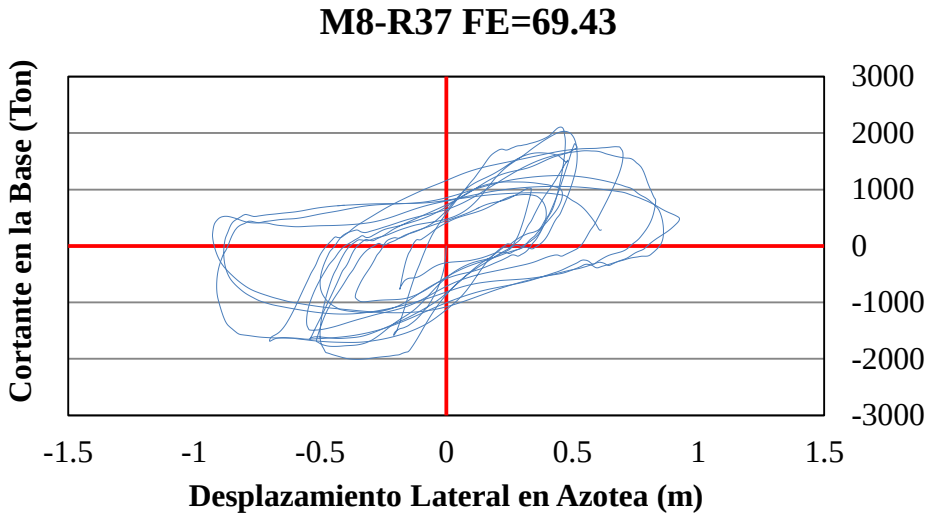

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.428
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

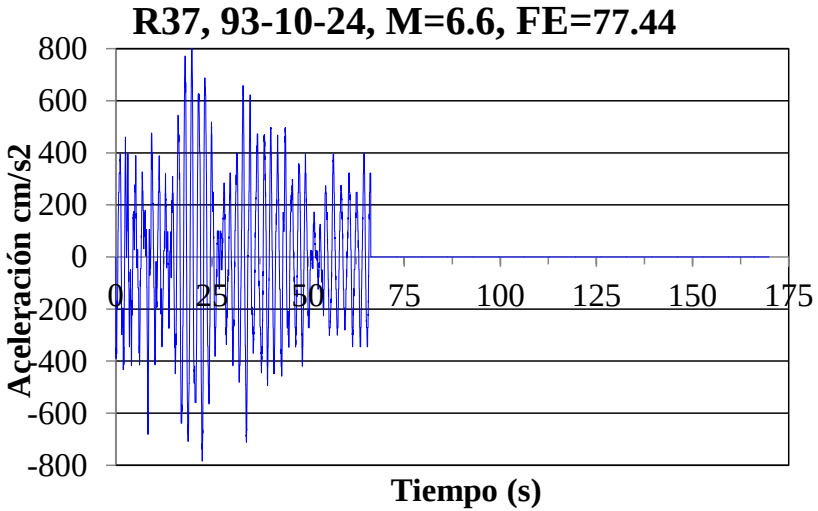

M8-R37 FE=69.428
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

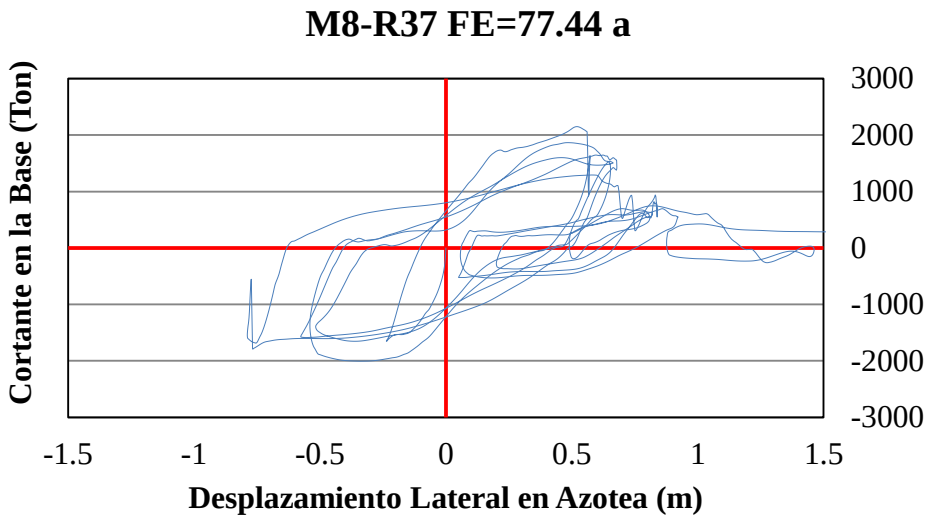

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.429
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

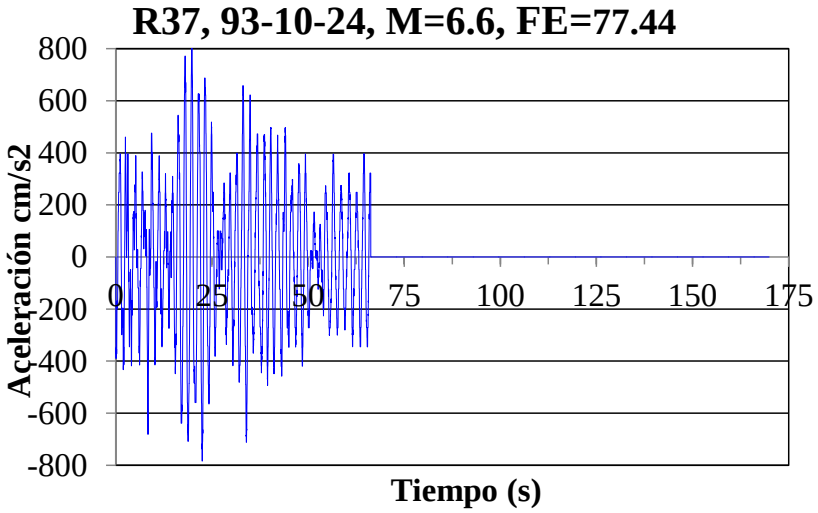

M8-R37 FE=69.429
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

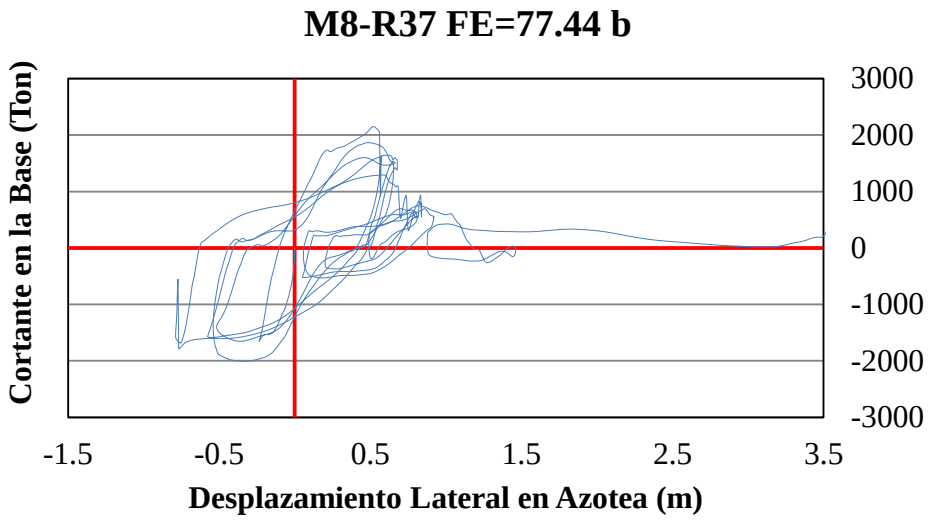

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=69.43
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)

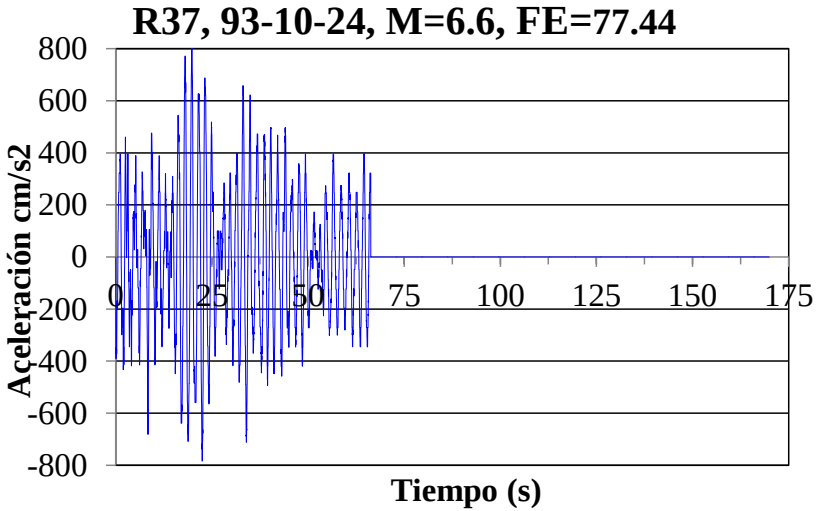

M8-R37 FE=69.43
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)

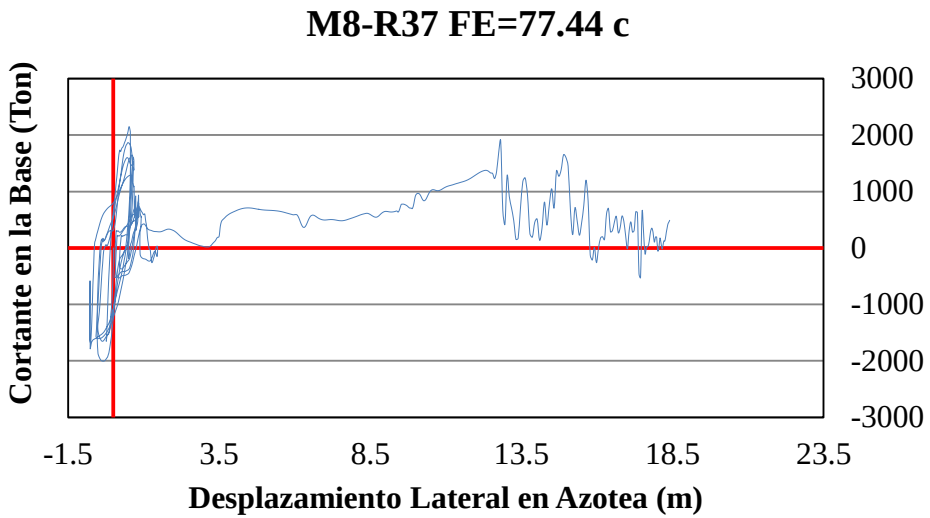

R37, 93-10-24, M=6.6, FE=77.44
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R37 FE=77.44 a
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R37, 93-10-24, M=6.6, FE=77.44
Aceleración cm/s2
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Tiempo (s)


M8-R37 FE=77.44 b
Cortante en la Base (Ton)
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
-0.5
0.5
1.5
2.5
3.5
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)


R37, 93-10-24, M=6.6, FE=77.44
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
0
25
50
75
100
125
150
175
Aceleración cm/s2
Tiempo (s)


M8-R37 FE=77.44 c
3000
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-1.5
3.5
8.5
13.5
18.5
23.5
Cortante en la Base (Ton)
Desplazamiento Lateral en Azotea (m)