



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

Diseño de Estructuras de Acero Ligeras, Prefabricadas, Desmontables y
 Modulables en Casa Habitación.

Opción de titulación
Tesis Individual

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
 Maestría en Estructuras


Presenta:

Ing. Jorge Armando Escalante Valdivia

Dirigido por:


Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras

Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras
 Presidente



 Firma

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández
 Secretario



 Firma

Dr. Carlos Santiago López Cajun
 Vocal



 Firma

Dr. José Luis Reyes Araiza
 Suplente

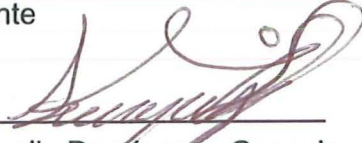


 Firma

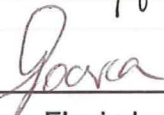
Dr. Jaime Moisés Horta Rangel
 Suplente



 Firma



 Dr. Aurelio Domínguez Gonzales
 Director de la Facultad



 Dr. Ma. Guadalupe Flavia Loarca
 Piña
 Director de Investigación y Posgrado

RESUMEN

En la actualidad en México y en gran parte de Latinoamérica, los procesos constructivos enfocados al sector casa habitación están limitados a implementar materiales convencionales como lo son la mampostería y el concreto reforzado; como resultado de lo anterior se tienen tiempos excesivos en los diferentes procesos constructivos, bajos índices de calidad derivado de los trabajos in situ, un alto consumo de energías no renovables necesarias para la fabricación de estos materiales y sus aplicaciones dentro del sector casa habitación. Por lo cual en este trabajo de investigación se busca una alternativa estructural que permita mejoras significativas a los procesos de fabricación y construcción de los sistemas estructurales enfocados al sector casa habitación, producto de la aplicación de procesos industrializados de manufactura y detallado de los diferentes elementos estructurales de este tipo de edificaciones; promoviendo la construcción a base de acero estructural ya que el mismo facilita en gran manera la concepción, fabricación y construcción de diferentes formas y espacios producto de las demandas que la arquitectura moderna ofrece a la ingeniería civil en relación a espacios habitables. Tomando en cuenta lo anterior, el presente proyecto de investigación propone sistemas de estructuración ligeros a base de acero estructural que permitan el fácil montaje y desmontaje de la súper-estructura, ofreciendo niveles de seguridad estructural apegados a la reglamentación vigente, promoviendo procesos de fabricación totalmente industrializados en ambientes en donde los controles de calidad son superior en comparación a la fabricación in situ. Por lo cual se propone sistemas de estructuración a base de alma abierta para su aplicación en sistemas de muro a base de perfiles estructurales de fabricación y distribución local estructurados de manera en que las resistencias disponibles de dichas secciones no sean superadas como resultado de las cargas externas a las que estará sometido el sistema de estructuración; con lo cual se busca obtener ventajas en relación al peso total de la estructura manejando índices de relación peso/superficie empleados en la práctica profesional del diseño estructural. Como resultados presentados en este trabajo de investigación se muestran planos estructurales del sistema de estructuración global, así como planos de taller para la fabricación de los diferentes elementos que integran las propuestas de estructuración del modelo analítico y experimental en los que se basan los resultados de esta investigación.

(Palabras clave: sistema modular de estructuración, aligeramiento, sistemas de alma abierta, ductilidad, súper-estructura, optimización estructural)

SUMMARY

Currently in Mexico and much of Latin America, the constructive processes focused on the sector House room are limited to implement conventional materials such as masonry and concrete reinforced; like result over time in different construction processes, low rates derived from on-site work quality, a high consumption of non-renewable energies necessary for the manufacture of these materials and their applications within the sector House room. So in this research seeks a structural alternative that allows significant improvements to manufacturing processes and construction of the focused structural systems to the sector House room, for the application of industrial manufacturing and processes detailing the different structural elements of this type of buildings; promoting the construction based on structural steel since it facilitates greatly the design, manufacture and construction of different shapes and spaces the demands which modern architecture product offers to civil engineering in relation to living spaces. Taking into account the foregoing, the present research project proposes light structuring systems based on structural steel that allow the easy Assembly and disassembly of the super-structure, offering levels of structural safety attached to existing regulations, promoting fully industrialized manufacturing processes in environments where they are superior in comparison to on-site manufacturing quality controls. By which proposed systems of structure-based soul open for application in wall systems based on structural profiles of manufacturing and distributing local structured way in that available resistances of these sections are not exceeded as a result of external loads to which the structuring system; will be subject which seeks to gain advantage in relation to the weight structure total handling relationship weight/surface rates employees in the professional practice of structural design. As results presented in this study are shown structural system of global structuring plans, as well as shop drawings for the manufacture of the various elements comprising the proposals of structuring of the analytical and experimental model in which the results of this research are based.

(Key words: modular system of structuring, lightening, trusses system, ductility, super-structure and structural optimization)

A Dios, a pesar de los obstáculos que tuve frente a mí tu vara y su cayado siempre me demostraron que no estaba solo; a mis padres por motivarme a ser un mejor hijo, hombre y profesionalista; a mis amigos ya que sin su constante motivación y apoyo durante estos dos años y medio todo esto no sería posible.

A los alumnos de la asignatura Diseño de Estructuras de Acero, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

- Rodrigo García Chacón
- Efraín González Briseño
- Karim Samir Narváez Parra
- Arely Guadalupe Olvera Gonzales
- Fernando Emilio Sosa Guerrero
- Eduardo Trejo Martínez

Sin su esfuerzo y dedicación la etapa de experimentación no hubiera sido posible ya que a pesar de las dificultades que se tuvieron para dicho proceso nunca desistieron en ningún momento por lo cual siempre les estaré agradecido.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia me gustaría agradecer el apoyo financiero por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) hacia mi persona, ya que sin su apoyo esta tesis no hubiera sido una realidad así como la culminación de mis estudios de posgrado; a la Universidad Autónoma de Querétaro por haberme apoyado en todo momento durante mis formación durante estos dos años en los que fui parte del posgrado de ingeniería, permitiéndome mediante el conocimiento impartido por sus investigadores y docentes ser un mejor profesionista; extendiendo mi más sincero agradecimiento al posgrado de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro que por medio de su convocatoria "Casa Solar Experimental 2014", Proyecto: FIN 2014-32 UAQ se me permitió realizar este proyecto de investigación que hoy culmina y finalmente me gustaría agradecer a todos los Directores y Coordinadores de Investigación y Posgrado de todas las facultades de esta máxima casa de estudio, así como a investigadores, académicos y personal administrativo que colaboraron en la preparación de este manual de apoyo para la redacción de mi tesis, en particular al Mtro. Francisco Perusquía Monroy el haber revisado el texto y sus atinados comentarios para mejorarlo.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	13
2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS	19
2.1 HIPÓTESIS	19
2.2 OBJETIVO GENERAL	19
2.3 OBJETIVO PARTICULAR	19
3. FUNDAMENTACION TEORICA.....	20
4. METODOLOGÍA.....	26
4.1 MODELACIÓN ANALÍTICA.....	26
4.1.1. CONCEPCIÓN TOPOLÓGICA.....	26
4.1.2. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES DE DISEÑO.....	26
4.1.3. CARGA MUERTA DE DISEÑO.....	27
4.1.4. CARGA VIVA DE DISEÑO.....	27
4.1.5. CALCULO DE PRESIÓN DE VIENTO.....	27
4.1.6. CALCULO DE FUERZA CORTANTE POR SISMO.....	29
4.1.7. COMBINACIONES DE DISEÑO.....	31
4.1.8. DETERMINACIÓN DE ESTADOS LIMITE DE RESISTENCIA Y SERVICIO.....	32
4.1.8.1. ESTADO LIMITE DE RESISTENCIA.....	32
4.1.8.2. ESTADO LIMITE DE SERVICIO.....	33
4.2 MODELO EXPERIMENTAL.....	35
4.2.1. ELABORACIÓN DE PLANOS ESTRUCTURALES.....	36
4.2.2. ELECCIÓN DE PROTOTIPOS DE PRUEBA DEL SISTEMA DE ESTRUCTURACIÓN.....	36
4.2.3. ELABORACIÓN DE PLANOS DE TALLER DE PROTOTIPOS DE PRUEBA.....	36
4.2.4. FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS DE PRUEBA.....	36
4.2.5. FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA SECUNDARIA.....	36
4.2.6. DETERMINACIÓN DE CARGAS APLICADAS.....	37
4.2.7. ELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN NECESARIA.....	37
4.2.8. PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	37
5. EJEMPLO DE APLICACION.....	38
5.1 MODELO ANALÍTICO.....	38

5.1.1	<i>Descripción del Proyecto de Investigación.</i>	38
5.1.2	<i>Propuestas de Estructuración.</i>	38
5.1.3	<i>Estimación de Carga Muerta.</i>	41
5.1.4	<i>Estimación de Carga Viva.</i>	41
5.1.5	<i>Estimación de Presión de Viento.</i>	42
5.1.6	<i>Estimación de Fuerza Cortante Por Sismo.</i>	43
5.1.7	<i>Estimación de Combinaciones de Diseño por Resistencia y Servicio.</i>	50
5.1.8	<i>Tipo de análisis a Implementar.</i>	53
5.1.9	<i>Proceso de Modelación y Herramientas de Modelado.</i>	55
5.2	MODELO DE EXPERIMENTACIÓN.	57
5.2.1	<i>Infraestructura, Equipo de Laboratorio e Instrumentación.</i>	57
5.2.2	<i>Elaboración de Prototipos de Prueba.</i>	63
5.2.3	<i>Representación de Condiciones de Frontera.</i>	69
5.2.4	<i>Representación de Cargas Aplicadas.</i>	73
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
6.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS ANALÍTICOS.	78
6.1.1	<i>Resultados de Propuesta de Estructuración a Base de Panel Simple.</i>	78
6.1.2	<i>Resultados Propuesta de Estructuración a Base de Panel Doble.</i>	91
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	100
6.2.1	<i>Análisis Elasto-plástico Del Sistema de Estructuración.</i>	100
6.2.2	<i>Estimación de cargas aplicadas sobre estructura (cargas de servicio)</i>	105
6.2.3	<i>Calculo de Resistencia Nominal de los Elementos que Integran el Modelo Discreto a Base de Panel Simple.</i>	108
6.2.4	<i>Implementación de Análisis "Push Over".</i>	110
6.2.5	<i>Pruebas Experimentales a Escala Real.</i>	126
6.2.6	<i>Resultados Prueba Experimental 1 Panel Simple.</i>	129
6.2.7	<i>Resultados Prueba Experimental 2 Panel Simple.</i>	135
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	142
8.	REFERENCIAS	144
9.	APÉNDICE	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1 Consumos de energías y emanaciones de CO ₂ de materiales principalmente usados en la industria de la construcción.	17
Tabla 4- 1 Listado de combinaciones que relacionan las diferentes interacciones a las que estará sometida la estructura de interés.	31
Tabla 4- 2 Listado de deflexión permisible tomados del IBC-2009.	33
Tabla 4- 3 Distorsiones permisibles de entepiso.	34
Tabla 5- 1 Estimación de carga muerta súper puesta.	41
Tabla 5- 2 Tabla de cargas vivas unitarias.	41
Tabla 5- 3 Presiones de viento en estructura tipo B para la ciudad de Querétaro, Querétaro.	42
Tabla 5- 4 Tiempo-Aceleración, espectro de diseño para la ciudad de Querétaro, Querétaro, estructura tipo B CFE-2008 Sismo.	44
Tabla 5- 5 Cálculo de masa del sistema a base de panel simple.	46
Tabla 5- 6 Cálculo de masa del sistema a base de panel doble.	47
Tabla 5- 7 Combinaciones de carga para diseño por acciones permanentes y variables.	51
Tabla 5- 8 Combinaciones de carga por viento.	51
Tabla 5- 9 Combinaciones de carga por sismo.	52
Tabla 5- 10 Combinaciones de carga para revisión de deformaciones permisibles.	52

Tabla 5- 11 Distorsiones permisibles de entrepiso.....	53
Tabla 5- 12 Listado de Planos Estructurales y de Taller de Propuesta a Base de Panel Simple.	63
Tabla 6- 1 Relación de esfuerzos por descripción de elementos críticos que integran propuesta a base de panel simple.....	79
Tabla 6- 2 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 1 de propuesta a base de panel simple.	81
Tabla 6- 3 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 2 de propuesta a base de panel simple	82
Tabla 6- 4 Tabla de listado de materiales propuesta a base de panel simple.....	84
Tabla 6- 5 Relación de esfuerzos por descripción de elementos críticos que integran propuesta a base de panel doble.	92
Tabla 6- 6 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 1 de propuesta a base de panel doble.....	95
Tabla 6- 7 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 2 de propuesta a base de panel doble.....	96
Tabla 6- 8 Tabla de listado de materiales propuesta a base de panel doble.	97
Tabla 6- 9 Listado de materiales de elementos que integran el modelo discreto de la propuesta a base de panel simple.....	109
Tabla 6- 10 Resultados de análisis 0 (estático) del sistema de estructuración a base de panel simple.	111
Tabla 6- 11 Resumen de análisis estático o análisis "0".	112

Tabla 6- 12 Resultados de análisis plástico 1 del sistema de estructuración a base de panel simple.	114
Tabla 6- 13 Resumen de análisis plástico 1.	115
Tabla 6- 14 Resultados de análisis plástico 2 del sistema de estructuración a base de panel simple.	117
Tabla 6- 15 Resumen de análisis plástico 2.	118
Tabla 6- 16 Resultados de análisis plástico 3 del sistema de estructuración a base de panel simple.	120
Tabla 6- 17 Resumen de análisis plástico 3.	121
Tabla 6- 18 Resultados de análisis plástico 4 del sistema de estructuración a base de panel simple.	123
Tabla 6- 19 Resumen de análisis plástico 4.	124
Tabla 6- 20 Resumen de desplazamiento vs incrementos de carga producto de la implementación de un análisis "Push Over" al sistema de estructuración a base de panel simple.	124
Tabla 6- 21 Resultados prueba experimental 1 desplazamiento vs carga.	129
Tabla 6- 22 Calculo de momento de Inercia con respecto al eje débil mediante la aplicación del teorema de los ejes paralelos.	137
Tabla 6- 23 Calculo de relación de Esbeltez de la sección transversal a base de panel simple.	138
Tabla 9- 1 Tiempo-Aceleración, espectro de diseño para la ciudad de Querétaro, Querétaro, estructura tipo B.	151
Tabla 9- 2 Cálculo de masa del sistema a base de panel simple.	154

Tabla 9- 3 Cálculo de masa del sistema a base de panel doble.	155
Tabla 9- 4 Abreviatura de algunas revistas científicas	158
Tabla 9- 5 Abreviaturas de empleo común en español	159

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la construcción en general está limitada a implementar sistemas estructurales estacionarios (asentados de manera permanente) los cuales en muchas ocasiones juegan un rol negativo con el entorno que los rodea, puesto que dependen de sistemas de cimentación costosos que en casos muy particulares causan gran impacto al suelo en el que están asentados y son una pérdida desde el punto de vista material una vez que la estructura cumplió con su vida útil dado que no son recuperables.

En México como en muchos países de Latinoamérica el sector de la construcción enfocado a la edificación de estructuras tipo casa habitación a quedado relegado a sistemas de estructuración simples desde el enfoque de la arquitectura moderna, ya que la geometría de dichos sistemas no permiten la concepción de formas y espacios agradables a los sentidos (Aparicio Torres, 2007), debido a que los materiales con los que son proyectadas comúnmente este tipo de edificaciones difícilmente permiten la concepción de sistemas de estructuración que permitan una correcta disipación de energía ante acciones accidentales como lo son principalmente sismo y viento.

Un punto de importancia con referencia a las propiedades mecánicas de los materiales convencionales empleados en este sector casa habitación en México, como lo son la mampostería a base de concreto hidráulico y ladrillo recocido ; es que se cuentan con grandes incertidumbres con relación a las propiedades mecánicas de estos materiales empleados en los sistemas estructurales que constituyen las diferentes edificaciones de este sector, debido a la omisión en muchas ocasiones de los estándares y especificaciones existentes en las diferentes normas y reglamentos de construcción que hacen referencia a la calidad y resistencia de estos materiales; producto de estos hechos, las propiedades mecánicas de la gran mayoría de los materiales empleados en el sector casa habitación en nuestro país no cuentan con propiedades bien

dosificadas ya que van cambiando dependiendo de la región en donde se lleva a cabo la producción de los mismos (Aparicio Torres, 2007).

En otro contexto, la construcción de viviendas en México tiende a hacerse de manera artesanal, puesto que se cuentan con grandes incertidumbres con referencia a los materiales empleados comúnmente (Aparicio Torres, 2007); sumado al hecho de que la mano de obra en este sector de la construcción en ocasiones no cuenta con la preparación necesaria ni el equipo necesario para la correcta realización de los diferentes procesos constructivos estipulados en la etapa del diseño estructural de este tipo de edificaciones (Aparicio Torres, 2007).

Partiendo de este hecho como eje de referencia; muchos de los elementos que conforman las estructuras del sector casa habitación en la actualidad carecen de dos cualidades fundamentales denominadas: Sustentabilidad y Ductilidad; ya que en su totalidad los sistemas estructurales clásicos aplicados en el sector casa habitación no poseen la propiedad de re-uso debido a que el criterio con el cual son diseñados suele ser en la gran mayoría de los casos sistemas empotrados o fijos, que difícilmente pueden llegar a ser implementados en otra locación diferente a la estipulada en el proceso de proyección y diseño de la edificación; aunado al hecho de las grandes incertidumbres que se tienen en relación a las propiedades mecánicas de los materiales empleados en este sector de la construcción y la poca disipación de energía desde el punto estructural que poseen estos materiales antes mencionados.

Con referencia al estudio del acero como material empleado en sistemas estructurales, se tiene la publicación de (Engel, 2006) sobre sistemas estructurales ligeros a base de acero; en donde se muestra una gran variedad de topologías, formas geométricas y sistemas de estructuración que facilitan en gran manera la concepción estructural. Ligado a lo anterior, el diseño de estructuras de acero ha producido un revuelo desde el punto de vista de la optimización y el aligeramiento estructural (Soto Rodriguez, 2014); logrando sistemas de estructuración eficientes a menores costos en comparación a los sistemas de estructuración clásicos a

base de mampostería reforzada y confinada, situando al acero estructural como uno de los materiales de construcción con mayor demanda en la actualidad debido a sus múltiples bondades como lo es su alta resistencia y su versatilidad para concebir formas y espacios que difícilmente se podrían lograr con materiales convencionales(Soto Rodriguez, 2014), ofreciendo soluciones viables como estéticas a los diferentes retos que la arquitectura moderna y el entorno ofrecen a la ingeniería estructural (Soto Rodriguez, 2014).

En años recientes el acero estructural como material de construcción ofrece ventajas significativas en comparación a otros materiales, como lo son el concreto reforzado y la mampostería; dentro de las cuales podemos mencionar las siguientes:

- La producción de acero estructural cuenta con altos índices de calidad, ofreciendo una amplia variedad de grados y/o resistencias; facilitando en gran manera el proceso de concepción y diseño estructural a un menor costo en comparación de otros sistemas de estructuración (Soto Rodriguez, 2014).
- El uso del acero estructural como material de construcción conlleva a diseños sofisticados en relación a formas y espacios caprichosos que no comprometan la integridad y seguridad estructural de cualquier tipo de edificación de interés (Soto Rodriguez, 2014).
- El comportamiento dúctil de un sistema estructural es desde luego más fácil de lograr cuando los componentes que lo integran son de acero, en vez de concreto, por ser este un material intrínsecamente dúctil (Martinez-Romero, 1993).
- Los Sistemas estructurales a base de acero permiten una correcta disipación de energía como resultado de acciones accidentales,

fomentando un comportamiento dúctil del sistema estructural más allá del rango elástico de los materiales que integran el sistema estructural (Soto Rodriguez, 2014).

- Su comportamiento mecánico real es el más cercano al comportamiento teórico idealizado en la etapa de concepción estructural; con lo cual se cuentan con propiedades mecánicas bien definidas, permitiendo una determinación más exacta de una sección transversal capaz de resistir las demandas a las que estará sometida (McCormac & Csernak, 2013).
- La implementación de sistemas de estructuración a base de acero conlleva a niveles de seguridad razonables contra los efectos de acciones accidentales como lo son sismo viento, ya que se cuentan con factores de redundancia significativos, ductilidad, resistencia y capacidad de absorción de energía (Soto Rodriguez, 2014).

En Norteamérica, Europa y Japón cerca de dos tercios de desperdicios de construcción y demolición consisten en mampostería y escombros de concreto viejo; a su vez la producción de concreto al año es de 1600 millones de toneladas, lo cual representan aproximadamente el 7% de la carga global de dióxido de carbono a la atmósfera (Hernandez & Mendoza, 2005). Si bien después del agua el material de construcción más utilizado por la industria de la construcción en general es el cemento portland, el cual es responsable de una gran producción de gases de efecto invernadero, ya que la producción de 1 tonelada de cemento requiere aproximadamente de 4GJ (gigajoules) de energía y la manufactura del clinker (materia prima del cemento portland) descarga en promedio 1 tonelada de CO₂ a la atmósfera (Hernandez & Mendoza, 2005).

A continuación, se presenta la tabla 1-1 de consumos de energía promedio de los principales materiales utilizados en la industria de la construcción, así como el promedio de emanaciones en Kg de CO₂ y el rendimiento de los mismos:

Tabla 1- 1 Consumos de energías y emanaciones de CO₂ de materiales principalmente usados en la industria de la construcción.

Material	Energía Necesaria	Emanaciones	Energía/Peso Específico
	(MJ/kg)	(kgCO ₂ /kg)	(MJ/m ³)
Acero virgen	35.4	2.71	0.0037
Acero reciclado	9.4	0.44	0.0018
Aluminio general	155	8.24	0.057
Aluminio reciclado	29	1.69	0.0107
Cemento general	4.5	0.73	0.0013
Cemento portland 94% clinker	5.5	0.93	
Cerámica general	10	0.66	
Concreto general	0.75	0.1	0.0031
Ladrillo	2	0.23	0.0017
Vidrio plano	15	0.86	0.006

(Novas-Cabreras, 2010)

Si bien el acero virgen para su producción requiere de aproximadamente de 35.5 Mega Joule de energía por kilogramo de producción, el procesar acero reciclado para producir nuevamente perfiles estructurales requiere de un 73.45% menos de energía necesaria como indica la tabla 1-1, lo cual hace ver las bondades del acero como material sustentable en comparación a otros materiales en la industria de la construcción como el cemento, ladrillo y el aluminio (Casañas, 2011); ya que por medio de procesos químicos como la fundición del mismo se logra recuperar prácticamente el 100% de algún perfil estructural en comparación al concreto reforzado y la mampostería ya que una vez que la estructura cumple con su vida útil estos materiales se convierten en escombros y desechos; por lo cual la implementación de sistemas de estructuración a base de acero permite el uso de un material capaz de ser reciclado con propiedades bien dosificadas, reduciendo la producción de gases de invernadero y el excesivo consumo de energías no renovables para la elaboración de perfiles estructurales como se hace referencia (Novas-Cabreras, 2010).

Es de suma importancia para la ingeniería estructural reducir costos de construcción referente al sobredimensionamiento de las estructuras; fomentando

el aprovechamiento de las capacidades mecánicas de los materiales a utilizar sin comprometer la seguridad estructural de las edificaciones, apegándose estrictamente a los reglamentos de construcción vigentes (McCormac, 2010); ofreciendo sistemas de estructuración que permitan la concepción de formas y espacios agradables desde el punto de vista arquitectónico; seleccionando los mejores materiales a disposición, justificando el uso de los mismos en base a los principios de sustentabilidad por medio del re-uso de los mismos (Wadel Raina, 2010).

2. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

2.1 Hipótesis

"La implementación de sistemas reticulares, modulables, prefabricables y desmontables a base de sistemas de alma abierta enfocados al sector casa habitación garantizan los estados límite de resistencia y servicio establecidos por la normativa de diseño estructural AISC-05 LRFD y ANSI-01 LRFD."

2.2 Objetivo General

Implementar un sistema estructural modular de vivienda a base de perfiles de acero que satisfaga los requerimientos de resistencia y servicio establecidos en la normativa de diseño estructural AISC-05 LRFD y ANSI-01 LRFD.

2.3 Objetivo Particular

Fomentar procedimientos de construcción y fabricación industrializados mediante el uso del acero estructural en proyectos de viviendas, que permitan reducir costos relacionados al uso in situ de mano de obra y equipo especializado como resultado de procedimientos de constructivos de montaje y ensamble de los diferentes elementos que integran el sistema estructural.

3. FUNDAMENTACION TEORICA

Un punto de relevancia entre los ingenieros en estructuras es la identificación de la función principal que las estructuras tienen con respecto al uso y destino de las mismas; así como la correcta estimación de las acciones a las que estarán sometidas; dentro de las cuales tenemos: Cargas Muertas, Vivas, Viento, Sismo; por mencionar algunas. El proceso de optimización y/o aprovechamiento de las capacidades mecánicas de los elementos que comprenden la súper-estructura y la sub-estructura están estrechamente relacionados a la elección del sistema de estructuración que permita la correcta disipación de energía; producto de las solicitaciones mediante un comportamiento estable. Tomando como referencia el punto anterior, la ductilidad de un sistema estructural puede quedar definida de la siguiente manera:

"Capacidad de sobrellevar sin fallar grandes deformaciones, fuente mayoritaria de liberación de energía de un conjunto estructural." (Martinez-Romero, 1993).

En años recientes el estudio de los diferentes tipos de estructuración a generado numerosos esfuerzos de investigación por parte de (Egorova, Eatherton, & Abhilasha, 2014), (Zamani, Vafai, Aghakouchak, & Kazemi, 2011),(Zamani, Vafaei, Desai, & Rasouli, 2012),(Hong, Cho, Chung, & Moon, 2011),(Annan, Youssef, & El Nagggar, 2009) y (Hongbo et al., 2009); en la búsqueda de formas y geometrías diversas que den como resultado sistemas de estructuración que permitan la correcta disipación de energía ante las solicitaciones de diseño; logrando implementar sistemas de estructuración ligeros de fácil construcción que no comprometan la seguridad estructural ante un evento de magnitud considerable como lo son sismo y viento principalmente, satisfaciendo los estados limite de servicio y resistencia estipulados por los reglamentos vigentes en relación al diseño y construcción de estructuras; dentro de los reglamentos vigentes de mas uso en México podemos mencionar los siguientes:

- Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures(ASCE, 2005)
- Normas Técnicas Complementarias (NTC, 2004).
- International Building Code 2012 (IBC, 2012).
- Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo CFE (CFE, 2008a).
- Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento (CFE, 2008b).

Los reglamentos antes mencionados hacen hincapié en la importancia de la elección de los diferentes tipos de estructuración pre-clasificados a base de acero estructural así como los alcances y limitaciones de los mismos con respecto a las acciones de diseño a las que estará sometido el sistema de estructuración seleccionado.

Dentro de los sistemas de estructuración pre-clasificados para estructuras a base de acero estructural tenemos:

- Sistemas a base de marcos dúctiles.
- Sistemas a base de marcos rígidos contra-venteados concéntricamente.
- Sistemas a base de marcos rígidos contra-venteados excéntricamente.
- Sistemas a base de marcos rígidos con contra-venteo en "Y".
- Sistemas de alma abierta.
- Sistemas a base de marcos rígidos de sección variable.

Antes de los movimientos telúricos ocurridos en Northridge, California y Kobe, Japón en los años de 1994 y 1995 respectivamente; se pensaba que el estado del arte con referencia al diseño sismo resistente de sistemas de estructuración a base de acero permitía en automático diseñar sistemas estructurales dúctiles con la suficiente capacidad de sobrellevar esfuerzos mas allá de los rangos elásticos de los diferentes materiales que conformaban la subestructura (Beltrán & Herrera M, 2008). Los daños observados en estructuras de acero a partir de estos acontecimientos echaron por tierra esta creencia y pusieron en tela de juicio la filosofía que hasta ese momento regia el diseño de sistemas de estructuración a base de acero, derivado del gran numero de daños producidos en los diferentes sistemas de estructuración implementados hasta

entonces, principalmente los sistemas a base de marcos a momento o marcos rígidos (Beltrán & Herrera M, 2008). A raíz de estos acontecimiento y de estudios posteriores sobre el verdadero comportamiento de los diferentes tipos de estructuración y sus componentes de interconexión ante este tipo de acciones de magnitud considerable como lo son los sismos. En el año de 2005, la AISC publico la última versión de sus disposiciones (AISC 2005a); estas disposiciones recogen toda la experiencia y conocimiento obtenido como resultado de estos acontecimientos en Northridge en 1994 y Kobe en 1995 con referencia a los sistemas de estructuración a base de acero (Beltrán & Herrera M, 2008).

En relación a sistemas de estructuración ligeros susceptibles a las ráfagas de viento; en México se cuenta con diversos manuales y reglamentos que permiten la correcta estimación de la fuerza estático del viento y su correspondientes factores de amplificación dinámica en las diferentes zonas de ocurrencia de este tipo de estructuras; dentro de los manuales o reglamentos de mayor uso y aplicación en la práctica común en México se tiene (NTC, 2004) y (CFE, 2008b); donde se muestran diferentes tipos de estructuración como lo son las torres de transmisión de electricidad, sistemas de estructuración tipo espectaculares y estructuras cerradas como lo son las naves industriales; los cuales debido a su geometría y ligereza en comparación a otro tipo de estructuras son sumamente susceptibles a los efectos propios del viento. Retomando lo anterior, en la actualidad el reglamento o manual de mayor uso y aplicación en la práctica profesional del diseño de estructuras es el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, Diseño por viento (CFE, 2008b), ya que provee de una metodología extensa y detallada del cálculo de los factores que influyen en la estimación de la presión de viento de un numero bastante extenso de diferentes tipos de estructuras sumado al hecho que se cuenta con una zonificación bastante aceptable de las velocidades de viento dentro del territorio nacional.

A continuación se presenta en las figuras 3-1 a 3-5 algunos casos de sistemas de estructuración en donde las acciones del viento predominan en

relación a los efectos del sismo debido a la ligereza y geometría propia de este tipo de estructuras.

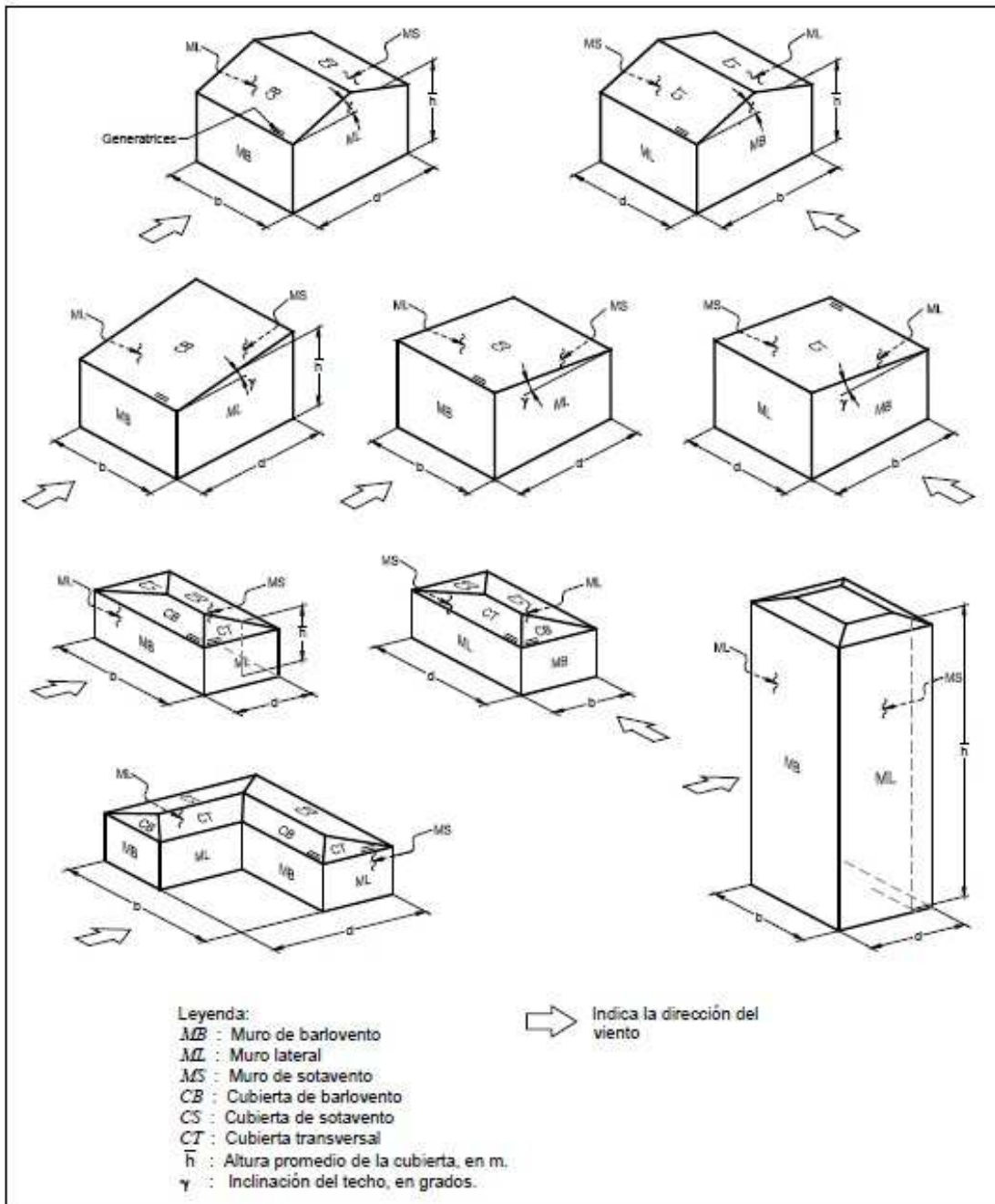


Figura 3-1 Estructura tipo construcciones cerradas "naves industriales" (CFE, 2008b).

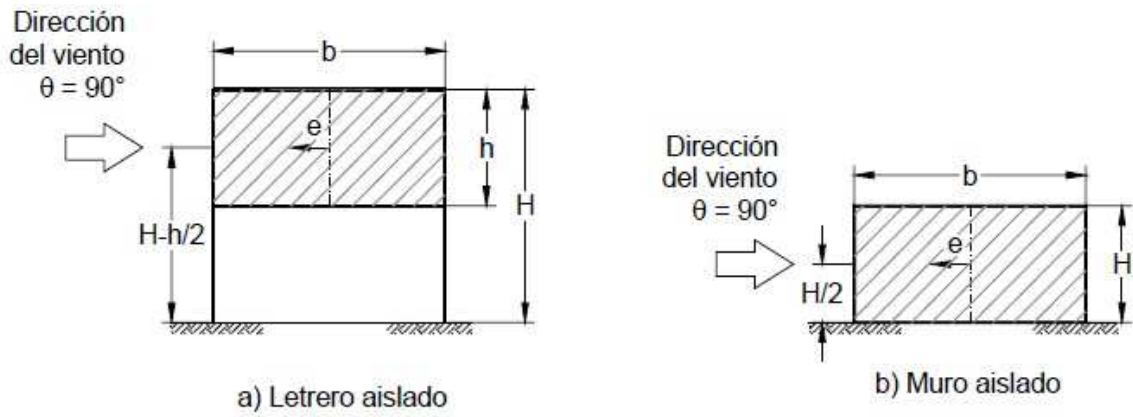


Figura 3-2 Estructura tipo letreros aislado o muros aislado "espectaculares" (CFE, 2008b).

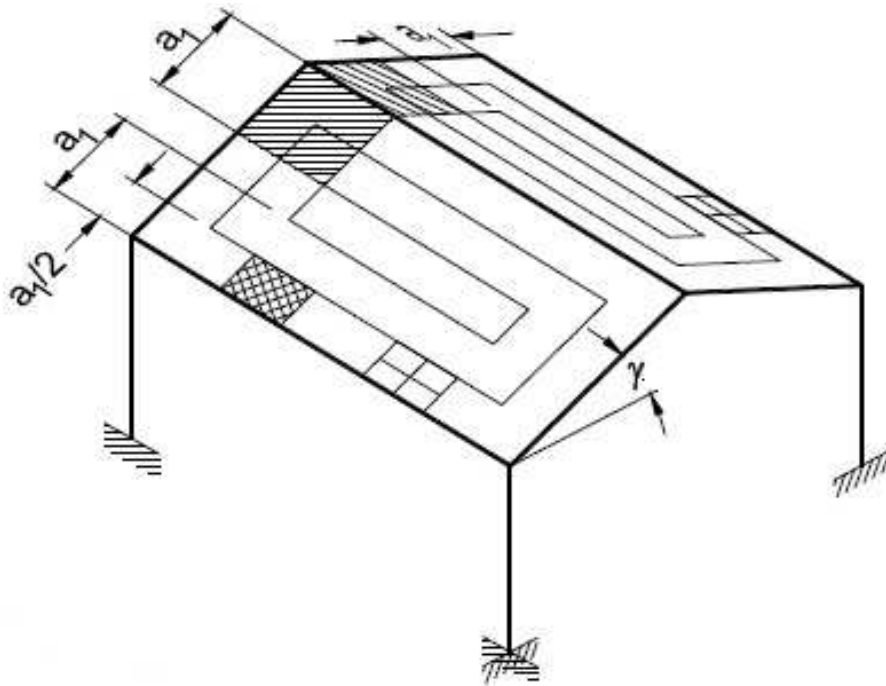


Figura 3-3 Estructura tipo techos aislados "cubiertas ligeras" (CFE, 2008b).

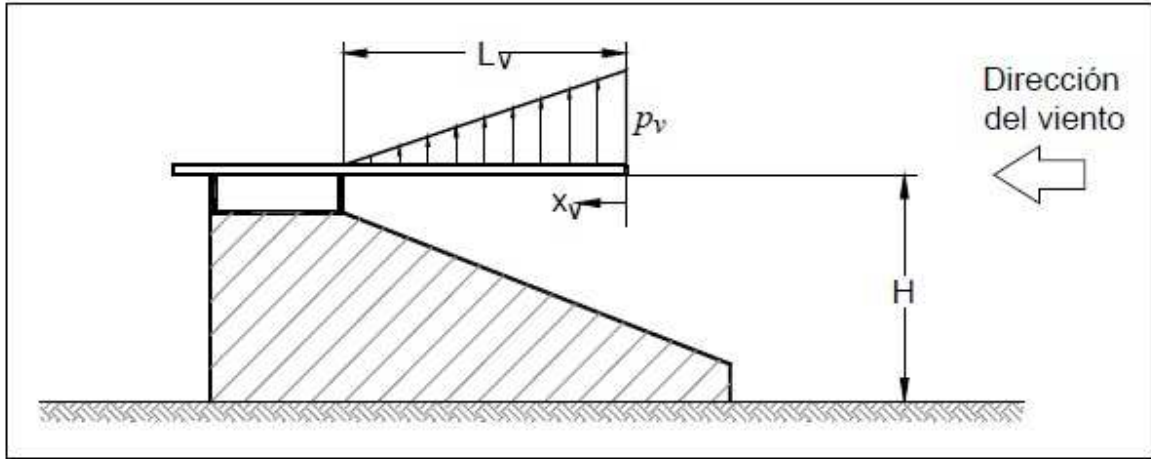


Figura 3-4 Estructura tipo techo o toldo en voladizo (CFE, 2008b).

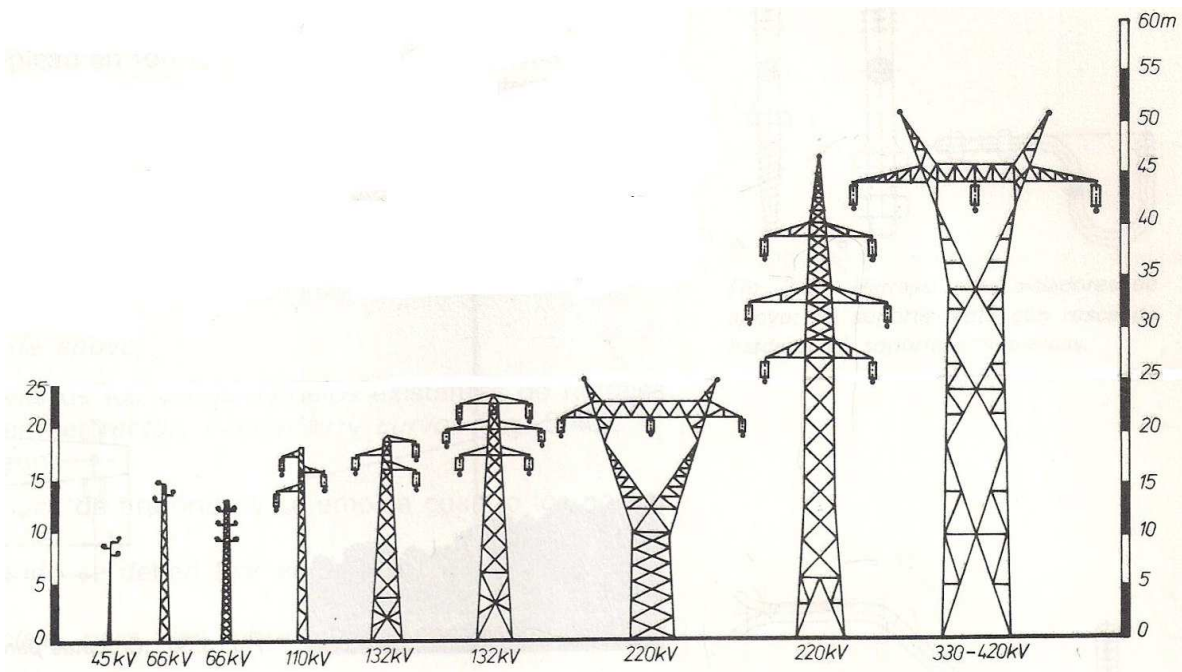


Figura 3-5 Estructura tipo "Torre de Transmisión Eléctrica".

4. METODOLOGÍA

4.1 Modelación Analítica.

Dentro de la secuencia metodológica referente a la modelación analítica del presente proyecto de investigación se tienen los siguientes actividades a realizar:

4.1.1. Concepción Topológica.

Comprende la selección del sistema estructural a emplear en el proyecto investigación, tomando como referencia los sistemas de estructuración establecidos en el reglamento (ASCE, 2005); identificando las ventajas y limitaciones con respecto a los estados límite de resistencia y servicio de la estructura de interés.

4.1.2. Identificación de Acciones de Diseño.

Comprende la correcta estimación de las acciones y/o cargas de diseño a las que estarán sometidos los sistemas de estructuración; dentro de las acciones de diseño que se contemplan en este proyecto de investigación tenemos:

- Cargas Muertas.- Cargas permanentes sobre la estructura; dentro de las cuales están las derivadas del peso propio de los materiales, el peso del sistema de acabados, peso propio del sistema de piso o cubierta, etc.
- Cargas Vivas.- Cargas producto de la reglamentación vigente; cargas representativas al uso y ocupación del inmueble.
- Cargas Accidentales.- Dentro de esta clasificación se tienen las cargas referentes a los efectos climatológicos o acciones propias de la ubicación final de la estructura; por cargas accidentales o ambientales se tienen: sismo, viento, nieve, lluvia, etc.

4.1.3. Carga Muerta de Diseño.

Comprende la estimación del peso propio del sistema de entrepiso o cubierta por unidad de superficie, así como la estimación del peso correspondiente a acabados, instalaciones y alguna sobre carga en particular que el proyectista responsable desee contemplar.

4.1.4. Carga Viva de Diseño.

Comprende la estimación de la carga unitaria (kg/m^2) correspondiente al uso o destino que tendrá la edificación de interés; dentro de las cargas vivas a las que estará sometida la estructura podemos mencionar 3:

- Carga Viva Máxima (W_m): Carga viva para el diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para el cálculo de asentamientos inmediatos.
- Carga Viva Instantánea (W_a): Carga viva para el diseño estructural por fuerzas accidentales: Sismo, Viento, etc.
- Carga Viva Media (W): Carga viva para el diseño de asentamientos diferidos y flechas diferidas.

Para la estimación de las cargas vivas según el destino de la edificación, la presente investigación tomo como base las cargas vivas establecidas en el reglamento (NTC, 2004) de la tabla 6.1 Cargas Vivas Unitarias, Tomo 2.

4.1.5. Calculo de Presión de Viento.

El cálculo de la presión de viento se realizo tomando como base el Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Viento de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2008b). A continuación se ilustra por medio del diagrama de flujo de la figura 4-1 los pasos a seguir para el cálculo de presiones de viento de acuerdo con el reglamento (CFE, 2008b):

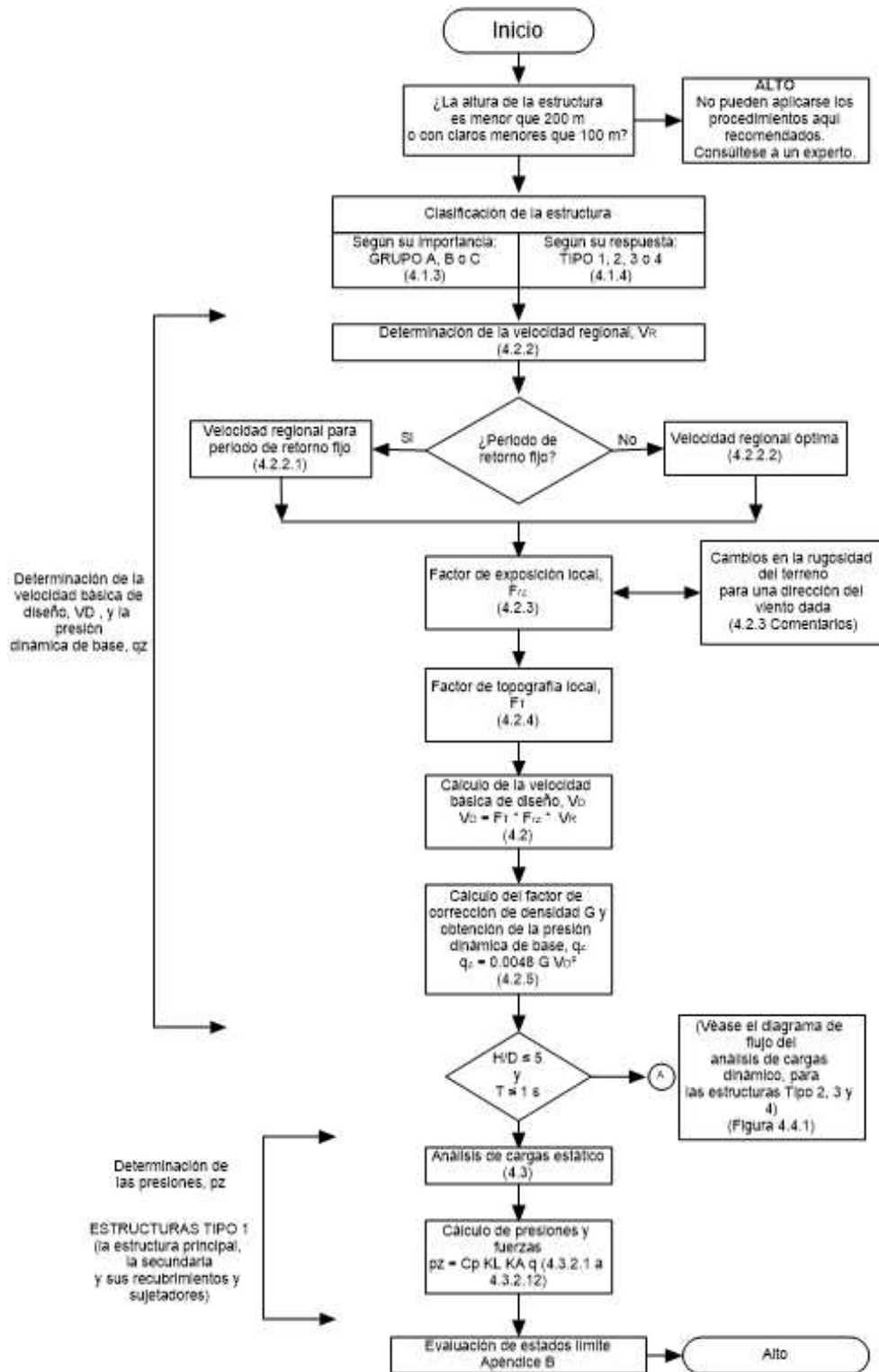


Figura 4-1 Procedimiento para el cálculo de las presiones de viento CFE-2008 Viento

(CFE, 2008b)

4.1.6. Cálculo De Fuerza Cortante por Sismo

El cálculo de la fuerza cortante producto del sismo se realizó en base al Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo (CFE, 2008a); el análisis que se implementó en la presente investigación fue por medio de un análisis dinámico de la estructura aplicando el método de superposición modal.

Para la correcta estimación del espectro de aceleración que permita el cálculo de la fuerza cortante producto del sismo aplicado en la estructura se empleó el software de la Comisión Federal de Electricidad "PRODISIS v2.3" como se puede ver en las figuras 4-2 y 4-3.

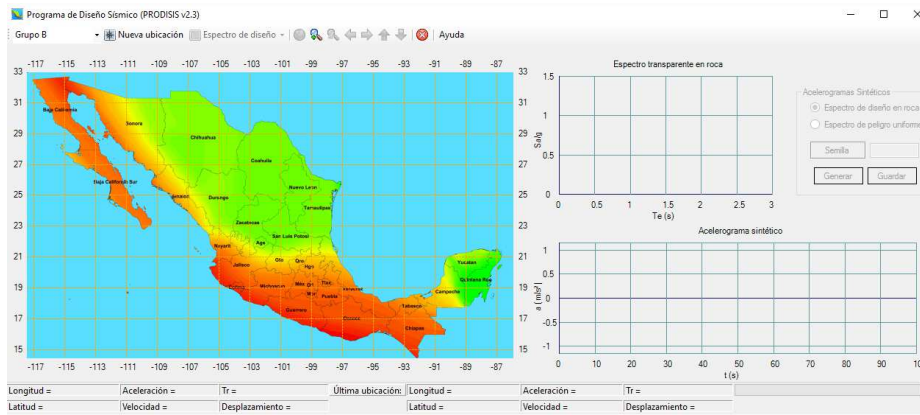


Figura 4-2 Software de apoyo para el cálculo del espectro de aceleración de una estructura según su importancia para el territorio Nacional (México).

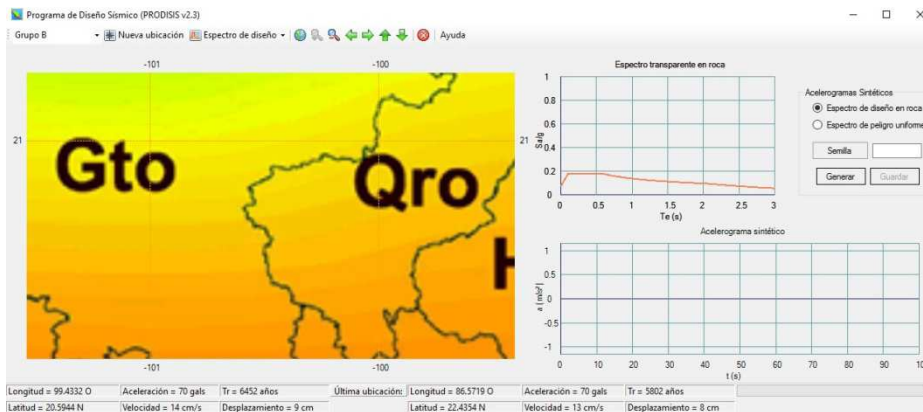


Figura 4-3 Implementación del software PRODISIS v2.3 para el cálculo del espectro de aceleración para una estructura Tipo B en la ciudad de Querétaro, Querétaro.

A continuación se ilustra por medio del diagrama de flujo de la figura 4-4 los pasos a seguir para el implementación de un análisis dinámico de una estructura mediante el método de superposición modal o análisis modal espectral.

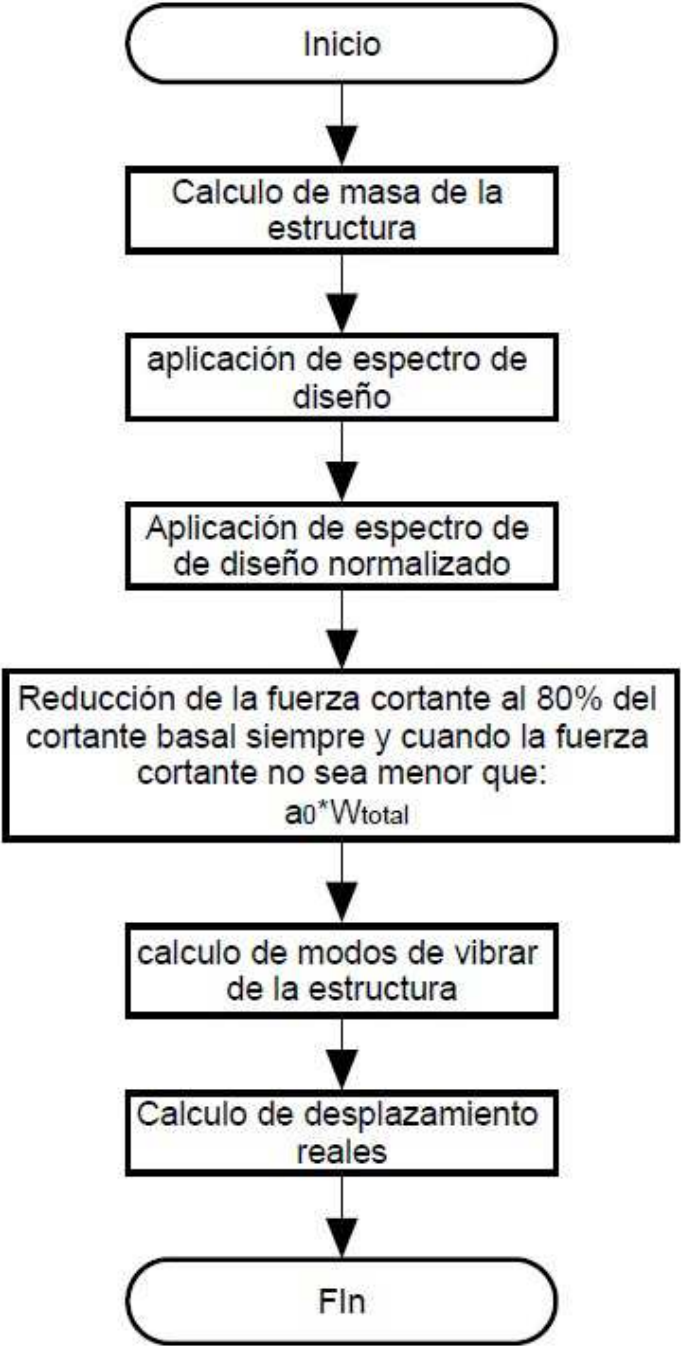


Figura 4-4 Diagrama de flujo de procedimiento de análisis dinámico sobre una estructura.

4.1.7. Combinaciones de Diseño.

Para la estimación de combinaciones de carga que permitan la interacción de las diferentes acciones a las que estarán sometidas las dos propuestas de estructuración, se tomo como referencia las combinaciones de carga establecidas por el reglamento Minimum Desing Loads For Building and Other Structures (ASCE, 2005) y las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (NTC, 2004), como se muestra a continuación en la tabla 4-1.

Tabla 4- 1 Listado de combinaciones que relacionan las diferentes interacciones a las que estará sometida la estructura de interés.

Condición	Descripción	Reglamento	Estado
D1	1.4CM	(ASCE, 2005)	Resistencia
D2	1.2CM+1.6CV	(ASCE, 2005)	Resistencia
D3	1.2CM+0.8PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D4	1.2CM+0.8PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D5	1.2CM+1.6PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D6	1.2CM+1.6PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D7	1.2CM+CV+1.6PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D8	1.2CM+CV+1.6PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D9	1.2CM+SX+0.3SZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D10	1.2CM+0.3SX+SZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D11	1.2CM+CV+SX+0.3SZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D12	1.2CM+CV+0.3SX+SZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D13	0.9CM+1.6PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D14	0.9CM+1.6PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D15	0.9CM+SX+0.3SZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D16	0.9CM+0.3SX+SZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D17	1.4CM+1.4CV	(NTC, 2004)	Resistencia
D18	CM+CV	(ASCE, 2005), (NTC, 2004)	Servicio

CM = Carga Muerta, CV = Carga Viva, PVX = Presión de Viento Eje X, PVZ= Presión de Viento Eje Z, SX= Sismo Eje X, SZ=Sismo Eje Z.

4.1.8. Determinación de Estados Limite de Resistencia y Servicio.

4.1.8.1. Estado Limite de Resistencia.

Comprende el cálculo de las resistencias disponibles de los diferentes elementos estructurales conforme a la condiciones de frontera de los mismos; dentro de los criterios de diseño por resistencia implementados en la presente investigación tenemos:

a).- AISC-05 LRFD.- Norma que permite el diseño de elementos rolado en caliente de acuerdo a la norma AISC, permitiendo el diseño de elementos estructurales por medio del criterio de Factores de Carga y Resistencia.

Normativas de Referencia para el diseño de elementos rolado en caliente:

- ANSI/AISC 360-05.- Especificación para edificios de acero estructural, publicado por el instituto americano de construcción en acero (AISC).
- ANSI/AISC 360-10.- Especificación para edificios de acero estructural, publicado por el instituto americano de construcción en acero (AISC).
- ANSI/AISC 341-05.- Especificación para la consideraciones de provisiones sísmicas para acero estructural.
- ANSI/AISC 341-10.- Especificación para la consideraciones de provisiones sísmicas para acero estructural.

b).- ANSI-01 LRFD.- Norma que permite el diseño de elementos rolado en frío de acuerdo a la norma AISC, permitiendo el diseño de elementos estructurales por medio del criterio de Factores de Carga y Resistencia. Versión 2001 de las Especificaciones para el diseño de miembros de acero estructural formados en frío del Instituto Americano del Hierro y Acero (American Iron and Steel Institute.).

c).- ACI 318-05.- Norma correspondiente al diseño de elementos de concreto reforzado, dentro de los alcances de la presente investigación se tiene el diseño del sistema superficial de cimentación.

4.1.8.2. Estado Limite de Servicio

Comprende el cálculo de condiciones de servicio mínimas que debe de cumplir toda estructura, con el fin de salvaguardar las condiciones de operatividad de la misma. Dentro de los estados limite de servicio se tienen:

- Deformaciones Permisibles. ($\delta_{\text{permisible}}$)
- Desplazamientos Laterales Permisibles. ($\Delta_{\text{permisibles}}$)

Para el cálculo de flechas permisibles, la presente investigación tomo como referencia lo estipulado por el reglamento (IBC, 2012), como se puede apreciar en la tabla 4-2.

Tabla 4- 2 Listado de deflexión permisible tomados del IBC-2009

Miembros	Condiciones de Carga		
	CV	CM+CV	PV ó N
Para miembros de piso	L/360	L/240	-
Para miembros de techo que soportan plafón de yeso*	L/360	L/240	L/360
Para miembros de techo que soportan plafones que no son de yeso*	L/240	L/180	L/240
Para miembros de techo que no soportan plafones*	L/180	L/120	L/180
* Todo los miembros de techo deberán de investigarse en cuanto al encharcamiento			

CM = carga muerta, CV = carga viva, PV= presión de viento, N= presión producto de Nieve

(McCormac & Csernak, 2013)

Para el cálculo de desplazamiento laterales permisibles, la presente investigación tomo como referencia lo estipulado por el reglamento (NTC, 2004) con relación a los valores de distorsión permisible como se puede apreciar en la tabla 4-3.

Tabla 4- 3 Distorsiones permisibles de entripiso

Sistema Estructural	Distorsión
Marcos dúctiles de concreto reforzado (Q= 3 ó 4)	0.03
Marcos dúctiles de acero (Q= 3 ó 4)	0.03
Marcos de acero o concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.015
Losas planas sin muros o contravientos	0.015
Marcos de acero con contravientos excéntricos	0.020
Marcos de acero o concreto con contravientos concéntricos	0.015
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto (Q= 3)	0.015
Muros combinados con marcos de concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.01
Muros diafragma	0.006
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla	0.005
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente; o mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla	0.004
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior	0.002
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	0.0015

(NTC, 2004)

4.2 Modelo Experimental.

Etapa del proyecto de investigación que contempla la experimentación a escala real de los sistemas de estructuración propuestos con el objetivo principal de permitir recrear en condiciones reales las condiciones de trabajo de los prototipos de prueba representativos de los sistemas de estructuración a base de panel simple y panel doble, como se puede ver en el siguiente diagrama de flujo representado en la imagen 4-5 representativo de los pasos para la construcción del modelo experimental.

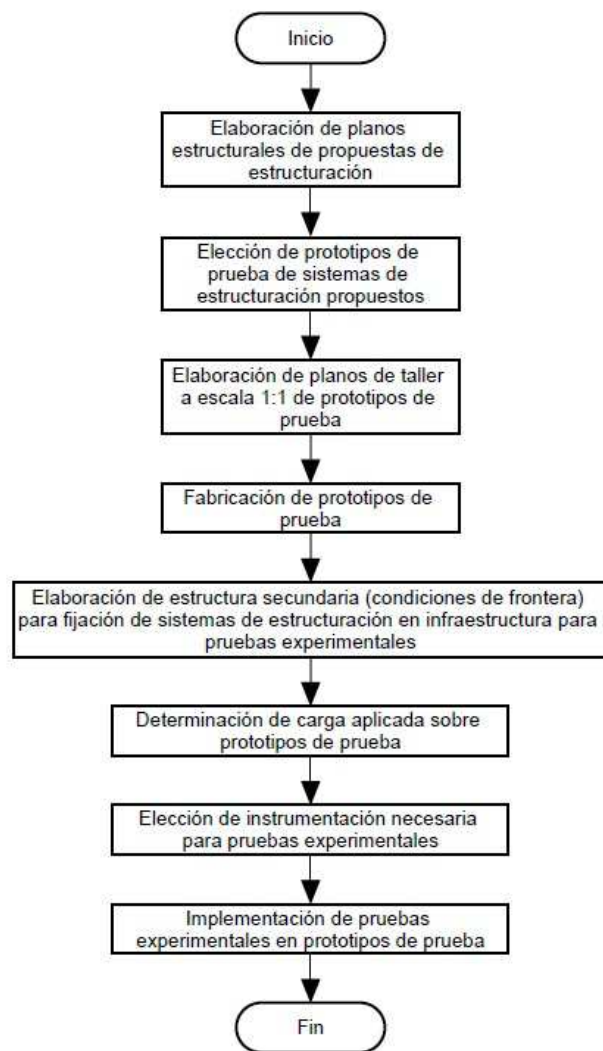


Figura 4-5 Diagrama de flujo de procedimiento para construcción de modelo experimental

4.2.1. Elaboración de Planos Estructurales.

Etapa que comprende la elaboración de planos estructurales resultado del análisis y diseño de las propuestas de estructuración; dentro de los planos estructurales se tienen:

- Planos de Especificaciones Generales.
- Plantas Estructurales.
- Fachadas Estructurales.
- Cortes Estructurales
- Detalles de conexión o Fijación.

4.2.2. Elección de Prototipos de Prueba del Sistema de Estructuración.

Comprende la selección de un segmento del sistema estructural representativo que permita la prueba a escala real de las condiciones reales de trabajo establecidas previamente en la etapa analítica (análisis y diseño).

4.2.3. Elaboración de Planos de Taller de Prototipos de Prueba.

Parte del modelo experimental que contempla del diseño de los elementos de interconexión de los diferentes componentes que integran el prototipo de prueba así como el dibujo detallado del número exacto de piezas que integran el espécimen de prueba a escala real considerando detalles de holgura necesarios para su correcta fabricación.

4.2.4. Fabricación de Prototipos de Prueba.

Contempla el maquinado y forjado de los diferentes elementos que constituyen el prototipo de prueba en ambiente controlado (taller).

4.2.5. Fabricación de Estructura Secundaria.

Comprende el diseño y fabricación del sistema estructural secundario que permita representar de manera adecuada las condiciones de apoyo o frontera que

tendrá el sistema de estructuración a probar con el fin de asegurar el comportamiento deseado en la etapa analítica.

4.2.6. Determinación de Cargas Aplicadas.

Etapa que constituye la elección del equipo necesario que permita representar las cargas aplicadas en los prototipos de prueba producto de la estimación de las acciones de diseño a las que estarán sometidos los sistemas de estructuración propuestos.

4.2.7. Elección de Instrumentación Necesaria.

Constituye la elección del equipo auxiliar que permita estimar de manera real los desplazamiento y deformaciones a los que estarán sujetos los especímenes de prueba una vez que sean sometidos a condiciones de trabajo.

4.2.8. Pruebas Experimentales.

Etapa del modelo experimental donde se llevan a cabo las diferentes pruebas ante condiciones de carga real del sistema de estructuración que permitan la estimación real de los modos o patrones de falla de los mismos.

5. EJEMPLO DE APLICACION

5.1 Modelo Analítico.

Con base a la metodología propuesta por la presente investigación, a continuación se procederá a describir de manera detallada las propuestas analíticas de los sistemas de estructuración propuestos.

5.1.1 Descripción del Proyecto de Investigación.

Estructura ortogonal de 7.00m x 7.00m aproximadamente, con altura promedio de 3.34m sobre el nivel de la sub-rasante del terreno natural destinada a satisfacer las necesidades de un espacio habitacional en la ciudad de Querétararo, Querétaro.

5.1.2 Propuestas de Estructuración.

Tomando como base lo establecido por la normativa de diseño (ASCE, 2005) el sistema de estructuración a implementarse será el conocido por sus siglas en ingles (OCBF) (ordinary concentrically braced frames) "marcos ordinarios con contra-venteo concéntrico" como se puede apreciar en las figuras 5-1 y 5-2 correspondiente a las propuestas a base de panel simple y panel doble respectivamente. En las propuestas antes mencionadas la disipación de la energía ante acciones accidentales como lo son sismo y viento quedara prevista por el conjunto de elementos verticales y horizontales (pórticos) y la rigidez lateral de los sistemas quedara enteramente a cargo de los elementos diagonales que integran el sistema de estructuración.

Cabe resaltar que en base a las demandas en relación a cargas accidentales a las que estará sujeta la estructura con respecto al ubicación de la misma, las cargas que llevaran al máximo las capacidades de los diferentes elementos que integran la súper-estructura como la sub-estructura serán principalmente las derivadas del viento ya que se propone un sistema de estructuración ligera susceptible a estas acciones, debido a que la masa de la

misma es pequeña en comparación a sistemas de estructuración tipo edificios donde son susceptibles a sismo por la gran concentración de masa existente en sus entrepisos y sumado al hecho de que la ciudad de Querétaro, Querétaro no está catalogada como zona de alto riesgo sísmico en base a la zonificación prevista por el Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2008a)

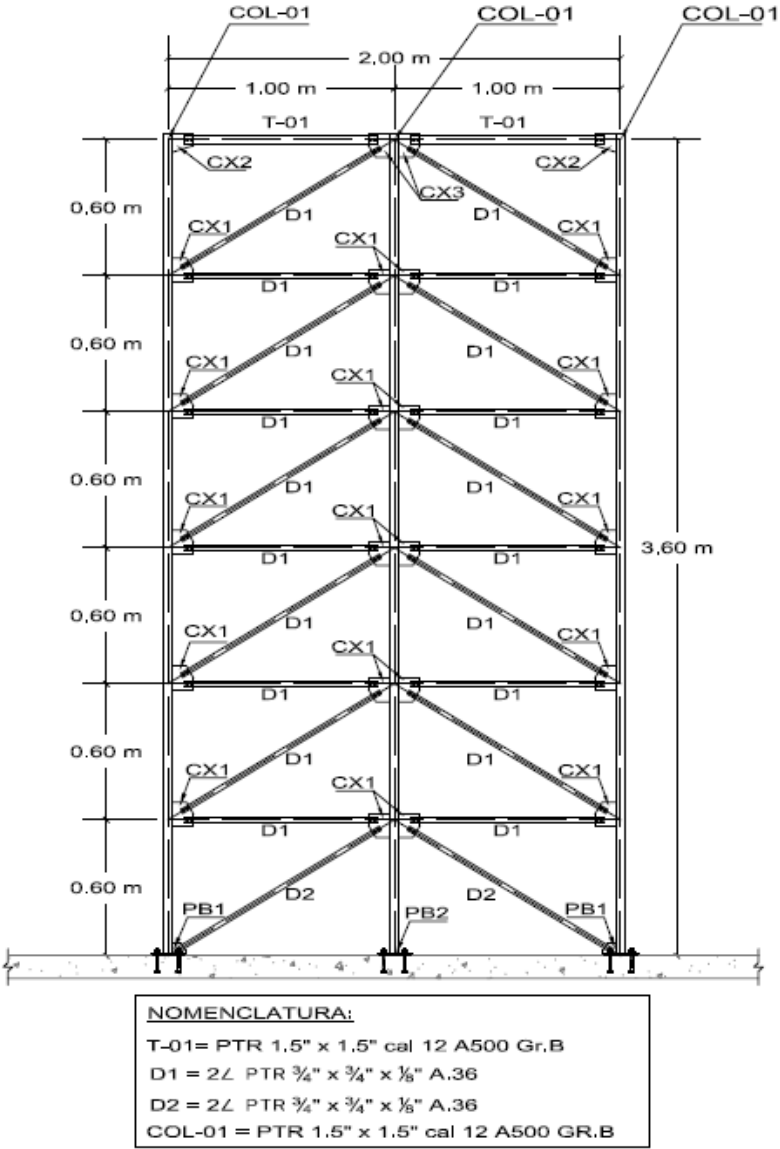
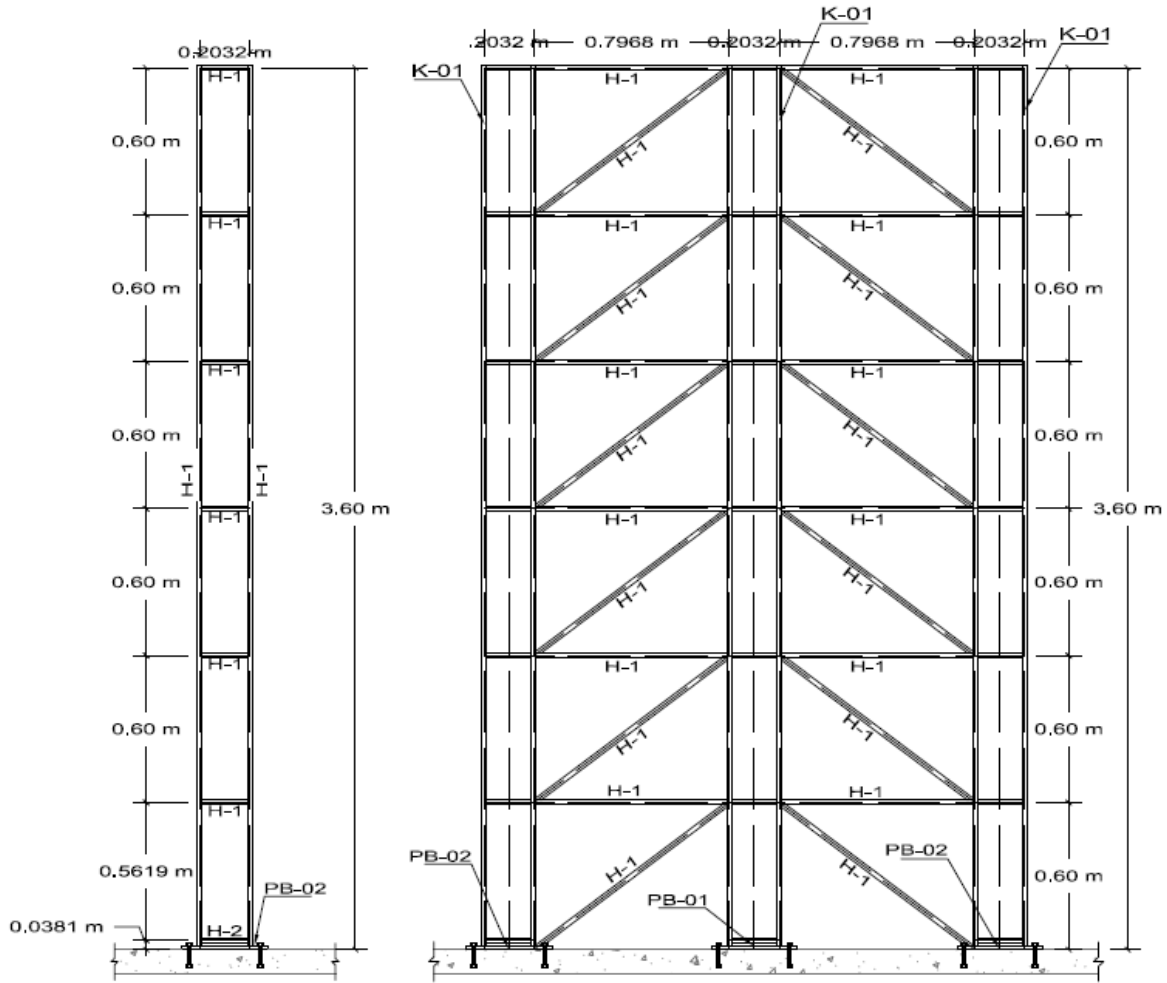


Figura 5-1 Propuesta de estructuración a base de panel simple de marcos ordinarios con contra-venteo concéntrico (OCBF) ASCE/SEI 7-05.



NOMENCLATURA:
H-1= PTR 3/4" x 3/4" CAL 14 A500 GR.B

Figura 5-2 Vista lateral y frontal de propuesta de estructuración a base de panel doble de marcos ordinarios con contra-venteo concéntrico (OCBF) ASCE/SEI 7-05.

5.1.3 Estimación de Carga Muerta.

La estimación de cargas muertas sobre la estructura será la correspondiente a los valores dados por la tabla 5-1.

Tabla 5- 1 Estimación de carga muerta súper puesta.

Cargas Muertas en Sistema de Cubierta	
Descripción	Presión (kg/m ²)
Sistema de cubierta a base de Ternium Galvatecho de 1.5"	10
Instalaciones	15
Sobrecarga de diseño	20
Total Carga Muerta	45

5.1.4 Estimación de Carga Viva.

Tomando como base lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal la estimación de las cargas vivas unitarias será conforme a lo establecido en la tabla 5-2:

Tabla 5- 2 Tabla de cargas vivas unitarias

Cargas Vivas Unitarias			
Destino del piso o cubierta	W (kg/m ²)	W _a (kg/m ²)	W _m (kg/m ²)
Azoteas con pendiente no mayor de 5 %	15	70	100
Azoteas con pendiente mayor de 5 %; otras cubiertas, cualquier pendiente.	5	20	40

(NTC, 2004)

5.1.5 Estimación de Presión de Viento.

El cálculo de la presión de viento se realizó con base al Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Viento de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2008b), tomando como referencia las características del tipo de estructura así como características de la locación que tendrá la estructura:

Datos

- Ciudad = Querétaro, Querétaro.
- Clasificación de la Estructura = B (CFE, 2008b).
- Periodo de Retorno = 50 años (CFE, 2008b).
- Altura sobre el nivel mal = 1813 metros (CFE, 2008b).
- Temperatura promedio anual = 18.8 °C (CFE, 2008b).
- Pendiente de la Cubierta = 13.21% (pendiente promedio).
- Altura promedio de la estructura = 3.34 metros.

Una vez obtenido los datos de diseño se procede a hacer al cálculo de las presiones de viento según su ocurrencia en la estructura como se puede ver en la tabla 5-3. Para información detallada con respecto al cálculo de las presiones de viento consultar el anexo en el apartado de "Calculo de Presión de Viento en Base al Reglamento CFE-2008, Diseño por Viento".

Tabla 5- 3 Presiones de viento en estructura tipo B para la ciudad de Querétaro, Querétaro.

Zona de Ocurrencia	Presión (kg/m ²)	Tipo
MB	66.38	empuje
MS	0.00	
ML1	-34.46	succión (0h a 1h)
ML2	-22.98	succión (1h a 2h)
ML3	-7.66	succión (2h a 3h)
CB	-28.46	succión
CS	-53.61	succión

MB = Muro en Zona de Barlovento, MS = Muro en Zona de Sotavento, ML= Muro Lateral, CB = Cubierta en Zona de Barlovento, CS= Cubierta en Zona de Sotavento.

(CFE, 2008b)

5.1.6 Estimación de Fuerza Cortante Por Sismo.

El cálculo de la fuerza cortante producto del sismo se realizó en base al Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo (CFE, 2008a); el análisis por sismos de los dos sistemas de estructuración propuestos será por medio de un análisis dinámico de la estructura por medio de la implementación del método de superposición modal de la estructura. A continuación se presentan los datos necesarios para la correcta construcción del espectro de aceleración para una estructura tipo B en la ciudad de Querétaro en el estado de Querétaro:

Datos

- Locación: Querétaro, Querétaro, México.
- Clasificación de la estructura según su destino: B inciso 3.2.2. Tabla 2.1. del (CFE, 2008a).
- Clasificación de la construcción según su estructuración: Tipo 1 inciso 3.2.3, Tabla 2.2. del (CFE, 2008a)

Con base a los datos antes enlistado se procesa a la construcción del espectro de aceleración para la ciudad de Querétaro para una estructura Tipo B como se indica en la figura 5-3 y la tabla 5-4.

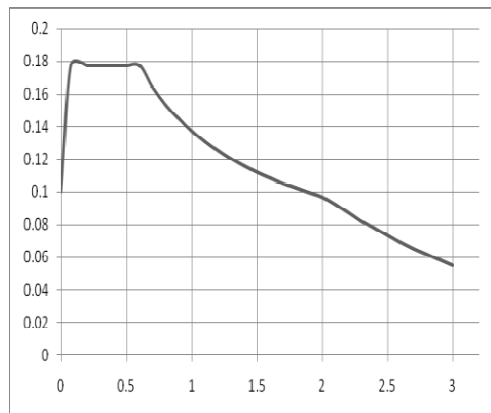


Figura 5-3 Grafica de espectro de aceleración para la ciudad de Querétaro, Querétaro, estructura tipo B CFE-2008 Sismo.

Tabla 5- 4 Tiempo-Aceleración, espectro de diseño para la ciudad de Querétaro, Querétaro, estructura tipo B CFE-2008 Sismo.

T (seg)	S _a (1/g)
0	0.1
0.0708	0.1771
0.2	0.1771
0.3	0.1771
0.4	0.1771
0.5	0.1771
0.6	0.1771
0.7	0.164
0.8	0.1534
0.9	0.1446
1	0.1372
1.1	0.1308
1.2	0.1252
1.3	0.1203
1.4	0.116
1.5	0.112
1.6	0.1085
1.7	0.1052
1.8	0.1023
1.9	0.0995
2	0.097
2.1	0.0921
2.2	0.0871
2.3	0.0823
2.4	0.0777
2.5	0.0733
2.6	0.0691
2.7	0.0652
2.8	0.0616
2.9	0.0582
3	0.0551

T = Tiempo expresado en segundos, S_a = Aceleración para el diseño sísmico expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad (1/g).

(CFE, 2008a)

Para información detallada con respecto al cálculo del análisis dinámico por sismo implementado consultar el anexo en el apartado de "Calculo de Cortante por Sismo en Base al Reglamento CFE-2008, Diseño por Sismo".

5.1.6.1 Estimación de Fuerza Cortante Por Sismo.

Para el cálculo de la fuerza cortante por sismo se utilizo la siguiente expresión:

$$\frac{V}{W} = \frac{c*\beta}{Q'*R*\rho} \dots\dots\dots \text{expresión (3.8) del (CFE, 2008a)}$$

Donde:

V = Fuerza cortante basal.

W = Peso de la construcción, incluyendo cargas muerta y cargas vivas.

c = Aceleración máxima espectral o coeficiente sísmico.

β = Factor de amortiguamiento.

R = Factor de sobre resistencia. (inciso 3.3.1.3)

ρ = Factor por redundancia de la estructuración empleada. (inciso 3.3.1.4)

Q = Factor de Ductilidad estructural para estructuras regulares.

Q' = Factor de ductilidad estructural corregido para estructuras irregulares.

Despejando de la expresión (3.8) del (CFE, 2008a) y despreciando la sobre resistencia del sistema estructural R=1.0 y teniendo un factor de redundancia $\rho=1.0$; el cálculo del la fuerza cortante basal quedaría de la siguiente manera:

$$V = \frac{c*W}{Q}$$

(CFE, 2008a)

5.1.6.2 Cálculo de Masa Representativa de la Estructura.

Para el cálculo de la masa de la estructura se hicieron dos cálculos ya que se cuentan con dos propuestas de misma geometría pero con diferencias significativas en su sistema de estructuración, a continuación se presentan los datos necesarios para el cálculo de la masa y el cálculo de la misma en las tablas 5-5 y 5-6 respectivamente para la propuesta a base de panel simple y panel doble.

Datos para el Cálculo de La Masa:

- Superficie de construcción con pendiente $\leq 5\%$ = 18.59m²
- Superficie de construcción con pendiente $\geq 5\%$ = 28.56m²
- Superficie Total = 47.17m²
- Carga muerta por m² = 45kg/m²
- Carga Viva Instantánea para pendiente $\leq 5\%$ = 40kg/m²
- Carga Viva Instantánea para pendiente $\geq 5\%$ = 20kg/m²
- Sistema de Muros = 45kg/m²
- Longitud de Muros = 37.1939m
- Altura Promedio de Muros = 3.34m

Estimación de Masa:

Tabla 5- 5 Cálculo de masa del sistema a base de panel simple.

Masa	Ton
Carga muerta	2.12175
Carga viva Instantánea 1	1.3013
Carga viva Instantánea 2	0.5712
Materiales que integran el sistema de techo o piso	0.337
Masa de la mitad del peso de las columnas	0.1595
Sistema de muros	11.18056
Total	15.6713

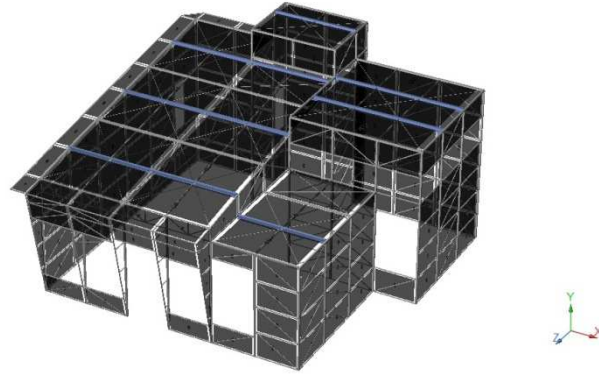


Figura 5-4 Propuesta a base de panel simple a base de un sistema de estructuración a base de marcos ordinarios con contra-venteo concéntrico. (fachada sur)

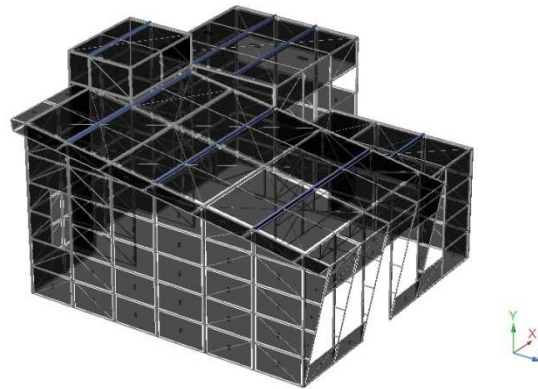


Figura 5-5 Propuesta a base de panel simple a base de un sistema de estructuración a base de marcos ordinarios con contra-venteo concéntrico. (fachada oeste)

Tabla 5- 6 Cálculo de masa del sistema a base de panel doble

Masa	Ton
Carga muerta	2.12175
Carga viva Instantánea 1	1.3013
Carga viva Instantánea 2	0.5712
Materiales que integran el sistema de techo o piso	0.491
Masa de la mitad del peso de las columnas	0.2965
Sistema de muros	11.1805
Total	15.968

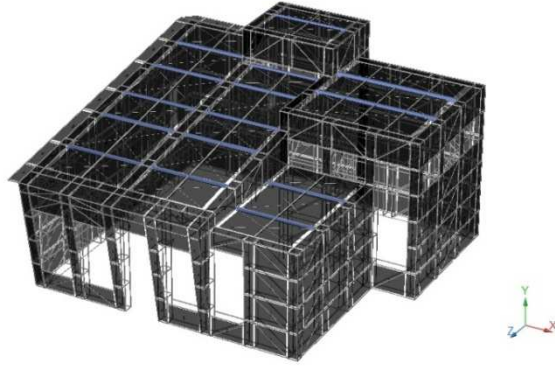


Figura 5-6 Propuesta a base de panel doble de 8 pulgadas de espesor a base de un sistema de estructuración a base de marcos ordinarios con contra-venteo concéntrico. (fachada sur)

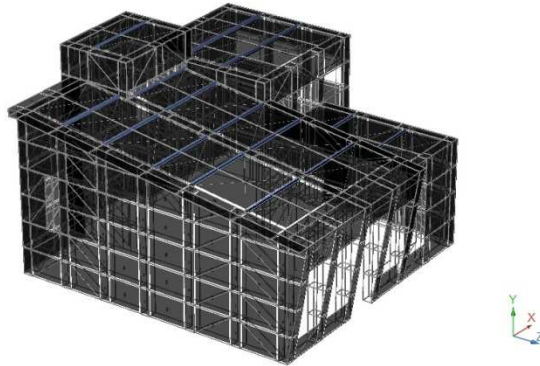


Figura 5-7 Propuesta a base de panel doble de 8 pulgadas de espesor a base de un sistema de estructuración a base de marcos ordinarios con contra-venteo concéntrico. (fachada oeste)

5.1.6.3 Cálculo de la Fuerza Cortante Basal Estática.

Recabando los datos obtenidos en los incisos anteriores, se procede a calcular el cortante basal o fuerza cortante producto del sismo, aplicando la expresión (3.8) del (CFE, 2008a).

Cortante Basal Propuesta Panel Simple:

$$\frac{V}{W} = \frac{c*\beta}{Q'*R*\rho} \rightarrow V = \frac{c*\beta*W}{Q'*R*\rho} \dots\dots\dots\text{expresión (3.8) del (CFE, 2008a)}$$

$$V = \frac{0.1771*1*15.6713}{2*1*1}$$

V= 1.3877 ton (fuerza cortante producto del sismo aplicado)

Cortante Basal Propuesta Panel Doble:

$$\frac{V}{W} = \frac{c*\beta}{Q'*R*\rho} \rightarrow V = \frac{c*\beta*W}{Q'*R*\rho} \dots\dots\dots\text{expresión (3.8) del (CFE, 2008a)}$$

$$V = \frac{0.1771*1*15.968}{2*1*1}$$

V= 1.4140 ton (fuerza cortante producto del sismo aplicado)

5.1.6.4 Reducción de la Fuerza Cortante Producto del Análisis Dinámico.

Citando el inciso 3.3.6.3 del (CFE, 2008a)

"Si con el método de análisis dinámico que se haya aplicado se encuentra que, en la dirección que se considera, la relación V/W es menor que 0.8a(β)/Q´Rp ó 0.8a(β)A_{cd}/Q´Rp para estructuras con comportamiento histerético degradante ubicados en suelos blandos, según sea el caso, se incrementaran todas las fuerzas de diseño y los desplazamientos lateral correspondientes en una proporción tal que V/W iguale ese valor.

Esta condición implica que la fuerza cortante basal de diseño no puede ser menor que el 80% de la que suministraría un análisis estático tomando en cuenta el periodo fundamental de la estructura. Sin embargo, en ningún caso el cortante será menor que a₀W_{tot}, donde a₀ es la aceleración máxima del terreno normalizada

con la aceleración de la gravedad, (ecuación 1.13 de la sección 3.1) y W_{tot} es el peso total de la construcción."

De tal manera haciendo una breve interpretación del inciso 3.3.6.3 del reglamento (CFE, 2008a) donde se permite una reducción del 80% del cortante basal producto de la implementación de un análisis dinámico siempre y cuando la fuerza cortante no sea menor que el producto de la aceleración máxima del terreno normalizada con la aceleración de la gravedad y el peso total de la construcción. A continuación se presenta el cálculo de la reducción del cortante basal como resultado de la implementación de una análisis dinámico:

Reducción del Cortante Basal Propuesta Panel Simple:

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * (V_{\text{estático}})$$

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * 1.3877 \text{ ton}$$

$$\mathbf{V_{\text{basal}} = 1.11016 \text{ ton}}$$

Reducción del Cortante Basal Propuesta Panel Doble:

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * (V_{\text{estático}})$$

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * 1.4140 \text{ ton}$$

$$\mathbf{V_{\text{basal}} = 1.1312 \text{ ton}}$$

5.1.7 Estimación de Combinaciones de Diseño por Resistencia y Servicio.

Con referencia al presente proyecto de investigación, el criterio de diseño de los diferentes elementos que integran la súper-estructura como la subestructura quedaran de la siguiente manera:

5.1.7.1 Estados Limite de Resistencia.

Para efecto del diseño que involucre la interacción de fuerzas gravitacionales, las combinaciones de diseño que permitan calcular la resistencia de los diferentes elementos que integran la estructura global son las indicadas en la tabla 5-7.

Tabla 5- 7 Combinaciones de carga para diseño por acciones permanentes y variables.

Condición	Descripción	Reglamento	Estado
D1	1.4CM	(ASCE, 2005)	Resistencia
D2	1.2CM+1.6CV	(ASCE, 2005)	Resistencia
D17	1.4CM+1.4CV	(NTC, 2004)	Resistencia

CM=Carga muerta y CV= Carga viva máxima.

Con referencia al diseño que involucre las acciones del viento sobre la estructura en ambos sentidos ortogonales, las combinaciones de diseño del sistema de estructuración global se llevara a cabo mediante las combinaciones indicadas en la tabla 5-8.

Tabla 5- 8 Combinaciones de carga por viento.

Condición	Descripción	Reglamento	Estado
D3	1.2CM+0.8PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D4	1.2CM+0.8PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D5	1.2CM+1.6PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D6	1.2CM+1.6PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D7	1.2CM+CVi+1.6PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D8	1.2CM+CVi+1.6PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia
D13	0.9CM+1.6PVX	(ASCE, 2005)	Resistencia
D14	0.9CM+1.6PVZ	(ASCE, 2005)	Resistencia

CM=Carga muerta, CVi= Carga viva instantánea, PVX=Presión de viento en dirección "X" y PVZ= Presión de viento en dirección "Z".

Para el diseño ante acciones accidentales derivadas del sismo aplicado en ambas direcciones ortogonales del sistema de estructuración global, las combinaciones de diseño que permitan calcular las resistencias disponibles se llevara a cabo mediante las combinaciones indicadas en la tabla 5-9.

Tabla 5- 9 Combinaciones de carga por sismo.

Condición	Descripción	Reglamento	Estado
D9	$1.2CM+SX+0.3SZ$	(ASCE, 2005)	Resistencia
D10	$1.2CM+0.3SX+SZ$	(ASCE, 2005)	Resistencia
D11	$1.2CM+CVi+SX+0.3SZ$	(ASCE, 2005)	Resistencia
D12	$1.2CM+CVi+0.3SX+SZ$	(ASCE, 2005)	Resistencia
D15	$0.9CM+SX+0.3SZ$	(ASCE, 2005)	Resistencia
D16	$0.9CM+0.3SX+SZ$	(ASCE, 2005)	Resistencia

CM=Carga muerta, CVi= Carga viva instantánea, SX=Acción del sismo en dirección "X" y SZ= Acción del sismo en dirección "Z".

5.1.7.2 Estados Limite de Servicio.

Tomando como base el estado limite de servicio antes cargas gravitacionales, el cálculo de deformaciones actuantes se llevara a cabo mediante la implementación de la combinación de carga de la tabla 5-10.

Tabla 5- 10 Combinaciones de carga para revisión de deformaciones permisibles.

Condición	Descripción	Reglamento	Estado
D18	CM+CV	(ASCE, 2005), (NTC, 2004)	Servicio

CM=Carga muerta y CV= Carga viva máxima.

Para el cálculo de flechas o deflexiones permisibles se empleo la relación $L/360$, siendo "L" la longitud o claro del elemento a revisar, con el fin de restringir las deformaciones excesivas producto de acciones gravitacionales debido a que se cuenta con un sistema de estructuración ligero.

Para el cálculo de distorsión máxima que permita restringir los desplazamiento laterales entre sistemas de piso adyacentes se empleo la siguiente relación expresada en la tabla 5-11.

Tabla 5- 11 Distorsiones permisibles de entrepiso

Sistema Estructural	Distorsión
Marcos de acero o concreto con contravientos concéntricos	0.015

(NTC, 2004)

5.1.8 Tipo de análisis a Implementar.

Una vez calculado las acciones de servicio sobre la estructura y determinado las combinaciones de diseño que regirán el análisis y diseño de los diferentes elementos que integran la estructura de interés se procede a realizar los siguientes análisis:

- Análisis de Primer Orden.
- Análisis de Segundo Orden.

5.1.8.1 Análisis de Primer Orden.

También conocido como análisis estático de la estructura que envuelve la solución de un conjunto de ecuaciones lineales el cual se representa de la siguiente manera:

$$\{F\} = [K]*\{D\}$$

Donde:

$\{F\}$ = Vector de cargas y/o acciones sobre la estructura.

$[K]$ = Matriz de rigidez global de la estructura.

$\{D\}$ = Vector de desplazamientos producto de las acciones sobre la estructura.

Cabe resaltar que la construcción de matriz de rigidez global de la estructura depende en gran manera de la construcción individual de la matriz de rigidez de cada uno de los elementos que constituyen la estructura global, tomando en consideración las condiciones de frontera de cada uno de los

elementos estructurales como se muestra en las figuras 5-8 y 5-9 respectivamente.

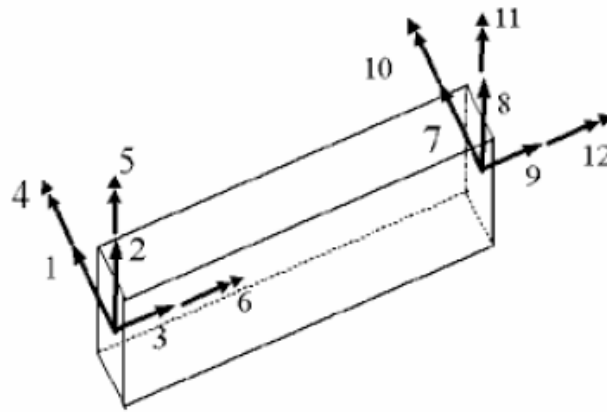


Figura 5-8 Elemento lineal con sus grados de libertad correspondientes.

(2012 Bentley Systems, 2012)

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Figura 5-9 Matriz de Rigidez de un elementos con 6 grados de libertad (2D).

5.1.8.2 Análisis de Segundo Orden

También conocido como el efecto P-Delta, este análisis de carga de calcular los momentos o giros adicionales que resultan de la carga axial actuando a través de los desplazamientos laterales, como se muestra en la figura 5-10.



Figura 5-10 Esquema representativo del efecto P-Delta producido en un elemento estructural.

(2012 Bentley Systems, 2012)

5.1.9 Proceso de Modelación y Herramientas de Modelado.

Una vez determinados los tipos análisis a los cuales estarán sujetas las propuestas de estructuración; los pasos que integran la modelación analítica quedaran de la siguiente manera:

- Determinación de condiciones de frontera (figuras 5-11 y 5-12)
- Construcción de la matriz de rigidez global.
- Construcción de vector de cargar y/o acciones.
- Calculo de desplazamientos. (análisis de primer + segundo orden)
- Calculo de reacciones en la base.
- Determinación de elementos mecánicos.

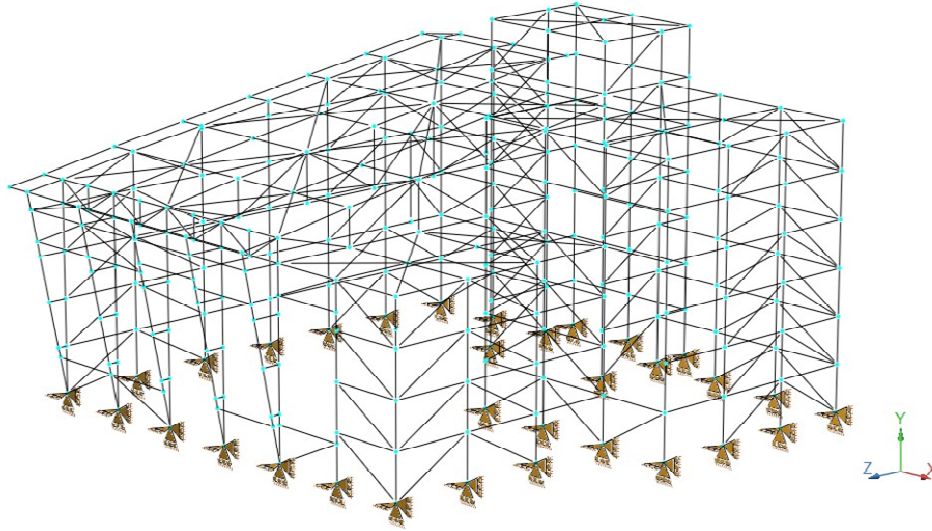


Figura 5-11 Condiciones de frontera (apoyo simple) en modelo analítico de propuesta de estructuración a base de panel simple con contra-venteo concéntrico en zonas específicas.

(2012 Bentley Systems, 2012)

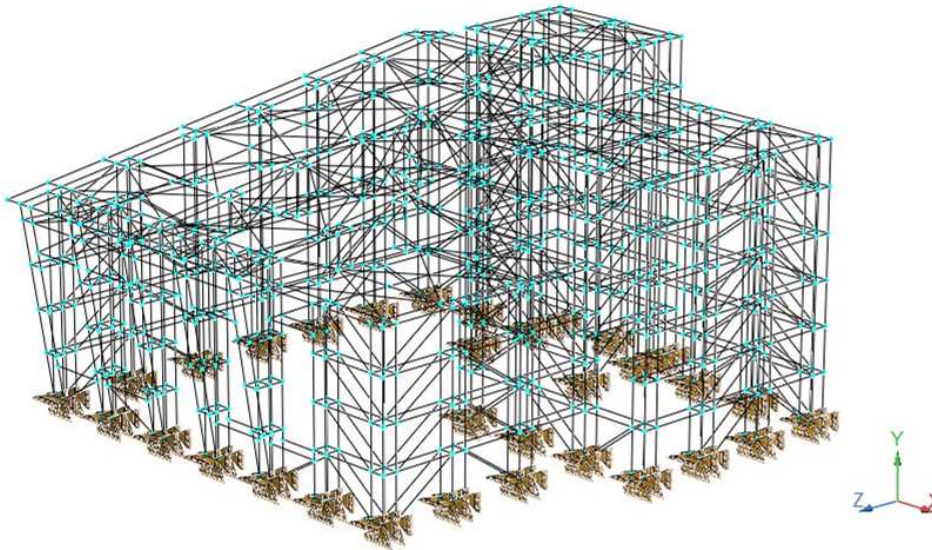


Figura 5-12 Modelo analítico de propuesta de estructuración a base de panel doble con contra-venteo concéntrico en zonas específicas.

(2012 Bentley Systems, 2012)

Para la modelación, análisis y diseño de los diferentes elementos que constituyen el modelo analítico representativo de las dos propuestas de estructuración se utilizó el software de análisis y diseño estructural RamElements v13.00.22. (2012 Bentley Systems, 2012)

5.2 Modelo de Experimentación.

Tomando como referencia la metodología referente a la construcción del modelo experimental del presente proyecto de investigación, se procederá a describir de manera secuencial los pasos que integran el modelo de experimentación a implementar.

5.2.1 Infraestructura, Equipo de Laboratorio e Instrumentación.

Etapa inicial del modelo de experimentación que consiste en la correcta selección del equipo de laboratorio que permita representar de manera real las condiciones de trabajo a las que estarán sujetos los prototipos de prueba representativos de los sistemas de estructuración a probar; dentro del equipo a emplear para la realización de las pruebas de flexo-compresión tenemos:

- Muro y losa de reacción a base de concreto reforzado.
- Estructura auxiliar.
- Celda de carga.
- Celda de desplazamiento
- Deformímetro de hilo.
- Prensa hidráulica.
- Estructura auxiliar para fijación de carga.
- Equipo complementario de medición.

A continuación se presenta en la figura 5-13 a 5-21 el equipo y la infraestructura necesaria para realizar las pruebas experimentales del presente proyecto de investigación.

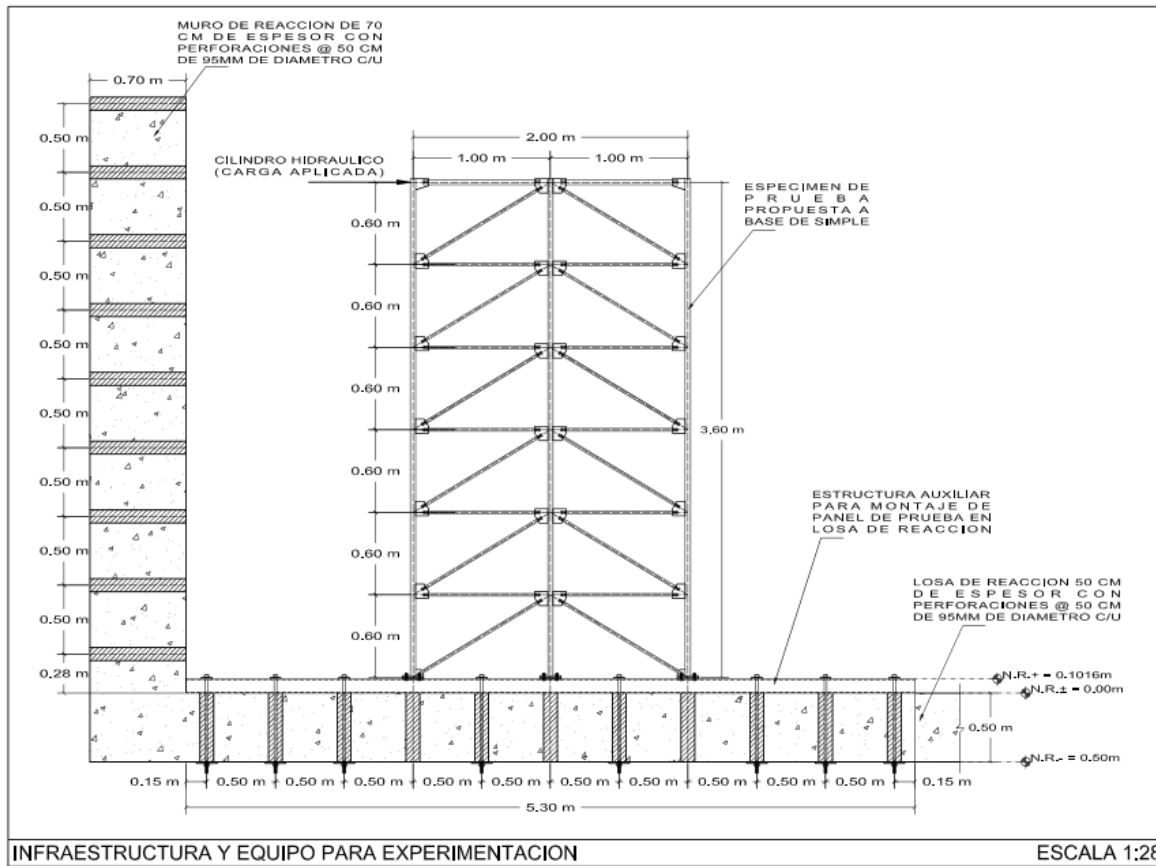


Figura 5-13 Esquema representativo de carga aplicada, condiciones de frontera y espécimen de prueba.



Figura 5-14 Instrumentación de carga (celda de carga) para medición de magnitud de carga aplicada.



Figura 5-15 Instrumentación para recolección de desplazamiento en el plano del sistema de muro (celda de desplazamiento).



Figura 5-16 Estructura auxiliar representativa de condiciones de frontera del sistema a base de panel simple.

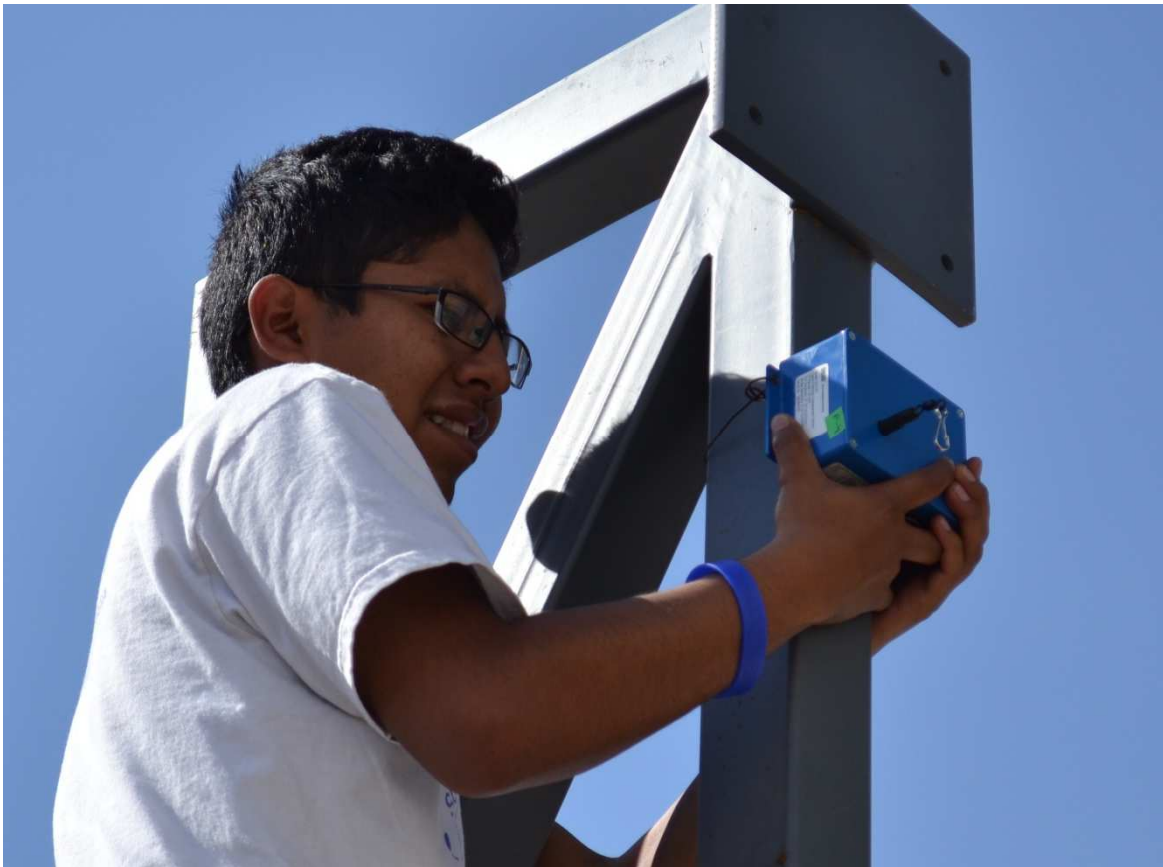


Figura 5-17 Instalación de instrumentación para la medición de los desplazamiento laterales en el plano del prototipo de prueba (deformimetro de hilo).



Figura 5-18 Instrumentación para calibración de celda de carga (prensa hidráulica).



Figura 5-19 Estructura auxiliar para fijación de carga aplica en prototipo de prueba.



Figura 5-20 Instrumentación complementaria para la medición y recolección de carga aplicada y desplazamientos..

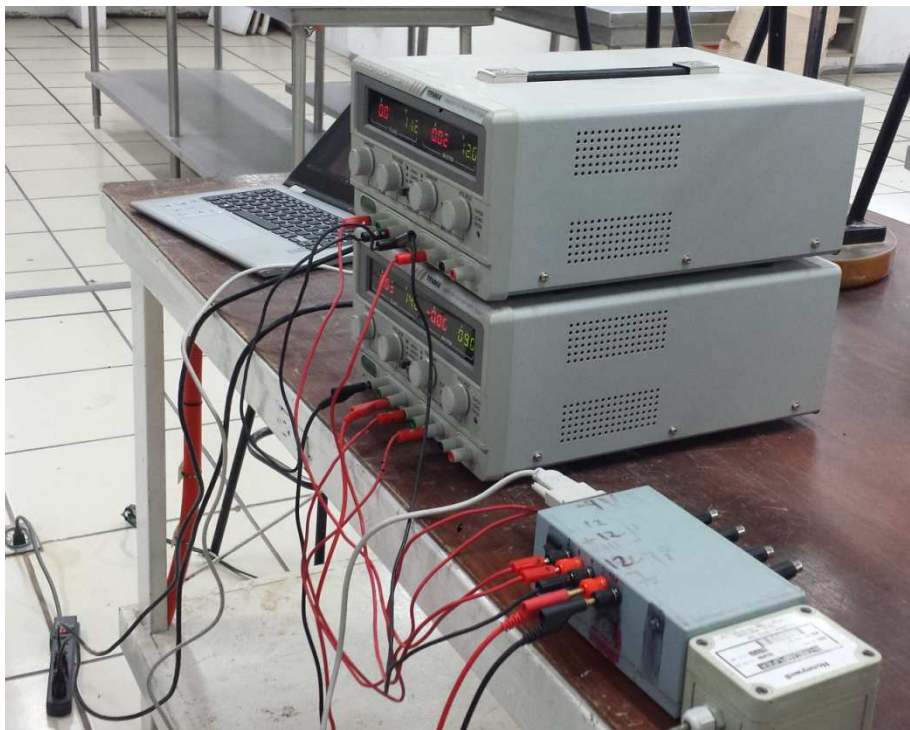


Figura 5-21 Instrumentación complementaria para la medición y recolección de carga aplicada.

5.2.2 Elaboración de Prototipos de Prueba.

Comprende a fabricación a escala real de los prototipos de prueba a partir de la elaboración de planos estructurales y planos de taller que permitan la correcta fabricación a detalle del los especímenes de prueba; a continuación se presenta la tabla 5-12 con el listado de planos contemplados en el proyecto de investigación.

Tabla 5- 12 Listado de Planos Estructurales y de Taller de Propuesta a Base de Panel Simple.

Nomenclatura	Descripción	Tipo
E-00	Especificaciones Generales	P. Estructural
E-01	Planta de Cimentación y Detalles de Cimentación	P. Estructural
E-02	Desplante de Columnas	P. Estructural
E-03	Desplante de Contra-venteo	P. Estructural
E-04	Planta de Diafragma de Cubierta	P. Estructural
E-05	Planta de Largueros de Cubierta	P. Estructural
E-06	Fachada Sur	P. Estructural
E-07	Fachada Sur Proyección	P. Estructural
E-08	Fachada Norte	P. Estructural
E-09	Fachada Este	P. Estructural
E-10	Fachada Oeste	P. Estructural
E-11	Corte A-A'	P. Estructural
E-12	Corte B-B'	P. Estructural
E-13	Corte C-C'	P. Estructural
E-14	Plano de Taller 1	P. Taller
E-15	Plano de Taller 2	P. Taller
E-16	Plano de Taller 3	P. Taller
E-17	Plano de Montaje	P. Taller
E-18	Perfil Estructura Auxiliar	P. Taller
E-19	Planta Estructura Auxiliar	P. Taller
E-20	Conexiones Estructura Auxiliar -1	P. Taller
E-21	Conexiones Estructura Auxiliar -2	P. Taller

A continuación se presentan las figuras 5-22 a 5-27 representativas de los planos de taller elaborados para la construcción de los especímenes de prueba de la propuesta de estructuración a base de panel simple.

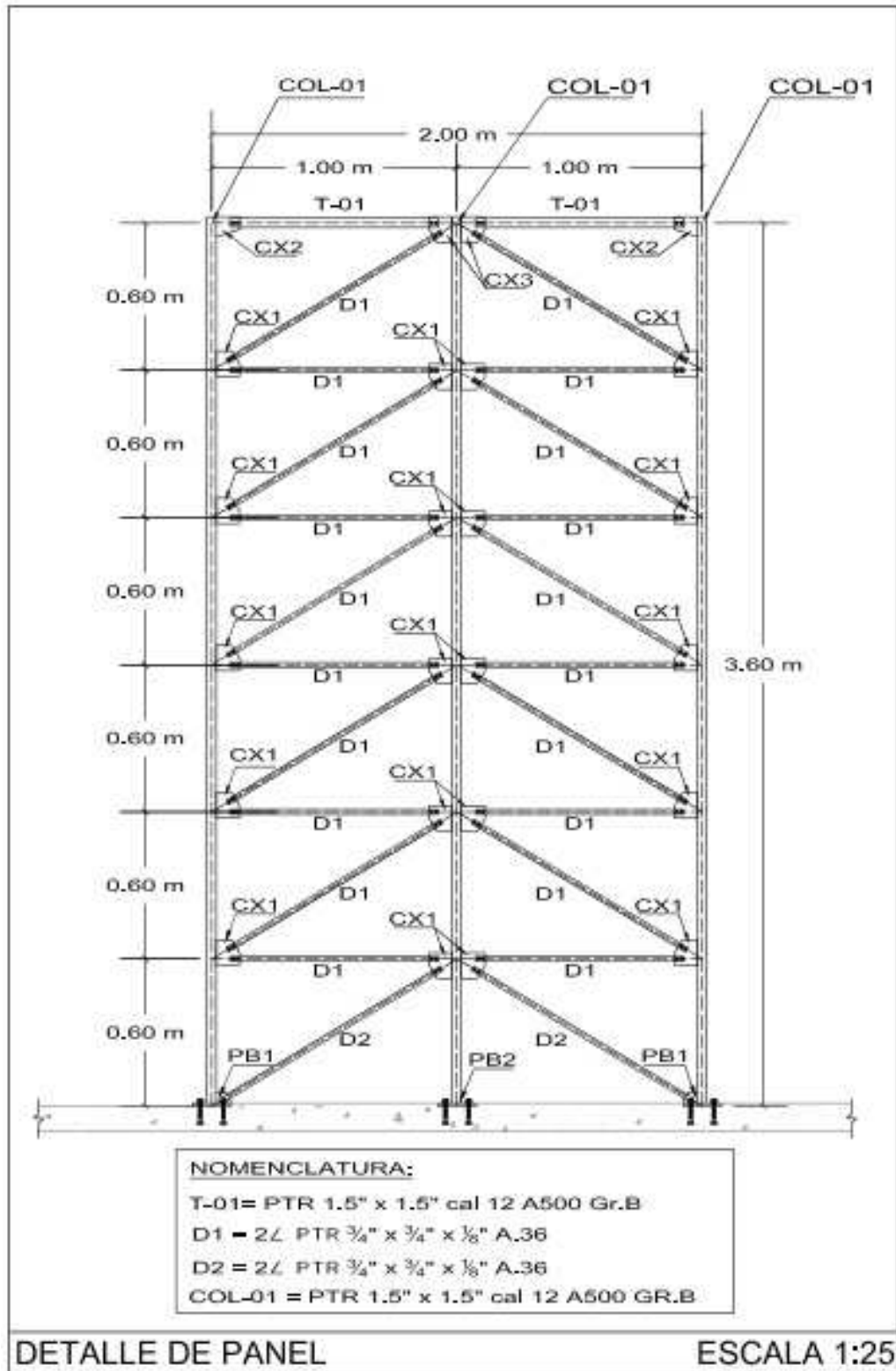


Figura 5-22 Vista frontal de espécimen de prueba a base de panel simple.

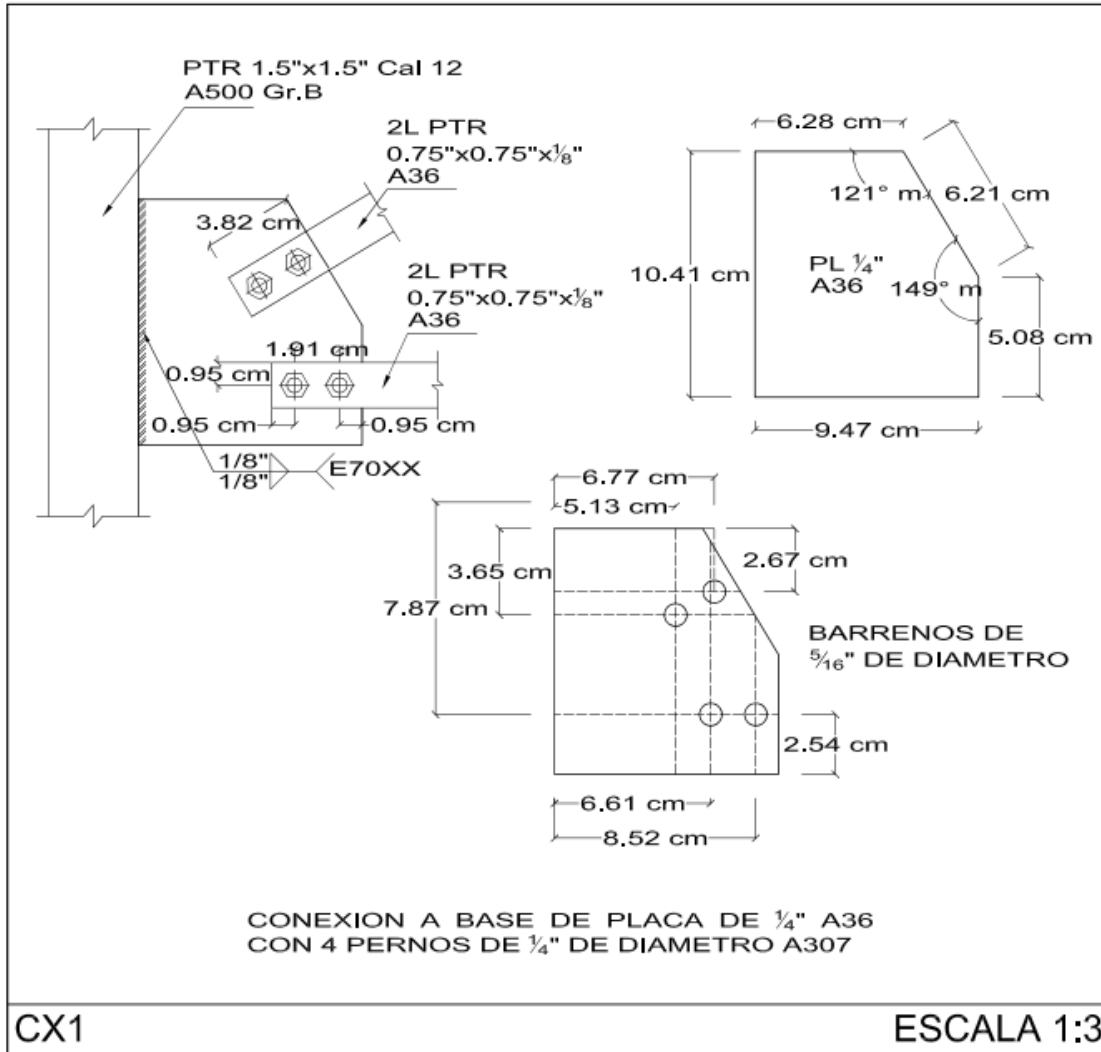


Figura 5-23 Detalle de fabricación de unión CX-01 de espécimen de prueba a base de panel simple.

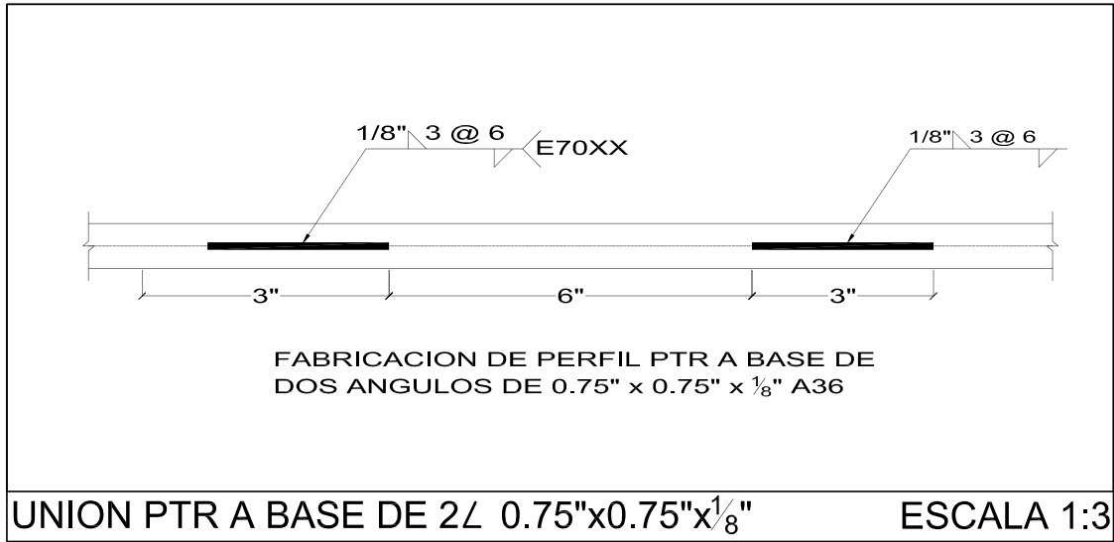


Figura 5-24 Detalle de forjado de elementos horizontales y diagonales de espécimen de prueba a base de panel simple.

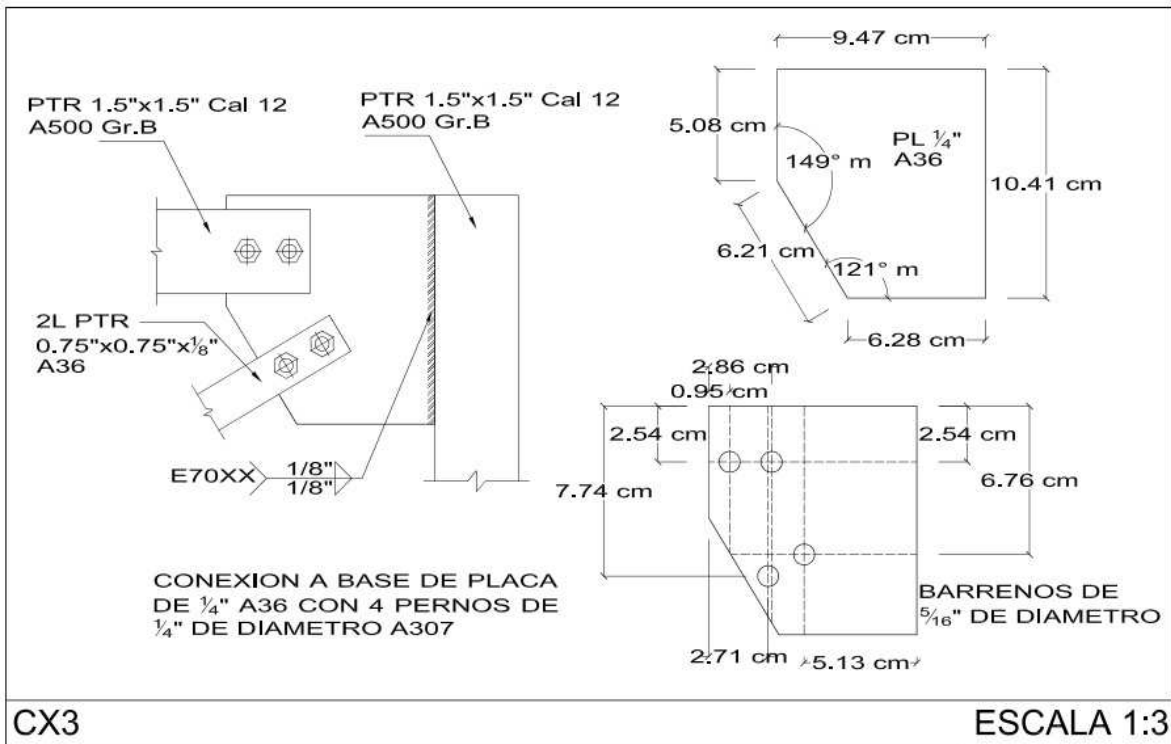


Figura 5-25 Detalle de fabricación de unión CX-03 de espécimen de prueba a base de panel simple.

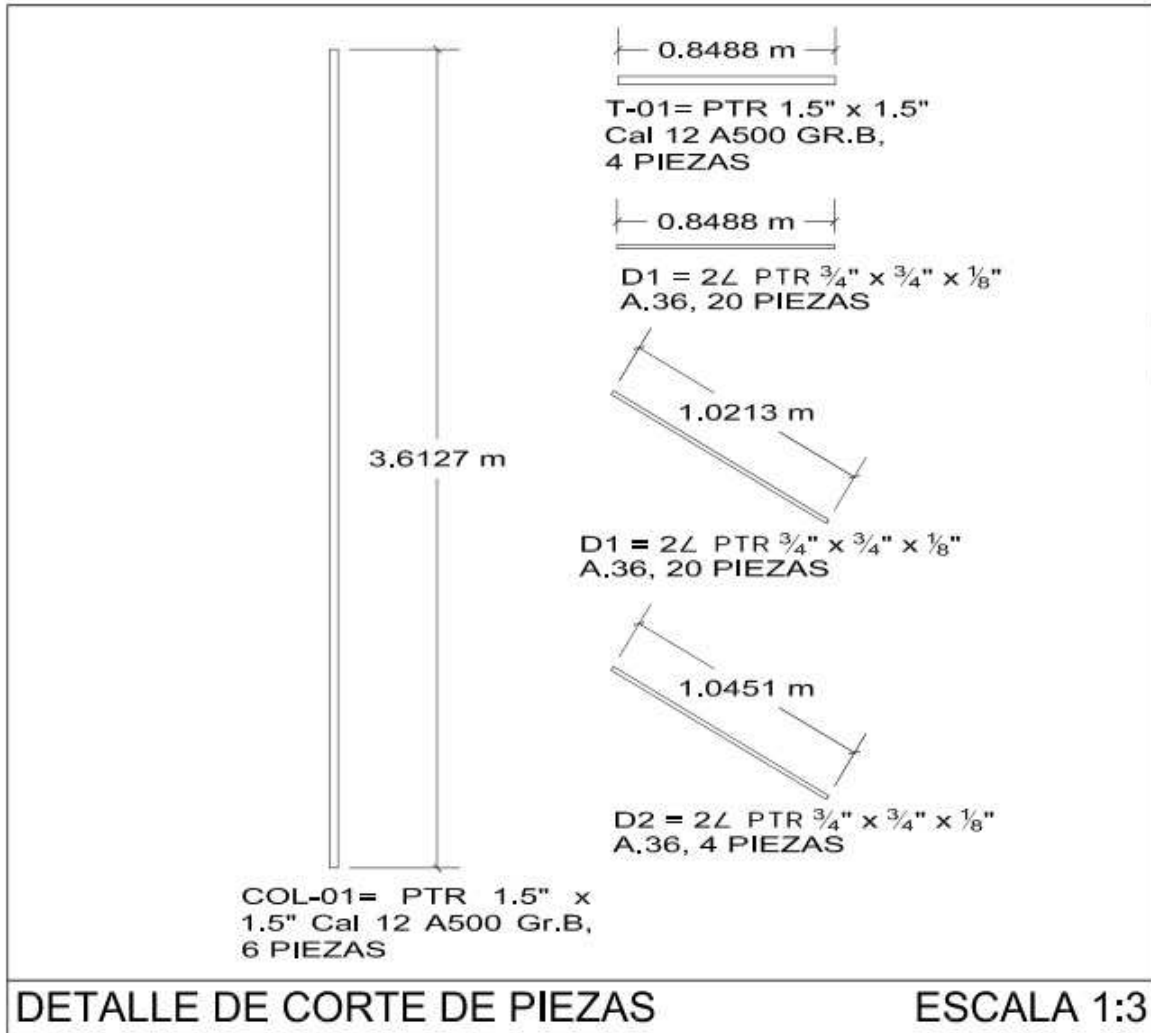


Figura 5-26 Detallado de número de piezas de especímenes de prueba a base de panel simple

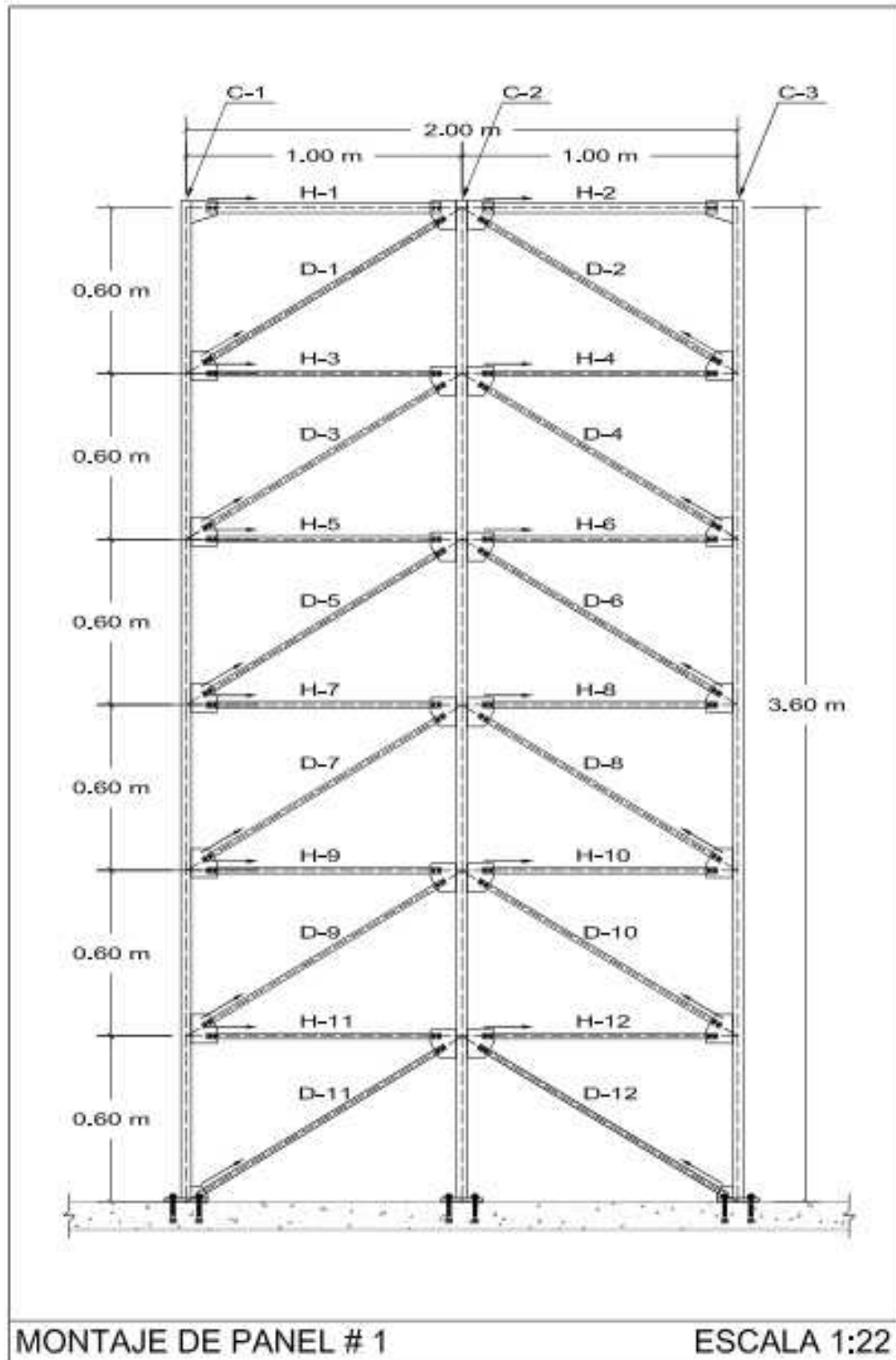


Figura 5-27 Plano de montaje en campo de elementos de espécimen de prueba de panel simple.

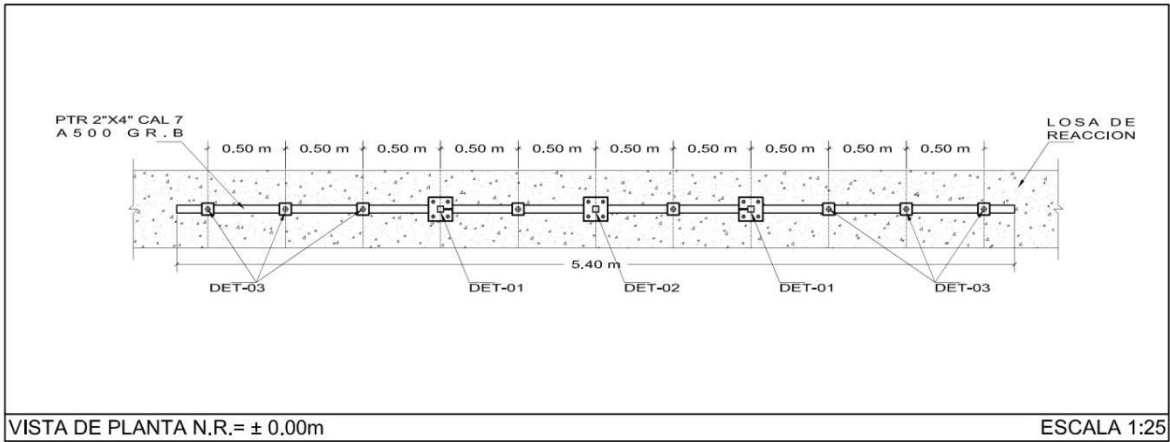


Figura 5-29 Condiciones de frontera simulando apoyos simples infinitamente rígidos en parte superior de losa de reacción.

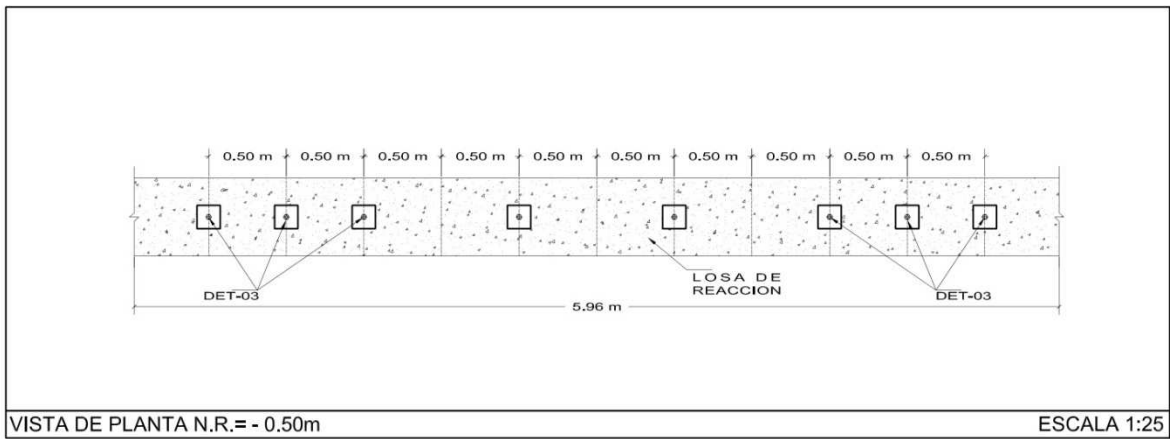


Figura 5-30 Condiciones de frontera simulando apoyos simples infinitamente rígidos en parte inferior de losa de reacción.

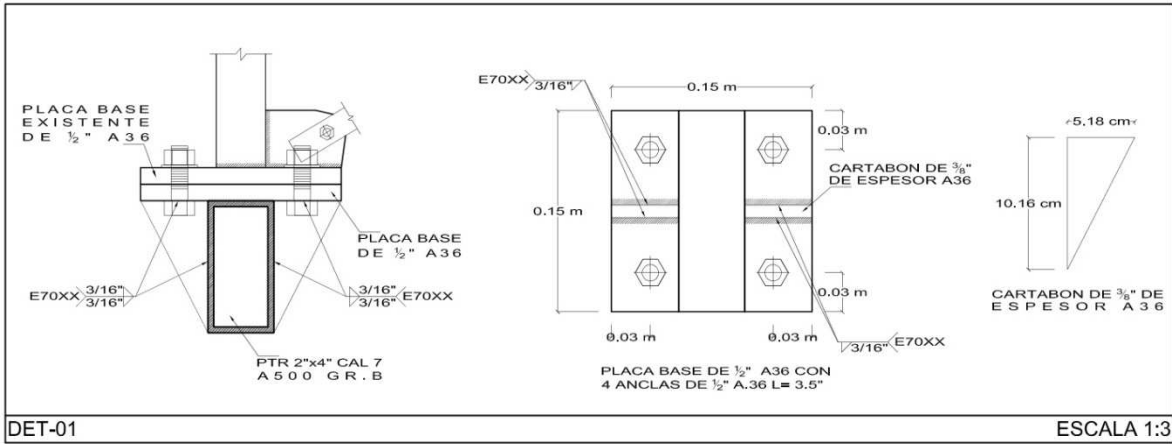


Figura 5-31 Detalle de fijación DET-01 de prototipo de prueba con sistema auxiliar representativo de condiciones de frontera.

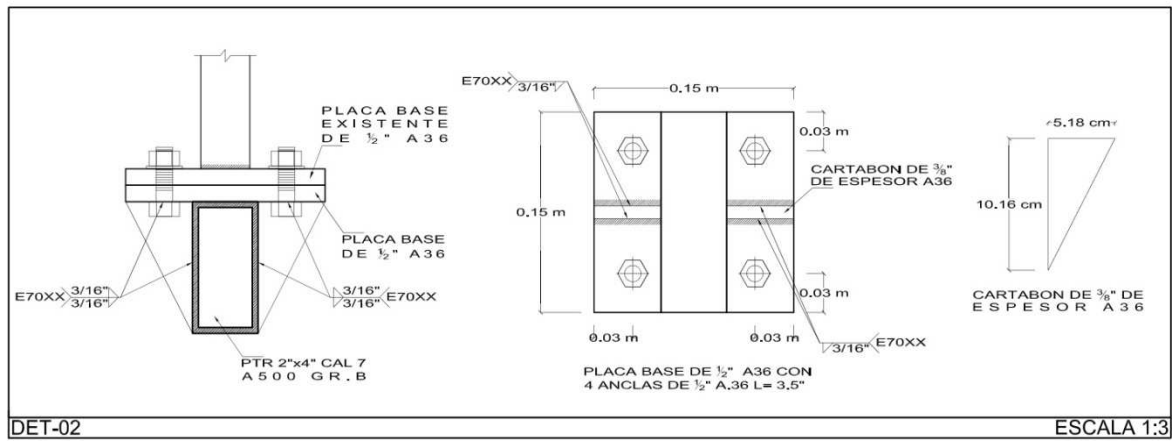


Figura 5-32 Detalle de fijación DET-02 de prototipo de prueba con sistema auxiliar representativo de condiciones de frontera.

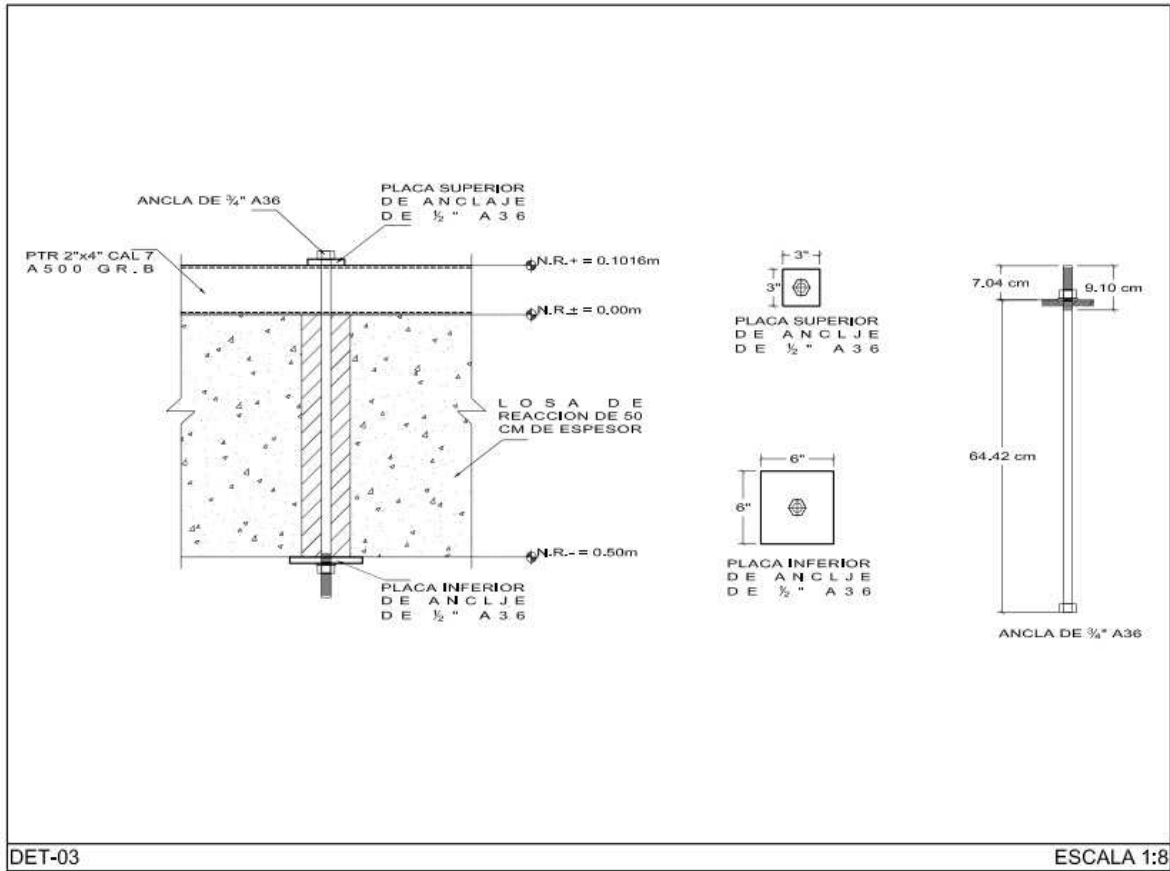


Figura 5-33 Detalle de fijación DET-03 de prototipo de prueba con sistema auxiliar representativo de condiciones de frontera.

5.2.4 Representación de Cargas Aplicadas.

La representación de las cargas aplicadas impuestas sobre los prototipos de estructuración se llevaran a cabo mediante la aplicación de una carga puntual lateral provista por el pistón de un cilindro hidráulico capaz de producir una presión de 1800 psi (lb/in²) aplicado sobre el sistema de estructuración (figura 5-34 y figura 5-35), la carga vertical representativa del sistema gravitacional se llevara a cabo mediante la aplicación de cables de acero y perfiles de acero estructural con un peso equivalente a las cargas de servicio (carga muerta + carga viva), como se muestra en las figuras 5-36 a 5-40 respectivamente.



Figura 5-34 Colocación de cilindro hidráulico (carga lateral) en muro de reacción.



Figura 5-35 Representación de carga lateral mediante la implementación de un cilindro hidráulico.



Figura 5-36 Representación de cargas de servicio idealizadas mediante el uso de un perfil estructural de peso equivalente.



Figura 5-37 Colocación de cargas aplicadas sobre prototipo de prueba.



Figura 5-38 Cargas de servicio impuestas en sistema de estructuración mediante el uso de cables de acero.



Figura 5-39 Aplicación de cargas puntuales de servicio (carga muerta + carga viva).



Figura 5-40 Aplicación de cargas de servicio momentos antes de la realización de la prueba.

El procedimiento a seguir dentro de las pruebas experimentales será mediante la simulación de incremento de carga lateral sostenida, ya que principalmente este tipo de cargas (accidentales) conjuntamente con las cargas de servicio son aquellas que llevan al límite de capacidad de los diferentes elementos que integran los sistemas estructurales. Una vez obtenido el modo o patrón de falla del sistema de estructuración como resultado de las pruebas experimentales, se procederá a comparar dicho patrón de falla con el obtenido previamente en un análisis elasto-plástico o análisis a capacidad última del sistema, mediante la implementación del método "push over" o método de incremento de carga con el cual se desea tener un comportamiento aproximado del sistema poco antes de la falla o colapso del mismo.

Cabe mencionar que este tipo de análisis a capacidad última ofrecen un panorama bastante aproximado del comportamiento de un sistema estructural ya que son métodos conservadores desde el punto de vista estructural ya que ofrecen resultados aceptables del sistema de interés siempre y cuando se respeten las condiciones de frontera y de carga del sistema dentro de las pruebas experimentales a escala real.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis de Resultados Analíticos.

Tomando como referencia los resultados obtenidos de manera analítica en este proyecto de investigación, los puntos a tratar en relación a los resultados obtenidos quedaran de la siguiente manera:

- Resultados de propuesta de estructuración a base de panel simple.
- Resultados de propuesta de estructuración a base de panel doble.

6.1.1 Resultados de Propuesta de Estructuración a Base de Panel Simple.

Con relación a los resultados obtenidos derivados de la implementación del sistema de estructuración a base de panel simple se tienen los siguientes a resaltar:

1.- La propuesta de estructuración a base de panel simple (figura 6-1) cumple con la normativas de diseño AISC-05LRFD para el diseño de elementos rolados en caliente y ANSI-01 para el diseño de elementos rolados en frio; satisfaciendo el estado limite por resistencia de los diferentes elementos que integran la súper-estructura como resultado del cálculo de las relaciones de esfuerzo ≤ 1.0 como se indica en la tabla 6-1.

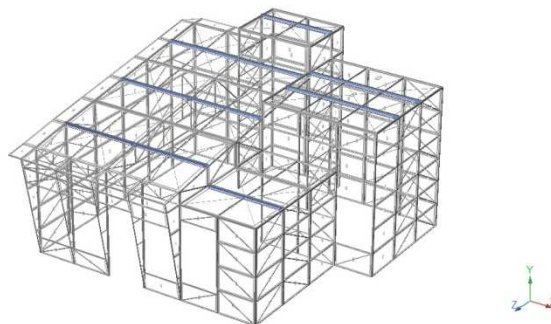


Figura 6-1 Propuesta a base de panel simple discretizada de manera reticular.

(2012 Bentley Systems, 2012)

Tabla 6- 1 Relación de esfuerzos por descripción de elementos críticos que integran propuesta a base de panel simple.

Descripción por elemento	Sección	Miembro critico	Relación de esfuerzo	Estado
AT-POLINES	ANGULO 1x1x1/8	556	0.14	OK
AUXILIAR	L PTR 0.75x0.75x1/8	615	0.05	OK
AUXILIAR 2	L PTR 0.75x0.75x1/8	126	0.04	OK
C1	PTR 1.5x1.5 cal 12	78	0.75	OK
C2	PTR 1.5x1.5 cal 12	764	0.19	OK
CIAR-01	L PTR 0.75x0.75x1/8	10	0.36	OK
CIAR-02	L PTR 1x1x1/8	512	0.17	OK
CSAR-01	L PTR 0.75x0.75x1/8	6	0.2	OK
CSAR-02	L PTR 1x1x1/8	504	0.4	OK
D1	L PTR 0.75x0.75x1/8	771	0.48	OK
DAR-01	L PTR 0.75x0.75x1/8	32	0.05	OK
DAR-02	L PTR 1x1x1/8	524	0.47	OK
DIAFRAGMA	PTR 1.5x1.5 cal 12	532	0.89	OK
H RODAPIE	L PTR 0.75x0.75x1/8	119	0.49	OK
H1	L PTR 0.75x0.75x1/8	115	0.62	OK
H2	L PTR 0.75x0.75x1/8	678	0.45	OK
M-ARM1	L PTR 0.75x0.75x1/8	23	0.02	OK
M-ARM2	L PTR 1x1x1/8	523	0.7	OK
POLINES	MONTEN 4MT14	561	0.95	OK
PUNTAL 1	L PTR 0.75x0.75x1/8	727	0.32	OK
SEC-VOLADO	L PTR 0.75x0.75x1/8	715	0.17	OK
T1	PTR 1.5x1.5 cal 12	559	0.66	OK
T2	PTR 1.5x1.5 cal 12	587	0.13	OK
T3	L PTR 0.75x0.75x1/8	622	0.23	OK
T3B	PTR 1.5x1.5 cal 12	506	0.23	OK
T4	L PTR 0.75x0.75x1/8	704	0.13	OK
TENSORES CUBIERTA	Redondo 3_8	842	0.9	OK
VOL-01	L PTR 0.75x0.75x1/8	712	0.67	OK

(2012 Bentley Systems, 2012)

2.- Tomando como referencia los estados limite de servicio, la propuesta de estructuración a base de panel simple cumple con los requisitos establecidos por (IBC, 2012) con relación a deformaciones permisibles y por (NTC, 2004) en relación a distorsiones permisibles producto de desplazamiento horizontales.

Revisión de Deformación Permissible.

Con base al análisis y diseño de la propuesta analítica se determino que el elemento 560 a base de un perfil tipo Monten 4MT14 con condiciones de frontera tipo apoyo simple, era el elemento crítico considerando el estado de servicio antes mencionado como se puede apreciar en las figuras 6-2 a 6-4.

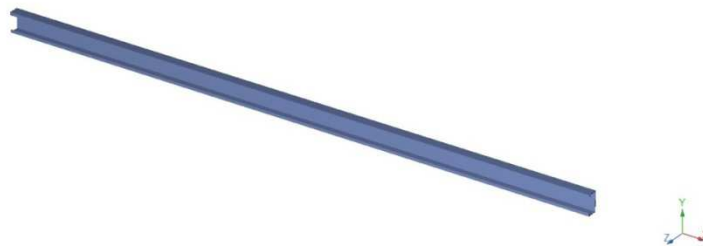


Figura 6-2 Elementos crítico rolado en frio tipo monten para revisión por estado limite de servicio "Deflexión" de propuesta a base de panel simple.

(2012 Bentley Systems, 2012)

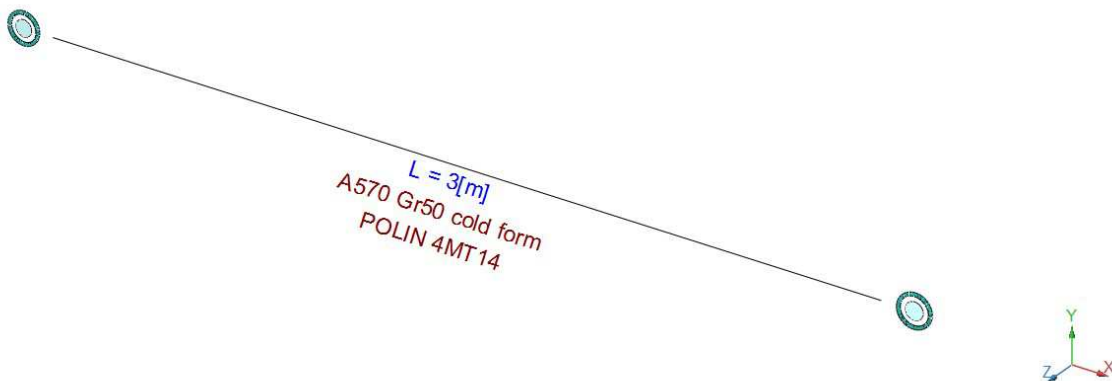


Figura 6-3 Propiedades mecánicas de elemento 560 de propuesta a base de panel simple para revisión de deformación permissible.

(2012 Bentley Systems, 2012)

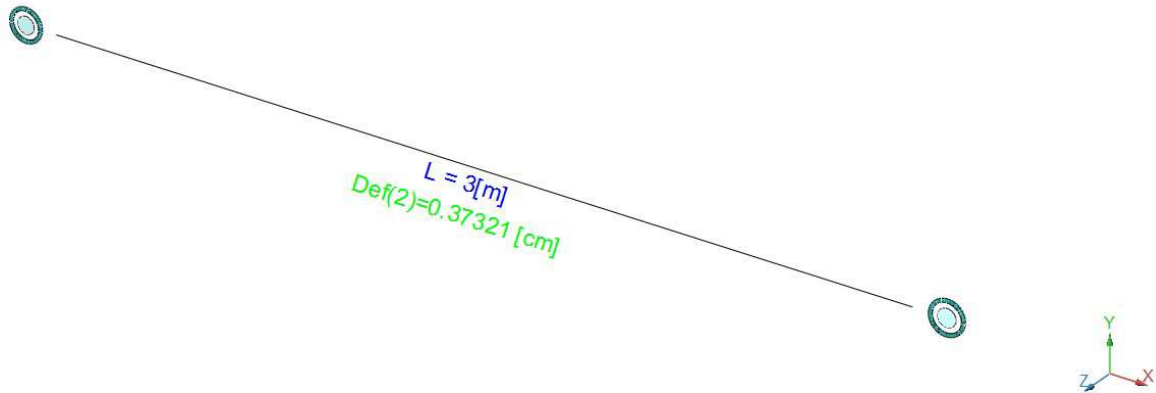


Figura 6-4 Calculo de deflexión máxima en elemento crítico de propuesta a base de panel simple.

(2012 Bentley Systems, 2012)

δ permisible = $L/360$(IBC, 2012)

δ permisible = $300/360 = 0.8333cm$

δ actuante = $0.37321cm \leq 0.8333cm$

Revisión de Distorsión Permissible.

Tomando en base los resultados obtenidos del análisis y diseño de la propuesta a base de panel simple, se identificaron los nodos críticos (figura 6-5 y 6-6) con los cuales se hizo el cálculo de la distorsión actuante como se puede apreciar en las tablas 6-2 y 6-3.

Calculo de Distorsión Nivel 1 - Nivel 0

Tabla 6- 2 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 1 de propuesta a base de panel simple.

Nodo	Δ_x (cm)	Δ_z (cm)
14	0.00	0.00
105	0.05	0.188

(2012 Bentley Systems, 2012)

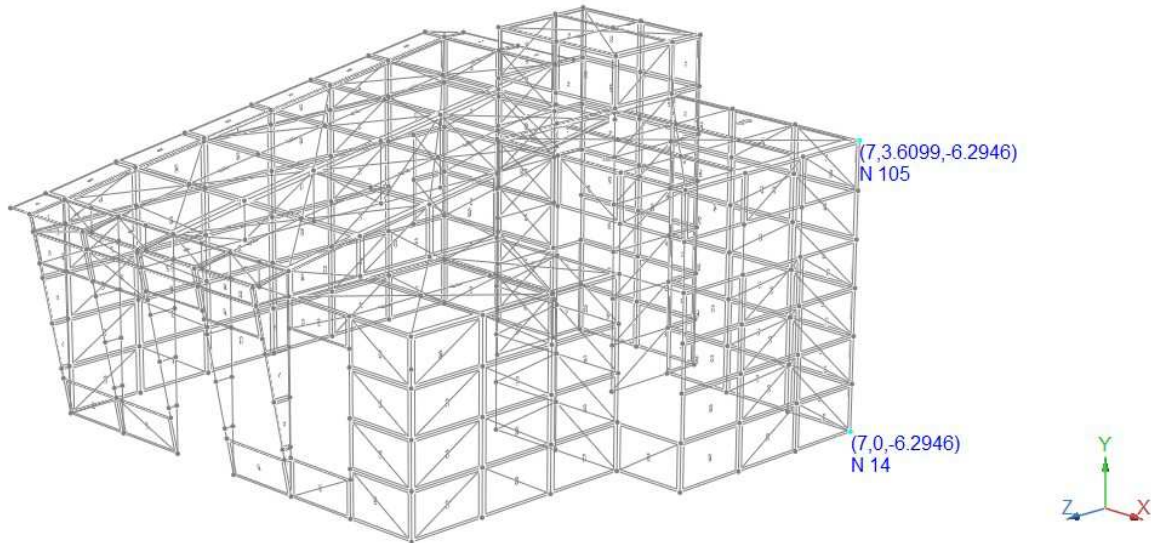


Figura 6-5 Identificación de nodos críticos para calculo de distorsión 1 de propuesta a base de panel simple.

(2012 Bentley Systems, 2012)

Longitud Entre Niveles= 360cm

$$\text{Distorsión 1 eje X} = (0.050\text{cm} - 0.00\text{cm}) / (360\text{cm}) = 0.00014 \leq 0.0015$$

$$\text{Distorsión 1 eje Z} = (0.188\text{cm} - 0.00\text{cm}) / (360\text{cm}) = 0.00052 \leq 0.0015$$

Calculo de Distorsión Nivel 2 - Nivel 1

Tabla 6- 3 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 2 de propuesta a base de panel simple

Nodo	Δ_x (cm)	Δ_z (cm)
101	0.118	0.132
252	0.145	0.161

(2012 Bentley Systems, 2012)

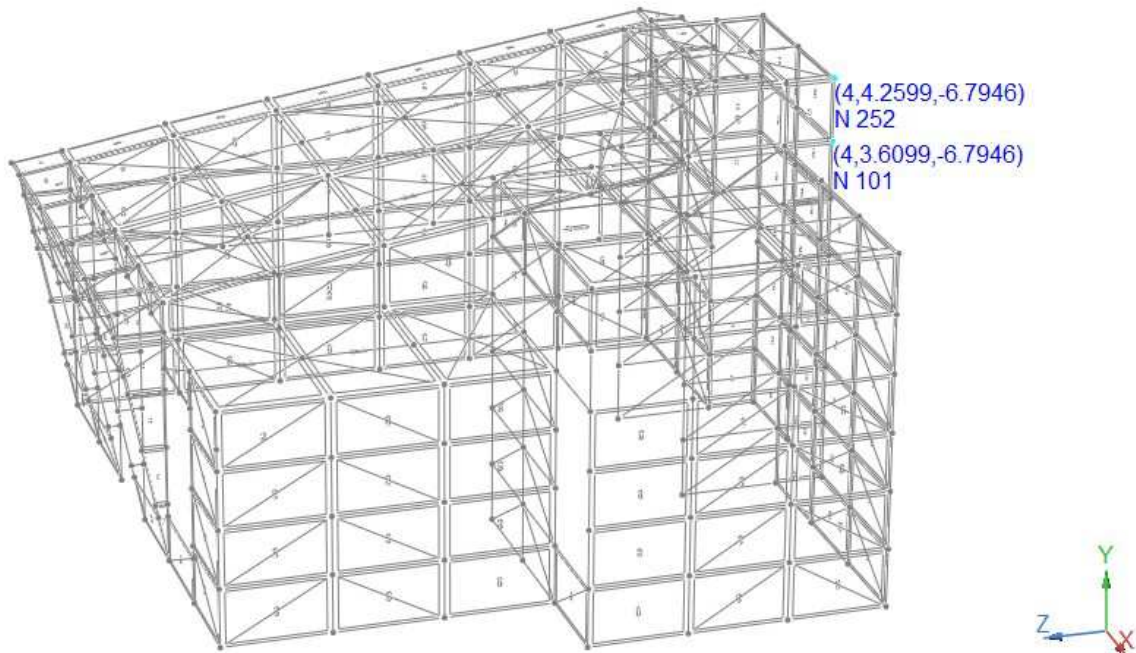


Figura 6-6 Identificación de nodos críticos para calculo de distorsión 2

(2012 Bentley Systems, 2012)

Longitud Entre Niveles= 65cm

$$\text{Distorsión 2 eje X} = (0.145\text{cm} - 0.118\text{cm}) / (65\text{cm}) = 0.00041 \leq 0.0015$$

$$\text{Distorsión 2 eje Z} = (0.161\text{cm} - 0.132\text{cm}) / (65\text{cm}) = 0.00045 \leq 0.0015$$

3.- Con relación a la implementación de un sistema reticular ligero, modulable, montable y desmontable; la propuesta de estructuración a base de panel simple cumple con las relaciones peso/superficie entre 24 y 28 kg/m² como indicativos empleados en la práctica profesional de aligeramiento estructural de estructuras tipo nave industrial como se puede apreciar en la tabla 6-4.

Tabla 6- 4 Tabla de listado de materiales propuesta a base de panel simple.

Perfil	Material	Longitud [m]	Peso Total [Ton]
ANGULO 1X1X1/8	A36	22.51	0.027
L PTR 0.75X0.75X1/8	A36	337.67	0.535
L PTR 1X1X1/8	A36	31.29	0.069
POLIN 4MT14	A570 GR50 COLD FORM	22.00	0.072
PTR 1.5X1.5 CAL 12	A500 GRB RECTANGULAR	159.20	0.468
REDONDO DE 3_8	A36	57.77	0.033
Peso Total [Ton]			1.204

(2012 Bentley Systems, 2012)

Calculo de Relación Peso-Superficie:

$$\text{Relación Peso/Superficie} = (1.204\text{ton} \cdot 1000) / (47.17\text{m}^2) = 25.52\text{kg/m}^2$$

Cabe señalar que los valores de relación peso/superficie propuestos en la presente investigación son valores que se manejan en la práctica profesional referente al diseño de estructuras ligeras tipo naves industriales, las cuales tienen sistemas de cubierta considerablemente ligeros en comparación a sistemas de estructuración tipo edificios donde el sistema de piso se forma a base de algún sistema de diafragma rígido tipo losa de concreto reforzado o algún sistema similar.

4.- Con relación a la implementación de un sistema de estructuración que fomente procedimientos de fabricación totalmente industrializados, permitiendo el traslado del sistema de un lugar a otro, la propuesta a base de panel simple cumple con el objetivos establecido como se puede apreciar en las figuras 6-7 a 6-17.



Figura 6-7 Proceso de maquilado de placas de unión y placas base en ambiente controlado "taller".



Figura 6-8 Proceso de maquilado de elementos verticales (columnas) de sistema de estructuración a base de panel simple.



Figura 6-9 Proceso de maquilado de elementos de arriostramiento (horizontales y diagonales) de propuesta a base de panel simple.



Figura 6-10 Proceso de barrenado de placas de unión de elementos de arriostramiento de propuesta a base de panel simple.



Figura 6-11 Barrenado de placas base y presentación de elemento de arrioste por medio de atornillamiento.



Figura 6-12 Montaje, presentación e identificación de elementos de sistema de estructuración en taller.



Figura 6-13 Almacenamiento de elementos de arriostramiento lateral (horizontales y diagonales) de propuesta de estructuración para su posterior traslado.



Figura 6-14 Traslado de especímenes de prueba a destino de pruebas experimentales.



Figura 6-15 Presentación de espécimen de prueba in situ para su armado por medio de atornillamiento de sus componentes.



Figura 6-16 Montaje de especímenes de prueba in situ.



Figura 6-17 Proceso de izaje que excluyen el uso de equipo especializado in situ.

6.1.2 Resultados Propuesta de Estructuración a Base de Panel Doble.

Con referencia a los resultados obtenidos derivados de la implementación del sistema de estructuración a base de panel doble se tienen los siguientes puntos a resaltar:

1.- La propuesta de estructuración a base de panel doble (figura 6-18) cumple con la normativas de diseño AISC-05LRFD para el diseño de elementos rolados en caliente y ANSI-01 para el diseño de elementos rolados en frio; satisfaciendo el estado limite por resistencia de los diferentes elementos que integran la súper-estructura como resultado del cálculo de las relaciones de esfuerzo ≤ 1.0 como se indica en la tabla 6-5.

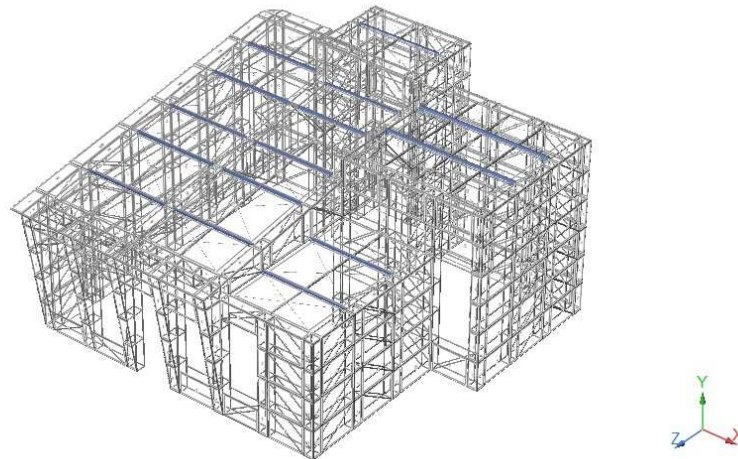


Figura 6-18 Propuesta a base de panel doble discretizada de manera reticular

(2012 Bentley Systems, 2012)

Tabla 6- 5 Relación de esfuerzos por descripción de elementos críticos que integran propuesta a base de panel doble.

Descripción por elemento	Sección	Miembro Critico	Relación de esfuerzos	Estado
ATIESADOR	ANGULO 1.25x1.25x1/8	3018	0.12	OK
AUX CIERRE	PTR 0.75x0.75 cal 14	2726	0.16	OK
AUX RODA	PTR 0.75x0.75 cal 14	2802	0.53	OK
AUX-01	PTR 0.75x0.75 cal 14	1691	0.13	OK
BR-01	PTR 0.75x0.75 cal 14	1762	0.26	OK
CI-01	PTR 0.75x0.75 cal 14	1499	0.09	OK
CI-02	PTR 0.75x0.75 cal 14	2208	0.62	OK
COL1	PTR 0.75x0.75 cal 14	1012	0.49	OK
CS-01	PTR 0.75x0.75 cal 14	1322	0.08	OK
CS-02	PTR 0.75x0.75 cal 14	2190	0.75	OK
D1	PTR 0.75x0.75 cal 14	1519	0.04	OK
D2	PTR 0.75x0.75 cal 14	2248	0.65	OK
H AUX	PTR 0.75x0.75 cal 14	2634	0.06	OK
H1	PTR 0.75x0.75 cal 14	1060	0.8	OK
H1 aux	PTR 0.75x0.75 cal 14	1694	0.24	OK
H2	PTR 0.75x0.75 cal 14	1890	0.46	OK
H2B	PTR 0.75x0.75 cal 14	2398	0.28	OK
H3	PTR 0.75x0.75 cal 14	1527	0.06	OK
H4	PTR 0.75x0.75 cal 14	2176	0.04	OK
H4B	PTR 0.75x0.75 cal 14	2411	0.1	OK
H5	PTR 0.75x0.75 cal 14	2491	0.37	OK
H6	PTR 0.75x0.75 cal 14	2504	0.43	OK
H7	PTR 0.75x0.75 cal 14	2526	0.15	OK
M1	PTR 0.75x0.75 cal 14	1506	0.01	OK
M2	PTR 0.75x0.75 cal 14	2239	0.11	OK
M3	PTR 0.75x0.75 cal 14	2429	0.09	OK
MENSULAS	PTR 0.75x0.75 cal 14	2605	0.21	OK
POLINES	POLIN 4MT14	2947	0.89	OK
RODAPIE	ANGULO 0.75x0.75x1/8	2883	0.32	OK

(2012 Bentley Systems, 2012)

2.- Tomando como referencia los estados limite de servicio, la propuesta de estructuración a base de panel doble cumple con los requisitos establecidos por (IBC, 2012) con relación a deformaciones permisibles y por (NTC, 2004) en relación a distorsiones permisibles producto de desplazamiento horizontales.

Revisión por Deformaciones Permisibles.

Con base al análisis y diseño de la propuesta analítica se determino que el elemento 2947 a base de un perfil tipo Monten 4MT14 con condiciones de frontera tipo apoyo simple, era el elementos crítico considerando el estado de servicio antes mencionado como se puede apreciar en las figuras 6-19 a 6-21.



Figura 6-19 Elementos crítico rolado en frio tipo monten de propuesta a base de panel doble para revisión por estado limite de servicio "Deflexión"

(2012 Bentley Systems, 2012)

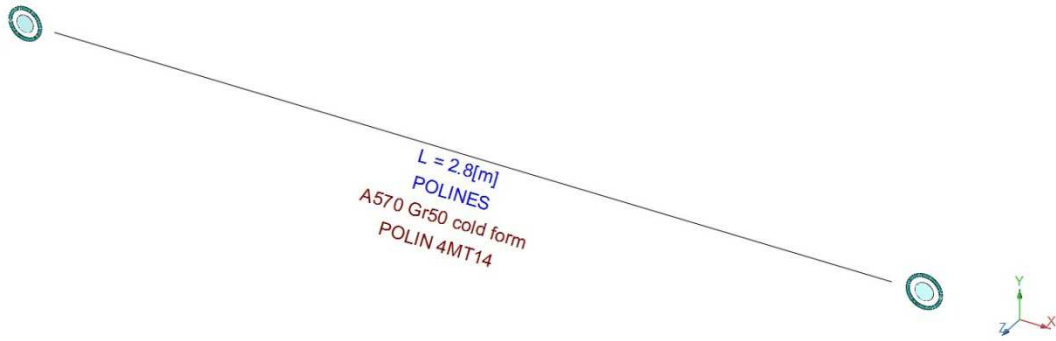


Figura 6-20 Propiedades mecánicas de elemento crítico de propuesta a base de panel doble para revisión de deformación permisible.

(2012 Bentley Systems, 2012)

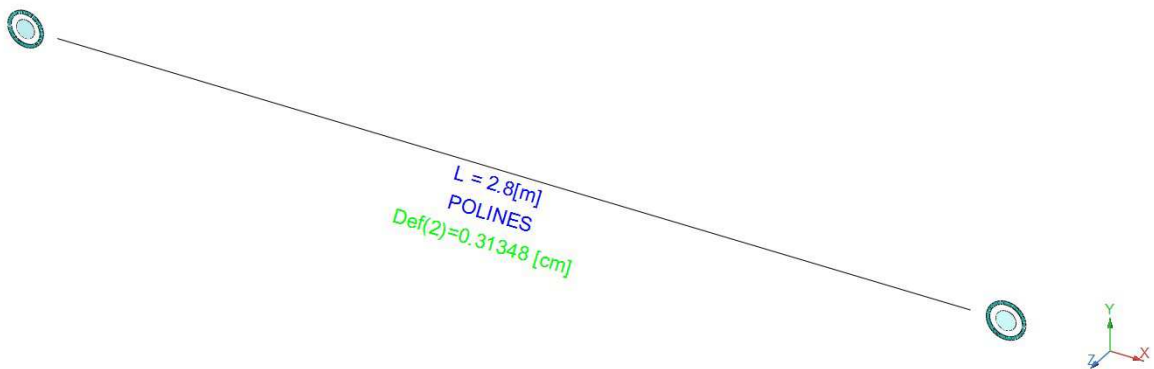


Figura 6-21 Calculo de deflexión máxima en elemento crítico de propuesta a base de panel doble.

(2012 Bentley Systems, 2012)

$$\delta \text{ permisible} = L/360 \dots \dots \dots \text{(IBC, 2012)}$$

$$\delta \text{ permisible} = 280/360 = 0.7778\text{cm}$$

$$\delta \text{ actuante} = 0.3135\text{cm} \leq 0.7778\text{cm}$$

Revisión de Estado Limite de Servicio "Distorsión".

Tomando en base los resultados obtenidos del análisis y diseño de la propuesta a base de panel doble, se identificaron los nodos críticos (figura 6-22 y 6-23) con los cuales se hizo el cálculo de la distorsión actuante como se puede apreciar en las tablas 6-6 y 6-7.

Calculo de Distorsión Nivel 1 - Nivel 0

Tabla 6- 6 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 1 de propuesta a base de panel doble.

Nodo	Δ_x (cm)	Δ_z (cm)
119	0.00	0.00
131	0.094	0.165

(2012 Bentley Systems, 2012)

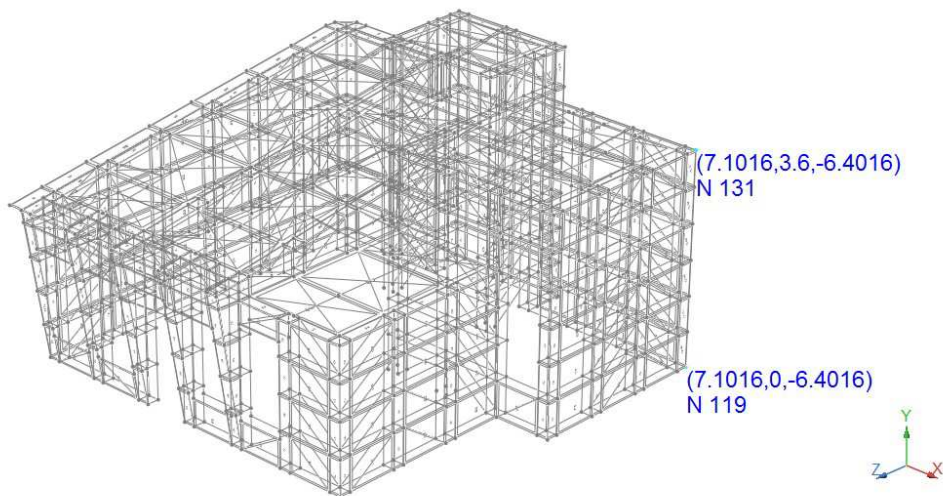


Figura 6-22 Identificación de nodos críticos para calculo de distorsión 1

(2012 Bentley Systems, 2012)

Longitud Entre Niveles= 360cm

Distorsión 1 eje X = $(0.094\text{cm} - 0.00\text{cm})/(360\text{cm}) = 0.00026 \leq 0.0015$

$$\text{Distorsión 1 eje Z} = (0.165\text{cm} - 0.00\text{cm})/(360\text{cm}) = 0.00046 \leq 0.0015$$

Calculo de Distorsión Nivel 2 - Nivel 1

Tabla 6- 7 Desplazamiento actuantes para calculo de distorsión 2 de propuesta a base de panel doble.

Nodo	Δ_x (cm)	Δ_z (cm)
224	0.160	0.161
100	0.159	0.197

(2012 Bentley Systems, 2012)

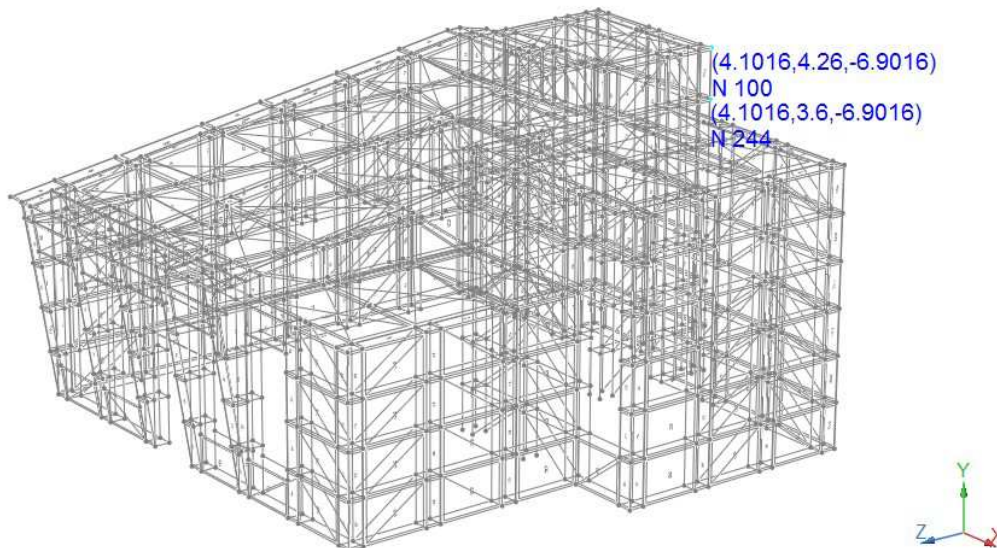


Figura 6-23 Identificación de nodos críticos para calculo de distorsión 2

(2012 Bentley Systems, 2012)

Longitud Entre Niveles= 65cm

$$\text{Distorsión 2 eje X} = (0.160\text{cm} - 0.159\text{cm})/(65\text{cm}) = 0.000015 \leq 0.0015$$

$$\text{Distorsión 2 eje Z} = (0.197\text{cm} - 0.161\text{cm})/(65\text{cm}) = 0.00055 \leq 0.0015$$

3.- Con relación a la implementación de un sistema reticular ligero, modulable, montable y desmontable; la propuesta de estructuración a base de panel doble sobrepasa la relación peso/superficie entre 24 y 28 kg/m² como indicativos empleados en la práctica profesional de aligeramiento estructural de estructuras tipo nave industrial como se puede apreciar en la tabla 6-8.

Tabla 6- 8 Tabla de listado de materiales propuesta a base de panel doble.

Perfil	Material	Longitud [m]	Peso Total [Ton]
ANGULO 0.75X0.75X1/8	A36	42.227	0.037
ANGULO 1.25X1.25X1/8	A36	24.095	0.191
POLIN 3MT14	A570 GR50 COLD FORM	23.358	0.062
POLIN 4MT14	A570 GR50 COLD FORM	5.594	0.018
PTR 0.75X0.75 CAL 14	A500 GRB RECTANGULAR	1258.642	1.274
REDONDO DE 1_4	A36	83.517	0.021
Peso Total [Ton]			1.603

(2012 Bentley Systems, 2012)

Calculo de Relación Peso-Superficie:

$$\text{Relación Peso/Superficie} = (1.603\text{ton} \cdot 1000) / (47.17\text{m}^2) = 33.98\text{kg/m}^2$$

Cabe señalar que la propuesta a base de panel doble sobrepasa los límites de relación peso/superficie por 5.98 kg/m², lo cual era de esperarse ya que dicha propuesta de estructuración contaba con un sistema doble de muros de 8" de espesor en ambos sentidos ortogonales favoreciendo al comportamiento del sistema aportando mayor rigidez lateral a costo del incremento en la relación antes mencionada.

4.- Con relación a la implementación de un sistema de estructuración que fomente procedimientos de fabricación totalmente industrializados que permitan el traslado del sistema estructural de un lugar a otro, la propuesta a base de panel doble al igual que la propuesta a base de panel simple cumple con el objetivo establecido de un sistema capaz de ser implementado en diferentes locación con una diferencia de 399 kg de material adicional por lo cual desde el punto de vista de viabilidad en relación a los tiempos de fabricación y montaje era inferior ya que dicha propuesta cuenta con un total de 4267 elementos que integran el modelo analítico contra 1206 elementos que constituyen la propuesta base de panel simple como se puede apreciar en las figuras 6-24 y 6-25.

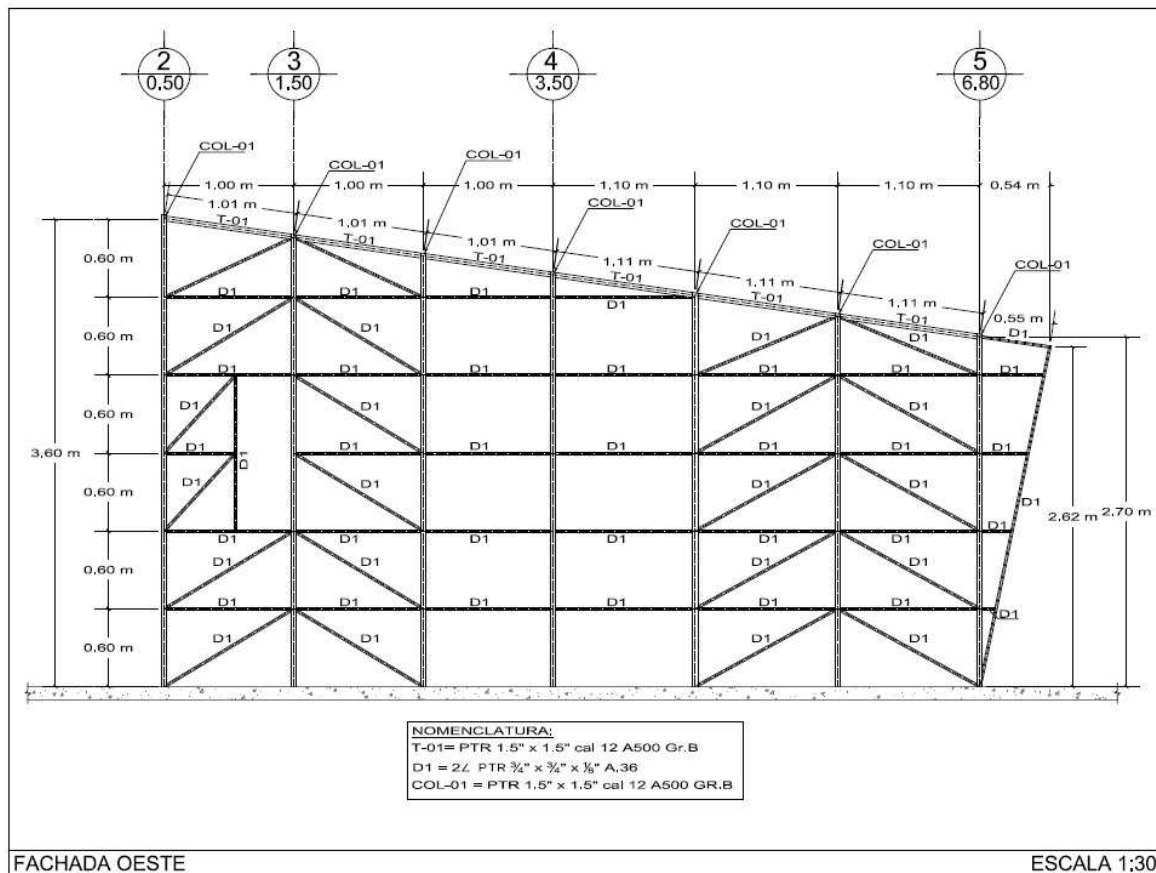


Figura 6-24 Fachada Oeste de plano estructural de propuesta a base de panel simple.

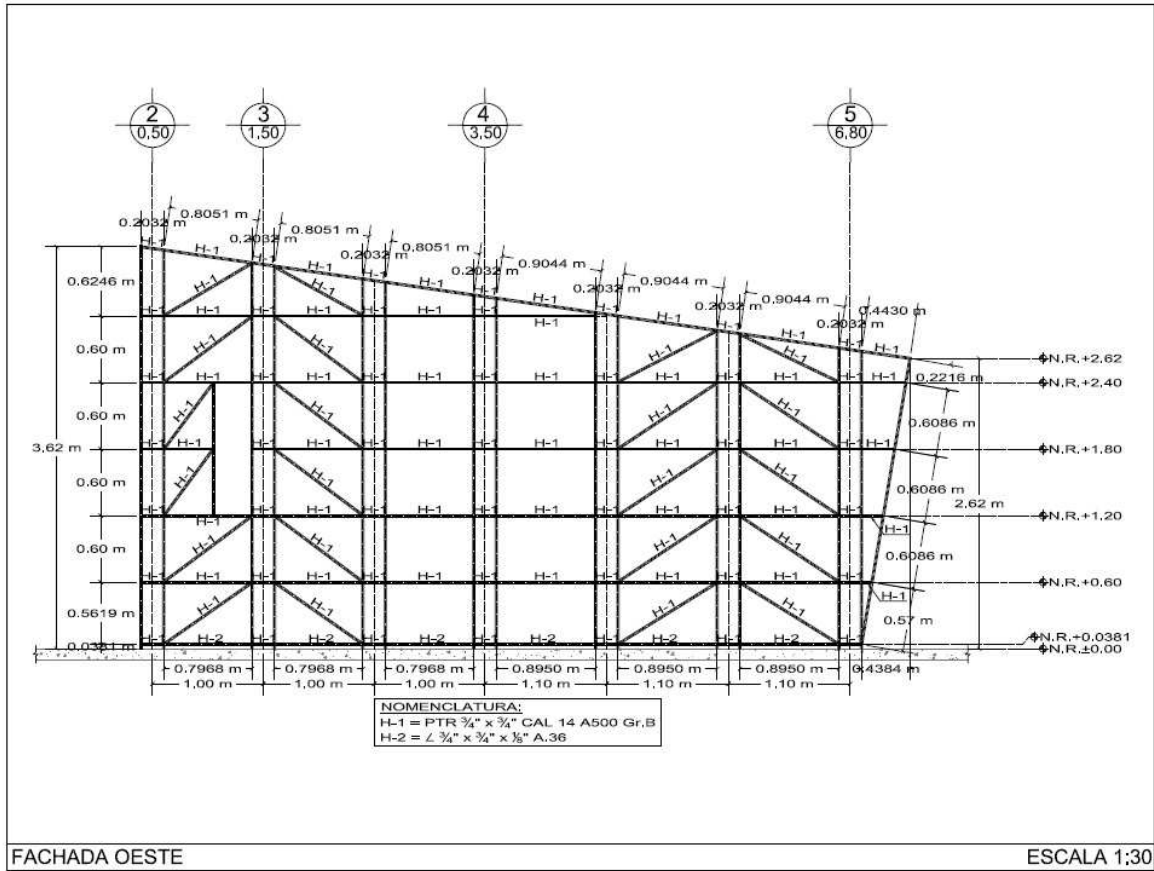


Figura 6-25 Fachada Oeste de plano estructural de propuesta a base de panel doble.

6.2 Análisis de Resultados Experimentales

6.2.1 Análisis Elasto-plástico Del Sistema de Estructuración.

Como parte de la metodología a seguir en relación a las pruebas experimentales del presente proyecto de investigación, se desea conocer a través de un análisis elasto-plástico o análisis de capacidad ultima del sistema de estructuración, las cargas criticas y los desplazamientos asociados a estas con el objetivo de conocer la ley de comportamiento y el mecanismo falla que permita estimar la sobre resistencia del sistema a base de panel simple ante cargas accidentales en interacción con las cargas de servicio.

Dentro de los parámetros de mayor importancia al implementar este tipo de análisis podemos mencionar:

- **P_{cr1}** : incremento de carga que origina la primera re-distribución de esfuerzos como resultado de la plastificación de uno o más elementos que integran el sistema de estructuración; esta carga permite conocer el limite elástico del sistema de estructuración.
- **Δ_{cr1}** : desplazamiento horizontal asociado a la carga **P_{cr1}** ; este desplazamiento se toma a partir de un punto de interés del sistema de estructuración y conjuntamente con la carga **P_{cr1}** se procede a graficar el primer punto de la ley de comportamiento a capacidad ultima del sistema de estructuración.
- **$P_{colapso}$** : Incremento de carga asociado a la falla o colapso del sistema; este incremento de carga da como resultado la plantificación del último elemento necesario para provocar la inestabilidad y colapso de todo el sistema estructural.

- Δ_{colapso} : desplazamiento horizontal asociado a la carga de colapso del sistema estructural; este desplazamiento en conjunto con la carga de colapso es el último punto a graficar para la construcción de la ley de comportamiento a capacidad última del sistema de estructuración.

Una vez conocido las cargas críticas y los desplazamientos asociados a estas cargas mediante el procedimiento analítico de segundo orden denominado "Push Over"; se procede a la construcción de la ley de comportamiento del sistema, mediante la construcción de una gráfica carga-desplazamiento (Δ, P). Esta ley de comportamiento permite observar la evolución del sistema conforme se van desarrollando los incrementos de carga, teniendo tres etapas fundamentales las cuales son: rango elástico del sistema, rango plástico del sistema y colapso del sistema de estructuración.

Cabe resaltar que este procedimiento analítico de segundo orden permite la obtención aproximada de la ley de comportamiento real del sistema ante la falla, idealizando el sistema de estructuración como un sistema de alma abierta (tipo armadura), asumiendo la ausencia de pandeos locales y fallas en los elementos de interconexión, dando como resultado un panorama bastante aceptable del mecanismo de falla para su posterior calibración mediante pruebas de experimentales a escala real del sistema de estructuración de interés.

A continuación se presentan en las figuras 6-26, 6-27 y 6.28, la geometría del sistema de estructuración idealizado, las cargas aplicadas y la enumeración de los elementos que integran el modelo discreto del sistema de estructuración a base de panel simple.

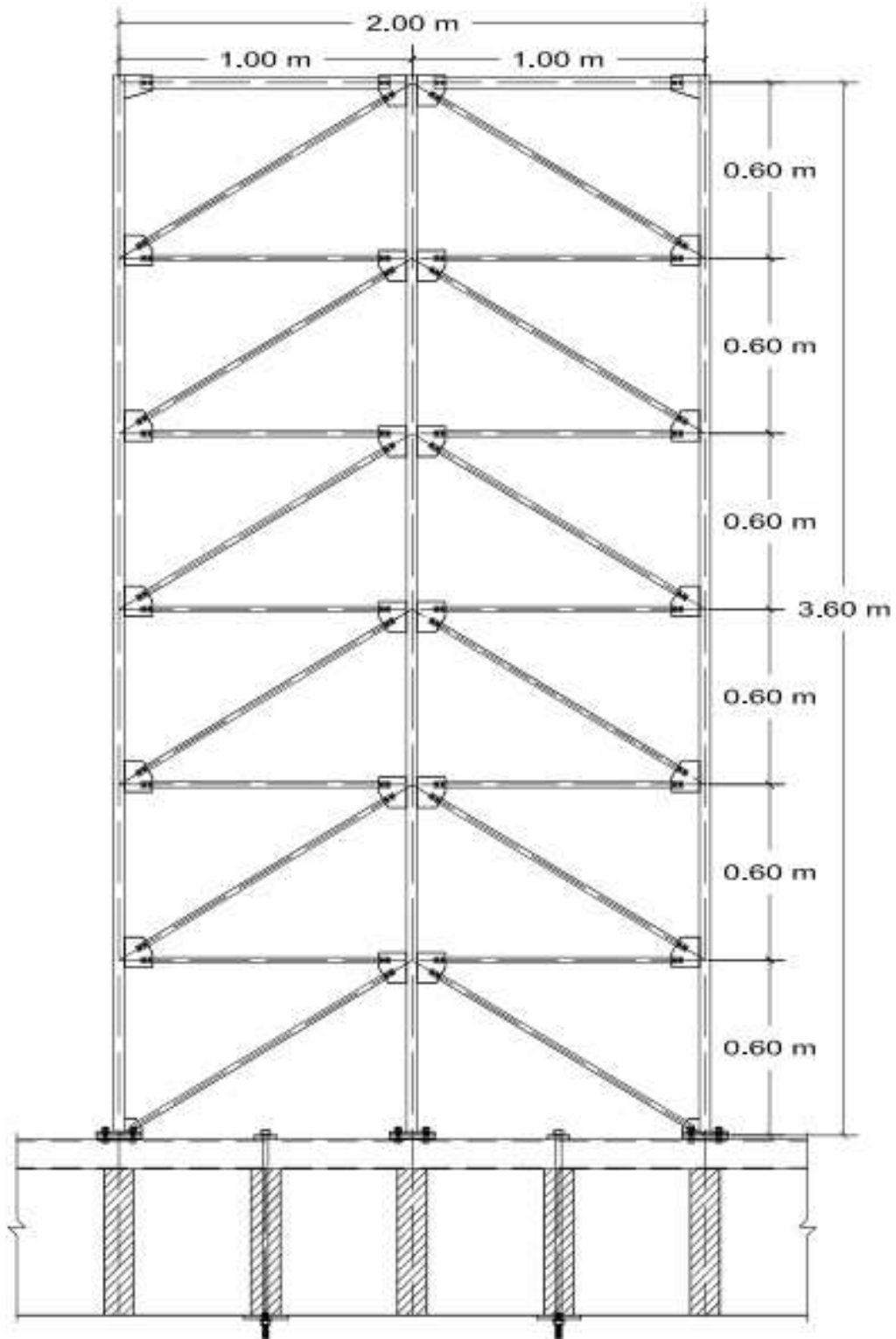


Figura 6-26 Geometría del prototipo de prueba del sistema de estructuración a base de panel simple.

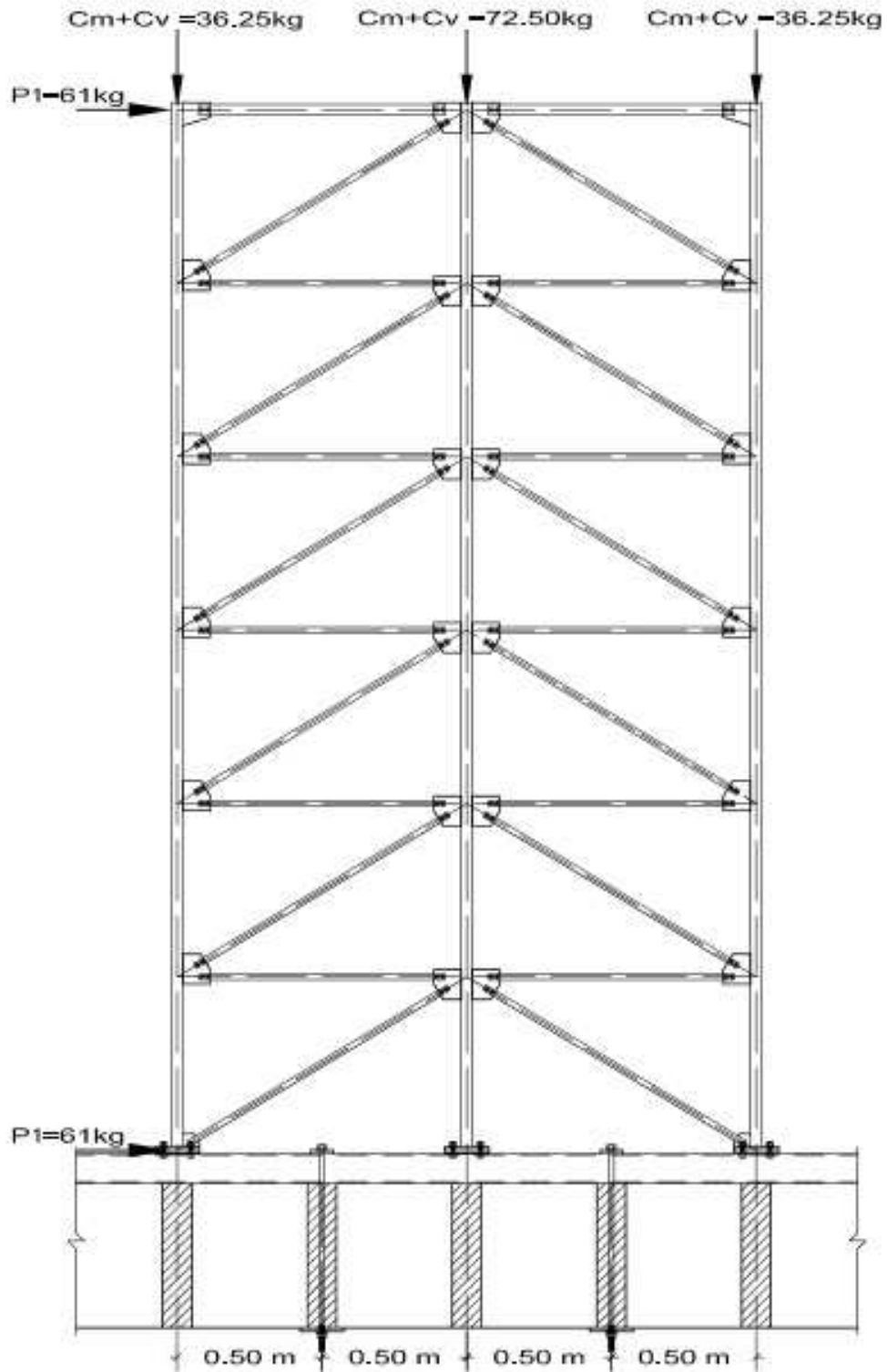


Figura 6-27 Representación de cargas aplicadas (reacciones de carga distribuida producto del viento) sobre sistema de estructuración a base de panel simple para implementación de análisis elasto-plástico "Push Over".

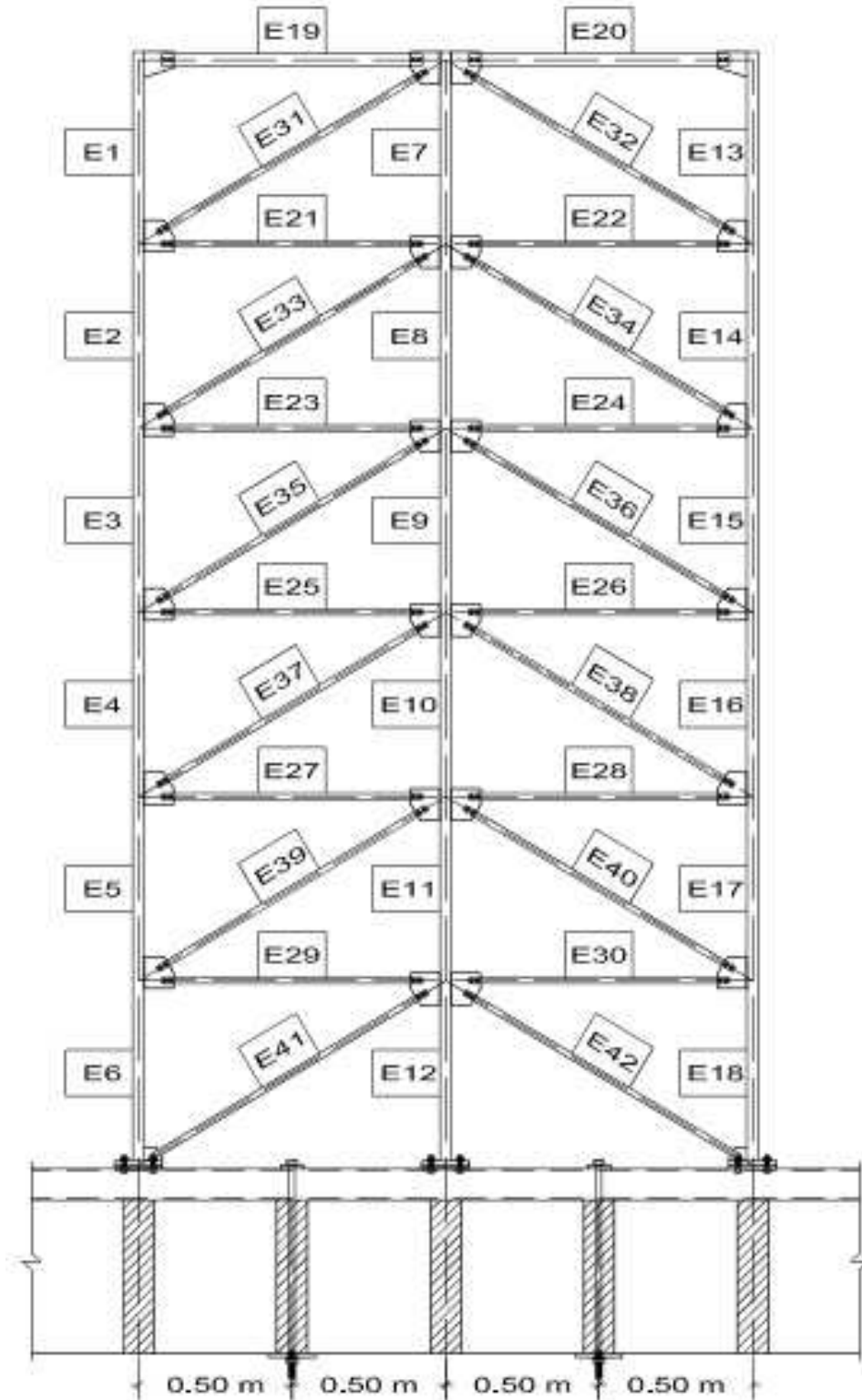


Figura 6-28 Construcción de modelo discreto de elementos que integran el sistema de estructuración a base de panel simple.

6.2.2 Estimación de cargas aplicadas sobre estructura (cargas de servicio)

Una vez construido el modelo discreto representativo del prototipo de prueba, se procede al cálculo de las cargas de servicio como resultado de un bajado de cargas como resultado de la distribución de los diferentes elementos que integran el sistema de estructuración a base de panel simple.

A continuación se presenta el cálculo de las fuerzas aplicadas sobre el sistema de estructuración tomando en consideración el área tributaria del prototipo de prueba dentro del sistema global (Figuras 6-29, 6-30 y 6-31).

$$\text{Carga Muerta} = 45 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Carga Viva} = 100 \text{ kg/m}^2 \dots\dots\dots (\text{NTC, 2004})$$

$$\text{Presión de Viento Muro Barlovento} = 67 \text{ kg/m}^2 \dots\dots\dots (\text{CFE, 2008b})$$

$$W_{cm} + W_{cv} = 45 + 100 = 145 \text{ kg/m}^2 \dots\dots\dots (\text{carga muerta} + \text{carga viva})$$

$$\text{Ancho Tributario} = 0.50 \text{ m}$$

$$W_{s1} = 145 \text{ kg/m}^2 * 0.50 \text{ m} = 72.5 \text{ kg/m} \dots\dots\dots (\text{carga distribuida gravitacional en panel})$$

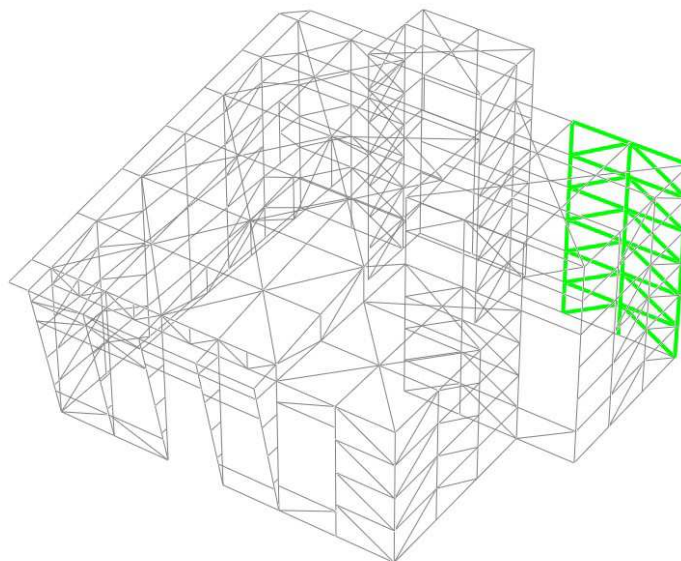


Figura 6-29 Vista de panel a base de panel simple (vista sur)

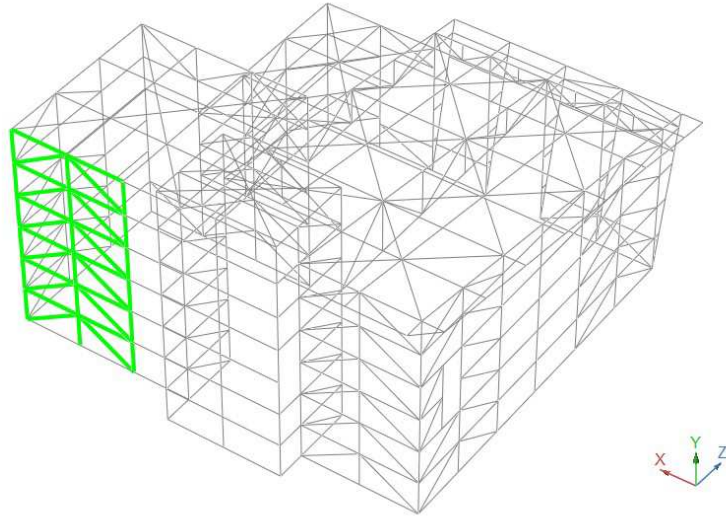


Figura 6-30 Vista de panel a base de panel simple (vista norte)

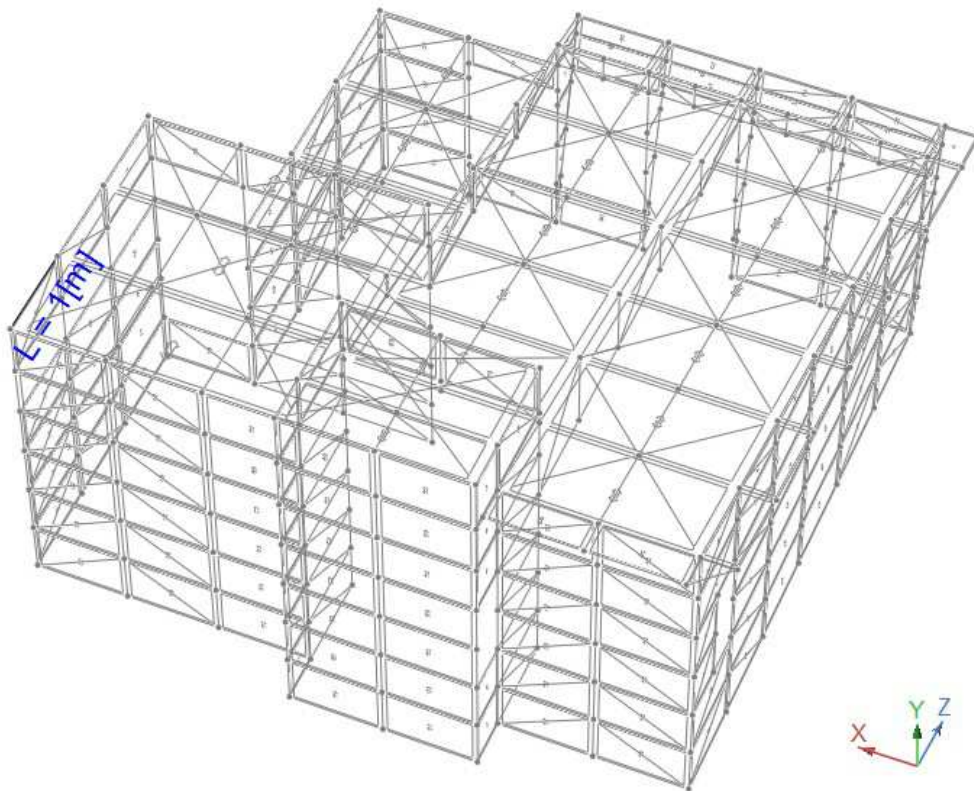


Figura 6-31 Distribución modular de elementos gravitacionales para posterior bajado de cargas en sistema de muros.

$Ws2 = 67\text{kg/m}^2 * 0.50\text{m} = 33.5 \text{ kg/m}$ (carga distribuida producto del viento)

Altura de Panel = 3.60m

Reacciones = $(33.5 * 3.60)/2 = 60.3 \text{ kg} \rightarrow 61\text{kg}$

Nota: Para cuestiones de análisis solo se tomara en cuenta las cargas puntuales gravitacionales y la reacción superior producto del viento, la reacción inferior será absorbida directamente por el apoyo como se muestra en la Figura 6.32.

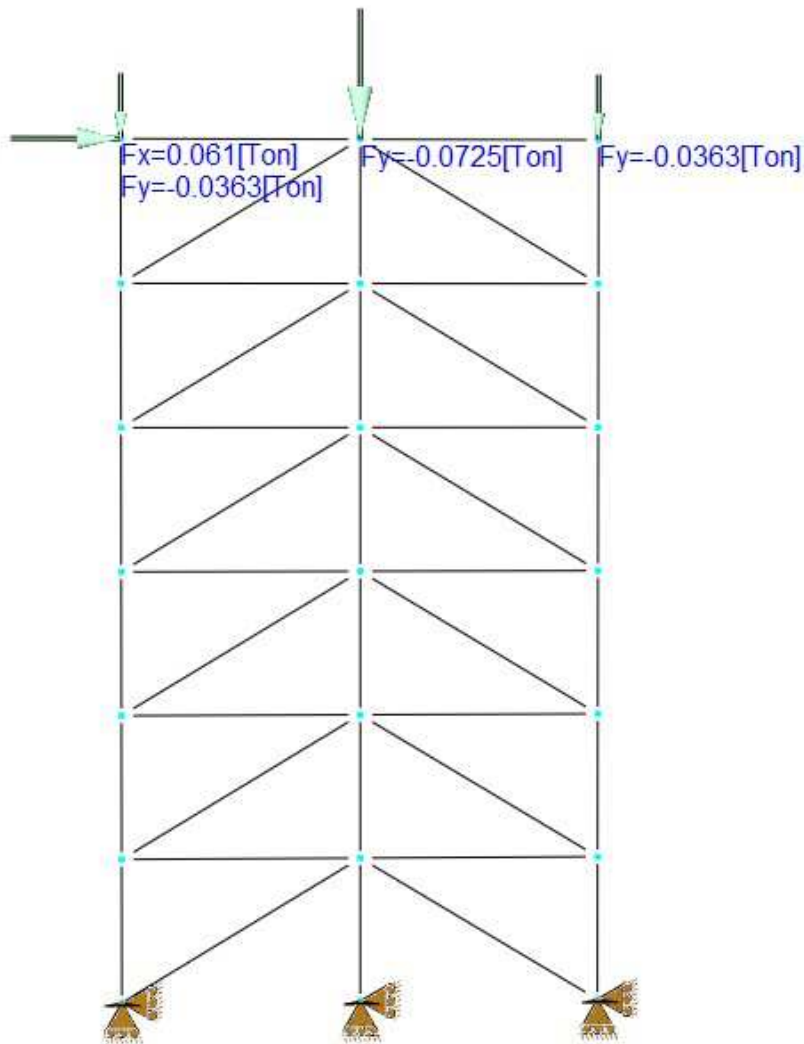


Figura 6-32 Ubicación de cargas en sistema de estructuración a base de panel simple para implementación de análisis "Push Over".

6.2.3 Calculo de Resistencia Nominal de los Elementos que Integran el Modelo Discreto a Base de Panel Simple.

Tomando como base lo establecido en las especificaciones de Diseño **AISC-05 LRFD** para el cálculo de la resistencia de diseño de los elementos que integran el sistema de estructuración:

$$\phi T_n = \phi * A_g * F_y \dots \dots \dots (\text{resistencia a tensión donde } \phi=0.90)$$

$$\phi P_n = \phi * F_{cr} * A_g \dots \dots \dots (\text{resistencia a la compresión donde } \phi=0.90)$$

Donde:

ϕ = factor de reducción de la resistencia criterio de diseño "LRFD".

A_g = área de la sección transversal.

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero estructural.

F_{cr} = esfuerzo de pandeo por flexión de una columna.

Para el cálculo de la resistencia nominal de los diferentes elementos que integran el prototipo de prueba, se calculo en primera instancia la resistencia de diseño mediante el criterio de diseño "LRFD" implementando el software de análisis y diseño Ram Elements (2012 Bentley Systems, 2012) tomando en consideración las condiciones de frontera y/o apoyo de los elementos que integran el sistema de estructuración a base panel simple, para posteriormente dividir la resistencia de diseño entre los respectivos factores de reducción de $\phi=0.90$ a tensión y $\phi=0.90$ a compresión para así obtener la resistencia nominal de cada uno de los elementos que conforman el sistema estructural. A continuación en la tabla 6-9 se muestra un resumen de las secciones transversales, longitud y resistencia nominal de cada unos de los elementos que integran el prototipo de prueba a base de panel simple.

Tabla 6- 9 Listado de materiales de elementos que integran el modelo discreto de la propuesta a base de panel simple.

Elemento	Sección	Longitud (m)	Resistencia (ton)	
			Tn	Pn
E1	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E2	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E3	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E4	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E5	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E6	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E7	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E8	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E9	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E10	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E11	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E12	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E13	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E14	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E15	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E16	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E17	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E18	PTR 1.5x1.5 CAL 12	0.6	12.20	10.86
E19	PTR 1.5x1.5 CAL 12	1	12.20	8.84
E20	PTR 1.5x1.5 CAL 12	1	12.20	8.84
E21	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E22	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E23	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E24	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E25	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E26	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E27	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E28	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E29	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E30	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1	5.10	1.51
E31	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E32	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E33	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E34	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E35	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E36	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E37	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E38	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E39	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E40	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E41	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11
E42	2L PTR 0.75x0.75x1/8	1.17	5.10	1.11

Tn=capacidad nominal a tensión del elementos estructural, Pn = capacidad nominal a la compresión del elemento estructural.

6.2.4 Implementación de Análisis "Push Over".

Una vez establecido el modelo discreto, las propiedades mecánicas de cada uno de los elementos que lo integran y las cargas aplicadas, se procede a realizar el análisis denominado "Push Over" o análisis de incremento de carga. En este procedimiento analítico se busca la degradación del sistema estructural paso a paso mediante la incrementación de las cargas accidentales, ya que son estas las que durante la vida útil de la estructura van cambiando en comparación a las cargas de servicio (gravitacionales) que son constantes. La degradación del sistema estructural se lleva a cabo mediante la plastificación paso a paso de los diferentes elementos que integran el sistema estructural, tomando como base el principio de que un elemento estructural que es demandado más allá de su rango elástico es incapaz de proporcionar rigidez al sistema, lo cual provoca una redistribución de los esfuerzos actuantes en los demás elementos que integran el sistema estructural, de esta manera se desea conocer el incremento de carga necesario para llevar más allá del rango elástico (plastificar) un cierto número de elementos que ocasione la falla o colapso del sistema estructural.

Cabe mencionar que para el cálculo de la capacidad última del sistema de estructuración se requirió de un total de 4 análisis plástico posteriores al análisis estático inicial.

- Análisis 0 (Análisis Elástico)

Análisis ante cargas de servicio producto de la estimación de las diferentes acciones a las que estará sometida la estructura de interés. A continuación se presenta en las tabla 6-10 y 6-11 el resultado del análisis y un resumen del mismo respectivamente.

Tabla 6- 10 Resultados de análisis 0 (estático) del sistema de estructuración a base de panel simple.

Elemento	Resistencia (ton)		Demanda (ton)		λ tensión	λ compresión
	Tn	Pn	Tu	Pu		
1	12.20	10.86		0.0362		300.00
2	12.20	10.86		0.022		493.64
3	12.20	10.86		0.006626		1639.00
4	12.20	10.86	0.009417		1295.529	
5	12.20	10.86	0.0259		471.042	
6	12.20	10.86	0.0424		287.736	
7	12.20	10.86		0.0644		168.63
8	12.20	10.86		0.0586		185.32
9	12.20	10.86		0.0541		200.74
10	12.20	10.86		0.0503		215.91
11	12.20	10.86		0.0469		231.56
12	12.20	10.86		0.0409		265.53
13	12.20	10.86		0.0362		300.00
14	12.20	10.86		0.0586		185.32
15	12.20	10.86		0.0798		136.09
16	12.20	10.86		0.1		108.60
17	12.20	10.86		0.121		89.75
18	12.20	10.86		0.14		77.57
19	12.20	8.84		0.061		144.92
20	12.20	8.84	0.000105		116190.476	
21	5.10	1.51		0.0239		63.18
22	5.10	1.51	0.037		137.838	
23	5.10	1.51		0.0255		59.22
24	5.10	1.51	0.0355		143.662	
25	5.10	1.51		0.0258		58.53
26	5.10	1.51	0.0342		149.123	
27	5.10	1.51		0.0274		55.11
28	5.10	1.51	0.0336		151.786	
29	5.10	1.51		0.0276		54.71
30	5.10	1.51	0.0333		153.153	
31	5.10	1.11	0.0277		184.116	
32	5.10	1.11		0.0435		25.52
33	5.10	1.11	0.0298		171.141	
34	5.10	1.11		0.0412		26.94
35	5.10	1.11	0.0312		163.462	
36	5.10	1.11		0.04		27.75
37	5.10	1.11	0.032		159.375	
38	5.10	1.11		0.0392		28.32
39	5.10	1.11	0.0321		158.879	
40	5.10	1.11		0.0388		28.61
41	5.10	1.11	0.0299		170.569	
42	5.10	1.11		0.0415		26.75

Tn=capacidad nominal a tensión del elementos estructural, Pn = capacidad nominal a la compresión del elemento estructural, Tu = demanda a tensión y Pu = demanda a compresión.

Tabla 6- 11 Resumen de análisis estático o análisis "0".

P ₀ =0.061 ton	carga aplicada producto del viento
Δx ₀ = 0.01548cm	desplazamiento asociado a carga aplicada

▪ Análisis 1 (Análisis Plástico 1)

Primer Incremento:

El primer incremento de carga corresponde al producto de la carga P (reacción superior) de viento multiplicada por el valor promedio de "λ" (resistencia vs demanda) del elementos o los elementos próximos a plastificarse (λ=1.00); debido a que la relación "λ" de los elementos E32,E34,E36,E38,E40 Y E42 es similar, estos elementos tenderían a plastificarse con valores de incremento de carga similares; por lo tanto el primer incremento de carga corresponde al promedio de las relaciones resistencia-demanda de dichos elementos.

$$P_1 = [(\lambda_{E32} + \lambda_{E34} + \lambda_{E36} + \lambda_{E38} + \lambda_{E40} + \lambda_{E42})/6] * P$$

$$P_1 = [(25.52 + 26.94 + 27.75 + 28.32 + 28.61 + 26.75)/6] * 0.061$$

$P_1 = 1.66622\text{ton}$

Nota: Para la implementación del análisis "Push Over", se empleo el software de análisis y diseño estructural "Ram Elements" (2012 Bentley Systems, 2012); para el cálculo de las resistencias disponibles de cada uno de los elementos que integran el sistema de estructuración a base de panel simple, se implemento el criterio de diseño LFRD donde φ para tensión y compresión equivale a 0.90. Por consiguiente para el cálculo de las resistencias nominales se dividió la resistencia de diseño φTn y φPn entre el valor correspondiente del factor de reducción φ=0.90; dicho procedimiento se empleo para el cálculo del primer incremento de carga con el fin de plastificar el primer elemento crítico e inducir al sistema de estructuración a trabajar fuera del rango elástico.

por lo tanto..... **$P_1 = (1.66622/0.90) = 1.85135\text{ton}$**

A continuación se presenta en figura 6-33 , tabla 6-12 y tabla 6-13 las cargas aplicadas, el resultado del análisis y el resumen del análisis plástico 1 respectivamente.

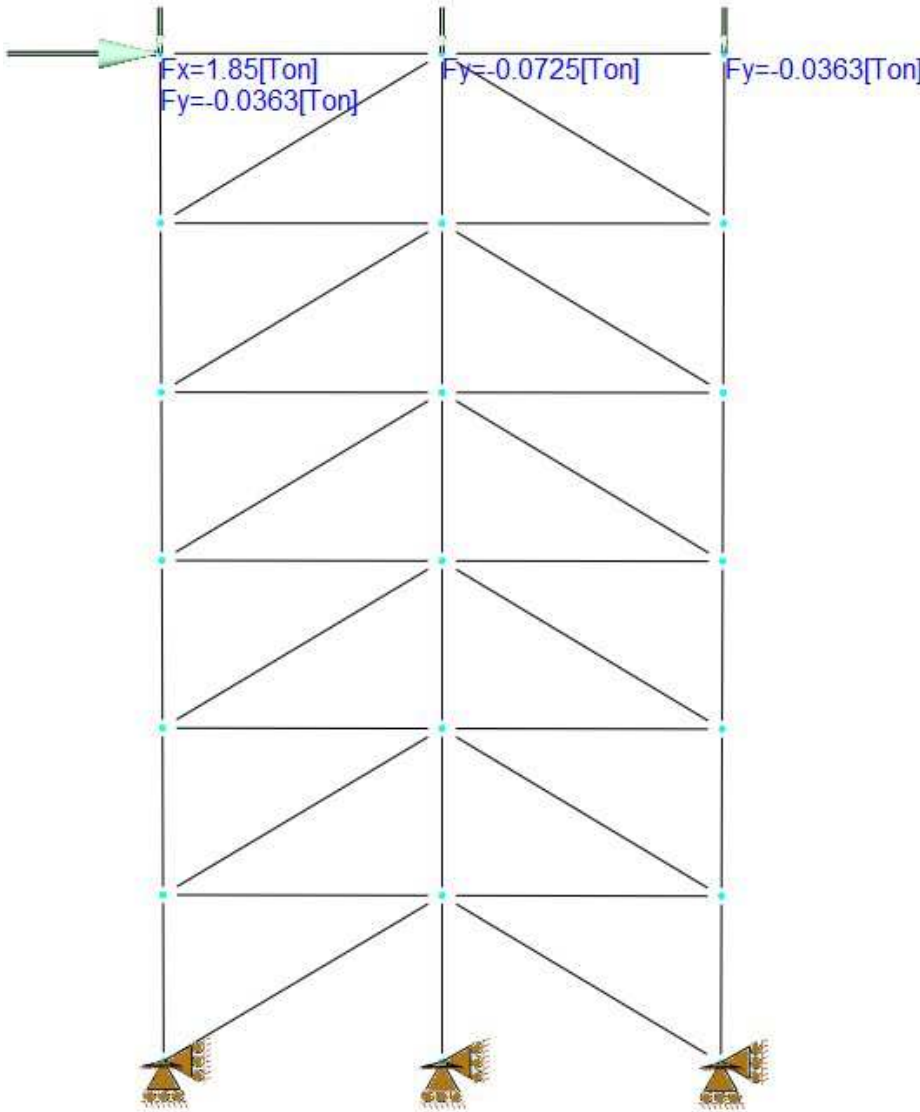


Figura 6-33 Aplicación de cargas de servicio y carga P producto del primer incremento.

Tabla 6- 12 Resultados de análisis plástico 1 del sistema de estructuración a base de panel simple.

Elemento	Resistencia (ton)		Demanda (ton)		λ tensión	λ compresión
	Tn	Pn	Tu	Pu		
1	12.20	10.86		0.0363		299.17
2	12.20	10.86	0.515		23.689	
3	12.20	10.86	1.07		11.402	
4	12.20	10.86	1.62		7.531	
5	12.20	10.86	2.17		5.622	
6	12.20	10.86	2.73		4.469	
7	12.20	10.86		0.0632		171.84
8	12.20	10.86		0.0585		185.64
9	12.20	10.86		0.0538		201.86
10	12.20	10.86		0.0502		216.34
11	12.20	10.86		0.0467		232.55
12	12.20	10.86		0.0408		266.18
13	12.20	10.86		0.0362		300.00
14	12.20	10.86		0.597		18.19
15	12.20	10.86		1.15		9.44
16	12.20	10.86		1.71		6.35
17	12.20	10.86		2.27		4.78
18	12.20	10.86		2.82		3.85
19	12.20	8.84		1.85		4.78
20	12.20	8.84	0.002464		4951.299	
21	5.10	1.51		0.919		1.64
22	5.10	1.51	0.928		5.496	
23	5.10	1.51		0.92		1.64
24	5.10	1.51	0.932		5.472	
25	5.10	1.51		0.922		1.64
26	5.10	1.51	0.929		5.49	
27	5.10	1.51		0.922		1.64
28	5.10	1.51	0.929		5.49	
29	5.10	1.51		0.922		1.64
30	5.10	1.51	0.928		5.496	
31	5.10	1.11	1.07		4.766	
32	5.10	1.11		1.11		1.00
33	5.10	1.11	1.07		4.766	
34	5.10	1.11		1.08		1.03
35	5.10	1.11	1.07		4.766	
36	5.10	1.11		1.08		1.03
37	5.10	1.11	1.08		4.722	
38	5.10	1.11		1.08		1.03
39	5.10	1.11	1.07		4.766	
40	5.10	1.11		1.08		1.03
41	5.10	1.11	1.08		4.722	
42	5.10	1.11		1.11		1.00

Tn=capacidad nominal a tensión del elementos estructural, Pn = capacidad nominal a la compresión del elemento estructural, Tu = demanda a tensión y Pu = demanda a compresión.

Tabla 6- 13 Resumen de análisis plástico 1.

$P_1=1.85135 \text{ ton}$	cargar aplicada producto del incremento λ_1
$\Delta x_1 = 0.469819 \text{ cm}$	Desplazamiento relacionado al incremento λ_1

- Análisis 2 (Análisis Plástico 2)

Segundo Incremento:

El segundo incremento se calculara a partir de las relación " λ " de los elementos próximos a plastificarse como resultado del análisis plástico 1; dentro de los elementos críticos en esta etapa tenemos: E34, E36, E38 y E40. Cabe señalar que los elementos E32 y E42 rebasaron su límite elástico en la etapa anterior y por consiguiente solo podrán aportar a partir de este nuevo análisis su resistencia nominal al sistema global, provocando una re-distribución de esfuerzos en los demás elementos que integran el sistema estructural. A partir de lo anterior se procede a calcular el incremento de carga que originara la plastificación de los nuevos elementos críticos correspondientes al análisis plástico 2.

$$P_2 = [(\lambda_{E34} + \lambda_{E36} + \lambda_{E38} + \lambda_{E40})/4] * P_1$$

$$P_2 = [(1.03 + 1.03 + 1.03 + 1.03)/4] * 1.85135 \text{ ton}$$

$$P_2 = 1.90689 \text{ ton}$$

A continuación se presenta en figura 6-34 , tabla 6-14 y tabla 6-15 las cargas aplicadas, el resultado del análisis y el resumen del análisis plástico 2 respectivamente.

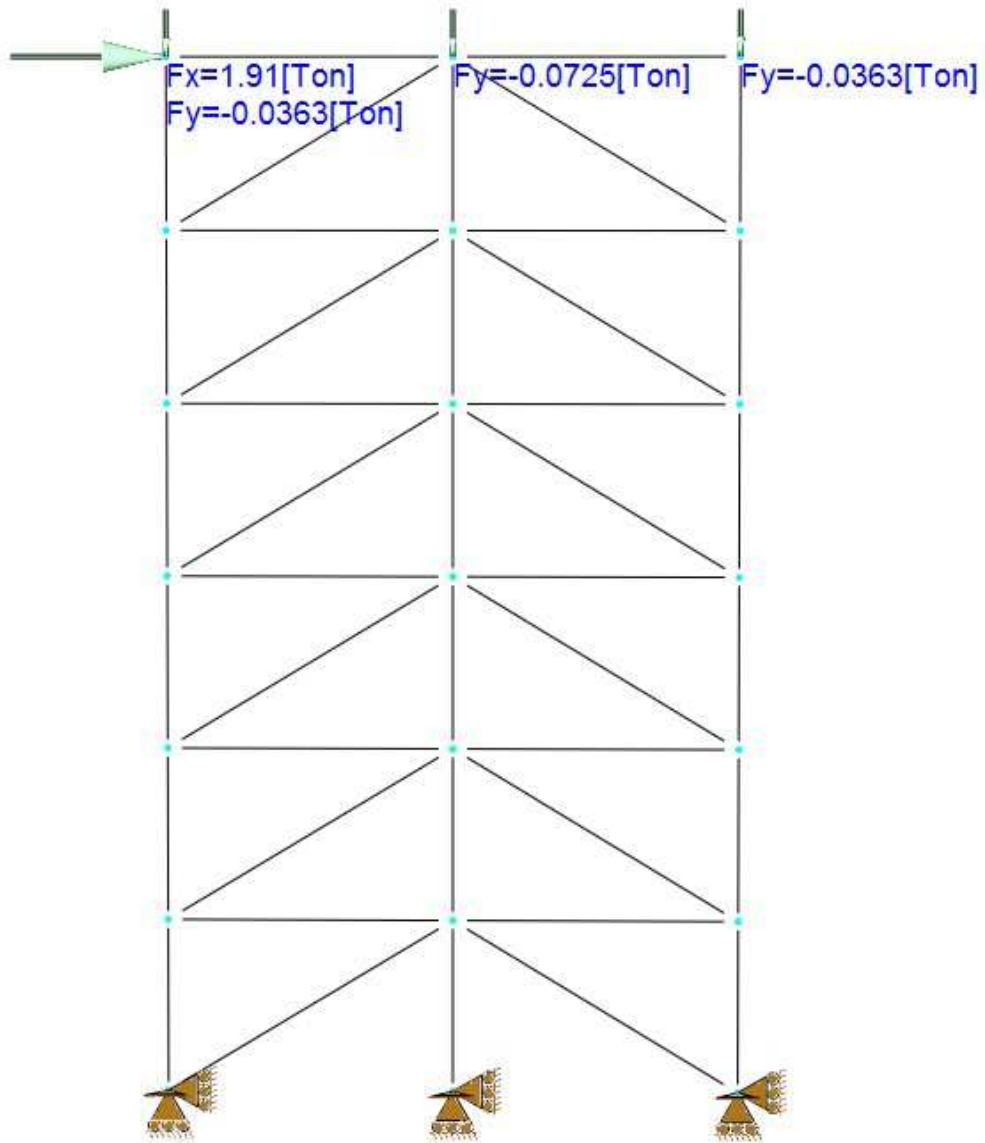


Figura 6-34 Aplicación de cargas de servicio y carga P producto del segundo incremento.

Tabla 6- 14 Resultados de análisis plástico 2 del sistema de estructuración a base de panel simple.

Elemento	Resistencia (ton)		Demanda (ton)		λ tensión	λ compresión	
	Tn	Pn	T	P			
1	12.20	10.86		0.0363		299.17	
2	12.20	10.86	0.538		22.677		
3	12.20	10.86	1.11		10.991		
4	12.20	10.86	1.68		7.262		
5	12.20	10.86	2.25		5.422		
6	12.20	10.86	2.83		4.311		
7	12.20	10.86		0.0755		143.84	
8	12.20	10.86		0.0754		144.03	
9	12.20	10.86		0.0772		140.67	
10	12.20	10.86		0.0793		136.95	
11	12.20	10.86		0.0783		138.7	
12	12.20	10.86		0.0842		128.98	
13	12.20	10.86		0.0362		300	
14	12.20	10.86		0.607		17.89	
15	12.20	10.86		1.18		9.2	
16	12.20	10.86		1.75		6.21	
17	12.20	10.86		2.32		4.68	
18	12.20	10.86		2.89		3.76	
19	12.20	8.84		1.91		4.63	
20	12.20	8.84	0.002427		5026.782		
21	5.10	1.51		0.957		1.58	
22	5.10	1.51	0.946		5.391		
23	5.10	1.51		0.951		1.59	
24	5.10	1.51	0.956		5.335		
25	5.10	1.51		0.955		1.58	
26	5.10	1.51	0.951		5.363		
27	5.10	1.51		0.955		1.58	
28	5.10	1.51	0.952		5.357		
29	5.10	1.51		0.952		1.59	
30	5.10	1.51	0.953		5.352		
31	5.10	1.11	1.12		4.554		
32	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				
33	5.10	1.11	1.11		4.5950		
34	5.10	1.11		1.11		1.00	
35	5.10	1.11	1.11		4.5950		
36	5.10	1.11		1.11		1.00	
37	5.10	1.11	1.11		4.5950		
38	5.10	1.11		1.11		1.00	
39	5.10	1.11	1.11		4.5950		
40	5.10	1.11		1.11		1.00	
41	5.10	1.11	1.12		4.5540		
42	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				

Tn=capacidad nominal a tensión del elementos estructural, Pn = capacidad nominal a la compresión del elemento estructural, Tu = demanda a tensión y Pu = demanda a compresión.

Tabla 6- 15 Resumen de análisis plástico 2.

$P_2=1.90689$ ton	cargar aplicada producto del incremento λ_2
$\Delta x_2 = 0.48991$ cm	Desplazamiento relacionado al incremento λ_2

- Análisis 3 (Análisis Plástico 3)

Tercer Incremento:

El tercer incremento de carga se calculara promediando las relaciones λ del análisis 2 y el análisis 3; con esto procedimiento se asegura que efectivamente los próximos elementos a plastificarse serian: E21, E23, E25, E27 Y E29. De manera análoga al análisis anterior, los elementos E34,E36,E38 Y E40 se integran a los elementos E32 y E42 en relación al aporte de resistencia del sistema global.

$$\lambda_2 = [(\lambda_{E32} + \lambda_{E23} + \lambda_{E25} + \lambda_{E27} + \lambda_{E29})/5]$$

$$\lambda_2 = [(1.58 + 1.59 + 1.58 + 1.58 + 1.59)/5] = 1.584$$

$$\lambda_1 = 1.03$$

$$P_3 = [(\lambda_2 + \lambda_1)/2] * P_2$$

$$P_3 = [(1.584 + 1.03)/2] * 1.90689$$

$$P_3 = 2.49231 \text{ ton}$$

A continuación se presenta en figura 6-35 , tabla 6-16 y tabla 6-17 las cargas aplicadas, el resultado del análisis y el resumen del análisis plástico 3 respectivamente.

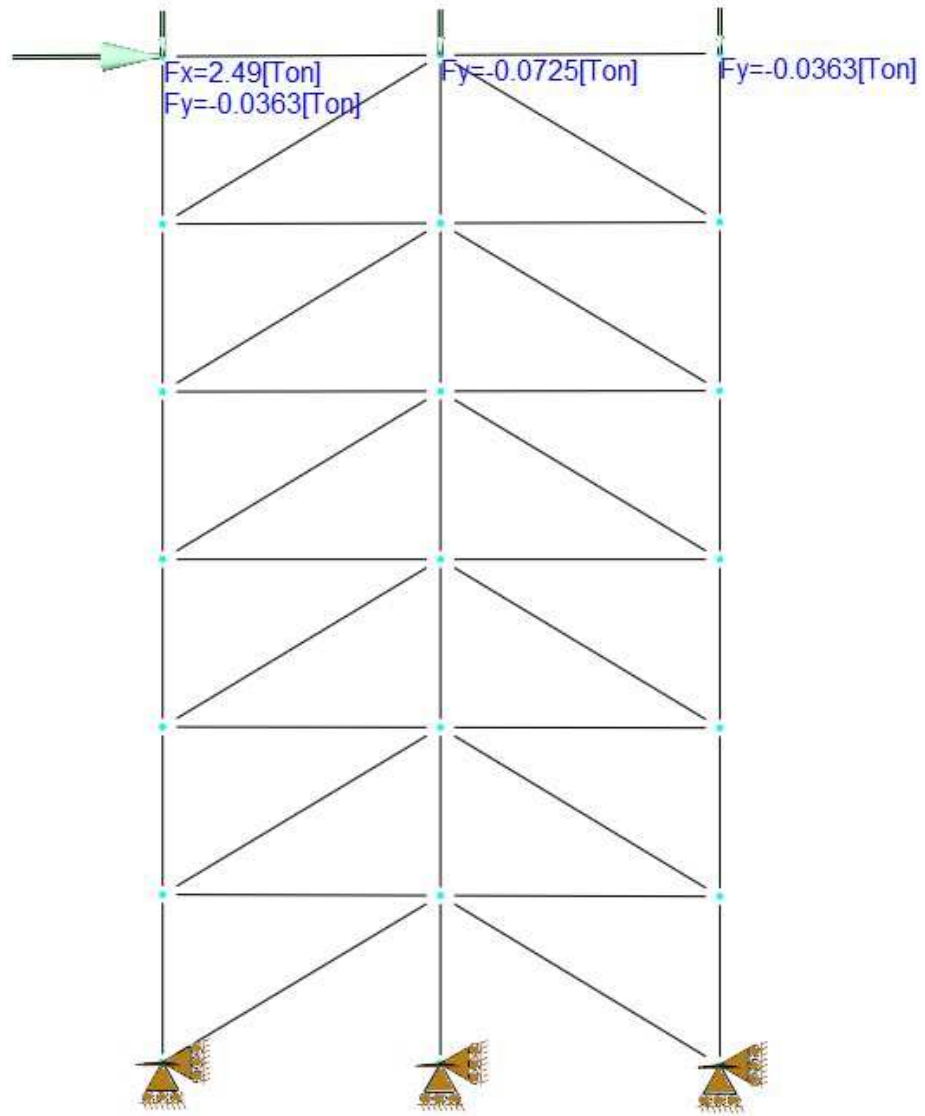


Figura 6-35 Aplicación de cargas de servicio y carga P producto del tercer incremento.

Tabla 6- 16 Resultados de análisis plástico 3 del sistema de estructuración a base de panel simple.

Elemento	Resistencia (ton)		Demanda (ton)		λ tensión	λ compresión	
	Tn	Pn	T	P			
1	12.20	10.86		0.0362		300.00	
2	12.20	10.86	0.889		13.72		
3	12.20	10.86	1.81		6.74		
4	12.20	10.86	2.73		4.47		
5	12.20	10.86	3.66		3.33		
6	12.20	10.86	4.58		2.66		
7	12.20	10.86		0.427		25.43	
8	12.20	10.86		0.777		13.98	
9	12.20	10.86		1.13		9.61	
10	12.20	10.86		1.48		7.34	
11	12.20	10.86		1.83		5.93	
12	12.20	10.86		2.19		4.96	
13	12.20	10.86		0.0363		299.17	
14	12.20	10.86		0.607		17.89	
15	12.20	10.86		1.18		9.20	
16	12.20	10.86		1.75		6.21	
17	12.20	10.86		2.32		4.68	
18	12.20	10.86		2.89		3.76	
19	12.20	8.84		2.49		3.55	
20	12.20	8.84	0.002173		5614.36		
21	5.10	1.51		1.51		1.00	
22	5.10	1.51	0.946		5.39		
23	5.10	1.51		1.51		1.00	
24	5.10	1.51	0.956		5.34		
25	5.10	1.51		1.51		1.00	
26	5.10	1.51	0.952		5.36		
27	5.10	1.51		1.51		1.00	
28	5.10	1.51	0.949		5.37		
29	5.10	1.51		1.51		1.00	
30	5.10	1.51	0.959		5.32		
31	5.10	1.11	1.8		2.83		
32	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				
33	5.10	1.11	1.79		2.849		
34	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				
35	5.10	1.11	1.8		2.833		
36	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				
37	5.10	1.11	1.8		2.833		
38	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				
39	5.10	1.11	1.78		2.865		
40	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				
41	5.10	1.11	1.81		2.818		
42	5.10	1.11	ELEMENTO PLASTIFICADO				

Tn=capacidad nominal a tensión del elementos estructural, Pn = capacidad nominal a la compresión del elemento estructural, Tu = demanda a tensión y Pu = demanda a compresión.

Tabla 6- 17 Resumen de análisis plástico 3.

$P_3=2.49231$ ton	cargar aplicada producto del incremento λ_3
$\Delta x_3 = 0.936274$ cm	Desplazamiento relacionado al incremento λ_3

▪ Análisis 4 (Análisis Plástico 4)

El cuarto incremento de carga a implementar al sistema de estructuración se hará de manera aleatorio; ya que hasta el momento se tiene una carga de 2.49 toneladas en promedio y un total de 11 elementos que rebasan su límite elástico. Tomando como referencia las condiciones de frontera del sistema de estructuración, la magnitud de la carga hasta el momento y el número de elementos plastificados; el incremento de carga asociado al cuarto análisis oscilara en el orden de 2.50 toneladas

$P_4= 2.50$ ton

A continuación se presenta en figura 6-36 , tabla 6-18 y tabla 6-19 las cargas aplicadas, el resultado del análisis y el resumen del análisis plástico 4 respectivamente.

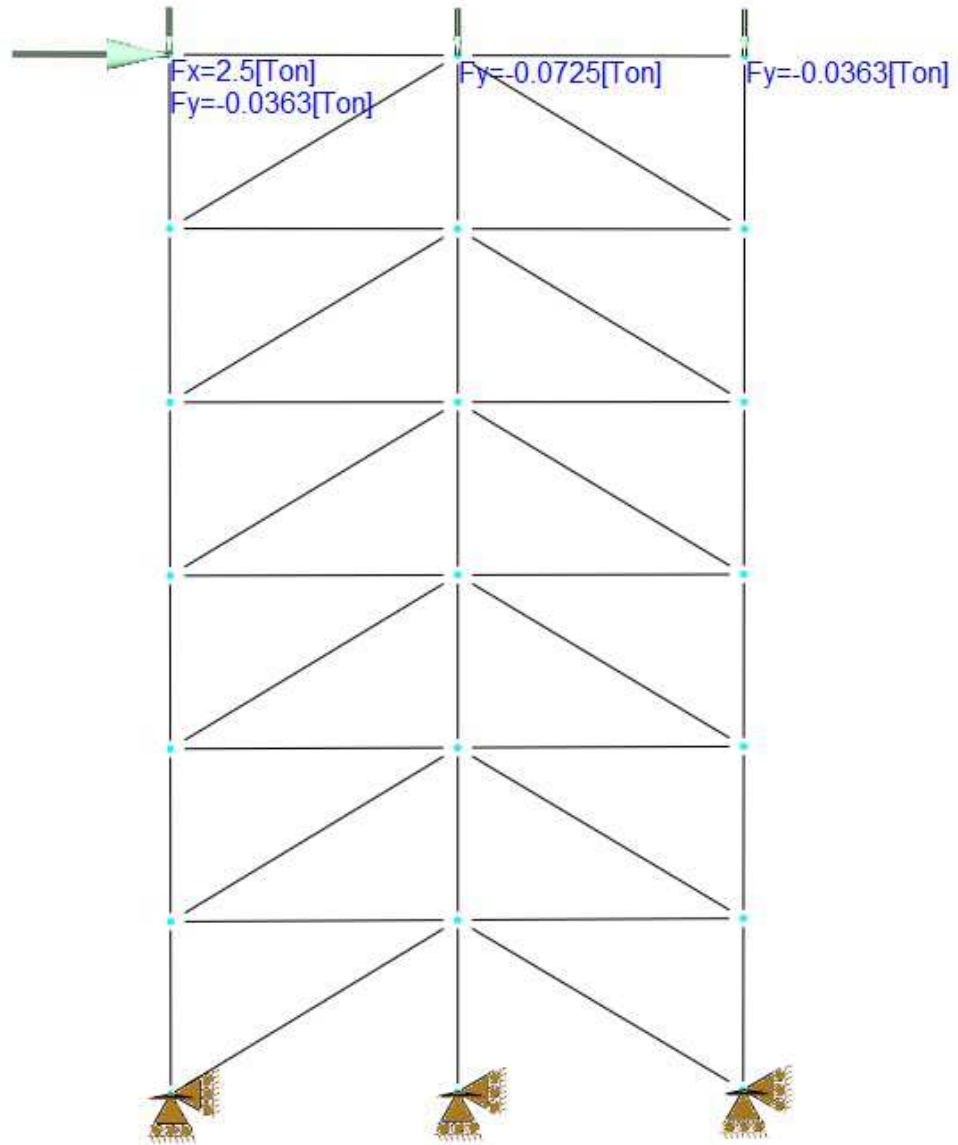


Figura 6-36 Aplicación de cargas de servicio y carga P producto del cuarto incremento.

Tabla 6- 18 Resultados de análisis plástico 4 del sistema de estructuración a base de panel simple.

Elemento	Resistencia (ton)		Demanda (ton)		λ tensión	λ compresión
	Tn	Pn	T	P		
1	12.20	10.86		0.0362		300
2	12.20	10.86	0.906		13.466	
3	12.20	10.86	1.82		6.703	
4	12.20	10.86	2.75		4.436	
5	12.20	10.86	3.67		3.324	
6	12.20	10.86	4.59		2.658	
7	12.20	10.86		0.443		24.515
8	12.20	10.86		0.786		13.817
9	12.20	10.86		1.14		9.526
10	12.20	10.86		1.5		7.24
11	12.20	10.86		1.84		5.902
12	12.20	10.86		2.22		4.892
13	12.20	10.86		0.0363		299.174
14	12.20	10.86		0.607		17.891
15	12.20	10.86		1.18		9.203
16	12.20	10.86		1.75		6.206
17	12.20	10.86		2.32		4.681
18	12.20	10.86		2.89		3.758
19	12.20	8.84		2.51		3.522
20	12.20	8.84		0.00508		1740.843
21	5.10	1.51	PLASTIFICADO			
22	5.10	1.51	0.94		5.426	
23	5.10	1.51	PLASTIFICADO			
24	5.10	1.51	0.956		5.335	
25	5.10	1.51	PLASTIFICADO			
26	5.10	1.51	0.952		5.357	
27	5.10	1.51	PLASTIFICADO			
28	5.10	1.51	0.947		5.385	
29	5.10	1.51	PLASTIFICADO			
30	5.10	1.51	0.97		5.258	
31	5.10	1.11	1.83		2.787	
32	5.10	1.11	PLASTIFICADO			
33	5.10	1.11	1.78		2.865	
34	5.10	1.11	PLASTIFICADO			
35	5.10	1.11	1.8		2.833	
36	5.10	1.11	PLASTIFICADO			
37	5.10	1.11	1.8		2.833	
38	5.10	1.11	PLASTIFICADO			
39	5.10	1.11	1.78		2.865	
40	5.10	1.11	PLASTIFICADO			
41	5.10	1.11	1.85		2.757	
42	5.10	1.11	PLASTIFICADO			

Tn=capacidad nominal a tensión del elementos estructural, Pn = capacidad nominal a la compresión del elemento estructural, Tu = demanda a tensión y Pu = demanda a compresión.

Tabla 6- 19 Resumen de análisis plástico 4.

$P_4=2.50$ ton	cargar aplicada producto del incremento λ_4
$\Delta x_4 = 1.59625$ cm	Desplazamiento relacionado al incremento λ_4

▪ Ley de Comportamiento de Sistema de Estructuración

Una vez realizado los correspondientes análisis necesarios para la correcta aplicación del método de incremento de carga o método "Push Over", se procede a la construcción de la ley de comportamiento del sistema de estructuración; el objetivo principal de esta ley de comportamiento del sistema ante la falla es la de identificar el punto específico en el cual el sistema de estructuración deja de ser estable como resultado de la redistribución de esfuerzos a las que estuvo sometido una vez que ciertos elementos rebasaron su capacidad nominal o límite elástico.

A continuación se presenta en la tabla 6-20 un resumen de los datos necesarios para la construcción de la ley de comportamiento del sistema (figura 6-37), como resultado de la implementación del análisis "Push Over", con el objetivo de estimar de manera aproximada la sobre resistencia o capacidad del sistema de estructuración al colapso.

Tabla 6- 20 Resumen de desplazamiento vs incrementos de carga producto de la implementación de un análisis "Push Over" al sistema de estructuración a base de panel simple.

Δx (cm)	P (ton)
0	0
0.01548	0.061
0.46982	1.85135
0.48528	1.90689
0.93627	2.49231
1.59625	2.5

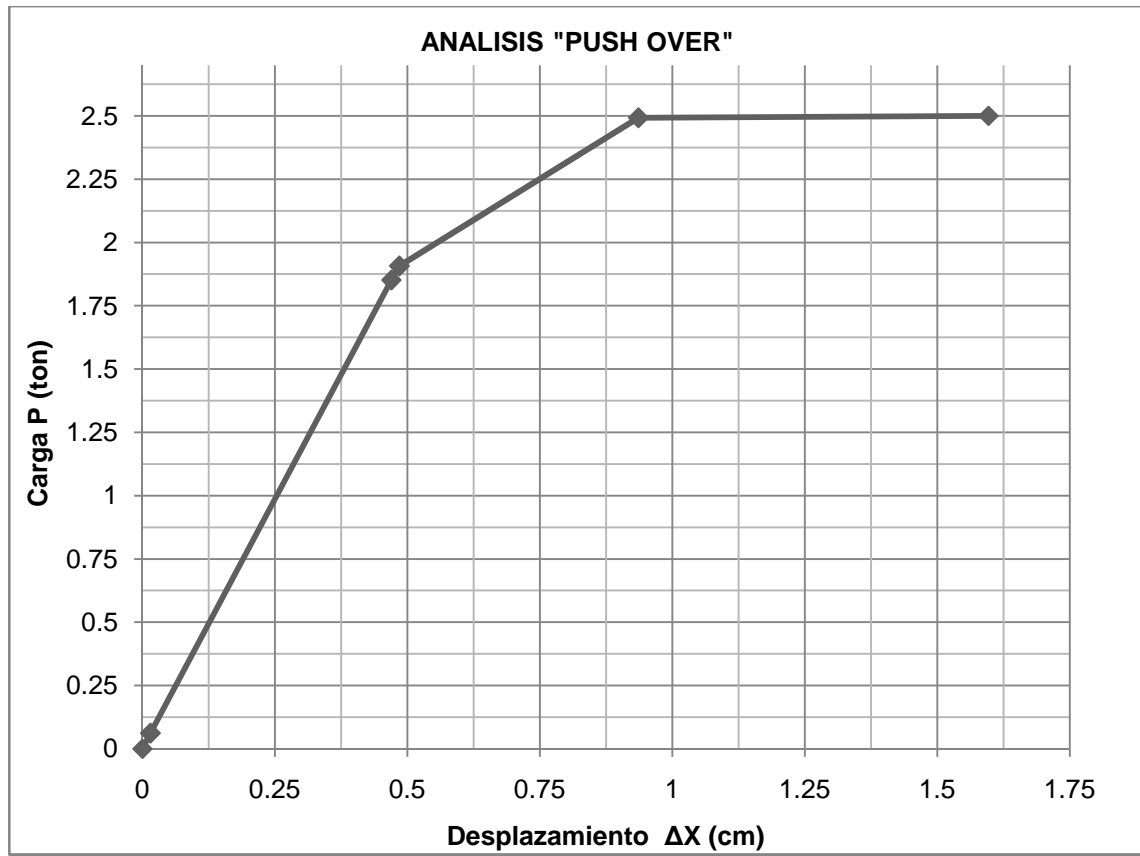


Figura 6-37 Ley de comportamiento del sistema de estructuración a base de panel simple como resultado de la implementación de un análisis Elasto-plástico o análisis "Push Over".

Como se puede apreciar en la ley de comportamiento del sistema de estructuración a base de panel simple (figura 6-37), el sistema de estructuración tiene un comportamiento dentro del rango elástico aproximadamente hasta un incremento de la carga lateral de 1.85 toneladas aplicadas en el plano del sistema de estructuración en interacción con las cargas de servicio (carga muerta + carga viva). La construcción de la ley de comportamiento del sistema a base panel simple proporciona una buena aproximación en relación a la capacidad o sobre resistencia del sistema de estructuración, ya que se necesita en promedio la plastificación de 11 elementos que integran el sistema para que se presente un mecanismo de colapso; además es importante resaltar que muchos de los elementos que integran el sistema de estructuración no están catalogados por la (AISC, 2005) como elementos estructurales debido a las dimensiones y espesores

de pared considerablemente reducidos que integran la sección transversal de dichos elementos.

Es importante reconocer que este tipo de análisis ofrece aproximaciones buenas en relación al comportamiento de los diferentes sistemas de estructuración ante la falla o colapso, ya que permiten tener un panorama de las cargas y desplazamientos asociados a la sobre resistencia del sistema estructural lo cual marca las pautas necesarias para la realización de las pruebas experimentales de carga a escala 1:1 que se realizaron en el presente proyecto de investigación.

6.2.5 Pruebas Experimentales a Escala Real.

En esta etapa del proyecto de investigación se cuentan con resultados analíticos que debido a las propiedades geométricas de los perfiles que integran la propuesta de estructuración a base de panel simple deben de ser corroborados y calibrados de manera analítica; adicional a los resultados analíticos se cuenta con un análisis a capacidad ultima del sistema de estructuración que conjuntamente con resultados obtenidos de manera experimental a escala real permitan el poder determinar la viabilidad desde el punto de vista estructural del sistema de estructuración propuesto.

A continuación en la figuras 6-38 a 6-41 se muestra el procedimiento con el cual se recreo de manera física las condiciones de frontera, las condiciones de carga y las restricciones que se tienen en el sistema estructural para la correcta implementación de las pruebas de carga que simulen las condiciones previamente establecidas en los modelos analíticos del sistema a base de panel simple.



Figura 6-38 Fijación de estructura auxiliar (apoyo articulado) en losa de reacción para pruebas experimentales a escala real.



Figura 6-39 Colocación de sistema de arriostamiento lateral a base de cables de acero para recrear condiciones de apoyo de sistema de panel (articulado-articulado).



Figura 6-40 Aplicación de carga gravitacional (carga muerta + carga viva) mediante perfiles estructurales de peso equivalente a cargas de servicio.



Figura 6-41 Nivelación de cargas gravitacionales en sistema de estructuración a base de panel simple.

6.2.6 Resultados Prueba Experimental 1 Panel Simple.

Una vez recreado las condiciones de frontera y de cargas establecidas en la modelación analítica, se procede a la realización de la pruebas de carga del espécimen 1 de prueba del sistema a base de panel simple; al igual que en el análisis a capacidad ultimo se tomaron los desplazamiento y cargas establecidos en los diferentes incrementos de carga y se procede a la construcción de la ley de comportamiento del sistema ante la falla; A continuación se muestra en la tabla 6-21 y las figuras 6-41 a 6-44 respectivamente.

Tabla 6- 21 Resultados prueba experimental 1 desplazamiento vs carga.

Δx (cm)	P (ton)
0	0
0.016	0.0631342
0.309	1.859179
0.589	1.917606
1.079	2.47267
1.739	2.531098

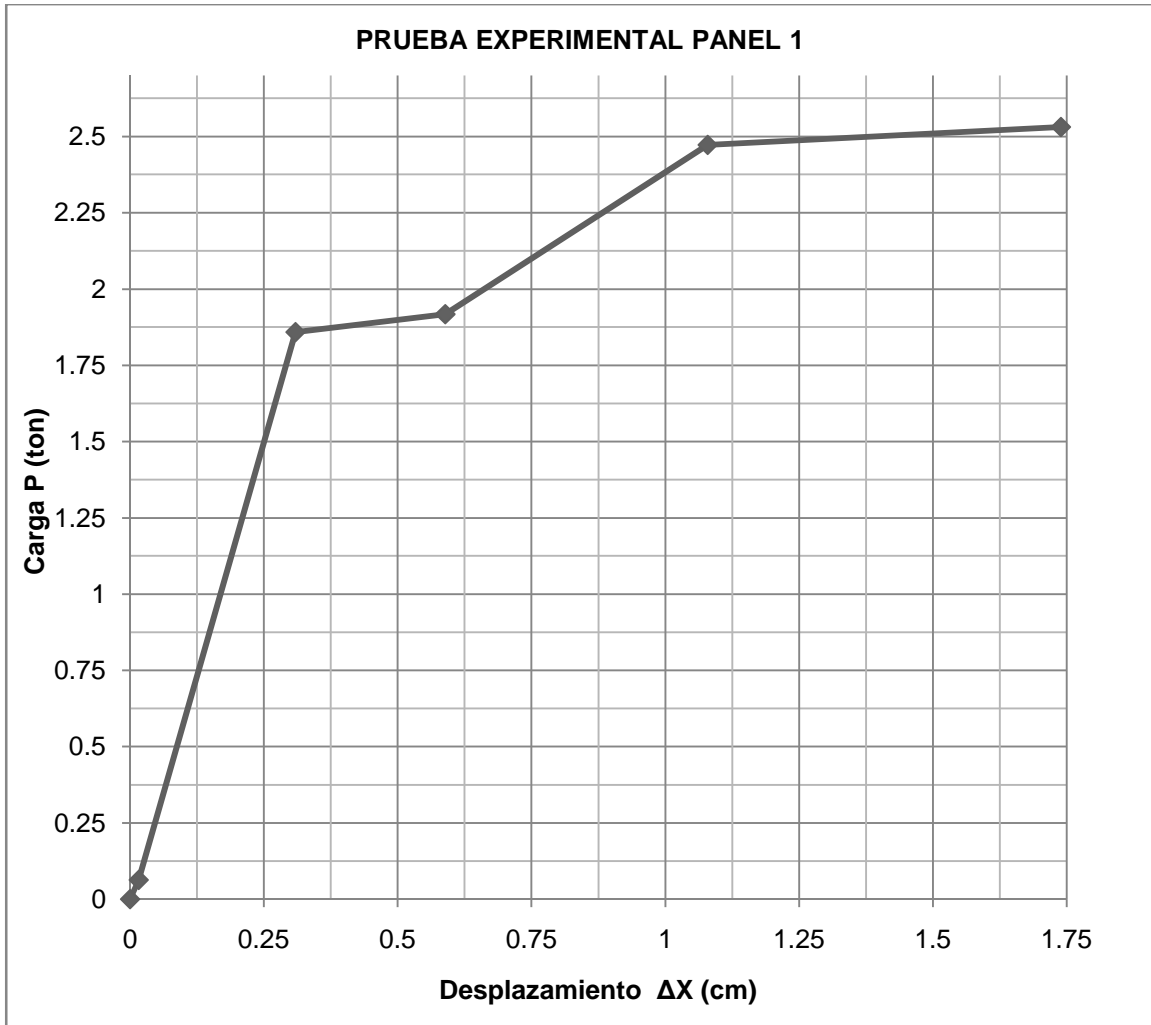


Figura 6-42 Ley de comportamiento real de sistema de estructuración a base de panel simple como resultado de prueba experimental 1.

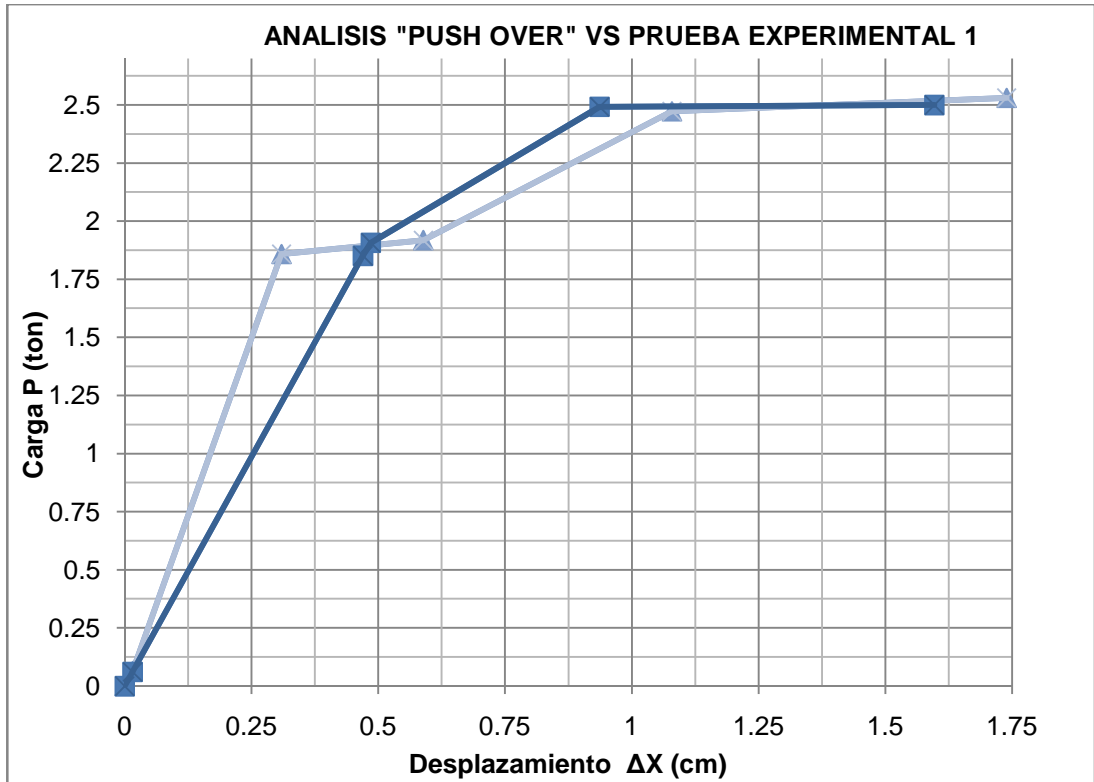


Figura 6-43 Comparativa ley de comportamiento producto de análisis a capacidad ultima "Push Over" vs ley de comportamiento real como resultado de prueba experimental 1.



Figura 6-44 Sistema de estructuración a base de panel simple llevado a la falla.



Figura 6-45 Falla debido a la flexo-compresión del sistema fuera de su plano.



Figura 6-46 Sistema de panel simple cargado completamente con una carga lateral de 2.70 ton en promedio.



Figura 6-47 Deformación plástica fuera del plano (residual) de 1 pulgada en promedio como resultado de la descarga total del sistema estructural.

6.2.7 Resultados Prueba Experimental 2 Panel Simple.

Una vez realizadas la prueba experimental correspondiente al espécimen de prueba 1, se cuenta con la ley de comportamiento real del sistema ante la falla o colapso en su plano, esta ley de comportamiento real nos permite corroborar las suposiciones iniciales en las cuales está basado el presente proyecto de investigación ya que se pudo corroborar de manera tangible que el sistema de estructuración es rígido en su plano y la ley de comportamiento ante la falla obtenida de manera analítica es muy parecida a la obtenida de manera experimental. Un punto de relevancia dentro de la prueba experimental fue el hecho de que los elementos que integran el sistema estructural transmitieron de manera adecuada las acciones conforme se fue incrementando la carga lateral y que en conjunto los elementos que integran el espécimen estructural trabajan como un sistema vertical tipo muro y no como elementos aislados propiamente, ya que la falla obtenida fue fuera del plano del sistema completo.

Tomando como base los resultados obtenidos en la prueba experimental 1 del sistema de estructuración a base de panel simple, se procede a calcular en primera instancia las propiedades geométricas del sistema en relación al eje débil, ya que la falla que se produjo fue fuera del plano y mediante el uso de las expresiones del criterio de diseño LRFD-2005 se desea conocer la capacidad de diseño a compresión del sistema de muro a base de panel simple.

A continuación se presentan en las figuras 6-48 a 6-49 esquemas representativos necesarios para el cálculo de las propiedades geométricas del sistema de estructuración a base de panel simple así como el cálculo de la capacidad a compresión del sistema.

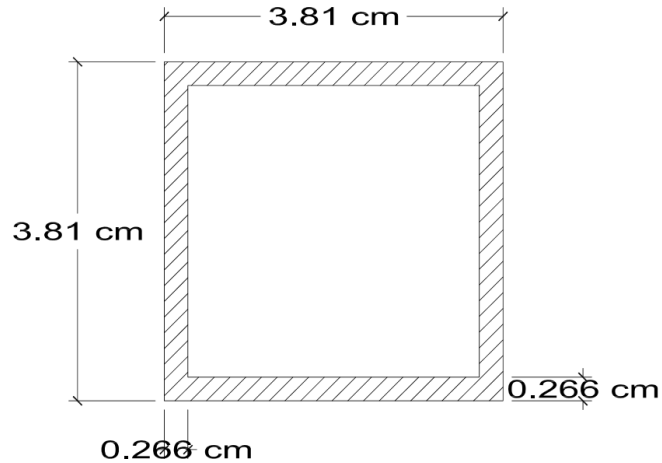


Figura 6-48 Sección transversal de elementos verticales de sistema de panel simple (PTR 1.5" x 1.5" cal 12).

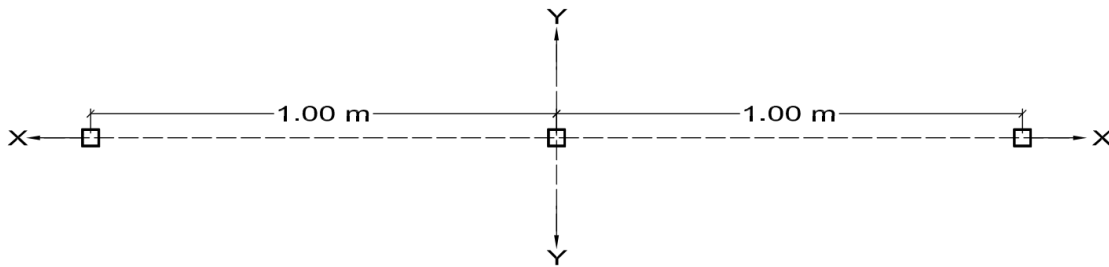


Figura 6-49 Vista de planta de sistema de panel simple.

6.2.7.1 Calculo de Momento de Inercia Con Respecto al Eje débil del Sistema de Estructuración a base de Panel Simple.

Poniendo en práctica los conceptos básicos de la mecánica de materiales, se procede al cálculo del momento de inercia con respecto al eje débil del sistema de estructuración a base de panel simple, mediante la aplicación del teorema de los ejes paralelos; los cálculos aplicados se pueden apreciar en la tabla 6-22.

Tabla 6- 22 Calculo de momento de Inercia con respecto al eje débil mediante la aplicación del teorema de los ejes paralelos.

Elemento	b	h	A	Y	Y ²	(A*Y ²)	I _b
	cm	cm	cm ²	cm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴
1	3.278	0.266	0.871948	1.772	3.139984	2.73790277	0.78077741
2	3.278	0.266	0.871948	1.772	3.139984	2.73790277	0.78077741
3	3.278	0.266	0.871948	1.772	3.139984	2.73790277	0.78077741
4	3.278	0.266	0.871948	-1.772	3.139984	2.73790277	0.78077741
5	3.278	0.266	0.871948	-1.772	3.139984	2.73790277	0.78077741
6	3.278	0.266	0.871948	-1.772	3.139984	2.73790277	0.78077741
7	0.266	1.905	0.50673	0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
8	0.266	1.905	0.50673	-0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
9	0.266	1.905	0.50673	0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
10	0.266	1.905	0.50673	-0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
11	0.266	1.905	0.50673	0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
12	0.266	1.905	0.50673	-0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
13	0.266	1.905	0.50673	0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
14	0.266	1.905	0.50673	-0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
15	0.266	1.905	0.50673	0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
16	0.266	1.905	0.50673	-0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
17	0.266	1.905	0.50673	0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
18	0.266	1.905	0.50673	-0.9525	0.90725625	0.45973396	0.00298785
			11.312448			21.9442	4.7205

b= base de sección transversal., h = Altura de la sección transversal, A= área de la sección transversal, Y= brazo de palanca de la sección transversal con respecto a su Centroide, AY²= Producto de Área por brazo de palanca al cuadrado y I_b = Momento de inercia bruto de la sección transversal.

$I_{xc} = \Sigma (A*Y^2) + \Sigma I_B$Teorema de los Ejes Paralelos.

$I_{xc} = 21.9442 \text{ cm}^4 + 4.7205 \text{ cm}^4 = 26.6647 \text{ cm}^4$

6.2.7.2 *Calculo de Capacidad a Compresión del Sistema de estructuración a Base de Panel Simple.*

Una vez calculado el momento de inercia de la sección con respecto a su eje débil, se procede a calcular en la tabla 6-23 la relación de esbeltez de la sección transversal a base de panel simple.

Tabla 6- 23 Calculo de relación de Esbeltez de la sección transversal a base de panel simple.

I_x	26.6647 cm ⁴	Inercia de la sección armada alrededor del eje x
I_x	0.6406 in ⁴	
A_g	11.3124 cm ²	Área bruta de la sección transversal
A_g	1.75342551 in ²	
r_x	0.60443528 in	Radio de giro al rededor del eje débil
L	3.6 m	Longitud sin arriostrar del elemento a compresión
L	141.73 in	
k	1	factor de longitud efectiva
KL/r	234.48	relación de esbeltez

Haciendo uso de las Ecuación E-3-3 de la (AISC, 2005) para el cálculo de la capacidad de elementos a compresión para miembros sin elementos esbeltos. Se procede a hacer el cálculo de la capacidad de diseño a compresión del sistema a base de panel simple como una columna compuesta, las figuras 6-50 y 6-51 muestran las relación máximas de ancho espesor para considerar si una sección transversal no cuentan con elementos esbeltos.

Caso	Descripción del elemento	Razón ancho-espesor	Relación límite ancho-espesor λ_r (no esbelto/esbelto)	Ejemplos
Elementos no rigidizados	1	b/t	$0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	b/t	$0.64\sqrt{\frac{k_c E'}{F_y}}$	
	3	b/t	$0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	d/t	$0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

(Continúa)

Figura 6-50 Tabla de relación de límite ancho espesor de perfiles no esbeltos AISC 2005.

(McCormac & Csernak, 2013)

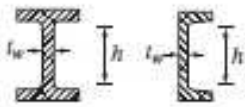
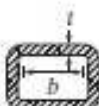
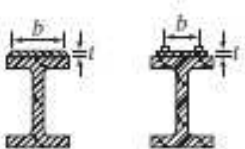
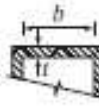
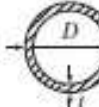
Caso	Descripción del elemento	Razón ancho-espesor	Relación límite ancho-espesor λ_r (no esbelto/esbelto)	Ejemplos	
Elementos rigidizados	5	Almas de perfiles I y canales doblemente simétricos	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Paredes de HSS rectangulares y cajones de espesor uniforme	b/t	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Cubreplacas de patines y placas de diafragmas entre líneas de conectores o soldaduras	b/t	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Todos los otros elementos rigidizados	b/t	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	HSS redondo	D/t	$0.11\frac{E}{F_y}$	

Figura 6-55 Continuación de tabla de relación límite ancho espesor de perfiles no esbeltos AISC 2005.

(McCormac & Csernak, 2013)

Datos :

$$I_x = 0.6406 \text{ in}^4$$

$$A_g = 1.7534 \text{ in}^2$$

$$r_y = \sqrt{\frac{0.6406}{1.7534}} = 0.6044 \text{ in}$$

$$\frac{kl}{r_y} = \frac{1 * 141.73}{0.6044} = 234.49$$

Relacion Maxima Ancho-Espesor

$$\lambda_r = 1.49 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 * \sqrt{\frac{29000}{46}} = 37.41$$

Calculo de Relacion Ancho-Espesor

$$\frac{b}{t} = \frac{(1.5 - (2 * 0.1047))}{0.1047} = 12.32 < 37.41 \text{ cumple (no se tienen elementos esbeltos)}$$

∴

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{kl}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 29000}{234.49^2}$$

$$F_e = 5.2053 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = 0.877 * 5.2053$$

$$F_{cr} = 4.5650 \text{ ksi}$$

$$\phi P_{nc} = \phi * A_g * F_{cr}$$

$$\phi P_{nc} = 0.9 * 1.7534 * 4.5650$$

$$\phi P_{nc} = 7.2038 \text{ klb} \rightarrow 3.27 \text{ ton}$$

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando como referencia los resultados obtenidos hasta el momento provisto enteramente por la modelación analítica de los sistemas de estructuración propuesto se puede concluir lo siguiente:

- Los sistemas de estructuración propuestos a base de panel simple y panel doble cumplen con los requisitos de diseño AISC-05LLFRD y ANSI-01 LRFD con referencia a los estados limite de resistencia servicio con lo cual se ofrece un sistema de estructuración viable desde el punto del diseño estructural exclusivo para espacios habitables ligeros del tipo casa de interés social satisfaciendo las necesidades del espacio para una estructura en la ciudad de Querétaro, Querétaro
- El sistema de estructuración a base de panel simple cumple con los índices de relación peso/estructura empleados en la práctica profesional siendo indicativos del aligeramiento estructural.
- El sistema de estructuración a base de panel doble no cumple con los índices de relación peso/estructura empleados en la práctica profesional debido al gran número de elementos que integran la propuesta de estructuración y sumado al hecho de que el proceso de fabricación y montaje tendería a ser exhaustivo como resultado del gran número de elementos que integran la propuesta de estructuración.
- La propuesta de estructuración a base de panel simple fomenta procedimientos constructivos totalmente industrializados ya que el proceso de fabricación del sistema estructural debe de realizarse en ambientes controlados como lo son los talleres de fabricación de estructura metálica, con lo cual se aseguran índices de calidad mayores en comparación a los sistemas convencionales construidos in situ.

Dentro de las recomendaciones que se hacen con base a los resultados obtenidos por este proyecto de investigación tenemos:

- La construcción de los modelos analíticos representativos del sistema de estructuración antes mencionado deberá de llevarse a cabo mediante el uso de herramientas y software propias del análisis y diseño de estructuras civiles que permitan realizar análisis de primer y segundo orden necesarios para la correcta obtención de deformaciones, desplazamientos y esfuerzos acordes a las demandas externas a las que estarán sujetas las propuestas de estructuración con el fin de reducir los índices de incertidumbre con relación a los resultados obtenidos conforme al ejercicio profesional del diseño estructural.
- La construcción y fabricación de los sistemas de estructuración deberá de llevarse a cabo tomando como base lo establecidos en primera instancia por planos estructurales a detalle que permita la elaboración de planos de taller a escala real que contemple las correspondientes holguras entre los diferentes elementos que integran la propuesta de estructuración y sus elementos de fijación y/o conexión.
- Se recomienda garantizar la calidad de los materiales a utilizar en los sistemas de estructuración propuestos, garantizando las propiedades mecánicas conforme a las especificaciones A500 Gr. B para secciones cuadradas y rectangulares, A36 para secciones tipo ángulos y placas de conexión así como garantizar la correcta aplicación de soldadura que cumpla con las especificaciones de la AWS (American Welding Society) referente a la correcta aplicación y resistencia de la misma.
- Se recomienda garantizar las propiedades mecánicas de los elementos de fijación in situ (tornillos) para garantizar el correcto montaje del sistema estructural, los cuales deben de cumplir con las especificaciones AISC A36, AISC 307 o Tornillos Gr 2 para tornillos que no son de alta resistencia.

8. REFERENCIAS

- 2012 Bentley Systems, I. (2012). *RAM Elements V8 i*.
- AISC. (2005). AISC 13th EDITION.
- Annan, C. D., Youssef, M. A., & El Nagggar, M. H. (2009). Experimental evaluation of the seismic performance of modular steel-braced frames. *Elsevier*, 12.
- Aparicio Torres, L. E. (2007). *Prototipo de Casa Habitación Hecha de Perfiles Ligeros*. Universidad Autonoma De Queretaro.
- ASCE, S. (2005). *Minimum Desing Loads for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia 20191.
- Beltrán, J. F., & Herrera M, R. (2008). *Las nuevas disposiciones sísmicas para edificios de acero estructural de la AISC*.
- Casañas, V. (2011). *La Energia Como Indicador del Impacto Ambiental en los Sistemas Constructivos, Conformados a Partir de Materiales de Produccion Nacional*. Universidad Federal de Rio Grande del Sur-Universidad de la Republican.
- CFE. (2008a). *Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño Por Sismo*. Mexico, D.F.
- CFE. (2008b). *Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Viento*. Mexico, D.F.
- Egorova, N., Eatherton, M. R., & Abhilasha, M. (2014). Experimental study of ring-shaped steel plate shear walls. *Elsevier*, 11.
- Engel, H. (2006). Sistemas de estructuras, 1–57. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Sistemas+de+estructuras#4>
- Hernandez, O., & Mendoza, C. J. (2005). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico, 14.
- Hong, S.-G., Cho, B.-H., Chung, K.-S., & Moon, J. (2011). Behavior of Framed modular building system with double skin steel panels. *Journal Of Construction Steel Research*, 11. Retrieved from http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1043/972
- Hongbo, L., Qihong, Z., Xiaodun, W., Ting, Z., Dong, W., Jie, L., & Zhihua, C. (2009). Experimental and analytical studies on the stability of structural steel tube and coupler scaffolds without X-bracing. *Elsevier*, 13.
- IBC. (2012). International Building Code. USA.
- Martinez-Romero, E. (1993). *Diseño y Construcción de Estructuras de Acero*. Mexico D.F.
- McCormac, J. C. (2010). *Analisis de Estructuras Metodo Clasico y Matricial*. (Alfaomega, Ed.) (4th ed.).
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2013). *Diseño de Estructuras de Acero*. (A. G. Editor, Ed.) (5th ed.). Mexico D.F.
- Novas-Cabrerias, J. A. (2010). *Sistemas Constructivos Prefabricados Aplicables a la Construcción de Edificaciones en Países en Desarrollo*. Universidad Politécnica de Madrid.
- NTC. (2004). Las Normas Técnicas Complementarias Del Reglamento De Construcciones Para El Distrito Federal. *Gaceta Oficial Del Distrito Federal*.
- Soto Rodriguez, H. (2014). *Manual De Criterios Generales para la Estructuración de Edificios De Acero*. Morelia.

- Wadel Raina, G. (2010, January 22). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/6136>
- Zamani, S. M., Vafaei, A., Desai, C., & Rasouli, M. (2012). Experimental investigation of behavior of steel frames with y-Shaped concentric Bracing. *Journal of Constructional Steel Research*, 70, 12–27.
- Zamani, S. M., Vafai, A., Aghakouchak, A. ., & Kazemi, M. T. (2011). Experimental investigation of steel frames with single bays of symmetrical y-shaped concentric bracings. *Sharif University of Technology Scientia Iranica*, 16.

9. APÉNDICE

CALCULO DE PRESIÓN DE VIENTO EN BASE AL REGLAMENTO CFE-2008 DISEÑO POR VIENTO.

- Calculo de Velocidad Básica de Diseño.

$$V_D = F_T * F_{RZ} * V_R \dots \dots \dots \text{expresión (4.2.1) (CFE, 2008b)}$$

Donde:

F_T = Factor que depende de la topografía local (adimensional).

F_{RZ} = Factor de exposición local (adimensional).

V_R = Velocidad regional (km/hr).

$$V_D = 1.0 * 0.881 * 129 = 113.65 \text{ km/hr}$$

(CFE, 2008b)

- Calculo de Presión Básica de Diseño.

$$q_z = 0.0048 * G * V_D^2 \dots \dots \dots \text{expresión (4.2.9) (CFE, 2008b)}$$

$$G = \frac{0.392 * \Omega}{273 + \tau} \dots \dots \dots \text{expresión (4.2.10) (CFE, 2008b)}$$

Donde:

Ω = Presión barométrica en mm de Hg

τ = Temperatura ambiental en °C

$$G = \frac{0.392 * 613.09}{273 + 18.8} = 0.823616$$

Nota: el valor calculado de $\Omega=613.09$ se obtuvo por medio de interpolación lineal en base a la tabla 4.2.5 (CFE, 2008b).

$$q_z = 0.0048 * 0.823616 * (113.65)^2$$

$$q_z = 51.0626 \text{ kg/m}^2$$

(CFE, 2008b)

El cálculo de las presiones actuantes sobre los sistemas de estructuración a analizar se llevaran a cabo con base al inciso 4.3 de (CFE, 2008b) "Análisis Estático" aplicado a construcciones cerradas, por medio del cual se estimaron las presiones de barlovento y sotavento en zonas de cubierta y muros, así como el cálculo de las presiones en muros laterales.

- Calculo de Presiones Exteriores.

$$P_e = C_{pe} * K_A * K_L * q_z \dots\dots\dots \text{expresión (4.3.2) del (CFE, 2008b)}$$

A continuación se presentan los cálculos de presiones exteriores en las diferentes zonas de interés correspondientes al proyecto de investigación:

$$\text{Muro Barlovento} = 0.80 * 1.00 * 1.25 * 51.06 = 51.06 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Muro Sotavento} = -0.30 * 1.00 * 1.00 * 51.06 = -15.32 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Muro Lateral 1} = -0.65 * 1.00 * 1.50 * 51.06 = -49.78 \text{ kg/m}^2 \rightarrow (0h \text{ a } 1h)$$

$$\text{Muro Lateral 2} = -0.50 * 1.00 * 1.50 * 51.06 = -38.30 \text{ kg/m}^2 \rightarrow (1h \text{ a } 2h)$$

$$\text{Muro Lateral 3} = -0.30 * 1.00 * 1.50 * 51.06 = -22.98 \text{ kg/m}^2 \rightarrow (2h \text{ a } 3h)$$

$$\text{Cubierta en Barlovento} = -0.5716 * 1.00 * 1.50 * 51.06 = -43.78 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Cubierta en Sotavento} = -0.90 * 1.00 * 1.50 * 51.06 = -68.93 \text{ kg/m}^2$$

(CFE, 2008b)

- Calculo de Presiones Interiores:

$P_i = C_{pi} \cdot q_z$expresión (4.3.3) del (CFE, 2008b)

$$P_i = -0.30 \cdot 51.06 = -15.32 \text{ kg/m}^2$$

(CFE, 2008b)

- Calculo de presión de diseño a una altura dada:

$P_z = (P_e - P_i)$expresión (4.3.1a) del (CFE, 2008b)

A continuación se presentan las presiones de diseño para las diferentes zonas de interés que abarcan el proyecto de investigación:

$$\text{Muro Barlovento} = 51.06 \text{ kg/m}^2 - (-15.32 \text{ kg/m}^2) = 66.38 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Muro Sotavento} = -15.32 \text{ kg/m}^2 - (-15.32 \text{ kg/m}^2) = 0.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Muro Lateral 1} = -49.78 \text{ kg/m}^2 - (-15.32 \text{ kg/m}^2) = -34.46 \text{ kg/m}^2 \rightarrow (0h \text{ a } 1h)$$

$$\text{Muro Lateral 2} = -38.30 \text{ kg/m}^2 - (-15.32 \text{ kg/m}^2) = -22.98 \text{ kg/m}^2 \rightarrow (1h \text{ a } 2h)$$

$$\text{Muro Lateral 3} = -22.98 \text{ kg/m}^2 - (-15.32 \text{ kg/m}^2) = -7.66 \text{ kg/m}^2 \rightarrow (2h \text{ a } 3h)$$

$$\text{Cubierta en Barlovento} = -43.78 \text{ kg/m}^2 - (-15.32 \text{ kg/m}^2) = -28.46 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Cubierta en Sotavento} = -68.93 \text{ kg/m}^2 - (-15.32 \text{ kg/m}^2) = -53.61 \text{ kg/m}^2$$

(CFE, 2008b)

CALCULO DE CORTANTE POR SISMO EN BASE AL REGLAMENTO CFE-2008 DISEÑO POR SISMO.

- Construcción de Espectro de Aceleración.

De manera análoga, el cálculo de la fuerza cortante producto del sismo se realizo en base al Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo (CFE, 2008a); el análisis por sismos de los dos sistemas de estructuración propuestos será por medio de un análisis dinámico de la estructura, aplicando el método de superposición modal o análisis modal espectral. A continuación se presentan los datos necesarios para la correcta construcción del espectro para la ciudad de Querétaro, Querétaro.

Datos:

- Locación: Querétaro, Querétaro, México.
- Clasificación de la estructura según su destino: B inciso 3.2.2. Tabla 2.1. del (CFE, 2008a).
- Clasificación de la construcción según su estructuración: Tipo 1 inciso 3.2.3, Tabla 2.2. del (CFE, 2008a)

Con base a los datos antes enlistado se procese a la construcción del espectro de aceleración para la ciudad de Querétaro para una estructura Tipo B.

$$a_0 = 0.071g$$

$$c = 0.177 g$$

$$T_a = 0.1 s$$

$$T_b = 0.6 s$$

$$\zeta_e = 5 \%$$

$$k = 1.5$$

$$\beta = 1$$

Donde:

a_0 = Aceleración máxima del terreno.

c = Aceleración máxima espectral o coeficiente sísmico.

T_a = Limite inferior de la meseta del espectro de diseño.

T_b = Limite superior de la meseta del espectro de diseño.

ζ_e = Amortiguamiento estructural.

k = Parámetro que controla la caída de la ordenada espectral para $T_e \geq T_b$

T_e = Periodo estructural.

β = Factor de amortiguamiento.

(CFE, 2008a)

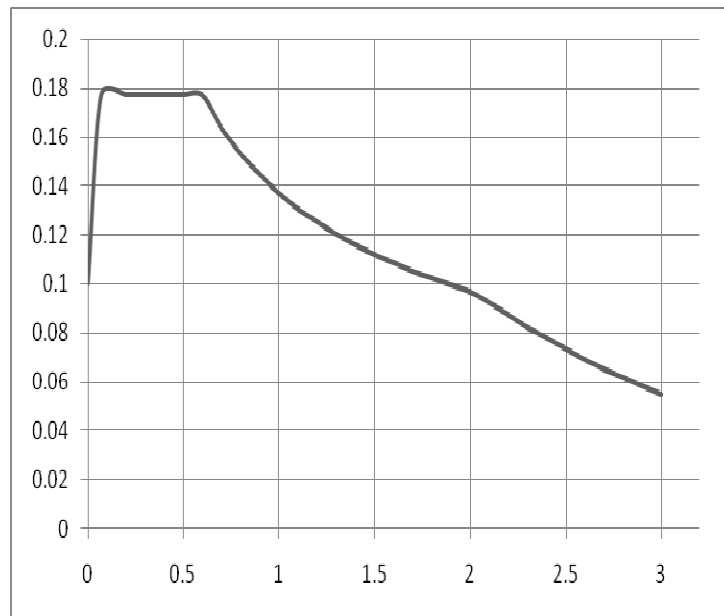


Figura 9-1 Grafica de espectro de aceleración para la ciudad de Querétaro, Querétaro, estructura tipo B.

(CFE, 2008a)

Tabla 9- 1 Tiempo-Aceleración, espectro de diseño para la ciudad de Querétaro, Querétaro, estructura tipo B.

T (seg)	Sa (1/g)
0	0.1
0.0708	0.1771
0.2	0.1771
0.3	0.1771
0.4	0.1771
0.5	0.1771
0.6	0.1771
0.7	0.164
0.8	0.1534
0.9	0.1446
1	0.1372
1.1	0.1308
1.2	0.1252
1.3	0.1203
1.4	0.116
1.5	0.112
1.6	0.1085
1.7	0.1052
1.8	0.1023
1.9	0.0995
2	0.097
2.1	0.0921
2.2	0.0871
2.3	0.0823
2.4	0.0777
2.5	0.0733
2.6	0.0691
2.7	0.0652
2.8	0.0616
2.9	0.0582
3	0.0551

T = Tiempo expresado en segundos, Sa = Aceleración para el diseño sísmico expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad (1/g).

(CFE, 2008a)

- Expresión para el Cálculo del Cortante Basal.

Una vez construido debidamente el espectro de diseño se procede a calcular el cortante basal con la siguiente expresión:

$$\frac{V}{W} = \frac{c \cdot \beta}{Q' \cdot R \cdot \rho} \dots \dots \dots \text{expresión (3.8) del (CFE, 2008a)}$$

Donde:

V = Fuerza cortante basal.

W = Peso de la construcción, incluyendo cargas muerta y cargas vivas.

c = Aceleración máxima espectral o coeficiente sísmico.

β = Factor de amortiguamiento.

R = Factor de sobre resistencia. (inciso 3.3.1.3)

ρ = Factor por redundancia de la estructuración empleada. (inciso 3.3.1.4)

Q = Factor de Ductilidad estructural para estructuras regulares.

Q' = Factor de ductilidad estructural corregido para estructuras irregulares.

Despejando de la expresión (3.8) del (CFE, 2008a) y despreciando la sobre resistencia del sistema estructural R=1.0 y teniendo un factor de redundancia $\rho=1.0$; el cálculo del la fuerza cortante basal quedaría de la siguiente manera:

$$V = \frac{c \cdot W}{Q}$$

De la expresión antes expuesta se conocen los valores de la aceleración máxima $c=0.1771g$ derivada del espectro de aceleración de una estructura Tipo B para la ciudad de Querétaro, Querétaro y el factor de ductilidad estructural $Q= 2.0$

determinado en el inciso 3.3.1.1 del (CFE, 2008a); se procede a calcular la masa o el peso de la estructura para poder conocer el cortante producido por el sismo.

- Estimación de Masa o Peso de la Estructura.

Para el cálculo de la masa de la estructura se hicieron dos cálculos ya que se cuentan con dos propuestas de misma geometría pero con diferencias significativas en su sistema de estructuración, a continuación se presenta el cálculo de la masa de las propuestas a base de panel simple y panel doble.

- Datos Para el Cálculo de la Masa de Propuestas a Base de Panel Simple y Doble.

Superficie de construcción con pendiente $\leq 5\% = 18.59\text{m}^2$

Superficie de construcción con pendiente $\geq 5\% = 28.56\text{m}^2$

Superficie Total = 47.17m^2

Carga muerta por $\text{m}^2 = 45\text{kg}/\text{m}^2$

Carga Viva Instantánea para pendiente $\leq 5\% = 40\text{kg}/\text{m}^2$

Carga Viva Instantánea para pendiente $\geq 5\% = 20\text{kg}/\text{m}^2$

Sistema de Muros = $45\text{kg}/\text{m}^2$

Longitud de Muros = 37.1939m

Altura Promedio de Muros = 3.34m

Para el cálculo de la masa de las propuestas de estructuración se consideraron los siguientes pesos representativos de la masa:

- 1).-Carga muerta por unidad de superficie
- 2).-Carga viva instantánea por unidad de superficie.
- 3).-Peso total de elementos estructurales que integran el sistema de entrepiso o cubierta.
- 3).-La Mitad del peso de las columnas de pisos contiguos ya que se considera que el punto de inflexión teórico aproximado de momento igual a 0 se encuentra en el centro de las columnas.
- 4).-Mitad del peso del sistemas de muro (caso análogo al sistema de columnas).
- 5).-Peso total de equipos o aditamentos especiales como lo son tanques de almacenamiento de agua, algún tipo de apéndice, etc.

- Estimación de Masa:

Tabla 9- 2 Cálculo de masa del sistema a base de panel simple.

Masa	Ton
Carga muerta	2.12175
Carga viva Instantánea 1	1.3013
Carga viva Instantánea 2	0.5712
Materiales que integran el sistema de techo o piso	0.337
Masa de la mitad del peso de las columnas	0.1595
Sistema de muros	11.18056
Total	15.6713

Tabla 9- 3 Cálculo de masa del sistema a base de panel doble.

Masa	Ton
Carga muerta	2.12175
Carga viva Instantánea 1	1.3013
Carga viva Instantánea 2	0.5712
Materiales que integran el sistema de techo o piso	0.491
Masa de la mitad del peso de las columnas	0.2965
Sistema de muros	11.1805
Total	15.968

5.1.6.3 Calculo de la Fuerza Cortante Basal Estática.

Recabando los datos obtenidos en los incisos anteriores, se procede a calcular el cortante basal o fuerza cortante producto del sismo, aplicando la expresión (3.8) del (CFE, 2008a).

Cortante Basal Propuesta Panel Simple:

$$\frac{V}{W} = \frac{c*\beta}{Q'*R*\rho} \rightarrow V = \frac{c*\beta*W}{Q'*R*\rho} \dots\dots\dots\text{expresión (3.8) del (CFE, 2008a)}$$

$$V = \frac{0.1771*1*15.6713}{2*1*1}$$

V= 1.3877 ton (fuerza cortante producto del sismo aplicado)

Cortante Basal Propuesta Panel Doble:

$$\frac{V}{W} = \frac{c*\beta}{Q'*R*\rho} \rightarrow V = \frac{c*\beta*W}{Q'*R*\rho} \dots\dots\dots\text{expresión (3.8) del (CFE, 2008a)}$$

$$V = \frac{0.1771*1*15.968}{2*1*1}$$

V= 1.4140 ton (fuerza cortante producto del sismo aplicado)

5.1.6.4 Reducción de la Fuerza Cortante Producto del Análisis Dinámico.

Citando el inciso 3.3.6.3 del (CFE, 2008a)

"Si con el método de análisis dinámico que se haya aplicado se encuentra que, en la dirección que se considera, la relación V/W es menor que $0.8a(\beta)/Q'R_p$ ó $0.8a(\beta)A_{cd}/Q'R_p$ para estructuras con comportamiento histerético degradante ubicados en suelos blandos, según sea el caso, se incrementaran todas las fuerzas de diseño y los desplazamientos lateral correspondientes en una proporción tal que V/W iguale ese valor.

Esta condición implica que la fuerza cortante basal de diseño no puede ser menor que el 80% de la que suministraría un análisis estático tomando en cuenta el periodo fundamental de la estructura. Sin embargo, en ningún caso el cortante será menor que a_0W_{tot} , donde a_0 es la aceleración máxima del terreno normalizada con la aceleración de la gravedad, (ecuación 1.13 de la sección 3.1) y W_{tot} es el peso total de la construcción."

De tal manera haciendo una breve interpretación del inciso 3.3.6.3 del reglamento (CFE, 2008a) donde se permite una reducción del 80% del cortante basal producto de la implementación de un análisis dinámico siempre y cuando la fuerza cortante no sea menor que el producto de la aceleración máxima del terreno normalizada con la aceleración de la gravedad y el peso total de la construcción. A continuación se presenta el cálculo de la reducción del cortante basal como resultado de la implementación de una análisis dinámico:

Reducción del Cortante Basal Propuesta Panel Simple:

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * (V_{\text{estático}})$$

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * 1.3877 \text{ ton}$$

$$\mathbf{V_{\text{basal}} = 1.11016 \text{ ton}}$$

Reducción del Cortante Basal Propuesta Panel Doble:

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * (V_{\text{estático}})$$

$$V_{\text{basal}} = 0.80 * 1.4140 \text{ ton}$$

$$\mathbf{V_{\text{basal}} = 1.1312 \text{ ton}}$$

Tabla 9- 4 Abreviatura de algunas revistas científicas

Acta Agric. Scand.	Can. J. Anim. Sci.	Lipids
Acta Endocrinol.	Can. J. Res. Sect. D Zool. Sci	Livest. Prod. Sci.
Adv. Appl. Microbiol.	Cell	Meat Sci.
Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.	Cereal Chem	Metabolism
Adv. Genet.	Clin. Toxicol.	Methods Enzymol
Adv. Lipid Res.	Comp. Biochem. Physiol.	Mol. Cell Endocrinol.
Adv. Protein Chem.	Domest. Anim. Endocrinol.	N. Engl. J. Med.
Agric. Eng.	Endocrinology	N.Z. J. Agric. Res.
Agron. J.	Eur. Assoc. Anim. Prod. Publ.	Nature (Lond)
Am. J. Anat.	Fed. Proc.	Nature (Paris)
Am. J. Clin. Nutr.	Feedstuffs.	Neth. J. Agric. Res.
Am. J. Clin. Pathol.	Fertil. Steril.	Neuroendocrinology
Am. J. Hum. Genet.	Feed Res.	Nutr. Abstr. Rev.
Am. J. Obstet. Gynecol.	Food Technol.	Nutr. Metab.
Am. J. Pathol.	Gastroenterology	Nutr. Rep. Int.
Am. J. Physiol	Genetics	Nutr. Res.
Am. J. Vet. Res.	Growth	Obstet. Gynecol.
Anal. Biochem.	Gut	Pharmacol. Rev.
Anal. Chem.	Horm. Behav.	Physiol. Rev.
Anim. Behav.	Immunology	Pig News Info
Anim. Breed. Abstr.	Infect. Immun.	Poult. Sci
Anim. Feed Sci. Technol.	Ir. J. Agric. Res.	Proc. N.Z. Grassl. Assoc.
Anim. Prod.	J. Agric. Food Chem.	Proc. Nutr. Soc.
Ann. Hum. Genet.	J. Agric. Sci	Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.
Annu. Rev. Biochem.	J. Am. Oil Chem. Soc.	Proc. Soc. Exp. Biol. Med.
Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol	J. Am. Vet. Med. Assoc.	Q.J. Exp. Physiol.
Annu. Rev. Physiol.	J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.	Recent Prog. Horm. Res.
Antibiot. Chemother. (Basel)	J. Anim. Sci.	Residue Rev.
Antibiot. Chemother. (Washington, DC)	J. Assoc. Off. Anal. Chem.	S. Afr. J. Anim. Sci.
Appl. Environ. Microbiol.	J. Br. Grassl. Soc.	Sci. Agric.
Appl. Microbiol.	J. Clin. Endocrinol & Metab.	Science (Washington, DC)
Arch. Biochem. Biophys.	J. Dairy Sci.	Steroids
Aust. J. Agric. Res.	J. Food Compos. Anal.	Theor. Appl Genet.
Aust. J. Biol. Sci.	J. Gen. Physiol.	Theriogenology
Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.	J. Hered.	Toxicol. Appl. Pharmacol.
Biochem. J.	J. Nutr.	Trans. Am. Soc. Agric. Eng.
Biochemistry	J. Nutr. Biochem.	Vet. Rec.
Biochim. Biophys. Acta	J. Physiol (Lond.)	Vet. Res. Commun.
Biol. Reprod.	J. Physiol. (Paris)	Vitam. Horm
Biometrics	J. Range Manage.	World Anim. Rev.
Biometrika	J. Reprod. Fertil	Z. Tierz. Zuechtungsbiol.
Blood	J. Sci. Food. Agric.	Zentralbl. Veterinaermed. Reihe A
Br. J. Nutr.	Journ. Rech. Porcine Fr.	Veterinaermed. Reihe A
Br. Vet. J.	Lab. Anim.	

Tabla 9- 5 Abreviaturas de empleo común en español

A	Amperio	etc.	etcétera
Å	Angström	EV	electronvoltio
a. C.	antes de Cristo	Estr.	estratigrafía
a.l.	años luz	F	faradio
Ac.	Acústica	°F	grado Fahrenheit
Aeron.	Aeronáutica	f.c.e.m.	fuerza contra-electromotriz
Agr.	Agricultura	f.e.m.	fuerza electromotriz
Álg.	Álgebra	Farmacol.	farmacología
An.mat	análisis matemático	fig.	figura
Anat.	Anatomía	Fís. gral.	física general
Anat.comp.	Anatomía comparada	Fisiol.	fisiología
Antr.	antropología	Fisiol. an.	fisiología animal
Arit.	aritmética	Fisiol.gral.	fisiología general
Arm.	armamento	Fisiol. veg.	fisiología vegetal
Arq.	arquitectura	Fitosoc.	fitosociología
Art.gr.	artes gráficas	Fot.	fotografía
Art. y of.	artes y oficios	G	gramo
Astr.	astronomía	Genét.	genética
Astron.	astronáutica	Geod.	geodinámica
Atm.	atmósfera	Geof.	geofísica
Atom.	atomística	Geogr.	geografía
Biol. gral.	biología general	Geol.gral.	geología general
Bioq.	bioquímica	Geol.hist.	geología histórica
Bot.des.	botánica descriptiva	Geom.	geometría
Bot. sist.	botánica sistemática	Geoq.	geoquímica
Brom.	bromatología	GeV	gigaelectronvoltio
C	centígrado (s)	CHz	gigahertz
°C	grado centígrado	H	hora
c.a.	corriente alterna	Ha	hectárea
cal	caloría	Ha	hectárea (s)
Cal	kilocaloría	Hb	hemoglobina
c.d.g.	centro de gravedad	Histol.an.	histología animal
cg	centigramo	Histol.veg.	histología vegetal
Cin.	cinematografía	HP	caballo de fuerza
Cir.	cirugía	Hz	hertz
Citol.	citología	Ind.	industria
cl	centilitro	Ind. alim.	industria alimentaria
cm	centímetro	Ing. gral.	ingeniería general
Const.	construcción	J	joule (s)
Crist.	cristalografía	°K	grado Kelvin
d. C.	después de Cristo	Kcal	kilocaloría
d.d.p.	Diferencia de	KeV	kiloelectronvoltio

	potencial		
Diag.	Diagnóstico	kg.	kilogramo
Dib.	Dibujo	KHz	kilohertz
E.	Este	Km	kilómetro
Ecol.	Ecología	km ²	kilómetro cuadrado
Edaf.	Edafología	km ³	kilómetro cúbico
Electrón.	Electrónica	Kp	kilopondio
Electrot.	Electrotecnia	Kpm	kilopondímetro
Embriol.	Embriología	Kw	kilowatio
Entom.	entomología	Kwh	kilowatio hora
Est.	estadística	L	litro
lat.	latitud	Pat.	patología
Ln	logaritmo neperiano	Pat. veg.	patología vegetal
log	logaritmo base 10	Petr.	petrografía
log _a	logaritmo base a	Petroq.	petroquímica
mw	miliwatio	Ppm	partes por millón
Mw	megawatio	Protoz.	protozoología
m□	Milimicra	Psic.	psicología
N.	Norte	Psic.	psiquiatría
n.a.	Número atómico	Qm	quintal métrico
NE.	Nordeste	Quím.an.	química analítica
ng	nanogramo (s)	Quím.apl.	química aplicada
m	metro	Quím.fís.	química física
m ²	metro cuadrado	Quím.gral.	química general
m ³	metro cúbico	Quím.inorg.	química inorgánica
MA	megaamperio	Quím.org.	química orgánica
Mar.	marina	r.p.m.	revoluciones por minuto
Mastoz.	mastozoología	r.p.s.	revoluciones por segundo
mb	milibar	S.	Sur
Mcal	megacaloría (s)	SE.	Sudeste
Mec.	mecánica	Seg	segundo
Mec.apl.	mecánica aplicada	SO.	Sudoeste
Met.	metalurgia	Tecnol.	tecnología
Meteor.	meteorología	Tect.	tectónica
Metrol.	metrología	Terap.	terapéutica
MeV	megaelectrovoltio	Termol.	termología
mg	miligramo	Tm	tonelada métrica
MHz	megahertz	TND	total de nutrientes digestibles
Microb.	microbiología	Top.	topografía y geodesia
min.	minuto	Torr	torricelli (mmHg)
Min.	minería	Trig.	trigonometría
MJ	megajoule (s)	UI	unidades internacionales
ml	mililitro (s)	V	voltio
mm	milímetro	Vet.	veterinaria

Morf.veg.	morfología vegetal	vol.	volumen
msnm	metros sobre el nivel del mar	Vs	versus
mV	milivoltio	W	watio
MV	megavoltio	Zool.gral.	zoología general
n.m.	número de masa	□	micra
NO.	Noroeste	□g	microgramo (s)
Un	nanomicra	□m	micrómetro (s) (micras(s))
O.	Oeste	□l	microlitro (s)
Ocean.	oceanografía	□	ohmio
Ópt.	óptica	° ' " , ,	grados, minutos y segundos de arco
p	página	%	tanto por ciento
pp	páginas	‰	tanto por mil
p.a.	peso atómico	□	véase
p.e.	peso específico		
p.eb.	punto de ebullición		
p. ej.	por ejemplo		
p.f.	punto de fusión		
p.mol.	peso molecular		
Paleont.	paleontología		
Parasit.	parasitología		