



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Maestría en Ciencias de Ingeniería Línea Terminal Estructuras**

**MICROZONIFICACION SISMICA DE LAS CIUDADES DE SAN FRANCISCO Y PURISIMA DEL RINCON, GTO.**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Maestro en ciencias**  
**Presenta:**

**Ing. Gabriel Valdez Chávez**

**Dirigido por:**

**Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras**

**SINODALES**

Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras  
Presidente


Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández  
Secretario

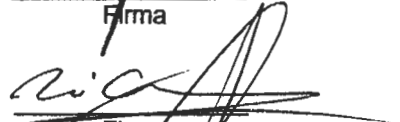
M. en I. Abraham Martínez Bains  
Vocal

M. en C. José Luis Reyes Araiza  
Suplente

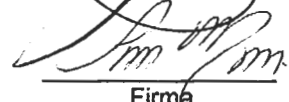
M. en C. Humberto Uehara Guerrero  
Suplente

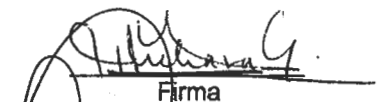
Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Director de la Facultad de Ingeniería

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Febrero, 2008  
México

## RESUMEN

El siguiente trabajo consiste en una propuesta de zonación de áreas con respecto a su periodo fundamental de vibración del suelo en un total de 34 puntos con 108 registros de vibración ambiental, el cual llamaremos micro zonificación sísmica de las ciudades de San Francisco del Rincón y Purísima de Bustos Guanajuato, basada en la técnica de vibración ambiental propuesta por Nakamura ,para la obtenciones de dichos periodos, y apoyada en el método semiempirico de Zeevaert , elaborando un mapa de curvas de igual periodo determinando para las ciudades arriba citadas dos zonas: zona I o zona A periodos igual o menores de 0.40 seg. Y zona II o zona B periodos mayores de 0.4 seg. y menores o iguales a 1.0 seg. Se observo que las áreas donde predominan los periodos menores a 0.40 seg. son las áreas de lomeríos cercanas a la parte nor-poniente de las ciudades y la zona II se encuentra en la parte más plana de las ciudades.

Con la información anterior se podrá atender a lo recomendado por el reglamento de construcciones de ambas ciudades en el que habla de la existencia de las zonas I y II para la elección del coeficiente sísmico más no indica la ubicación de cada una de ellas en el entorno de la ciudad, con este trabajo se puede saber con certeza y confianza la ubicación de dichas zonas.

(Palabras clave: Sismicidad, microzonificación , periodo ).

## SUMMARY

The following work is a proposal of zonation of areas according of his fundamental period of ground vibration with a total of 34 points including 108 records of environmental vibration, which we will call micro zonation seismic for the cities of san Francisco del Rincón and Purísima de Bustos locate in the state of Guanajuato in Mexico. according to Nakamura method of environmental vibration to obtain the periods that we mentioned and supported in the semiempirical method of Zeevaert , making a map of curves for equal period, considering to the cities above mentioned two different zones: zone “i” or zone “a” for equals periods or minor at **0.40 seconds** and zone “ii” or zone “b” for periods greater at **0.40 seconds** and minor or equals at **1.0 seconds**. we detected that the areas that has the most of periods minors at **0.40 seconds** were the areas of lomerios near at the portion north-west from this cities and the zone “ii “ is locate in the portion flatest of this cities.

with the above information we will fullfill the recommendation of build regulations for both cities which mention about of the zone i and zone ii to selection the coefficient seismic, however not mentioned where they are locate around this cities with this investigation you can know with certainty where this zones are.

**(Key Words: Seismic, microzonation, period).**

## DEDICATORIAS

A mis padres: **Maria Luisa Chàvez Ramírez y Melaneo Valdez Fuentes**

A mis hermanos: **Lucy, Patty, Saúl y Ely.**

A mi esposa: **Maria Luisa**

Gracias por tu apoyo y comprensión

A mi hija: **Gabriela Desirée**

Se que faltan muchos años, pero deseo que este trabajo te sirva como estimulo y ejemplo de superación.

## AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Moisés Arroyo Contreras** por su amistad y orientación para la culminación de este trabajo, y gracias porque nunca perdió la fe en nosotros a pesar de lo indolentes que fuimos.

A **Luisa** por ser mi colaborador honorífico en aquellas campañas de medición nocturnas que se convirtieron en un buen pasa tiempo , en donde hubo que lidiar con las autoridades de mis pintorescas ciudades y sobre todo porque nunca dudo ni por un instante en este trabajo, muchas gracias.

Al **Ing. Villegas** por insistirme y empujarme para hacerle segunda en la mención honorífica y no echar por la baranda todo este tiempo.

A mis maestros y compañeros.

A todos aquellos que colaboraron con el desarrollo de este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice general	v
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
I.1 Motivación	3
I.2 Antecedentes y justificación	3
I.3 La aportación	4
I.4 Estructura de capítulos	4
I.5 Objetivo	5
<b>II ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>6</b>
II.1 Aspectos generales	6
II.2 Ubicación Geográfica	6
II.3 Tectónica y sismicidad	9
II.4 Sismicidad nacional	15
<b>III ESTRUCTURA GEOLOGICA Y SISMOTECTONICA DE BAJIO (PARTE NOR- OCCIDENTAL)</b>	<b>20</b>
III.1 Geología de la Sierra de Guanajuato	21
III.2 Geología de la Región Purísima del Rincón – San Francisco y León	26
III.3 Estratigrafía y estructura del subsuelo de la parte noroccidental del Bajío	28

III.4 La sismisidad en el Bajío	30
III.5 Interpretación del Subsuelo de la Ciudad de Purísima y San Francisco del Rincón, Gto.	33
<b>IV METODOLOGIA APLICADA</b>	<b>36</b>
IV.1 Marco teórico	36
IV.2 Método de vibración ambiental	37
IV.3 Técnica de Nakamura	38
IV.4 Instrumentación.	42
IV.5 Proceso de los registros obtenidos	44
IV.5.1 Aplicación de la metodología En la obtención del periodo	47
IV.6 Calibración de periodos con expresiones semi- empíricas	57
IV.6.1 Parámetros de la propiedades dinámicas de los estratos	57
IV.6.2 Expresiones semi-empíricas para evaluar periodos	59
IV.6.3 Resultados de la calibración	63
<b>V Resultados</b>	<b>68</b>
V.1 Criterios de Selección o Ubicación de puntos instrumentados	68
V.3 Mapa de isoperiodos y microzonificación sísmica propuestos	69
<b>VI Conclusiones</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>73</b>
<b>APENDICE 1.</b> Numero de mediciones y registros con su ubicación geográfica y su periodo obtenido	75
<b>APENDICE 2</b> Graficas de los espectros de Furier de los Registros obtenidos en campo	78

		<b>Página</b>
<b>APENDICE 3</b>	Plano 1 - Plano de integración Urbana,	
	Plano 2- Plano de curvas de nivel,	
	Plano 3- Plano de composición Edafológica	
	Plano 4- Plano de composición Geológica	
	Plano 5- Plano de integración urbana Con ubicación de registros	
	Plano 6- Plano de integración urbana Con curvas de isoperiodos	
	Plano 7- Carta de isoperiodos y composición Geológica.	
	Plano 8- Carta de microzonificación sísmica	87



## Índice de Tablas

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
4.1	Valores típicos de las velocidades de los estratos de las ondas P y S para diferentes tipos de material	60
4.2	Corte litológico del pozo numero 1	62
4.3	Corte litológico del pozo numero 2	63
4.4	Información de las velocidades de onda del pozo 1	64
4.5	Información de las velocidades de onda del pozo 2	64

## Índice de Figuras

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
2.1	Ubicación del área de estudio (fotografía área 2001)	7
2.2	Configuración en 3d de la zona de estudio representada por colores en las partes altas y bajas.	8
2.3	Estructura de la corteza terrestre.	10
2.4	Principales placas litosféricas.	12
2.5	Propagación de las ondas P y S en un bloque sólido.	13
2.6	Propagación de las ondas Rayleigh.	14
2.7	Esquema de propagación de las ondas Love.	15
2.8	Tectónica de la República.	16
2.9	Eventos de gran magnitud en las costas de Michoacán y Guerrero.	18
2.10	Provincias fisiográficas de la República Mexicana.	19
3.1	Imagen del Bajío Guanajuatense.	20
3.2	Mapa Geológico de la sierra de Guanajuato.	23
3.3	Mapa Geológico de la región León – Purísima del Rincón.	27
3.4	Columna litoestratigráfica del subsuelo del Bajío atravesada por un pozo profundo en la ciudad de Salamanca.	30
3.5	Epicentros de los sismos de magnitud igual o mayor a 4.0 grados ocurridos en la influencia del Bajío.	32
3.6	Entorno geológico de la ciudad de Purísima del Rincón y San Francisco.	34
3.7	Estratigrafía y estructura del subsuelo de Purísima del Rincón y San Francisco del Rincón.	34
3.8	Estratigrafía y estructura del subsuelo de Purísima del Rincón y San Francisco del Rincón.	35
4.1	Ubicación de sitios instrumentados en la zona de estudio.	43
4.2	Pantalla del programa “All View”, para el proceso de información del acelerógrafo.	47

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
4.3	Archivo seleccionado con extensión ORI.	48
4.4	Graficas de la señal en sus tres componentes.	48
4.5	Pantalla de conversión de archivos.	49
4.6	Pantalla del programa Detgra 2000.	50
4.7	Pantalla para determinar el tipo de archivo.	50
4.8	Corrección de línea base.	51
4.9	Pantalla para la obtención de las funciones de transferencia.	52
4.10	Archivo generado en Detgra 2000.	53
4.11	Curva componente N – S.	54
4.12	Valores de la componente E – W.	54
4.13	Espectros de la respuesta de los dos componentes horizontales.	55
4.14	Periodo dominante.	56
4.15	Pantalla del programa Detgra 2000.	56
4.16	Péndulo de torsión libre.	58
4.17	Método de sondeo sísmico cross – hole.	61
4.18	Espectro de respuesta para el pozo 1 con el modelo de Zeevaert.	65
4.19	Espectro de respuesta del punto instrumentado para el Pozo 1 con vibración ambiental.	65
4.20	Comparativa de las frecuencias obtenidas del pozo 1.	66
4.21	Comparativa de las frecuencias obtenidas del pozo 2.	66
4.22	Espectro de respuesta del punto instrumentado para el Pozo 2. con vibración ambiental.	67
4.23	Espectro de respuesta para el pozo 2 con el modelo de Zeevaert.	67

## I.- INTRODUCCION

La micro zonación sísmica de ciudades en el ámbito mundial ha tomado gran importancia, tal es el caso de las ciudades como Santiago de Cali, el Salvador, Colombia, Xalapa, Veracruz , Aguascalientes ,el valle de Querétaro y muy recientemente la ciudad de León, Gto entres otras, siendo la zonación sísmica la base fundamental para la formulación de normas sismo resistentes o espectros de diseño.

Dentro de las acciones que generalmente se programan para el desarrollo de una micro zonificación sísmica de ciudades, se contemplan las campañas de micro trepidaciones (vibración ambiental; la vibración ambiente fue introducida por primera vez en Japón cerca de las años cincuenta para estimar la respuesta de sitio), con las cuales se obtienen registros como insumos para la elaboración de un mapa base de iso-periodos, que, con este antecedente y con la finalidad de establecer la base para futuros estudios surge la idea de comenzar un mapa de curvas de periodos coincidentes para la zona de San Francisco del Rincón y Purísima de Busto Gto., a través del uso de registros de micro trepidaciones o microtemores para la evaluación de la respuesta dinámica de suelos que como ya se dijo podrá establecer en conjunto con registros de sismos seleccionados y modelaciones de las zonas geotécnicas (geológicas), la obtención de los espectros de respuesta de diseño que cabe mencionar no existen para la zona de estudio en cuestión ya que para el mejor de los casos se adaptan las normas técnicas del Distrito Federal o las del Manual de la Comisión Federal de Electricidad las cuales ubican a los municipios del Rincón en la misma zona sísmica que el D.F. cuando los reportes de daños por sismo en estas zonas no han sido tan significativos.

Lo anterior da muestra, desde el punto de vista de seguridad estructural, lo importante que es el abundar en los trabajos de regionalización sísmica, ya que estos solo existen en las ciudades mas importantes del país los cuales

comenzaron después del sismo ocurrido en septiembre de 1985 en Michoacán, sin que se tome el interés para todas las ciudades medianas en las cuales ha quedado a la deriva su zonificación sísmica que les permita adecuar sus reglamentos de construcción.

Uno de los principales obstáculos para llevar a cabo los estudios que obedece el objeto de este trabajo fue la poca o nula información sismológica y litológica con las que cuentan las ciudades de San Francisco del Rincón y Purísima del Rincón ya que no existe una instrumentación sismológica en ambas localidades y ni siquiera en la región, esto talvez a la poca importancia que se le da ha este fenómeno natural en esta zona que si bien no ha sido considerada como una franja de alto riesgo sísmico ya que no han ocurrido sismos de gran intensidad, pero si, se han sentido la mayoría de los que han sucedido en el país tal es el caso más reciente de Colima en el 2003, mucho se podría debatir en la posibilidad de que sucediera algún evento sísmico de gran intensidad que causara grandes daños materiales o la lamentable pérdida de vidas humanas pues si bien no se tiene reportes de daños por eventos de esta naturaleza ocurridos con anterioridad tampoco se tiene la certeza de que esto no pudiera ocurrir, en cuanto a la falta de información se han desarrollado y aplicado técnicas como la obtención de registros de vibración ambiental o micro temores mediante las cuales se obtiene buenas aproximaciones sobre la respuesta del suelo y se subsana parte de la carencia de información.

Hasta hoy la única posibilidad de poder estimar que debemos esperar si sucediera un evento sísmico y sus magnitudes es mediante el conocimiento exhaustivo y la información que puede obtenerse y desarrollarse sobre la geología, litología y del análisis probabilísticos de los sismos ocurridos con anterioridad así como todos los estudios que pudieran desarrollarse sobre las respuestas dinámicas del suelo incluidas en esta las micro trepidaciones que pudieran darnos en su conjunto una idea mas acertada que nos ayudara a elaborar catálogos de sismos que permitan estimar periodos de recurrencia,

magnitudes y leyes de atenuación confiable con el objeto de poder prevenir sus efectos en las edificaciones e infraestructura urbana.

Es así como una de las primeras acciones de prevención es la elaboración de mapas de micro zonificación sísmica que permita evaluar el impacto en función de las áreas sísmo génicas y los efectos de sitio de acuerdo a las características y propiedades de la geología local.

Esto ha llevado al desarrollo de técnicas experimentales y de métodos analíticos que procuran modelar aunque sea de manera aproximada sucesos de estas características logrando así un mayor conocimiento sobre la respuesta dinámica del suelo. Una de las técnicas que se usara en este trabajo es la propuesta por Nakamura (1989) a través de la cual se puede estimar la razón espectral entre componente horizontal y la componente vertical de un mismo registro de micro temblor obtenido por vibración o ruido ambiental.

### **I.1 Motivación**

El reglamento de construcción de la ciudad de San Francisco y de Purísima del Rincón, en cuanto a seguridad estructural se refiere para el diseño por sismo, menciona la existencia de dos zonas zona I y zona II para la elección del coeficiente sísmico y las clasifica como terreno firme y terreno compresible respectivamente, y menciona que para la ciudad de San Francisco, esta se divide en dichas zonas quedando sin sustento la localización de dichas regiones.

### **I.2 Antecedentes y justificación**

Con la aplicación de esta técnica de Nakamura se han desarrollado estudios en ciudades como: Chilpancingo, Acapulco, Morelia, Colima, Guadalajara, Aguascalientes, Querétaro y recientemente la ciudad de León, Gto. entre otras que cuentan ya con mapas de micro zonificación sísmica formulados o complementados a partir de la obtención de registros de vibración ambiental.

El uso de micro trepidaciones para la obtención de la respuesta dinámica del suelo es cada día más recurrente debido a su bajo costo, facilidad y la rapidez por la obtención de información en el sitio.

### **I.3 La Aportación**

Es importante señalar que la elaboración de este trabajo de ninguna manera es concluyente, debe complementarse a medida que se genera mas información por parte de las diferentes disciplinas involucradas en el estudio de los sismos.

Los resultados de este trabajo servirán para que cuando se cuenten con registros de eventos sísmicos puedan obtenerse espectros de diseño adecuados para la zona de estudio.

Por otro lado se complementa al reglamento de construcción de San Francisco y Purísima del Rincón, al definir las zonas sísmicas en base a sus diferencias relativas en cuanto a periodos se refiere y servirá como herramienta para la elección del coeficiente necesario para el diseño sísmico.

### **I.4 Estructura del trabajo**

El presente trabajo esta estructurado de la siguiente manera:

El capitulo dos contiene una breve semblanza del área o zona de estudio y su ubicación y una reseña sobre la tectónica y sismicidad.

En el capitulo tres se hace referencia a la estructura geológica y sismo tectónica de Bajío (parte nor- occidental) así como una Interpretación del Subsuelo de las Ciudad de San Francisco del Rincón y Purísima del Rincón.

En el capitulo cuatro consiste en la exposición del marco teórico en la que esta basado este trabajo, muestra también la obtención de registros de vibración ambiental obtenidos en la zona de estudio y la calibración de periodos con expresiones semi empíricas.

En el capitulo cinco se propone el mapa de iso periodos y su micro zonificación sísmica en función de las líneas de isosistas que se obtuvieron con los datos de vibración ambiental o micro tremores.

Finalmente se plantean algunas conclusiones y recomendaciones sobre los resultados obtenidos en este trabajo.

### I.5 Objetivo

Configurar un mapa de los Municipios de San Francisco del Rincón y Purísima del Rincón, con curvas de igual periodo dominante por medio de campañas de vibración ambiental, determinando el periodo dominante del suelo en los sitios instrumentados y a partir de la interpolación geométrica, lo cual nos permitirá estimar las diferencias relativas del suelo en cuanto a periodo se refiere.



## **II.- ZONA DE ESTUDIO**

### **II.1 Aspectos Generales**

Las ciudades de San Francisco del Rincón y Purísima del Rincón, Gto se encuentran en constante crecimiento poblacional y han incrementado su población en los últimos 10 años en más del 35% lo que significa para estos dos municipios un crecimiento económico que va acompañado del imperante desarrollo de infraestructura urbana, habitacional e industrial.

Sin embargo y pese a su desarrollo estas obras de infraestructura se rigen en su caso para San Francisco del Rincón por un reglamento que data de septiembre de 1991 que no ha sido actualizado desde esa fecha y que en su capítulo de Seguridad Estructural referente a sismos es una copia de lo que en su tiempo fue el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, mismo caso sucede para ciudad de Purísima del Rincón pero más lamentable ya que este data del año 2005 y también es una copia del reglamento del D.F. sobre a seguridad estructural se refiere.

Esta situación sería viable si para esto se hubieran considerado las adecuaciones locales o de la región en cuanto a sismos se refiere acto un poco probable ya que no se contaba con ningún tipo de estudio o información referente en la zona, es por esto que es importante comenzar a generar información al respecto que con el tiempo podrá ser de gran utilidad para la adecuación de los reglamentos.

### **II.2 Ubicación Geográfica**

Estas dos ciudades están contempladas en el plan de ordenamiento territorial como conurbanas y se localizan en la parte más nor-occidental del Bajío, su altitud promedio es de 1,760 m sobre el nivel medio del mar y su latitud es

de 20° 21' 07" y su longitud de 101° 51' 05", abarcan una extensión territorial de aproximadamente 800 km<sup>2</sup> y la zona en la que se elaboro el estudio cuenta con una extensión de 30 km<sup>2</sup> que comprende básicamente la zona urbana de ambas ciudades.

Con la finalidad de crear un panorama mas amplio de la zona de estudio se presenta la figura 2.1 que es una fotografía área del año 2003 donde se localiza la zona urbana de los municipios mencionados, se presenta también en la figura 2.2 una representación de colores según la altimetria de la región.

Esta región del Bajío como todo el estado de Guanajuato se encuentran según su ubicación geográfica englobada en la zona "B" que la clasifica como un área de mediana sismicidad.



Figura 2.1 Ubicación del área de estudio ( fotografía aérea 2001.)

## ZONA CONURBADA PURISIMA-SAN FRANCISCO



Figura 2.2 configuración de la zona en estudio donde puede observarse la zona de color café que indica las parte mas baja en comparación con la parte amarilla así como la área de color verde que son las depresiones mas elevadas del ambos Municipios.

## II.3 TECTONICA Y SISMICIDAD

Existe una estrecha relación entre las capas que conforman la Tierra y la generación de sismos, por lo que hablar de tectónica implica abordar el tema desde una perspectiva global, es por esto que es necesario hacer una breve síntesis para entender la razón por la cual los sismos se generan y como se comportan las ondas de este al propagarse sobre los mantos subsecuentes.

### **Corteza terrestre y tectónica de placas.**

La corteza terrestre es la capa más superficial de la Tierra, que es parte de la litosfera (parte de la tierra superior al manto interno que incluye la corteza sólida y el manto externo con un espesor de 100 km. La litosfera es la zona de las placas tectónicas ), que tiene un espesor variable entre los cinco kilómetros de profundidad en los océanos y hasta 40 kilómetros de profundidad media en las cordilleras continentales. La corteza terrestre está compuesta por rocas silíceas, distinguiéndose tres capas principales (figura 2.4):

- **Capa sedimentaria:** Está formada por rocas sedimentarias que se sitúan sobre los continentes y sobre las plataformas continentales. Esta capa está formada por rocas replegadas que forman parte de las cordilleras actuales y antiguas de los continentes y de la base de la plataforma continental, y por sedimentos recientes que se depositan fundamentalmente sobre la plataforma continental y los fondos marinos próximos al continente.
- **Capa granítica:** Está formada por rocas parecidas al granito. Forma la masa fundamental de las zonas continentales emergidas. Entre esta capa y la siguiente se aprecia la discontinuidad de Conrad, llamada también "canal de la litosfera", que marca los límites de la capa granítica y la capa inferior basáltica. Tanto la capa sedimentaria como la granítica son capas discontinuas y se encuentran como flotando en equilibrio isostático sobre la capa basáltica, como lo hace un iceberg sobre el agua.

- **Capa basáltica:** Está formada por rocas semejantes al basalto. Es una capa continua alrededor de la Tierra, al contrario que las dos anteriores. La discontinuidad de Mohorovicic separa la capa basáltica del manto.

La corteza terrestre es una gran desconocida por las dificultades que presenta su estudio. Sin embargo, los datos que facilitan los estudios sismológicos han contribuido de forma importante al conocimiento de la estructura interna de la Tierra. A través del análisis de la propagación de las ondas sísmicas se construyen perfiles que proporcionan la geometría de las estructuras tectónicas.

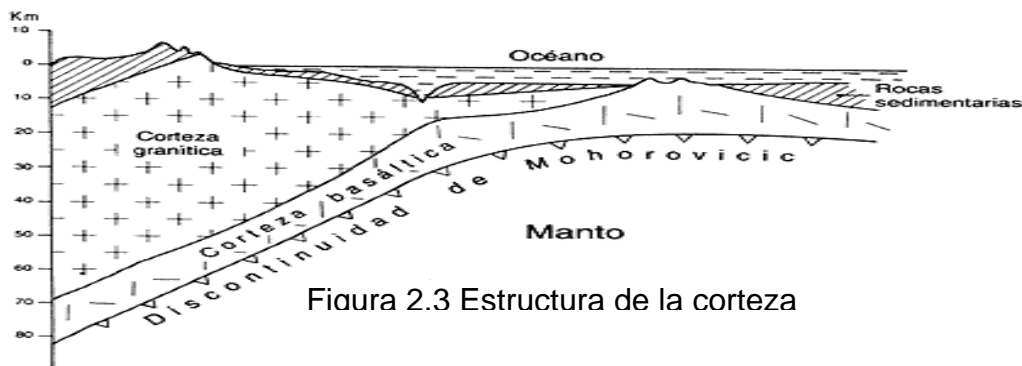


Figura 2.3 Estructura de la corteza

Esta cubierta rígida del planeta es de particular importancia para los fines de actividad sísmica provocada por las corrientes de convección del manto que al dilatarse los materiales que lo forman, por las altas temperaturas que existen, provocan movimientos de ascenso y descenso.

Durante miles de millones de años se ha ido sucediendo un lento pero continuo desplazamiento de las placas que forman la corteza del planeta Tierra, originando la llamada "tectónica de placas", una teoría que complementa y explica la deriva continental (propuesta en 1912 por Alfred Wegener).

Los continentes se unen entre sí o se fragmentan, los océanos se abren, se levantan montañas, se modifica el clima, influyendo todo esto, de forma muy importante en la evolución y desarrollo de los seres vivos. Se crea nueva corteza en los fondos marinos, se destruye corteza en las trincheras oceánicas y se producen colisiones entre continentes que modifican el relieve.

Según la teoría de la tectónica de placas, la corteza terrestre está compuesta al menos por una docena de placas rígidas que se mueven a su aire. Estos bloques descansan sobre una capa de roca caliente y flexible, llamada astenosfera, que fluye lentamente a modo de alquitrán caliente. Los geólogos todavía no han determinado con exactitud como interactúan estas dos capas, pero las teorías más vanguardistas afirman que el movimiento del material espeso y fundido de la astenosfera fuerza a las placas superiores a moverse, hundirse o levantarse.

El concepto básico de la teoría de la tectónica de placas es simple: el aire caliente asciende por encima del aire frío y las corrientes de agua caliente flotan por encima de las de agua fría. El mismo principio se aplica a las rocas calientes que están bajo la superficie terrestre: el material fundido de la astenosfera, o magma, sube, mientras que la materia fría y endurecida se hunde cada vez más hacia al fondo, dentro del manto. La roca que se hunde finalmente alcanza las elevadas temperaturas de la astenosfera inferior, se calienta y comienza a ascender otra vez.

Este movimiento continuo, en cierta forma circular, se denomina convección. En los bordes de la placa divergente y en las zonas calientes de la litosfera sólida, el material fundido fluye hacia la superficie, formando una nueva corteza.

El límite de las placas no coincide con los límites de los continentes una placa puede contener porciones de continentes y porciones de océanos, los límites entre placas pueden ser de tres tipos: divergentes, convergentes o de subducción y de transformación el primero de estos sucede cuando dos placas se están separando, mientras que el segundo es cuando una placa se introduce debajo de otra y la última de estas sucede cuando dos placas se mueven lateralmente entre sí.

Es así que entre estos límites de placas se generan fuerzas de fricción tan fuertes que llegan a sobrepasar la resistencia de la roca provocando que esta se provoque que esta se rompa liberando gran cantidad de energía que se propaga

en forma de ondas a través del medio sólido de la tierra en todas direcciones conocidas como ondas sísmicas.

Se ha determinado la existencia de diecisiete placas principales (figura 2.4) estimándose que mas del noventa por ciento de toda la actividad sísmica en el mundo esta relacionada con el movimiento de estas.

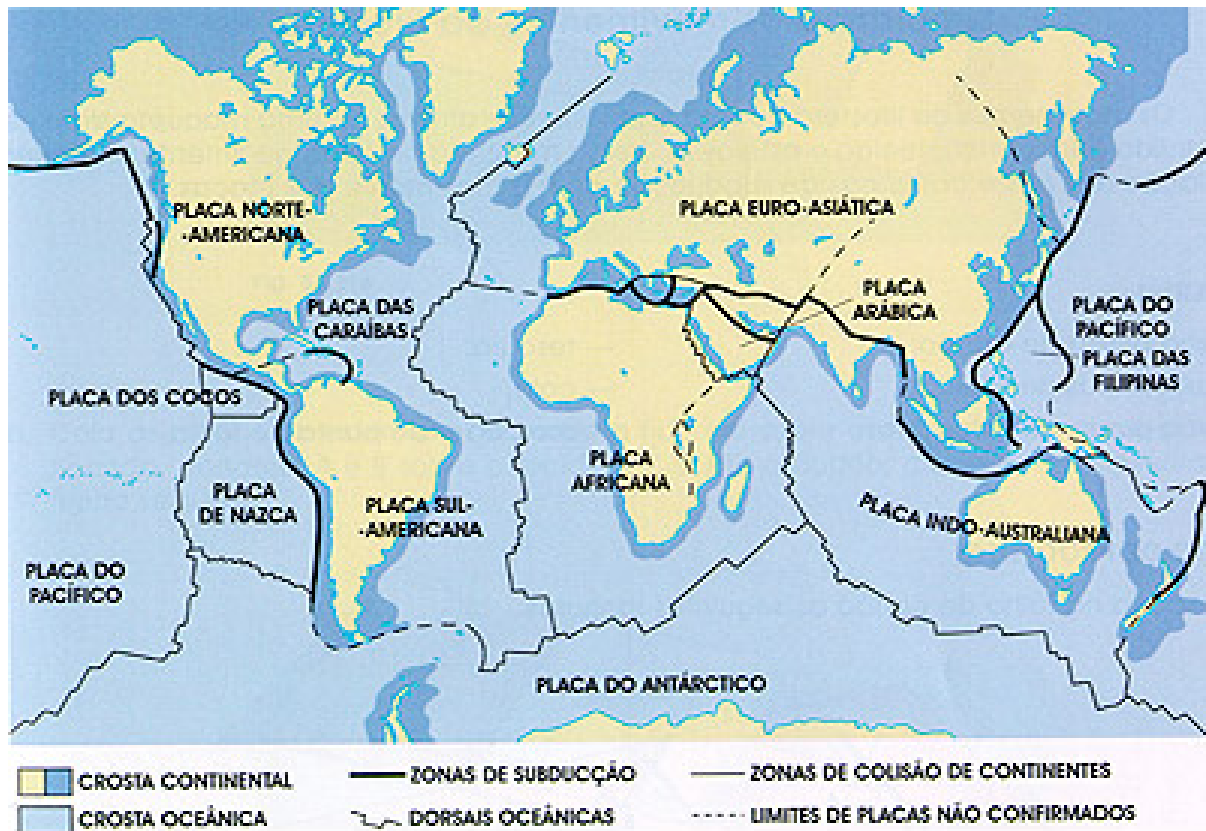
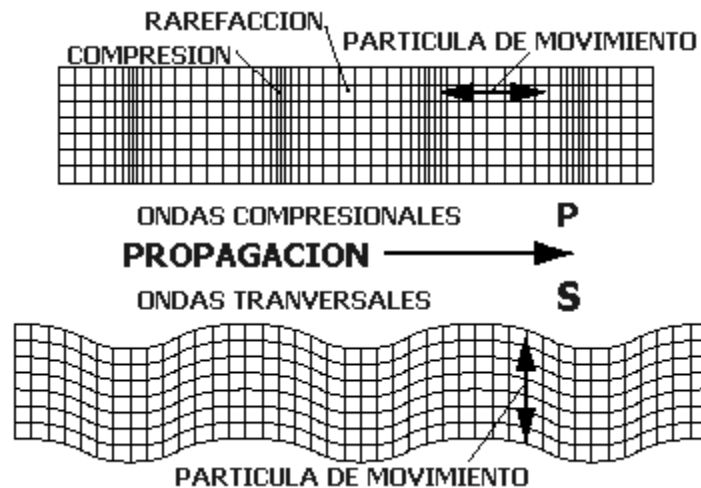


Figura 2.4 Principales placas litosféricas.

Los sismos de tipo tectónico son producidos por la interacción de las placas, por un lado existen los interplaca ocasionados por una fricción en las zonas de contacto entre ellas y por otro lado los interplaca que se presentan lejos de los límites conocidos de placas estos sismos resultan de la deformación continental por el choque entre placas y son menos frecuentes que los interplaca y generalmente de menor magnitud, un tipo particular de estos son los llamados sismos locales.

El lo que refiere a lo que los efectos de un sismo provocan en la corteza de la tierra están las ondas sísmicas las cuales se propagan como ya se menciono antes en todas direcciones a partir del foco donde se origina la fractura, con una velocidad alterada que depende de las propiedades físicas de los estratos geológicos por los que esta atraviesa. Las ondas sísmicas se clasifican en los siguientes tipos:

En un sólido pueden trasmitirse dos tipos de ondas, la primera conocida como andas de compresión ya que consiste como su nombre lo indica en la transmisión de compresiones y rarefacciones en este caso las partículas del medio se mueven en el mismo sentido en el que se propaga la onda, el segundo tipo es conocido como ondas transversales o de cizallamiento, las partículas se mueven ahora en dirección perpendicular a la propagación de la onda, las ondas compresionales y transversales (figura 2.5) han sido llamadas P y S respectivamente por razones que se verán más adelante. Son también conocidas como ondas internas porque se propagan en el interior de un sólido elástico.



La figura 2.5 propagación de las ondas P y S en un bloque sólido.

Además de estas dos clases de ondas existen otros dos tipos de gran importancia llamadas ondas superficiales por los motivos que veremos a continuación: cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie.



Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad, y son conocidas como ondas de Rayleigh en honor al científico que predijo su existencia. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda (figura 2.6) Una analogía de estas ondas lo constituyen las ondas que se producen en la superficie de un cuerpo de agua.

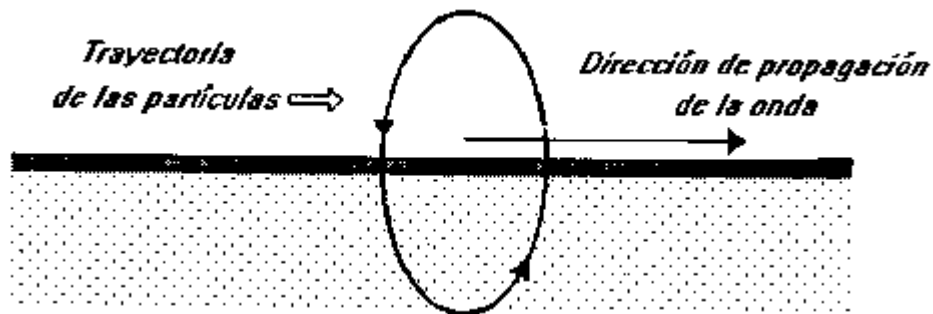


Figura 2.6 propagación de las ondas Rayleigh

Otro tipo de ondas superficiales son ondas de Love llamadas así en honor del científico que las estudió. Estas se generan solo cuando el medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues como observamos anteriormente se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas.

Las ondas de Love se propagan con un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir solo poseen la componente horizontal a la superficie.

Las ondas de Love pueden considerarse como ondas S "atrapadas" en el medio superior (figura 2.7). Para las ondas de Love, la amplitud de las mismas decrece rápidamente con la profundidad. Las ondas de Love son observadas sistemáticamente sobre la superficie de la tierra pues nuestro planeta posee un

estrato superficial de baja velocidad (la corteza, y sobre un medio mas profundo, el manto.)

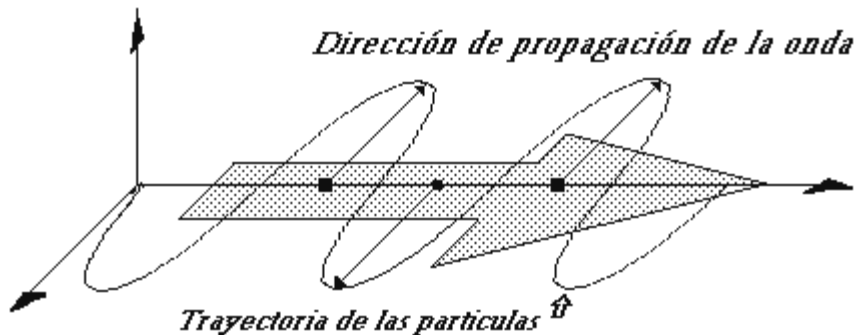


Figura 2.7 esquema de propagación de las ondas love

Las velocidades de las diferentes ondas dependen de las características del medio; por ejemplo, en rocas ígneas la velocidad de las ondas P es del orden de 6 Km/seg, mientras que en rocas poco consolidadas es de aproximadamente 2 Km/seg ó menor. Así, las ondas P de un terremoto originado en la costa de Acapulco serían percibidas en la Ciudad de México, en alrededor de 1 minuto.

#### II.4 Sismicidad nacional.

Dentro del contexto mundial México ha participado de manera importante en la aportación de información sísmica a dicha comunidad, ya que es miembro de la Asociación Internacional Sismológica, desde su fundación en el año de 1904, contando para esto con el Servicio Sismológico Nacional, fundado en Septiembre de 1910.

México está ubicado en la región norte del continente americano. Geográficamente se localiza entre las coordenadas  $14^{\circ} 32' 27''$  y  $32^{\circ} 43' 06''$  latitud norte, y entre los  $86^{\circ} 42' 36''$  y  $118^{\circ} 27' 24''$  longitud oeste. Para el caso de la

República Mexicana, la actividad sísmica se produce principalmente por la interacción de las placas tectónicas de Cocos, de Rivera, de Norteamérica y del Pacífico (Figura 2.8).

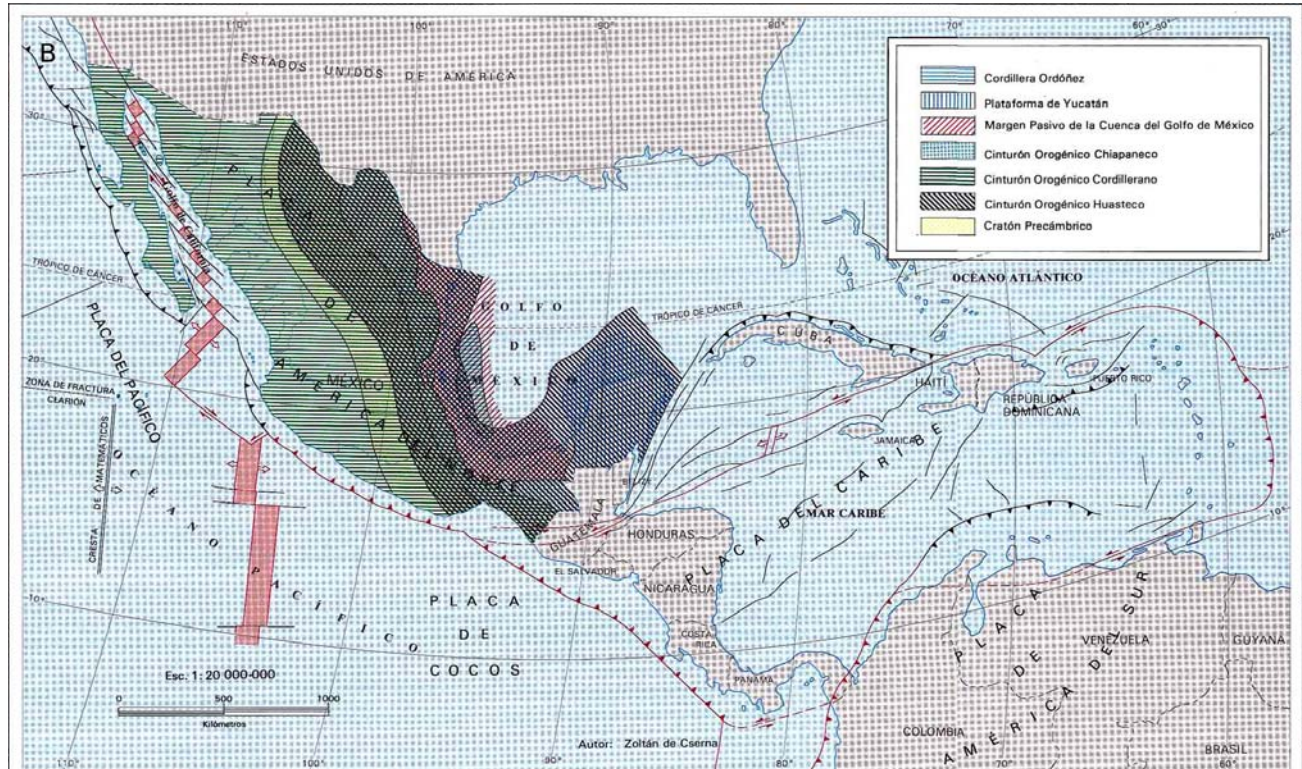


Figura 2.8. Tectónica de la República Mexicana.

La interacción de las placas de Norteamérica y la del Pacífico dan origen a la actividad sísmica que se manifiesta en la parte norte de la Península de Baja California, mientras que la subducción de la Placa de Cocos y Rivera bajo la placa de Norteamérica, que va desde el estado de Jalisco hasta el estado de Chiapas, provoca la gran actividad sísmica en el sureste de México y origina la mayor cantidad de temblores de gran magnitud ( $M_s > 7$ ).

Se ha observado que la placa de Cocos manifiesta una velocidad de desplazamiento que va de cinco a ocho centímetros por año a lo largo de la costa del Pacífico, siendo menor el desplazamiento hacia los estados de Colima y Jalisco y mayor hacia los estados de Oaxaca y Chiapas.

A partir de registros acelerográficos, se han identificado zonas de contacto entre placas, donde se originan sismos que se manifiestan después de un cierto periodo de tiempo. En este periodo de tiempo se vuelve a acumular energía que puede ser liberada a través de uno o más sismos importantes. Estos registros dan pauta a clasificar zonas de mayor o menor riesgo sísmico y permiten estimar su magnitud en función de la zona por “romper”. Estas zonas reciben el nombre de “brechas sísmicas”.

En la Figura 2.9 se pueden observar eventos importantes ocurridos en los últimos años así como las áreas estimadas de rompimiento entre una y otra placa tectónica. Estas áreas son determinadas por la distribución de los focos de las réplicas que se producen después de ocurrido un sismo fuerte. En la misma figura se puede observar la amplia zona de rompimiento que dio origen a los sismos del 19 y 20 de Septiembre de 1985, llamada “Brecha de Michoacán”, la cual había permanecido inactiva por más de setenta años.

La distancia en línea recta de la fuente de este sismo a la zona de estudio es de aproximadamente 323 kilómetros, sin que haya ocasionado algún daño físico importante, por otro lado fue percibido de manera notable en las edificaciones como en la mayoría de los habitantes.

Dadas las características fisiográficas, estructurales, litológicas, hidrológicas y geológicas de la zona en estudio, se pueden conocer y comprender los fenómenos físicos asociados a una región determinada. De acuerdo a INEGI, la República Mexicana está dividida en 15 provincias fisiográficas, como se muestra en la Figura 2.9.



## 2.9 Eventos de gran magnitud en las costas de Michoacán y Guerrero.

Existe una área bastante extensa en la costa del estado de Guerrero que se considera actualmente tiene la probabilidad más alta de provocar algún sismo de gran magnitud, pues no ha tenido actividad desde hace más de treinta años. A esta zona se le denomina “Brecha de Guerrero” y guarda una distancia media aproximada en línea recta de 445 kilómetros a la zona de estudio.

Por la importancia que reviste esta Brecha y ante la coincidencia de varios investigadores de que puede ser la fuente más probable a corto plazo de generar uno o más sismos de gran magnitud, se han realizado estudios detallados de la misma, identificando zonas con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos. Esta es la razón por la que actualmente la “Brecha de Guerrero” es la zona del país más instrumentada, lo que ha permitido entre otras cosas la implementación del sistema de “Alerta Sísmica” para la ciudad de México.

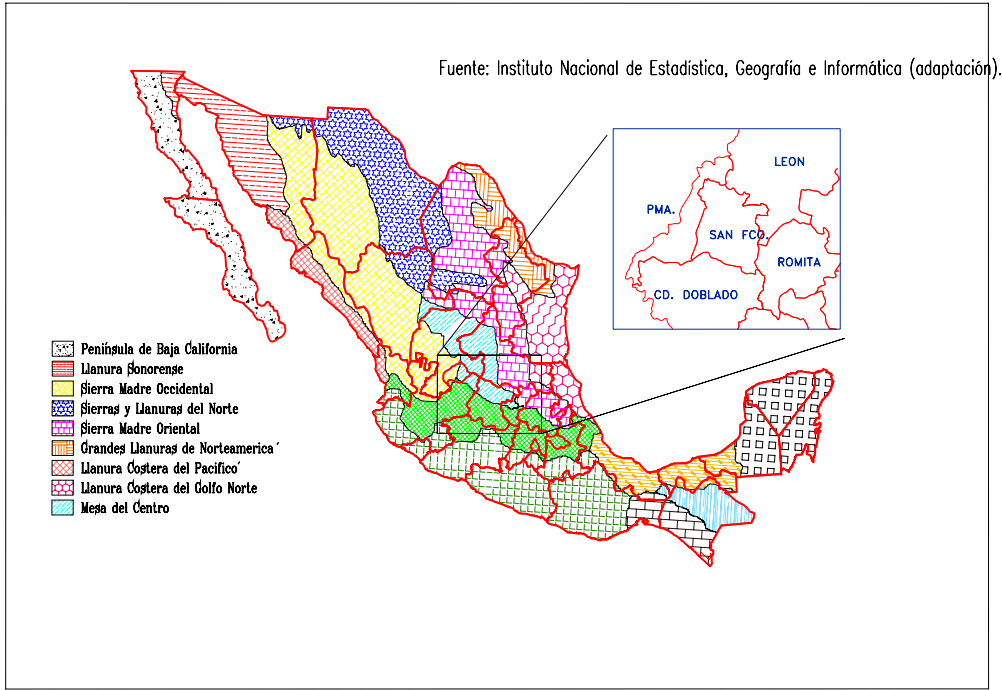


Figura 2.10 Provincias fisiográficas de la República Mexicana.

### III ESTRUCTURA GEOLOGICA Y SISMOTECTONICA DEL BAJIO (parte nor-occidental)

El Bajío es un rasgo característico de la fisiografía de la parte central de México. Se traduce como una extensa planicie cuya altitud se ubica entre los 1,700 y 1,750 metros sobre el nivel del mar. Representa el límite entre las provincias de la Mesa Central y de la Faja Volcánica Transmexicana.

El Bajío es una de las regiones más emblemáticas del territorio guanajuatense. Las ciudades más importantes del estado se localizan sobre esta gran planicie. Irapuato, Silao, León, San Francisco del Rincón-Purísima del Rincón (o Purísima de Bustos) ocupan su parte más noroccidental (Figura 3.1).

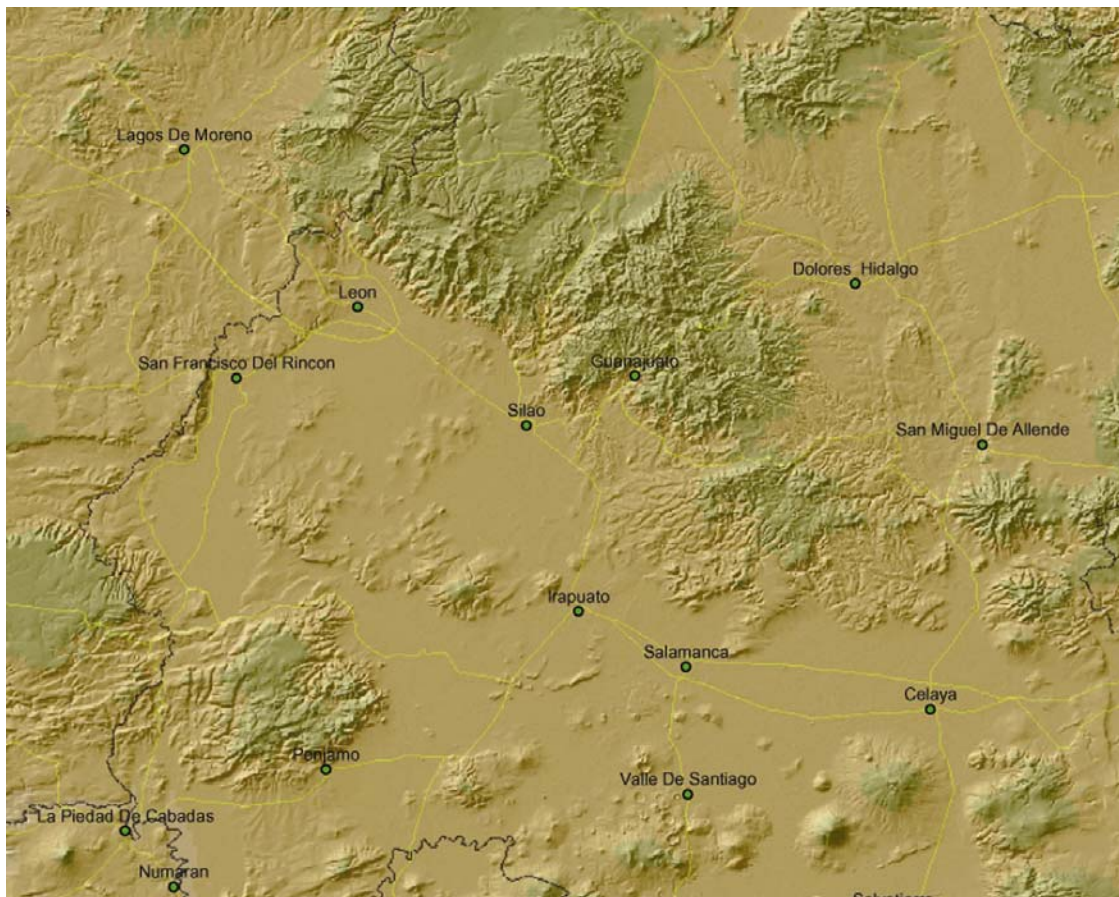


Figura 3.1 Imagen radar del Bajío guanajuatense.

La parte noroccidental de El Bajío tiene los siguientes límites naturales: al NE, la súbita emersión de la Sierra de Guanajuato que alcanza altitudes cercanas a los 3,000 metros; al SW, la emersión no menos súbita de una orografía de altitud más moderada, más plana, que desde la ciudad de León hasta Purísima del Rincón se manifiesta en forma de *mesas*, con algunos puntos que culminan a más de 2,000 metros. Estos límites son, en ambos casos, claramente tectónicos.

### **III.1 Geología de la Sierra de Guanajuato**

La Sierra de Guanajuato es un rasgo orográfico que se extiende a lo largo de más de 80 kilómetros sobre la terminación meridional de la Mesa Central, desde las inmediaciones de Lagos de Moreno, Jal. al NW, hasta los alrededores de la ciudad de Guanajuato, Gto. al SE; sus límites naturales son: la depresión de Lagos de Moreno al NW, la planicie del Bajío guanajuatense al SW y el *graben* de la Saucedá al SE. Hacia el NE su límite es difícil de precisar por la presencia de otros elementos orográficos.

La Sierra de Guanajuato es una entidad geológica donde convergen terrenos de diversos tipos y diferentes edades. Encierra mineralizaciones importantes, como en el Distrito Minero de Guanajuato, que antaño dieron fama al país más allá de sus fronteras.

La Sierra de Guanajuato está constituida por rocas que pueden agruparse en dos conjuntos litoestratigráficos claramente definidos: uno inferior, de origen marino y edad mesozoica, que representa su *basamento*; otro superior, de origen continental y de edad cenozoica, que representa su *cubierta*. Entre ambos, separándolos en el tiempo, aparece un cuerpo granítico de edad paleógena (Figura 3.2).



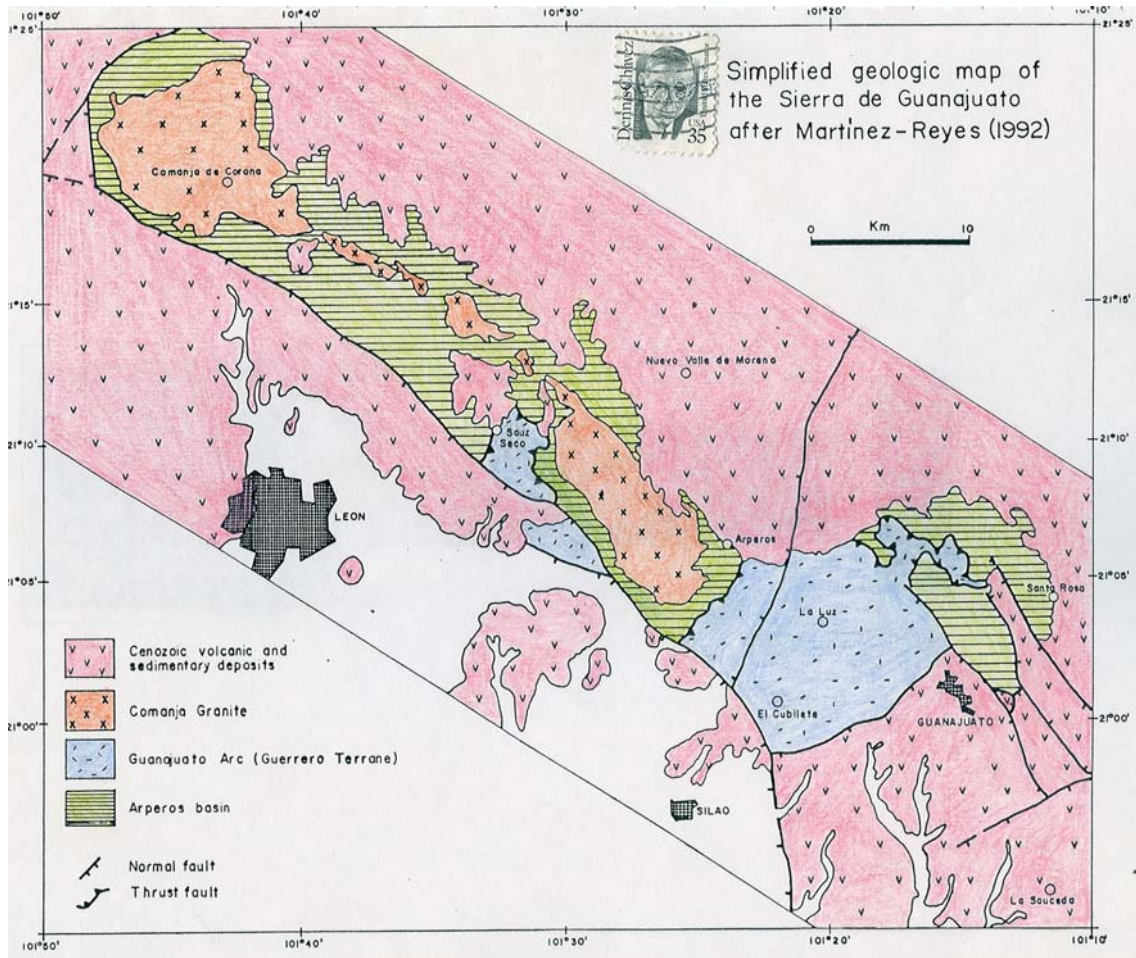
**El Basamento.** Las formaciones que representan el *basamento* constituyen el almacén estructural de la Sierra. Son ellas las que la caracterizan estratigráficamente, y pertenecen a dos secuencias de rocas distintas: una de origen magmático; otra de origen volcanosedimentario. Ambas son de edad mesozoica (Jurásico superior-Cretácico inferior, respectivamente) y representan ambientes geológicos diferentes.

La secuencia magmática está representada por cuerpos alóctonos de rocas ultramáficas (Piroxenita San Juan de Otates), tonalitas (Tonalita Cerro Pelón) y por una formación compuesta de material diorítico y tonalítico que encajona enjambres de filones (diques) de composición diabásica (Complejo Filoniano Santa Ana). Esta secuencia representa los productos magmáticos de un arco insular oceánico de origen pacífico, de edad Jurásico superior-Cretácico inferior (Arco Mágmatco de Guanajuato), acrecionado al continente norteamericano en el Cretácico medio.

La secuencia volcanosedimentaria por su parte, que constituye el autóctono, está representada por una formación (Formación Arperos) que incluye derrames submarinos de lavas de composición basáltico-andesítica en estructuras almohadilladas (pillow lavas), y sedimentos marinos diversos como calizas, calizas arcillosas, areniscas, lutitas y otros materiales clásticos y piroclásticos. La Formación Arperos ha sido interpretada como los sedimentos de una cuenca intraoceánica de edad Cretácico inferior (Cuenca de Arperos), de origen pacífico, acrecionada también durante el Cretácico medio al continente norteamericano.

Las formaciones del *basamento* han sido sometidas a esfuerzos tectónicos compresivos en diversas épocas geológicas. Como ha sido mencionado, han sido acrecionadas al continente norteamericano en el Cretácico medio (orogenia Oregoniana). Al final del Cretácico sufrieron los efectos de la orogenia Laramide. Esos fenómenos orogénicos produjeron en ellas una intensa deformación

(plegamientos y cizallamientos). Les imprimieron también un ligero metamorfismo regional de bajo grado (*esquistos verdes*) que conjuntamente con algunos fenómenos de alteración (sepentinización por ejemplo), les impusieron una coloración verdosa muy penetrativa (*rocas verdes*).



**Figura 3.2 Mapa geológico de la Sierra de Guanajuato**

**El Granito.** El cuerpo granítico es un intrusivo de grandes dimensiones (dimensiones batolíticas) que afecta al *basamento*, pero no a la *cubierta*. Aflora a favor de la orientación estructural de la Sierra (NW-SE) a lo largo de unos 50 kilómetros. Su composición petrográfica es poco variable (cuarzo + plagioclasa +

micas + otros ferromagnesianos) y no muestra metamorfismo regional ni deformación importante. Desarrolla sin embargo una importante aureola de metamorfismo de contacto (metamorfismo térmico). La edad absoluta que le ha sido calculada por métodos isotópicos está entre 55 y 49 Ma (millones de años), la que corresponde al Paleógeno temprano (Eoceno).

**La Cubierta.** Diversas formaciones representan la *cubierta* cenozoica de la Sierra de Guanajuato. Algunas son de alcance muy local y otras de alcance más regional. Todas son de naturaleza volcánica y clástica y de origen continental. Excluyendo el área del Distrito Minero de Guanajuato donde se ha establecido localmente una estratigrafía muy detallada, las formaciones cenozoicas de la Sierra se pueden agrupar en una sucesión litoestratigráfica que incluye, desde la más inferior (antigua) a la más superior (joven), las siguientes unidades:

**Conglomerados.** Esta unidad forma la base de la secuencia terciaria, directamente sobre las formaciones mesozoicas del *basamento*. Se distribuye preferencialmente sobre el flanco de la Sierra que mira al Bajío. Es un conglomerado compuesto de clastos (fragmentos) poco redondeados de diversas tallas provenientes de las rocas del *basamento*. Es de color rojo, compacto, fuertemente cementado por carbonatos y óxidos de Fe. En la literatura geológica se le conoce como Conglomerado Rojo de Guanajuato definido en el Distrito Minero de Guanajuato.

**Andesitas.** Estas rocas aparecen en afloramientos pequeños, muy aislados: en Bernalejo, al norponiente de la Sierra y en el arroyo El Gigante, al N del cerro El Cubilete. Descansan directamente sobre el granito o sobre las formaciones del *basamento*. Se trata de lavas de textura porfídica, con abundantes cristales de plagioclasa, augita y hornablenda. Se pueden correlacionar con la Andesita El Cedro del Distrito Minero de Guanajuato de edad oligocénica (30 Ma).

**Riolitas.** Estas rocas afloran especialmente hacia la mitad suroriental de la Sierra. Son lavas en estructuras fluidales que forman campos de domos, como en la Sierra El Ocote al ENE de Nuevo Valle de Moreno. En el Distrito Minero de Guanajuato se les ha definido como Riolita Chichíndaro, también del Oligoceno.

**Tobas e Ignimbritas.** Son rocas ampliamente distribuidas en la región. En la Sierra de Guanajuato aparecen mayormente sobre su mitad noroccidental. Se trata de espesos y extensos derrames subhorizontales de lavas y productos piroclásticos, de composición riolítica, atribuidos al paroxismo volcánico oligocénico que dio origen a la Sierra Madre Occidental.

**Gabro.** En el entorno de la comunidad de Arperos, hacia el centro-suroriente de la Sierra, aflora un cuerpo hipabisal de composición gabroica (labradorita + piroxenos + olivino + otros ferromagnesianos). Su edad absoluta no ha sido conocida, pero es posterior a las tobas e ignimbritas de la unidad anterior, a las que intrusióna.

**Gravas y arenas.** Sobre las estribaciones surorientales del flanco surponiente de la Sierra, aflora una formación clástica, poco consolidada, constituida por gravas, arenas y limos areno-arcillosos. Vestigios de estos mismos materiales aparecen en otros puntos de la Sierra, debajo de los derrames basáltico-andesíticos que forman la cúspide de los cerros El Cubilete y Los Gigantes, y la *mesa* Moreno, entre otros. Por su posición estratigráfica se les atribuye una edad miocénica tardía.

**Basaltos.** Aparecen en dos formaciones. Al norponiente de la ciudad de León aflora una serie de derrames de lava y materiales piroclásticos (tezontle) de composición basáltica, que en su conjunto estructuran el cerro Las Dos Aguas. Este cerro corresponde a una estructura volcánica de edad aún no definida.

Por otra parte, en diversos puntos de la Sierra afloran rocas volcánicas también de composición basáltica. Son derrames de lavas de origen fisural que

forman numerosas y pequeñas *mesas*, como las de Moreno y Santiago, así como las cimas de los cerros La Giganta y El Cubilete. El análisis isotópico de las lavas del cerro El Cubilete le asignan a esos basaltos una edad una edad del Mioceno (12 Ma).

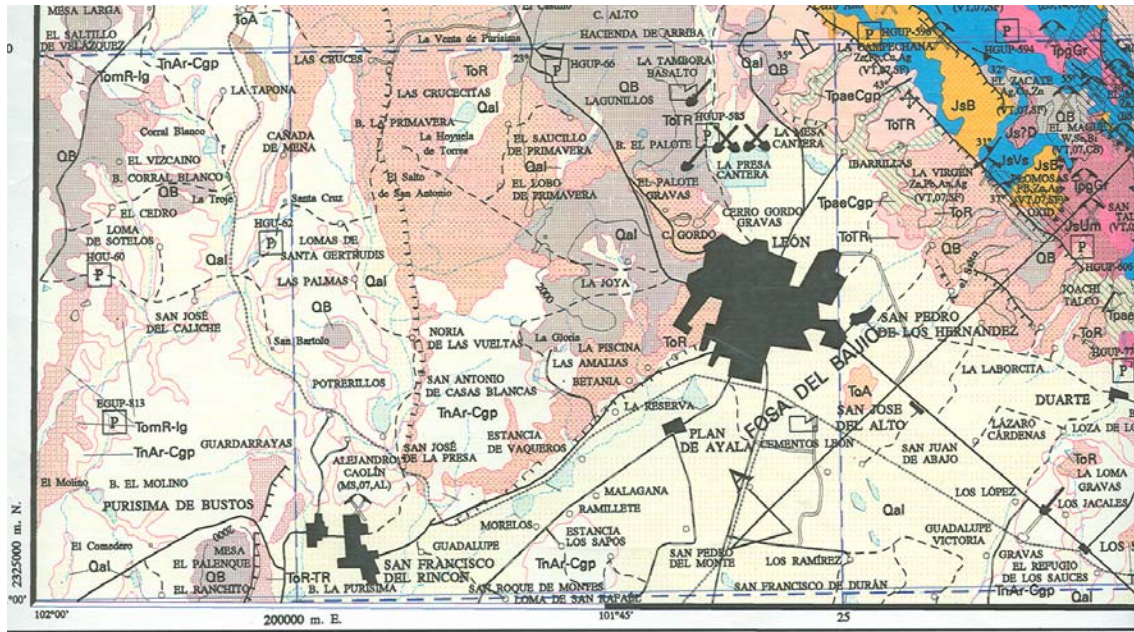
Contrariamente a las formaciones mesozoicas plegadas y cizalladas del *basamento*, las formaciones que representa la *cubierta* de la Sierra de Guanajuato no ha sufrido más deformación tectónica que un intenso fallamiento. Este fallamiento es el responsable, entre otros, de la emersión de la Sierra a través de un sistema de fallas de orientación NW-SE conocido como Sistema de Fallas del Bajío y, consecuentemente, de la individualización del Bajío como fosa o depresión tectónica.

Además de las fallas de orientación NW-SE como las fallas del sistema del Bajío, en la región también está presente otro sistema de fallas casi ortogonal al anterior, de orientación NE-SW.

### **III.2 Geología de la región Purísima, San Francisco del Rincón y León.**

Entre León y Purísima del Rincón así como San Francisco del Rincón, el límite noroccidental de El Bajío está bien delineado. Corresponde a una falla de orientación NE-SW que de manera súbita levanta una orografía de más de 200 metros por encima del nivel de la planicie.

La estratigrafía de este bloque emergido está representada por formaciones volcánicas y piroclásticas de composición riolítica (tobas e ignimbritas), materiales clásticos (conglomerados) y lavas y diversos productos volcánicos de composición basáltica.



**Figura 3.3 Mapa geológico de la región León-Purísima del Rincón (Extracto de la Carta Geológico-Minera Guanajuato F14-7, escala 1:250 000, CRM, 1997).**

Las formaciones riolíticas son las mismas tobas e ignimbritas oligocénicas que están presentes en la Sierra de Guanajuato. Pertenecen al cortejo volcánico de la Sierra Madre Occidental y están ampliamente distribuidas en la región.

Encima de las formaciones riolíticas cuya morfología es aproximadamente plana se depositan, hacia la región de Purísima del Rincón, una unidad conglomerática de probable edad Mioceno-Plioceno. Hacia la región de la ciudad de León, encima de las tobas e ignimbritas aparecen lavas de composición basáltica que forman los puntos culminantes del área. Estas rocas son el producto de la actividad de los volcanes representados por el cerro Las Dos Aguas al NW de León, y por lo que parece ser una pequeña caldera volcánica al W de esa misma ciudad, materializada por la depresión de la Joya. Al poniente de la ciudad de Purísima del Rincón, un grueso derrame de basaltos también está presente (mesa El Palenque).

Este volcanismo basáltico representa la última manifestación magmática de la región. Su edad no ha sido determinada por métodos isotópicos, pero por su posición estratigráfica se puede considerar del Mioceno tardío en el caso de los volcanes cercanos a la ciudad de León (12-6 Ma), y del Plioceno (menos de 5 MA) en el caso de los derrames del área de la ciudad de Purísima del Rincón.

Las estructuras tectónicas también están presentes en esta región. Además de la falla de orientación NE-SW que la limita de la planicie del Bajío, hay una falla importante de orientación claramente N-S que origina un *graben* (depresión o fosa tectónica) donde se depositan los conglomerados. Por esta razón esta falla debe considerarse anterior a los conglomerados y a los basaltos, pues no los afecta.

### **III.3 Estratigrafía y estructura del subsuelo de la parte noroccidental del Bajío**

Geológicamente El Bajío es una fosa tectónica rellena de materiales sedimentarios clásticos, volcánicos y volcanoclásticos que se han venido acumulando en las épocas geológicas más recientes. Esos materiales cubren un substratum irregular constituido por diversas formaciones, tales como las formaciones mesozoicas y cenozoicas que afloran en el entorno.

Los procesos tectónicos continuos a que ha estado sometida la corteza terrestre en esta parte del país durante el Cenozoico, especialmente durante el Neógeno y el Cuaternario, han desarrollado en la región un estilo estructural de pilares (*horsts*) y fosas (*grabens*). Son los responsables del origen del Bajío como cuenca o fosa tectónica, y de la configuración irregular de lo que hoy constituye su substratum. Desde su origen esta fosa ha venido siendo rellena por materiales diversos, que han venido acumulándose paulatinamente hasta formar la gran planicie regular que existe actualmente.

Los procesos más recientes de esta tectónica de distensión, ha favorecido el levantamiento de bloques en el interior de la gran planicie que es El Bajío,

afectando los materiales que han colmado la fosa. Esto ha permitido, en algunos puntos, la observación directa de algunas formaciones que constituyen el subsuelo.

Al S de León, en los cerros al W del rancho San Cristóbal, así como en los lomeríos que aparecen al N de Irapuato, se da el caso de estos afloramientos. En esos sitios afloran las secuencias sedimentarias propias del subsuelo del Bajío. Están representadas generalmente por formaciones constituidas por sedimentos clásticos y volcánicoclásticos (materiales aluviales como gravas, arenas, limos y arcillas en diversas proporciones) medianamente consolidados y burdamente estratificados, en posición subhorizontal. Una de estas formaciones, muy característica en la región, es una formación de calizas lacustres que ha sido y/o es utilizada como materia prima en la fabricación de cal y cemento.

La edad de esas secuencias es proporcionada por su posición estratigráfica: en ambos casos subyacen a derrames de lavas basálticas de probable edad miocénica. En otros sitios subyacen a un volcanismo del Plioceno.

La interpretación del subsuelo en El Bajío se establece a partir de la información directa que proporcionan los afloramientos existentes. Se complementa con la información indirecta que proporcionan las perforaciones de pozos profundos o los métodos de prospección de la Geofísica.

En la ciudad de Salamanca la Comisión Federal de Electricidad ha perforado un pozo hasta 700 metros de profundidad. La columna litoestratigráfica atravesada proporciona una idea general de las formaciones ocultas en el subsuelo del Bajío (Figura 3.4). En Salamanca el subsuelo está representado por un relleno poco consolidado de material lacustre, volcánico y aluvial que alcanza los 300 metros de espesor, encima de un substratum consolidado representado por formaciones volcánicas (ignimbritas y basaltos) y sedimentarias (arenas).



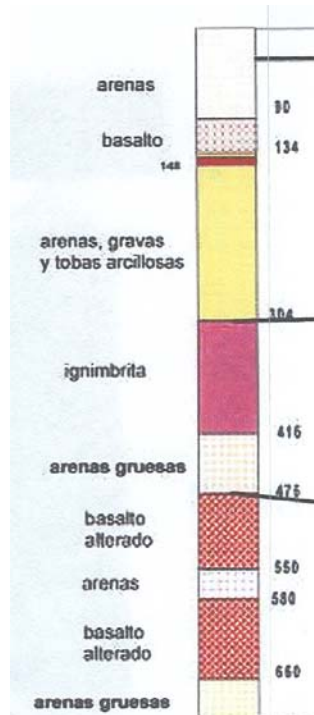


Figura 3.4 Columna litoestratigráfica del subsuelo del Bajío atravesada por un pozo profundo en la ciudad de Salamanca

El substratum y parte del relleno es afectado, como se ha dicho, por fallas diversas; no así los depósitos más recientes. Sin embargo es bien conocido que en las últimas décadas en diversos puntos del Bajío se han venido presentando fenómenos de subsidencia que se manifiestan por el fallamiento y agrietamiento de esos terrenos no consolidados, fenómenos que han dañado severamente la estructura urbana en diversas ciudades. El origen de estos fenómenos generalmente es atribuido a la sobreexplotación y consecuente agotamiento de los acuíferos de la región. Su relación con las manifestaciones de la actividad tectónica actual ha sido poco investigada.

#### III.4 La Sismicidad en El Bajío

Como ya ha sido mencionado, esta parte de El Bajío marca el límite o la transición entre la Mesa Central y el Cinturón Volcánico Mexicano. Este último se caracteriza sísmicamente por registrar mayormente eventos de pequeña magnitud que se originan por la actividad de las numerosas fallas que también lo caracterizan. Esos pequeños sismos en general se caracterizan por ocurrir en *enjambres sísmicos*, es decir, en series o secuencias que suelen durar días o semanas.

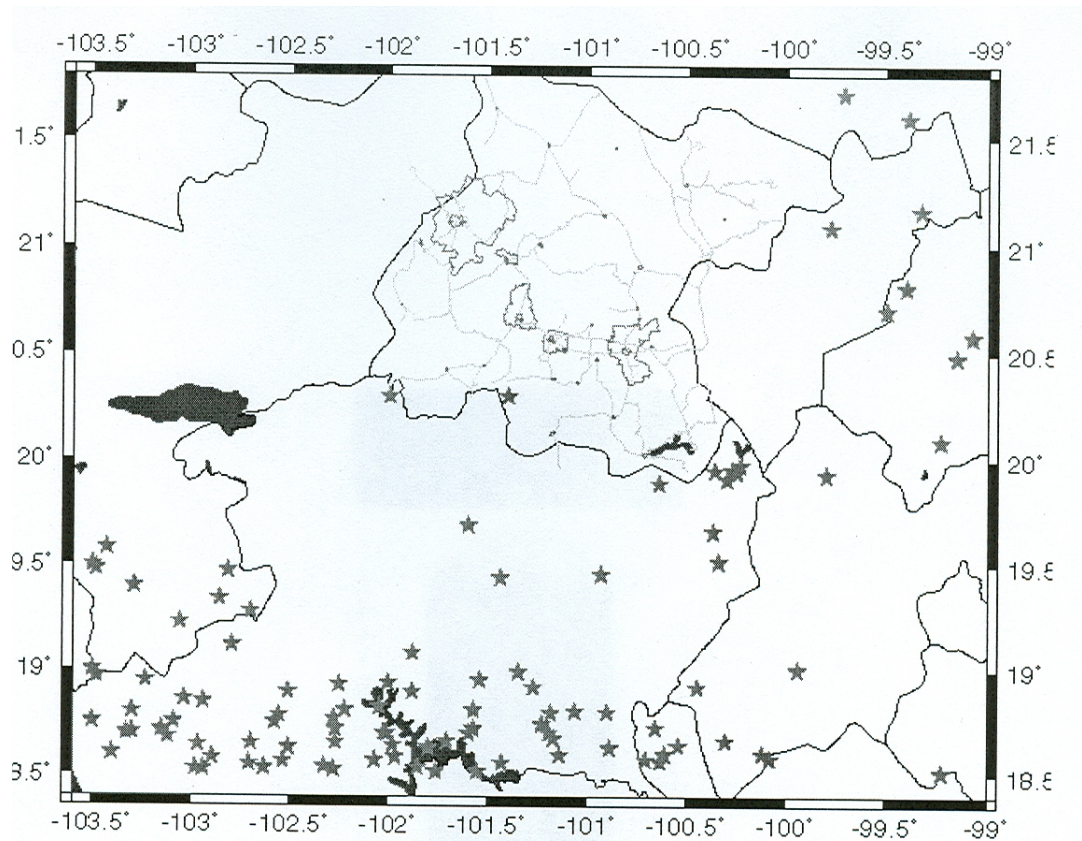
Aunque poco frecuentes, el Cinturón Volcánico Mexicano no ha estado exento de eventos telúricos mayores (de magnitudes de 7.0 grados o más). Históricamente esos sismos han causado daños considerables a las poblaciones cercanas a los epicentros, y se han sentido fuertemente en la región de El Bajío.

En esta región llega a sentirse también la sismicidad que se origina en la costa pacífica, por el fenómeno de subducción de las placas litosféricas. Es sensible especialmente a los grandes sismos que ocurren en la zona Jalisco-Colima. La información al respecto no ha reportado sin embargo daños importantes en ciudades como Irapuato, Silao, León y San Francisco del Rincón-Purísima del Rincón.

Aunque el siglo XIX está marcado por la ausencia de registros instrumentados de la sismicidad, las referencias hemerográficas dan cuenta que en esa época en El Bajío se sintieron dos grandes sismos: el 19 de junio de 1858 con epicentro en Patzcuaro; y el 11 de noviembre de 1874 cuyo epicentro se infiere en las cercanías de la ciudad de Guanajuato. El primero, que causó muertes y fuertes daños materiales en Patzcuaro, fue fuertemente sentido en León, donde provocó conmoción y pánico. Sin embargo no se reportaron daños en otras ciudades del Bajío, a pesar de que sus efectos alcanzaron la ciudad de México y se sintieron hasta en poblaciones del estado de Hidalgo. Suarez y García (1996) detallan grandes sismos que fueron sentidos o afectaron la región de El

Bajío durante los siglos XVIII, XIX y principios del XX, antes de los registros instrumentados de la sismicidad.

Entre 1912 y el final del siglo pasado, después que se ha instrumentado el registro de la sismicidad, se conocen cerca de 100 sismos ocurridos en la zona de influencia de El Bajío. Los de mayor magnitud ocurrieron el 18 de junio de 1932 (7.8 grados) y el 15 de abril de 1941 (7.7 grados), y fueron sentidos fuertemente en la región. La Figura 3.5 recapitula la sismicidad registrada en esta parte del país, durante ese periodo de tiempo.



**Figura 3.5 Epicentros de los sismos de magnitud igual o mayor a 4.0 grados ocurridos en la zona de influencia del Bajío.**

Finalmente, de acuerdo a la regionalización sísmica del país (Zúñiga et al., 1997), El Bajío pertenece a una región de riesgo sísmico intermedio a bajo, en donde la aceleración máxima del terreno esperada para un periodo de retorno de 500 años, es menor a 100 cms/seg<sup>2</sup>.

### **III.5 Interpretación del subsuelo de la Ciudad de Purísima y San Francisco del Rincón.**

La población de Purísima del Rincón o Purísima de Bustos se localiza hacia el límite más noroccidental de la planicie del Bajío. Su altitud sobre el nivel del mar es de 1 760 metros.

Su entorno geológico superficial está representado por rocas volcánicas y clásticas de naturaleza continental (Figura 3.6). Las primeras consisten en tobas (Pot) e ignimbritas de composición riolítica del Oligoceno, así como lavas de composición basáltica del Plioceno (Npb). Las segundas están representadas por un conglomerado poligmítico del Mioceno (Nmc). Estratigráficamente esta formación se ubica entre la formación riolítica y la formación basáltica.

La información obtenida para la interpretación del subsuelo donde se asienta la ciudad ha sido muy escasa. Sin embargo ha sido, junto con la geología superficial, suficiente para esquematizar su estratigrafía y su estructura.

El subsuelo de la ciudad está constituido por una formación representada por materiales sedimentarios (gravas, arenas, limos y arcillas en diversas proporciones) poco o no consolidados, sobre una formación de composición riolítica representada por tobas e ignimbritas (Poi) del Oligoceno (Figuras 3.7 y 3.8).

El subsuelo de la ciudad está constituido por una formación representada por materiales sedimentarios (gravas, arenas, limos y arcillas en diversas

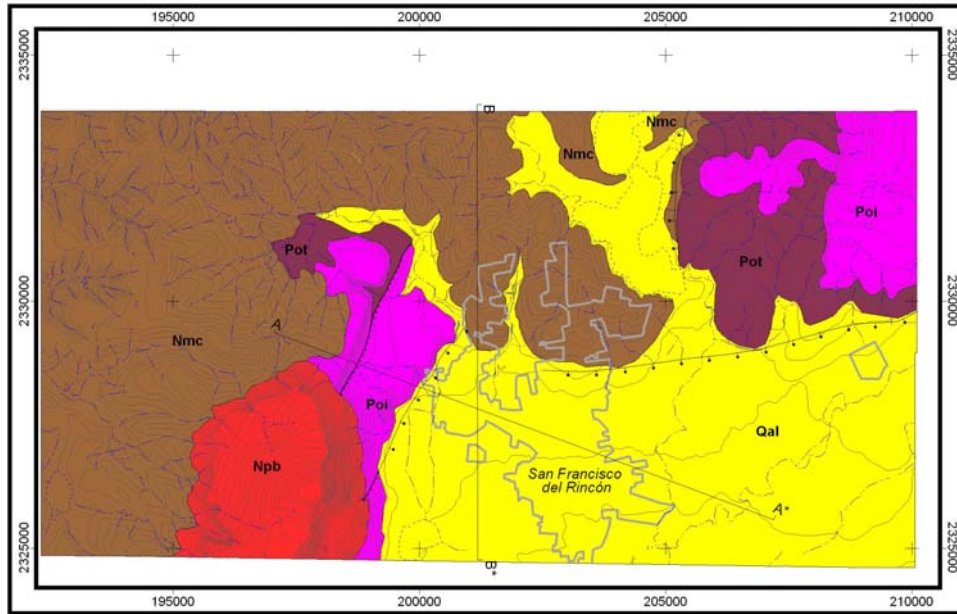


Figura 3.6 Entorno geológico de la ciudad de Purísima del Rincón. Explicación: Tobas (Pot) e ignimbritas (Poi) riolíticas del Oligoceno; Conglomerados poligmíticos del Mioceno (Nmc); Lavas basálticas del Plioceno (Npb); Materiales aluviales (Qal).

proporciones) poco o no consolidados, sobre una formación de composición riolítica representada por tobas e ignimbritas (Poi) del Oligoceno (Figuras 3.7 y 3.8).

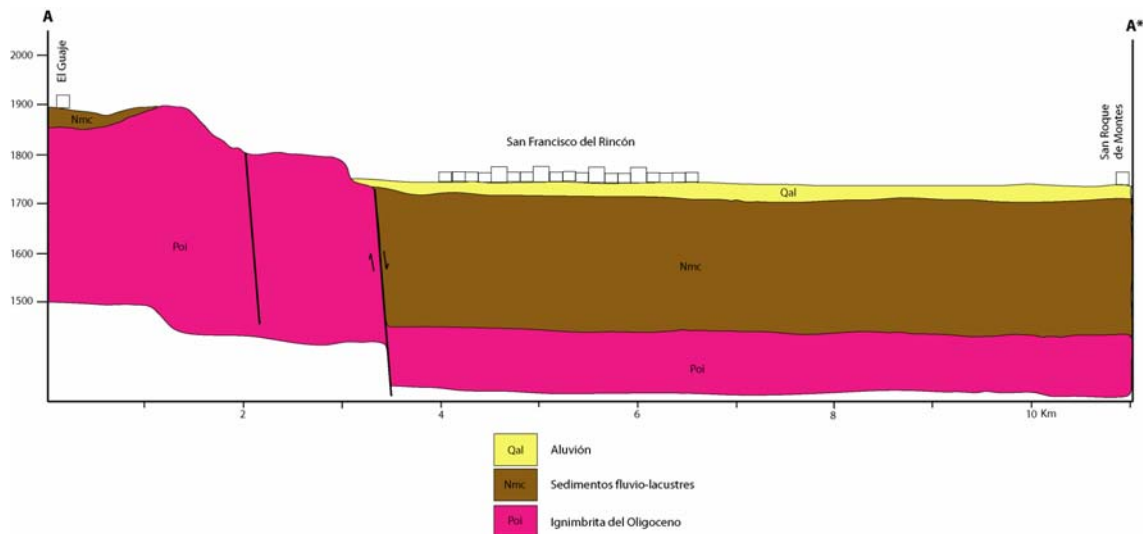


Figura 3.7. Estratigrafía y estructura del subsuelo de Purísima del Rincón.

En los sedimentos debe incluirse la formación conglomerática del Mioceno (Nmc), y ocasionalmente horizontes de sedimentos carbonatados (calizas) de origen lacustre. Su espesor puede alcanzar 200 metros.

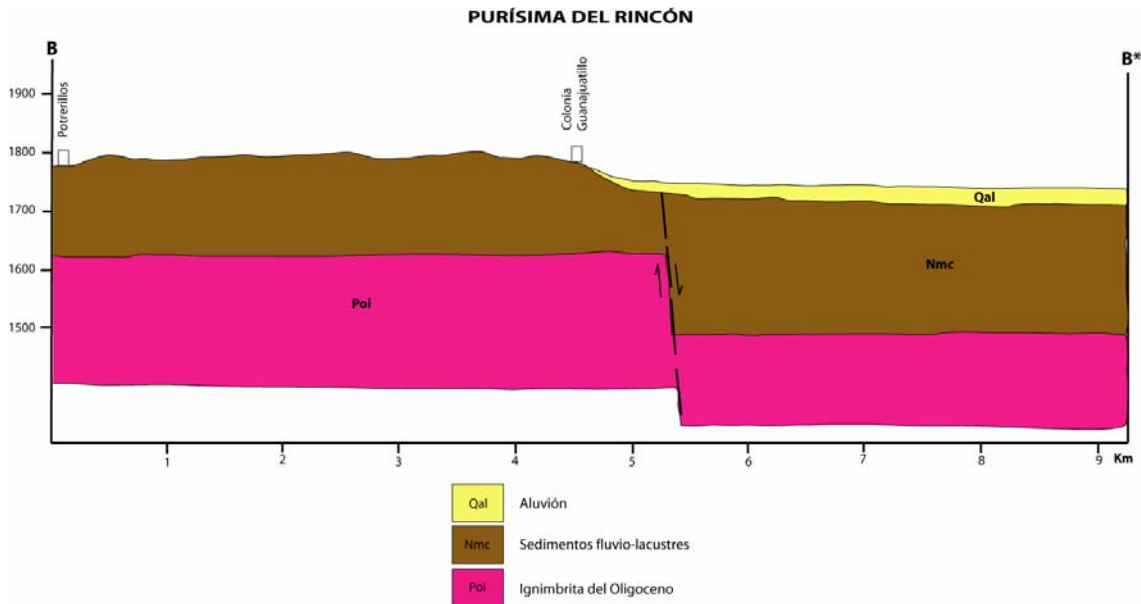


Figura 3.8 Estratigrafía y estructura del subsuelo de Purísima del Rincón.

En la sección de la Figura 3.8 se refleja la presencia de la falla NE-SW que limita la planicie del Bajío, oculta bajo los materiales aluviales recientes.

La presencia de fallas o agrietamientos recientes en los sedimentos no consolidados, no ha sido reportada hasta ahora para esta zona, como es el caso de otros puntos en el Bajío. La ausencia de este tipo de fenómenos en esta ciudad podría explicarse bajo la consideración de que el espesor de esos sedimentos no parece ser demasiado grande, como en el caso de las ciudades donde sí se ha dado (Irapuato, Silao, Celaya, Abasolo, Salamanca, etc.), bajo la hipótesis de la compactación de los medios porosos como consecuencia de la sobre-explotación de los mantos acuíferos.

## IV METODOLOGIA APLICADA

La ciudad de San Francisco y Purísima del Rincón, carece como muchas otras del país con instrumentación o monitoreo sísmico que pudiera ser utilizada para la elaboración de una zonación sísmica de las ciudades, debido a esta carencia se emplean métodos como el de vibración ambiental para poder obtener las diferencias relativas en cuanto a periodo se refiere, y con estos periodos puede hacerse la interpretación apropiada para la elaboración de las curvas de isoperiodos y a través de esto proponer la zonación sísmica de las zonas o áreas instrumentadas con este proceso.

### IV.1 Marco teórico.

Para la determinación de las características o propiedades dinámicas del suelo, se puede recurrir a métodos orientados al empleo de técnicas de campo y analíticas, donde cada una de manera particular aporta elementos o parámetros que aproximan el comportamiento dinámico del suelo al poder determinar las funciones de transferencia de los depósitos superficiales, lo que permite proponer mapas de microzonificación de regiones específicas en las que se cuente o genere información aplicable por alguno de los métodos.

Los parámetros que básicamente inciden en dicho comportamiento son: la velocidad de compresión, velocidad de cortante, módulo de cortante y relación de Poisson; los métodos empleados para la obtención de estos parámetros están basados por un lado en el análisis de registros acelerográficos de terremotos ocurridos o por *vibración ambiental* o refracción sísmica (**métodos directos**) y por otro lado, los métodos analíticos apoyados en *estudios de campo y laboratorio* (**métodos indirectos**). Los primeros tienen como objeto el determinar la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas, mientras que los segundos se enfocan en determinar su respuesta; por tal razón, generalmente los estudios de microzonificación sísmica son trabajos multidisciplinarios en los que convergen

esfuerzos de geólogos, geofísicos, sismólogos y de las áreas de ingeniería sísmica y estructural entre otros (Fah D. Noack T., 1992); con ello se logra la combinación de predicciones teóricas a través de la formulación de modelos de comportamiento y su validación a través del tiempo con la obtención de registros de eventos reales que permitan calibrar y ajustar la microzonificación propuesta.

En este trabajo se utilizaron métodos directos e indirectos ya que ambos se complementan y se ajustan a la información y equipo disponible. Los métodos basados en sismos reales arrojan una mayor aproximación en los resultados, desafortunadamente como ya se ha comentado no se cuenta con registros de estaciones acelerográficas por la simple razón de que no existen en la zona de estudio. Sin embargo, las caracterizaciones geotécnicas con que se cuenta, las clasificaciones de tipos de suelo y sus propiedades físico-mecánicas, así como la configuración del lecho rocoso, son elementos valiosos de soporte en el análisis de los registros de vibración ambiental, así mismo las correlaciones entre las propiedades estáticas y dinámicas de los suelos son importantes para los mismos fines.

#### **IV.2 Método de vibración ambiental.**

El método de vibración ambiental consiste en una técnica basada en la obtención de registros de microtremores producidos por la propia actividad cotidiana de las ciudades, lo cual nos permite estimar el periodo dominante de los estratos sedimentarios del subsuelo, ya que esta relacionado con el espesor de los sedimentos y con la velocidad promedio de propagación de onda S. Las vibraciones del suelo generalmente se clasifican en movimientos sísmicos que pueden ser débiles o fuertes. El tipo de movimientos que en este caso nos ocupa es el de los movimientos débiles o microtremores los cuales dependen principalmente de la actividad humana; están compuestos por ondas Rayleigh y ondas S con rangos de periodo corto menores a uno o dos segundos y se ha observado que el periodo dominante de un movimiento sísmico concuerda con el



periodo dominante que se obtiene a través de un registro de vibración ambiental por lo que es fiable su utilización (Lermo J. Cuenca J., 1993).

Uno de los primeros países que comenzó a utilizar esta técnica fue Japón (1950) y después en varios países mas ha sido utilizado el análisis de relaciones espectrales entre dos registros sísmicos obtenidos de dos estaciones que existan en la localidad, una ubicada en lecho rocoso (estación de referencia) y la otra ubicada en terreno suave, este tipo de análisis requiere de por lo menos dos estaciones y el registro de varios sismos, lo cual puede ocurrir en periodos de varios años. Otra técnica de relaciones espectrales consiste en determinar la razón entre las componentes horizontales con respecto a la componente vertical, a través de la cual se obtiene el periodo fundamental del sitio.

Se han desarrollado también otros métodos de análisis de las relaciones espectrales y que han sido ampliamente utilizados por sus bondades, estos métodos contemplan la relación espectral de las componentes horizontales con respecto a la componente vertical teniendo como base la obtención de registros de vibración ambiental o microtremores (así llamados a los registros sísmicos cuya fuente es el ruido ambiental, producidos por el trafico de personas y maquinaria cercanas a los aparatos de medición que captan la excitación de ondas Rayleigh).

### **IV.3 Técnica de Nakamura.**

Uno de estos métodos es el propuesto por el Ingeniero japonés Nakamura en el año 1989, quien desarrollo esta técnica de análisis a partir de la obtención de registros de ruido ambiental en la superficie del suelo; la aplicación de la metodología que propone se ha extendido en varias partes del mundo, debido a la relativa facilidad de obtención de los registros y es hoy en día uno de los procedimientos mas conocidos y utilizados para la configuración de estos mapas de igual periodo dominante y microzonificación sísmica, sobre todo en ciudades o regiones donde la sismicidad es de moderada a baja (Lermo F. Chávez G., 1994)

ya que generalmente no cuentan con registros de sismos que además hayan sido obtenidos de manera simultanea tanto en estaciones localizadas sobre terreno suave como en terreno rocoso. Con el empleo de la técnica de Nakamura, los registros pueden ser obtenidos en cualquier sitio y en cualquier momento, además se ha observado que aunque el ruido ambiental varia a lo largo del día, el periodo dominante del suelo se conserva invariable (Alfaro A., 2000); además otra característica y quizá la mas importante en la aplicación de esta técnica es que no requiere de una estación de referencia (Lermo, 1997).

A través de estos registros se puede estimar con buena aproximación el periodo fundamental del deposito de suelo pero no la amplificación (Coral H., 2002) en la superficie del terreno por lo que resulta factible el calculo de los periodos dominantes en suelos blandos de regiones donde no existen estaciones sismológicas o donde la información de estas es escasa y aun cuando han sido desarrolladas otras técnicas que utilizan los registros de vibración ambiental y calculo de los cocientes espectrales en función de una estación ubicada en suelo firme u otras que se basan en la interpretación directa de los espectros de amplitudes de Fourier; han sido evaluadas varias de ellas (Lermo, 1990) llegando a la conclusión de que la técnica desarrollada por Nakamura para la interpretación de los registros de microtemores es la que mayores ventajas ofrece ya que se obtienen de ella resultados confiables similares a los obtenidos con sismogramas y es aplicable para un rango bastante amplio de periodos fundamentales del terreno ( de entre 0.30 y 5 Hz.).

La técnica de Nakamura ha tenido bastante aceptación ya que tanto la obtención de registros como el procesamiento y análisis de datos es relativamente sencillo; consiste en la obtención de los espectros de Fourier de las componentes horizontales y vertical y la relación espectral entre ambas, con lo cual se obtiene de manera aproximada la función de transferencia en la cual se amplifican diferentes valores frecuenciales debidos fundamentalmente al espesor de las capas de suelo y la velocidad de corte (Coral H., 2002).

Ante la carencia en las ciudades estudiadas no cuentan con estaciones sismológicas, esta técnica representa una valiosa herramienta que ha sido ya utilizada en varias ciudades de nuestro país por las ventajas tanto técnica como de bajo costo que ofrece; es así como, ha servido también de complemento para estudios de riesgo sísmico de ciudades que si cuentan con estaciones sismológicas pero que el numero de registros son insuficientes para conformar las curvas de igual periodo como son los estudios realizados para ciudades como: Oaxaca, Acapulco, Veracruz , la ciudad de México (Lermo J., 1991) Santiago de Cali y el Salvador entre varias mas; por tanto, la integración de datos de sismos fuertes y de microtremores (Lermo J., Chávez F., 1993) ha permitido la formulación de mapas de periodos dominantes de varias ciudades.

La técnica de Nakamura basa su hipótesis de partida en que un microtremor es originado principalmente por la propagación de ondas Rayleigh cuyo efecto fuente puede determinarse a partir del cociente entre las componentes verticales del movimiento en la superficie del estrato del suelo y que la amplificación que se registra en la superficie del terreno se debe a las propiedades mecánicas de los estratos que descansan sobre la capa dura denominada semi-espacio; en base a estas consideraciones se ven involucradas cuatro componentes del movimiento: horizontal y vertical para el semi-espacio y horizontal y vertical para la superficie.

Para estimar de manera aproximada la función de transferencia de las capas superficiales del suelo, supone que el ruido producido por la vibración ambiental esta compuesta por varios tipos de ondas. Este método formula eliminar el efecto de las ondas Rayleigh, considerando además que los microtremores son similares tanto horizontal como verticalmente en la base rocosa.

De acuerdo a la técnica propuesta por Nakamura. (Lermo J., Chávez F.,

1993), es posible evaluar el efecto de amplificación de la fuente,  $A_S$  mediante el cociente de la ecuación 4.1:

$$A_S = \frac{V_S}{V_B} \quad (4.1)$$

Donde  $V_S$  representa el espectro de amplitud de la componente vertical de movimiento en la superficie y  $V_B$  el espectro de amplitud de la componente vertical de movimiento en el semi-espacio.

Nakamura define también el efecto de sitio  $S_E$ , como el cociente de la ecuación 4.2:

$$S_E = \frac{H_S}{H_B} \quad (4.2)$$

Donde  $H_S$  representa el espectro de amplitud de la componente horizontal de movimiento en la superficie y  $H_B$  el espectro de amplitud de la componente horizontal de movimiento en la base de la capa de suelo.

Para compensar  $S_E$  por el efecto de la fuente, se obtiene una función de efecto de sitio modificada,  $S_M$ , como:

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} \quad (4.3)$$

La cual es equivalente a:

$$S_M = \frac{H_E}{A_S} = \frac{\left( \frac{H_S}{V_S} \right)}{\left( \frac{H_B}{V_B} \right)} \quad (4.4)$$

A partir de mediciones de microtremores en la superficie y el inicio de la capa dura, Nakamura obtuvo experimentalmente que la relación  $H_B / V_B$  se podía considerar igual a la unidad, es decir:

$$\frac{H_B}{V_B} = 1 \quad (4.5)$$

Por lo que, confiablemente la función de efecto de sitio se puede obtener mediante la relación:

$$S_M = \frac{H_S}{V_S} \quad (4.6)$$

#### IV.4 Instrumentación .

Respecto a la selección de los sitios para instrumentar primeramente y con la ayuda de los estudios realizados por el Dr. Juventino Martínez (Facultad de Geociencias UNAM-UAQ) específicamente para el presente trabajo sobre la geología regional se identifican dos áreas dominantes que son las formaciones de composición riolítica representada por tobas e ignimbritas y el área de sedimentos y la formación conglomerática con algunos sedimentos de origen lacustre. Tomando en cuenta la topografía de la zona y la ubicación de los diferentes pozos que existen en la zona se delimitó el área y los lugares en donde se realizó la instrumentación , en la figura 4.1 se muestran estos sitios con su ubicación global en la zona de estudio, en la tabla 4.6 del apéndice 1 pueden apreciarse el número

de mediciones por registro y con el objeto de proporcionar la ubicación exacta de los mismos se muestra su ubicación en UTM (universal trasversal mercator).

Los registros fueron obtenidos como ya se menciono al inicio de este trabajo con un acelerógrafo propiedad de la Universidad de Querétaro que cuenta con un sensor triaxial, con una respuesta plana de hasta 50 Hz, rango dinámico de 114db fondo de escala de 1g y nivel de resolución de  $37.4\mu\text{m}/\text{seg}^2$  por bit.

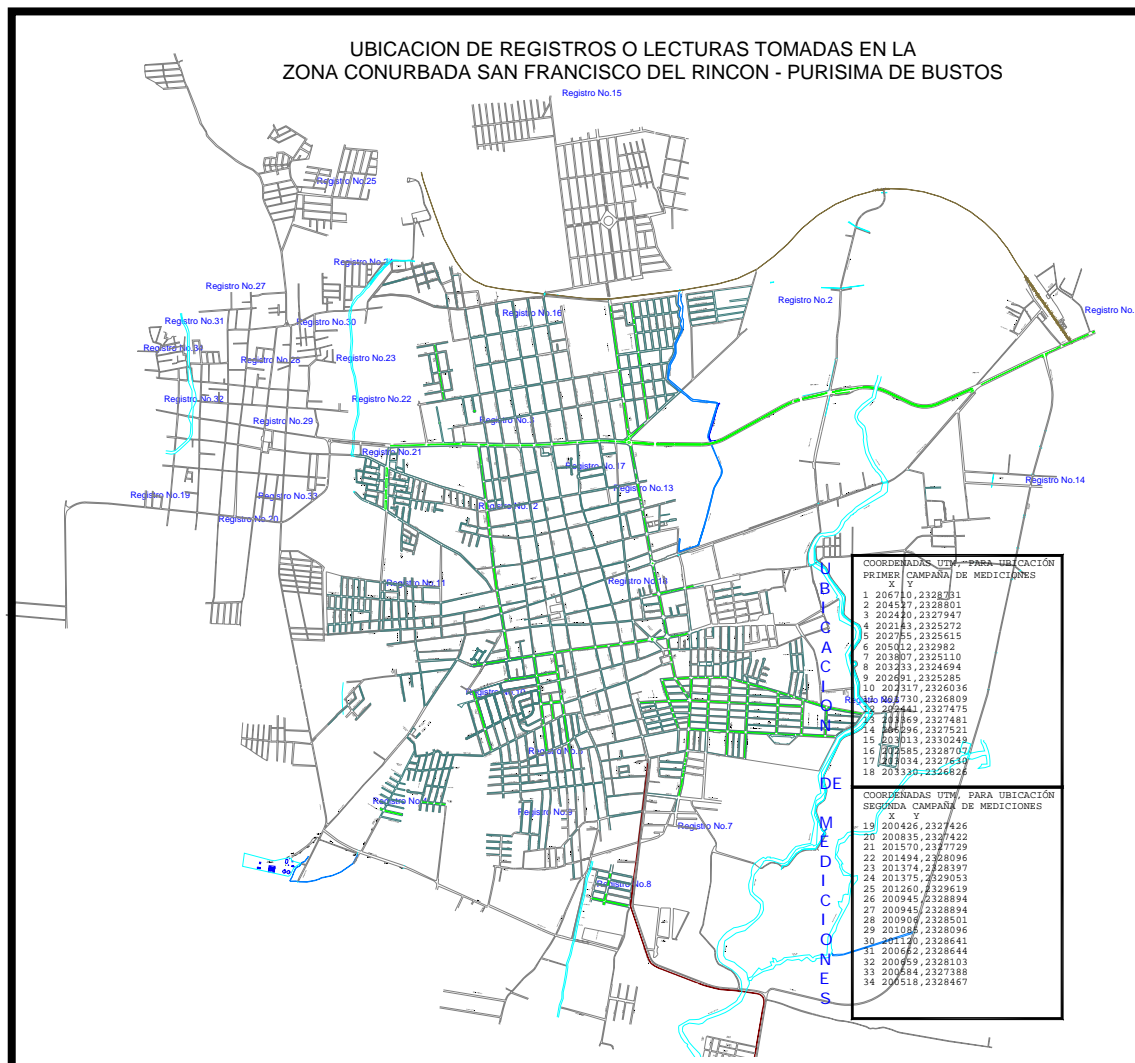


Figura 4.1, Sitios instrumentados en la zona de estudio.

La duración mínima de cada registro fue de por lo menos 60 seg. Tomando la medición de vibraciones 3 veces consecutivas en el mismo sitio y descartando inmediatamente aquellas de duración menor a 60 seg.

#### **IV.5 Proceso de los registros obtenidos.**

Una vez contando con los registros de vibración, y la información geológica posible así como los cortes litológicos de algunos pozos de la región se da aplicación a la técnica de Nakamura, ayudados por programas de computo como lo es el DETGRA 2000 desarrollado en el instituto de Ingeniería de la UNAM por Ordaz y Montoya, con el cual se determinaron los espectros de Furier para las componentes vertical y horizontal en dirección norte- sur y este-oeste (figura 4.15 a manera de ejemplo), de acuerdo a la técnica de Nakamura y utilizando la misma herramienta se obtiene el cociente de ambas componentes horizontales con respecto a la componente vertical dando como resultado las funciones de transferencia a manera de grafica.

Como en cualquier tratamiento de señales, éstas deben ser corregidas por línea base, luego poder calcular los espectros de Fourier de cada componente, los cuales son suavizados, para finalmente calcular las relaciones espectrales punto a punto.

Para realizar sistemáticamente dichas operaciones, se utiliza el programa DEGTRA 2000, versión 1.1.7 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, desarrollado por Mario Ordaz Schroeder y Carlos Montoya, que necesita como entrada los registros de las tres componentes de los microtemblores, el intervalo de tiempo de la señal a analizar y la longitud de la ventana a utilizar.

El análisis de las señales, utilizando el programa DEGTRA, se puede tratar a través de las herramientas tipo menú, siguientes: a) Línea base, b) Suavizado de los espectros de Fourier, c) Módulo de lectura de datos, d) Módulo de corrección

de línea base, e) Módulo de cálculo de los espectros de Fourier, f) Módulo de suavizado de los espectros de Fourier, g) Módulo de cálculo de las relaciones espectrales y h) Módulo de salida.

**Línea base.** La corrección de línea base se realiza ajustando una recta mediante mínimos cuadrados, para posteriormente efectuar la recta punto a punto entre la señal y la recta de regresión obtenida, ya que las señales registradas presentan inclinación de la pendiente; sin embargo, para unos pocos casos se observaron derivas del tipo parabólico.

A partir de los espectros suavizados se calculan las relaciones espectrales:

$$\frac{S_{NS}}{S_V} \quad (4.7)$$

$$\frac{S_{EW}}{S_V} \quad (4.8)$$

Donde,

$S_{NS}$ : módulo del espectro de Fourier suavizado de la componente N-S

$S_{EW}$ : módulo del espectro de Fourier suavizado de la componente E-W

$S_V$ : módulo del espectro de Fourier suavizado de la componente V.

**Suavizado de los espectros de Fourier.** El suavizado de los espectros de Fourier de los registros de microtemblores, se realiza mediante diferentes técnicas algunas comúnmente utilizadas como la de la ponderación de amplitudes y las medias móviles. La que se ha utilizado en este estudio es la de la ponderación, que a continuación se explica:



El suavizado se aplica a los módulos de FFT (Fast Fourier Transform). Consiste en calcular una media ponderada dando un peso mayor a la amplitud dada y disminuyendo a los lados. La expresión utilizada es:

$$y(i) = \frac{1}{64} [x(i-3) + x(i-2)6 + x(i-1)15 + x(i)20 + x(i+2)6 + x(i+3)]$$

(4.9)

donde:

$x(i)$ , es el valor calculado del módulo de la FFT en el punto  $i$

$y(i)$ , es el valor suavizado del módulo de la FFT en el punto  $i$

El programa de computación desarrollado por Mario Ordaz Schroeder y Carlos Montoya consta de los siguientes módulos:

**Módulo de lectura de datos.** Lectura de los tres componentes del registro de los microtemblores a analizar componentes N-S, E-W y Vertical.

Lectura de la longitud de la ventana temporal y del tramo del registro a considerar en el análisis definido por el tiempo inicial y el tiempo final considerado.

**Módulo de corrección de líneas base.** Se efectúa la corrección por línea base ajustando a una recta y corrigiendo la señal punto a punto por una recta de tendencia, obteniéndose una señal libre del efecto de offset y deriva instrumental.

**Módulo de cálculo de los espectros de Fourier.** Para la ventana ya definida se calcula la transformada de Fourier de la señal, para cada componente, con un algoritmo de cálculo de FFT.

**Módulo de suavizado de los espectros de Fourier.** El suavizado del módulo de los espectros de Fourier de las tres componentes se realiza considerando un promedio ponderado o media móvil.

**Módulo de cálculo de las relaciones espectrales.** A partir de los espectros de Fourier suavizados se calculan las relaciones espectrales ya anotadas. De acuerdo el número de ventanas temporales consideradas en el análisis, se obtienen las relaciones espectrales promedio, las desviaciones estándar y los intervalos de confianza.

**Módulo de salida.** Se generan archivos para graficar la señal corregida, los espectros de Fourier sin suavizar y suavizados y relaciones espectrales calculadas.

#### IV.5.1 Aplicación de la metodología en la obtención del periodo

A continuación se muestra paso a paso el procedimiento para obtener el periodo dominante de las mediciones obtenidas en campo a manera de ejemplo.

El acelerógrafo que se utilizó (GSR-18) genera archivos que podemos visualizar gráficamente con su programa (All View) por lo tanto es necesario realizar algunos pasos para que puedan ser manipulados en otros programas como Excel, entre otros.

1. Se ejecuta el programa del acelerógrafo, "All View", donde en la barra de menú se selecciona PC-Files, luego "Display Event (Binary Input)", ver figura 4.2.

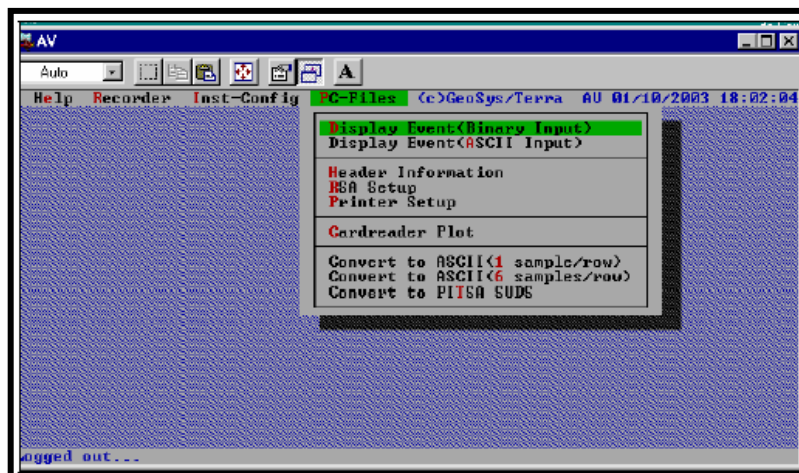


Figura 4.2. Pantalla del programa All View, para el proceso de información

2. Se busca el archivo con extensión GSR (archivo generado por el acelerografo) que se quiere convertir a extensión ORI y se da doble clic (Figura 4.3).

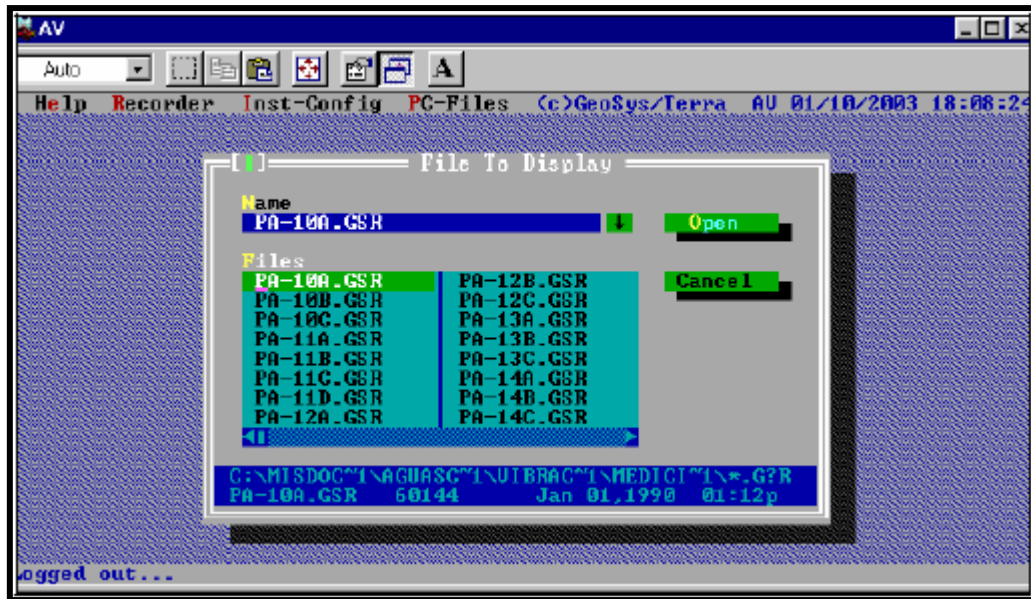


Figura 4.3. Archivo seleccionado, con extensión GSR.

3. Para visualizar el registro, aumentando el zoom, se utilizan las flechas del cursor hacia arriba. En la siguiente Figura 4.4 las gráficas de las señales que genera el acelerografo de las tres componentes.

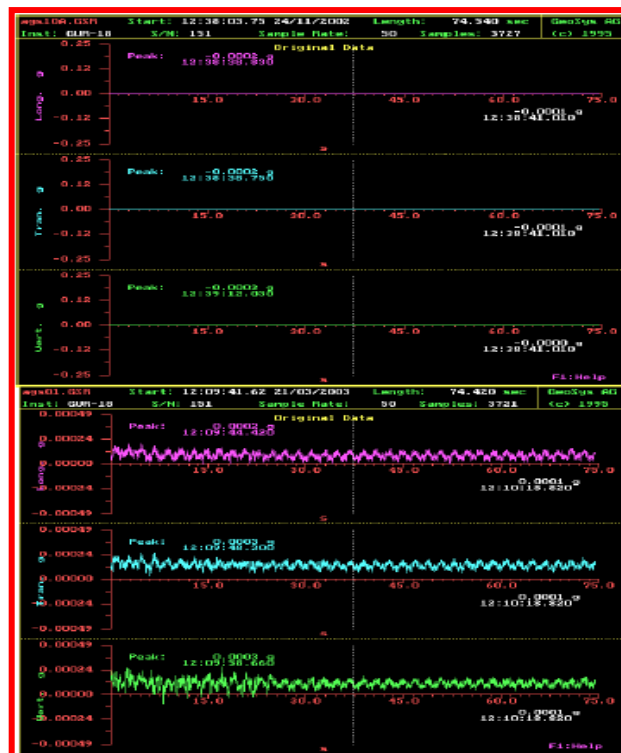


Figura 4.4. Graficas de las señales en sus tres componentes

4. Para convertir a extensión ORI se oprime F2 y aparece la pantalla de la Figura 4.5. Después se le da un clic en **Open**. Con este paso queda convertido a extensión ORI y guardado con el mismo nombre y en la misma carpeta. El archivo está listo para ser procesado en el programa DEGTRA 2000 o Excel.

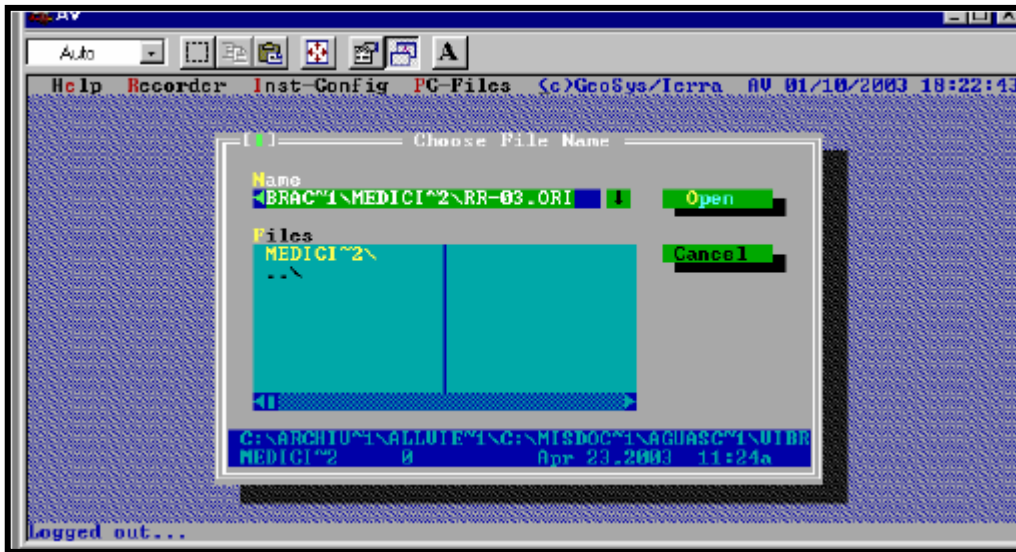


Figura 4.5. Pantalla de conversión de archivos.

Este procedimiento se aplica a todos los archivos con extensión GSR generados por el acelerógrafo, en la instrumentación de los puntos seleccionados.

5. Se abre el programa DEGTRA 2000, donde en el Menú Archivo se selecciona la opción “Nueva carpeta”, esto se repite hasta obtener tres ventanas, una pantalla asignada para cada componente de la señal (ver Figura 4.6).

6. Se da un clic en la ventana 1, se selecciona “Abrir documento” y se busca el archivo ORI que se quiere procesar.

7. Se selecciona Tipo de archivo: Raro, No. De líneas inútiles: 4, Número de columnas: 3, Ancho de columna: 10, Factor de diezmado: 1 y DT (intervalo de tiempo de muestreo): 0.02 (ver Figura 4.7).

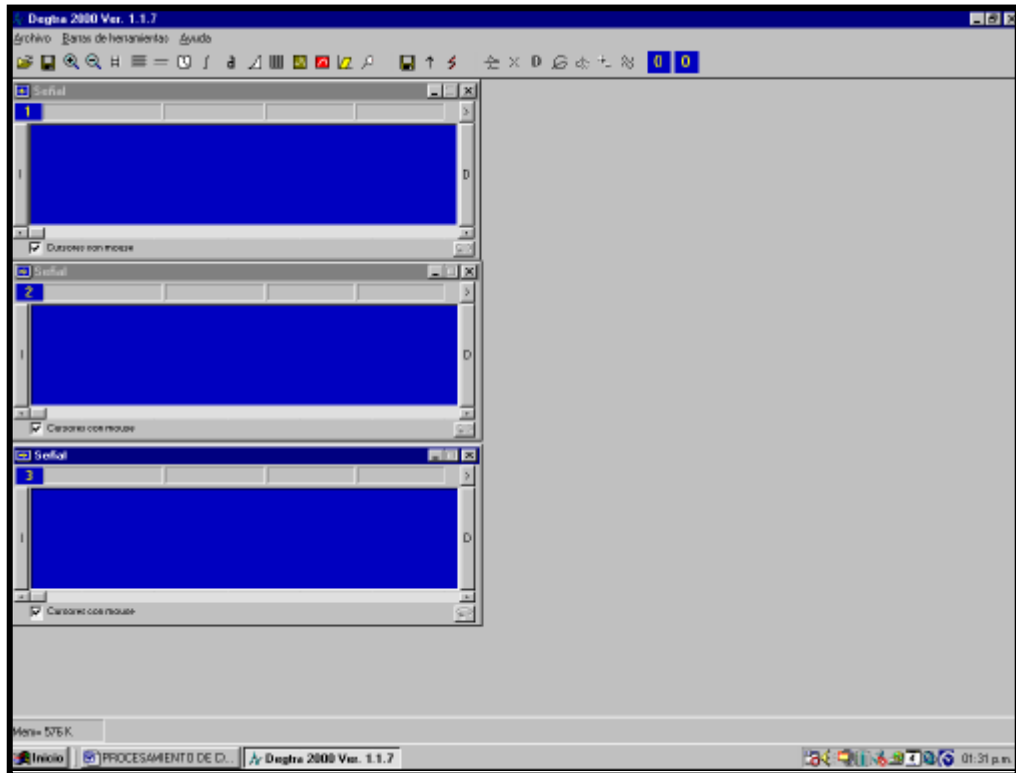


Figura 4.6 Pantalla del programa DEGTRA 2000.

8. Los pasos 6 y 7 se repiten para las ventanas 2 y 3. En “Número de columnas” para estas dos ventanas se coloca 4 y 5, respectivamente. Esto quiere decir que son las últimas tres columnas las que se necesitan, todos los demás valores son los mismos.

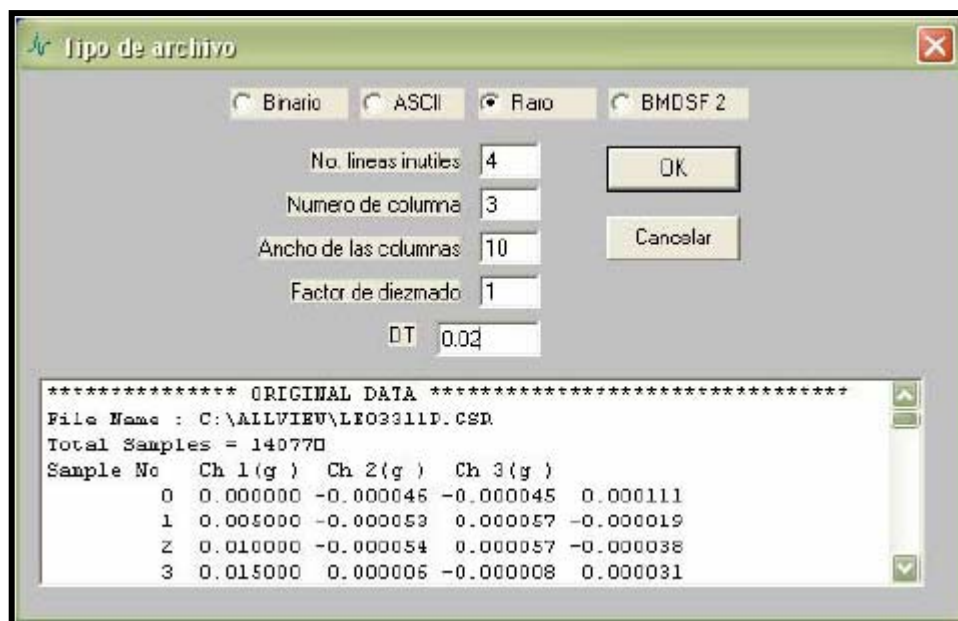


Figura 4.7. Pantalla para determinar el tipo de archivo

9. Para cada una de las ventanas se realiza lo siguiente: se selecciona la ventana con un clic, en la barra de herramientas se da un clic en “Línea base” (icono) y se da “Aplicar”, ver Figura 4.8.

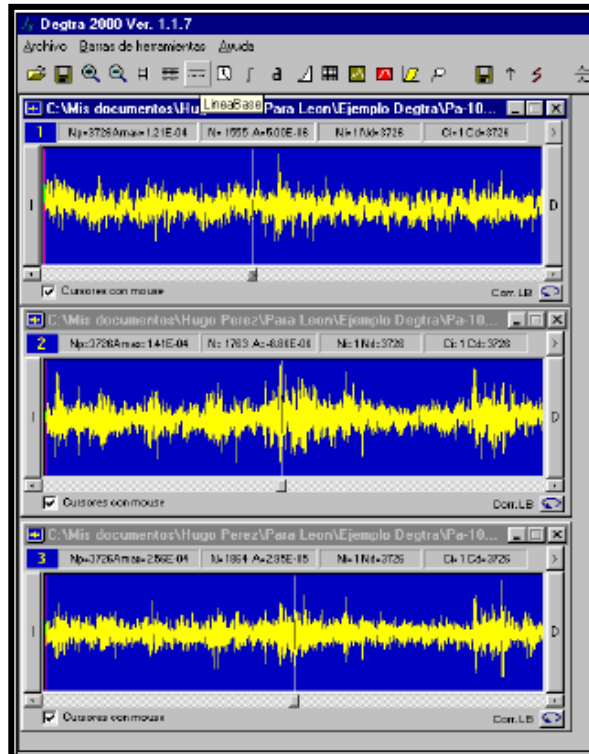


Figura 4.8 Corrección de línea base.

10. Después de corregir la línea base se obtienen los Espectros de Fourier para cada una de las ventanas, seleccionando en el menú el icono rojo y dándole un clic (Figura 4.9 y 4.15).

11. En la barra de herramientas hay dos ceros con recuadro azul, se arrastra el número de la ventana 3 (componente Vertical) al segundo cero y los números de las ventanas 1 (componente E-W) y 2 (componente N-S) se colocan respectivamente en el primer cero. Esto quiere decir que se van a dividir respectivamente, las componentes horizontales (E-W y N-S) entre la componente vertical para obtener la función de transferencia. En el recuadro azul aparece la componente respectiva.

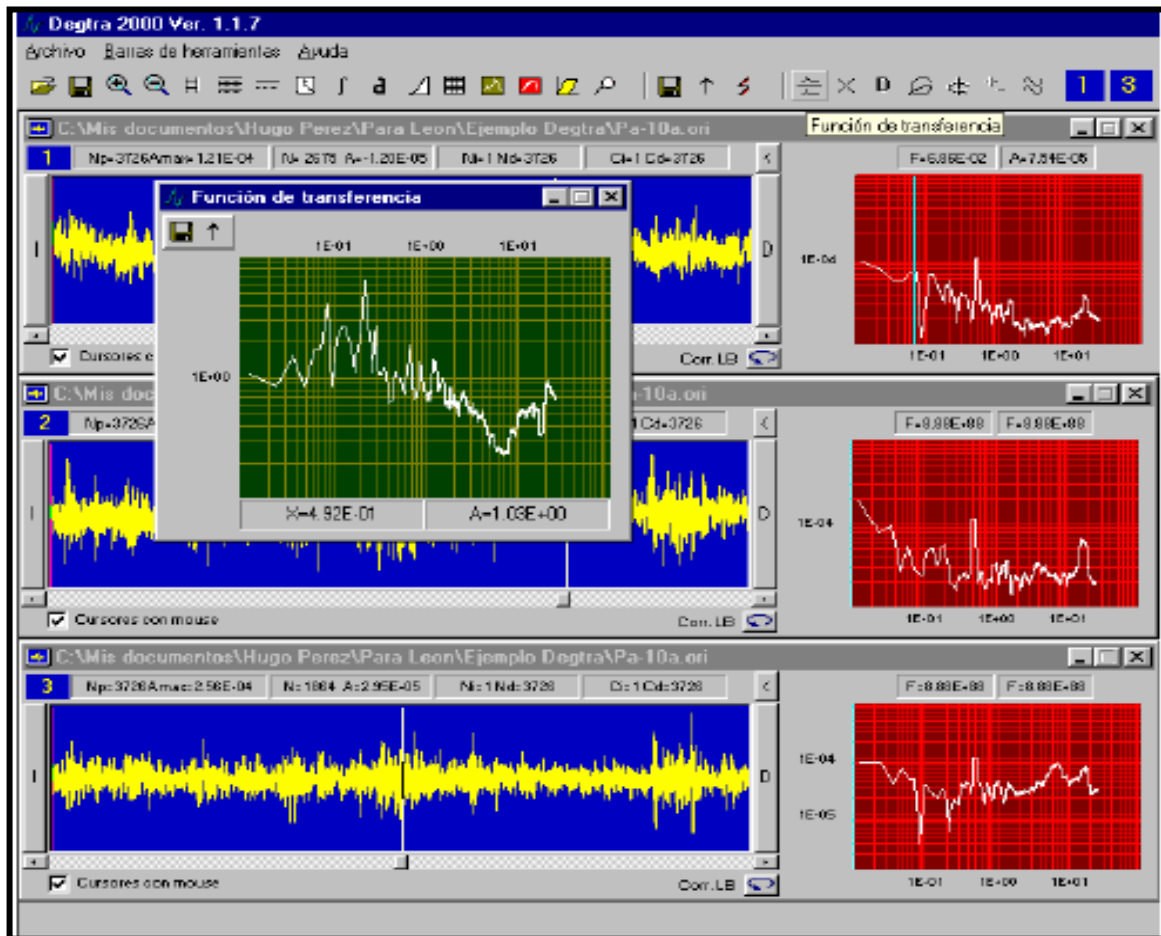


Figura 4.9 Pantalla para la obtención de las funciones de transferencia.

12. Para realizar el cociente se da un clic en el icono verde de la barra de herramientas, que dice “Función de transferencia”, cuando se sobrepone el cursor. Cuando se realiza este paso aparece el recuadro llamado “Función de transferencia”, donde se tiene un icono para “Guardar”, para ello se le da un clic y se busca un directorio donde se le quiera guardar. Al final se tiene dos archivos generados, que son los cocientes espectrales de cada una de las tres componentes horizontales. Nota: De preferencia se coloca un nombre que diga de qué componentes se trata (N-S ó E-W).

Finalmente esta información se tiene que manipular y graficar, para poder analizar las gráficas de los cocientes espectrales de las dos componentes horizontales. Para manipular estas gráficas se utiliza el programa Excel, por ser el

más accesible, sin embargo esto se puede realizar en cualquier otro paquete que maneje gráficos.

13. Cuando realizamos el análisis en el DEGTRA 2000, obtuvimos dos archivos (Espectro de respuesta) de las componentes horizontales N-S y E-W. A estos archivos es necesario graficarlos para obtener el periodo dominante natural de vibrar del suelo en el punto instrumentado. Abrimos la componente N-S en Excel para obtener los valores como se muestra a continuación (Figura 4.10).

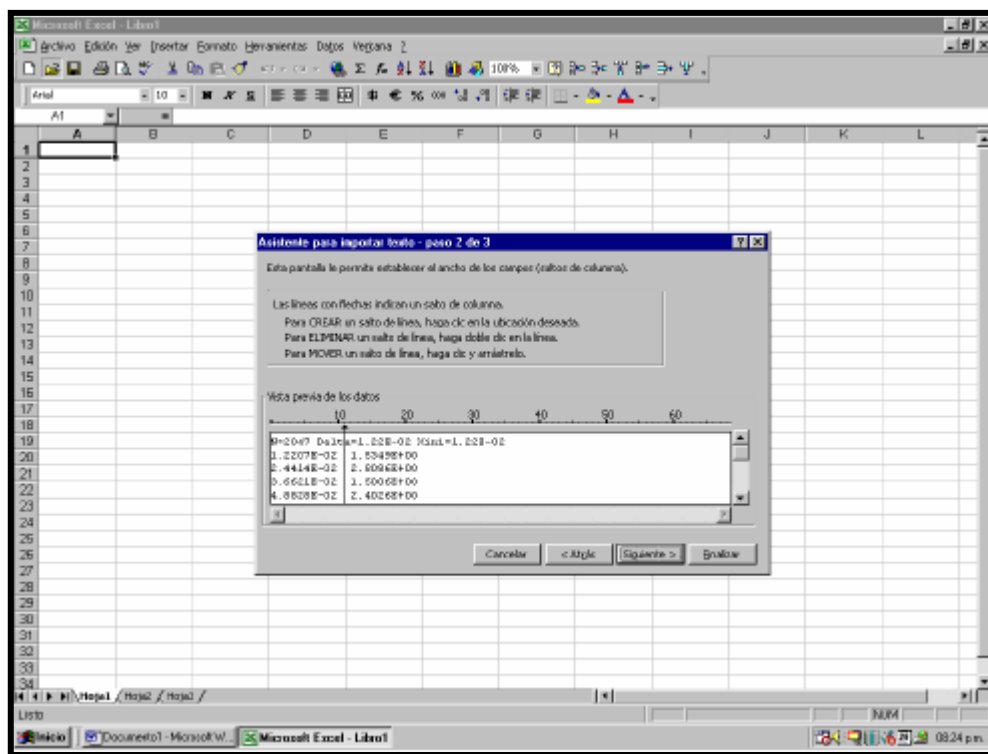


Figura 4.10. Archivo generado en DEGTRA 2000.

14. Eliminamos la primera fila, la cuál contiene datos del archivo, y nos van a quedar dos columnas que son los valores de Frecuencia en hertz (primera columna) y Amplitud en segundos (segunda columna) de la componente N-S. Hacemos una gráfica semi-logarítmica de esta componente N-S, (Figura 4.11). Después abrimos el otro archivo de la siguiente componente E-W, (Figura 4.12) pero de este únicamente copiamos la segunda columna (Amplitud).



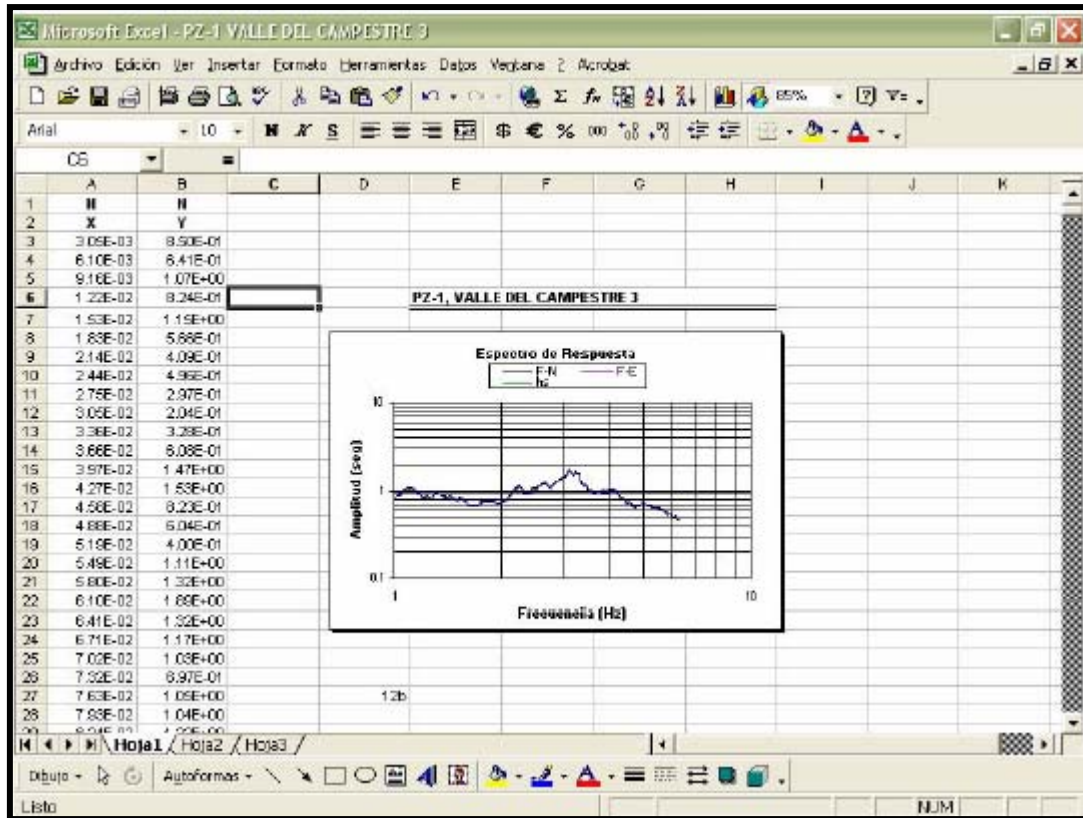


Figura 4.11 Curva respuesta componente N-S.

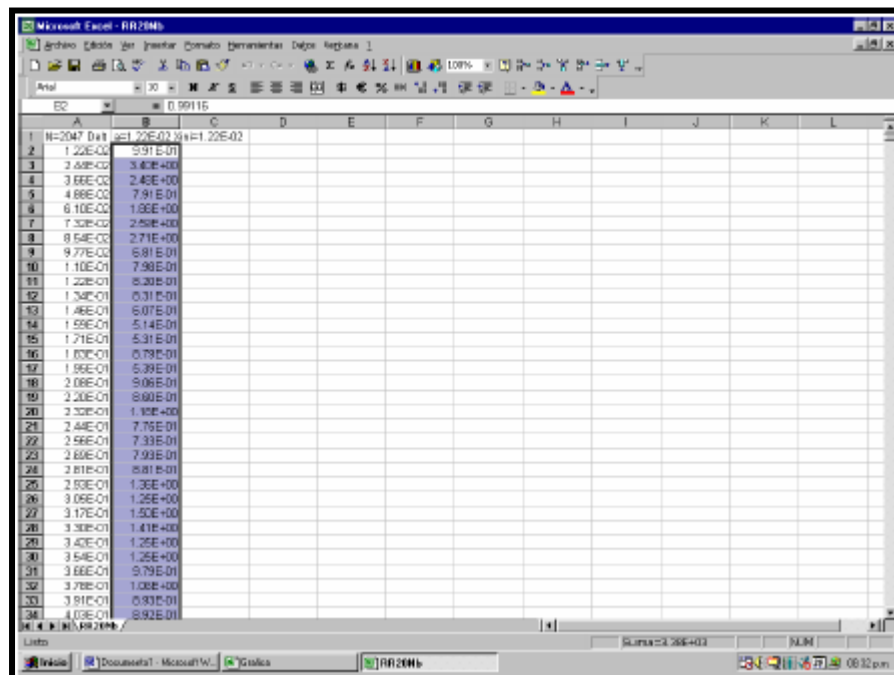


Figura 4.12 Valores componentes E-W.

15. Graficamos una segunda curva con la primera columna de la componente N-S y con la columna de la componente E-W. Así tenemos las dos curvas (Espectros de Respuesta) en una sola gráfica para determinar el periodo dominante (Figura 4.13).

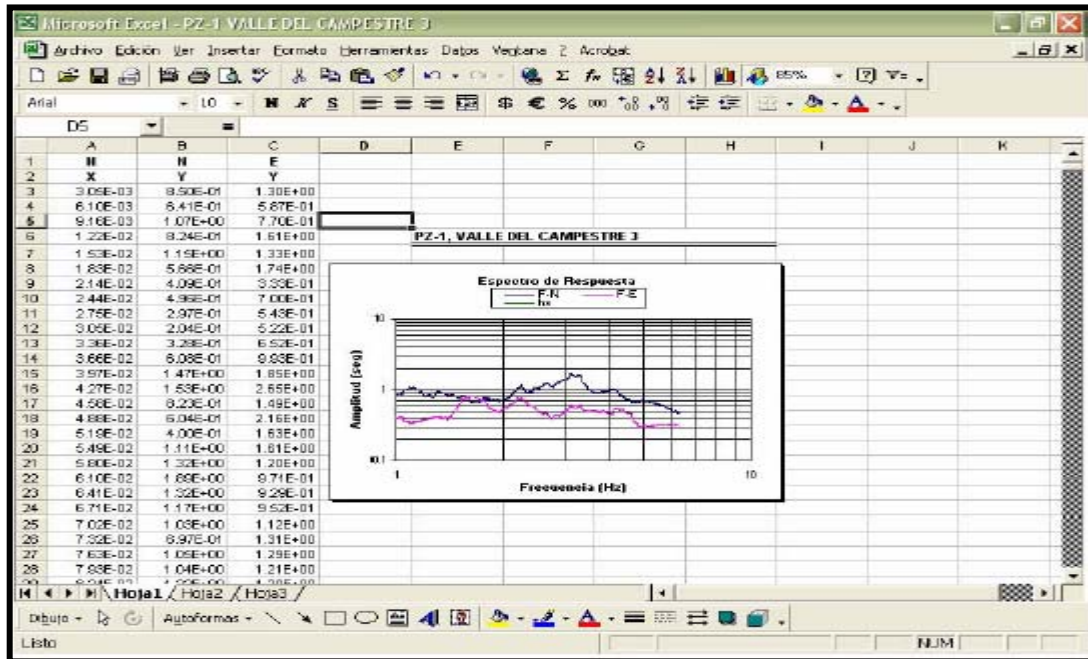


Figura 4.13 Espectros de Respuesta de las dos componentes horizontales.

Para determinar el periodo dominante es necesario observar las curvas (Figura 4.14) que obtuvimos y localizar el pico de mayor amplitud de cualquiera de las dos, en ese punto bajamos para leer en el eje de frecuencia y así calculando el inverso del valor de la frecuencia del punto con mayor amplitud obtenemos el periodo dominante en unidades de segundos.

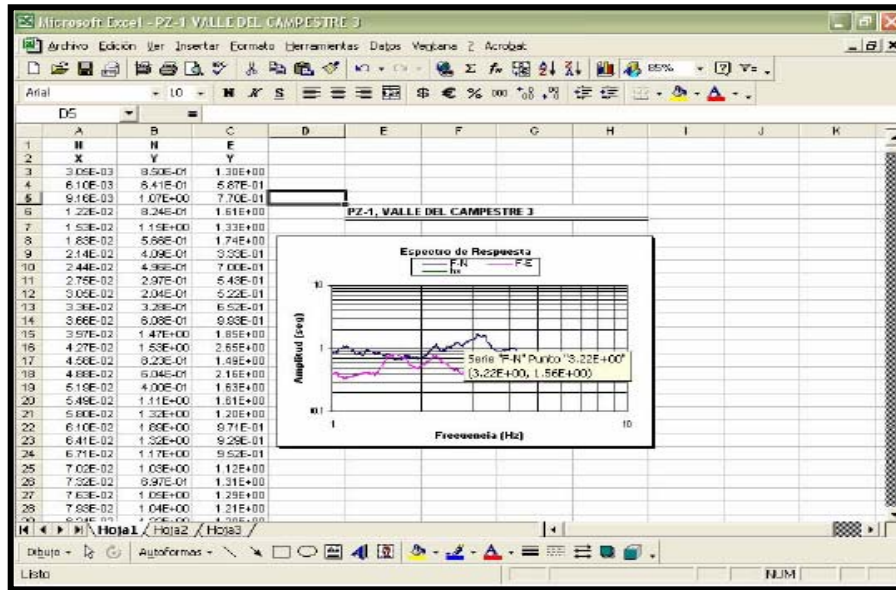


Figura 4.14 Periodo dominante

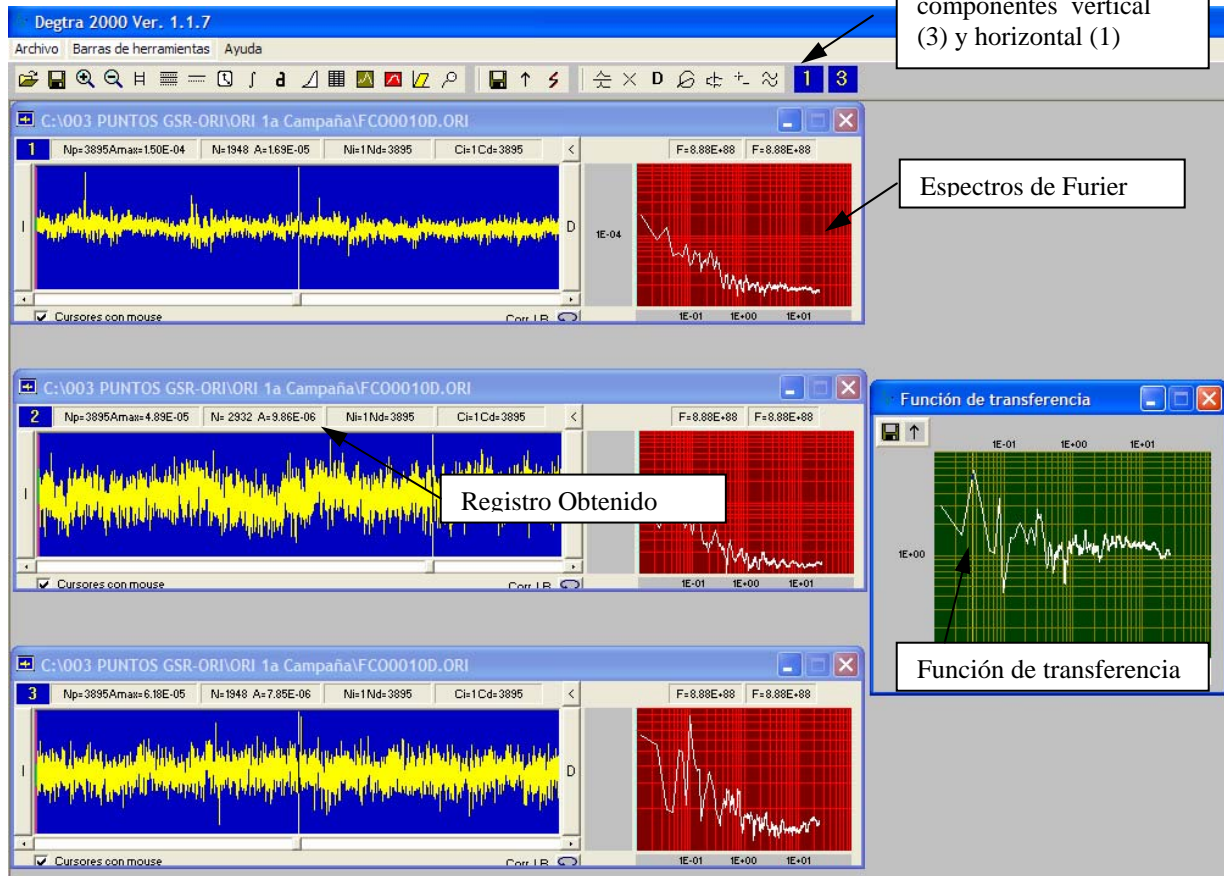


Figura 4.15 a manera de ejemplo se muestra la pantalla del programa DETGRA 2000 en donde fueron procesados cada uno de los registros obtenidos para obtener las funciones de transferencia.

## **IV.6 Calibración de periodos con expresiones semi-empíricas**

Ante la carencia en muchas ciudades y poblaciones de la Republica Mexicana para tener estaciones sismológicas y en consecuencia registros de eventos sísmicos, se ha empleado expresiones semi-empíricas para obtener los efectos de sitio en suelos suaves. Esta metodología es utilizada en virtud de las ventajas de fácil procedimiento, bajo costo y corto tiempo en que puede ser desarrollada, lo que ha permitido que algunas ciudades cuenten con estudios basados en la misma para la elaboración de cartas de isoperiodos y zonificación por tipos de suelo para fines de diseño sísmico de las construcciones.

### **IV.6.1 Parámetros de las propiedades dinámicas de los estratos**

Para la determinación de las características o propiedades dinámicas del suelo, se pueden recurrir a métodos orientados al empleo de técnicas de campo y de laboratorio, donde cada uno de manera particular aporta elementos o parámetros que aproximan el comportamiento dinámico del suelo ante los efectos del sismo.

Los parámetros que básicamente inciden en dicho comportamiento son: la velocidad de compresión, velocidad y modulo de cortante, y relación de Poisson. Los métodos empleados para la obtención de estos parámetros están basados por un lado en el análisis de registros acelerográficos de terremotos ocurridos por vibración ambiental o refracción sísmica (métodos directos); por otro lado, basados en métodos analíticos apoyados en estudios de campo y laboratorio (métodos indirectos). Unos tienen como objeto el determinar la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas, mientras que los otros se enfocan en determinar su respuesta.

Las propiedades dinámicas que se utilizan en los problemas sismo geodinámicos se determinan en el “Péndulo de Torsión Libre” (Figura 4.16), donde se investiga el “Módulo Dinámico de Rigidez” que se utiliza para calcular, en

conjunto con la estratigrafía y la masa unitaria del suelo, las celeridades de las ondas sísmicas. De donde se calculan los periodos dominantes de la masa del suelo, y los perfiles de las presiones dinámicas y las deformaciones o bien las distorsiones del suelo durante la acción sísmica.

En este trabajo se utilizaron métodos directos e indirectos ya que ambos se complementan y se ajustan a la información y equipo disponible. Los métodos basados en hechos reales arrojan una mayor aproximación en los resultados, desafortunadamente hasta ahora se ha tenido escaso acceso a registros sísmicos de la zona. Por tal se recurre a la técnica de vibración ambiental para la determinación de los periodos naturales del suelo de la ciudad de León.

El comportamiento dinámico de una masa de suelo sometida a movimientos horizontales provocados por un sismo puede aproximarse, por métodos analíticos, a partir de las ecuaciones de la dinámica clásica, bajo la hipótesis de considerar al suelo con propiedades de homogeneidad, isotropía y elasticidad; otra hipótesis simplificadora consiste en despreciar el efecto de flexión en la obtención de los desplazamientos horizontales y tomar en cuenta únicamente el efecto de deformación por cortante.

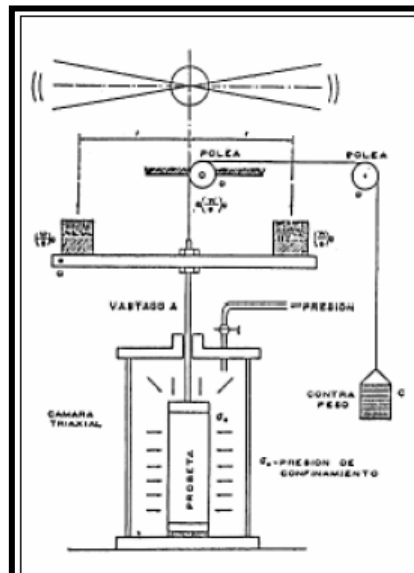


Figura 4.16 Péndulo de torsión de vibración libre

#### IV.6.2 Expresiones semi-empíricas para evaluar periodos

Para determinar analíticamente el periodo natural de vibración del suelo en algunos lugares de la zona de estudio, se utiliza la formación litológica disponible de pozos.

Se adoptan los valores tipo del módulo de cortante para los diferentes tipos de suelo de los estratos encontrados, considerando como estrato duro aquel que rebase en cincuenta el número de golpes por cada treinta centímetros de penetración en la prueba de penetración estándar.

Esta información es procesada mediante el modelo elástico de propagación de ondas de cortante (Zeevaert, 1991), la cuál descrita por las siguientes expresiones:

$$T = 4 \sum \frac{H_i}{V_i} \quad \text{Y} \quad V_i = \sqrt{\frac{G_i}{\rho_i}} \quad (4.10)$$

Donde  $H_i$  es el espesor del estrato  $i$ ,  $V_i$  la velocidad de las ondas de cortante del estrato  $i$  (ver Tabla 4.1),  $G_i$  es el módulo de cortante del estrato  $i$  y  $\rho_i$  la densidad del material del estrato  $i$ .

La velocidad de ondas de cortante se puede obtener mediante pruebas geofísicas como el sondeo *sísmico cross-hole* (Figura 4.17) que consiste en realizar dos agujeros perforados en el terreno a una distancia  $L$  entre sí. Se genera un impulso vertical en el fondo de un barreno por medio de una barra de impulso. Las ondas cortantes así generadas se registran por medio de un transductor verticalmente sensible. La velocidad de ondas cortantes se calcula con la expresión:

Tabla 4.1 Valores típicos de velocidades de las ondas P y S Clark y Heiland actualizada

Material	P Velocidad (m/s)		S Velocidad (M/s)		Densidad (gm/c <sup>3</sup> )
	Minima	Maxima	Minima	Maxima	
<b>SUELOS</b>					
Aluvión	503	1,981	287	1,132	1.54
Arcillas compactas	1,128	2,499	579	1,428	1.40
Arena	457	1,402	261	801	1.93
Arena arcillosa densa	1,000	2,500	571	1,429	1.95
Arena limo seco	200	1,000	114	571	1.94
Boleos y gravas	503	1,981	287	1,132	1.54
Conglomerado	503	1,981	287	1,132	1.54
Grava arcillosa	1,000	2,500	571	1,429	1.54
Gravsa y arenas	503	1,981	287	1,132	1.54
Suelo residual	152	762	91	549	1.1 a 2.0
Suelo vegetal toba y arcilla	152	762	91	549	1.1 a 2.0
Toba con fragmentos Polimicticos	3,658	4,450	2,543	2,865	2.80
Tobas arenosas con gravas	503	1,981	287	1,132	2.80
<b>ROCAS</b>					
Arena	1,402		457		1.93
Arenisca	2,438	4,267	914	3,048	2.45
Basalto	1,122	5,608	3,048	3,205	3.00
Caliza	3,048	6,096	2,743	3,200	2.65
Caliza sana	5,000	10,000	2,857	5,714	3.00
Cuarcita	6,050		3,457		2.85
Duanita	7,986		4,084		3.28
Esquisto	4,542		2,896		2.80
Gabro	6,553		3,444		2.98
Granito	3,962	6,096	2,134	3,353	2.67
Lutitta	1,829	3,962	1,067	2,286	2.35
Marmol	5,791		3,505		2.75
Material arenoso	396		226		1.5 a 2.0
Pizarra	3,658	4,450	2,543	2,865	2.80
Pizarra y esquisto	2,500	5,000	1,429	2,857	2.80
Roca metamorfica	4,724	5,578	2,699	3,187	2.65
Sal	4,389	6,492	2,508	3,710	2.20
Yeso	2,134	3,658	1,097	2,090	2.30

$$V_s = \frac{L}{t} \quad (4.11)$$

Donde t = tiempo de viaje de las ondas

Si se desea obtener el módulo cortante del suelo  $G_s$  a la profundidad de la prueba se determina a partir de la relación:

$$V_s = \sqrt{\frac{G_s}{\gamma/g}} \quad \text{ó} \quad G_s = \frac{v_s^2 \gamma}{g} \quad (4.12)$$

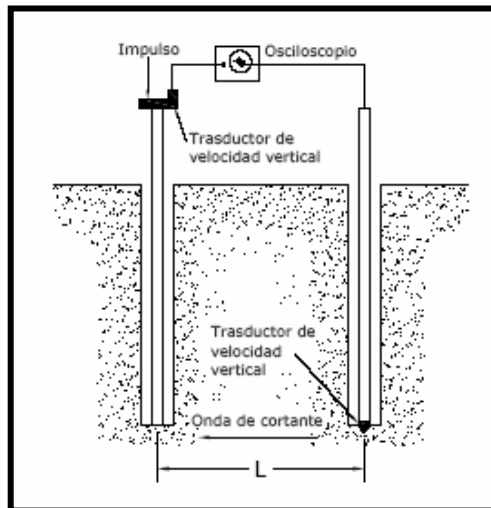


Figura 4.18. Método de sondeo sísmico cross-hole

Dada la poca a nula importancia dada por las instituciones de la localidad sobre lo relevante de la estratigrafía de los pozos con los que cuenta solo se pudieron obtener dos cortes litológicos de la perforación de 2 pozos profundos para extracción de agua dentro del área de estudio, con esta información se logró una mejor concepción de la conformación estratigráfica del subsuelo de la ciudad que sirvió para una adecuada interpretación de los registros de vibración ambiental.



A continuación se muestran los estratos litológicos disponibles para la calibración, estos cortes pertenecen a los pozos cercanos a los puntos de medición 25 y 33.

Tabla 4.2. Corte litológico del pozo no. 1

UNIDAD	PROFUNDIDAD	PROBABLE CORRELACION GEOLOGICA	OBSEVACIONES
UA	0-3	Rellenos aluviales	Permeabilidad baja
UB	3-9	Arcillas	Permeabilidad baja
UB	9-16	Arenas medias	Permeabilidad baja
UC	16-30	Arenas gruesas y gravillas	Permeabilidad baja
UC	30-35	Gravillas y gravas	Permeabilidad media
UC	35-50	Gravas, gravillas y/o basalto alterado	Permeabilidad media

Tabla 4.3. Corte litológico del pozo no. 2

PROFUNDIDAD	PROBABLE CORRELACION GEOLOGICA	OBSEVACIONES
0-4	Rellenos aluviales	Permeabilidad baja
4-15	Arena limosa	Permeabilidad baja
15-20	Arcillas	Permeabilidad baja
20-30	Arenas medias	Permeabilidad baja
30-45	Arenas Gruesas y gravillas	Permeabilidad media
45-100	Tobas, gravas y/o Basalto alterado	Permeabilidad media

#### IV.6.3 Resultados de la calibración

Para la calibración es necesario tener información de los estratos como: tipo de material, espesor, velocidad de la onda P, velocidad de la onda S y densidad de cada uno de ellos. De la tabla 4.1 se obtienen los valores que se necesitan y están dados para un solo tipo de material es por ello que se tuvo que obtener el valor del material predominante de cada uno de los estratos para poder analizarlo en el programa Hascor (Tabla 4.4 y 4.5).

Tabla 4.4 Información de velocidades según estratos del pozo 1

**POZO 1** Calibración para el punto no. 33

Descripción	Vel. m/s (min)		Vel. m/s (max)		Espesor M	D g/cm <sup>3</sup>	Vel. m/s (prom)	
	P	S	P	S			P	S
Rellenos aluviales	503	287	1981	1132	3	1.54	1242	710
Arcillas	1128	579	2499	1428	6	1.4	1814	1004
Arenas medias	457	261	1402	801	7	1.93	930	531
Arenas gruesas y gravillas	457	261	1402	801	14	1.93	929.5	531
Gravillas y gravas	503	287	1981	1132	5	1.54	1242	710
Gravas, gravillas y basalto alterado	503	287	1981	1132	15	2.8	1242	709.5
					Max.	2.8	1814	1004

Tabla 4.5 Información de velocidades según estratos del pozo 1

**POZO 2** Calibración para el punto no. 25

Descripción	Vel. m/s (min)		Vel. m/s (max)		Espesor M	D g/cm <sup>3</sup>	Vel. m/s (prom)	
	P	S	P	S			P	S
Rellenos aluviales	503	287	1981	1132	4	1.54	1242	710
Arena-limosa	1000	579	2499	1428	11	1.4	1750	1004
Arcillas	1128	571	2500	1429	5	1.4	1814	1000
Arenas medias	457	261	1402	801	10	1.93	929.5	531
Arenas gruesas	457	261	1402	801	15	1.93	930	531
Gravas, gravillas y basalto alterado	503	287	1981	1132	55	2.8	1242	709.5
					Max.	2.8	1814	1004

Utilizando el programa Hascor desarrollado por Mario Ordaz Schroeder y Carlos Montoya del instituto de Ingeniería-UNAM se aplicó el método de Thomson-Haskell y los resultados obtenidos se compraron con los resultados de vibración ambiental dando como resultado las curvas de la Figura 4.18.

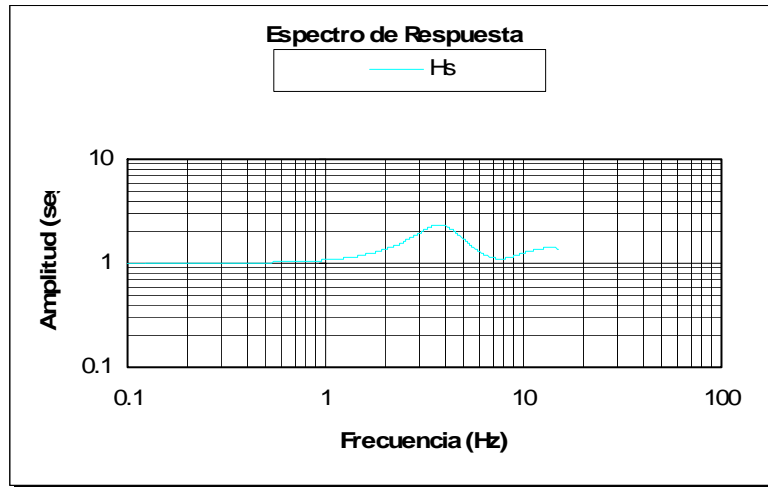


Figura 4.18 Espectro de respuesta del pozo 1  
Con el modelo de Zeevaert

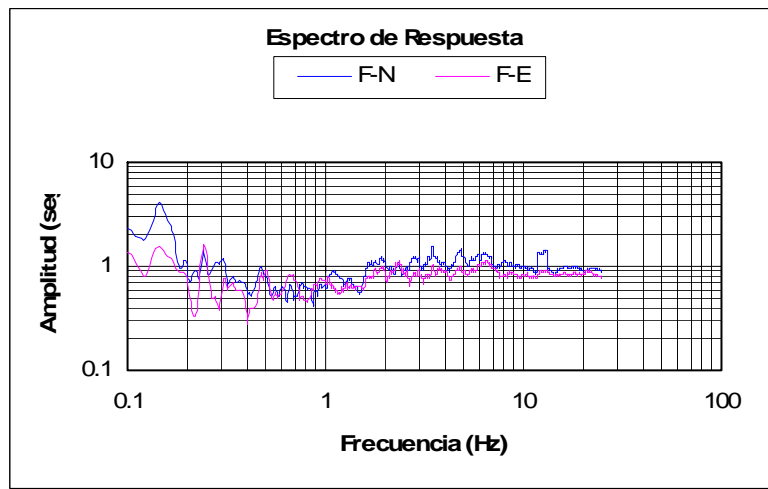


Figura 4.19 Espectro de respuesta del  
punto instrumentado para el pozo 1.

Se puede observar en la figura 4.20 que los periodos obtenidos con los métodos son muy similares o aproximados, para el pozo 1 con la técnica de vibración ambiental obtenida en el registro con nombre FCO0310K.xls que puede observarse en la figura 4.19 tenemos una frecuencia de **3.5 Hz** que corresponde a

un periodo de **0.29** y para por otro lado para el modelo de Zeevaert tenemos **3.9 Hz** que corresponde a un periodo de **0.26**.

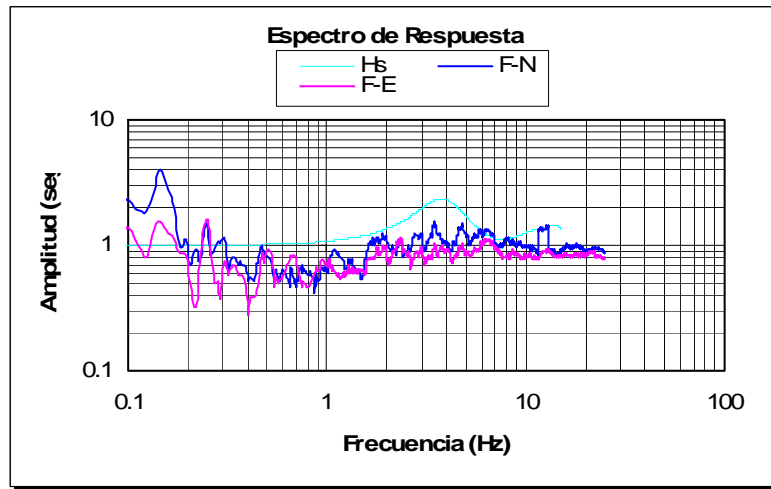


Figura 4.20 comparativas de las frecuencias obtenidas del pozo1

De igual manera para el pozo 2 se puede observar en la figura 4.21 que los periodos son a aproximados, con la técnica de vibración ambiental obtenida en el registro FCO0300U del punto no. 25 mostrada en la figura 4.22 tenemos una frecuencia de 3.59 Hz que corresponde a un periodo de 0.28 y con el modelo de Zeevaert 2.9 que corresponde a un periodo de 0.34.

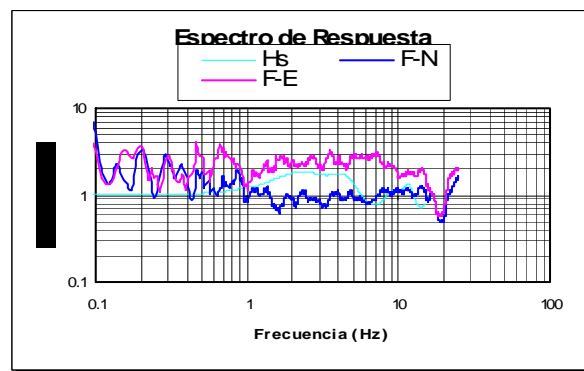


Figura 4.21 comparativas de las frecuencias obtenidas del pozo2

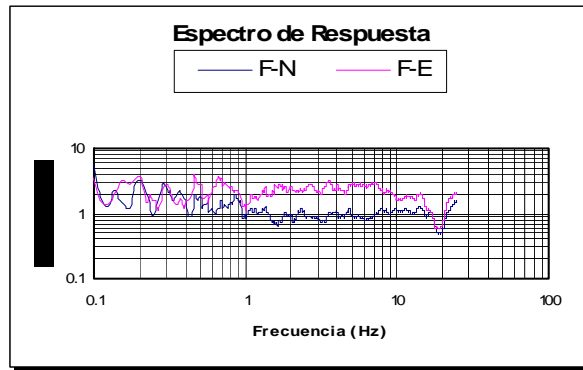


Figura 4.22 Espectro de respuesta del punto Instrumentado para el pozo 2

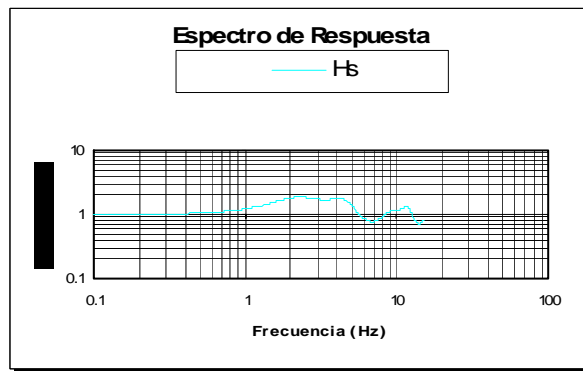


Figura 4.23 Espectro de respuesta del pozo 2 con el modelo de Zeevaert.

## V Resultados

### V.1 Criterios para selección o ubicación de puntos instrumentados.

Sobre la extensión de la zona de estudio que abarca aproximadamente 24.3 km<sup>2</sup> en las dos ciudades se distribuyó una red de un total de 35 puntos que pueden observarse en la figura 5.1 o en el apéndice 3 plano no. 6, cuyo orden obedece principalmente a la ubicación de los pozos en la zona en donde se procura tomar lecturas para su posible calibración, otro factor que determina esta selección es la ubicación de lotes baldíos o áreas no pavimentadas donde pudieran realizarse estos registros o lecturas.

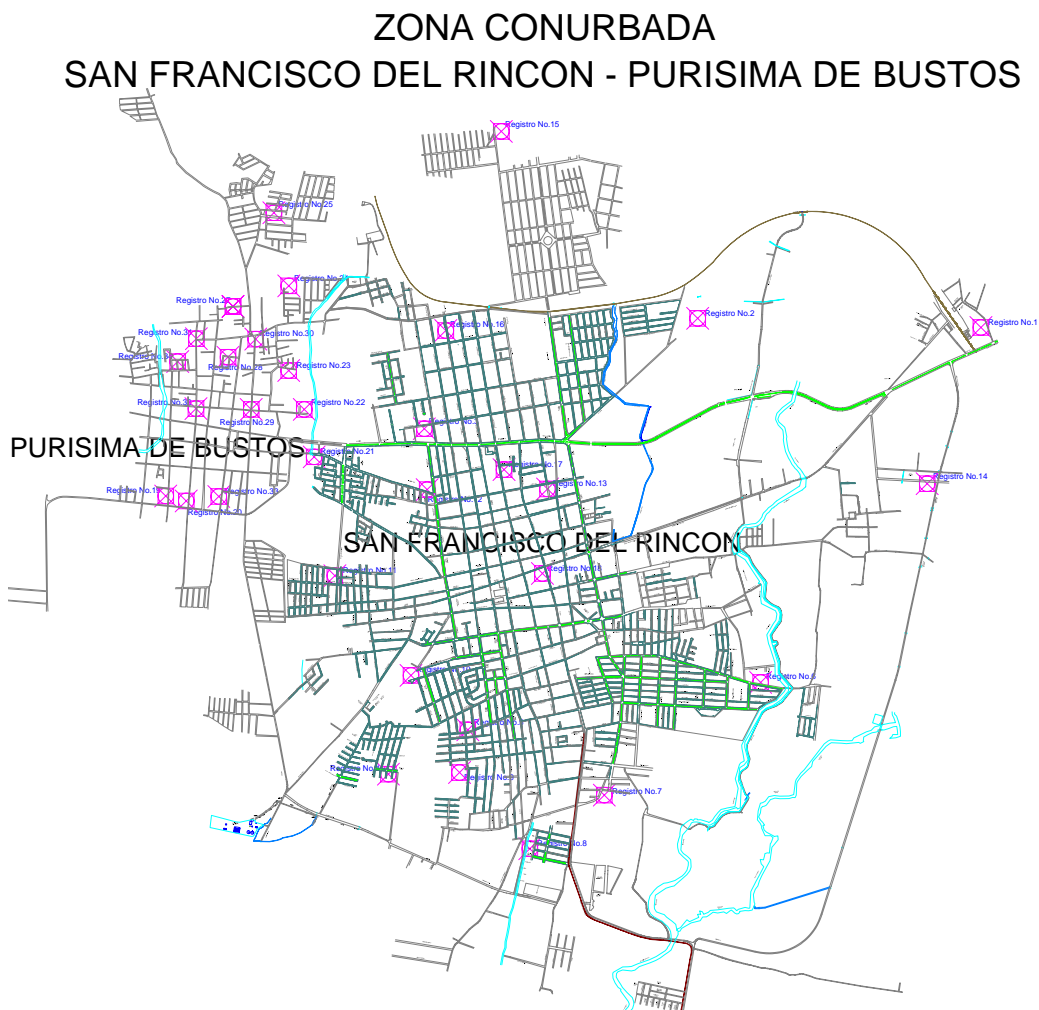


Figura 5.1 ubicación de puntos instrumentados.

Se priorizó la zona urbana de ambas ciudades en donde se tomaron la mayor parte de los registros no olvidando también aquellas zonas detectadas

como de crecimiento que son la parte oriente y la parte de norte del área conurbana.

### **V.3 Mapa de isoperiodos y microzonificación sísmica propuestos**

En base a los tipos de suelo que se muestran en los planos no. 3 y no. 4 del apéndice 3 y la información procesada de 108 registros obtenidos de las mediciones con el acelerógrafo y mostrados en el apéndice 2 y mediante la técnica de Nakamura, pudieron lograrse las funciones de transferencia de cada uno de ellos de esta manera fue posible realizar la propuesta del mapa de isoperiodos de las ciudades de San Francisco del Rincón y Purísima de Bustos Guanajuato **plano 6 del apéndice 3**, esta propuesta de isoperiodos es la única existente hasta el momento para las ciudades mencionadas la cual como se ha dicho podrá ajustarse o descartarse a medida de que se obtenga mayor información sobre la litología en particular sobre los pozos de la ciudad o se emplee algún otro método directo para este fin.

Para poder clasificar el suelo desde el punto de vista sísmico se adopto el criterio que se ha venido utilizando en trabajos similares como el realizado para la ciudad del Distrito Federal, de León y la ciudad de Aguascalientes entre otras que refiere lo siguiente:

Para suelos con periodos **menores o iguales de 0.40** seg. Serán clasificados como **suelos duros o “zonas duras”**, para suelos cuyo periodo dominante sea **mayor a 0.4 seg. y menor o igual a 1.00 seg.** se considerara como **“zona intermedia”** , cabe señalar que para el caso que nos ocupa se pudo determinar según la aplicación de la técnica de Nakamura y con la instrumentación descrita anteriormente que no existen zonas de terreno suave (periodos mayores a 1.0 seg.) en el área de estudio indicada en el capítulo II.

Siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo IV, se obtiene como principal insumo los periodos dominantes de cada registro o punto instrumentado mismos que se muestran a manera de resumen en la tabla 4.6 del apéndice 1.



Puede observarse en la plano 6 y plano 8 del apéndice 3, que la mayor parte de la ciudades de San Francisco y Purísima del Rincón se clasifican como zona II (intermedia) y para el resto de la zona de estudio zona I (Dura) quedando descartada la zona III o blanda en la zona de estudio descrita en el capítulo II.

## VI CONCLUSIONES

Puede observarse como resultado final de este trabajo que existen dos zonas o dos diferencias relativas entre suelos que se denominaran Zona I (dura) y Zona II (zona intermedia) que para efectos de diseño sísmico así se dividirán las ciudades de Purísima y San Francisco el Rincón.

La micro zonificación sísmica propuesta podrá ser utilizada para la selección del coeficiente sísmico tal y como lo marca el reglamento de construcción para las ciudades en estudio con la confianza de que se esta seleccionando para el tipo de suelo correcto y podrá descartarse definitivamente las referencias para el tipo de suelo III que es el caso de la ciudad de Purísima del Rincón, ya que en la zona de estudio no se encontró este tipo de suelo.

Cubriendo así la omisión del reglamento de construcción de Purísima y de San Francisco del Rincón, en donde menciona para el caso de Purísima del Rincón en el capítulo IV sección segunda artículo 55 fracción V y artículo 56, que para diseño de Sismo se remitan a los requisitos que contemplan las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal quedando en cuanto a la elección de la zona para el coeficiente sísmico la incertidumbre de donde se encuentran estas zonas en el municipio mencionado, y en cuanto a San Francisco del Rincón en su capítulo III artículo 272 solo menciona la existencia de las zonas I y II mas sin embargo no detalla geográficamente la ubicación de estas zonas.

Una de las recomendaciones que de este trabajo se desprenden va dirigida directamente a las autoridades que se encargan de normar el desarrollo urbano de las ciudades y es la revisión de los coeficientes sísmicos utilizados ya que estos no han sido actualizados desde 1991 para el caso de San Francisco del Rincón, y adoptar el de otras ciudades vecinas como la ciudad de León, que utiliza para la zona I  $c= 0.16$  y para la zona II  $c=0.20$ .

La participación de los colegios en el desarrollo de las ciudades es muy importante ya que a través de ellos se puede tener la participación multidisciplinaria para la realización de diversos reglamentos y adecuaciones de los mismos, y las autoridades pueden coadyuvar con estos para actualizar los reglamentos existentes.

Hasta el día de hoy esta carta de micro zonificación sísmica constituye la única herramienta de apoyo y se convierte en la primera propuesta en cuanto a la selección de zonas sísmicas y en lo que a diseño por sismo se refiere, con la que contarán las ciudades de Purísima y San Francisco del Rincón, mas sin embargo como ya se menciona antes, este trabajo no puede ser concluyente, es decir pretende ser también un aliciente para que continúen las investigaciones y esta carta puede perfeccionarse y pensar en la posibilidad de estaciones para registros de temblores para que estas dos ciudades cuenten con sus propios espectros de diseño de sitio, tal y como lo menciona el Reglamento de Construcción del Distrito Federal en sus normas de diseño por sismo del apéndice A.1.

Así mismo hace falta más información litológica de los pozos existentes en la zona de estudio para poder realizar un trabajo mas fino y se obtengan así subsecuentes propuestas cada vez más exactas.

## BIBLIOGRAFÍA

Alfaro A. y Navarro M. 1999. Estimación del periodo predominante del suelo a partir de microtemblores. 1ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Arroyo M., Bustillos J. y Arzate J. 2000. Normatividad de Diseño Sísmico en el Municipio de Querétaro. VI Congreso de Ingeniería Civil, Qro, México.

Arroyo M. y Pérez H. 2003. Microzonificación sísmica de las poblaciones más importantes en el valle de Aguascalientes, Ags. Artículo II-13. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Gto; México.

Bustillos J. M., Arzate J., Ríos R. y Rojas E. 2001. Propuesta de Diseño Sísmico para el Municipio de Querétaro. VI Congreso de Ingeniería Civil, Qro., México.

Carballo J. 1992. Estudio de riesgo sísmico para la ciudad de Chilpancingo, Gro., Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Coral H. 2002. Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica de áreas urbanizadas en Andorra. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Gubbins D. 1990. Seismology and plate tectonics. Cambridge University press, USA.

Lermo J. y Chávez F. 1995. Efectos de sitio en la ciudad de Oaxaca. Revista de Ingeniería Sísmica No. 50, México.

Lermo J. y Vega D. 2005. Peligrosidad y Prevención en algunas zonas urbanas de México. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, México D.F.

Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo. 1993. Comisión Federal de Electricidad, Instituto de investigaciones eléctricas, México.

Nakamura Y. 1989. A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, 30, no. 1, USA.

Reglamento de Construcciones para la ciudad de Purísima del Rincón, Periódico Oficial de la Federación Agosto 2005, Purísima del Rincón.

Reglamento de Construcciones para la ciudad de San Francisco del Rincón, Periódico Oficial de la Federación Septiembre del 1991, San Francisco del Rincón.

Reinoso E. 2003. Estudios para la microzonificación. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Gto, México.

Reyes C. Y Ordaz M. 2002. Estimación de espectros de aceleración correspondientes a diferentes periodos de retorno para las distintas zonas sísmicas de la ciudad de México. Revista de ingeniería sísmica No. 66: 95-121, México.

Riquer G. y Lermo J. 2003. Microzonificación sísmica en la zona conurbana Veracruz-boca del Río. Artículo II-09, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Gto, México.

Rojas E. Arzate J. y Arroyo M. 2002. A method to predict the group fissuring and faulting caused by regional groundwater decline. Engineering geology 65:245-260, Elsevier, Mexico.

Villegas J. 2007. Zonación Sísmica de la ciudad de León, Gto., Tesis para grado de Maestro, UAQ; México.

## **APENDICE 1**

**Numero de mediciones y registros con su  
ubicación geográfica y su periodo obtenido**

**Tabla 4.6 numero de mediciones y registros obtenidos con su ubicación geográfica, frecuencia y periodo obtenido**

**TABLA DE REGISTROS OBTENIDOS CON SU RESPECTIVO PERIODO**

NO.	NO. DE REG.	NOMBRE DE LA GRAFICA	FRECUENCIA	PERIODOS OBTENIDO	PERIODO FINAL	COORDENADAS UTM	
						X	Y
1	1	IRA19801.XLS	1.11	0.90	0.74		
2	1	IRA19802.XLS	1.31	0.76		206,710.00	2,328,731.00
3	1	IRA19807.XLS	1.4	0.71			
4	1	IRA19808.XLS	4.58	0.22			
5	2	IRA0010A.XLS	1.67	0.60	0.39	204,527.00	2,328,801.00
6	2	IRA1980C.XLS	2.56	0.39			
7	2	IRA1980F.XLS	5.12	0.20			
8	3	IRA0010G.XLS	4.25	0.24	0.45	202,420.00	2,327,947.00
9	3	IRA1980H.XLS	1.68	0.60			
10	3	IRA1980I.XLS	2.21	0.45			
11	4	IRA1980K.XLS	4.15	0.24	0.39	202,143.00	2,325,272.00
12	4	IRA1980L.XLS	1.23	0.81			
13	4	IRA1980M.XLS	2.54	0.39			
14	5	IRA1980o.XLS	1.82	0.55	0.33		
15	5	IRA1980P.XLS	3.02	0.33		202,755.00	2,325,615.00
16	5	IRA1980Q.XLS	1.14	0.88			
17	5	IRA1980S.XLS	4.66	0.21			
18	5	IRA1980T.XLS	8.03	0.12			
19	6	FCO19906.XLS	3.44	0.29	0.29	205,012.00	232,982.00
20	6	FCO19907.XLS	4.79	0.21			
21	6	FCO19908.XLS	1.43	0.70			
22	7	FCO1990A.XLS	1.42	0.70	0.57	203,807.00	2,325,110.00
23	7	FCO1990B.XLS	1.76	0.57			
24	7	FCO1990C.XLS	2.86	0.35			
25	8	FCO0010D.XLS	1.51	0.66	0.66	203,233.00	2,324,694.00
26	8	FCO1990E.XLS	3.19	0.31			
27	8	FCO1990F.XLS	1.28	0.78			
28	9	FCO0010H.XLS	1.54	0.65	0.65	202,691.00	2,325,285.00
29	9	FCO2000I.XLS	1.4	0.71			
30	9	FCO2000J.XLS	2.91	0.34			
31	10	FCO2000L.XLS	1.04	0.96	0.84	202,317.00	2,326,036.00
32	10	FCO2000M.XLS	1.4	0.71			
33	11	FCO0010N.XLS	2.05	0.49	0.55		
34	11	FCO2000P.XLS	1.81	0.55		201,730.00	2,326,809.00
35	11	FCO2000R.XLS	1.22	0.82			
36	12	FCO2000T.XLS	8.33	0.12	0.12		
37	12	FCO2000U.XLS	8.67	0.12			
38	12	FCO2000V.XLS	8.67	0.12		202,441.00	2,327,475.00
39	13	FCO2000Z.XLS	1.09	0.92	0.91		
40	13	FCO20010.XLS	1.15	0.87			
41	13	FCO20011.XLS	1.1	0.91		203,369.00	2,327,481.00
42	14	FCO20017.XLS	1.97	0.51	0.51		
43	14	FCO20018.XLS	2.12	0.47			
44	14	FCO20019.XLS	1.15	0.87		206,296.00	2,327,521.00
45	15	FCO2001C.XLS	1.23	0.81	0.79		
46	15	FCO2001D.XLS	4.02	0.25		203,013.00	2,330,249.00
47	15	FCO2001E.XLS	1.27	0.79			
48	16	FCO0011F.XLS	1.73	0.58	0.58		
49	16	FCO20001.XLS	1.03	0.97			
50	16	FCO2001G.XLS	1.82	0.55		202,585.00	2,328,707.00
51	16	FCO2001H.XLS	1.4	0.71			
52	16	FCO2001I.XLS	2.56	0.39			
53	17	FCO00102.XLS	1.61	0.62	0.62		
54	17	FCO20003.XLS	2.67	0.37		203,034.00	2,327,630.00
55	17	FCO20004.XLS	1.43	0.70			
56	18	FCO20007.XLS	2	0.50	0.50	203,330.00	2,326,826.00
57	19	FCO03001.xls	1.65	0.61	0.61		
58	19	FCO03002.xls	2.14	0.47		200,426.00	2,327,426.00

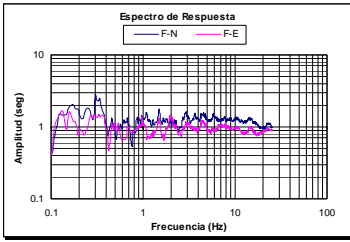
**TABLA DE REGISTROS OBTENIDOS CON SU RESPECTIVO PERIODO**

NO.	NO. DE REG.	NOMBRE DE LA GRAFICA	FRECUENCIA	PERIODOS OBTENIDO	PERIODO FINAL	COORDENADAS UTM	
						X	Y
59	19	FCO03003 .xls	1.44	0.69			
60	20	FCO00104 .xls	4.86	0.21	0.78		
61	20	FCO03006 .xls	1.14	0.88		200,835.00	2,327,422.00
62	20	FCO03007 .xls	1.29	0.78			
63	21	FCO0300C .xls	1.39	0.72	0.78		
64	21	FCO0300D .xls	1.15	0.87			
65	21	FCO0300E .xls	1.99	0.50		201,570.00	2,327,729.00
66	21	FCO0300F .xls	1.2	0.83			
67	22	FCO0300H .xls	1.36	0.74	0.80		
68	22	FCO0300I .xls	1.07	0.93		201,494.00	2,328,096.00
69	22	FCO0300J .xls	1.25	0.80			
70	23	FCO0300L .xls	3.49	0.29	0.47		
71	23	FCO0300M .xls	1.55	0.65			
72	23	FCO0300N .xls	7.53	0.13		201,374.00	2,328,397.00
73	23	FCO0300O .xls	1.33	0.75			
74	24	FCO0010Q .xls	1.66	0.60	0.60		
75	24	FCO0300R .xls	1.14	0.88		201,375.00	2,329,053.00
76	24	FCO0300S .xls	1.86	0.54			
77	25	FCO0300U .xls	3.59	0.28	0.13		
78	25	FCO0300V .xls	7.7	0.13			
79	25	FCO0300W .xls	4.8	0.21		201,260.00	2,329,619.00
80	25	FCO0300X .xls	7.63	0.13			
81	25	FCO0300Y .xls	8.44	0.12			
82	26	FCO03013 .xls	2.42	0.41	0.24		
83	26	FCO03014 .xls	4.22	0.24		200,945.00	2,328,894.00
84	26	FCO03017 .xls	4.68	0.21			
85	27	FCO0011A .xls	1.65	0.61	0.65		
86	27	FCO0301B .xls	1.2	0.83		200,906.00	2,328,501.00
87	27	FCO0301C .xls	1.53	0.65			
88	28	FCO00100 .xls	4.13	0.24	0.24		
89	28	FCO03101 .xls	2.21	0.45		201,035.00	2,327,498.00
90	28	FCO03102 .xls	4.94	0.20			
91	29	FCO00103 .xls	4.27	0.23	0.14		
92	29	FCO03104 .xls	8.07	0.12		201,085.00	2,328,096.00
93	29	FCO03106 .xls	7.14	0.14			
94	30	FCO03108 .xls	6.77	0.15	0.15		
95	30	FCO03109 .xls	8.07	0.12		201,120.00	2,328,641.00
96	30	FCO0310A .xls	4.17	0.24			
97	31	FCO0010B .xls	1.48	0.68	0.68		
98	31	FCO0310C .xls	1.76	0.57		200,662.00	2,328,644.00
99	31	FCO0310D .xls	1.33	0.75			
100	32	FCO0310F .xls	3.19	0.31	0.31		
101	32	FCO0310G .xls	1.46	0.68		200,659.00	2,328,103.00
102	32	FCO0310I .xls	5.76	0.17			
103	33	FCO0010J .xls	5.88	0.17	0.29		
104	33	FCO0310K .xls	3.5	0.29		200,584.00	2,327,388.00
105	33	FCO0310L .xls	2.36	0.42			
106	34	FCO0310N .xls	2.98	0.34	0.45		
107	34	FCO0310O .xls	1.83	0.55		200,518.00	2,328,467.00
108	34	FCO0310P .xls	2.22	0.45			

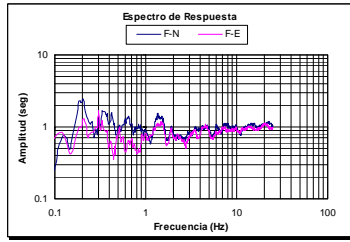


## **APENDICE 2**

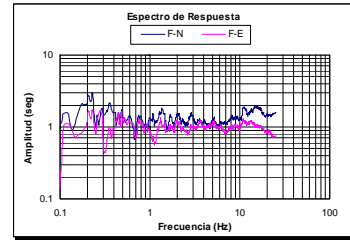
**Graficas de los espectros de Furier de los registros obtenidos en campo.**



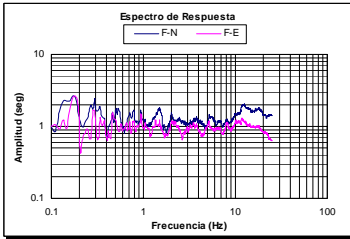
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO0010D**



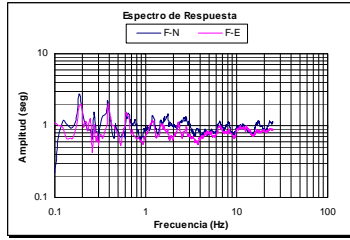
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO1990A**



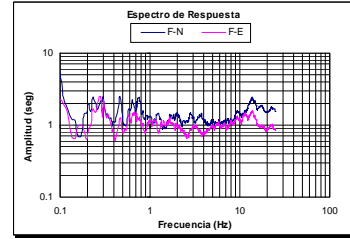
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000I**



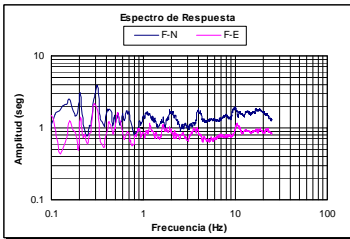
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO0010H**



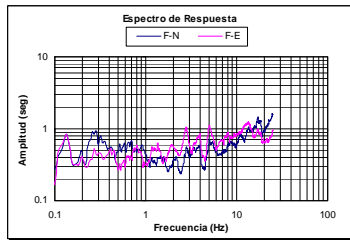
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO1990B**



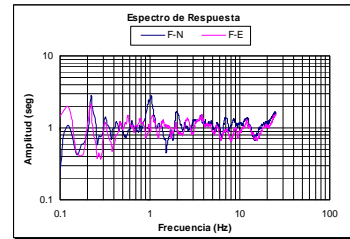
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000J**



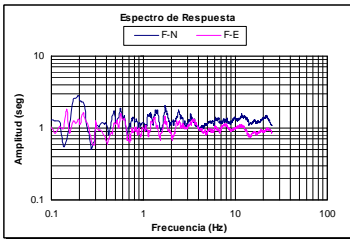
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO0010N**



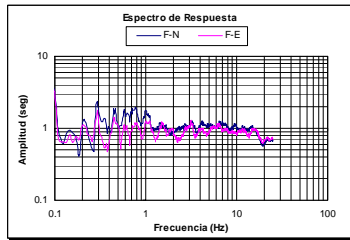
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO1990C**



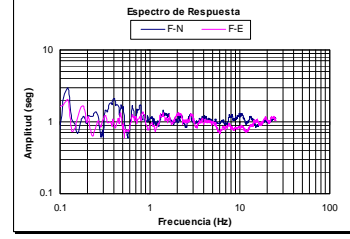
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000L**



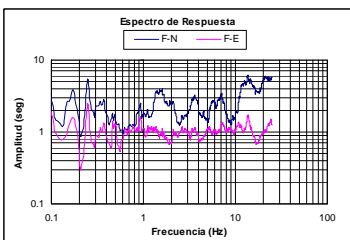
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO0011F**



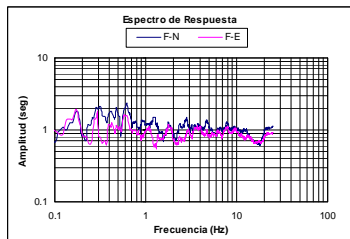
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO1990E**



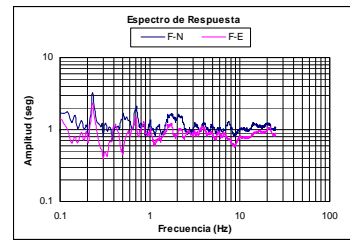
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000M**



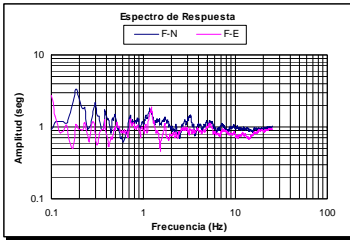
PURISIMA DEL RINCÓN, GTO  
**GRAFICA-FCO00102**



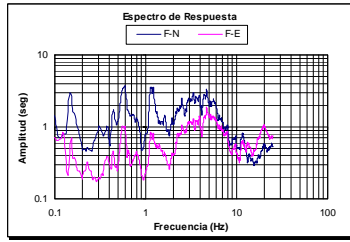
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO1990F**



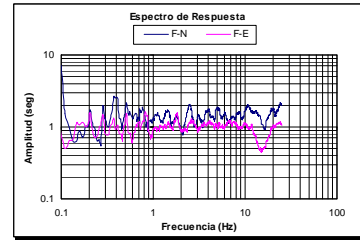
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000P**



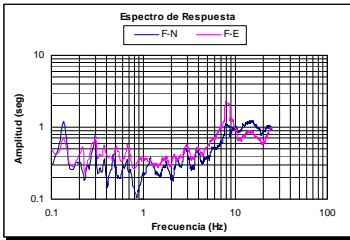
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000R**



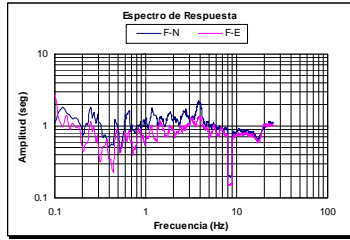
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2001C**



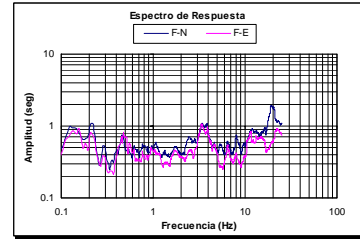
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2001I**



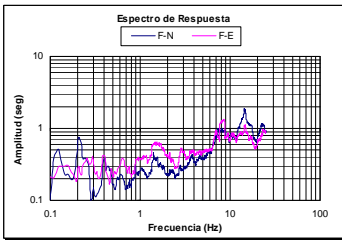
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000T**



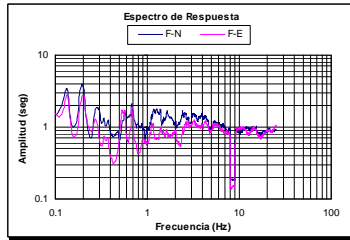
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2001D**



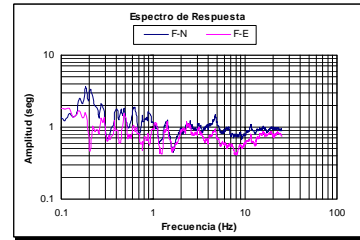
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO19906**



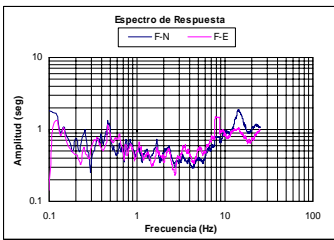
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000U**



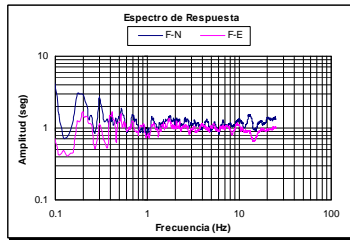
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2001E**



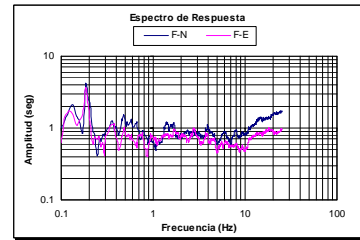
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO19907**



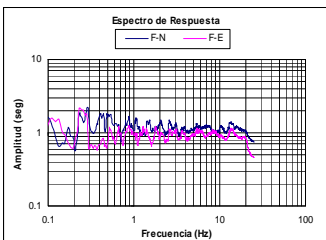
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000V**



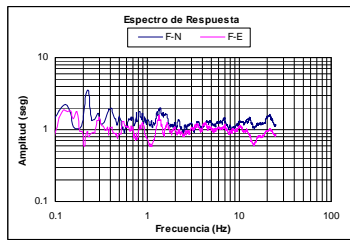
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2001G**



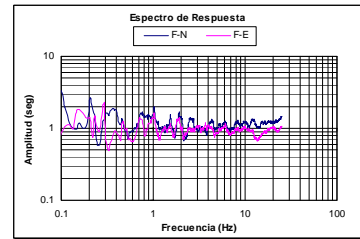
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO19908**



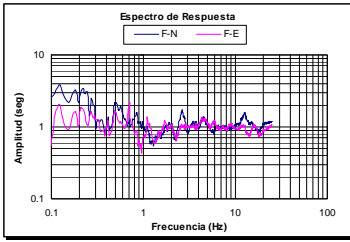
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000Z**



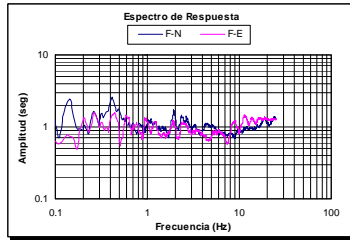
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2001H**



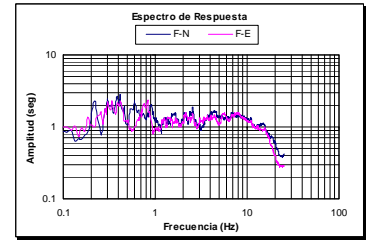
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO2000I**



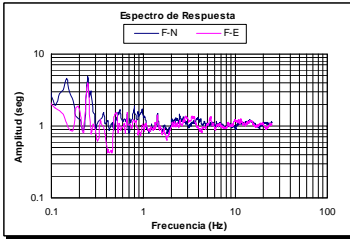
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20003**



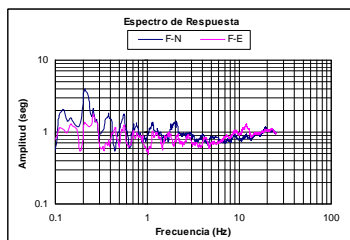
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20017**



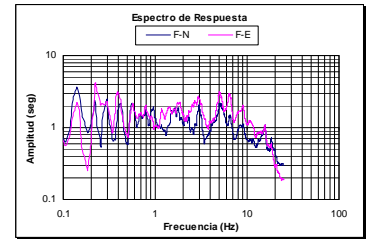
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-IRA1980C**



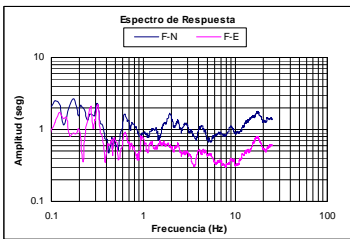
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20004**



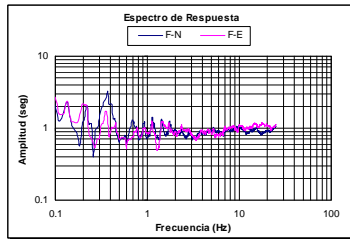
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20018**



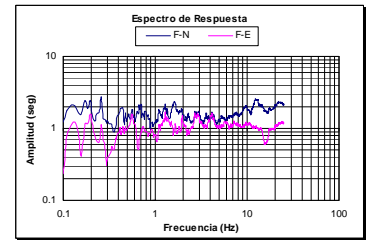
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-IRA1980F**



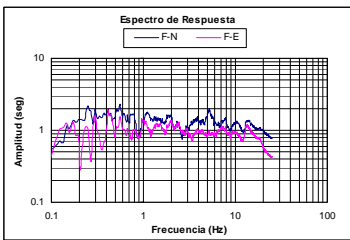
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20007**



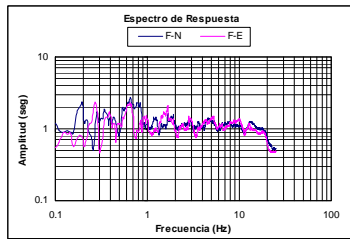
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20019**



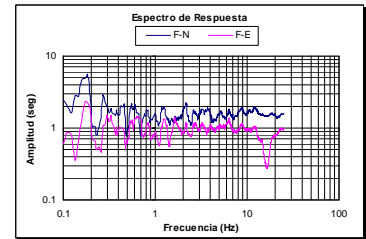
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-IRA1980H**



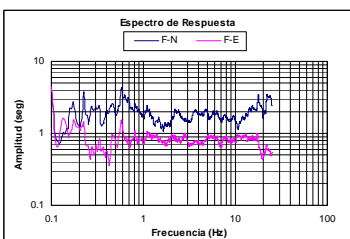
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20010**



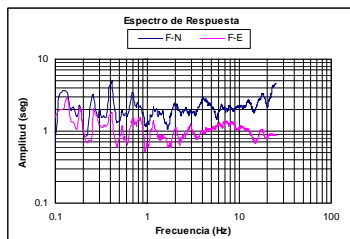
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-IRA0010A**



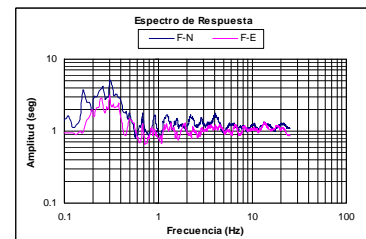
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-IRA1980I**



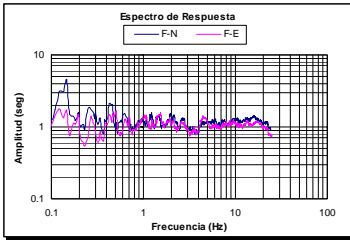
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-FCO20011**



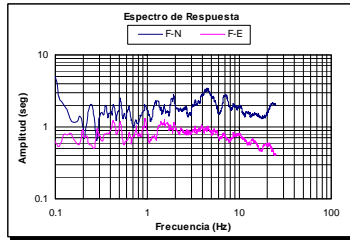
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-IRA0010G**



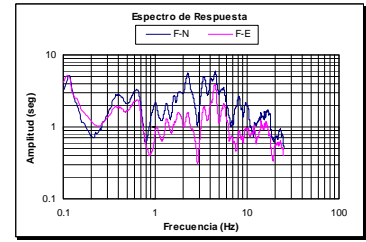
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
**GRAFICA-IRA1980K**



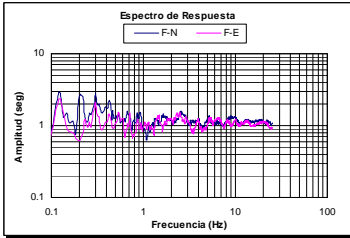
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA1980L



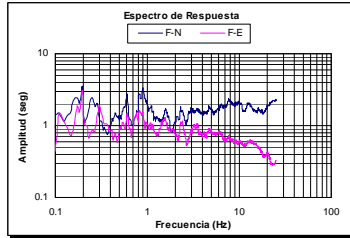
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA1980S



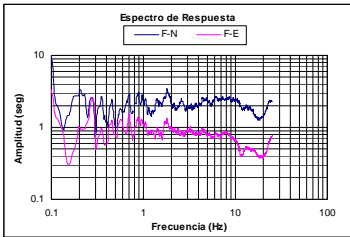
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA19808



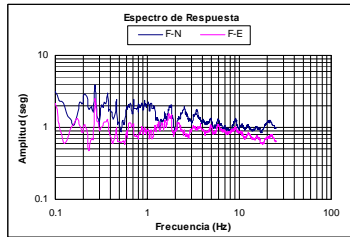
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA1980M



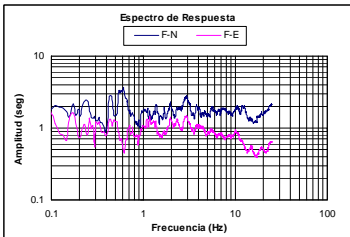
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA1980T



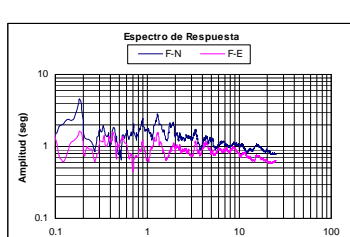
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA19800



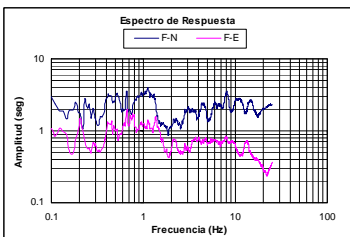
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA19801



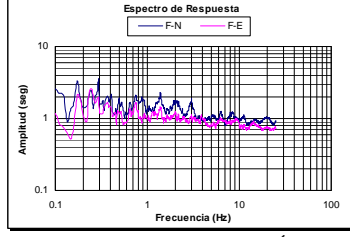
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA1980P



SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA19802

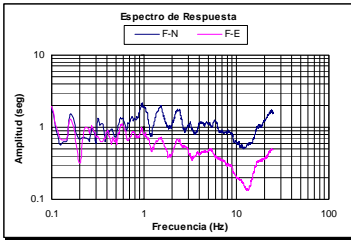


SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA1980Q

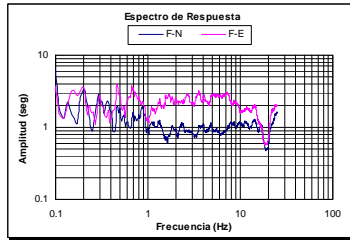


SAN FRANCISCO DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA- IRA19807

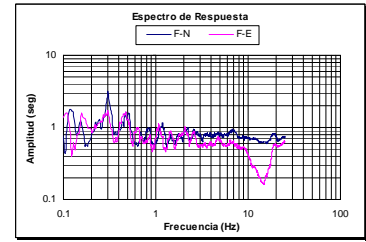




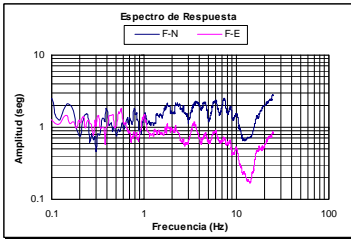
PURISIMA DEL RINCÓN, GTO.  
GRAFICA FCO0300M



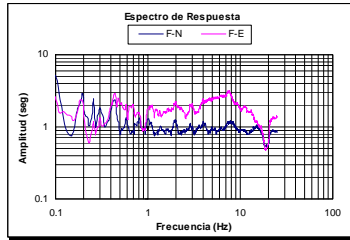
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300U



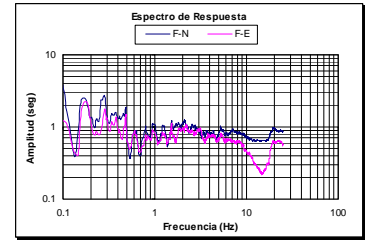
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0301B



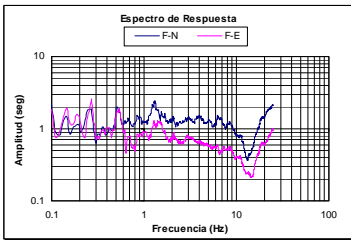
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300N



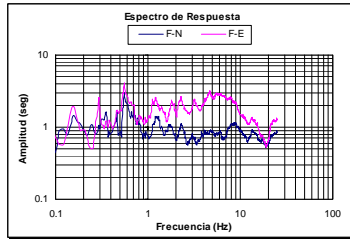
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300V



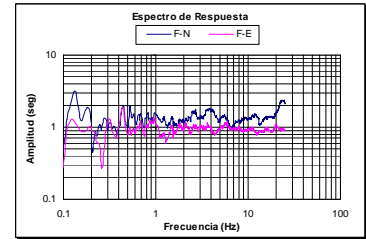
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0301C



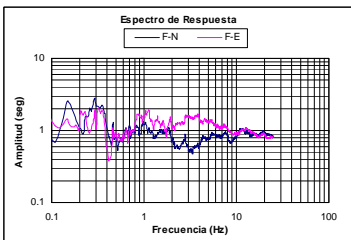
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300O



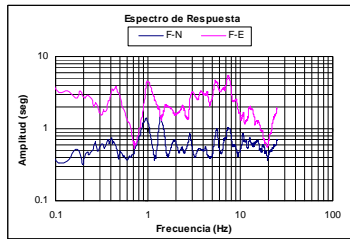
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300W



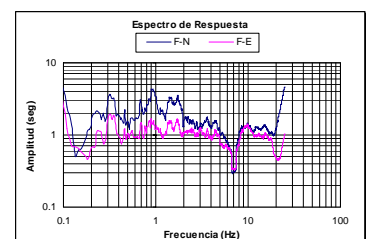
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310A



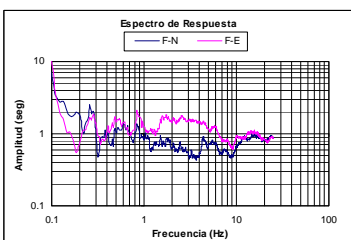
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300R



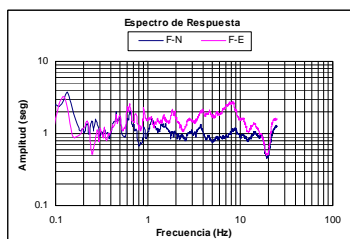
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300X



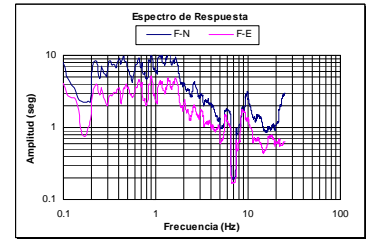
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310C



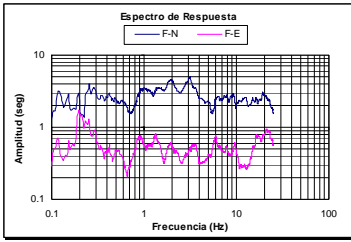
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300S



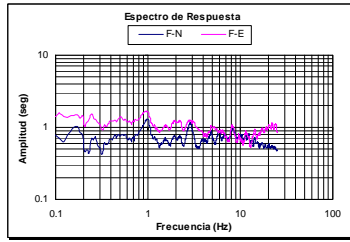
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0300Y



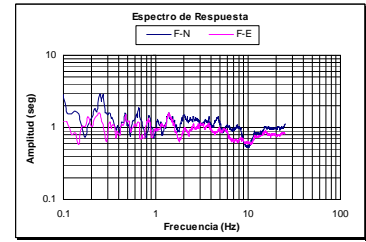
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310D



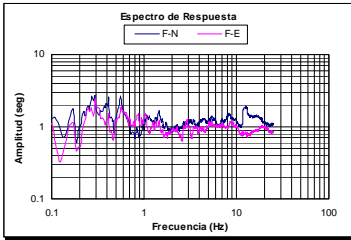
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310F



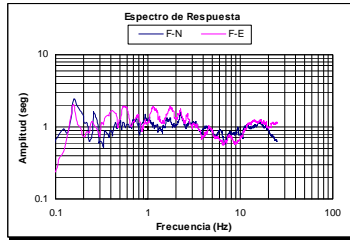
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310N



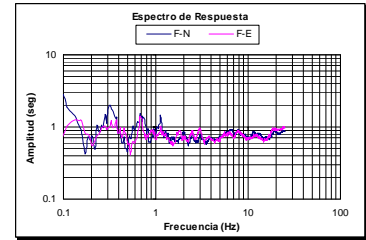
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03003



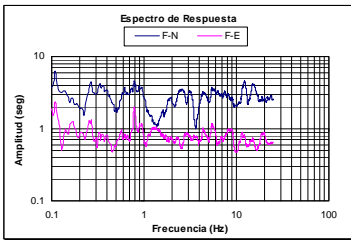
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310G



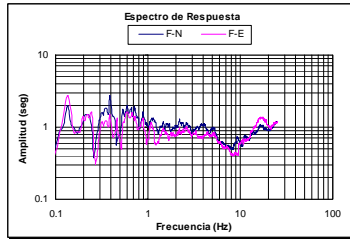
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310O



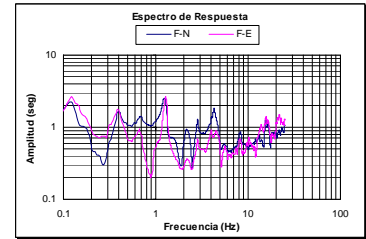
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03006



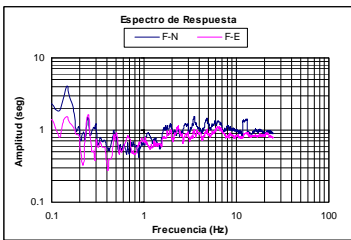
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310I



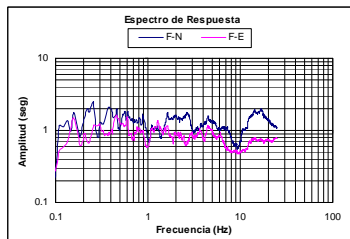
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310P



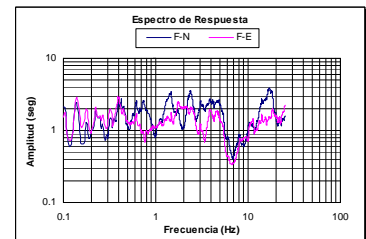
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03007



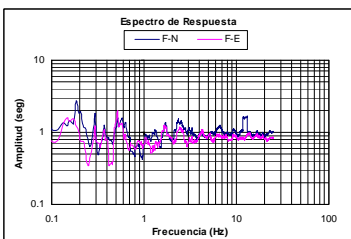
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310K



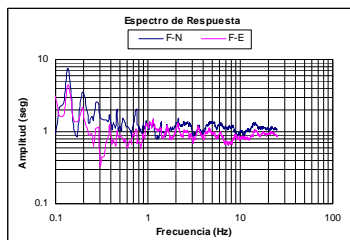
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03001



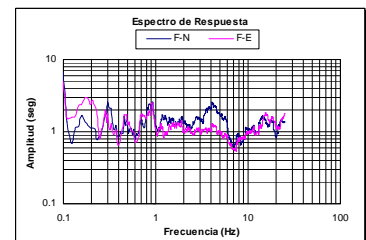
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03013



PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO0310L

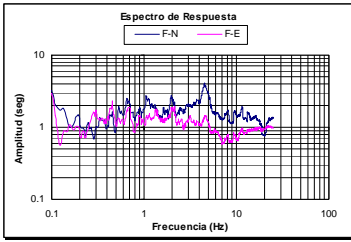


PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03002

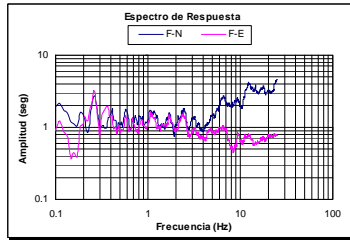


PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03014

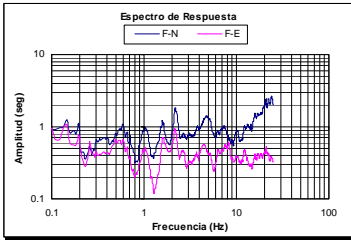




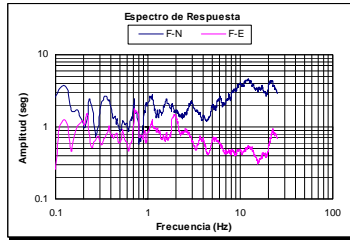
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03017



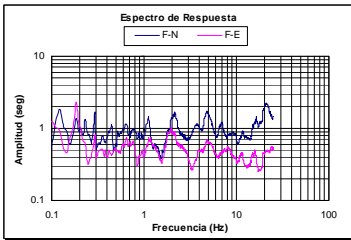
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03108



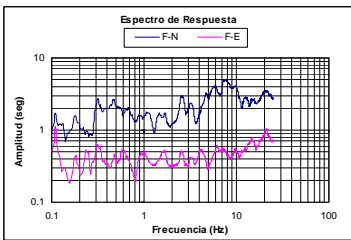
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03101



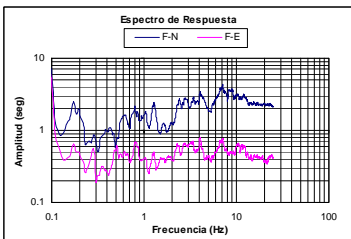
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03109



PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03102



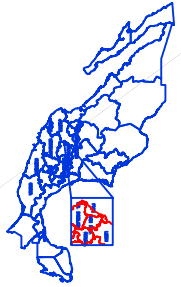
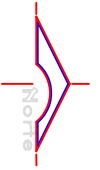
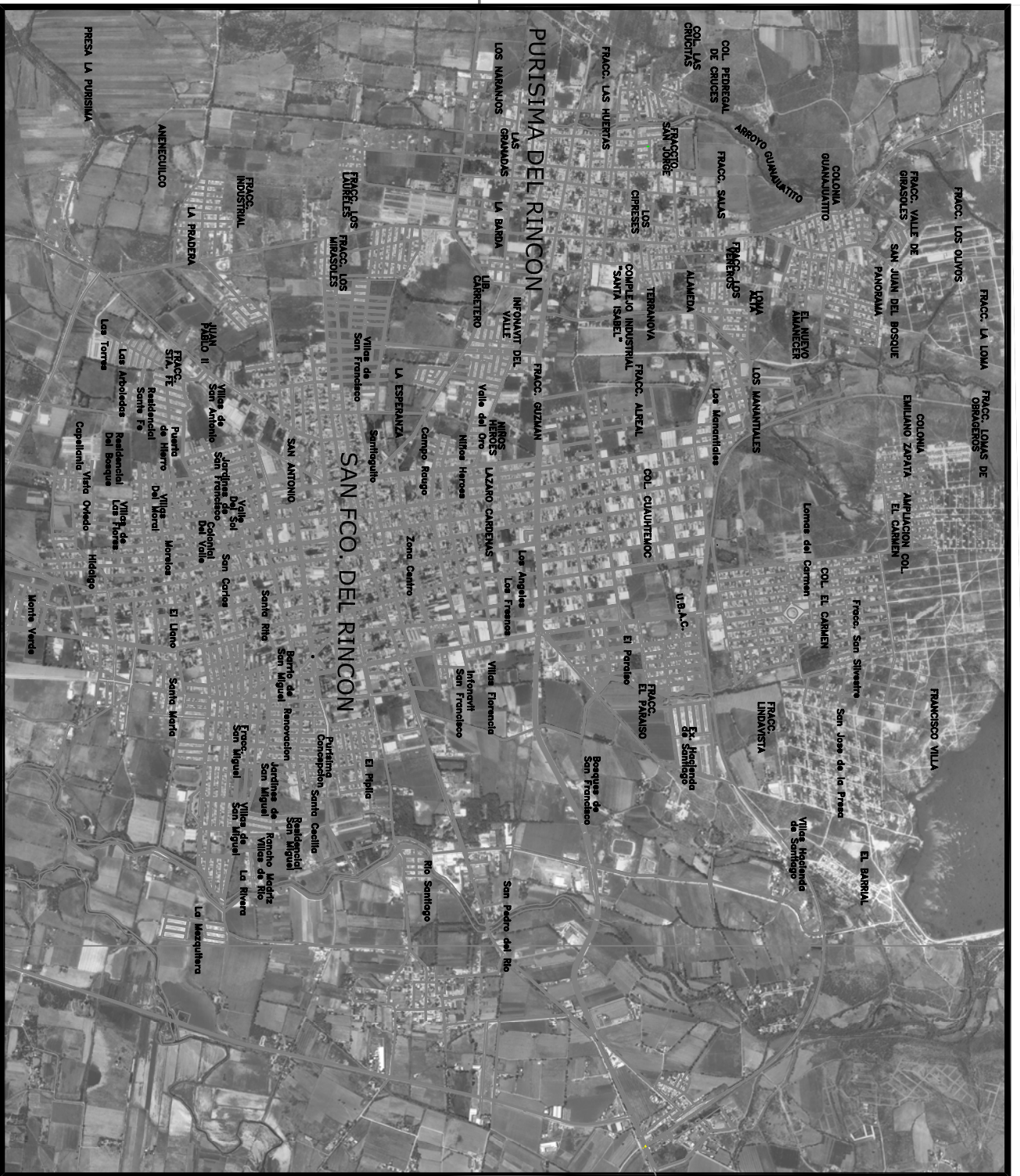
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03104



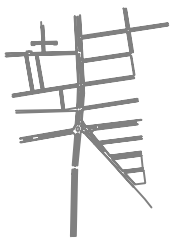
PURISIMA DEL RINCÓN GTO.  
GRAFICA FCO03106

### **Apéndice 3**

- Plano 1 - Plano de integración Urbana,
- Plano 2- Plano de curvas de nivel,
- Plano 3- Plano de composición Edafológica
- Plano 4- Plano de composición Geológica
- Plano 5- Plano de integración urbana  
Con ubicación de registros
- Plano 6- Plano de integración urbana  
Con curvas de isoperiodos
- Plano 7- Carta de isoperiodos y composición  
Geológica.
- Plano 8- Carta de microzonificación sísmica



LOCALIZACION



TRAZA DE MANZANAS Y CALLES

Las Franjas

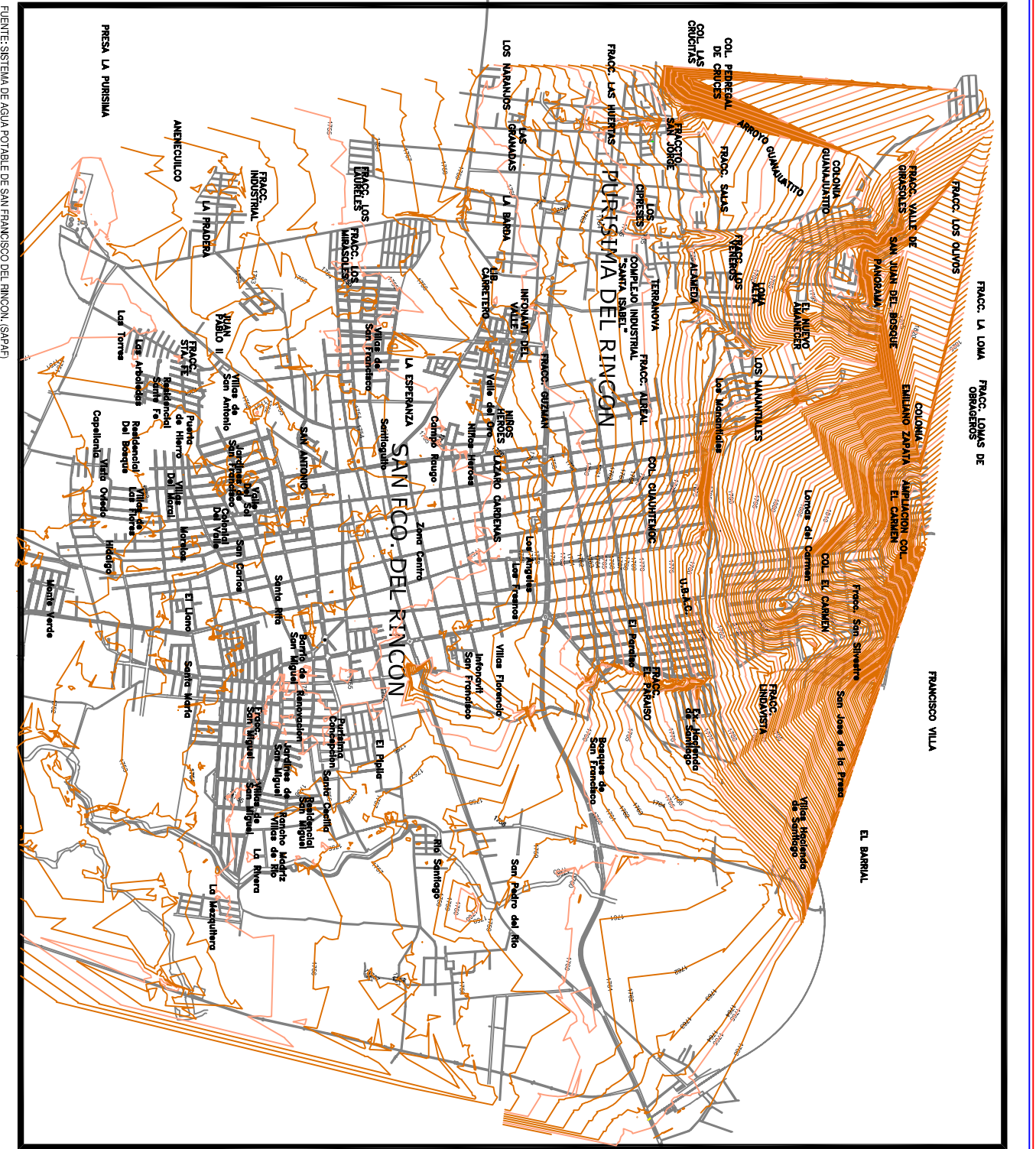
TRAZA URBANA DE LA ZONA COMUNITARIA DE SAN FRANCISCO Y PURISIMA DEL RINCON, SEGUN CENSO DE BUSTOS AGOSTO DEL 2001

**CONTENIDO**  
TRAZA URBANA DE LA ZONA DE ESTUDIO

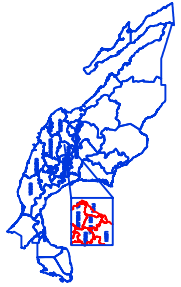
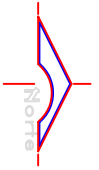
**ESCALA**  
ZONA COMUNITARIA DE SAN FRANCISCO DEL RINCON Y PURISIMA DE BUSTOS, GUAMALUATO

ESC.: 1:25,000  
FEBRERO 2008

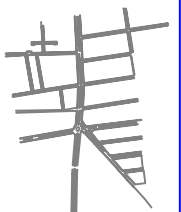
CLAVE  
**PLANO 1**



FUENTE: SISTEMA DE AGUA POTABLE DE SAN FRANCISCO DEL RINCON. (SAPAF)



LOCALIZACIÓN



TRAZA DE MANZANAS Y CALLES

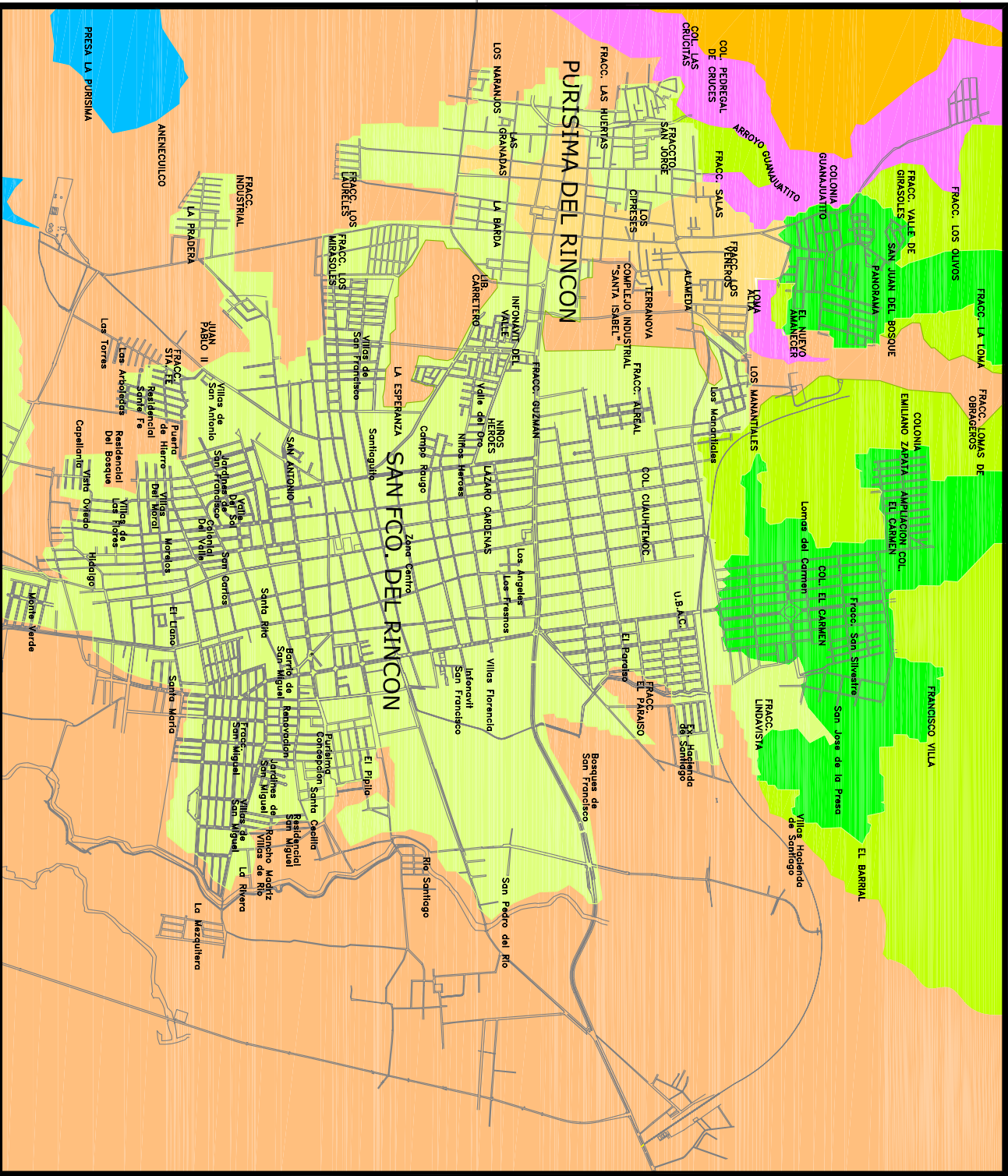
-  Las Frenas
-  MONEDA DE COCAINUS
-  CURVA DE NIVEL 1000m a 10m
-  CURVA DE NIVEL 1000m a 5m.

**CONTENIDO**  
 TRAZA URBANA DE LA ZONA DE ESTUDIO  
 CON CURVAS DE NIVEL

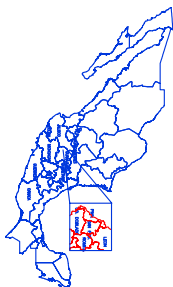
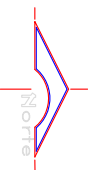
**LEGENDA**  
 ZONA CONURBANA DE SAN FRANCISCO DEL RINCON  
 Y PURÍSIMA DE RUSTOS, GUAMALUATO

ESCALA: 1:25,000  
 FEBRERO 2009

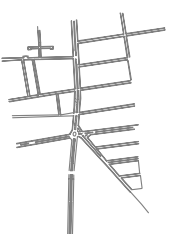
CLAVE  
**PLANO 2**



FUENTE: DESARROLLO URBANO DE PURISIMA DEL RINCON.



LOCALIZACION



TRAZA DE MANZANAS Y CALLES

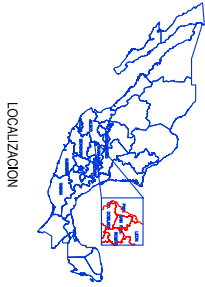
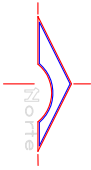
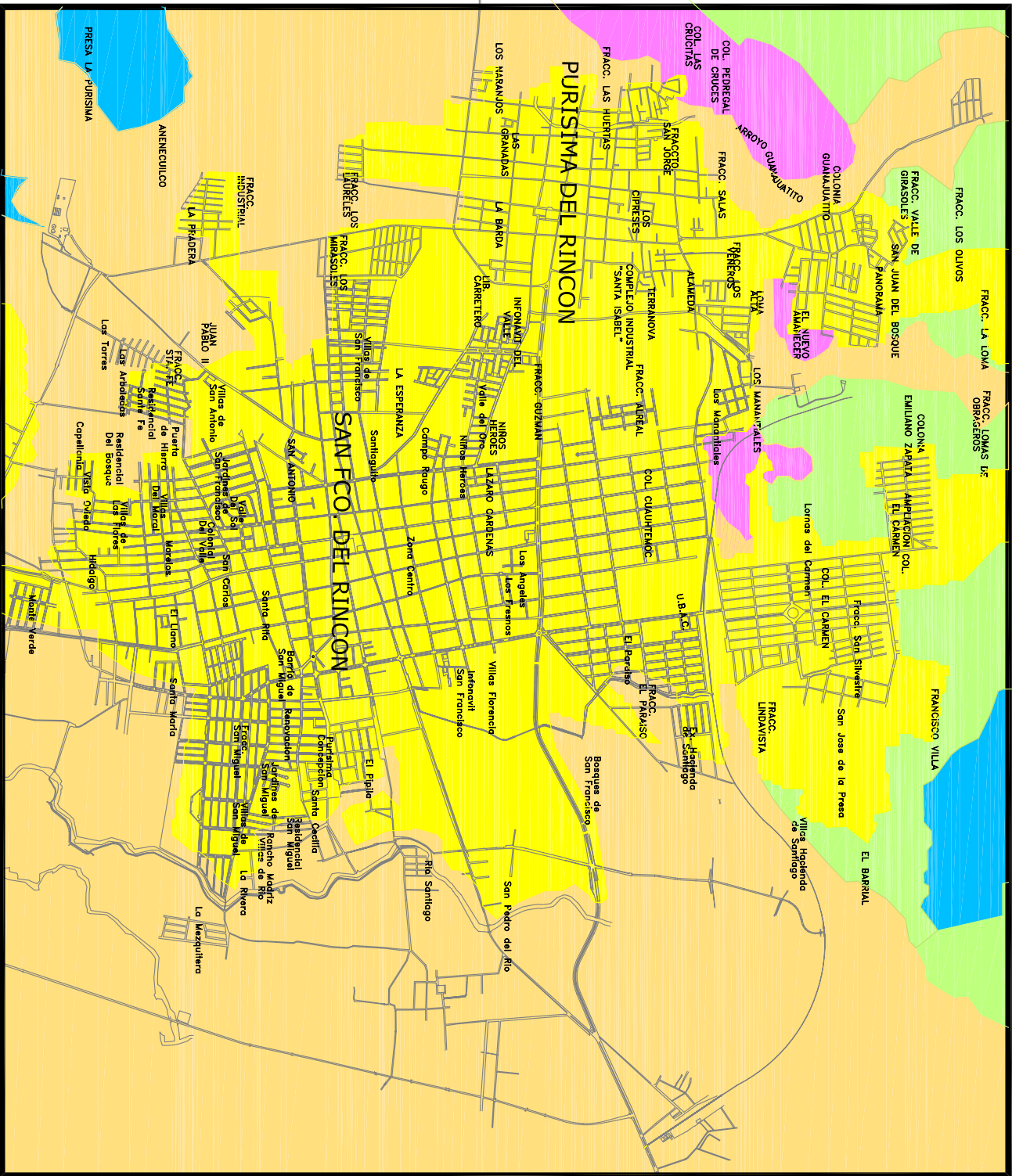
- Los Pisosos
- VERTISOL
- VERTISOL PELLICO
- XEROSOL CALCICO
- PLAEOSOL ETRIRCO
- CARTAOZOEM CALCICO
- PHAEZOEM PELLICO
- PLAEZOEM
- CUERPOS DE AGUA

**CONTENIDO**  
 TRAZA URBANA DE LA ZONA DE ESTUDIO  
 Y COMPOSICION EDAFOLOGICA

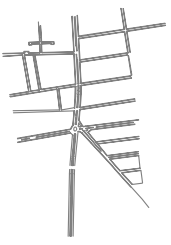
**UBICACION**  
 ZONA CONURBANA DE SAN FRANCISCO DEL RINCON  
 Y PURISIMA DE BUSTOS, GUAMALUATO

ESCALA: 1:250,000  
 FEBRERO 2008

CLAVE  
**PLANO 3**



LOCALIZACION



TRAZA DE MANZANAS Y CALLES

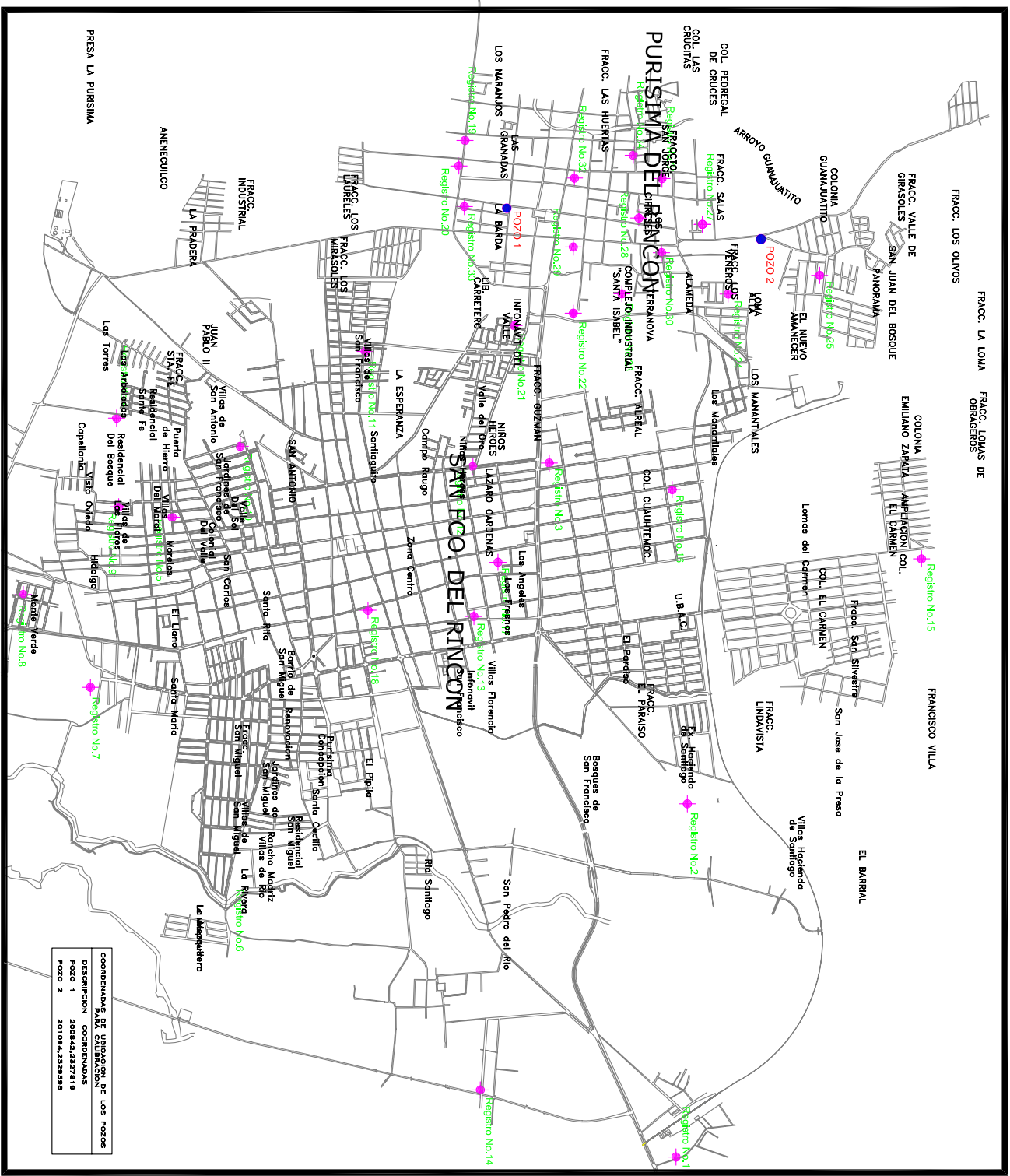
- Las Franjas
- NOMBRE DE COLONIAS
- SUELOS
- SEDIMENTARIAS
- SEDIMENTARIAS - IGNEAS
- IGNEAS

CONTENIDO  
 TRAZA URBANA DE LA ZONA DE ESTUDIO  
 Y COMPOSICION GEOLOGICA

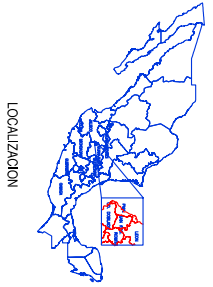
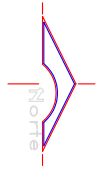
ESCALA  
 ZONA CONURBANA DE SAN FRANCISCO DEL RINCON  
 Y TRAZA DE BASTOS GUAJALATICO

ESCALA  
 ESC. 1:25,000  
 FEBRERO 2008

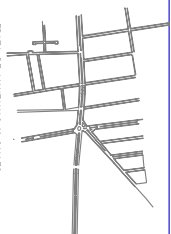
CLAVE  
**PLANO 4**



COORDENADAS DE UBICACION DE LOS POZOS	
DESCRIPCION	COORDENADAS
POZO 1	2008422327919
POZO 2	2010944258939



LOCALIZACION



TRAZA DE MANZANAS Y CALLES  
Las Fuentes  
Registro No. 2  
DENOMINACION DE REGISTRO

COORDENADA UTM DE LOS REGISTROS	REGISTRO
1	2005710,2328731
2	200572,2328801
3	200573,2328871
4	200574,2328941
5	200575,2329011
6	200576,2329081
7	200577,2329151
8	200578,2329221
9	200579,2329291
10	200580,2329361
11	200581,2329431
12	200582,2329501
13	200583,2329571
14	200584,2329641
15	200585,2329711
16	200586,2329781
17	200587,2329851
18	200588,2329921
19	200589,2329991
20	200590,2330061
21	200591,2330131
22	200592,2330201
23	200593,2330271
24	200594,2330341
25	200595,2330411
26	200596,2330481
27	200597,2330551
28	200598,2330621
29	200599,2330691
30	200600,2330761
31	200601,2330831
32	200602,2330901
33	200603,2330971
34	200604,2331041

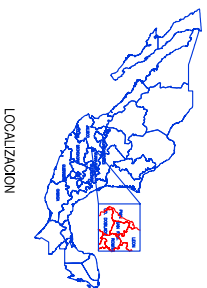
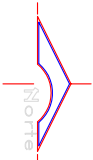
PARA CALIBRACION POZO 1

PARA CALIBRACION POZO 2

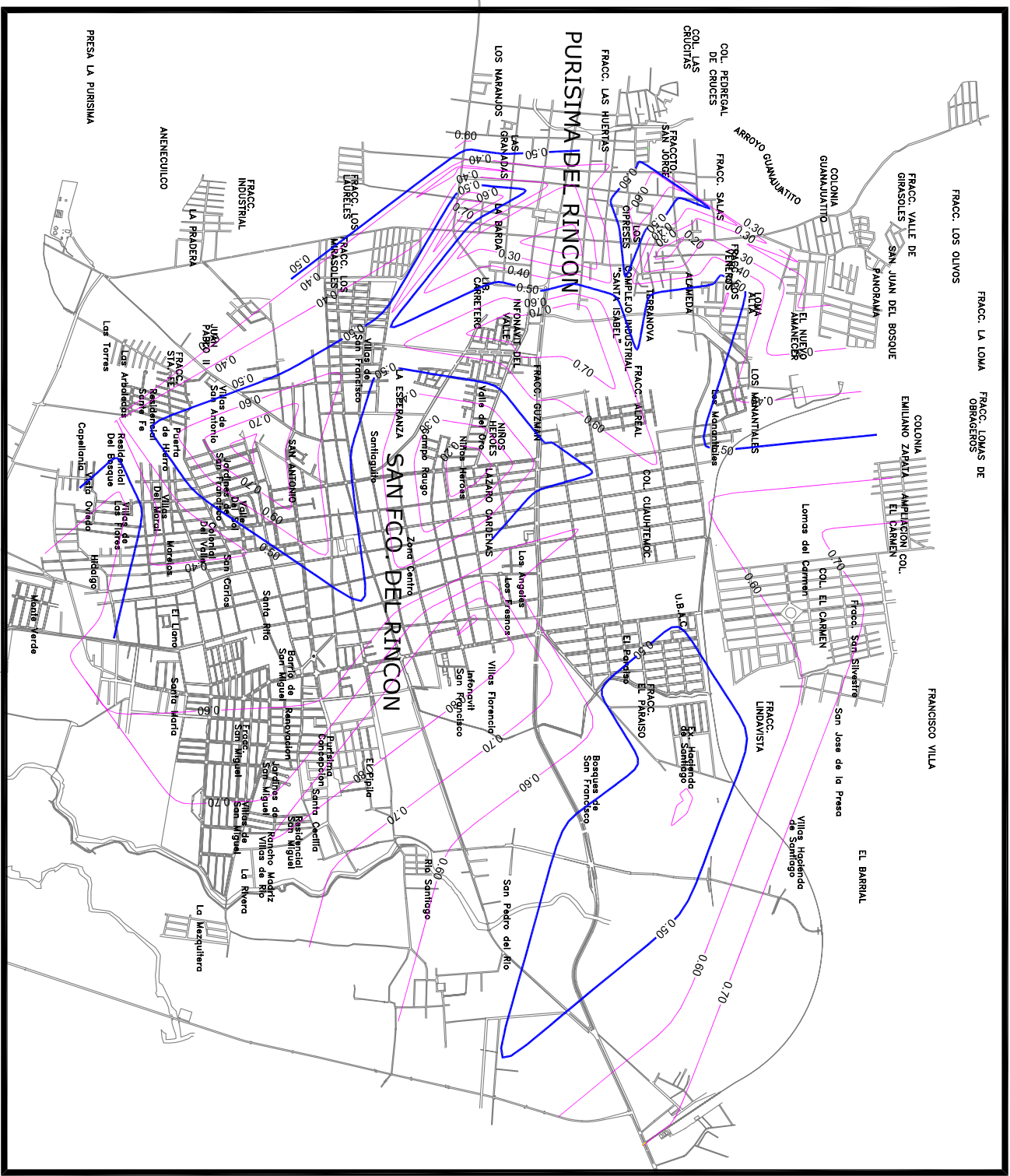
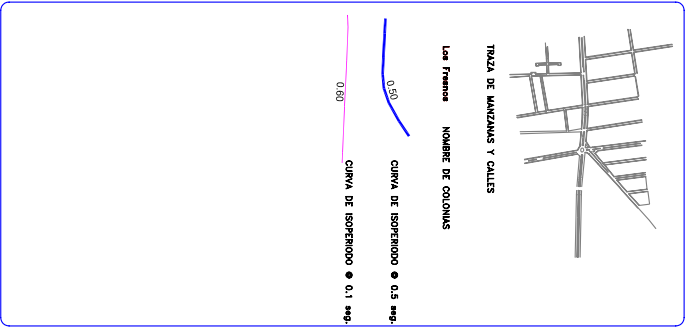
OBJETIVO  
TRAZA URBANA DE LA ZONA DE ESTUDIO  
Y UBICACION DE PUNTOS INSTRUMENTADOS

UBICACION  
ZONA CONURBANA DE SAN FRANCISCO DEL RINCON  
Y PURISIMA DE SAN FRANCISCO GUANAJATITO

ESC. 1:250,000  
FEBRERO 2008  
CLAYE  
**PLANO 5**



LOCALIZACION



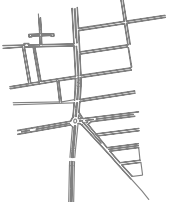
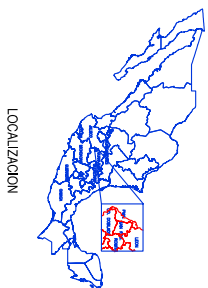
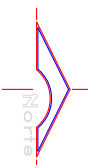
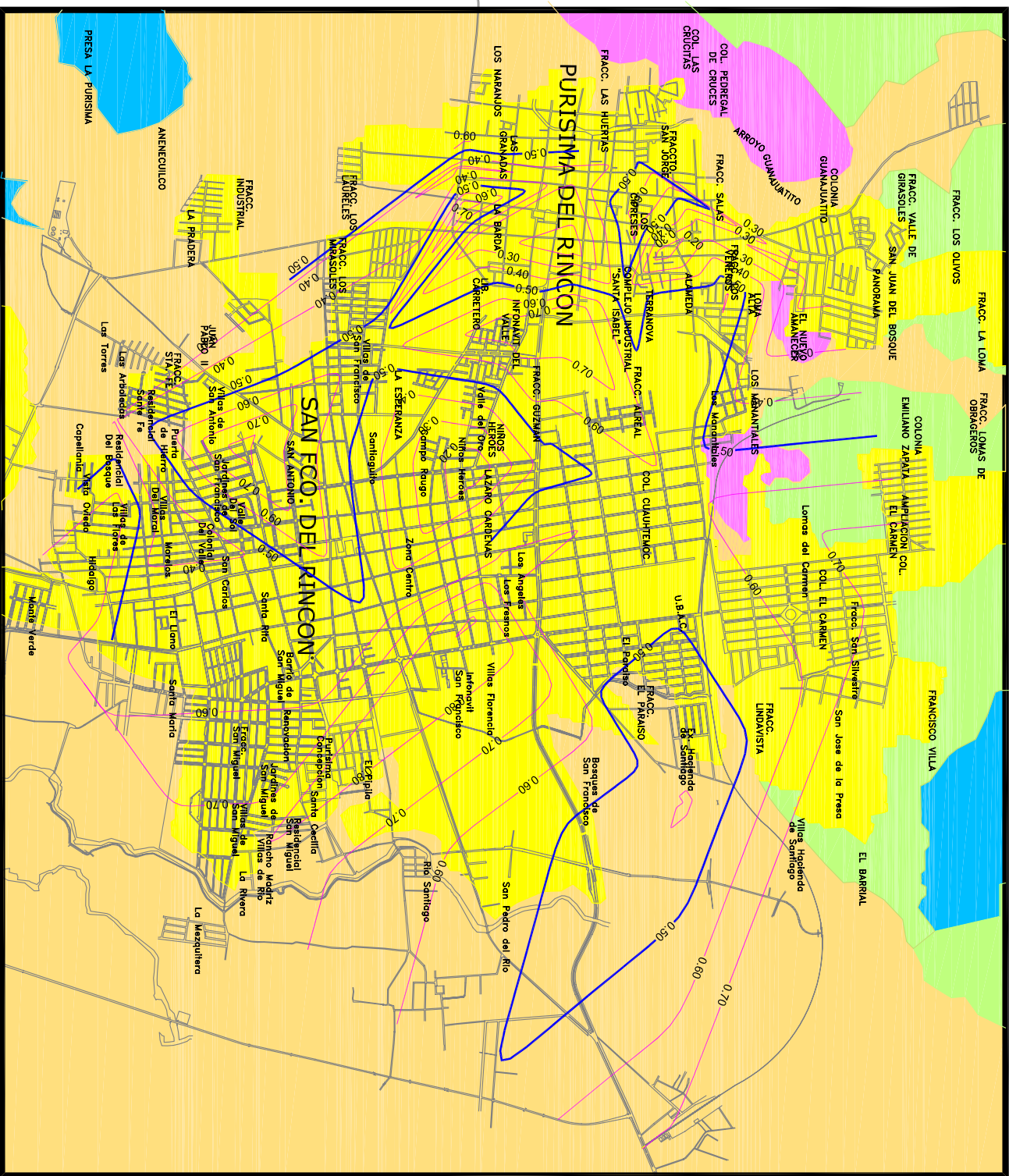
OBJETIVO: TRAZA URBANA DE LA ZONA DE ESTUDIO Y CURVAS DE ISOPERIMETROS OBTENIDOS

ESCALA: ZONA CON URBANA DE SAN FRANCISCO DEL RINCON Y PURISIMA DE BOSTOS, GUANAJUATO

ESC. 1:250,000  
FEBRERO 2008

CLAYE  
**PLANO 6**





TRAZA DE MANZANAS Y CALLES

Las Franjas      Nombre de Colonias

SUELOS

SEDIMENTARIAS

SEDIMENTARIAS - IGNEAS

IGNEAS

0.50      CURVA DE ISOPERIMOS ● 0.5 seg.

0.60      CURVA DE ISOPERIMOS ● 0.1 seg.

**CONTEXTO**

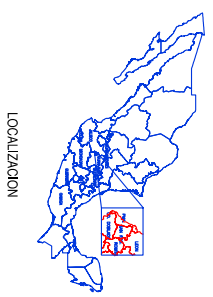
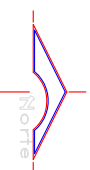
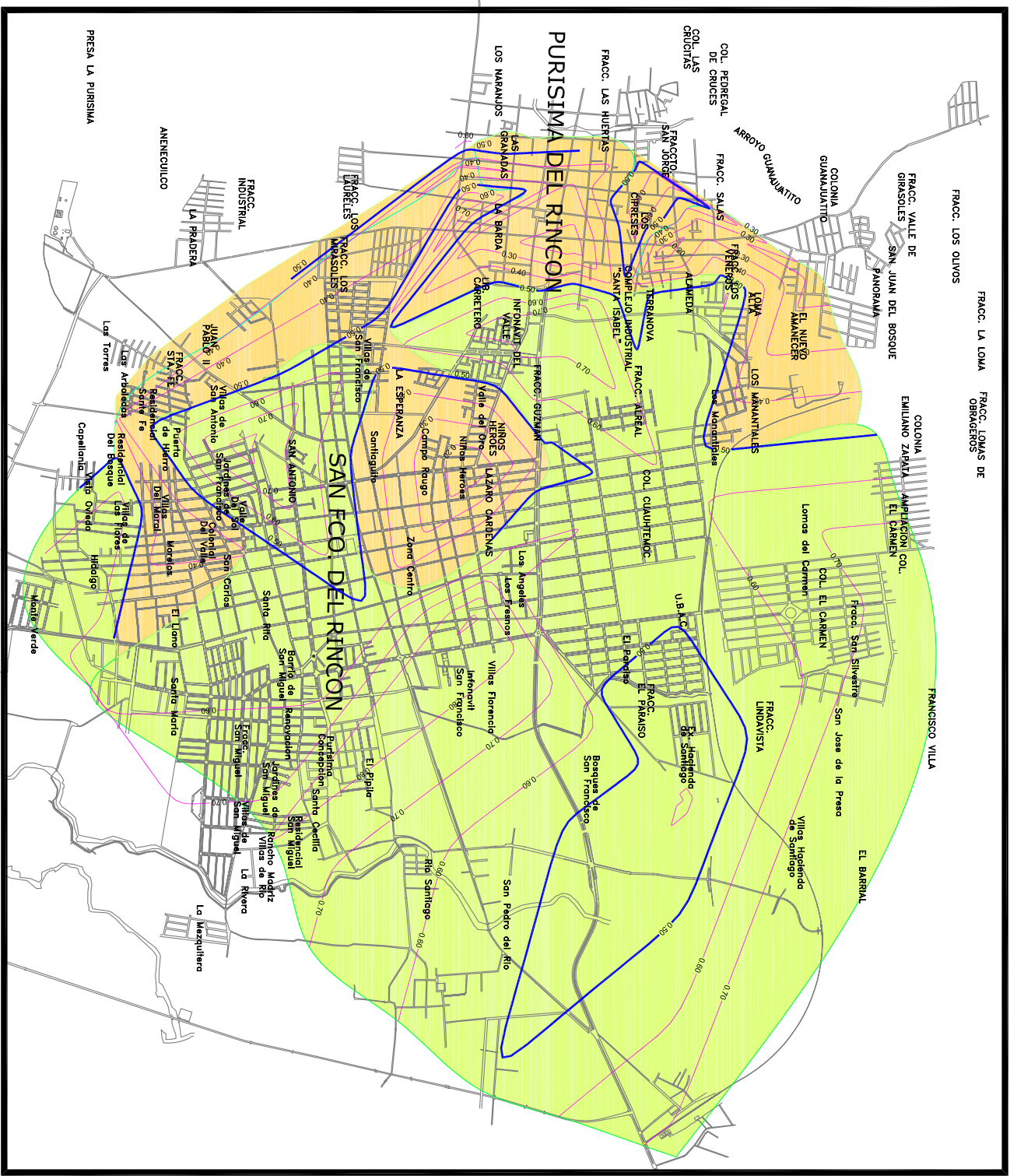
TRAZA URBANA DE LA ZONA DE ESTUDIO  
CURVAS DE ISOPERIMOS Y COMPOSICION GEOLOGICA

**escala:** ZONA URBANA DE SAN FRANCISCO DEL RINCÓN  
Y FRANJAS DE BASTOS GUANAJUATO

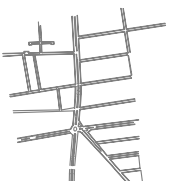
ESC. 1:25,000

FEBRERO 2008

CLAVE  
**PLAN 07**



LOCALIZACION



TRAZA DE MANZANAS Y CALLES

NOMBRE DE COLONIAS

- Las Franjas
- 0.50 CURVA DE ISOSEISMO • 0.5 seg.
- 0.10 CURVA DE ISOSEISMO • 0.1 seg.
- ZONA A (ZONA I DURA)
- ZONA B (ZONA II INTERMEDIA)
- ZONA C (ZONA III SUAVE)

CARTA DE MICROZONACION SISMICA PARA ELECCION DEL ESTIPULADO EN EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCION DE LA CIUDAD DE PURISIMA DEL RINCON I (CAPITULO IV SECCION ESPECIFICA ARTICULO 251) Y LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO DEL RINCON (CAPITULO III ARTICULO 272)

OPORTUNIDAD  
CARTA DE MICROZONACION SISMICA  
FEBRERO 2008

ESCALA: 1:250,000  
FEBRERO 2008

CLAVE  
**PLANO 8**