

**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS
SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO
DE LA CIUDAD DE QUITO**

Elaborado por: Ing. Jorge Valverde

Ing. Jeannette Fernández

Ing. Eliana Jiménez

Ing. Tany Vaca

Ing. Fausto Alarcón

INDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| ANTECEDENTES | 1 |
| 1.INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1 RIESGO SÍSMICO | 3 |
| 1.2 EFECTOS LOCALES DEL SUELO | 6 |
| 1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO | 8 |
| 1.4 ESTUDIOS PREVISIO | 11 |
| 1.5 OBJETIVOS | 14 |
| | |
| 2. ZONIFICACIÓN DE SUELOS DE LA CIUDAD DE QUITO, RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN | |
| 2.1 ZONIFICACIÓN BÁSICA | 16 |
| 2.1.1 INTRODUCCIÓN | 16 |
| 2.1.2 MORFOLOGÍA DE LA CIUDAD DE QUITO | 17 |
| 2.1.3 ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DE QUITO | 19 |
| 2.1.4 ZONIFICACIÓN BÁSICA | 21 |
| 2.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS ZONAS DE QUITO | 23 |
| 2.2.1 SECCIONES TRANSVERSALES | 23 |
| 2.2.2 SUBDIVISIÓN DEL ÁREA DE QUITO | 25 |
| 2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS | 28 |
| 2.4 PERFILES TÍPICOS DE CADA ZONA | 29 |
| | |
| 3. MODELACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO | 43 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA SHAKE 91 | 43 |
| 3.1.1 INTRODUCCIÓN | 43 |
| 3.1.2 HIPÓTESIS ASUMIDAS EN EL PROGRAMA SHAKE 91 | 45 |
| 3.1.3 OPCIONES DEL PROGRAMA SHAKE 91 | 47 |
| 3.2 MODELACIÓN DE LAS COLUMNAS DE SUELO | 48 |
| 3.2.1 MODELACIÓN DE LAS COLUMNAS DE SUELO | 48 |
| 3.2.2 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA SHAKE 91 | 60 |
| 3.3 DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA | 61 |
| 3.3.1 DEFINICIÓN | 61 |
| 3.3.2 FUNCIONES DE TRANSFERENCIA | 63 |
| 3.3.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN | 64 |
| 3.4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA | 75 |
| 3.4.1 ESPECTROS DE RESPUESTA | 75 |
| 3.4.2 OBTENCIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA | 76 |
| 3.4.2.1 Espectros de respuesta | 76 |
| 3.4.2.2 Espectros de diseño | 77 |
| 3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 81 |

| | |
|---|------------|
| 4. GEOLOGÍA DEL CUATERNARIO DE LAS ÁREAS URBANAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO | 92 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN | 92 |
| 4.2 MORFOLOGÍA | 92 |
| 4.3 LA FALLA DE QUITO | 94 |
| 4.4 GEOLOGÍA LOCAL DEL CUATERNARIO..... | 94 |
| 4.4.1 UNIDAD VOLCÁNICOS BASALES (VOLCANO SEDIMENTOS MACHÁNGARA) | 95 |
| 4.4.2 UNIDAD VOLCANO SEDIMENTOS SAN MIGUEL | 96 |
| 4.4.3 UNIDAD VOLCÁNICOS PICHINCHA (LAVAS AFLORANTES) | 97 |
| 4.4.4 UNIDAD VOLCANO SEDIMENTOS CHICHE | 97 |
| 4.4.5 UNIDAD FLUVIATIL QUITO | 98 |
| 4.4.6 DEPÓSITOS ALUVIALES | 101 |
| 4.4.7 UNIDAD CANGAHUA | 101 |
| 4.4.8 DEPÓSITOS VOLCÁNICOS HOLOCÉNICOS PULULAHUA | 104 |
| 4.4.9 TERRAZAS ALUVIALES | 105 |
| 4.4.10 SUELOS VOLCÁNICOS | 106 |
| 4.4.11 UNIDAD FLUVIO – LACUSTRE LA CAROLINA (DEPÓSITOS LACUSTRES) | 106 |
| 4.4.12 DEPÓSITOS COLUVIALES | 111 |
| 4.4.13 DEPÓSITOS LAHARÍTICOS | 111 |
| 4.4.14 ZONAS DE RELLENO | 112 |
| 4.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 113 |
| | |
| 5. TRABAJO DE CAMPO | 115 |
| 5.1 INTRODUCCIÓN | 115 |
| 5.2 ENSAYO CROSS HOLE | 116 |
| 5.3 ENSAYO DOWN HOLE | 117 |
| 5.4 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR DE LOS SUELOS | 118 |
| 5.5 ENSAYO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL | 119 |
| 5.5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO A UTILIZAR | 121 |
| 5.5.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO | 123 |
| 5.5.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 125 |
| 5.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 128 |
| 6. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 130 |
| 6.1 INTRODUCCIÓN | 130 |

| | |
|---|-----|
| 6.2 NUEVA MODELACIÓN DE LAS COLUMNAS DE SUELO | 130 |
| 6.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS DE PERÍODO NATURAL DE VIBRACIÓN DE LOS SUELOS, OBTENIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE VIBRACIÓN AMBIENTAL Y EL PROGRAMA SHAKE 91 .. | 132 |
| 6.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 133 |
| 6.5 CONCLUSIONES | 135 |
| 6.5.1 CONCLUSIONES GENERALES | 135 |
| 6.5.2 CONCLUSIONES PARTICULARES | 137 |
| 6.6 RECOMENDACIONES | 142 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| 1. Zonas preliminares que definen la zonificación primaria de la ciudad | 22 |
| 2. Ubicación secciones transversales | 24 |
| 3. Zonificación de la ciudad de Quito elaborada por el Proyecto Manejo del Riesgo Sísmico de Quito..... | 27 |
| 4. Columnas de suelos elaboradas por el Proyecto Manejo del Riesgo Sísmico de Quito..... | 31 |
| 5. Sistema considerado por programa Shake 91 | 46 |
| 6. Curvas experimentales de amortiguamiento y módulo de corte vs. deformación por corte definidas para cada tipo de suelo | 49 |
| 7. Acelerogramas utilizados en la modelación dinámica | 53 |
| 8. Ejemplo de elaboración del archivo de datos para el Shake 91 | 56 |
| 9. Gráficas de las funciones de transferencia de las 20 zonas del Proyecto Manejo del Riesgo Sísmico de Quito | 66 |
| 10. Espectro de diseño general - CEC 2000 | 77 |
| 11. Gráfico adaptado del CEC 2000 del espectro elástico de diseño normalizado | 79 |
| 12. Espectro de diseño propuesto para las 20 zonas del proyecto Manejo del Riesgo Sísmico de Quito | 81 |
| 13. Columnas caracterísitcas de la Unidad Fluvio – Lacustre La Carolina | 109 |
| 14. Espectros de diseño propuestos para las tres zonas del Mapa No. 2 | 140 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: Curvas experimentales usadas en Shake 91..... | 50 |
| Tabla 2: Sismos escalados | 65 |
| Tabla 3: Comparación entre períodos obtenidos del Shake 91 y ensayo de vibración ambiental | 133 |

INDICE DE MAPAS

Mapa N°. 1: Mapa Geológico del Cuaternario del Distrito Metropolitano de Quito

Mapa N°. 2: Mapa de Microzonificación Sísmica de los Suelos del Distrito Metropolitano de Quito

Mapa N°. 3: Mapa de ubicación de los Ensayos Cross Hole y Acelerógrafos

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A: Funciones de transferencia
- ANEXO B: Espectros de respuesta
- ANEXO C: Datos del ensayo cross hole
- ANEXO D: Datos del ensayo down hole
- ANEXO E: Columnas características de suelo de las zonas corregidas
- ANEXO F: Funciones de transferencia de las zonas corregidas
- ANEXO G: Cap. 1 del nuevo código ecuatoriano de la construcción CEC 2000

ANTECEDENTES

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) a través de su Dirección General de Planificación, se halla interesado en contar con una Carta Zonificada Sísmica para las áreas urbanas del Distrito metropolitano. Esta carta estará dirigida a mitigar los efectos que un sismo de magnitud importante pueda causar a las estructuras existentes y futuras dentro del Distrito Metropolitano.

Una vez que el capítulo de sismo resistencia del nuevo Código Ecuatoriano de Construcción está apunto de entrar en vigencia, es deber de cada ciudad y de sus gobiernos locales contar con un mapa zonificado de acuerdo a los tipos de suelo especificados en este código.

Los efectos potenciales que un evento sísmico puede causar pueden ser devastadores como se lo ha comprobado en otras ciudades en los últimos años. Las pérdidas de vidas y de recursos pueden ser de grandes proporciones afectando la economía de los pueblos.

El contar con una información que permita regir y controlar el uso del uso y las construcciones y edificaciones, fijar los requerimientos que la técnica con sus últimos avances aconseja y definir responsabilidades técnicas podrá reducir las pérdidas y daños ocasionados por este tipo de desastre natural.

La Escuela Politécnica Nacional cuenta con la experiencia necesaria como para desarrollar tal trabajo. Su participación en la elaboración del proyecto Escenario Sísmico Para Quito contando con el auspicio y colaboración de instituciones municipales, locales e internacionales avala su capacidad de desarrollar proyectos de esta índole.

El estudio que se plantea es de carácter multidisciplinario considerando la complejidad de los fenómenos que pueden ser generados dentro y fuera del área metropolitana. Las fuentes sísmicas estudiadas hasta ahora y que pueden afectar

a la ciudad son muchas. Sus magnitudes pueden ser altas y su probabilidad de ocurrencia cada vez es mayor.

En este estudio se plantea el procesamiento de la información disponible y de otra complementaria que será realizada específicamente para el proyecto. El resultado del estudio será un mapa que servirá de instrumento técnico que permita tanto a los profesionales involucrados en el diseño y la construcción como a la Municipalidad como agentes de regulación, control y ordenamiento del territorio hacer cumplir las normativas mínimas de sismo resistencia y definir el uso del suelo. La información de este proyecto servirá de complemento local del Código Ecuatoriano de la Construcción.

INTRODUCCIÓN

1.1 RIESGO SÍSMICO

El Ecuador presenta un historial sísmico importante, ya que su ubicación en una zona de alto riesgo sísmico, ha permitido la generación de sismos cuya acción destructiva ha provocado pérdidas materiales y de vidas humanas.

Un complejo sistema de fallamiento superficial dentro del territorio continental del Ecuador, fallas geológicas, actividad neotectónica, la acción de subducción de la Placa de Nazca dentro de la Placa Sudamericana y la actividad volcánica, son las principales fuentes de generación de sismos en Ecuador.

La capital del Ecuador, Quito, es una ciudad que tiene un alto grado de amenaza sísmica e históricamente ha sido sacudida por fuertes sismos. Estudios de la sismicidad histórica de Quito revelan que la ciudad ha experimentado, cada 50 años en promedio, daños causados por terremotos que ocurrieron tanto en la vecindad inmediata como otros más lejanos [Del Pino y Yépez 1990]. ⁽⁷⁾

Sismos importantes a considerarse fueron los de 1755, 1797, 1859 y 1868, producidos cuando Quito era significativamente menos desarrollado y menos poblado que hoy en día. Esto hace que los efectos causados por terremotos anteriores no puedan servir de referencia para analizar los efectos de un terremoto esperado de similares características; sin embargo el historial sísmico de la ciudad ayuda a visualizar el potencial de amenaza sísmica de Quito. ⁽⁵⁾

Al no poder contar con los efectos de los sismos pasados sobre Quito, es necesario hacer un análisis de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad para poder definir el grado de riesgo sísmico de Quito.

El evidente desarrollo económico y fenómenos demográficos en la ciudad de Quito han causado una considerable expansión física (especialmente a lo largo de la ciudad) y un considerable aumento de la densidad poblacional.

El crecimiento urbano ha sido desordenado, pues por un lado mantiene zonas con edificaciones pobremente construidas, con poco o ningún control técnico, zonas no planificadas, zonas de construcciones improvisadas y autogestadas de calidad deficiente, y por el otro lado existen zonas de gran desarrollo, con edificios y residencias construidas con criterio técnico.

Un código de construcción adaptado y no estrictamente aplicado, falta de políticas estandarizadas para prácticas de construcción sismo-resistente, un control poco eficiente de las construcciones y poca participación de profesionales como ingenieros o arquitectos en las construcciones, son causas de la proliferación de edificaciones antitécnicamente construidas.

En cuanto a las deficiencias en el tratamiento del terreno en donde fueron edificados los inmuebles, es importante mencionar la existencia de estructuras construidas en pendientes inestables (quebradas), en rellenos de suelo blando, en laderas o faldas de montaña, etc. Adicionalmente los efectos de amplificación de ondas sísmicas en suelos no son tomados muy en cuenta durante el análisis y diseño de estructuras.

Completando el panorama de una ciudad con alta vulnerabilidad sísmica se encuentran las calles estrechas de difícil acceso, cuerpo de bomberos insuficiente, falta de un plan real de emergencias, deficiente maquinaria para rescate y auxilio y todo lo anteriormente referido. ⁽⁸⁾

Quito, consecuentemente, es una ciudad de gran riesgo sísmico, por cuanto este riesgo depende tanto de la vulnerabilidad de las estructuras y de la amenaza sísmica del sitio de emplazamiento. Se ve la necesidad de tratar de reducir la alta vulnerabilidad ante un terremoto que la ciudad de Quito presenta, por que la amenaza de sismos es muy difícil reducirla.

Al ser analizado, a breves rasgos, el panorama de riesgo sísmico que tiene la ciudad de Quito, es posible observar la complejidad de factores que intervienen en la determinación del riesgo.

La amenaza y la vulnerabilidad sísmica son factores que definen el riesgo sísmico. La amenaza sísmica se define como la probabilidad que durante un período de tiempo y en un lugar determinado ocurra un sismo que sea capaz de ocasionar daños. La vulnerabilidad de una estructura ante la amenaza sísmica, es el posible grado de daño a las estructuras a causa de la ocurrencia de un movimiento sísmico del suelo. Ambos factores son cuantitativos y cualitativamente altos en la ciudad de Quito, pero solamente la vulnerabilidad de las estructuras es un factor factible de reducir. ⁽⁸⁾

La reducción de la vulnerabilidad sísmica de Quito debe tener un tratamiento multidisciplinario, que involucre tanto a gremios profesionales, políticos como a la sociedad en sí. La disminución de la vulnerabilidad sísmica debe empezar por la concientización de la sociedad de los reales peligros o riesgos que posee la ciudad ante la ocurrencia de un gran terremoto.

El hacer conciencia en la población acerca de la peligrosidad que significa un terremoto que afecte la ciudad, crea una cultura de alerta y previsión, que ayuda a desarrollar edificaciones más seguras y fortalece políticas de prevención y legislaciones más estrictas para la disminución de la vulnerabilidad de las estructuras.

Deben existir cambios en la política y administración de la ciudad, para que se tomen medidas tendientes reducir las edificaciones autogestadas y aumentar el control de las edificaciones.

Es necesario involucrar también el concurso de profesionales tales como los urbanistas, para lograr una correcta planificación distrital que permita calles más anchas, urbanizaciones en terrenos firmes, etc., todo esto tendiente a facilitar las acciones de emergencia y auxilio frente a un eventual desastre.

Los arquitectos tienen un papel importante en la disminución de las estructuras vulnerables en la ciudad, por cuanto sus diseños deben estar acordes con la realidad sísmica de Quito. La aplicación de arquitectura sismo-resistente en

las edificaciones construidas en el Distrito Metropolitano, sería una acción que restringiría los detalles o conceptos arquitectónicos que hacen que el comportamiento de la estructura ante un terremoto no sea el adecuado, haciendo que la respuesta dinámica mejore considerablemente y como consecuencia de ello disminuye la vulnerabilidad sísmica de las construcciones.

El gremio profesional que quizás tenga la mayor responsabilidad en reducir la vulnerabilidad sísmica de las estructuras en la ciudad, es el del ingeniero civil. La participación del ingeniero civil en el análisis, diseño, construcción y/o supervisión técnica de una estructura reduce o minimiza la vulnerabilidad sísmica de la misma y la hace más segura ante la acción de un sismo.

Es necesario el estudio constante del comportamiento de las estructuras en un terremoto y su interacción con el suelo y luego adaptar recomendaciones técnicas del extranjero a nuestro medio, por ello es necesario un código de la construcción actualizado y acorde con nuestra realidad, que permita la generalización del manejo del diseño sismo-resistente de las estructuras, protegiendo vidas humanas y en lo posible disminuyendo los daños en elementos no-estructurales en edificaciones.

1.2 EFECTOS LOCALES DEL SUELO

Pero no solamente el ingeniero civil debe dedicarse al tratamiento del comportamiento sismo-resistente de las estructuras, sino también debe tomar en cuenta los aspectos inherentes al suelo en donde se asienta la estructura.

El efecto local de amplificación de ondas sísmicas del suelo en un terremoto por la respuesta dinámica de una estratigrafía determinada, es causante de graves daños estructurales y no estructurales en casas y edificios, aspecto que no se toma muy en cuenta en el análisis y diseño de estructuras en el Distrito Metropolitano de Quito.

La falla de la cimentación de una edificación por licuación, rompimiento ó deformaciones excesivas del suelo, debido a la acción sísmica de un terremoto, hace que cualquier análisis y diseño estructural en la edificación sea en vano, resaltándose de esta forma la importancia del estudio del comportamiento dinámico de los suelos. ⁽¹⁴⁾

El tema de efectos locales del suelo en estructuras por efecto de un terremoto es necesario “popularizar” entre todos los profesionales que ejercen la ingeniería civil, para tomar conciencia de la importancia de estudios de microzonificación de la ciudad, que permitan adoptar un valor determinado de la acción sísmica de diseño.

Desde hace varias décadas se ha observado una concentración de daños producidos por los sismos y una distribución de daños en emplazamientos urbanos que varía en función del tipo de suelo. ⁽⁸⁾

Un análisis comparativo de registros sísmicos en un mismo sitio, tanto en el subsuelo (roca) como en la superficie, revela diferencias claras en cuanto a amplitud, contenido de frecuencias y duración del movimiento registrado. Dichas diferencias pueden ser representadas por medio de una función de transferencia de ondas, de los depósitos de suelo sobre roca firme. ⁽²⁰⁾

La función de transferencia de un suelo relaciona la transformada de Fourier de la señal luego de excitar la columna de suelo con la transformada de Fourier de la señal que excita el suelo, todo esto en el dominio de las frecuencias, con el objetivo de definir el comportamiento del suelo ante dicha señal de excitación sísmica. ⁽¹⁴⁾

Los estudios de amenaza sísmica regional proporcionan información para estratos firmes o rocas, pero el gran porcentaje de estructuras se cimientan en terrenos de menor calidad. Es necesario conocer la peligrosidad sísmica a escala local considerando los efectos de amplificación dinámica debido a la geometría y naturaleza del suelo sobre roca, además se puede considerar efectos indirectos

producidos por las vibraciones de las ondas sísmicas, tales como deslizamientos, licuefacción, asentamientos, efectos topográficos y efectos bidimensionales del movimiento y del comportamiento dinámico de la estructura del suelo, etc. ⁽²⁰⁾

1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La necesidad de reducción de la vulnerabilidad de las estructuras ante un terremoto, obliga al ingeniero civil a emplear todas las herramientas posibles para mejorar el comportamiento de las estructuras para el terremoto de diseño.

El constante estudio de los efectos de los sismos sobre estructuras, ha permitido el desarrollo del conocimiento del comportamiento sísmico en las mismas y la aplicación de dicho conocimiento en normas de diseño para edificios para minimizar la vulnerabilidad de las estructuras.

Códigos de construcción americanos y de algunos países del mundo han implementado nuevos criterios de sismo-resistencia en sus últimas ediciones, y producto de las investigaciones y de estudios desarrollados, se revela la importancia del suelo de emplazamiento de la estructura en el comportamiento de la edificación ante ondas sísmicas.

El considerar los efectos de amplificación de ondas sísmicas del suelo en el análisis de una estructura, demuestra un mejor entendimiento de los peligros que representa construir edificios en zonas con sedimentos compresibles, poco consolidados de grandes espesores de sedimentos poco consolidados.

El estudio de efectos de sitio determina si el suelo produce una amplificación o disipación de ondas sísmicas, necesario para obtener un valor para acción sísmica de diseño. ⁽²⁰⁾

Los movimientos sísmicos inducidos por el suelo afectan a las estructuras de dos diferentes formas. Puede sacudir a la estructura a medida que los movimientos del suelo se transmiten a la misma ó por efecto directo de los

movimientos del suelo sobre los materiales de la cimentación, con la consiguiente pérdida de soporte de la estructura, desarrollando esfuerzos y desplazamientos estructurales excesivos. Los efectos directos del sacudimiento del suelo representan un riesgo sísmico común para todas las estructuras. Los otros efectos de los movimientos sísmicos del suelo pueden ocurrir cuando las condiciones locales del sitio permiten su desarrollo. ⁽⁹⁾

Es probable que ocurra mayor daño cuando el período natural de vibración de una estructura sea muy similar a aquel del depósito de suelo sobre el cual está construida. Es decir, edificios bajos de período corto tienden a sufrir mayor daño debido a un sacudimiento sísmico cuando están localizados sobre depósitos de suelo de período corto. Por otro lado edificios muy altos tendrían problemas si están localizados en un depósito de suelo de período largo. En tales casos, puede generarse una condición de cuasi-resonancia entre la estructura y el depósito de suelo, produciendo una respuesta más fuerte en la estructura con mayor potencial de daños serios. ⁽⁹⁾

Determinar la respuesta dinámica del suelo en donde se cimienta una estructura ante un terremoto, es de vital importancia para un ingeniero estructural. El espectro de la respuesta sísmica del suelo de emplazamiento de la estructura es una herramienta que permite un diseño estructural más seguro y menos vulnerable a los terremotos, por cuanto se procura alejar a la estructura de un rango de frecuencias que ocasionarían cuasi-resonancia sísmica.

El efecto de sitio por la acción sísmica de los terremotos depende del suelo y por lo tanto, las características que lo definen varía de acuerdo al suelo de fundación. En consecuencia es imprescindible en la determinación del espectro de respuesta dinámica del suelo en la superficie, el conocimiento del suelo respecto de la estratigrafía, características dinámicas, profundidad del depósito de suelo en donde se va emplazar la estructura. ⁽²⁰⁾

Para este objetivo es necesario tener una zonificación y una microzonificación sísmica de la ciudad para poder conocer el comportamiento dinámico del suelo de fundación de la estructura ante un terremoto.

Los estudios de zonificación de la ciudad están referidos a una clasificación según el tipo de suelo presente en Quito y desarrollan zonas de propiedades dinámicas comunes de suelo definidos por una "columna de suelo característica".

El objetivo de la zonificación de la ciudad es poder representar en gran aproximación a la realidad, el comportamiento dinámico de los diferentes depósitos de suelo presentes en Quito, por lo tanto es de vital importancia definir columnas de suelo representativas de una zona que tengan un comportamiento dinámico que representen la realidad existente.

La importancia del presente estudio radica en la identificación de las columnas características de suelo de una zonificación de la ciudad, que pueden presentar comportamientos dinámicos desfavorables ante la ocurrencia de un sismo esperado.

Un análisis de la respuesta dinámica del suelo de las zonas definidas en la zonificación, ayuda a detectar de mejor manera los posibles efectos de sitio o efectos locales producidos por un terremoto que sacuda a Quito.

La determinación de espectros de respuesta dinámica de los suelos de la zonificación de Quito es un aporte importante del presente estudio, que permitirá análisis y diseños estructurales más confiables y acordes con la realidad.

La modelación de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo definidos en la zonificación de la ciudad permitirá un análisis de los efectos del sismo sobre las diferentes estratificaciones de la zonificación de la ciudad, arrojando importantes conclusiones, en aporte al mejor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos de Quito.

Una respuesta sísmica aproximada de la amplificación de ondas ante la acción de una aceleración sísmica determinada, será posible mediante la determinación de funciones de transferencia de ondas, en las diferentes columnas de suelo, aspecto muy importante para la identificación de zonas de potencial peligro sísmico.

La determinación del período fundamental de respuesta sísmica del suelo y los espectros de respuesta dinámica ante la ocurrencia de un sismo en la ciudad, son herramientas importantes para los ingenieros civiles, que son utilizadas para un análisis estructural de edificaciones más confiable.

Un mejor entendimiento del comportamiento dinámico de los suelos de la ciudad, permitirá una concientización de los peligros reales de la amplificación de ondas sísmicas dentro de la ciudad, y quizás un mejoramiento en la concepción, análisis, diseño y construcción de edificaciones en Quito.

Debido al alto riesgo sísmico que presenta la ciudad, la modelación dinámica de los suelos es importante por cuanto nos da una información acerca de las acciones desfavorables que pueden afectar las cimentaciones de las edificaciones ante la acción de un sismo, amplificado por las condiciones locales del suelo en donde se emplaza la estructura.

La obtención de la geología local y el detalle de las zonas no urbanas del distrito, permiten la zonificación geotécnica con una caracterización general de propiedades, períodos de vibración y de propiedades dinámicas, identificando áreas inestables y de relleno.

1.4 ESTUDIOS PREVIOS

En este contexto se han realizado muchos esfuerzos con el fin de obtener una zonificación de la ciudad. La Escuela Politécnica Nacional ha incentivado el desarrollo de tesis de grado y de investigaciones de avanzada referidas al tema

de la zonificación, determinación de parámetros dinámicos del suelo y su comportamiento dinámico.

Por la importancia que significa el tratamiento del riesgo sísmico de la ciudad de Quito, se han realizado estudios respecto a este tema con el fin de poder conocer mejor la situación de la ciudad ante una amenaza de terremoto.

El tratamiento de la zonificación de Quito comenzó con un "Aporte a la Zonificación de la Ciudad de Quito" en el año de 1979 realizada por los ingenieros Acosta y Armendariz, donde basados en criterios de capacidad de carga admisible del suelo en diferentes profundidades, establecen estadísticamente 26 zonas dentro de la ciudad. Luego en el año de 1987, los ingenieros Lecaró, León y Moyano realizan un trabajo más detallado, en el cuál combinan criterios de Geología, planes urbanísticos de la ciudad, regulación de densidades, parámetros dinámicos del suelo, existencia de quebradas y drenajes naturales, todo esto con el fin de establecer 23 zonas de características distintas en Quito. Esta tesis utilizó 619 estudios de suelo que incluyen datos de ensayos de penetración estándar (SPT), para después plantear ecuaciones características para cada zona en cada profundidad e indirectamente se detecta la velocidad de ondas de corte y el módulo de corte, en función del número de golpes del SPT. ⁽¹²⁾

Además de los trabajos referidos a la zonificación de la ciudad de Quito, también se realizaron estudios que tratan sobre aspectos de la respuesta dinámica del suelo. El ingeniero J. Torres (1990) realiza un "Estudio de la respuesta dinámica de un perfil de subsuelo de la ciudad de Quito" en donde determina la respuesta sísmica de un depósito de suelo del parque de La Carolina, realizando pruebas de campo e incluye la utilización de software especializado (SHAKE) para el desarrollo del estudio. ⁽¹⁸⁾

Parámetros dinámicos de los perfiles del suelo como el período fundamental del depósito de suelo, los valores máximos de aceleración en cada nivel o estrato, contenido de frecuencias de un movimiento y espectro de respuesta, son obtenidos para complementar el estudio de la respuesta sísmica,

todo esto referido a propiedades de la columna de suelo previamente especificadas y para un sismo actuante determinado. ⁽¹⁸⁾

Un estudio de la respuesta dinámica del suelo en el ámbito general para la ciudad de Quito, realizada por el ingeniero Aguinaga (1992) ⁽¹⁾, por medio de una "Estimación del período de vibración en función de las condiciones locales del suelo" intenta aplicar métodos experimentales de campo como el ensayo de microvibraciones y de Cross Hole para evaluar propiedades dinámicas del suelo. Se pretende comparar resultados de períodos de vibración netamente experimentales con procesos teóricos de cálculo indirecto, y luego realizar un mapa para Quito de isoperíodos, "pero el número de ensayos es insuficiente". ⁽¹⁾

Un proyecto del manejo del riesgo sísmico para la ciudad de Quito, que se realizó entre 1992-1994, es el esfuerzo mayor por conocer la real situación de la ciudad. Se utilizó para ello información en los campos de la sismología, geología e ingeniería de suelos, se realizaron levantamientos estructurales en la ciudad y se empleó el Sistema Urbano de Información desarrollado por el Municipio. ⁽⁴⁾

Este proyecto incluye trabajos y estudios anteriores, contemplando criterios de reconocidos expertos internacionales de diferentes campos que avalizan los resultados obtenidos. Basándose en características litológicas de más de 2000 perforaciones, topográficas, geotécnica y la geología superficial de la ciudad, se dividió a la ciudad en 20 microzonas de respuesta sísmica diferente, para las cuales se estableció una columna representativa de suelo hasta una profundidad de 20 m, sin alcanzar la base de roca, cuya localización es aún desconocida. ⁽⁴⁾

El proyecto de manejo del riesgo sísmico de la ciudad de Quito y la zonificación realizada en éste, son bases para la realización del presente estudio, de donde se partirá para verificar la representatividad de las columnas características de suelo con la realidad existente.

1.5 OBJETIVOS

La modelación matemática de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo de la zonificación del Escenario sísmico de Quito, por medio del programa SHAKE91 ⁽¹⁵⁾, con el uso de las propiedades dinámicas de cada estrato del suelo de las diferentes estratigrafías de suelo, adicionando información de laboratorio y de registros sísmicos reales, es el principal objetivo de este trabajo.

El análisis del comportamiento dinámico de los suelos para varias señales sísmicas, y la comparación de resultados, es una finalidad de este estudio, útil para la aportación de importantes conclusiones referentes al comportamiento dinámico de los perfiles tipo de la zonificación.

También es objetivo el determinar funciones de transferencia de ondas sísmicas para una columna de suelo representativa de cada zona, que permita anticipar fenómenos de amplificación de ondas sísmicas para cualquier aceleración sísmica que afecte Quito.

Finalidad de este estudio es ayudar a la concepción de estructuras menos vulnerables a la acción sísmica, mediante la determinación del período fundamental de respuesta sísmica del suelo en cada zona de la ciudad; además es de interés, la obtención de los espectros de respuesta dinámica de los suelos ante la ocurrencia de cierta aceleración sísmica, parámetros dinámicos que serán herramientas utilizadas por ingenieros en un mejor análisis estructural que procura alejar a la estructura del rango de frecuencias de una resonancia sísmica.

Es además, objetivo del presente estudio el realizar espectros de diseño para las diferentes zonas definidas en el Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito, y realizar una comparación y afinación con los espectros de diseño de los diferentes tipo de suelo definidos en el nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000 ⁽¹⁷⁾. Es finalidad del proyecto, el comprobar, el teórico comportamiento dinámico de los suelos con los resultados de la modelación a realizarse, para verificar los fundamentos teóricos del problema.

En general, el presente estudio tiene como objetivo global el aportar al mejor entendimiento del comportamiento dinámico de los suelos en Quito, para ser un apoyo en una microzonificación de la ciudad, permitiendo una concientización de los peligros de los efectos de sitio durante el desarrollo de un terremoto que afecte Quito, identificando zonas de potencial peligro sísmico y que conlleve a la construcción de edificaciones más seguras para la protección de la vida de las personas.

En todo caso, una modelación óptima de las estratigrafías de la zonificación de la ciudad, es posible con la utilización de propiedades y correlaciones dinámicas del suelo (el módulo cortante del suelo G , velocidad de ondas de corte V_s , y las relaciones de amortiguamiento y el módulo de reducción $G/G_{\text{máx}}$ versus la deformación por cortante) medidas y verificadas en el campo y además el uso de parámetros dinámicos (aceleración, período, contenido de frecuencias, duración) de un grupo de señales sísmicas reales registradas en la ciudad. Sin embargo la modelación propuesta en este estudio nos dará una idea global y aproximada de las potenciales zonas de peligro sísmico en la ciudad de Quito.

En cualquier sitio, los movimientos del suelo provenientes del sacudimiento sísmico son un modelo complejo de ondas cuyas características dependen de muchos factores significativos, incluyendo el mecanismo que origina el sismo, las condiciones geológicas a lo largo del camino de propagación entre el origen y el sitio, condiciones topográficas y las condiciones del suelo en el sitio. Los efectos de estos otros factores pueden, en algunos casos, obscurecer la influencia de las condiciones locales del suelo en sitios individuales. ⁽⁹⁾

El uso de la geología local y una zonificación geotécnica del Distrito Metropolitano de Quito, mediante el trabajo de campo y de laboratorio, permiten una mejor aproximación en la determinación del comportamiento dinámico de los suelos de la ciudad y ayuda a la identificación de áreas inestables y de rellenos,, para la generación de conclusiones y recomendaciones técnicas, objetivo de este estudio.

ZONIFICACIÓN DE SUELOS EN LA CIUDAD DE QUITO

(RECOPIACION DE LA INFORMACIÓN)

2. 1 ZONIFICACIÓN BÁSICA

2. 1.1. INTRODUCCIÓN

La zonificación de los suelos por perfiles estratigráficos para la modelación dinámica de los suelos de la ciudad, es indispensable para poder identificar los distintos períodos de vibración que se pueden presentar en diferentes sitios de la ciudad de Quito, ante la acción de ondas sísmicas que la afecten.

Para zonificar la ciudad es necesario definir zonas por medio de una clasificación de los tipos de suelo predominantes en dichas zonas a distintas profundidades, identificando propiedades mecánicas y dinámicas promedio, para cada estrato, de cada perfil, de cada zona de la ciudad.

Para este efecto es necesario obtener gran cantidad de información referente a los suelos de la ciudad. También es útil un buen manejo de esta información y la implementación de métodos estadísticos eficaces, que permitan definir las columnas típicas y demarcar las zonas en la ciudad, con representatividad.

El proyecto del Escenario Sísmico de la ciudad de Quito, "Proyecto del manejo del riesgo sísmico de Quito - Ecuador", iniciada en 1992 y culminada en 1994, recoge información sismológica, geológica, de mecánica de suelos, de toda la ciudad de Quito, producto de varios años de trabajo y recopilación de la información existente. Se lograron identificar 20 zonas en la ciudad de Quito, con sus respectivas estratigrafías y propiedades de cada estrato de los perfiles de suelo. Información adicional del Instituto Geofísico (EPN) referente a algunas

columnas estratigráficas de suelo de algunos lugares alrededor de la ciudad, fue utilizada para complementar la zonificación en la ciudad. ⁽⁴⁾

El tipo de investigación realizada en el Proyecto de manejo del riesgo sísmico de la ciudad, fue hecho sobre la base de información recogida hasta Octubre de 1991, de registros geológicos y de estudios de suelos para las cimentaciones de estructuras. ⁽⁴⁾

Gracias a los datos obtenidos de perforaciones, datos del SPT variando con la profundidad del estrato, la determinación de la velocidad de onda de corte por medio de correlaciones estadísticas y la información proporcionada por la realización de 11 Cross-Hole a lo largo de la ciudad, se definieron los números de golpes del SPT, la velocidad de onda de corte V_s , el peso específico ρ , el esfuerzo efectivo σ_o , y la clasificación SUCS, de cada estrato de los perfiles de suelos de las 20 zonas, definidas en el proyecto.

Para efecto de la modelación dinámica de perfiles de suelo proyectada en este estudio, se tomará como base la zonificación del Escenario Sísmico de Quito (1994). Los perfiles representativos de cada zona serán modelados con los datos y propiedades de cada estrato, que el proyecto presenta como resultados finales para cada estratigrafía.

2. 1.2. MORFOLOGÍA DE LA CIUDAD DE QUITO

Quito es una ciudad situada en una depresión formada por productos volcánicos y de erosión pluvial, eólica y glacial, constituyendo un relleno sedimentario de materiales mezclados y sobrepuestos entre sí, de unos 5 Km. de potencia aproximadamente [Tomás Feininger 1983]. ⁽¹⁸⁾

La ciudad de Quito está emplazada a lo largo de la cordillera Occidental, en el callejón interandino en dirección N-S. La meseta de Quito se extiende desde la cuesta de Santa Rosa hasta la parte norte de San Antonio de Pichincha. La ciudad se asienta en lomas inclinadas al este del Ruco Pichincha, surcado por numerosas quebradas que bajan del mismo. Al oeste se localiza las laderas del Pichincha y su margen oriental se levanta suavemente al norte y cae abruptamente a los valles de Los Chillos y de Tumbaco. La llanura del Turubamba (de Chillogallo al Panecillo) al sur de Quito, esta separada del valle de Los Chillos, por una cadena de cerros menores como Monjas, Puengasí, Ilumbisí y El Batán- La Bota. ⁽⁴⁾

Al norte, la ciudad de Quito se abre con las zonas planas de los parques La Carolina hasta El Ejido, constituyendo una subcuenca deprimida controlada y modelada en la parte Occidental por el cono aluvial de la antigua quebrada de Ingapirca. Luego converge a Iñaquito y Cotocollao, con un alto morfológico que se localiza transversalmente al nivel de la parte central del aeropuerto y constituye una divisoria de aguas de los drenajes del sector. Luego desciende a Pomasqui y San Antonio de Pichincha y en forma más brusca a Calderón y Guallabamba. ⁽⁴⁾

La zona central tiene una morfología irregular dominada por probable cono aluvial de San Juan, las colinas de El Dorado - Itchimbia, El Panecillo, por el valle socavado del río Machángara y las quebradas afluentes (ya rellenadas) que descienden las laderas del Ruco Pichincha a lo largo de las Av. 24 de Mayo y Pichincha.

En resumen, la cuenca de la ciudad de Quito puede dividirse en 3 zonas principales:

- Zona Norte: desde El Ejido hacia el Norte.
- Zona Central: entre El Panecillo y El Ejido.
- Zona Sur: al sur de El Panecillo.

2. 1.3. ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DE QUITO

La recopilación de información de tesis y artículos de interés, la información de perforaciones y excavaciones, estudios geológicos (INEMIN)[▲], geotécnicos, de mecánica de suelos y el uso de correlaciones regionales realizadas, son expuestas en la memoria técnica del Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad, estudio que presenta la definición de una estratigrafía para la ciudad de Quito y obtiene las descripciones de las características de las unidades litológicas de la ciudad, para luego aplicar la metodología de modelación de la respuesta sísmica en estos depósitos superficiales de suelo.

El basamento rocoso todavía no ha sido identificado por cuanto su profundidad es aún desconocida, pero el espesor de la corteza continental a nivel de Quito ha sido estimado en aproximadamente 50 kilómetros [Robalino 1976]⁽⁴⁾. El sedimento volcánico es una unidad geológica encontrada en la realización de perforaciones en el Norte y Sur de la ciudad, casi ausente en el Centro, está formada de capas decimétricas hasta métricas de arenas con pómez de grano medio a grueso, intercaladas con capas de cantos andesíticos y gravas, apareciendo en forma local limos y arcillas. ⁽⁴⁾

Una descripción estratigráfica de la cuenca de Quito, recogida de los estudios geológicos del INEMIN[▲], define la composición de los suelos de la ciudad. "El espesor de los mantos de sedimentos volcánicos varía de 140 m (eje de cuenca Norte) y 60 m al Sur de Quito. Estos volcano sedimentos se intercalan o pasan transicionalmente a depósitos de cono aluvial de las laderas del Pichincha. El depósito lacustre aflora al Norte y al Sur Oeste de la ciudad, depositada en la zona que avanza de Carcelén a Guamaní, localizado también en la zona del parque La Carolina extendiéndose hasta el parque El Ejido". ⁽¹²⁾

[▲] INEMIN, "Riesgos Naturales del área Metropolitana de Quito", Instituto Ecuatoriano de Minería", Quito 1987

"El espesor del depósito lacustre es de carácter variable en el eje de la cuenca. Se constituye básicamente de cenizas, arena arcillosa, conglomerados finos, capas de pómez, capas vegetales, arenas y arcillas intercaladas. Los estratos están bien definidos y son horizontales, de espesores pequeños." ⁽¹²⁾

"Los depósitos coluviales o de movimientos en masa son frecuentes en las zonas de taludes fuertes. Estas unidades geológicas se localizan en las laderas orientales del Pichincha y en la parte Sur de la ciudad, a la altura del sector de Solanda y hacia el valle de Los Chillos." ⁽¹²⁾

"El origen de los depósitos coluviales se debe a la inestabilidad de las pendientes y a la naturaleza poco consolidada de los materiales involucrados. Es posible que algunos de ellos hayan sido disparados por efectos sísmicos. Está compuesto por arena, pómez, con espesores de hasta 5 m (Flancos del Pichincha)." ⁽¹⁸⁾

"El más importante de los conos aluviales está relacionado con la Qda. Ingapirca en la falda del Pichincha. Depósito de clara morfología, detectado en los estribos occidentales de la zona norte de la cuenca de Quito. Morfológicamente la zona de San Juan constituye un cono aluvial antiguo, aparece transicionalmente con la secuencia de los volcanos sedimentos de Quito y la unidad Cangahua." ⁽⁴⁾

La Cangahua es la unidad geológica de más amplia distribución en la ciudad de Quito, constituida por depósitos de cenizas y tobas, con capas centimétricas y hasta decimétricas de limos arenosos o arcillosos, forma un manto de 30 m de espesor aproximadamente, que descansa sobre las rocas más antiguas. ⁽¹⁸⁾

Puede variar de colores, desde café amarillento a pardo oscuro, intercaladas con pocos depósitos de lapilli, con capas y lentes de arena media a gruesa de color gris. La litología predominante es toba de grano medio, intercalaciones de capas de aspecto de cangahua pero incluyen cantos de andesita y pómez en porcentajes variables interpretadas como flujos de lodo o cangahua retrabajada. Menos frecuentes son capas de limo de color oscuro, con

presencia de material orgánico. Se pueden definir varios tipos de cangahua litológicamente, pues presentan diferentes características de acuerdo a su edad geológica. Granulométricamente se la define como arena fina variando a limosa y arcillosa; en términos genéricos corresponde a ceniza y polvo volcánico de origen piroclástico. ⁽¹⁸⁾

En cuanto a las características topográficas observadas se puede anotar que:

- En el lado Occidental de la ciudad; las laderas del Pichincha corren hacia abajo, a la ciudad.
- En parte Central; los valles y las tierras bajas se encuentran localizadas a lo largo del eje central de la ciudad.
- En el lado Oriental; escarpadas pendientes bajan hacia los valles localizados a lo largo de los límites orientales de la ciudad.
- Al Norte; pendientes bajan por las afueras de Quito hacia el Norte
- Al Sur; pendientes que corren descendiendo del Sur hacia la ciudad.
- La loma del Panecillo, vieja formación volcánica, está localizada en la parte central de la ciudad, separando las tierras bajas norteñas de Quito de los valles del Sur. ⁽⁴⁾

2. 1.4. ZONIFICACIÓN BÁSICA ⁽⁴⁾

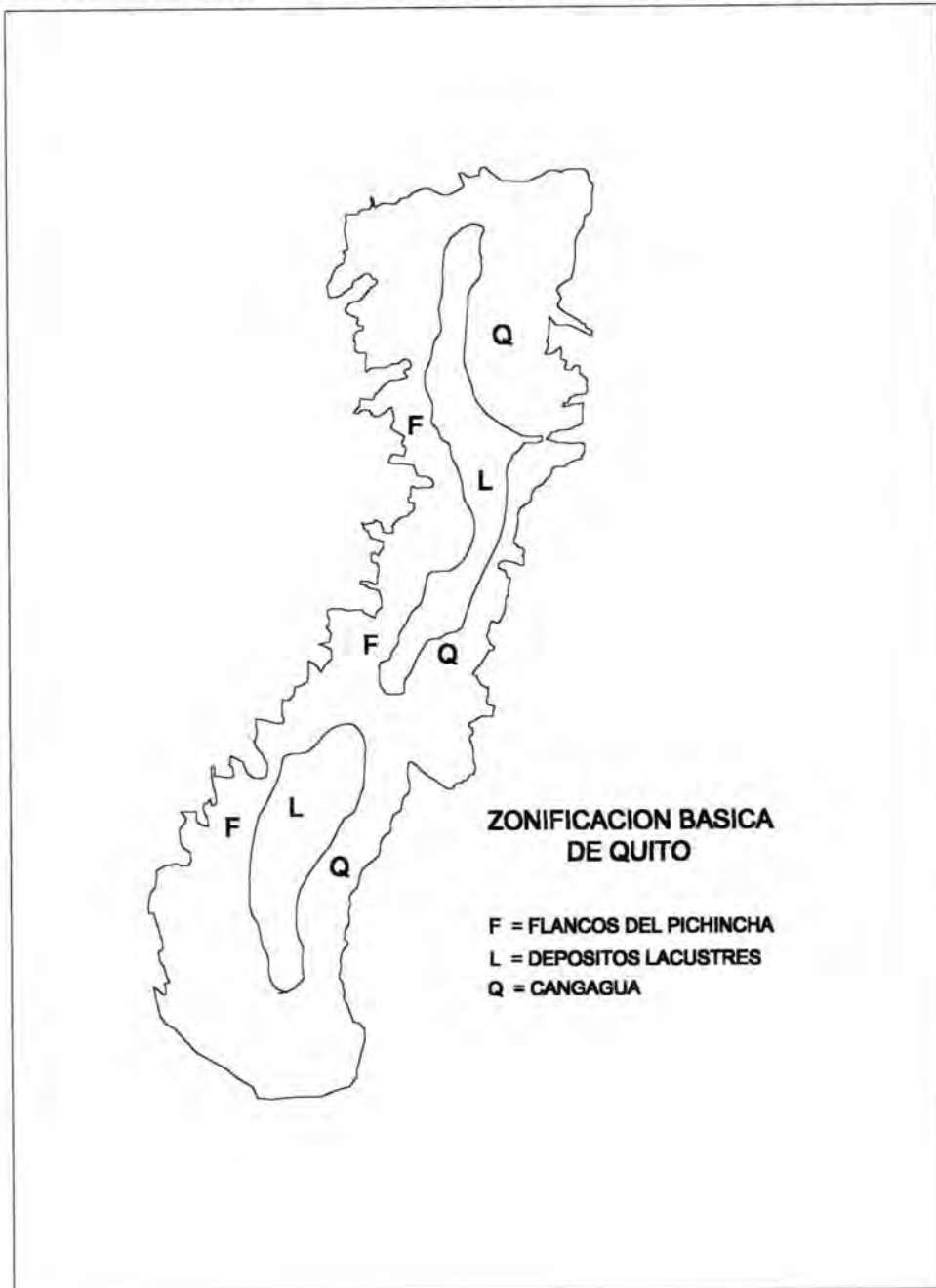
La zonificación básica realizada en el Escenario Sísmico para la ciudad de Quito, fue realizada en dos procesos; el primer paso fue zonificar la ciudad en forma general (zonificación básica), tomando en cuenta parámetros topográficos y geológicos, recogidos de la información generada para el "Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de Quito - Ecuador". Luego en un segundo proceso se complementa la zonificación de la ciudad, utilizando características específicas de los suelos para subdividir las zonas pre-definidas en la zonificación básica. De esta manera, el Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico presenta las microzonas de suelos de Quito, que se utilizarán para la modelación dinámica.

Por el estudio y la descripción morfológica de la ciudad, anteriormente descrita, y un análisis topográfico de Quito, utilizando las variables de altitud y

pendiente de los terrenos emplazados en la ciudad, se logra identificar en el Proyecto 3 zonas básicas primarias, que dan una idea burda acerca de la conformación de los depósitos de los suelos y su distribución tridimensional a lo largo de la ciudad. A continuación se puede observar en la Figura No. 1 las 3 zonas preliminares que definen la zonificación primaria de la ciudad.

Figura No. 1

Obtenida "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project"⁽⁴⁾



- Los Flancos orientales del Pichincha, están representados con la letra F en el mapa de la zonificación básica de la ciudad. Conformados por cenizas volcánicas y depósitos de cangahua, pueden contener depósitos aluviales en los extremos de sus fronteras.
- La depresión central, representada con L en el mapa de zonificación básica, está conformada por antiguos depósitos de ceniza volcánica y de depósitos lacustres superficialmente.
- Zonas de altos morfológicos como las lomas de Ilumbisí, Puengasí, Guanguiltagua y San Isidro, están representadas en él, las zonas de la Q del mapa. Son depósitos de cangahua y cenizas volcánicas ⁽⁴⁾

2. 2 ESTABLECIMIENTO DE LAS ZONAS DE QUITO

2. 2.1. SECCIONES TRANSVERSALES ⁽⁴⁾

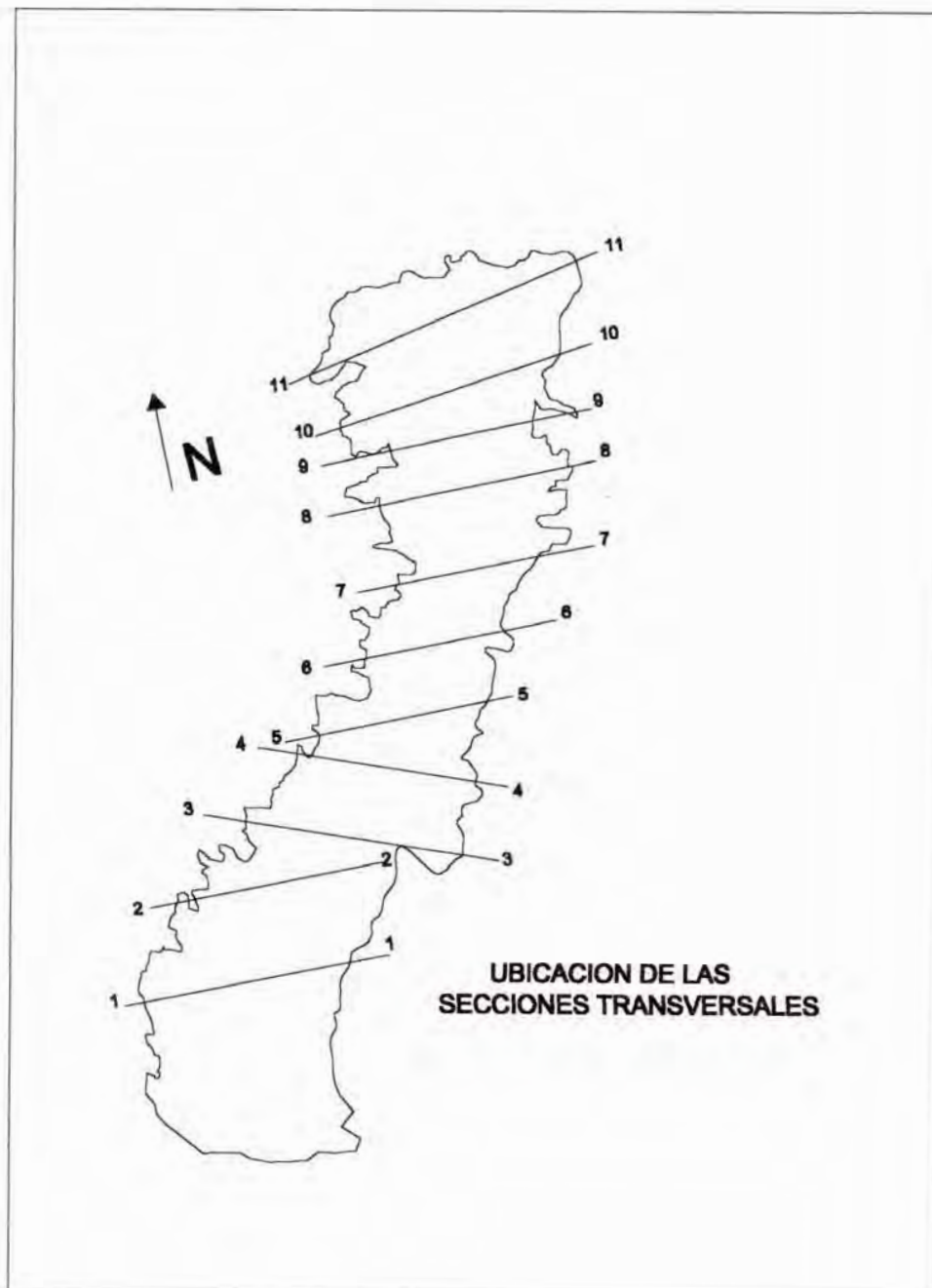
Para la realización de una microzonificación completa de la ciudad a partir de la zonificación básica, fue necesario información de los tipos de suelo depositados en Quito. Algunas características del suelo fueron obtenidas a través de más de 2000 perforaciones alrededor de toda la ciudad de Quito, de profundidades del orden de unos 20 m, empleadas dichas características en el desarrollo del Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico, en la obtención de 11 perfiles transversales de Este a Oeste de la ciudad e identificar las características de los diferentes estratos del área de Quito.

Las secciones transversales fueron escogidas de tal forma que puedan cubrir toda la longitud de la ciudad de Quito, y están localizadas en zonas en donde estaba disponible suficiente información, para que las subzonas o microzonas pudieran ser diferenciadas dentro de las 3 principales zonas de la zonificación básica primaria del Escenario Sísmico de la ciudad. Las 11 secciones

transversales localizadas a lo largo de la ciudad, son esquematizadas la Figura No. 2.

Figura No. 2

Obtenida "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project"⁽⁴⁾



La profundidad de los perfiles de suelo fue investigada usando diferentes técnicas y un proceso de recopilación de información. La determinación de los perfiles de la estructura del subsuelo, resultados de pruebas de refracción sísmica, resultados de prospección eléctrica, secciones transversales de la estructura geológica de Quito preparadas, que incluye formaciones geológicas como viejas volcánicas, jóvenes volcánicas, cangahua, depósitos secundarios lacustres y aluviales, y la comparación y calibración entre las diferentes técnicas realizadas para algunas zonas de la ciudad, identifican la profundidad de las estructuras de suelo en forma indirecta. ⁽⁴⁾

2.2.2. SUBDIVISIÓN DEL AREA DE QUITO

Luego, el siguiente paso en el desarrollo del Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito fue el establecer las secciones transversales. Se dibujaron perfiles topográficos para cada sección, en las escalas adecuadas. Las propiedades promedios de los suelos, obtenidas de la información de las perforaciones realizadas (N y clasificación SUCS) fueron colocadas dentro del perfil y los datos del suelo de perforaciones cercanas a una sección transversal son escogidos para poder ser promediado.

Las columnas estratigráficas de suelo fueron simplificadas siguiendo una metodología para definir bordes entre unidades o estratos, cuando se producía un evidente cambio en la clasificación SUCS del suelo o en el N del SPT. De esta forma es posible que las unidades geológicas puedan ser identificadas dentro de un perfil de suelo, considerando el cambio del SUCS de un estrato al otro. ⁽⁴⁾

En general no varía en mayor forma de un estrato al otro, pues es posible que se dé el caso de que sean suelos similares, con igual número N del SPT, pero con diferente contenido de finos y posean diferente clasificación SUCS. Es implementado en el desarrollo del Proyecto, el uso de correlaciones para completar los estratos y perfiles definidas a lo largo de cada sección transversal.

Se debe tomar en cuenta que las propiedades de los suelos descritas para cada estrato del perfil de suelo, son promediadas y que la clasificación SUCS de esos estratos pertenece al símbolo predominante en ese estrato, lo que no implica que no puede existir otro tipo de suelo en dicho estrato.

El siguiente paso realizado en el Proyecto de Manejo de Riego Sísmico de la ciudad es la obtención de los valores de la velocidad de ondas de corte V_s , los cuales son medidos en los 11 sitios en donde se han realizado Cross-Hole dentro de la ciudad. Otros valores de la velocidad en ondas de corte son correlacionados y extrapolados para estratos de suelo en donde no existe la información necesaria. Es finalidad del presente proyecto el completar la información faltante con un mayor número de ensayos y estudios de campo.

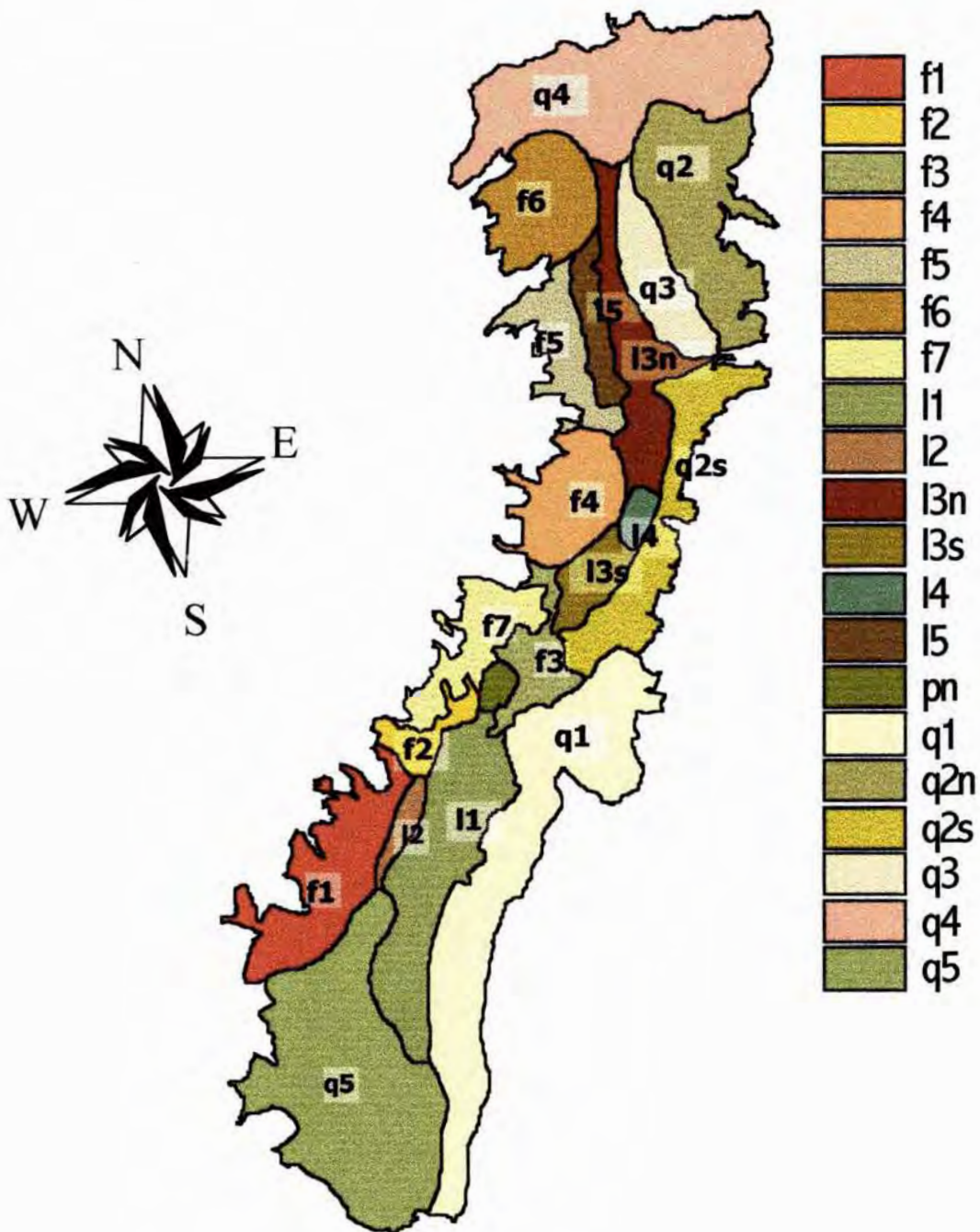
Con la información de los estudios geológicos del Instituto Geofísico (EPN), en el proyecto del Escenario Sísmico de la ciudad se completa algunas secciones transversales, pues en estas zonas no estaba disponible ninguna información.

La conformación de las subzonas dentro de las 3 zonas primarias de la zonificación básica definida previamente, es posible con el establecimiento de los bordes de las subzonas. La metodología empleada en el desarrollo del Proyecto sugiere que se debe dibujar los límites de las subzonas, observando los puntos en donde cambia la configuración del suelo en las secciones transversales.

La observación de una fotografía aérea, permite ver con gran aproximación y extensión algunos depósitos, como los depósitos aluviales en los extremos. De esta manera se definieron 20 subzonas o microzonas. En los flancos del Pichincha existen 7 subzonas, 5 en los depósitos lacustres y 7 en los depósitos de cangahua, además de una subzona particular para la loma del Panecillo. ⁽⁴⁾

En el siguiente gráfico (gráfico N° 3) es posible observar las diferentes subzonas definidas en el "Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de Quito - Ecuador", subzonas que serán utilizadas en el presente estudio para su modelación matemática de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo.

Gráfico N° 3

ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE QUITOObtenida del "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project"⁽⁴⁾

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS

Con la zonificación básica es posible tener una idea general acerca de la conformación de los suelos de la zonificación anteriormente presentada y desarrollada en el proyecto del "Manejo del Riego Sísmico de la ciudad de Quito".

Por un análisis geológico y topográfico, se puede señalar la existencia de tres depósitos de suelo primarios localizados a lo largo de la ciudad. Los flancos orientales del Pichincha (F), depósitos lacustres en la depresión central de la ciudad (L) y cenizas volcánicas con formaciones de cangahua (Q) al lado este de Quito. ⁽⁴⁾

Los flancos del Pichincha están formados por depósitos aluviales y principalmente de cangahua y cenizas volcánicas. Las zonas de mayor representatividad de este tipo de depósitos son las F4 y F6. La zona F5 puede estar formada de depósitos aluviales en varios de sus extremos, fácilmente comprobable con una observación de campo.

No fue posible encontrar depósitos coluviales en las superficies cercanas de las zonas del flanco del Pichincha. Se puede decir que la zona F1 contiene material coluvial, pero está cubierto de depósitos de cangahua más recientes. Las zonas F2 y F3 son básicamente cangahuas cubiertas por diferentes tipos de suelo. ⁽⁴⁾

Una zonificación simplificada de la ciudad de Quito, fue realizada en el proyecto del Escenario Sísmico de Quito. La simplificación de la zonificación realizada, es posible desarrollarla a base de las columnas representativas de suelo de cada zona pues algunas columnas presentan muchas similitudes en sus características, con mínimas diferencias entre sí. Es posible observar que la zona F2 y F3 presentan características similares, y las zonas F5, F6 y F7 pueden ser compatibles.

La depresión central de la ciudad está cubierta de material lacustre en los estratos superiores (L), pero es posible que a mayores profundidades viejos depósitos de cangahua sean encontrados. La zona L1 corresponde a un depósito lacustre con formaciones de cangahua. La zona L2 es una formación de la zona F1 cubierta por la zona L1 en las capas más superficiales. ⁽⁴⁾

La zona L3 está localizada en la parte norte de la ciudad y se la relaciona con un depósito lacustre superficial. El mayor nivel freático es posible encontrarlo en la zona L4, donde los primeros estratos de suelo son de gran espesor y de poca resistencia. La zona L5 está formada por material aluvial de la zona F5 y está cubierta por la zona L3 en sus estratos más superficiales. Se puede decir que las zonas L4 y L5, presentan similares características basándose en un análisis de sus perfiles estratigráficos. ⁽⁴⁾

Al Este de la ciudad es posible encontrar zonas elevadas morfológicamente, conformadas en su totalidad por cangahua (Q). Las zonas Q1 y Q2 presentan zonas muy similares de suelo. La zona Q3 es una formación de cangahua con depósitos de suelo suave en la superficie. Q4 es una zona relacionada con depósitos de cangahua más reciente cubierta por un poco de arena volcánica de poca resistencia. Por sus características muy similares se define a las zonas Q1, Q2, Q3 y Q5 como una sola zona dentro de la zonificación simplificada del Proyecto del Escenario Sísmico de la ciudad. ⁽⁴⁾

2.4 PERFILES TÍPICOS DE CADA ZONA

Con la realización de la zonificación básica, la conformación de secciones transversales a lo largo de la ciudad y la recopilación de toda la información necesaria, el Proyecto de Manejo del Riego Sísmico de Quito presenta las columnas representativas de cada zona, con propiedades promedio.

Se debe tomar en cuenta que es posible, que algunas zonas no contengan específicamente todos los estratos descritos como en la correspondiente

estratigrafía, pero en honor a la heterogeneidad del sitio, es posible una representación aceptable de la zona en cuestión.

Cada subzona tiene su propia columna representativa de suelo, en donde se incluyen los espesores promedios calculados para cada estrato, el número N del SPT, la velocidad de onda de corte V_s , el peso específico y la clasificación SUCS promedio para cada estrato de suelo.

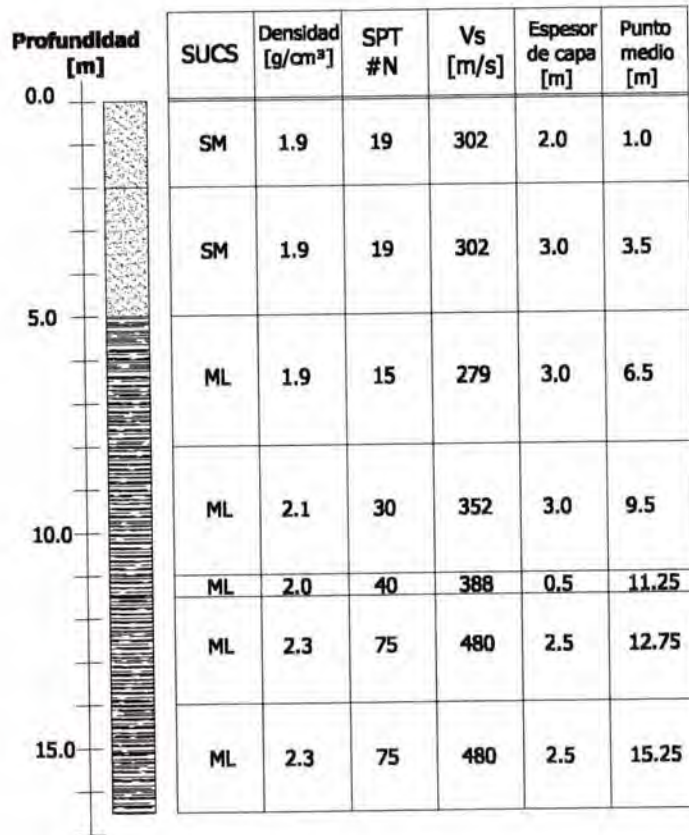
El número de subzonas realizado en el Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de Quito, es el menor posible, para simplificar el análisis de la respuesta dinámica de los suelos de la ciudad. El número de columnas puede aumentar conociendo mejor la estratigrafía de la ciudad.

Es importante indicar que los tipos de suelo encontrados en los diferentes estratos de las columnas representativas de suelo tienen una variación importante en cada metro de cada columna de suelo y que la clasificación SUCS de los mismos, pertenece a propiedades promedio.

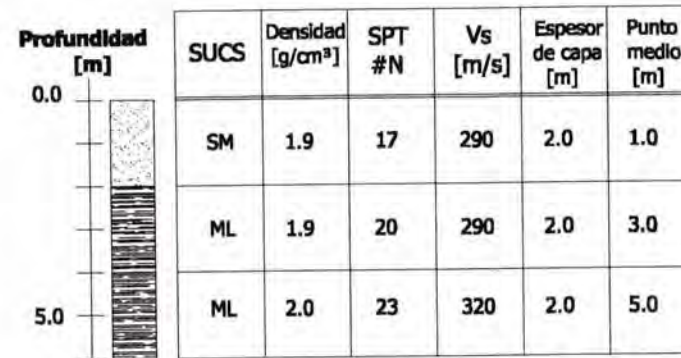
A continuación se esquematiza las diferentes columnas de suelo de la zonificación de la ciudad, propuesta en el proyecto de "Manejo del Riesgo Sísmico de Quito - Ecuador":

Obtenida del "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project"⁽⁴⁾

| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : F1 | |
| Propiedades Prom: Vs = 363.45 m/s T = 0.181 s | Profundidad máxima: 16.5 m |



| | |
|---|---------------------------|
| Zona de suelo : F7 | |
| Propiedades Prom: Vs = 300.0 m/s T = 0.080 s | Profundidad máxima: 6.0 m |

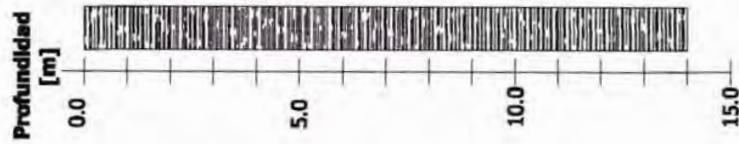


| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : F2 | |
| Propiedades Prom: Vs = 347.19 m/s T = 0.299 s | Profundidad máxima: 26.0 m |

| Profundidad [m] | SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|-----------------|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| 0.0 | SM | 1.8 | 10 | 243 | 3.0 | 1.5 |
| 5.0 | SM | 1.8 | 10 | 243 | 3.0 | 4.5 |
| | SM | 1.8 | 10 | 243 | 3.0 | 7.5 |
| 10.0 | ML | 1.8 | 32 | 360 | 3.0 | 10.50 |
| | ML | 1.8 | 32 | 360 | 2.0 | 13.0 |
| 15.0 | ML | 1.8 | 32 | 360 | 2.0 | 15.0 |
| | SM | 2.3 | 55 | 432 | 3.0 | 17.5 |
| 20.0 | SM | 2.3 | 55 | 432 | 3.0 | 20.5 |
| | SM | 2.3 | 55 | 432 | 4.0 | 24.0 |
| 25.0 | | | | | | |

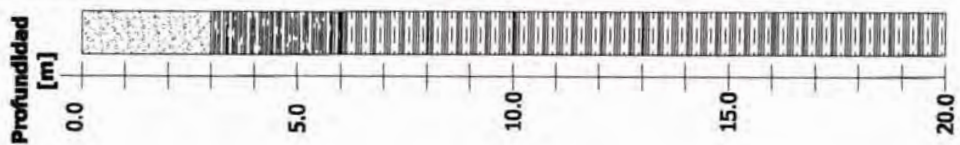
| | |
|---------------------------|---|
| Zona de suelo : F4 | |
| Propiedades Prom: | $V_s = 359.71 \text{ m/s}$ $T = 0.155 \text{ s}$ |
| | Profundidad máxima: 14.0 m |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| ML | 1.8 | 9 | 235 | 2.0 | 1.0 |
| ML | 1.8 | 23 | 322 | 3.0 | 3.5 |
| ML | 2.0 | 44 | 400 | 3.0 | 6.5 |
| ML | 2.0 | 44 | 400 | 3.0 | 9.5 |
| ML | 2.0 | 44 | 400 | 3.0 | 12.5 |



| | |
|---------------------------|--|
| Zona de suelo : F3 | |
| Propiedades Prom: | $V_s = 283.0 \text{ m/s}$ $T = 0.282 \text{ s}$ |
| | Profundidad máxima: 20.0 m |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| SM | 1.6 | 5 | 194 | 3.0 | 1.5 |
| ML | 1.6 | 5 | 194 | 3.0 | 4.5 |
| CL | 1.6 | 14 | 274 | 2.0 | 7.0 |
| CL | 1.9 | 14 | 274 | 2.0 | 9.0 |
| CL | 1.9 | 19 | 300 | 3.0 | 11.5 |
| CL | 1.9 | 19 | 300 | 3.0 | 14.5 |
| CL | 2.0 | 44 | 400 | 4.0 | 18.0 |



| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : F5 | Profundidad máxima: 10.0 m |
| Propiedades Prom: $V_s = 335.0$ m/s $T = 0.112$ s | |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|-------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| OL | 2.0 | 23 | 322 | 2.0 | 1.0 |
| SM | 1.8 | 11 | 251 | 1.0 | 2.5 |
| ML | 2.0 | 22 | 317 | 2.0 | 4.0 |
| SC-GW | 1.9 | 28 | 345 | 1.0 | 5.5 |
| GW | 2.2 | 50 | 419 | 2.0 | 7.0 |
| GW | 2.2 | 50 | 419 | 2.0 | 9.0 |

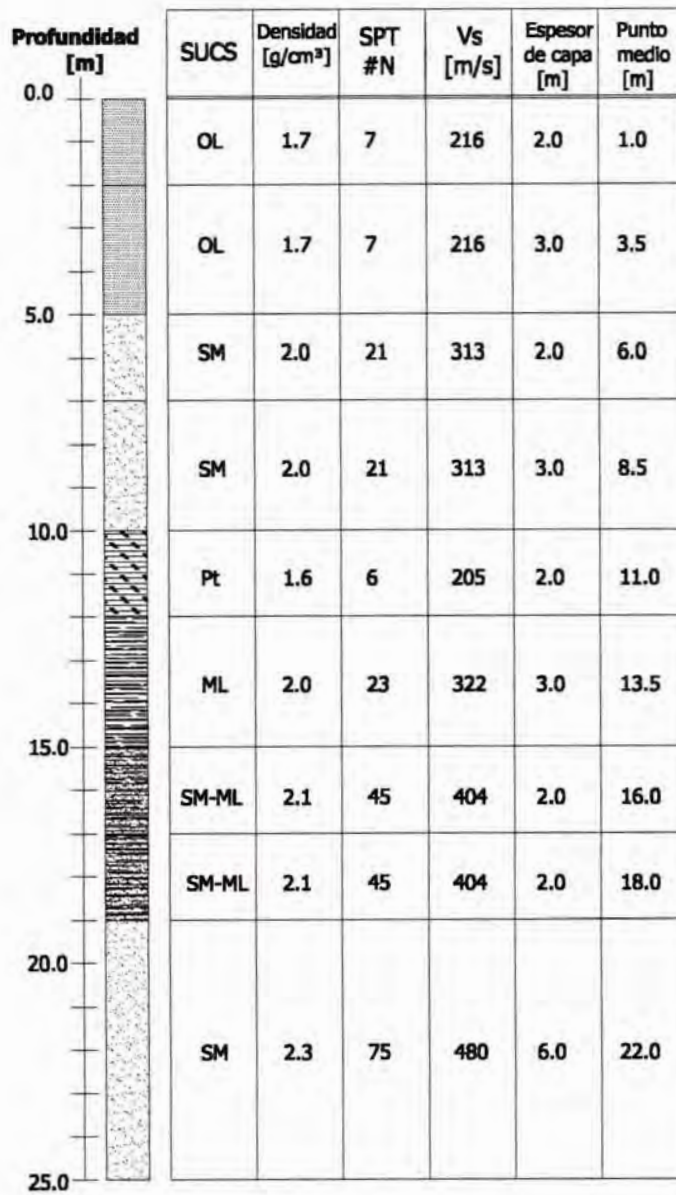


| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : F6 | Profundidad máxima: 15.0 m |
| Propiedades Prom: $V_s = 389.00$ m/s $T = 0.177$ s | |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| SM | 1.8 | 12 | 253 | 1.0 | 0.5 |
| ML | 1.9 | 20 | 307 | 2.0 | 2.0 |
| ML | 1.9 | 20 | 307 | 3.0 | 4.5 |
| CL | 1.8 | 32 | 360 | 2.0 | 7.0 |
| CL | 1.8 | 32 | 360 | 2.0 | 9.0 |
| CL | 1.8 | 32 | 360 | 3.0 | 11.5 |
| SM | 2.0 | 40 | 388 | 2.0 | 14.0 |



| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : L1 | |
| Propiedades Prom: $V_s = 340.7$ m/s $T = 0.293$ s | Profundidad máxima: 25.0 m |



| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : L2 | |
| Propiedades Prom: Vs = 374.8 m/s T = 0.266 s | Profundidad máxima: 25.0 m |

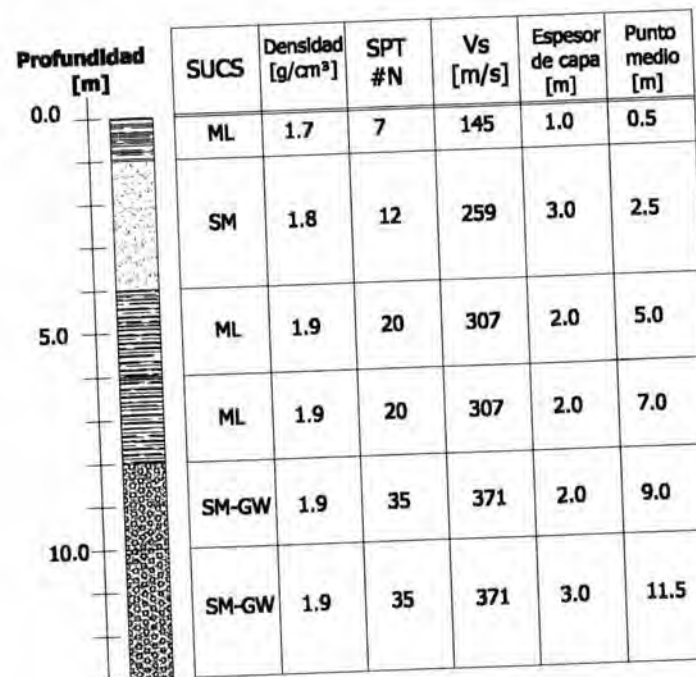
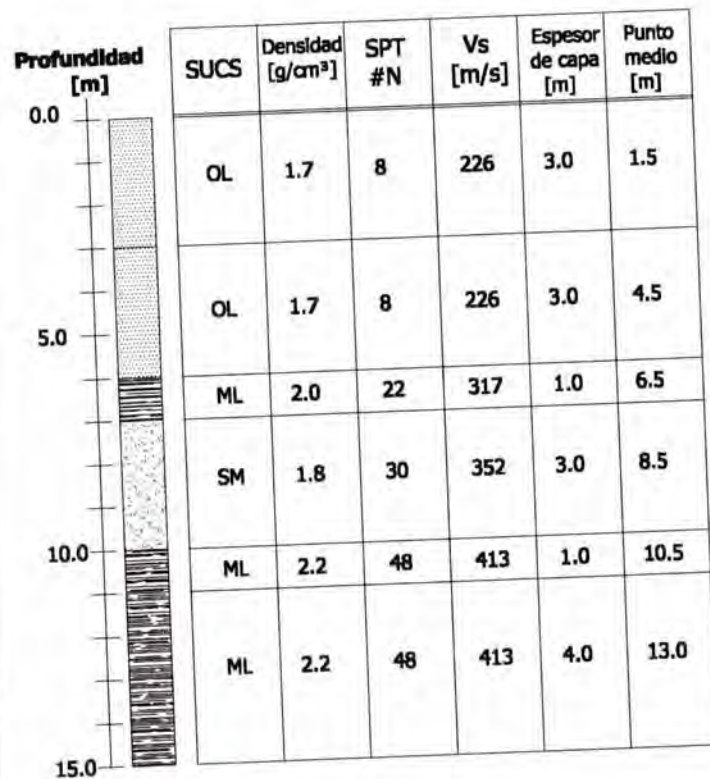
| Profundidad [m] | SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|-----------------|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| 0.0 | ML | 1.7 | 8 | 226 | 2.0 | 1.0 |
| | SM | 1.9 | 19 | 302 | 2.0 | 3.0 |
| 5.0 | SM | 1.9 | 19 | 302 | 2.0 | 5.0 |
| | SM | 1.9 | 19 | 302 | 3.0 | 7.5 |
| 10.0 | ML | 1.9 | 15 | 279 | 3.0 | 10.5 |
| | ML | 1.8 | 30 | 352 | 3.0 | 13.5 |
| 15.0 | SM | 2.3 | 80 | 491 | 3.0 | 16.5 |
| | SM | 2.3 | 80 | 491 | 3.0 | 19.5 |
| 20.0 | SM | 2.3 | 80 | 491 | 4.0 | 23.0 |
| 25.0 | | | | | | |

| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : L3 | |
| Propiedades Prom: Vs = 340.5 m/s T = 0.340 s | Profundidad máxima: 29.0 m |

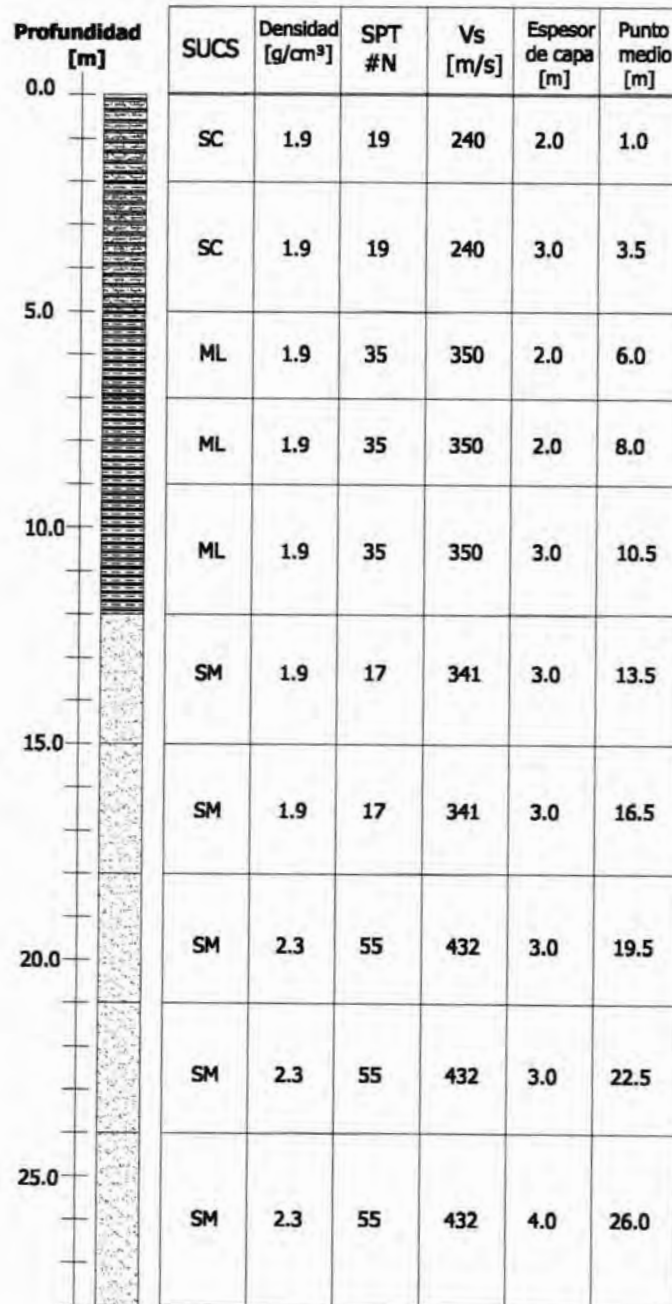
| Profundidad [m] | SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|-----------------|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| 0.0 | ML | 1.6 | 6 | 205 | 2.0 | 1.0 |
| | ML | 1.6 | 6 | 205 | 2.0 | 3.0 |
| 5.0 | SC | 1.9 | 15 | 279 | 2.0 | 5.0 |
| | SC | 1.9 | 15 | 279 | 3.0 | 7.5 |
| 10.0 | ML | 2.0 | 21 | 313 | 2.0 | 10.0 |
| | ML | 2.0 | 21 | 313 | 3.0 | 12.5 |
| 15.0 | SM | 2.2 | 35 | 371 | 2.0 | 15.0 |
| | SM | 2.2 | 35 | 371 | 3.0 | 17.5 |
| 20.0 | ML | 2.3 | 52 | 424 | 3.0 | 20.5 |
| | ML | 2.3 | 52 | 424 | 3.0 | 22.5 |
| 25.0 | ML | 2.3 | 52 | 424 | 4.0 | 27.0 |

| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : L4 | |
| Propiedades Prom: Vs = 319.60 m/s T = 0.187 s | Profundidad máxima: 15.0 m |

| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : L5 | |
| Propiedades Prom: Vs = 318.10 m/s T = 0.168 s | Profundidad máxima: 13.0 m |

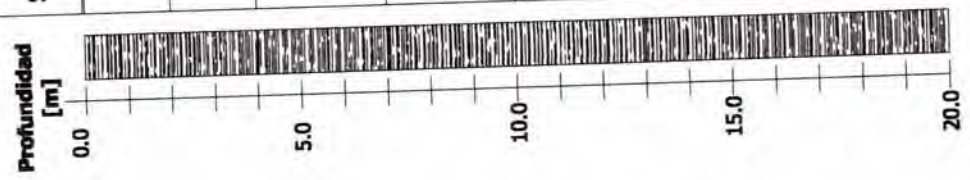


| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : Q1 | |
| Propiedades Prom: Vs = 363.3 m/s T = 0.308 s | Profundidad máxima: 28.0 m |



| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : Q2s | |
| Propiedades Prom: $V_s = 383.0$ m/s $T = 0.208$ s | Profundidad máxima: 20.0 m |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| ML | 1.8 | 31 | 356 | 2.0 | 1.0 |
| ML | 1.8 | 31 | 356 | 2.0 | 3.0 |
| ML | 1.6 | 20 | 307 | 3.0 | 5.5 |
| ML | 1.9 | 36 | 375 | 3.0 | 8.5 |
| ML | 2.2 | 50 | 419 | 3.0 | 11.5 |
| ML | 2.2 | 50 | 419 | 3.0 | 14.5 |
| ML | 2.2 | 50 | 419 | 4.0 | 18.0 |



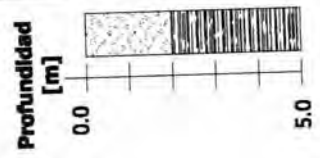
| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : Q2n | |
| Propiedades Prom: $V_s = 363.6$ m/s $T = 0.143$ s | Profundidad máxima: 13.0 m |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| ML | 1.8 | 31 | 356 | 2.0 | 1.0 |
| ML | 1.8 | 31 | 356 | 2.0 | 3.0 |
| ML | 1.6 | 20 | 307 | 3.0 | 5.5 |
| ML | 1.9 | 36 | 375 | 3.0 | 8.5 |
| ML | 2.2 | 50 | 419 | 3.0 | 11.5 |



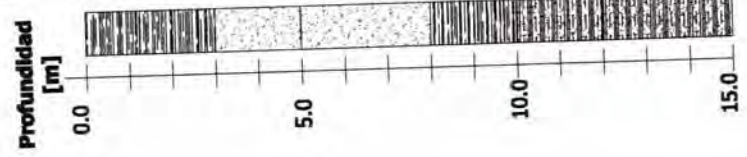
| | |
|--|---------------------------|
| Zona de suelo : Q4 | |
| Propiedades Prom: $V_s = 330.6$ m/s $T = 0.060$ s | Profundidad máxima: 5.0 m |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| SM | 1.6 | 10 | 243 | 2.0 | 1.0 |
| ML | 1.8 | 40 | 388 | 3.0 | 3.5 |



| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : Q3 | |
| Propiedades Prom: $V_s = 326.1$ m/s $T = 0.184$ s | Profundidad máxima: 15.0 m |

| SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| ML | 1.6 | 6 | 205 | 3.0 | 1.5 |
| SM | 1.8 | 11 | 251 | 2.0 | 4.0 |
| SM | 2.0 | 22 | 317 | 3.0 | 6.5 |
| ML | 1.9 | 33 | 364 | 2.0 | 9.0 |
| SC | 2.2 | 50 | 419 | 2.0 | 11.0 |
| SC | 2.2 | 50 | 419 | 3.0 | 13.5 |



| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : Q5 | |
| Propiedades Prom: Vs = 363.3 m/s T = 0.308 s | Profundidad máxima: 28.0 m |

| Profundidad [m] | SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|-----------------|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| 0.0 | SC | 1.9 | 19 | 302 | 2.0 | 1.0 |
| | SC | 1.9 | 19 | 302 | 3.0 | 3.5 |
| 5.0 | ML | 1.9 | 35 | 371 | 2.0 | 6.0 |
| | ML | 1.9 | 35 | 371 | 2.0 | 8.0 |
| 10.0 | ML | 1.9 | 35 | 371 | 3.0 | 10.5 |
| | SM | 1.9 | 17 | 291 | 3.0 | 13.5 |
| 15.0 | SM | 1.9 | 17 | 291 | 3.0 | 16.5 |
| | SM | 2.3 | 55 | 432 | 3.0 | 19.5 |
| 20.0 | SM | 2.3 | 55 | 432 | 3.0 | 22.5 |
| | SM | 2.3 | 55 | 432 | 4.0 | 26.0 |
| 25.0 | | | | | | |

MODELACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO (PROGRAMA SHAKE91)

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA SHAKE91

3.1.1 INTRODUCCIÓN

SHAKE91 es un programa desarrollado en la Universidad de Berkeley por los profesores Schnabe, Lysmer y Seed en Diciembre de 1972, y es utilizado para la evaluación del efecto de las condiciones locales o efectos de sitio, producidos sobre la respuesta dinámica de los suelos sometidos a una excitación sísmica.

El procedimiento analítico se basa principalmente en la suposición de que la respuesta fundamental de un depósito de suelo esta gobernada por la propagación vertical de las ondas de corte, a partir de una formación de roca hacia los estratos superiores de suelo.

De acuerdo con las observaciones realizadas en el campo los resultados de la modelación de los depósitos de suelo basados en el procedimiento analítico anteriormente descrito, son lo suficientemente aproximados.⁽⁷⁾

El análisis dinámico realizado por el programa SHAKE91, funciona en el dominio de las frecuencias, utilizando un método de equivalencia lineal y un proceso iterativo que considera la independencia entre las propiedades dinámicas de los suelos (módulo de reducción $G/G_{máx}$ y amortiguamiento) y la deformación por cortante inducida en cada estrato, para obtener valores compatibles a un procedimiento no lineal.

En el proceso de análisis de la respuesta dinámica de un depósito de suelo, para la modelación matemática del mismo en el programa SHAKE91 es necesario realizar un proceso previo.

Se procede en primer lugar a determinar el movimiento objeto que va excitar la columna de suelo. Determinar las probables características del movimiento a desarrollarse en la formación de roca subyacente, en este caso el sismo más probable que afecte a la ciudad de Quito para luego realizar la selección de un acelerograma para el análisis. El manto rocoso se asume en suelos cuya velocidad de ondas de corte es mayor a 750 m/s y su influencia en el comportamiento dinámico del sistema no es importante.

Acelerogramas procesados en la red de acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, ocurridos en los alrededores de la ciudad de Quito y que afectaron a la ciudad en el pasado, serán utilizados en la modelación de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo. Los eventos sísmicos ocurridos en Pomasquí, Tumbaco y el sismo de Marzo de 1987, son los sismos base para que sus acelerogramas en sus dos componentes (transversal y longitudinal) sean tomados en cuenta en la modelación del presente estudio.

La aceleración máxima, el período predominante y la duración (tiempo de dominio) son los parámetros más importantes de un movimiento. Un movimiento de diseño, con las características deseadas puede ser seleccionado a través de un grupo de registros históricos o de un conjunto de acelerogramas generados artificialmente.

Otro paso fundamental en la modelación matemática de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo, es la determinación de las propiedades dinámicas de los depósitos de suelo. Es necesario obtener las relaciones promedio del módulo de reducción $G/G_{m\acute{a}x}$ y el amortiguamiento como una función de la deformación por cortante, partiendo de las propiedades estáticas se han establecido y expuesto en la literatura técnica especializada, las curvas de ambas relaciones para diferentes tipos de depósitos de suelo.

Es necesario la obtención de curvas típicas de las propiedades dinámicas para nuestros tipos de suelo mediante ensayos dinámicos de laboratorio para

establecer una modelación con resultados más aproximados y acordes a la realidad existente en Quito.

Luego es necesario hacer el cálculo de la respuesta dinámica del depósito del suelo a partir el movimiento seleccionado de las propiedades dinámicas asignadas.

El análisis realizado por el programa SHAKE91 es unidimensional ⁽¹⁵⁾, y por lo tanto es solamente posible utilizarlo en estructuras de suelo estratificadas horizontalmente. Por simplificaciones realizadas, la modelación de los perfiles de suelo de la zonificación de la ciudad de Quito es unidimensional, en consecuencia no se tomará en cuenta los efectos topográficos ni efectos bidimensionales de amplificación de ondas sísmicas, pues su análisis y modelación no es posible realizarla en el programa SHAKE91.

Estudios puntuales en zonas de altos morfológicos y/o de estratigrafía irregular son necesarios para conocer en mejor forma el comportamiento dinámico de los suelos en esos lugares. De igual manera es necesario estudiar particularmente los rellenos realizados a lo largo de la ciudad, utilizando estudios de mecánica y dinámica de suelos, para establecer los reales peligros que puede significar un evento sísmico sobre las estructuras localizadas en estos lugares.

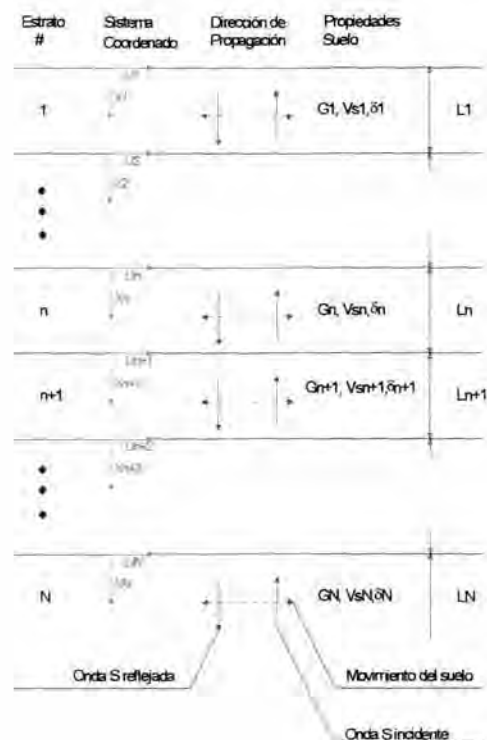
3.1.2 HIPÓTESIS ASUMIDAS EN EL PROGRAMA SHAKE91

El modelo matemático que se utiliza en el programa SHAKE91, supone la existencia de ciertas condiciones en el perfil de suelo para el desarrollo del análisis de la respuesta sísmica del mismo. Estas suposiciones restringen el uso del programa a zonas en donde el depósito de suelo localizado en la zona es posible representarlo con las siguientes características: ⁽¹⁸⁾

- a) El sistema de suelo se extiende infinitamente en dirección horizontal.
- b) Cada uno de los estratos del perfil típico de suelo, esta definido completamente por los valores del módulo de corte, relación de amortiguamiento crítico, densidad y espesor.

- c) Por medio de acelerogramas (valores de aceleración en función del tiempo) son ingresadas las ondas de corte.
- d) La propagación vertical de las ondas de corte iniciadas en la base rocosa y desarrolladas a través del perfil de suelo, provoca la respuesta de los estratos del sistema.
- e) La deformación por cortante es considerada por el modelo por el uso de un procedimiento equivalente lineal basado en un nivel de deformación efectiva promedio calculado para cada estrato a través de la aplicación de un proceso iterativo.

El procedimiento analítico toma en cuenta la respuesta sísmica asociada a la propagación lineal de ondas de corte, a través de un sistema lineal homogéneo viscoelástico, desde una base elástica infinita. El sistema consiste en (N-1) estratos horizontales que se extienden al infinito y están por sobre un semiespacio rocoso o estrato base. Cada uno de los estratos se los considera homogéneas e isotrópico caracterizados cada uno por su espesor, peso específico y velocidad de ondas de corte. ⁽¹⁴⁾



3.1.3 OPCIONES DEL PROGRAMA SHAKE91

SHAKE91, es un programa computacional para la modelación lineal equivalente en el análisis de respuesta sísmica de depósitos de suelo horizontalmente estratificados, y ha sido por lejos el programa más usado en el análisis de la respuesta sísmica de los depósitos de suelo. Básicamente computa la respuesta de semi-infinitas capas de suelo sujetas a propagación de ondas de corte en forma vertical. El análisis es realizado en el dominio de las frecuencias y utiliza un análisis lineal para las propiedades, pero un procedimiento iterativo permite hacer un pseudo análisis de comportamiento no lineal de los suelos.

En ésta versión del SHAKE se ha implementado algunas modificaciones, como el incremento de 20 a 50 el número máximo de subcapas para una representación más aproximada de depósitos de suelos blandos o profundos. La implementación de 13 relaciones del módulo de reducción $G/G_{\text{máx}}$ y la relación de amortiguamiento vs deformación por cortante. La máxima velocidad por cortante del $G_{\text{máx}}$ es ahora especificado para cada capa y la señal puede ser especificada en un archivo separado. ⁽¹⁵⁾

Las opciones disponibles en el programa shake91 son 11, la opción 1 se refiere para introducir las propiedades dinámicas de los suelos, como son las relaciones $G/G_{\text{máx}}$ y el amortiguamiento vs la deformación por cortante. La opción 2 sirve para introducir los datos acerca del perfil del suelo y datos como la velocidad por cortante, espesor y densidad. La opción 3 especifica el archivo donde se va a leer la señal impulso. La opción 4 especifica el lugar donde va actuar el movimiento objeto, la opción 5 es requerida para obtener el número de iteraciones necesarias. La opción 6, computa la aceleración al tope de las subcapas requeridas, la opción 7 computa las deformaciones al tope de las subcapas requeridas. La opción 9 computa el espectro de respuesta, la 10 el espectro de amplificación o funciones de transferencia y la opción 11 es para amplitudes de Fourier. ⁽¹⁵⁾

3.2 MODELACIÓN DE LAS COLUMNAS DE SUELO

3.2.1 MODELACIÓN DE LAS COLUMNAS DE SUELO

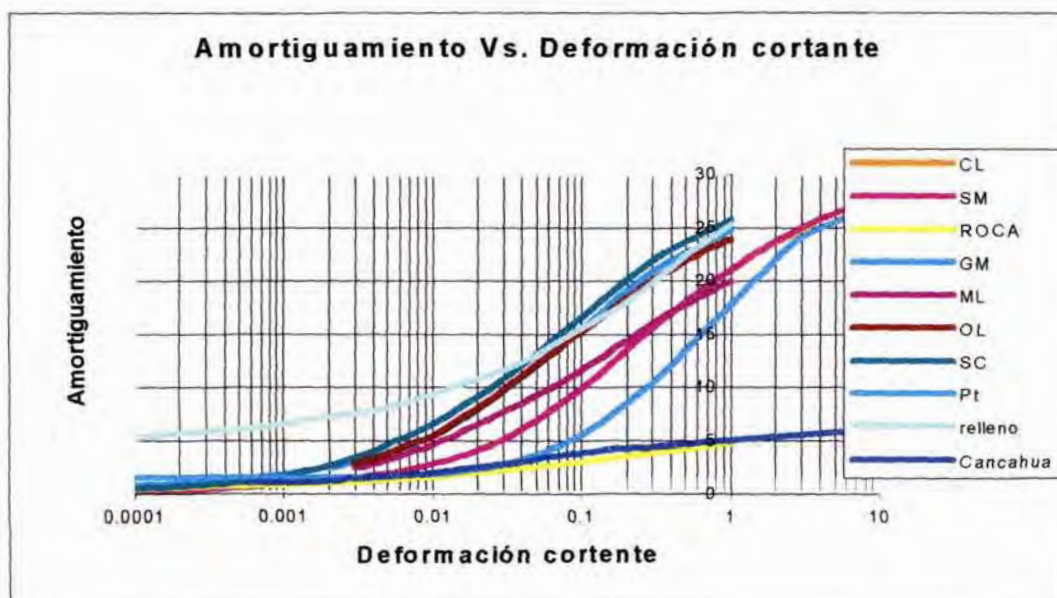
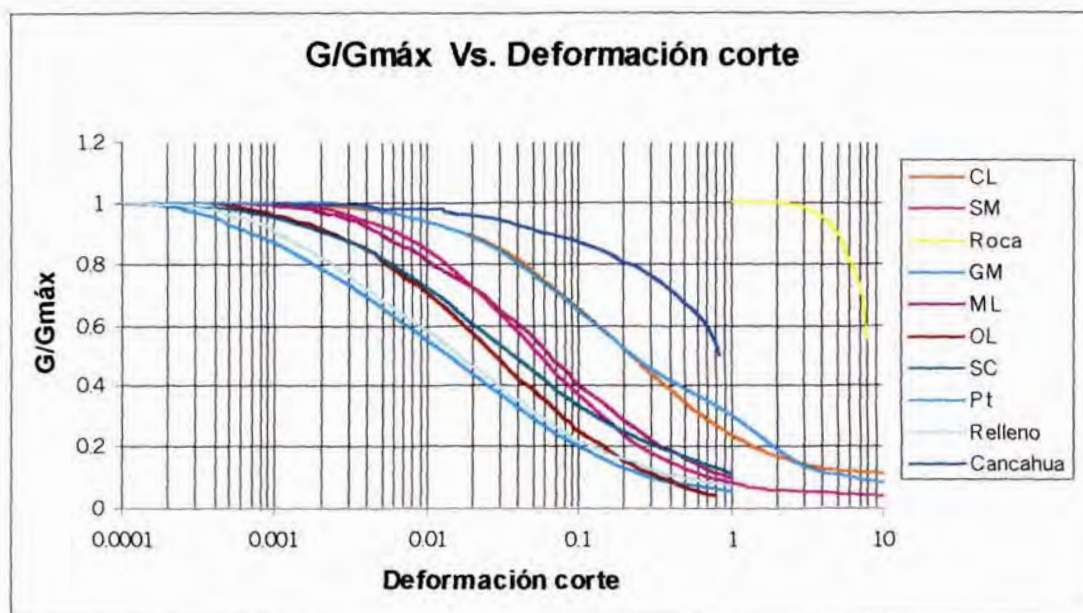
La modelación de las columnas de suelo en el programa SHAKE91, se realiza mediante la elaboración de un archivo de datos que contiene toda la información referente a la columna de suelo a determinar su respuesta dinámica, como la velocidad de la onda de corte, el peso específico y el amortiguamiento. La creación del archivo de datos, útil para el funcionamiento del programa SHAKE91, debe seguir cierto tipo de formato, que se indica claramente en el manual del usuario del programa. Es importante indicar que se debe respetar el espacio proporcionado en el archivo de datos, para cada información a ingresar, para evitar posibles errores.

Con la información proporcionada por el Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito, se obtienen los parámetros de suelo necesarios para la modelación dinámica de los perfiles de suelo definidos en este proyecto. Gracias a la clasificación SUCS de los suelos, es posible identificar, para cada estrato de cada perfil de suelo, un material cuyo comportamiento dinámico está caracterizado por curvas experimentales de $G/G_{m\acute{a}x}$ y Amortiguamiento vs. la deformación por cortante, obtenidas de la literatura técnica⁽¹³⁾. Adicionalmente se define una clase de suelo, "la cangahua", como una arena media SM ó un limo de baja plasticidad ML, cuya velocidad de onda de corte supera los 400m/s. El comportamiento dinámico de la cangahua, se obtiene de curvas experimentales de un ensayo triaxial cíclico realizadas en Lima -Perú (CISMID).

Debido al comportamiento no lineal de los suelos ante grandes deformaciones, es indispensable tomar en cuenta este fenómeno para la modelación dinámica de los perfiles de suelo. La mayoría de programas de modelación de la respuesta dinámica de los suelos, utilizan un proceso pseudo-no lineal o un proceso lineal equivalente de aproximación a la deformación compatible, mediante un proceso iterativo. El programa SHAKE91 utiliza este

proceso, para lo cual es necesario la conformación de las curvas características de los materiales de los perfiles de suelo de la zonificación de la ciudad de Quito.
(3)

A continuación se exponen las curvas experimentales definidas para cada material o clasificación de suelo, las cuáles fueron obtenidas de la literatura técnica y están resumidas en el programa SHAKEDIT. Se han escogido las curvas promedio de cada material y además se incluye la curva experimental de la cangahua (CISMID):



Las curvas del módulo de reducción $G/G_{\text{máx}}$ y el Amortiguamiento vs. la deformación por corte graficadas anteriormente, pertenecen a ensayos experimentales para diferentes tipos de suelo. Es así que de acuerdo a la clasificación SUCS de las diferentes estratigrafías de la zonificación de Quito, se asignó un par de curvas ($G/G_{\text{máx}}$ y Amortiguamiento vs. Deformación por corte) para los diferentes tipos de suelo. A continuación se detalla las curvas experimentales utilizadas:

| SUCS | Módulo $G/G_{\text{máx}}$ Vs. Deformación | Amortiguamiento Vs. Deformación |
|----------|---|--|
| CL | Modulus for clay (Seed & Sun 1989) | Damping for clay (Idriss 1990) |
| SM | Modulus for sand (Seed & Idriss 1970) | Damping for sand (Idriss 1990) |
| GM | $G/G_{\text{máx}}$ Gravel Average (Seed et al. 1986) | Damping Gravel Average (Seed et al. 1986) |
| ML | $G/G_{\text{máx}}$ Soil PI=15 OCR=1-15 | Damping Soil PI=15 OCR=1-8 |
| OL | $G/G_{\text{máx}}$ Soil PI=0 OCR=1-15 | Damping Soil PI=0 OCR=1-8 |
| SC | $G/G_{\text{máx}}$ Sand S2 (Sand CP=1-3 KSC) 1988 | Damping for sand average(Seed & Idriss 1970) |
| Pt | $G/G_{\text{máx}}$ of Young Bay Mud (Sun, EERC-88/15) | Damping for Bay Mud |
| Cancahua | $G/G_{\text{máx}}$ Cancahua CISMID Proyecto Quito | Damping Cancahua CISMID Proyecto Quito |
| Roca | Atenuation of rock average | Damping in rock |

Como se mencionó anteriormente, para el caso de la cangahua, se utilizó curvas experimentales obtenidas de ensayos dinámicos realizados. A estas curvas experimentales es necesario normalizarlas a un valor de deformación referencial, valor que está implícito en las demás curvas utilizadas (Seed & Idriss) y cuyo valor empírico puede tomarse como $\gamma = 0.7 \cdot 10^{-3}$ (3). De esta manera es posible ver en la gráfica del módulo de reducción $G/G_{\text{máx}}$ en función de la deformación por cortante, que a mayor deformación por cortante en un suelo tipo cangahua, el módulo de corte G , se degrada en menor proporción que otros tipos de suelo como un CL ó SC. Por otro lado en las curvas de amortiguamiento, se observa que a mayor deformación por corte, el amortiguamiento en la cangahua es menor que otros tipos de suelo. Estas observaciones comprueban el teórico comportamiento dinámico de la cangahua con relación a otros tipos de suelo.

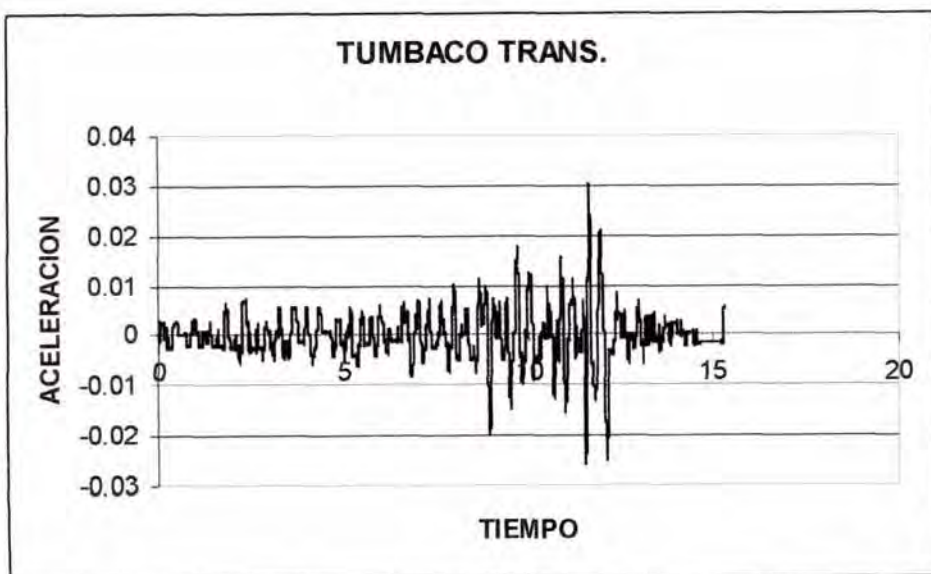
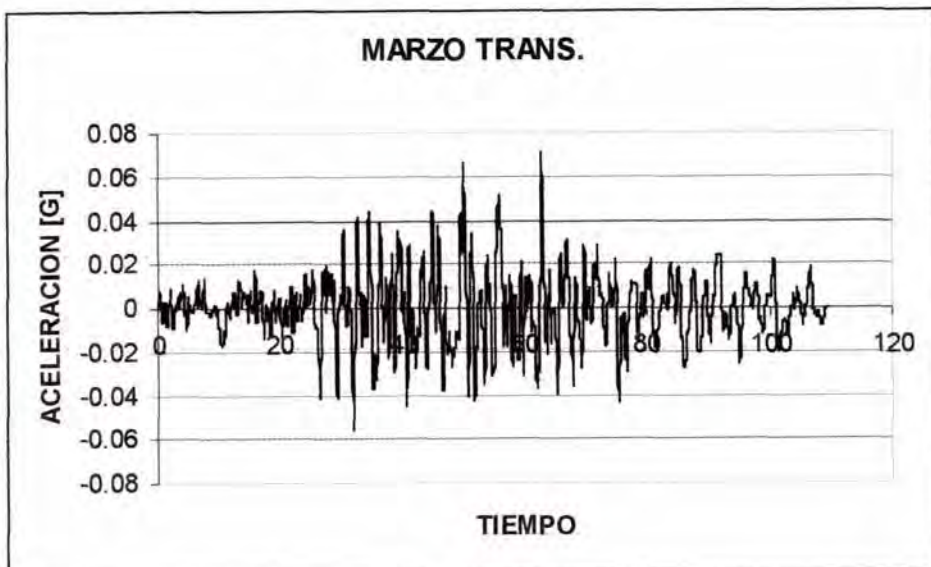
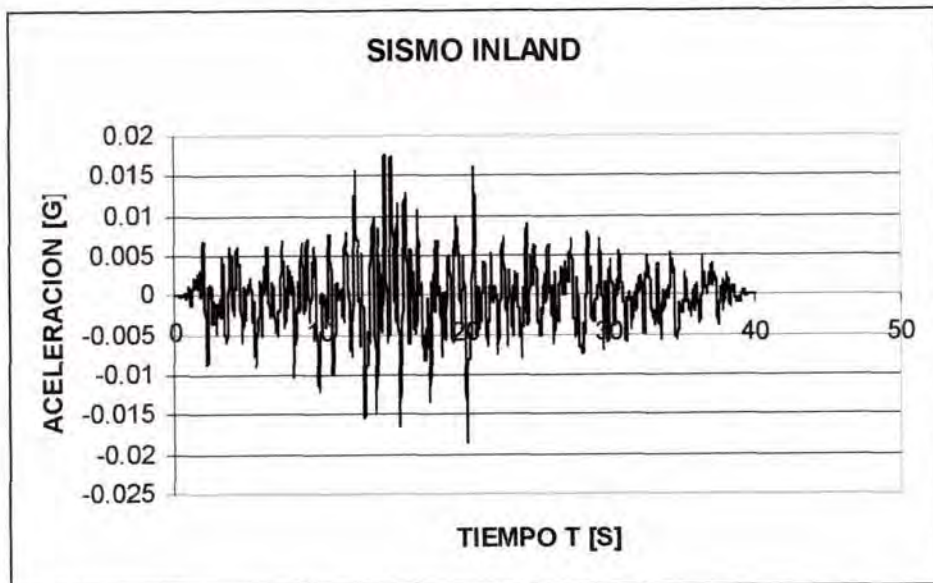
Es importante anotar que las curvas correspondientes a la cangahua, fueron extrapoladas para obtener rangos de deformaciones en los cuales el

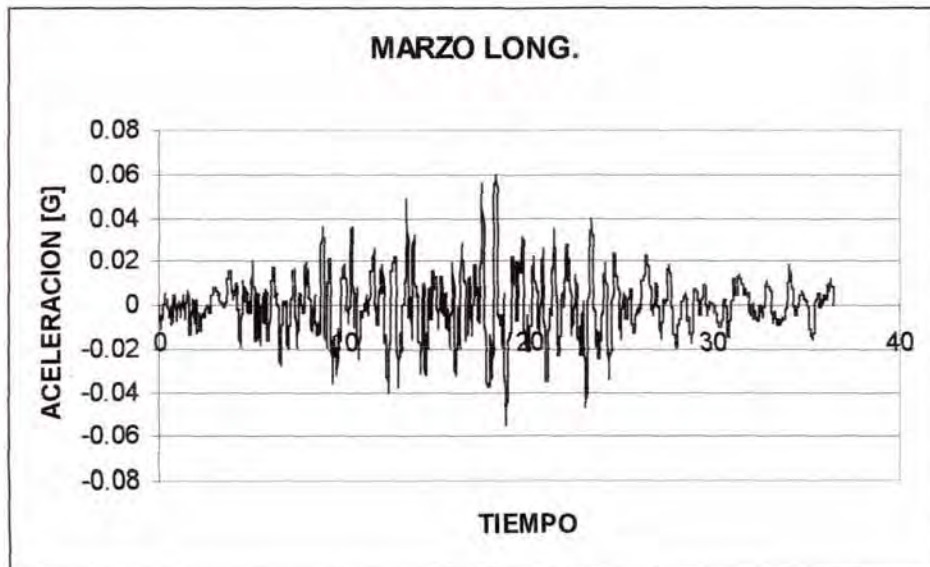
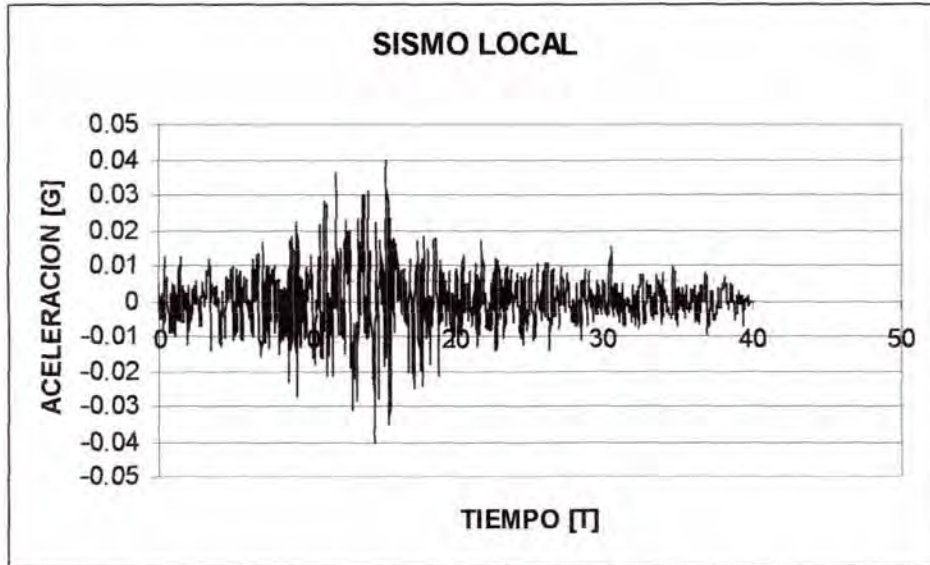
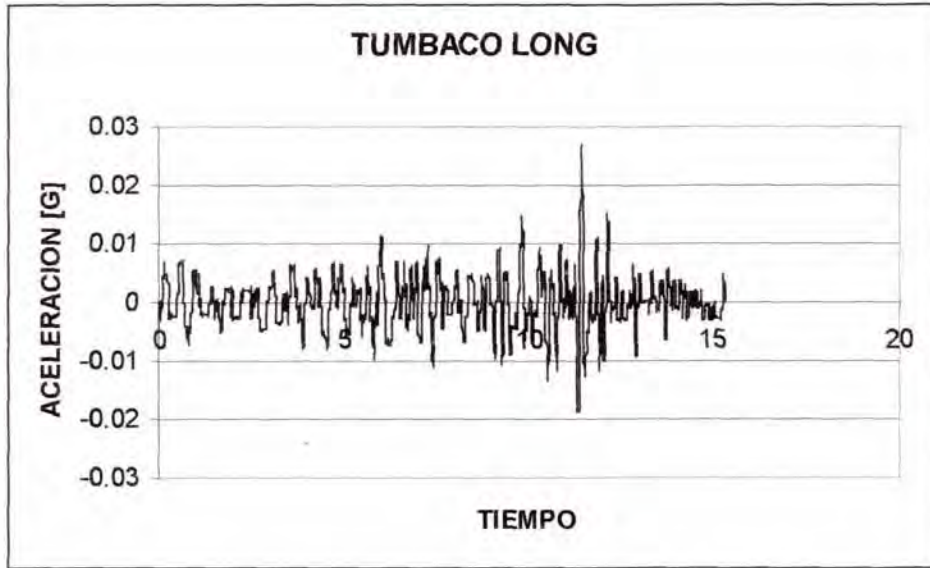
programa PC-SHAKE91 trabaja, ya que el rango de las deformaciones del ensayo experimental obtenido, tenía un rango de deformación más pequeño.

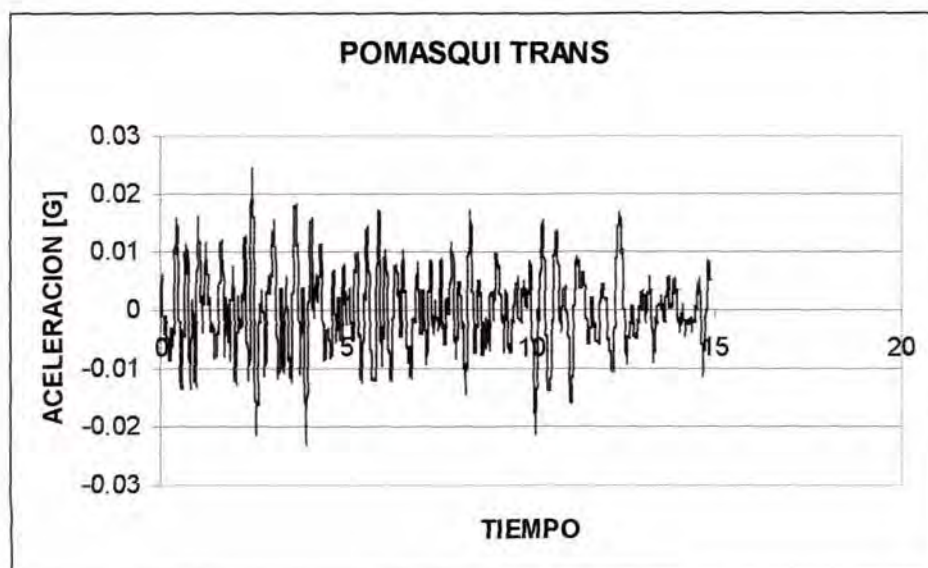
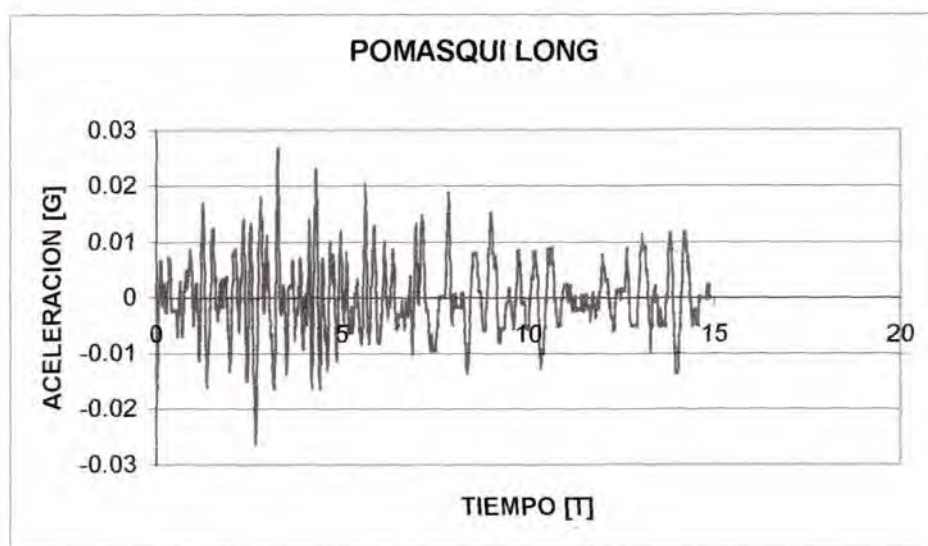
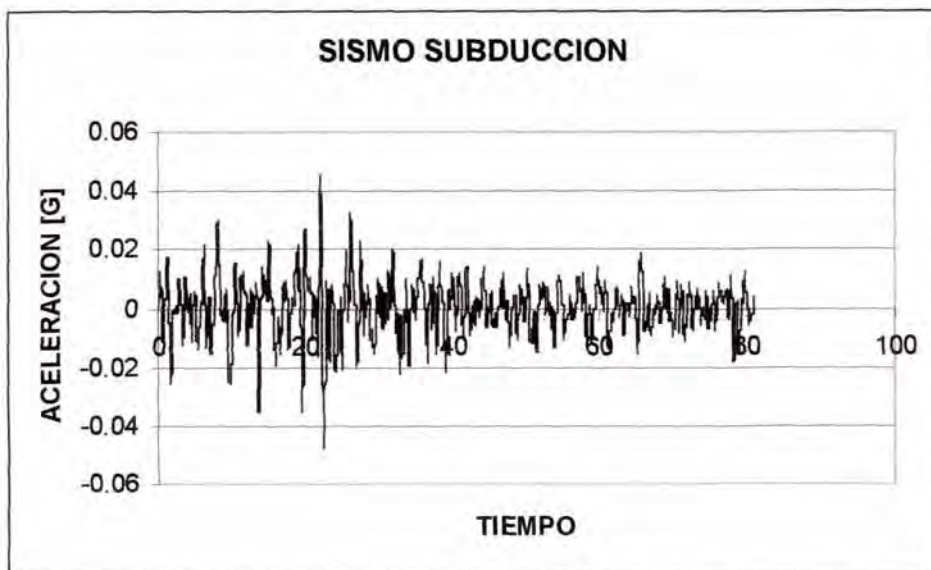
A continuación es necesario poder la información relacionada a la conformación estratigráfica de los perfiles de suelo de la zonificación. El número de la capa (empezando por las más superficiales), el tipo de material, la potencia o espesor de la misma [ft], los datos referentes a velocidad de la onda de corte [ft/s] o el módulo de corte, el amortiguamiento inicial estimado y el peso específico [ksf] de cada capa.

Como siguiente paso, es necesario especificar el movimiento objeto o el acelerograma que va a excitar la columna de suelo. Se anota de acuerdo al formato del archivo de datos, el número de valores de aceleración que se va a leer (máximo 4096), el intervalo de tiempo [g], el formato de lectura de los valores de aceleración y el escalamiento del movimiento.

Por la falta de información en cuanto a sismos o registros sísmicos que afectaron a la ciudad de Quito en el pasado, es necesario recurrir a sismos de menor magnitud que el esperado, cuyos registros se posee, para luego escalarlos a mayores porcentajes de la gravedad de manera que se acerquen al sismo esperado para Quito, cuya aceleración en roca según la propuesta del CEC-2000 es de 0.4g. También se utiliza sismos generados, representen acelerogramas para diferentes eventos como la subducción, un evento local o un evento sísmico continental. A continuación se grafican los acelerogramas a utilizarse en la modelación de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo de la zonificación de la ciudad de Quito:







El programa SHAKE, permite poner el número de iteraciones necesarios para obtener una respuesta confiable y aproximada, además de que nos da la opción de obtener los valores de aceleración en los estratos que se deseen y obtener la función de transferencia de la respuesta dinámica del suelo.

Un ejemplo de la elaboración del archivo de datos para la ejecución del programa SHAKE91, para la modelación matemática de la respuesta dinámica del suelo, es presentada a continuación:

Archivo de entrada de datos

Option 1 – Dynamic material properties

```

1
10
11 #1 modulus for clay (seed & sun 1989) upper range
0.0001 0.0003 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3
1. 3. 10.
1.000 1.000 1.000 0.981 0.941 0.847 0.656 0.438
0.238 0.144 0.110
11 damping for clay (Idriss 1990) -
0.0001 0.0003 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3
1. 3.16 10.
0.24 0.42 0.8 1.4 2.8 5.1 9.8 15.5
21. 25. 28.
11 #2 modulus for sand (seed & idriss 1970) - upper Range
0.0001 0.0003 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3
1. 3. 10.
1.000 1.000 0.990 0.960 0.850 0.640 0.370 0.180
0.080 0.050 0.035
11 damping for sand (Idriss 1990) - (about LRng from SI 1970)
0.0001 0.0003 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3
1. 3. 10.
0.24 0.42 0.8 1.4 2.8 5.1 9.8 15.5
21. 25. 28.
8 #3 ATTENUATION OF ROCK AVERAGE
.0001 0.0003 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 1.0
1.000 1.000 0.9875 0.9525 0.900 0.810 0.725 0.550
5 DAMPING IN ROCK
.0001 0.001 0.01 0.1 1.
0.4 0.8 1.5 3.0 4.6
9 #4 G/Gmax Gravel Average (Seed et al. 1986)
0.0001 0.0003 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3
1.
1.000 0.970 0.870 0.730 0.550 0.370 0.200 0.100
0.05
9 damping for Gravel Average (Seed et al.1986)
0.0001 0.0003 0.001 0.003 0.01 0.03 0.1 0.3
1.
0.80 1.00 1.9 3.0 5.4 9.6 15.4 20.8
24.6
20 #5 Soil PI 15 G/Gmax - Soil with PI=15, OCR=1-15
0.0007 0.0009 0.001 0.002 0.003 0.004 0.006 0.008
0.01 0.02 0.03 0.04 0.08 0.1 0.2 0.3
0.4 0.6 0.8 1.
1. 0.995 0.99 0.97 0.95 0.925 0.875 0.85
0.815 0.72 0.65 0.6 0.455 0.405 0.29 0.22
0.19 0.14 0.11 0.095
20 Soil PI 15 Damping - Soil with PI=15, OCR=1-8

```


| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.008 | 0.01 | 0.02 | 0.03 |
| 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| 0.6 | 0.7 | 0.8 | 1. | | | | |
| 2.5 | 2.8 | 3.2 | 3.5 | 4.1 | 4.5 | 6.4 | 7.6 |
| 8.4 | 9.2 | 10.3 | 11.5 | 14.3 | 15.9 | 17. | 17.6 |
| 18.3 | 18.8 | 19.3 | 19.9 | | | | |

20 #6 Soil G/Gmax - Soil with PI=0, OCR=1-15 (Vucetic & Dubry)

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0003 | 0.0005 | 0.0007 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.007 |
| 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.05 | 0.08 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | | | | |
| 1. | 0.990 | 0.98 | 0.965 | 0.92 | 0.875 | 0.850 | 0.76 |
| 0.705 | 0.575 | 0.425 | 0.385 | 0.290 | 0.250 | 0.16 | 0.11 |
| 0.09 | 0.07 | 0.055 | 0.04 | | | | |

20 Soil PI 15 Damping - Soil with PI=15, OCR=1-8

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.008 | 0.01 | 0.02 | 0.03 |
| 0.04 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1. | | | | |
| 2.9 | 3.3 | 3.7 | 4.2 | 4.8 | 5.4 | 7.9 | 9.7 |
| 11. | 12.1 | 15.2 | 18.4 | 20.0 | 21.0 | 21.9 | 22.4 |
| 22.9 | 23.2 | 23.6 | 23.8 | | | | |

9 #7 Sand S2 G/Gmax - S2 (SAND CP=1-3 KSC) 3/11 1988

| | | | | | | | |
|--------|----------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|
| 0.0001 | 0.000316 | .001 | 0.00316 | 0.01 | 0.0316 | 0.1 | 0.316 |
| 1. | | | | | | | |
| 1. | 0.985 | 0.952 | 0.873 | 0.724 | 0.532 | 0.332 | 0.2 |
| 0.114 | | | | | | | |

9 Sand Avg. Damping for SAND, Average (Seed & Idriss 1970)

| | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|------|------|------|------|
| 0.0001 | 0.0003 | 0.001 | 0.003 | 0.01 | 0.03 | 0.1 | 0.3 |
| 1. | | | | | | | |
| 0.5 | 0.8 | 1.7 | 3.45 | 6.5 | 10.7 | 16.5 | 21.9 |
| 25.7 | | | | | | | |

17 #8 G/Gm x CANGAHUA CISMID PROYECTO QUITO

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.005 | 0.006 | 0.011 | 0.014 | 0.029 |
| 0.057 | 0.1 | 0.129 | 0.143 | 0.286 | 0.429 | 0.537 | 0.717 |
| 0.857 | | | | | | | |
| 1.00 | 0.995 | 0.99 | 0.985 | 0.98 | 0.975 | 0.97 | 0.95 |
| 0.9 | 0.875 | 0.85 | 0.84 | 0.765 | 0.7 | 0.65 | 0.59 |
| 0.5 | | | | | | | |

13 DAMPING CANGAHUA EXTRAPOLACION CISMID PROYECTO QUITO

| | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0.0006 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.005 | 0.008 | 0.01 | 0.02 |
| 0.03 | 0.04 | 0.1 | 1. | 10 | | | |
| 1.05 | 1.06 | 1.24 | 1.40 | 1.60 | 1.88 | 1.95 | 2.50 |
| 2.83 | 3.00 | 3.80 | 5.0 | 6.0 | | | |

10 #9 YB Mud G/Gmax of Young Bay Mud (Sun et al, EERC-88/15)

| | | | | | | | |
|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0001 | 0.001 | 0.003 | 0.01 | 0.03 | 0.1 | 0.3 | 1. |
| 3. | 10. | | | | | | |
| 1. | 1. | 0.991 | 0.9416 | 0.8398 | 0.6472 | 0.4512 | 0.3036 |
| 0.135 | 0.085 | | | | | | |

10 YB Mud Damping for Young Bay Mud

| | | | | | | | |
|--------|-------|-------|------|------|-----|-----|----|
| 0.0001 | 0.001 | 0.003 | 0.01 | 0.03 | 0.1 | 0.3 | 1. |
|--------|-------|-------|------|------|-----|-----|----|

3. 10.
 1.56 1.56 1.56 1.87 2.64 5.44 10.3 17.73
 24. 27.
 17 #10 Waste G/Gmax for Waste Material (Singh & Murphy, 1990)
 0.0001 0.0003 0.0005 0.0007 0.001 0.002 0.003 0.005
 0.01 0.03 0.05 0.08 0.09 0.1 0.3 0.5
 1.
 1. 0.985 0.96 0.945 0.91 0.82 0.76 0.68
 0.58 0.395 0.315 0.245 0.23 0.215 0.13 0.1
 0.075
 14 Waste Damping for Waste Material (Singh & Murphy, 1990)
 0.0001 0.0003 0.0005 0.001 0.003 0.005 0.01 0.03
 0.05 0.1 0.2 0.3 0.5 1.
 5.25 5.75 6. 6.5 7.5 8. 9.25 11.5
 13. 15.5 18. 19.75 22.25 25.25
 10 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Option 2 – Soil Profile

2
 1 8 Zona F1 ; zonificacion Quito
 1 2 6.56 .050 .119 990.8
 2 2 9.84 .050 .119 990.8
 3 5 9.84 .050 .119 915.3
 4 5 9.84 .050 .131 1154.8
 5 5 1.64 .050 .125 1273.0
 6 8 8.20 .050 .144 1574.8
 7 8 8.20 .050 .144 1574.8
 8 3 .050 .175 4920.0

Option 3 – input motion:

3
 2000 4096 .020 C:\shakedit\S\I.txt (8F10.3)
 0.4 25. 1 8

Option 4 – sublayer for input motion {within (1) or outcropping (0):

4
 8 0

Option 5 – number of iterations & ratio of avg strain to max strain

5
 1 12 0.68

Option 6 – sublayers for which accn time histories are computed & saved:

6
 1 1 2 3 4 5 6 7 8 8
 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1

option 9 – compute & save response spectrum:

9
 1 0
 1 0 981.0
 0.05

option 10 – compute & save amplification spectrum:

10

```
8 0 1 0 0.100 - surface/rock outcrop
option 11 -- compute & save Fourier spectrum:
11
1 0 2 1 1000
1 0 2 3 1000
execution will stop when program encounters 0
0
```

3.2.2 EJECUCION DEL PROGRAMA SHAKE91

Luego de la elaboración de los archivos de datos para las diferentes columnas de suelo de la zonificación de la ciudad de Quito, se varía el movimiento objeto o el sismo actuante sobre la columna de suelo, de acuerdo a diferentes escalamientos, para cada uno de los acelerogramas presentados anteriormente. Se ejecuta el archivo de datos de cada zona para los 9 acelerogramas escalados a 0.4 g, lo que significa que el valor máximo de aceleración de cada acelerograma es multiplicado por un factor tal que, la aceleración máxima resultante sea 0.4g. De igual manera se procede a ejecutar el archivo de datos en el programa SHAKE91 para los 9 acelerogramas pero escalados a 0.3, 0.2 y 0.1 factores de la gravedad, esto para todas las zonas presentadas en el Escenario Sísmico de Quito.

La razón de este escalamiento de la aceleración máxima a 0.1g, 0.2g, 0.3g y 0.4g, es la de poder comparar el comportamiento y la respuesta de una estratigrafía de suelo ante la acción de un sismo que tengan diferente magnitud en aceleraciones. El escalar los diferentes acelerogramas para una misma aceleración máxima permite de alguna manera uniformizar los sismos que actúan sobre el perfil de suelo.

Con la ejecución de los archivos de datos de las diferentes columnas de suelo, representando a cada zona de la ciudad de Quito, para los diferentes acelerogramas, escalados a diferentes aceleraciones, se procesa la información. El procesamiento de los resultados se lo realiza agrupando la información obtenida de la salida de los archivos del programa SHAKE91 en función de la zona a la cual pertenece el archivo.

Luego se agrupa los resultados en los archivos de salida con igual aceleración máxima y se grafican los resultados. En un archivo de salida los resultados utilizados son el módulo de la función de transferencia (amplitud en función de la frecuencia), el espectro de respuesta de la columna de suelo (aceleración en función del período) y el factor de amplificación (aceleración máxima en superficie / aceleración máxima en roca). Es decir que, luego de

procesar todos los resultados, cada zona de la zonificación de la ciudad debe disponer de, 4 gráficos de la función de transferencia que corresponden a los diferentes escalamientos de la aceleración, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4g, además 4 gráficos del espectro de respuesta de la columna pertenecientes a estos escalamientos de la aceleración.

Cada gráfico debe contener los 9 acelerogramas respectivos. Todos los resultados obtenidos de la ejecución del programa, para todas las zonas son graficadas y mostradas en el ANEXO A y ANEXO B del presente estudio.

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

3.3.1 DEFINICIÓN ⁽²⁾

La transformada de Fourier es aplicable para funciones que no son periódicas, por lo que una excitación sísmica en roca $f(t)$ y la respuesta en superficie $x(t)$, pueden tener su representación continua en términos de la Transformada de Fourier como:



$$F(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\theta t} dt$$

$$X(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\theta t} dt$$

donde θ es la frecuencia de excitación

La transformada de Fourier permite conocer el contenido de frecuencias de la excitación sísmica, por medio del espectro de amplitudes de Fourier, conformada por el módulo de la transformada de Fourier.

Las transformadas inversas de Fourier, están definidas por

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\theta) e^{i\theta t} d\theta$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\theta) e^{i\theta t} d\theta$$

La función de transferencia $H(\theta)$ del sistema, formulada en el campo complejo de la frecuencia, se define por:

$$H(\theta) = \frac{X(\theta)}{F(\theta)}$$

De esta manera se puede definir la función de transferencia como la división compleja entre el espectro de Fourier en la superficie para el espectro de Fourier en roca.

La respuesta compleja en frecuencias en la superficie, se puede expresar como:

$$X(\theta) = H(\theta) F(\theta)$$

esto quiere decir que, utilizando la función de transferencia $H(\theta)$ obtenida mediante la modelación matemática de la respuesta dinámica de la columna de suelo y usando la transformada de Fourier del acelerograma de un posible sismo en roca que afecte la ciudad $F(\theta)$, es posible obtener la respuesta dinámica del suelo ante el sismo, realizando el producto convolución de las transformadas de Fourier anteriormente mencionadas. Por tener inversa la transformada de Fourier (por ser las señales de excitación finitas, continuas y acotadas), es posible jugar con la convolución y deconvolución de las señales para obtener las señales tanto en superficie como en roca. Una de las utilidades de la función de transferencia es el poder conocer el comportamiento dinámico de un determinado depósito de suelo ante acciones sísmicas de diferentes contenidos de frecuencias e identificar el sismo más desfavorable.

3.3.2 FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

Las funciones de transferencia obtenidas de los archivos de salida del programa de modelación dinámica de suelos (SHAKE91), correspondientes a los perfiles de suelo de la zonificación de Quito y agrupados de acuerdo a la aceleración máxima, escalada a diferentes factores de la gravedad (0.1, 0.2, 0.3 y 0.4), es presentada en el ANEXO A. Los valores de amplitud en función de la frecuencia mostrados en las gráficas, son consecuencia del manejo del módulo de la función de transferencia y define la frecuencia de vibración de la columna de suelo, identificable en el pico máximo del gráfico. El período natural de vibración del sistema es fácilmente deducible.

Al observar las gráficas de las funciones de transferencias, es posible llegar a conclusiones generales que nacen de una simple comparación de las gráficas de una misma zona a diferente escalamiento en su aceleración máxima. Se nota una clara tendencia decreciente de la amplitud a medida de que la aceleración máxima aumenta, existiendo una diferencia apreciable entre las funciones de transferencia con aceleraciones máximas de 0.1g y 0.4g, pero la diferencia es tolerable entre las funciones de transferencia 0.1g con 0.2g y 0.3g con 0.4g. El pico de la frecuencia máxima se recorre ligeramente a la izquierda de las abscisas, es decir, disminuye el valor de la frecuencia a medida que la aceleración máxima aumenta. Los siguientes picos o modos se recorren a la izquierda de las abscisas al aumentar el factor de escalamiento de la aceleración, pero éstos lo hacen en mayor proporción que el pico o modo principal de vibración. Es posible observar que las funciones de transferencia de las columnas estratigráficas de poca profundidad poseen frecuencias de vibración más altas que aquellas pertenecientes a perfiles de suelo de mayor potencia o mayor grado de libertad, comportamiento dinámico que era el esperado. La frecuencia natural de vibración de la columna de suelo no solamente depende de la profundidad del estrato o los grados de libertad del sistema, sino de la composición del mismo, e incluso en ocasiones del nivel de acción sísmica aplicada.

En los gráficos del ANEXO A se puede comparar la variación existente entre las funciones de transferencia de los diferentes sismos en una misma zona

a una misma escala de aceleración. En general se puede observar que la variación existente entre las funciones de transferencia de un sismo y otro, de una misma zona escalado a una misma aceleración máxima, es muy pequeña y en algunos casos es casi imperceptible en el gráfico, y ésta es menos notoria en perfiles de suelo conformados por materiales duros como la cangahua, limos y arenas. La diferencia entre la función de transferencia entre los diferentes sismos aumenta ligeramente, en perfiles de suelo con contenido de suelos blandos como suelos orgánicos y turbas.

Al comparar la variación existente en los gráficos de la función de transferencia entre las distintas zonas de mismo número de grados de libertad (la misma profundidad) y con una misma aceleración, se puede observar que para este caso, en el presente estudio, la frecuencia natural de vibración del sistema es similar en la mayoría de los casos, pero varía en otras ocasiones cuando la conformación de los suelos en la estratigrafía varía en gran manera.

3.3.3 PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Luego de analizar los resultados gráficos de las funciones de transferencia, se observó que los resultados obtenidos presentan diferencias entre los escalamientos de la aceleración máxima 0.1 y 0.4g, lo que sugiere presentar resultados de la función de transferencia en 2 grupos, una función de transferencia que represente el comportamiento dinámico de una columna representativa de suelo de la zona, para sismos con aceleraciones de 0.1 a 0.2g, y otra función de transferencia del mismo perfil de suelo de la misma zona, útil para aceleraciones entre 0.3 y 0.4 g.

Por tratarse de una operación compleja y porque las curvas graficadas representan solamente el módulo de la función, la determinación de la función de transferencia representativa para aceleraciones entre 0.1g -0.2g ó 0.3g-0.4g, no es posible conseguirla promediando los valores graficados, es necesario para el efecto escoger una curva representativa entre todas las curvas en cuestión.

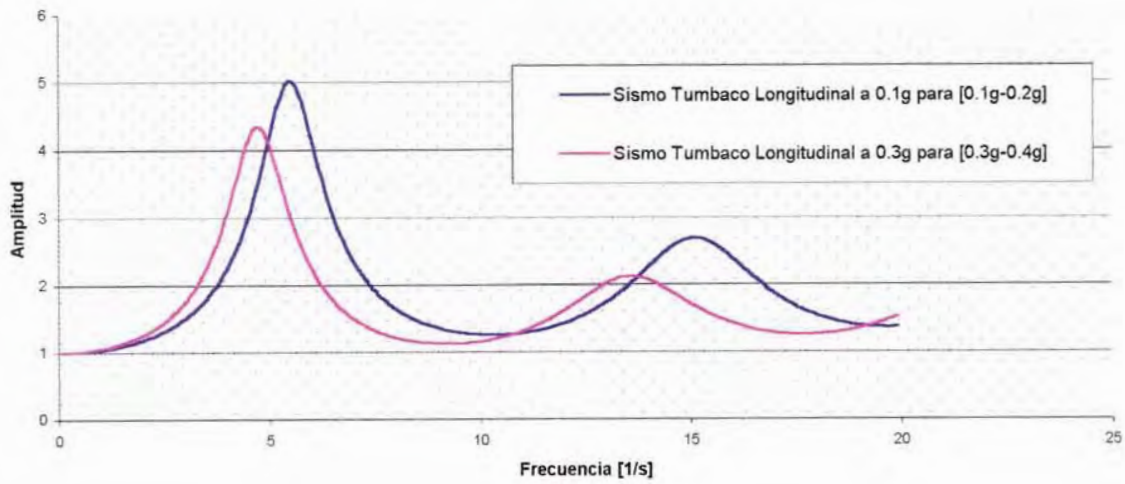
En la siguiente tabla se presenta los sismos que escalados al valor tabulado, presentan las funciones de transferencia más representativas de la columna de suelo de la zona indicada, para aceleraciones entre 0.1g-0.2g y 0.3-0.4g.

Tabla # 2

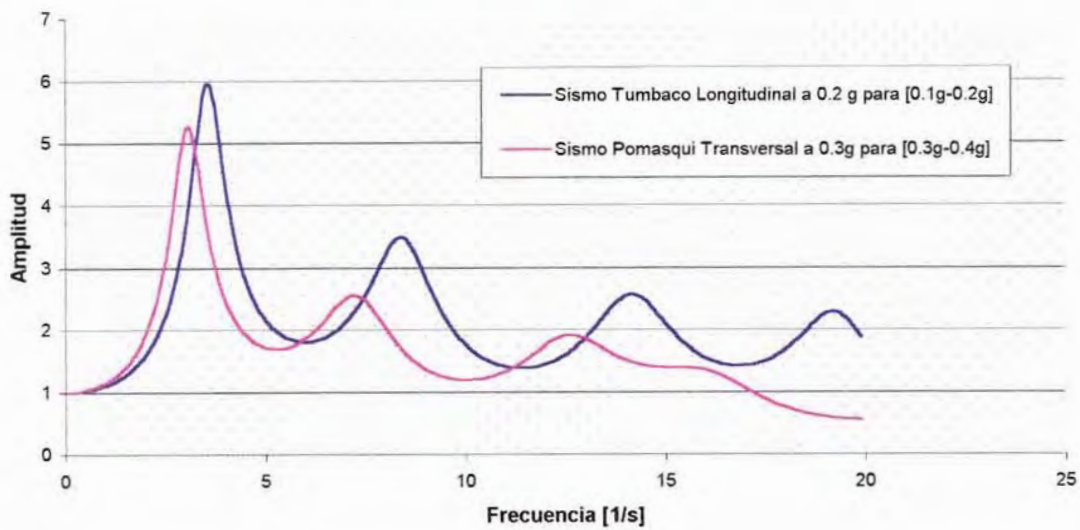
| | 0.1G - 0.2G | 0.3G - 0.4G |
|------------|---------------------------|----------------------------|
| F1 | Tumbaco Longitudinal 0.1g | Tumbaco Longitudinal 0.3g |
| F2 | Tumbaco Longitudinal 0.2g | Pomasqui Transversal 0.3g |
| F3 | Local 0.1g | Marzo Longitudinal 0.3g |
| F4 | Tumbaco Transversal 0.1g | Marzo Longitudinal 0.4g |
| F5 | Subducción 0.2g | Pomasqui Longitudinal 0.3g |
| F6 | Pomasqui Transversal 0.1g | Tumbaco Longitudinal 0.3g |
| F7 | Marzo Longitudinal 0.2g | Marzo Transversal 0.4g |
| L1 | Marzo Transversal 0.2g | Subducción 0.4g |
| L2 | Marzo Transversal 0.2g | Pomasqui Longitudinal 0.4g |
| L3 | Marzo Transversal 0.2g | Pomasqui Longitudinal 0.4g |
| L4 | Pomasqui Transversal 0.1g | Inducción 0.3g |
| L5 | Pomasqui Transversal 0.1g | Tumbaco Transversal 0.3g |
| Q1 | Marzo Transversal 0.2g | Pomasqui Transversal 0.3g |
| Q2n | Tumbaco Transversal 0.1g | Pomasqui Longitudinal 0.3g |
| Q2s | Pomasqui Transversal 0.1g | Inland 0.4g |
| Q3 | Pomasqui Transversal 0.1g | Tumbaco Transversal 0.4g |
| Q4 | Tumbaco Longitudinal 0.1g | Tumbaco Longitudinal 0.3g |
| Q5 | Marzo Transversal 0.2g | Local 0.3g |

A continuación se grafican las anteriores funciones de transferencia (módulo), representando a cada zona 2 funciones de transferencia, de acuerdo a la aceleración máxima esperada.

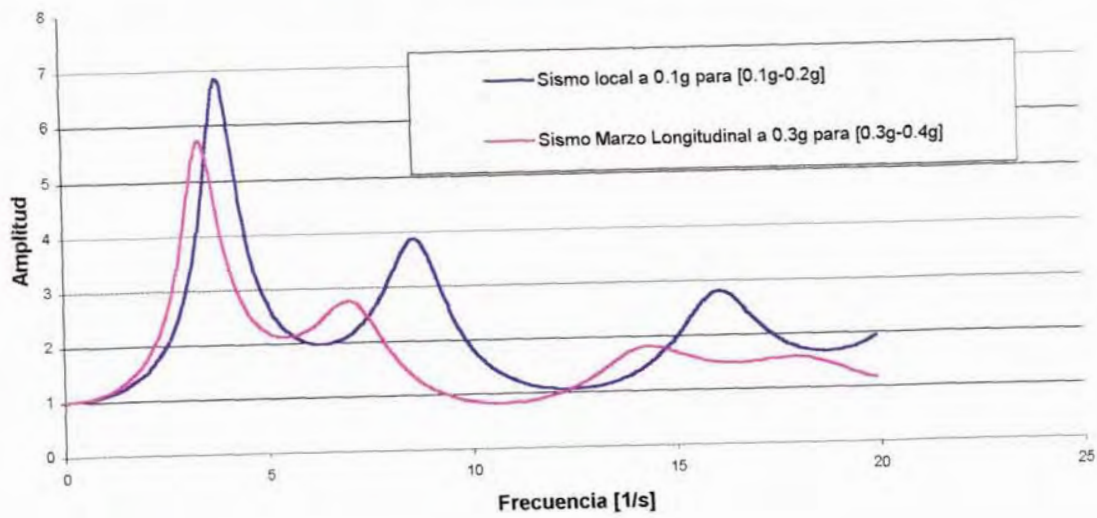
Funciones de Transferencia para la zona F1



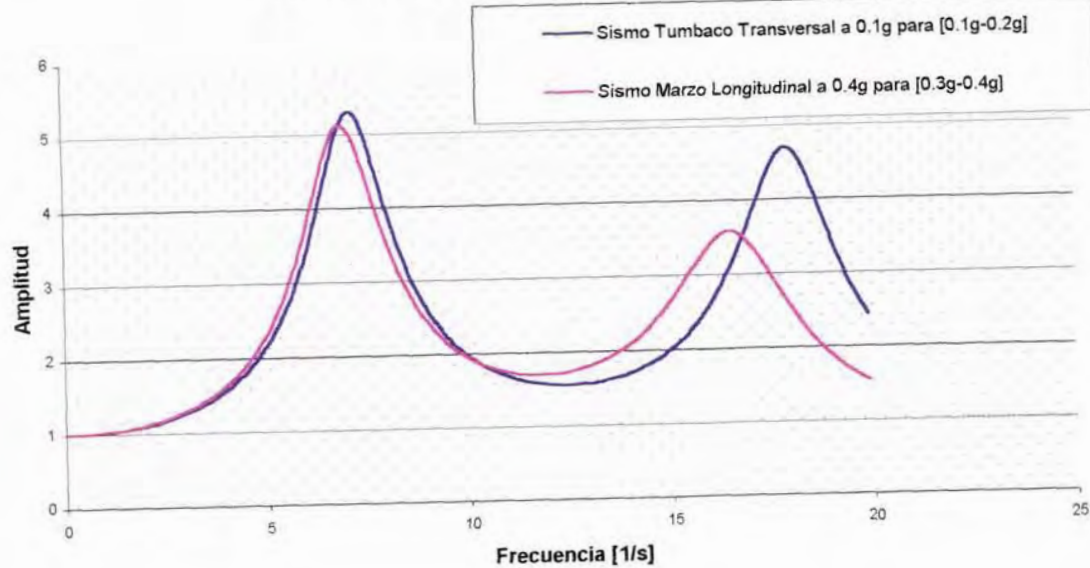
Funciones de Transferencia para la zona F2



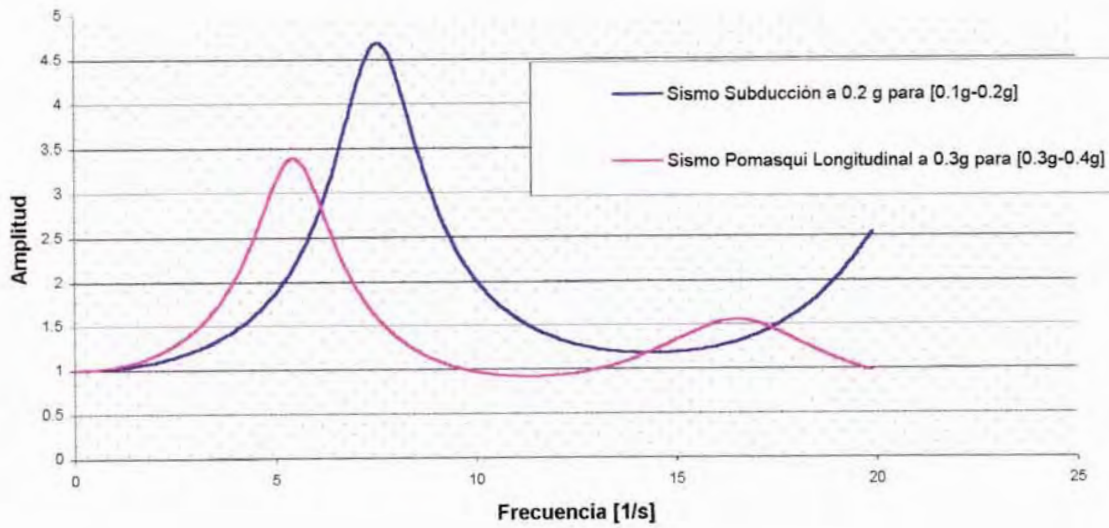
Funciones de Transferencia para la zona F3



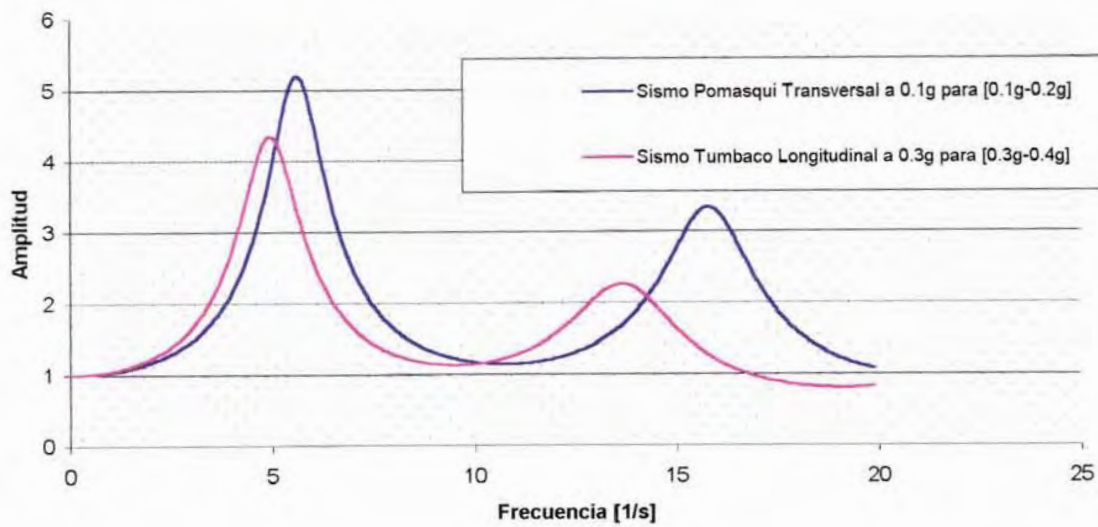
Funciones de Transferencia para la zona F4



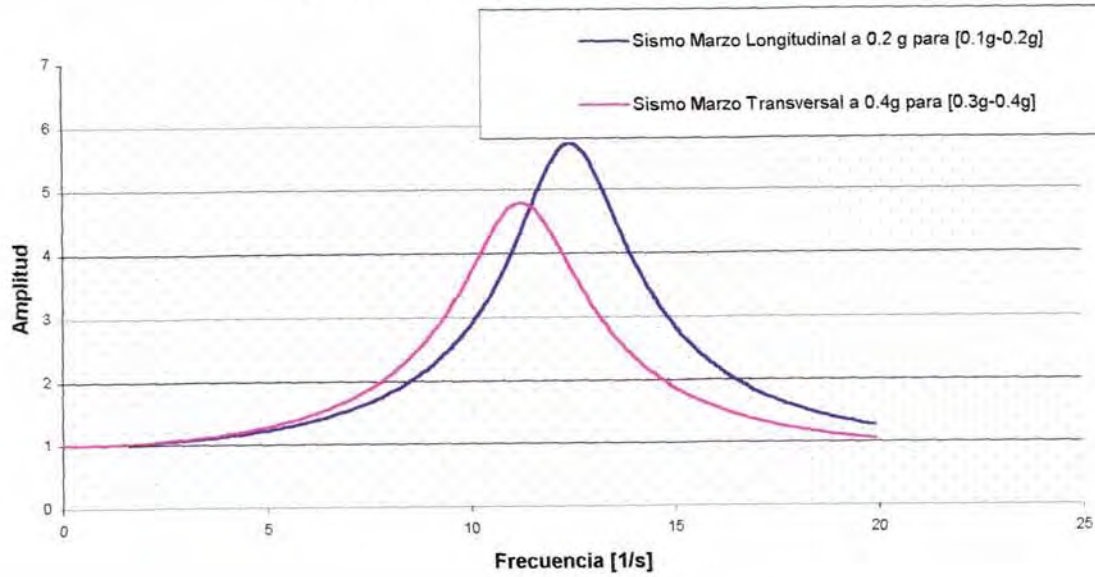
Funciones de Transferencia para la zona F5



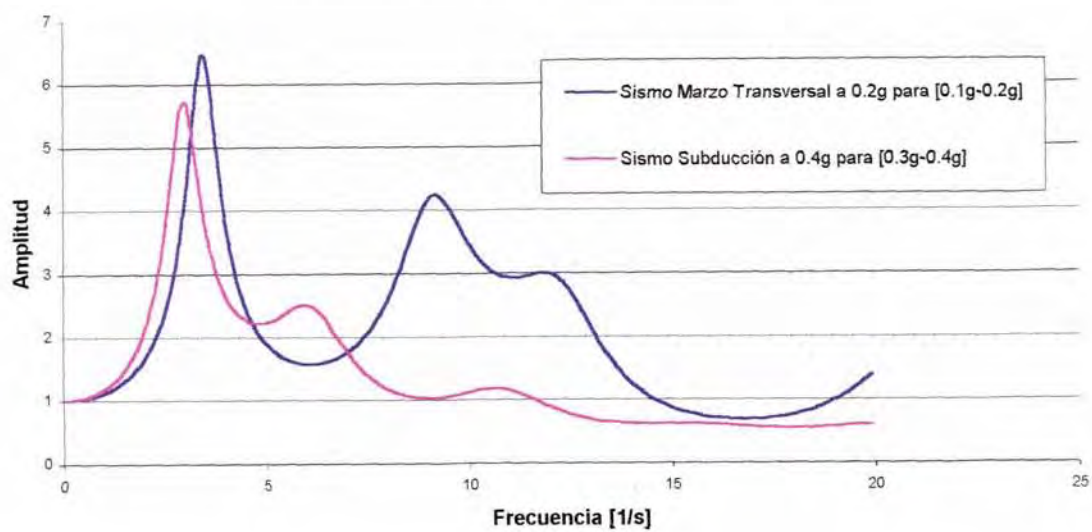
Funciones de Transferencia para la zona F6



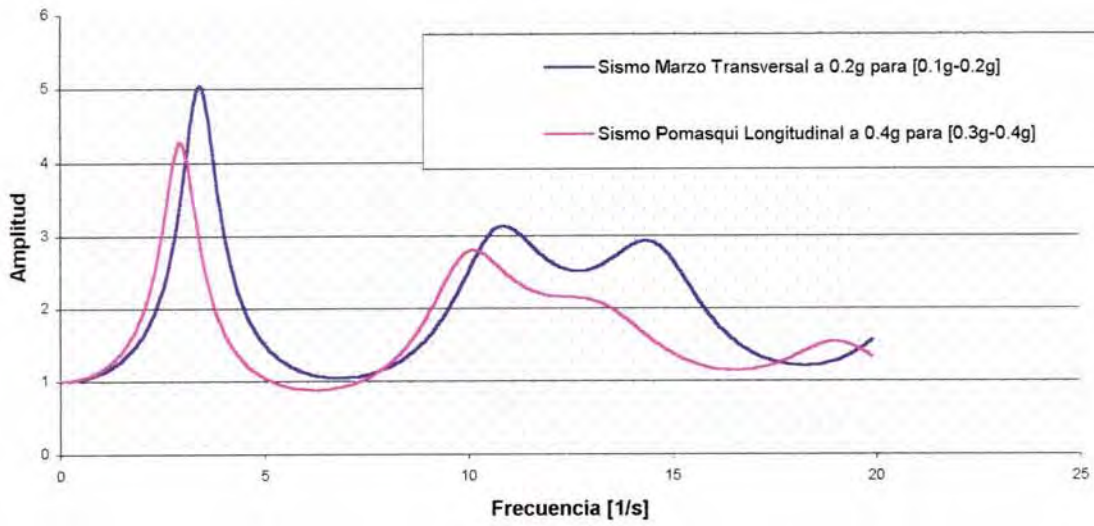
Funciones de Transferencia para la zona F7



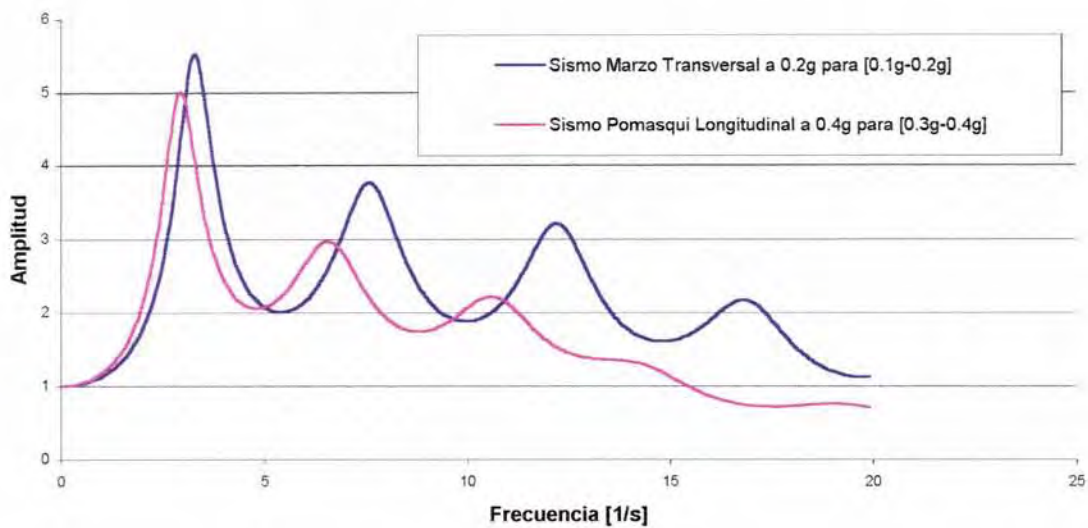
Funciones de Transferencia para la zona L1



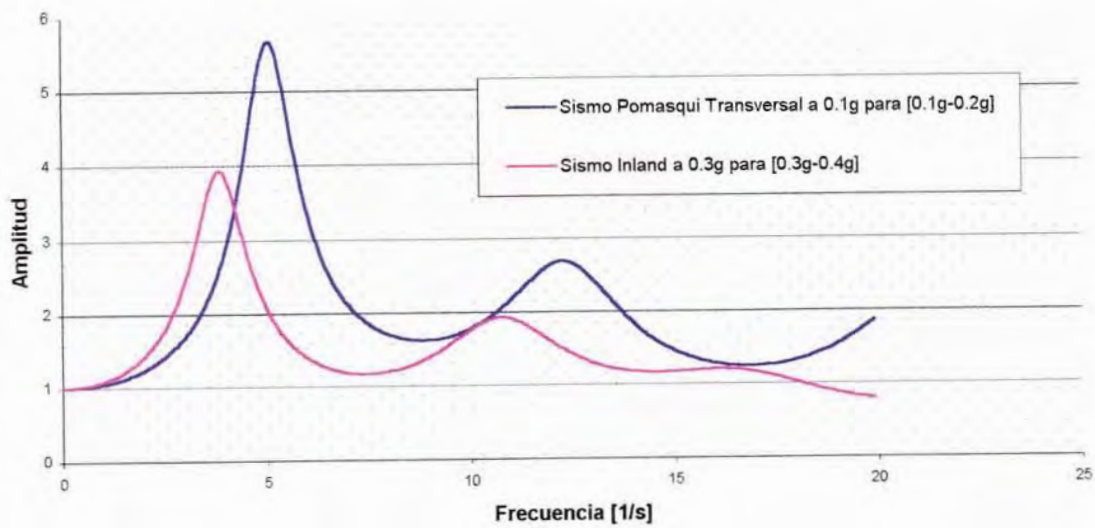
Funciones de Transferencia para la zona L2



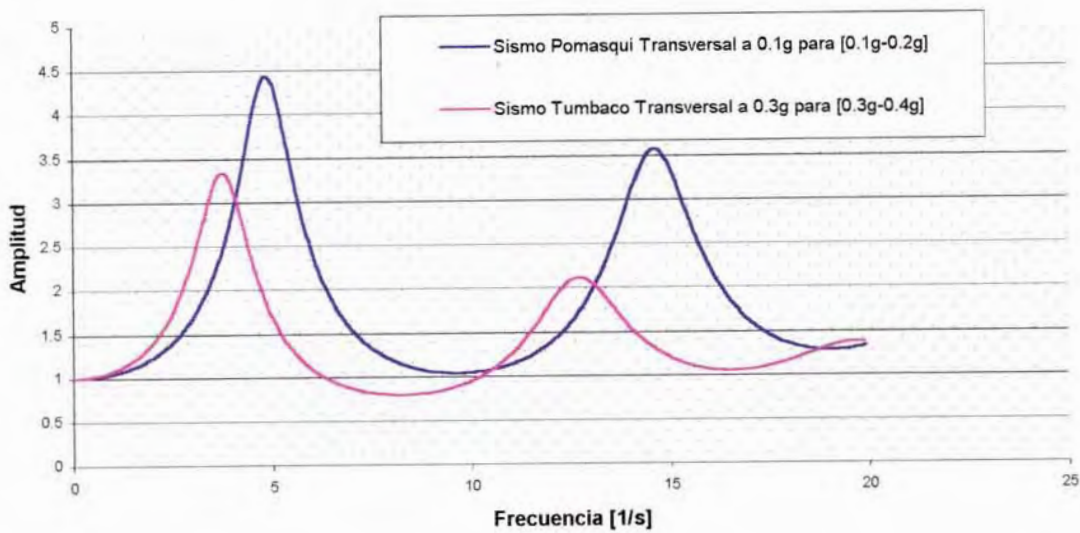
Funciones de Transferencia para la zona L3



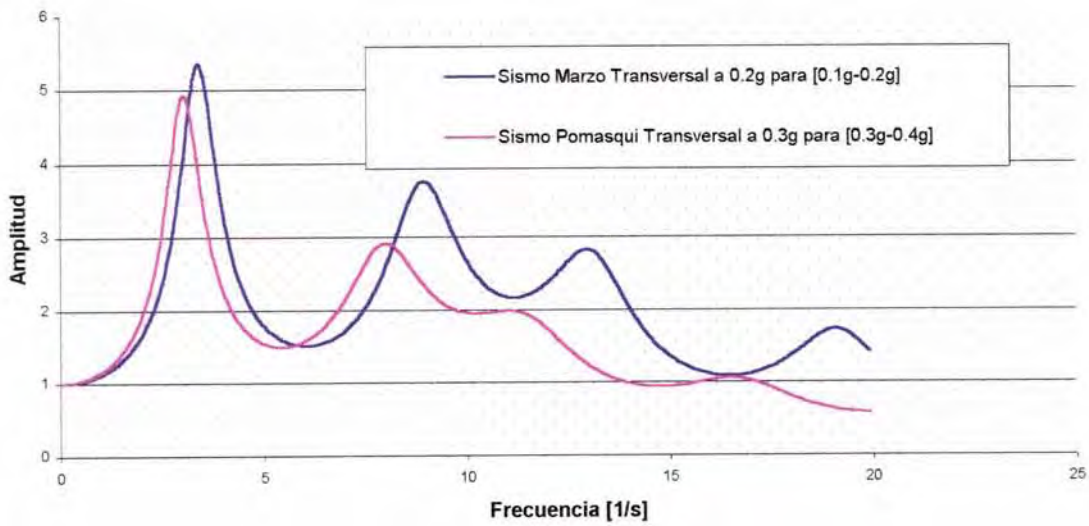
Funciones de Transferencia para la zona L4



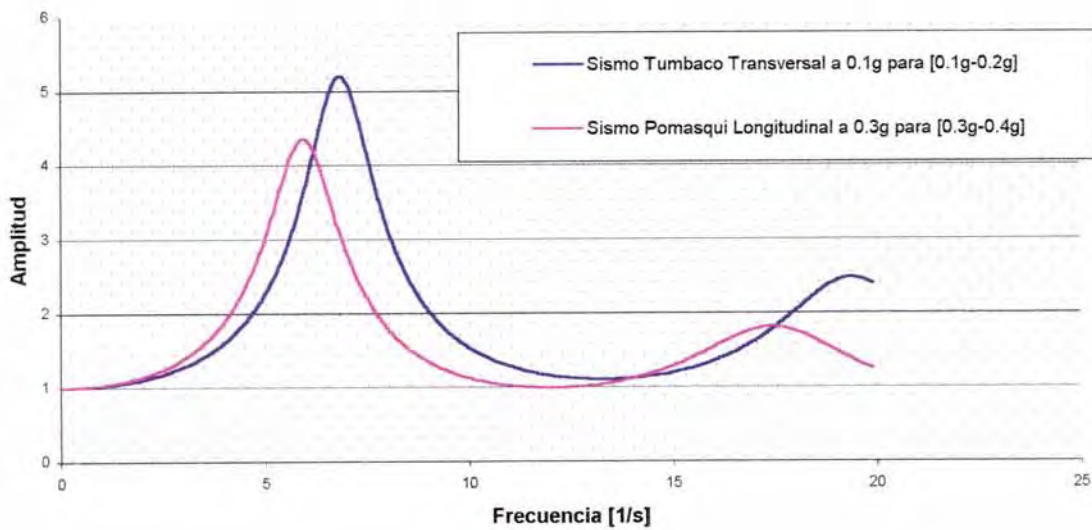
Funciones de Transferencia para la zona L5



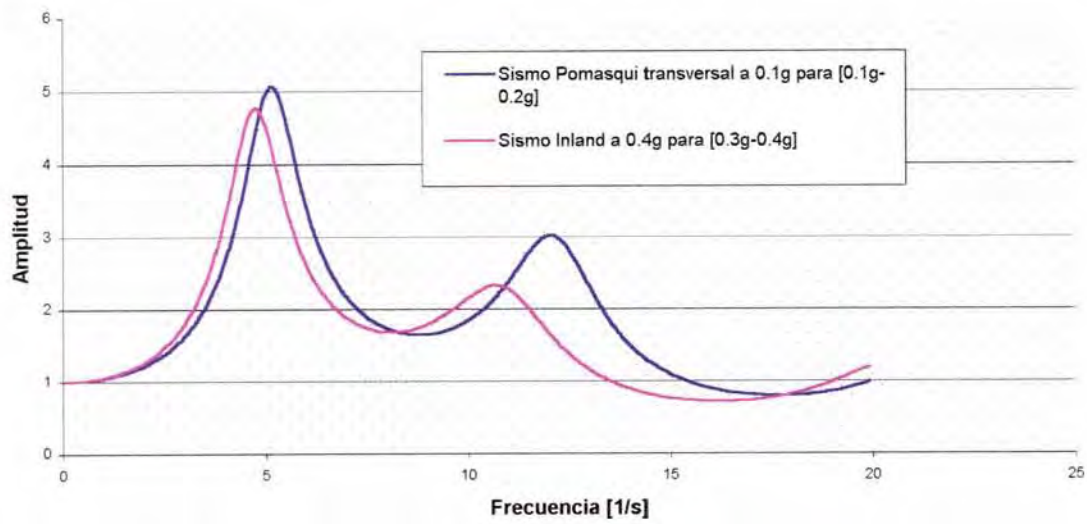
Funciones de Transferencia para la zona Q1



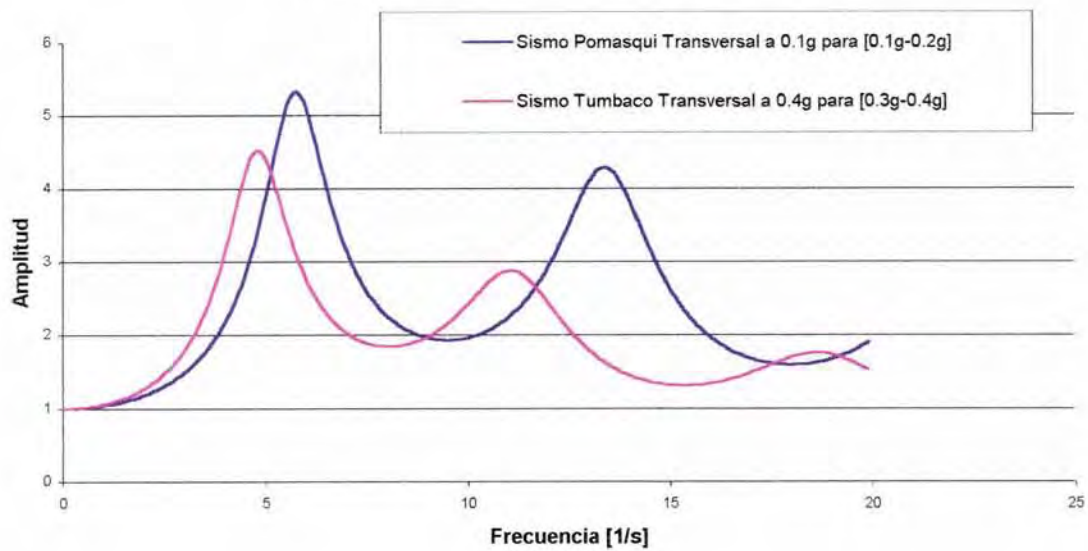
Funciones de Transferencia para la zona Q2n



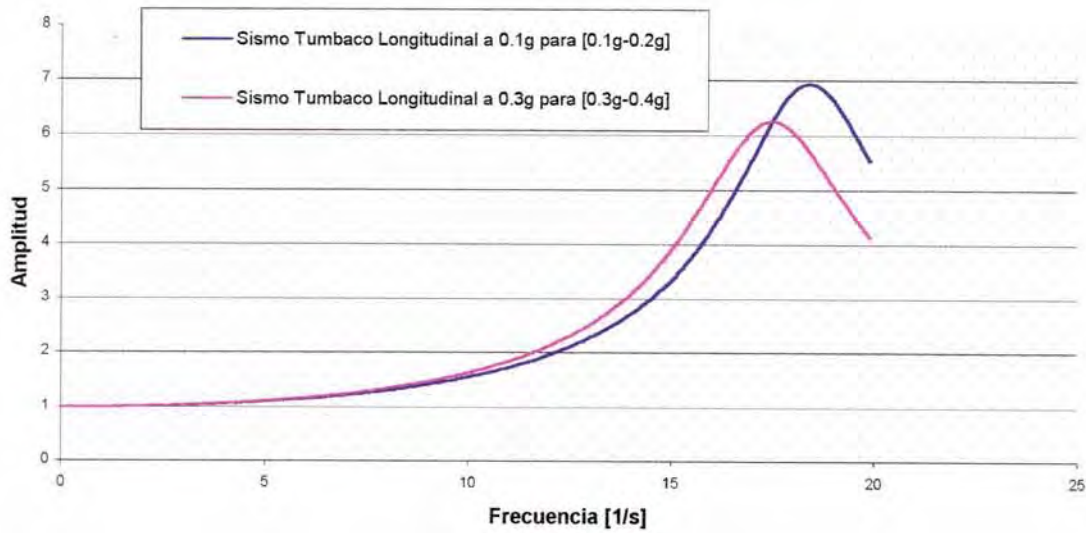
Funciones de Transferencia para la zona Q2s



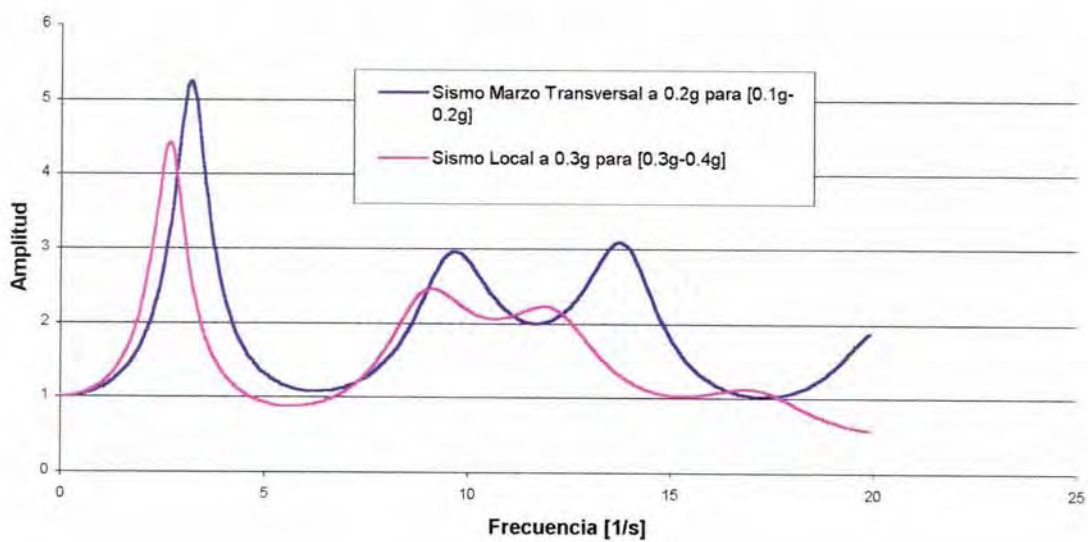
Funciones de Transferencia para la zona Q3



Funciones de Transferencia para la zona Q4



Funciones de Transferencia para la zona Q5



3.4 DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA

3.4.1 ESPECTROS DE RESPUESTA

El espectro de respuesta es una herramienta de gran uso en la Ingeniería Sísmica. Los espectros de respuesta en aceleración se han convertido en los espectros de mayor empleo en la ingeniería civil, debido a que la fuerza involucra tanto a la masa como a la aceleración, la rigidez del sistema vibratorio y el amortiguamiento.

Se definen los espectros de respuesta en desplazamientos, velocidad y aceleraciones para una aceleración $A(t)$ dada, como el valor máximo absoluto de la respuesta de un sistema de un grado de libertad, expresada en función del período de vibración T , para una factor de amortiguamiento con respecto al crítico ε dado. El espectro de respuesta se generaliza a un conjunto de valores máximos absolutos para diferentes períodos de vibración a un amortiguamiento previamente definido, provocado por un mismo acelerograma $A(\tau)$.

$$Sd = |X(t)|_{\text{máx.}} = \left| -\frac{1}{w_\varepsilon} \int_0^t A(\tau) e^{-\varepsilon w(t-\tau)} \text{Sen}(w_\varepsilon(t-\tau)) d\tau \right|_{\text{máx.}}$$

$$Sv = |X'(t)|_{\text{máx.}} = \left| -\int_0^t A(\tau) e^{-\varepsilon w(t-\tau)} \text{Cos}(w_\varepsilon(t-\tau)) d\tau + \varepsilon w X(t) \right|_{\text{máx.}}$$

$$Sa = |X''(t) + A(t)|_{\text{máx.}} = \left| w_\varepsilon \int_0^t A(\tau) e^{-\varepsilon w(t-\tau)} \text{Sen}(w_\varepsilon(t-\tau)) d\tau - 2\varepsilon w X'(t) - (\varepsilon w)^2 X(t) \right|_{\text{máx.}}$$

En los espectros de respuesta, la aceleración máxima del registro sobre roca es igual a la aceleración máxima de registro en superficie, cuando el período de vibración del sistema T es muy pequeño ($T \rightarrow 0$), es decir la velocidad angular W es muy grande ($W \rightarrow \infty$). Como el espectro de respuesta depende de la

aceleración $A(t)$, se tiene que para diferentes aceleraciones se obtendrán diferentes espectros de respuesta y diferentes aceleraciones máximas.

Para efectos de comparación se ha decidido normalizar los espectros de respuesta en sus aceleraciones máximas, es decir se divide todos los valores que conforman cada espectro de respuesta para su respectiva aceleración máxima, el resultado de esta operación se llama "Espectro de respuesta normalizada". La importancia de los espectros de respuesta en aceleración dentro del campo de la Ingeniería Sísmica está en la determinación de los máximos valores de aceleración que la señal puede introducir a la masa, es decir las fuerzas inerciales que implica el suceso de un sismo para una estructura. Otro factor de gran importancia del espectro de respuesta, es la idea de la amplificación de los valores de aceleración en un determinado contenido frecuencial de la señal. ⁽¹⁴⁾,

Por el análisis de algunos espectros de respuesta es posible advertir la influencia del subsuelo en la respuesta dinámica, por lo que se hace necesario el estudio del comportamiento dinámico del suelo sobre la roca.

3.4.2 OBTENCIÓN DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA

3.4.2.1 Espectros de respuesta

Con la modelación matemática de las columnas de suelo representativas de cada zona de Quito y la posterior ejecución del programa SHAKE91, se obtienen los espectros de respuesta en aceleraciones de las diferentes columnas de suelo para los 9 sismos base escalados a una aceleración máxima de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 factores de la gravedad. Obtenidos éstos se procedió a normalizarlos. Las curvas del espectro de respuesta obtenidas para cada zona de la ciudad y graficadas en función del período $T(s)$, son presentadas en el ANEXO B del presente estudio, ya normalizadas.

Se realizó un proceso similar al de las funciones de transferencia, es decir, se agrupó los espectros de respuesta con aceleraciones de 0.1-0.2 g y 0.3-0.4 g para cada zona del Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito. Luego de agruparlos se obtuvo una curva promediada representativa para

cada grupo. A diferencia de los gráficos de las funciones de transferencia, la diferencia existente entre los espectros de respuesta de 0.1-0.2g y 0.3-0.4g es pequeña y en algunos casos no apreciable, por lo que se decidió elaborar una sola curva envolvente a los promedios de los dos grupos. Esta envolvente está graficada juntamente con el espectro de diseño de cada zona de la ciudad, que se presenta a continuación.

3.4.2.2 Espectros de Diseño

El espectro de diseño es una envolvente de valores máximos absolutos a partir de ciertas dispersiones que toman en cuenta las condiciones sismotectónicas regionales, caracterizadas por una aceleración máxima esperada en el sitio y las condiciones locales de respuesta del subsuelo. Por tratarse de una envolvente el resultado corresponde a curvas suavizadas en lugar de la típica forma dentada de los espectros de respuesta. ⁽¹⁴⁾

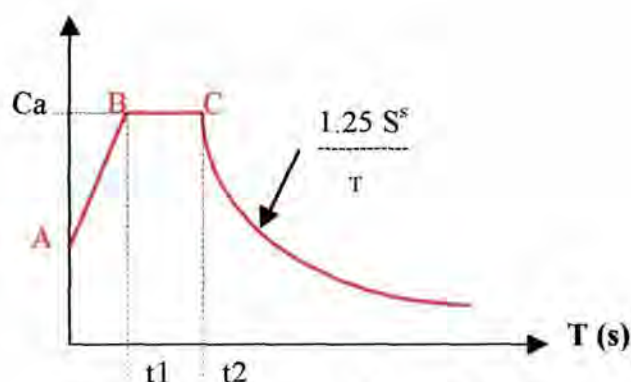


Gráfico obtenido del CEC-2000 ⁽¹⁷⁾

El espectro de diseño de cada una de las zonas definidas en la zonificación de Quito, es obtenido a través de la generación de curvas suavizadas con ecuaciones matemáticas conocidas, bajo las cuales se incluyen los valores máximos de aceleración que representan las curvas promediadas de 0.1-0.2g y 0.3-0.4g de los espectros de respuesta. Es así como se definen 3 tramos en el espectro de diseño, una línea ascendente que parte de 1 a un período $T=0$ seg, punto A. Y se dirige a un punto B, que representa el pico máximo promediado de los dos grupos (0.1-0.2g y 0.3-0.4g). La línea AB ascendente debe incluir todos

los valores de los espectros de respuesta de los dos grupos del tramo que representa.

Un segundo tramo es necesario en la conformación del espectro de diseño, una plataforma representada en la línea BC, bajo la cual se incluyen los valores máximos de aceleración de los espectros de respuesta obtenidos. La tercera fase del espectro de respuesta está conformada por una curva cuya ecuación matemática obtenida del CEC-2000 ⁽¹⁷⁾ es $1.25 \cdot S^5 / T$, donde T es el período y S es un factor impuesto que se ajusta de acuerdo a la forma requerida en el espectro de diseño.

Tanto la pendiente de la recta AB, la longitud de la rectas AB y la plataforma BC y el factor S de la curva, son ajustados de tal manera que representen de mejor manera a la envolvente de los espectros de respuesta de los sismos base a diferentes escalamientos de la aceleración máxima. La idea de los espectros de diseño realizados es poder obtener ecuaciones matemáticas para la generación de dichos espectros y una posterior comparación con los espectros de diseño de los suelos definidos en el Código CEC-2000. Por tal razón las ecuaciones matemáticas del espectro de diseño que se han conformado contienen una similitud en forma con los espectros de diseño de los perfiles de suelo.

El Código Ecuatoriano de la Construcción 2000, en su Capítulo 1 "Peligro Sísmico, Espectros de Diseño y Requisitos de Cálculo para el Diseño Sismo-resistente" presenta una clasificación geotectónica del sitio de acuerdo a las propiedades mecánicas de los suelos, espesores de los estratos, resistencia al corte y la velocidad de las ondas de corte, correlacionado con el N del SPT (Ensayo de Penetración Estándar). ⁽¹⁷⁾ Los cuatro tipos de suelo que se definen en el CEC-2000 son:

Suelo tipo S1, roca o suelo firme, corresponden a éste grupo las rocas y suelos endurecidos con velocidades de ondas de corte superiores a 750m/s, gravas arenosas, limosas o arcillosas densas y secas, suelos cohesivos de alta resistencia al corte y espesores menores a 20m, arenas densas, suelos y

depósitos de origen volcánico firmemente cementados, tobas y conglomerados con un número de golpes del SPT: $N > 50$. El suelo tipo S3, suelos blandos o estratos profundos de gran espesor en los que el período fundamental de vibración es mayor a 0.6s. El suelo tipo S2, tiene características intermedias los perfiles de suelo S1 y S3. El perfil tipo S4, incluye suelos de alto potencial de licuación, turbas, lodos, suelos orgánicos, arenas y limos de alta plasticidad de gran espesor. ⁽¹⁷⁾ A continuación es posible observar las formas espectrales de diseño de los tipos de perfiles de suelo anteriormente descritos.

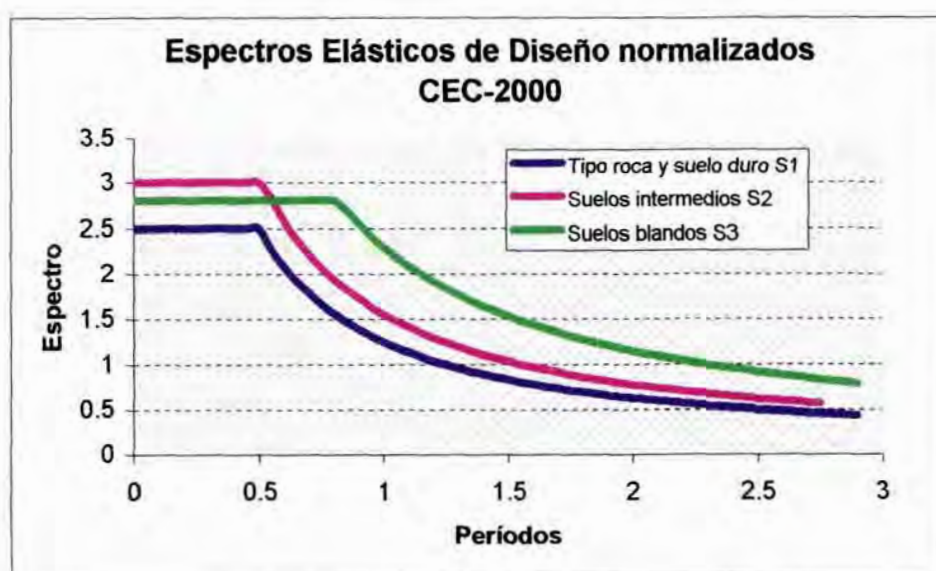
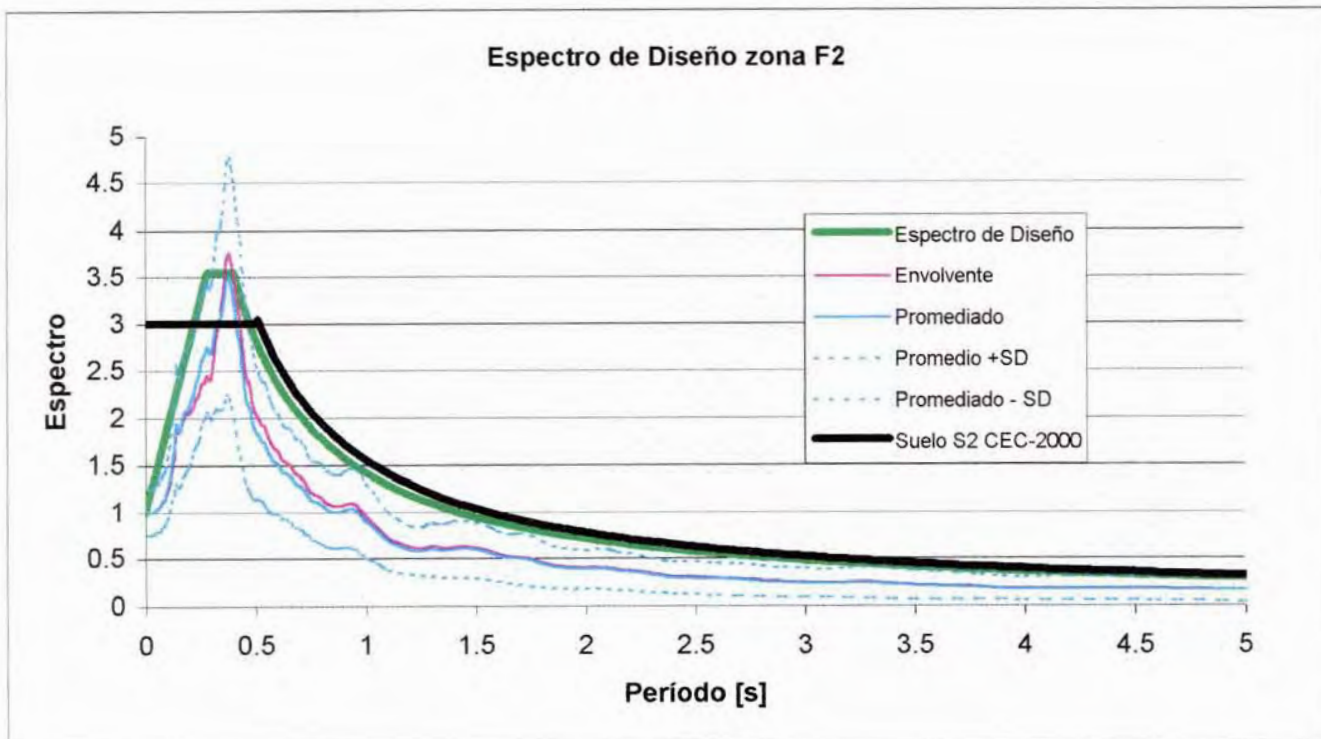
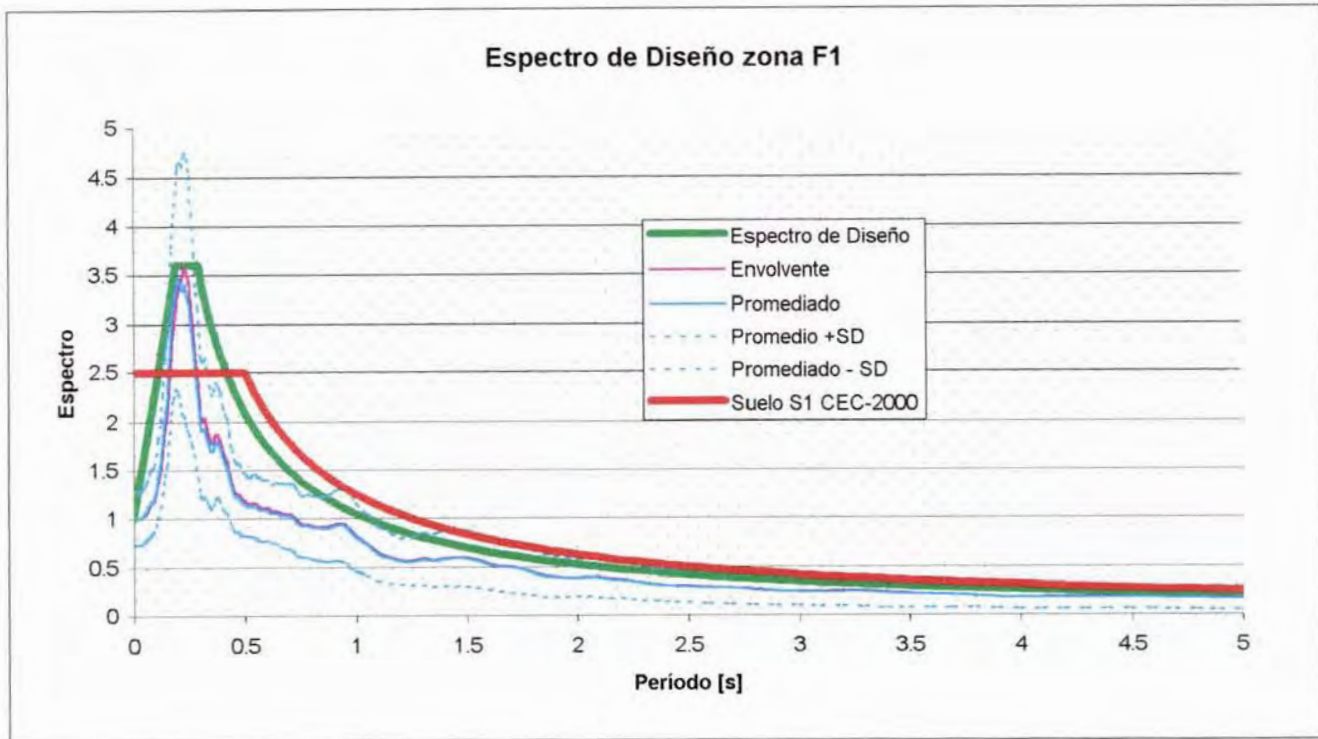


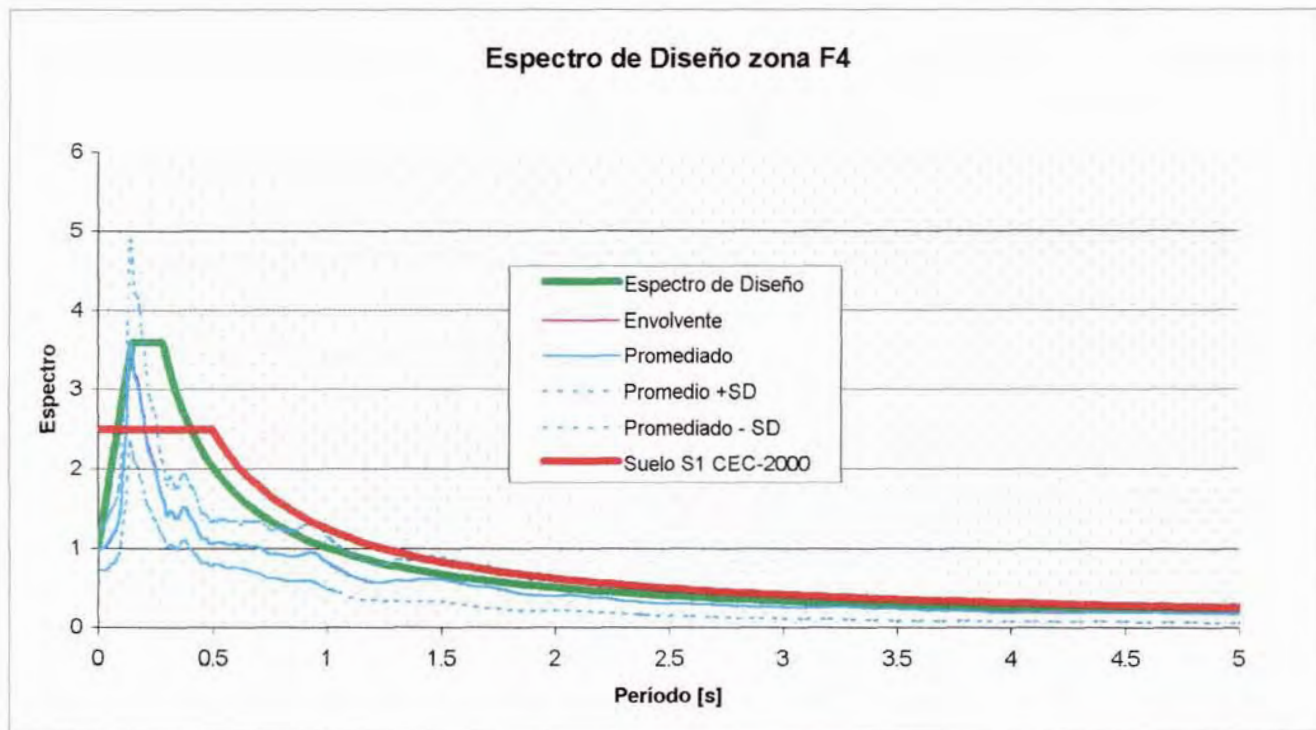
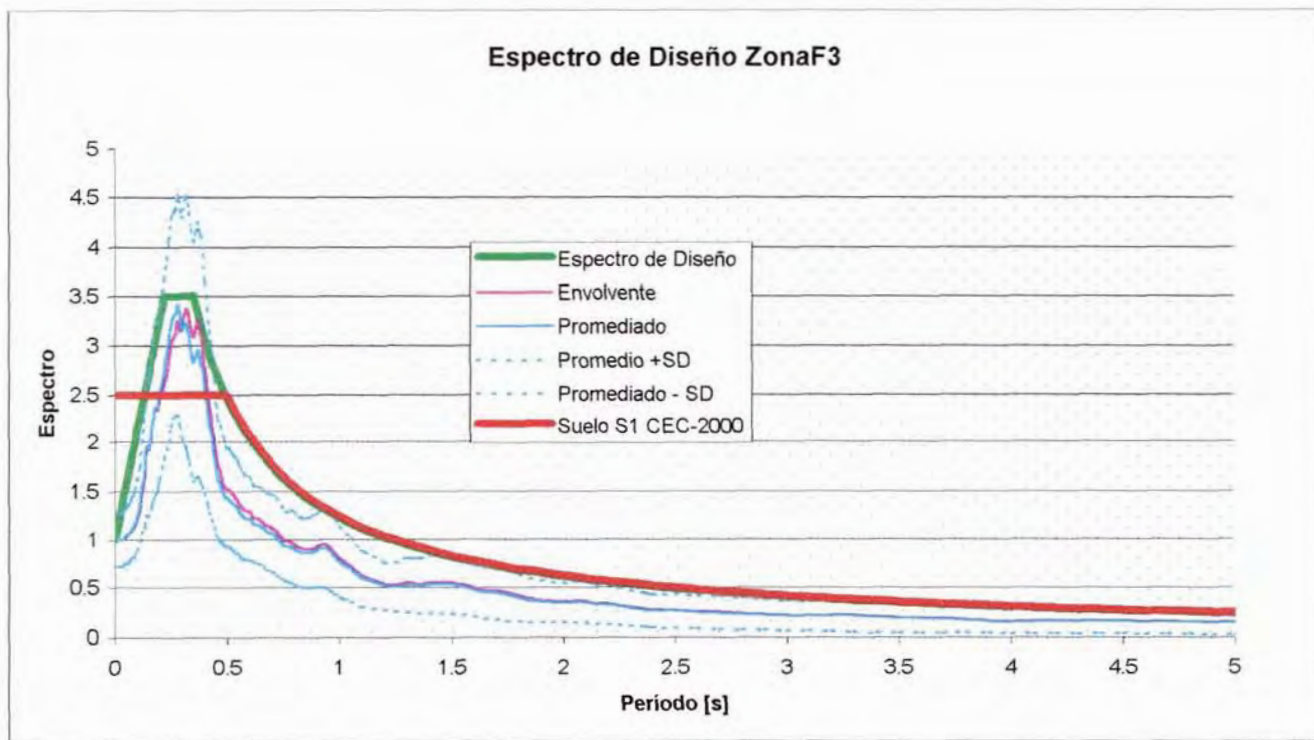
Gráfico adaptado del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000 ⁽¹⁷⁾

Es posible entonces realizar una comparación entre los espectros de diseño elaborados en el presente estudio para las diferentes zonas de la ciudad de Quito y los espectros de diseño especificados en el nuevo Código Ecuatoriano de las Construcción. Resultado de esta comparación se escogió el tipo de suelo definido en el CEC-2000 que tenga una mayor similitud, en forma y cobertura de aceleraciones máximas, que el espectro de diseño obtenido de la modelación matemática de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo de las diferentes zonas de la ciudad.

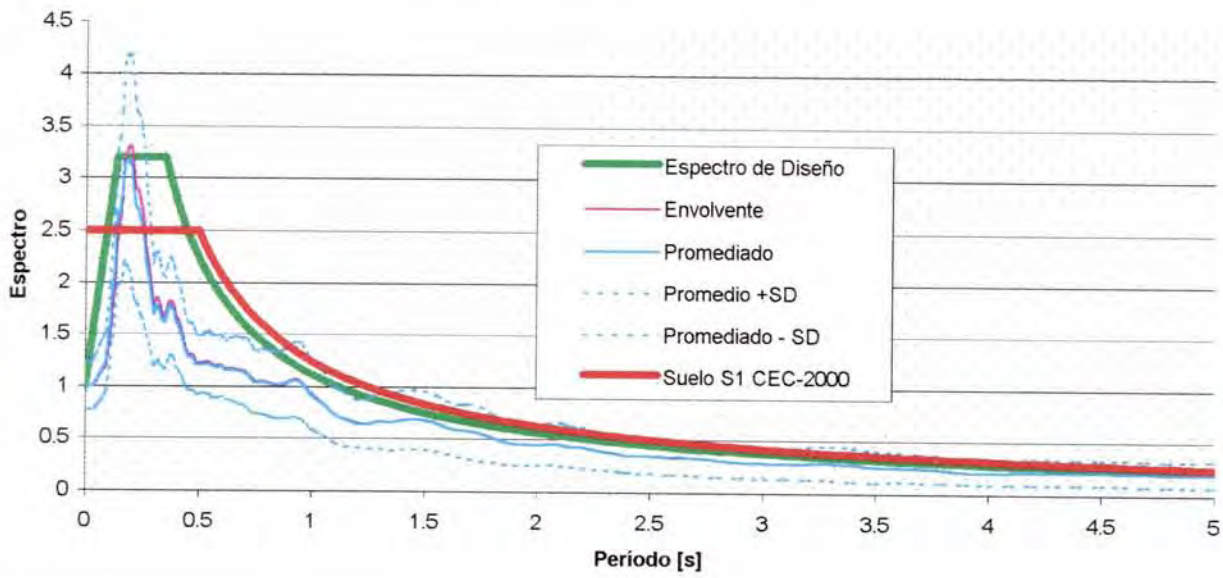
A continuación se presenta el espectro de respuesta **envolvente** de los valores de la respuesta a las aceleraciones escaladas de 0.1-0.2g y 0.3-0.4g,

también se presenta el **promedio** de la respuesta para todos los escalamientos de la aceleración 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4g (sin dividir en 2 grupos). Se realiza después un proceso estadístico en donde a la curva promediada se le suma y se le resta la desviación estándar **SD** producto del estudio estadístico de todos los valores obtenidos de todos los cálculos, se grafica también a continuación el **promedio + SD y promedio - SD**. El **espectro de diseño** obtenido mediante la construcción de curvas a partir de la envolvente de los valores de los espectros de respuesta es presentado a continuación conjuntamente con el espectro de diseño de los tipos de **suelos del CEC-2000** que corresponde a cada zona de la zonificación de la ciudad.

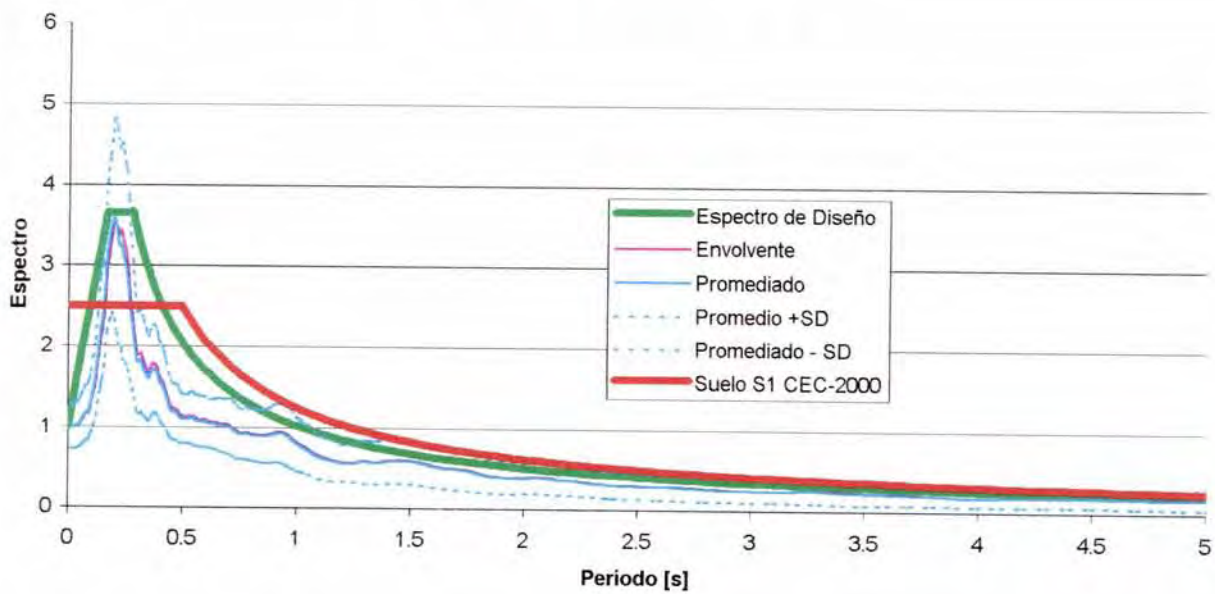




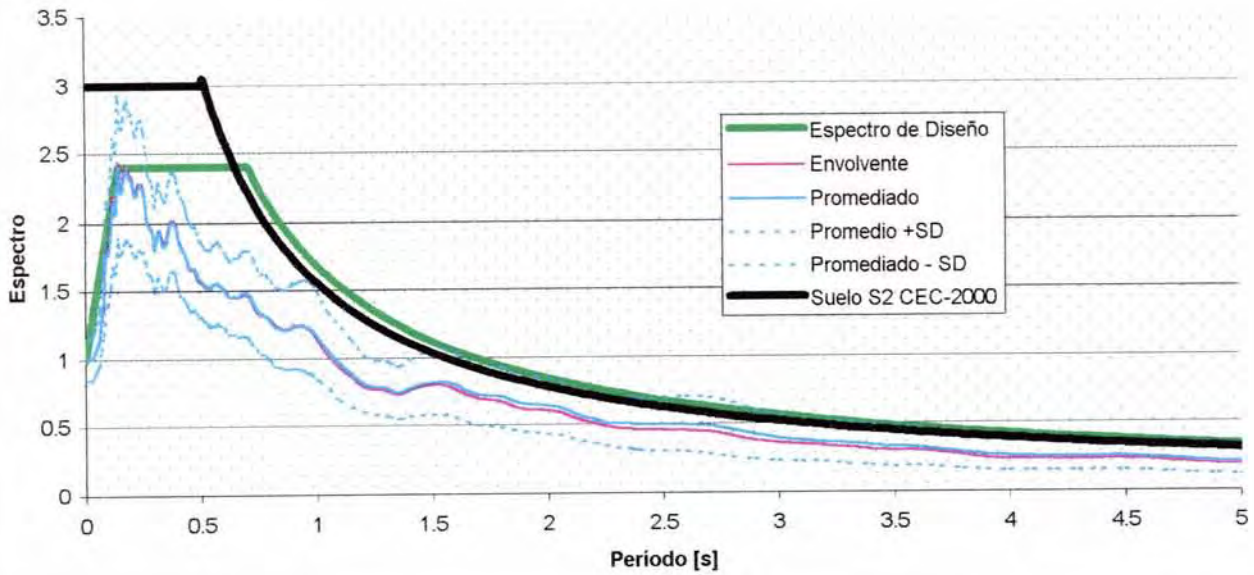
Espectro de Diseño zona F5



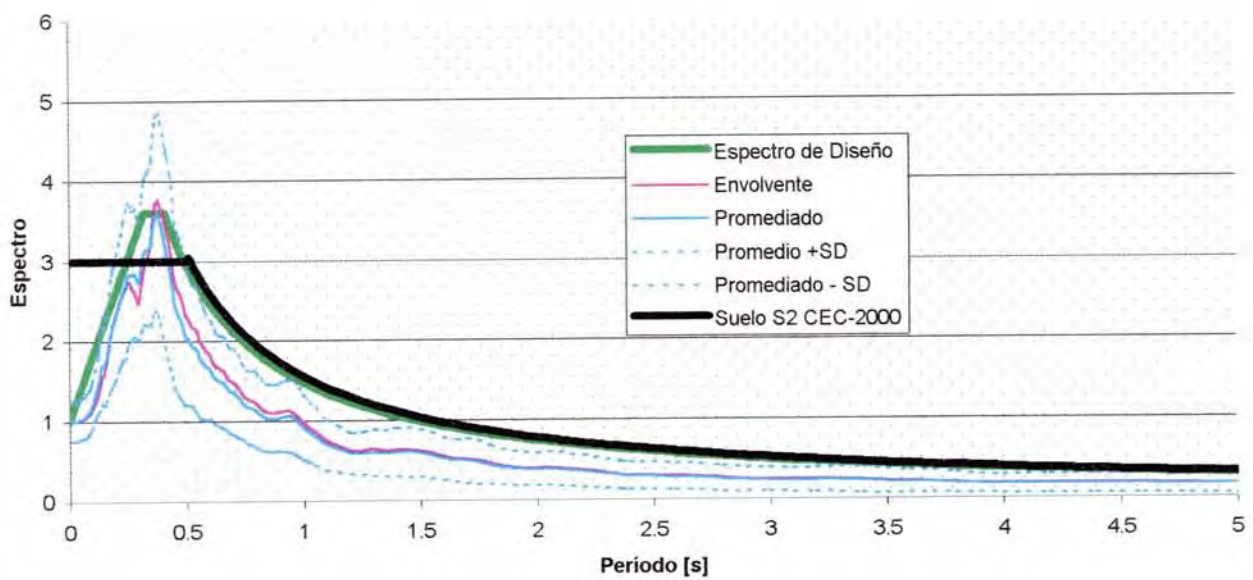
Espectro de Diseño zona F6



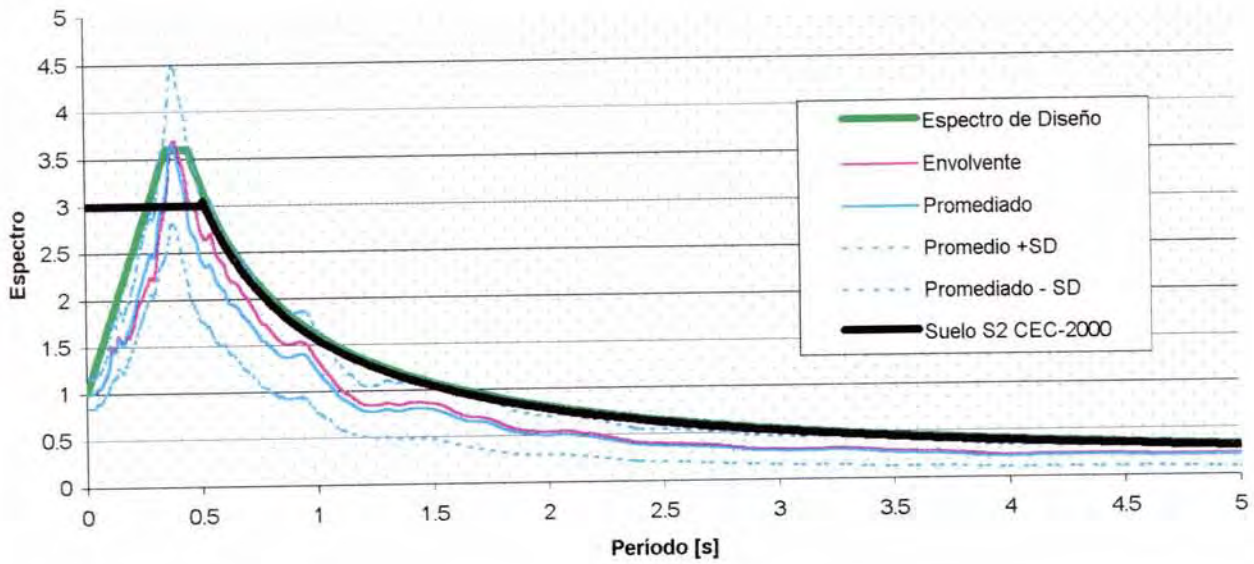
Espectro de Diseño zona F7



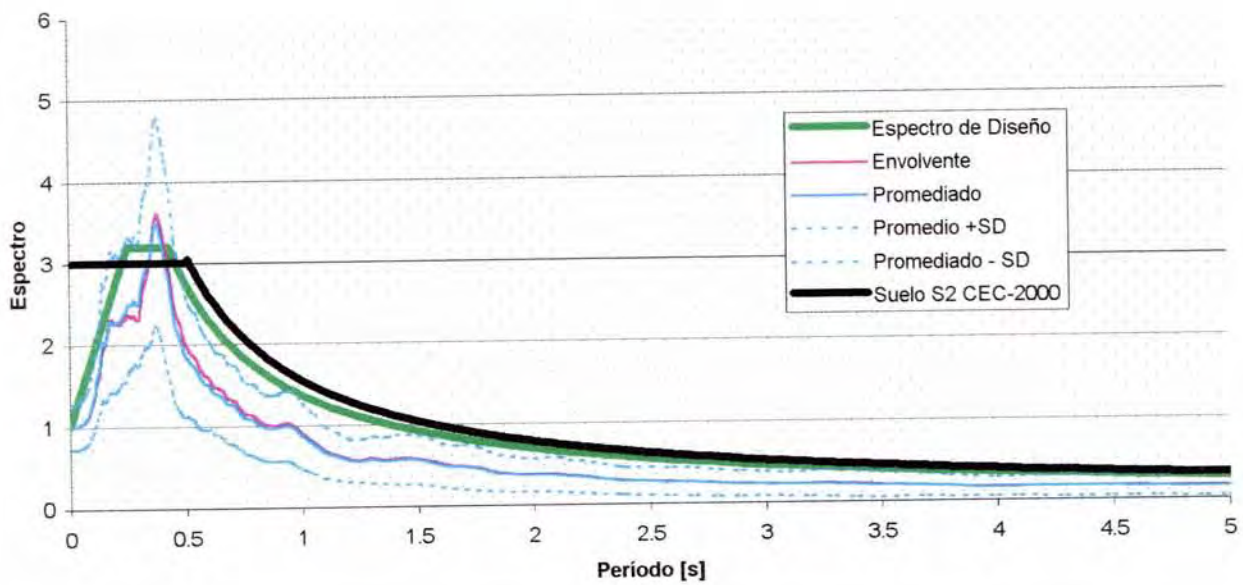
Espectro de Diseño zona L1



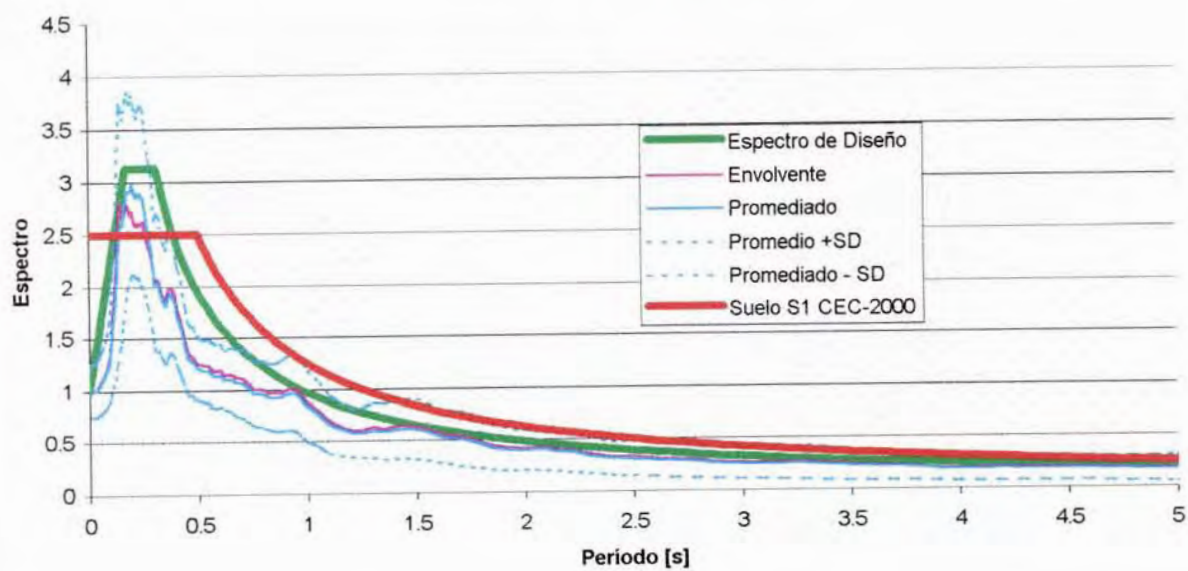
Espectro de Diseño zona L2



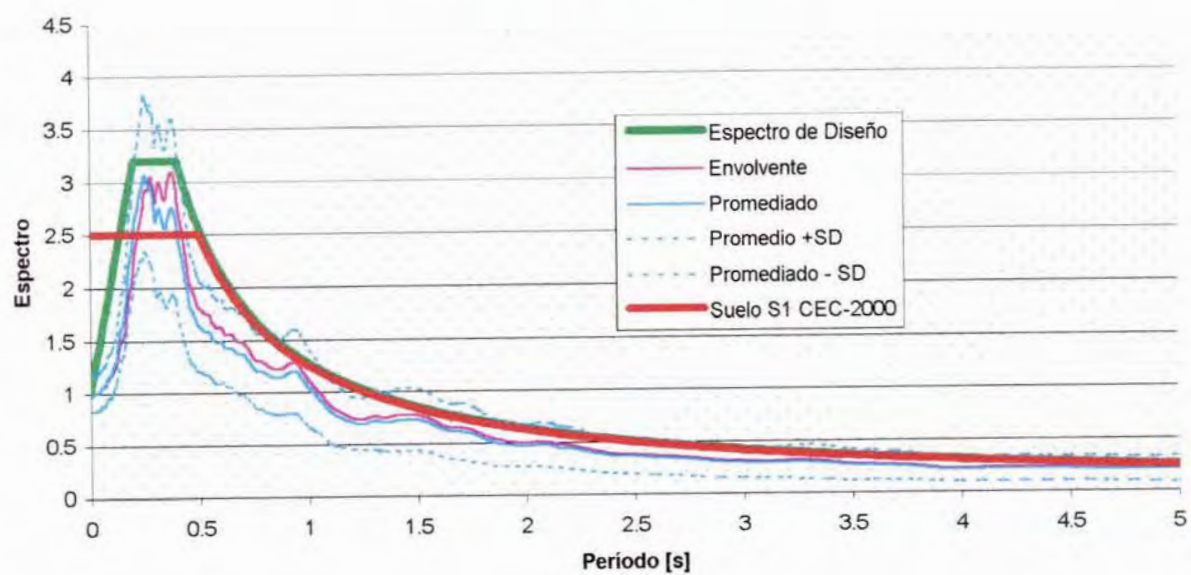
Espectro de Diseño zona L3



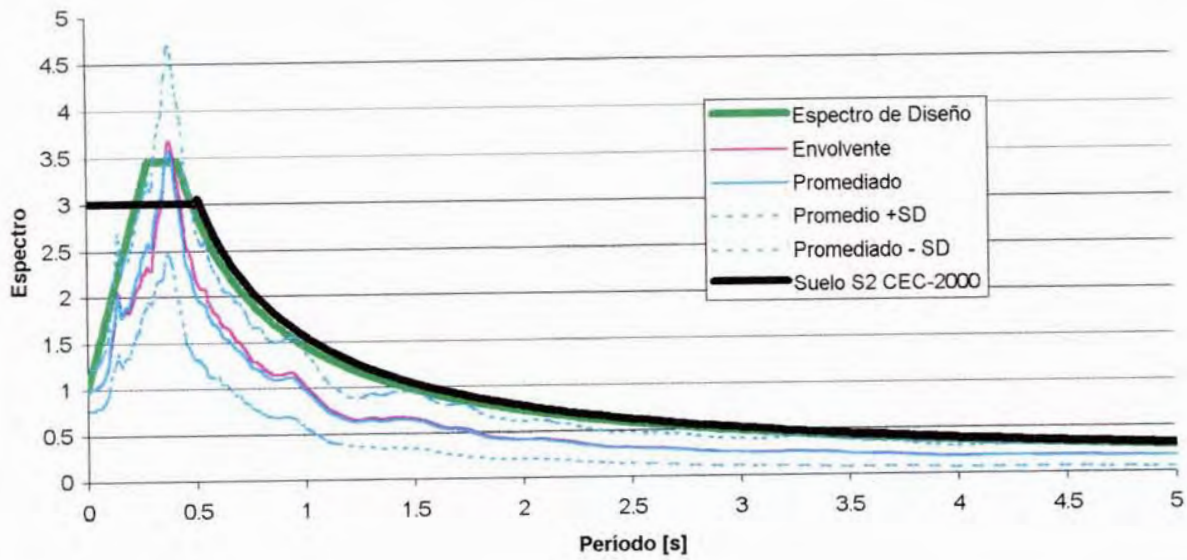
Espectro de Diseño zona L4



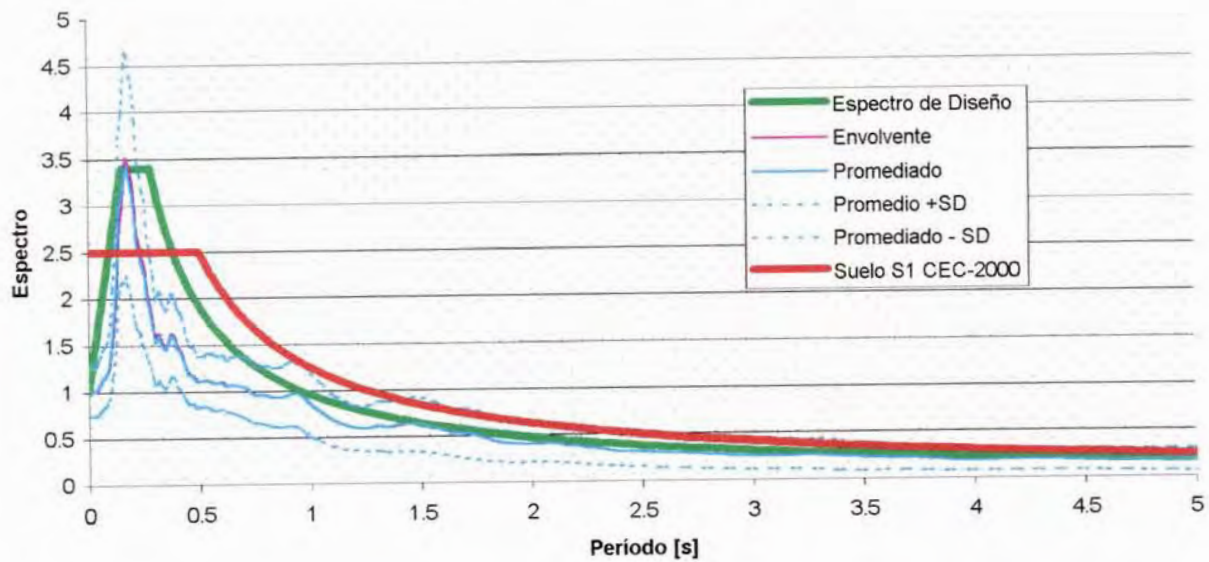
Espectro de Diseño zona L5



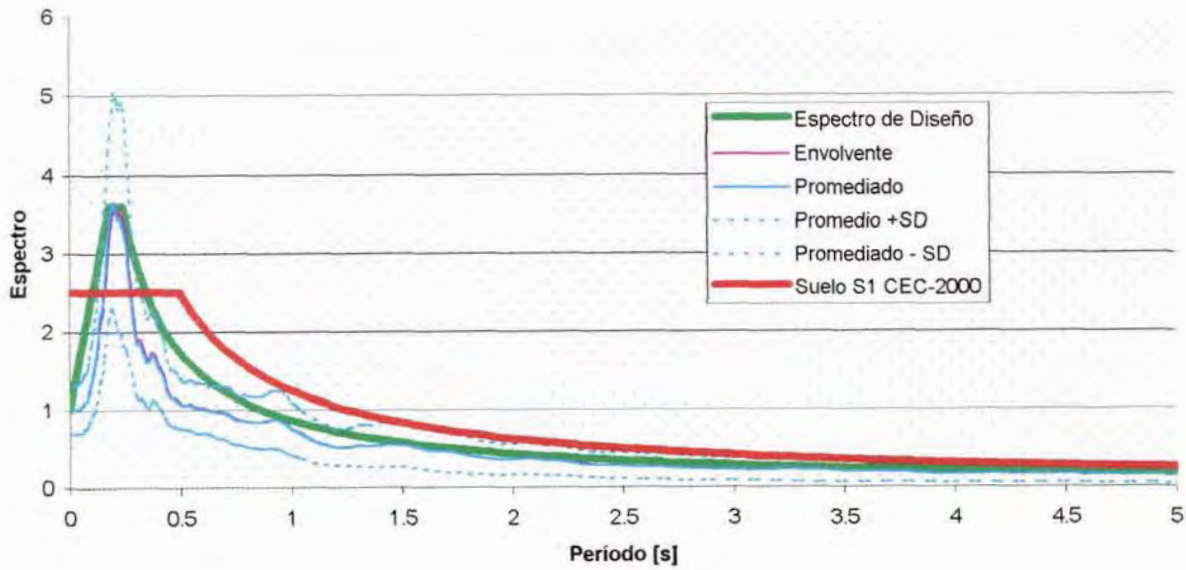
Espectro de Diseño zona Q1



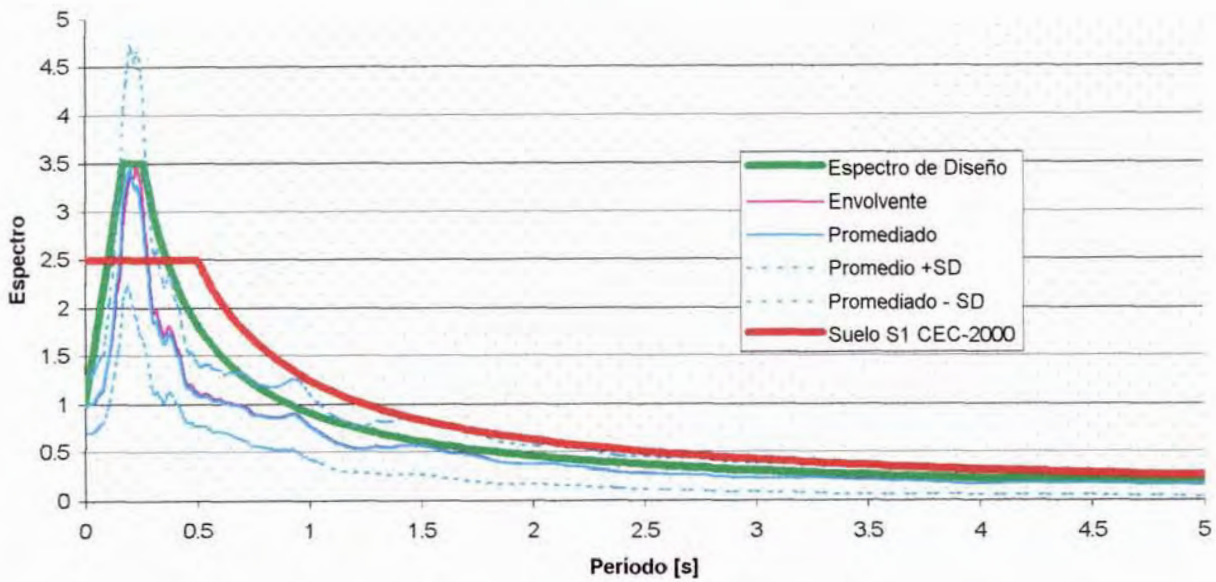
Espectro de Diseño zona Q2n



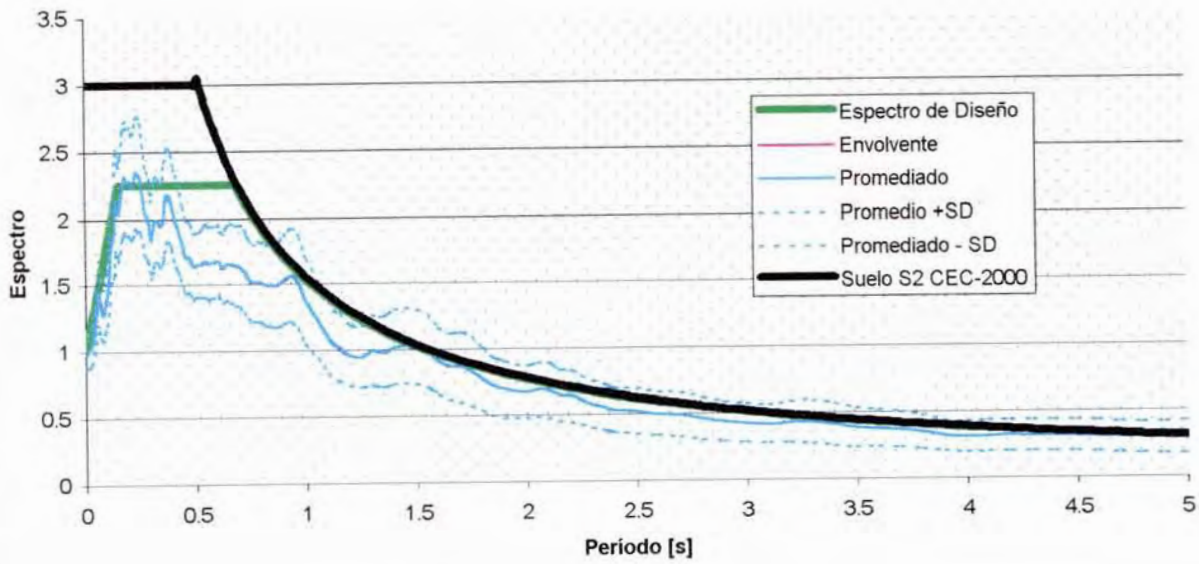
Espectro de Diseño zona Q2s



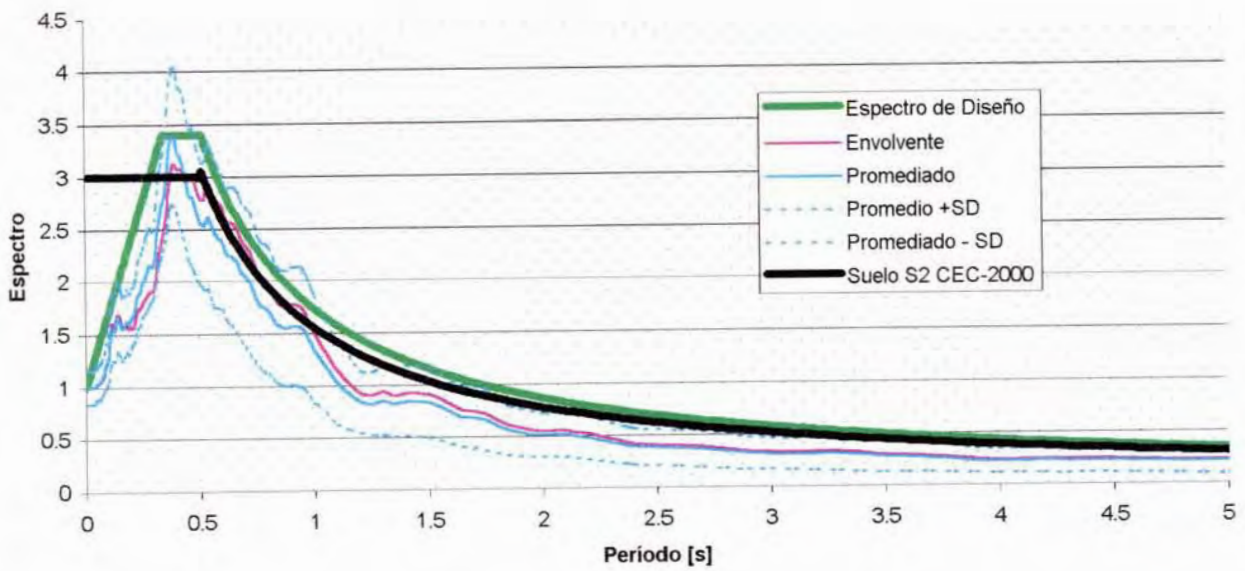
Espectro de Diseño zona Q3



Espectro de Diseño zona Q4



Espectro de Diseño zona Q5



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUINAGA, FELIPE, "Estimación del Período de Vibración en función de las Condiciones Locales del Suelo". Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, especialización estructuras, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Diciembre, 1992.
2. CANET J.M Y BARBAT A.H., "Estructuras sometidas a Acciones Sísmicas", Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona. 1988
3. CHEN, ALBERT, "Application of Stress-Strain Relations un Nonlinear Ground-Motion Analyses", United States Department of the Interior Geological Survey, California, 1976.
4. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, GEOHAZARDS INTERNATIONAL, ILUSTRE MUNICIPIO DE QUITO, ORSTOM, OYO CORPORATION "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Proyect", Geohazards International Publication, Quito, 1994
5. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, GEOHAZARDS INTERNATIONAL, ILUSTRE MUNICIPIO DE QUITO, ORSTOM, OYO CORPORATION "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Proyect an Overview", Geohazards International Publication, Quito, 1994
6. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, CERESIS, "El terremoto de Bahía de Caráquez, Lecciones por Aprender", Quito - Ecuador, 1998.
7. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL," Causas y Efectos de Sismos Recientes sobre las edificaciones y Líneas de Vida", Memorias técnicas Seminario Internacional, Quito 1994.
8. GUEVARA TERESA, "Diseño de Edificaciones Esenciales en zonas de Actividad Sísmica", Memorias técnicas OPS-OMS-Fundacyt-EPN, Quito 1999
9. INEN, "Comentarios técnicos del Código Ecuatoriano de la Construcción" División de Construcción, CEC-P1-78
10. JUAREZ BADILLO E., "Fundamentos de la Mecánica de Suelos", Tomo I, Editorial Limusa, Segunda Edición, México 1969.
11. LAMBE W, WHITMAN R, "Mecánica de Suelos", Editorial Limusa, México 1991
12. LECARO, MOYANO, LEON, "Zonificación de la ciudad de Quito", Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, EPN, Quito, 1987.

13. ORDOÑEZ G, "Shakedit Tutorial", Pre y Postprocesador de SHAKE91
14. SARRIA ALBERTO, "Ingeniería Sísmica", Ediciones Uniandes, Colombia, 1990
15. SCHNABEL, LYSMER, SEED, "User's manual for Shake91", Center for Geotechnical Modeling , Departament of Civil Engineering, California 1992.
16. SEMINARIOS CISMID 1990, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
17. YÉPEZ F, FERNANDEZ J, VALVERDE J, "Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000", Jornadas XIII de Ingeniería Estructural, Quito 2000.
18. TORRES JUAN, "Estudio de la respuesta dinámica de un perfil de subsuelo de la ciudad de Quito", Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Geotécnico, Escuela Politécnica Nacional, Quito ,1990.
19. VUCETIC M, R. DROBY, "Efect of Soil Plasticity on Ciclic Response", Journal of Geotechnical Engineering, 1991.
20. YÉPEZ F, A. BARBAT, CANAS, "Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de manpostería", Monografías de Ingeniería Sísmica, Editor A. H. Barbat, España, 1995.

GEOLOGÍA DEL CUATERNARIO DE LAS ÁREAS URBANAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

4.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio geológico constituye una recopilación, reinterpretación y ampliación de varios estudios anteriores realizados en la zona urbana de Quito y sus áreas de expansión, como son: Proyecto del Escenario Sísmico de Quito, trabajos de tesis, fotointerpretación, trabajos de campo anteriores inéditos, columnas estratigráficas levantadas en la ciudad (Alvarado, 1996) y nuevos estudios de campo y ensayos geotécnicos realizados dentro del presente proyecto.

La geología local de las áreas urbanas del Distrito Metropolitano de Quito, junto con los estudios geotécnicos efectuados dentro del proyecto, constituyen la base para la microzonificación sísmica de la zona.

4.2 MORFOLOGÍA

Dentro de la descripción de la geología de las zonas de estudio, es importante resaltar algunos aspectos morfológicos que forman parte de la ciudad. Quito es una cuenca sedimentaria alargada de dirección general N-S, limitada hacia el oeste, por el complejo volcánico Pichincha y hacia el este, por una serie de elevaciones que, de sur a norte, reciben los nombres de Puengasí, Ilumbisí, El Batán y La Bota. Estas elevaciones constituyen un alto morfológico que dividen a las cuencas de Quito y del Valle de los Chillos, su origen es tectónico, y evidencia el fallamiento inverso que ha separado la ciudad de Quito del resto del Valle.

En el centro de la cuenca de Quito, se identifica una elevación de origen volcánico denominada Panecillo, la misma que divide la cuenca en dos partes claramente definidas: la cuenca sur y la norte.

La cuenca norte muestra dos drenajes principales: la quebrada de El Colegio, al norte y la quebrada de El Batán, hacia el este. Del borde occidental descienden numerosas quebradas siendo las más importantes las de Rumipamba y Rumiurcu. Cerca del Panecillo antiguamente, drenaban quebradas muy importantes como la que descendía en el sector de la Av. 24 de Mayo y los Dos Puentes, las mismas que drenaban gran parte de las aguas hacia el este, actualmente se encuentran canalizadas y rellenas.

La cuenca sur se caracteriza por poseer un drenaje mucho más importante, siendo el río Machángara el más relevante, este río corre de sur a norte, a la altura del barrio El Recreo, se profundiza progresivamente hasta formar una quebrada de 20 a 30 metros de profundidad a la altura de El Panecillo, luego el río se dirige hacia el este bordeando la loma de Ilumbisí y la de El Batán, para descender hacia el Valle Interandino.

Hacia el norte de la cuenca de Quito se encuentran las zonas de Pomasqui y San Antonio de Pichincha, limitadas hacia el este por el Río Pusuquí-Monjas que baja desde la cuenca norte de Quito, y hacia el oeste por los volcanes Casitagua y Pululahua. La zona de Pomasqui se asienta sobre una gran terraza aluvial que forma una extensa zona plana y hacia el norte San Antonio de Pichincha se ubica sobre un gran cono aluvial que desciende desde el flanco norte del volcán Casitagua y que se extiende hacia el este, terminando en el río Monjas.

En la depresión del Valle Interandino al este de la cuenca de Quito se encuentran las zonas de Nayón Cumbayá y Tumbaco ubicadas al norte del Volcán Ilaló, y las zonas de Guangopolo, San Pedro del Tingo, La Merced, Conocoto y Amaguaña hacia el sur del volcán. El Río San Pedro cruza de sur a norte bordeado del Volcán Ilaló y se une hacia el norte en la zona de Nayón con el Río Machángara que baja bordeando la parte norte de la loma de Ilumbisí.

4.3 LA FALLA DE QUITO

La Falla de Quito se encuentra dentro del sistema de fallas inversas del Callejón Interandino, limitando al este la depresión donde se asienta la ciudad y provocando una deformación como consecuencia del mecanismo de movimiento. La velocidad de desplazamiento discontinuo varía de 0.5 a 1mm/año (*Soulas, et al, 1991*) y provocaría un sismo magnitud entre 6.9 a 7.1 grados en la escala de Richter, e intensidades en la ciudad de Quito de VIII grados en la escala de Mercalli Modificada (MM), con un período de retorno de 1500 a 4000 años (*Del Pino y Yépes, 1990*).

Esta falla constituye una importante estructura tectónica en compresión, por lo tanto es considerada una peligrosa fuente sismogénica para la Ciudad de Quito que se halla asentada sobre una estructura tipo "piggy back basin" generada por esta falla inversa. En este contexto activo, se determinaron una serie de rasgos morfológicos, principalmente lomas de rumbo NNE-SSW que se ubican al este de Quito (Puengasí, Ilumbisí, La Bota) y que están levantadas unos 400-500 m sobre el Valle de los Chillos. Este levantamiento se debe al flexuramiento ocasionado en el frente de la falla, la misma que buza hacia el oeste por debajo de la ciudad (*Soulas et al., 1991; Ego, 1992*).

4.4 GEOLOGÍA LOCAL DEL CUATERNARIO

En el área Metropolitana de Quito afloran principalmente rocas de origen volcánico, que corresponden a lavas, depósitos de avalancha, caídas de pómez y ceniza, con edades comprendidas entre el Plio-Pleistoceno a Pleistoceno Superior. Se encuentran también, rocas detríticas producto de la erosión por parte de importantes sistemas de quebradas, que retrabajaron y transportaron rocas volcánicas antiguas y las depositaron en la parte central de la cuenca de Quito y como relleno del Valle de los Chillos. Estos depósitos corresponden a volcanosedimentos, depósitos fluviales, depósitos de cono aluvial, flujos de lodo

y cangahua. La cangahua se encuentra muy distribuida en el área de estudio y se compone de material volcánico meteorizado in situ o retrabajado en períodos donde la actividad volcánica fue mínima o inexistente. Estos últimos depósitos tienen edades entre Pleistoceno Superior a Holoceno.

En la parte norte en las poblaciones de Pomasqui y San Antonio de Pichincha, afloran los Volcánicos Pululahua de edad Holoceno y que corresponden a depósitos de flujos piroclásticos, lahares, colapsos de domos y productos detríticos que rellenaron los valles adyacentes, estos materiales se encuentran sobrepuestos por cangahuas. En el centro del valle se han desarrollado terrazas aluviales de edad Holoceno Superior. En la cuenca de Quito los depósitos más jóvenes corresponden a la Unidad fluvio-lacustre La Carolina (Alvarado, 1996) y a los suelos volcánicos que forman las laderas del Pichincha y que afloran sobre los 3400 msnm.

En la parte suroriental, en el Valle de los Chillos, se identifican importantes depósitos laharíticos correspondientes a las erupciones del volcán Cotopaxi, existen además potentes coluviales y zonas de relleno ubicadas en los cauces de antiguas quebradas.

A continuación se describen las unidades en orden cronológico, las cuales se presentan en el *Mapa No. 1, Mapa Geológico del Distrito Metropolitano de Quito*.

4.3.1 UNIDAD VOLCÁNICOS BASALES (VOLCANO SEDIMENTOS MACHÁNGARA)

Conforma el basamento cuaternario de la cuenca de Quito y posiblemente del Valle de los Chillos. En la zona de Quito, esta unidad tiene como fuentes de origen a los volcanes Atacazo y Rucu Pichincha que fueron denominados como Volcano Sedimentos Machángara por DGGM, mientras que los materiales de los volcanes Ilaló en el Valle de los Chillos y Casitagua en la parte norte, se denominaron Volcánicos Guayllabamba. En la cuenca de Quito, se la puede identificar en algunos de los pozos y se caracteriza por secuencias de lavas y tobas que superan los 80 m de espesor sin haberse llegado a ver la base.

En algunas de las quebradas del borde oriental de la ciudad se destacan potentes avalanchas de escombros, de origen volcánico, constituidas por bloques andesíticos en una matriz del mismo material. Estas avalanchas tienen intercalados flujos y surges piroclásticos. En otros sectores se encuentran intercalados flujos de lodo y algunas caídas de ceniza y pómez. Se incluye en esta unidad las lavas de la zona de San Juan, La Libertad y el Panecillo. Hacia el lado occidental de la cuenca, esta unidad posiblemente contiene más flujos de lodo, de acuerdo a los datos obtenidos de los pozos de agua.

En la zona del Valle, los depósitos del volcán Ilaló están compuestos por brechas y lavas de composición andesítica a basáltica, existen además intrusiones de los volcanes Pasochoa y Rumiñahui, (Pérez, V.H., 1986).

Afloramientos de la unidad se encuentran en las quebradas de El Batán, Tolalau, Horinaza y Zámbriza, así como en el cauce del río Machángara en la loma de Ilumbisí. Lavas del volcán Ilaló afloran en los cortes de la carretera Intervalles. Esta unidad presenta fracturamiento y plegamiento importantes.

Las rocas de esta unidad presentan las siguientes edades: los materiales del complejo volcánico Pichincha 1.32 a 0.8 Ma (Barberi et al, 1988), del volcán Atacazo, 0.41 a 0.32 Ma (INECEL, 1980), del volcán Ilaló 1.6 a 0.81 Ma (Barberi et al, 1988).

4.3.2 UNIDAD VOLCANO SEDIMENTOS SAN MIGUEL

Se encuentra formada por depósitos consolidados de cangahua interestratificados con varios niveles métricos y decimétricos de tobas gruesas y finas de color gris, areniscas tobáceas con pómez y niveles de cangahua. La edad asignada a esta unidad es de Pleistoceno.

Las rocas de esta unidad afloran principalmente en la zona nororiental en Calderón, Llano Chico y en las quebradas que descienden hacia los valles de

Cumbayá, Tumbaco. En la zona del volcán Ilaló, existen volcánico sedimentos que pueden ser equivalentes a las rocas de la unidad San Miguel de la parte norte.

Afloramientos de la unidad se encuentran en quebradas que descienden desde la zona de Calderón al Río Guayllabamba (UTM: 905/942), donde se observan secuencias de areniscas volcánicas y tobas de color gris en capas decimétricas a métricas con bloques de cangahua, muy fracturadas y tectonizadas. También en la quebrada Tantaleo en la población de Llano Chico (UTM: 862/862) en la cual se pueden observar varias capas de cangahua interestratificadas con materiales de origen fluvio-lacustre.

4.3.3 UNIDAD VOLCÁNICOS PICHINCHA (LAVAS AFLORANTES)

Esta unidad comprende lavas y flujos de escombros pertenecientes al antiguo volcán Rucu Pichincha y que afloran en las cuencas de las laderas del Complejo Volcánico Pichincha en pendientes mayores a los 45°. Estas rocas volcánicas son de edad Pleistoceno superior. Sobre las lavas a alturas mayores de 3400 msnm aproximadamente, se encuentran depositados suelos volcánicos que corresponden a las erupciones holocénicas del volcán Guagua Pichincha.

4.3.4 UNIDAD VOLCANO SEDIMENTOS CHICHE

En el Valle de los Chillos se encuentran los volcanosedimentos Chiche, equivalentes a la unidad Fluvial Quito pero que se diferencian de ésta porque se depositaron hacia el este durante la separación de la cuenca de Quito por la actividad tectónica. Hacia el Valle de los Chillos la unidad aflora principalmente en los cañones de las quebradas profundas que descienden desde Quito, con espesores observados de 77 metros (Clapperton y Vera, 1986), pero según la hoja geológica de El Quinche se estiman espesores de hasta 200 metros. La edad atribuida es Pleistoceno Superior.

Las rocas de esta unidad se encuentran relleno del valle y constan de secuencias de areniscas gruesas a medias de color gris claro, así como de capas

de conglomerados intercalados con delgadas capas de cenizas de color café amarillento. Hacia el norte de Guayllabamba aflora la Unidad Chiche basal, la cual consta de depósitos lacustres y eólicos, descansa discordante sobre la Unidad San Miguel o sobre los Volcánicos Guayllabamba (Changkuon, 1986).

En el carretero antiguo en la zona de Cotocollao-Llano Grande, se observan depósitos de esta unidad que corresponden a capas de areniscas y areniscas tobáceas con intercalaciones de conglomerados que descansan sobre la Unidad San Miguel. En Llano Chico existen importantes afloramientos en la quebrada Tantaleo (UTM: 850/866), donde se observan capas de conglomerados con estratos de cangahua y tobas, en la base de la secuencia capas de areniscas de grano fino.

Más hacia el sur, se encuentran importantes afloramientos en la quebrada Tolalau, que desciende hacia Zámiza (UTM: 844/840) en la cual existen depósitos fluviales re trabajados y flujos de lodo, al tope de la secuencia aparecen sedimentos fluvio-lacustres compuestos por arenas grises medias a gruesas, mezcladas con pómez. (Rivadeneira, comentario personal, 1994). Hacia el este, en la zona de Tumbaco la unidad presenta gradaciones laterales observándose secuencias de arenas finas de color gris, limos y arcillas blancas. En este sector se han descrito importantes afloramientos de la unidad Chiche, compuestos por conglomerados, capas de arena, cenizas, tobas y cangahua, con espesores de hasta 120 m (Acosta, 1985).

En la parte suroriental de la zona de estudio la unidad no aflora y se encuentra cubierta por estratos de cangahua y depósitos laharíticos.

4.3.5 UNIDAD FLUVIATIL QUITO

En la cuenca de Quito, esta unidad se encuentra depositada sobre los Volcánicos Basales y se caracteriza por una serie de sedimentos de ambiente

fluvial, que van desde arenas a cantos rodados. Dentro de la unidad se encuentran también algunas tobas, caídas de ceniza y lahares.

Su distribución espacial dentro de la cuenca es variable. En el sector de la Jipijapa, la Y y el Aeropuerto, los sedimentos en general son de grano más fino, constituidos por arenas finas a medias, limos y arcillas. Según la interpretación realizada en los pozos podrían ser de ambiente fluvial o incluso lacustre-palustre, como lo demuestra una turba encontrada a 130 m de profundidad.

En el lado oeste de la cuenca, se encuentran importantes depósitos del cono aluvial de la quebradas Rumipamba y Rumiurcu, caracterizados por potentes flujos de lodo con líticos de tamaño variable desde centimétricos a métricos. Estos flujos de lodo están intercalados con series fluviátiles de grano fino a grueso. Según las observaciones de campo el cono de la quebrada Rumipamba contiene intercalaciones de caídas de pómez y ceniza, así como tobas. En la parte superior del cono aún se encuentran bloques que superan los 2 m de diámetro. Los depósitos distales de los conos aluviales se encuentran formados por arenas medias a gruesas, que forman en algunos casos canales aluviales de hasta 1 metro de profundidad. En algunos casos, se observa estratificación paralela. Los más característicos son sedimentos arenosos limosos, a veces con fragmentos de roca y/o pómez. En algunos pozos ubicados en El Ejido, La Mariscal y La Carolina, se identifican también limos y arcillas, intercalados con turbas ubicadas a 40 m y a 146 m de profundidad, que se pueden interpretar como lacustres y/o palustres.

Hacia el borde nororiental de la ciudad, en las quebradas Tolalau, Zámbriza, Horinaza y El Batán, se observan depósitos de ambiente fluvial, caracterizados por arenas medias a gruesas, con cantos rodados y estratificación paralela a oblicua. Se puede distinguir además algunas caídas de ceniza y pómez. En la quebrada Tolalau inclusive se observan algunos materiales de ambiente lacustre. Todos estos depósitos se encuentran plegados y fallados han

sido incluidos dentro de los Volcanosedimentos Chiche y cuyos materiales son equivalentes a la Unidad Fluvial Quito.

Hacia el norte de la loma Ilumbisí (UTM: 830/782), la unidad aparece como una secuencia sedimentaria que presenta intercalación de flujos de lodo, capas de tefras, areniscas de color anaranjado y tobas volcánicas. Al tope la secuencia se vuelve más fina con una laminación paralela en las capas. Hacia el sur esta unidad presenta conglomerados con laminación paralela tosca, con cantos de hasta 60 cm y algunos flujos de lodo.

En el borde norte de la loma de Puengasí, en el intercambiador del Valle de los Chillos es posible observar algunas potentes series de lahares y paquetes de sedimentos fluviales, formados por lúticos y arenas medias, que forman parte de esta unidad.

Hacia el sur de Quito, no se observan afloramientos de esta unidad, sin embargo en los pozos de agua hay sedimentos que podrían asociarse a ella. Estos están constituidos de arenas y limos. Adicionalmente se encontró una turba en la zona de la Villa Flora.

El espesor de la unidad no es constante, en algunos sitios puede superar los 300 m, como en el eje de la cuenca de Quito, y tener hasta 100 m en los bordes orientales. Estas diferencias en espesor pueden ser explicadas debido a que la depositación fue sintectónica. Es decir que, a medida que se sedimentaba ocurría el levantamiento de los pliegues de Quito. Esto generó que en el centro de la cuenca el espesor de los sedimentos fluviales sea más potente que en los bordes.

La Unidad Fluvial Quito tiene mucha importancia en la evolución geológica de la cuenca ya que marca el inicio de la actividad tectónica del sistema de fallamiento inverso que separó la cuenca de Quito del Valle de los Chillos

4.3.6 DEPÓSITOS ALUVIALES

Corresponden materiales erosionados, transportados por el agua y depositados a la salida de las quebradas. Los conos aluviales de las quebradas de Rumipamba y Rumiurcu son parte de la Unidad Fluvial Quito y han sido descritos anteriormente.

En el norte de la zona de estudio, se ha podido observar mediante el análisis de fotografías aéreas, un importante depósito aluvial que forma un cono sobre el cual se encuentra asentada la población de San Antonio de Pichincha. Este cono contiene grandes bloques producto del colapso de parte de la caldera del volcán Casitagua y que han sido erosionados y transportados por un importante sistema de quebradas. Dentro del cono se encuentran intercalados flujos de lodo y secuencias holocénicas del volcán Pululahua.

Hacia el sur de la ciudad de Quito existen también una serie de conos aluviales que también pueden incluirse dentro de la Unidad Fluvial Quito, pero que forman secuencias de menor espesor. En las laderas orientales de la loma de Puengasí existen una serie de conos aluviales depositados por un sistema de quebradas que drena hacia el Valle de los Chillos. Estos conos son más jóvenes y presentan secuencias de arenas gruesas provenientes de la erosión de la cangahua, estratos de conglomerados y pequeños flujos de lodo.

En las laderas del volcán Ilaló se observan también importantes depósitos aluviales formados por bloques de lavas métricos a decimétricos que han sido transportados de las partes altas del volcán, estos depósitos son muy potentes y se encuentran por lo general cubiertos por tobas y cangahuas, así como de depósitos laháríticos más recientes.

4.3.7 UNIDAD CANGAHUA

La cangahua se encuentra ampliamente distribuida en toda la zona de estudio, los depósitos de la parte sur son más antiguos y comprenden edades

entre el Pleistoceno Superior a Holoceno, hacia el norte en la población de San Antonio de Pichincha los depósitos de cangahua son más recientes con edad Holoceno Superior. La formación de la cangahua se encuentra asociada a períodos en los cuales la actividad volcánica fue mínima o inexistente, permitiendo su depositación o meteorización a partir de material volcánico preexistente.

En el Valle de Guayllabamba y San Antonio de Pichincha, en la parte norte de la zona de estudio, la cangahua se presenta en estratos delgados, poco consolidados de color gris amarillento, con espesores variables de hasta 7 metros. Intercalado entre estos depósitos jóvenes de cangahua se encuentra un depósito de lapilli de 10 a 30 cm de espesor correspondiente a una ceniza volcánica de hace 2800 años de una de las últimas erupciones del Pululahua. En general el depósito de cangahua se encuentra retrabajado en capas interestratificadas superpuestas por flujos piroclásticos e intercalada con capas de tefras y arenas volcánicas, su edad es Holoceno superior.

En las poblaciones de Llano Chico, Cotocollao, Calderón y Llano Grande, la cangahua se presenta estratificada en capas gruesas de color café claro, en posición horizontal o subhorizontal con intercalaciones de productos volcánicos y localmente con lentes de depósitos aluviales, fluviales y flujos de lodo, esta cangahua varía de arenas finas a limos arenosos con bajo contenido de arcillas. La edad es de Pleistoceno Superior a Holoceno. Afloramientos en la Panamericana Norte (UTM: 878/885 y 879/903) muestran estratos de cangahua de hasta 25 metros de espesor depositados sobre la volcanosedimentos San Miguel, estos depósitos son de color café amarillento y presentan finas capas de pómez intercaladas.

En la parte occidental, central y oriental de la cuenca de Quito, la cangahua se encuentra sobre la Unidad Fluviátil Quito y los Volcánicos Basales que comprenden también los Volcánicos Pichincha, se la identifica claramente en las partes altas de la ciudad hasta los 3400 msnm aproximadamente y en los

cortes de las carreteras. La cangahua se muestra como paquetes homogéneos de color marrón claro, que cubren periclinalmente los materiales subyacentes. Está intercalada por caídas de pómez de espesor variable. La distribución de la cangahua al interior de la cuenca no es clara, debido a que no es evidente su descripción en los pozos de agua, sin embargo de las observaciones en los bordes de la cuenca se asume que está cubriendo gran parte de la misma.

En la parte baja de las quebradas de Rumipamba y Rumiurcu es posible observar importantes afloramientos de cangahua la cual consta de gruesos paquetes de hasta 60 m de espesor, de material de origen volcánico cementado tipo toba, intercalado con capas delgadas de lapilli y arenas volcánicas. Parte de esta cangahua ha sido retrabajada, bajando como parte de flujos de lodo, encontrándose en la parte superficial de los conos aluviales.

Existen importantes afloramientos en los cortes de la nueva vía Oriental, en los cuales se pueden observar niveles de tobas gruesas a finas, capas de lapilli intercaladas en la secuencia. Es importante mencionar que esta unidad ha sido afectada por eventos tectónicos recientes asociados a un fracturamiento mayor.

Hacia el sur de la cuenca la cangahua se encuentra depositada sobre los Volcánicos Atacazo, no muestra mayor retrabajamiento y su espesor puede llegar a los 40 metros, en esta zona se presenta en forma de estratos limo arenosos de color café oscuro muy consolidados.

En la parte oriental hacia el Valle de los Chillos, Tumbaco y Cumbayá, la cangahua se encuentra depositada sobre los Volcano Sedimentos Chiche y sobre Volcánicos Ilaló. En Tumbaco en los cortes de algunas quebradas se pueden observar potentes estratos de cangahua intercalados con flujos de lodo y paleosuelos, hacia el tope de la secuencia se observan capas de arenas y cenizas volcánicas de hasta 4 metros de espesor. La cangahua es limo arenosa de color café amarillento, en esta zona presenta espesores de hasta 100 metros.

Hacia el sur del Volcán Ilaló los estratos de cangahua se depositaron en discordancia sobre la Unidad Chiche y corresponden a períodos erosivos, su color es café amarillento a café rojizo. Estos depósitos pueden llegar a tener espesores de hasta 20 metros y corresponden a paleosuelos limo-arcillosos, con gran contenido de raíces, acumulados de forma eólica que contienen además líticos de pómez y andesitas de color gris.

En las quebradas que bajan desde la cuenca de Quito hacia Cumbayá, se observan importantes depósitos de cangahua retrabajados, intercalados con flujos de lodo y depósitos de cono aluvial, los materiales son de arena gruesa y de color amarillento, contienen gran cantidad de líticos.

4.3.8 DEPÓSITOS VOLCÁNICOS HOLOCÉNICOS PULULAHUA

Los productos volcánicos holocénicos del Pululahua afloran principalmente en los cerros de Calacalí, alrededor de San Antonio de Pichincha y Pomasqui hasta el sureste de Guayllabamba. Estos depósitos se encuentran formados por depósitos de flujos piroclásticos, lahares, colapsos de domos y productos detríticos depositados radialmente desde la caldera del volcán y que han avanzado hasta la ciudad de Quito.

En su historia eruptiva reciente se han identificado 4 eventos principales que pueden ser observados en las canteras que se explotan alrededor de la ciudad. Los tres eventos más antiguos, corresponden a colapsos de domos con depósitos de bloques dacíticos y caídas de ceniza de color rosado a gris. Al final del tercer evento se pueden observar depósitos de cangahua de 1 a 1.5 m y depósitos de hasta 10 m de turba que refleja condiciones pantanosas en el antiguo valle de San Antonio.

El evento más reciente corresponde a una serie de flujos piroclásticos y oleadas con estratificación cruzada, que contienen depósitos de pómez blanca grisácea con fragmentos alterados de dacitas, es importante mencionar que dentro del depósito aparece una caída de lapilli muy característica que ha sido

reconocida dentro de los depósitos de los volcanes Guagua Pichincha y Atacazo al sur (Hall y Mothes, 1994)

Afloramientos de esta unidad se pueden observar en el cauce del Río Monjas en la población de San Antonio de Pichincha (UTM: 847/985), donde se observan potentes depósitos de flujos piroclásticos de color rosado, a la base de la secuencia existen tobas de color crema y estratos de cangahua que pertenecen a la Unidad San Miguel.

En la cantera La Unión (UTM: 863/009) se puede observar el depósito de un flujo piroclástico, el cual rellenó el cauce de una antigua quebrada, a la base se observa claramente la paleosuperficie sobre la cual se depositó. Este flujo presenta un espesor de aproximadamente 25 metros, en el tope de la secuencia se caracteriza por su color rosado, contiene bloques de dacitas grises, en la parte inferior el flujo es de color gris y blanco.

Los depósitos situados al norte son principalmente producto del colapso de la caldera y avanzan hasta el Río Guayllabamba. El Volcán Pululahua junto con Cuicocha y Cotacachi se encuentra sobre el fallamiento longitudinal que controla el valle interandino. Los flujos piroclásticos producto de erupciones explosivas, constituyen la principal amenaza del Pululahua, las poblaciones más afectadas son: Pomasqui, San Antonio, Calacalí, Puéllaro, Perucho y el norte de Quito.

4.3.9 TERRAZAS ALUVIALES

Corresponden a materiales volcánicos erosionados, re TRABAJADOS y transportados por sistemas de quebradas y ríos. Al norte en San Antonio de Pichincha se observan importantes zonas planas circundantes a los cauces de los ríos Pusuquí y Monjas. Las terrazas están formadas por una secuencia de estratos horizontales de arenas volcánicas con clastos de pómez, caídas de ceniza y tobas al tope de la secuencia (UTM: 842/974). Estas secuencias se encuentran directamente sobre los depósitos holocénicos del Pululahua.

En la parte occidental de la loma de Ilumbisí también se pueden observar importantes terrazas depositadas por el río Machángara, las cuales se encuentran conformadas por conglomerados, estratos de arenas gruesas muy oxidadas y bloques de cangahua.

4.3.10 SUELOS VOLCÁNICOS

Se encuentran constituidos por delgadas capas de material volcánico que forma paquetes de aproximadamente 6.5 metros de espesor promedio, depositados en forma periclinal, directamente sobre los Volcánicos Pichincha en los flancos orientales o sobre los depósitos glaciares en la parte superior de las cuencas de las quebradas. Hacia la superficie constituyen una capa de suelo negro muy hidratado con un espesor de hasta 60 cm y con contenido orgánico. En el contacto con las lavas y morrenas se presenta generalmente una capa de suelo arcilloso limoso muy húmedo y plástico.

En las visitas de campo se han observado que estos materiales contienen intercalados los tres últimos eventos eruptivos del volcán Guagua Pichincha, correspondientes a 1400 aAP, 980 aAP y la erupción de 1660 DC. El nivel de 980 aAP, presenta un gran contenido de arena volcánica muy hidratada. Dentro de la secuencia se encuentran además horizontes negros humíferos que corresponden a paleosuperficies.

4.3.11 UNIDAD FLUVIO-LACUSTRE LA CAROLINA (DEPÓSITOS LACUSTRES)

En el centro de la cuenca norte de Quito, gracias a las excavaciones realizadas para la construcción de edificios, se identificaron una serie de depósitos de ambiente fluvio lacustre. Estos sedimentos están caracterizados por paquetes de limos, arcillas, arenas medias a gruesas, intercalados por cenizas y caídas de pómez. Los ambientes de depositación varían principalmente entre lacustres a palustres, en donde se han desarrollado suelos orgánicos. También hay depósitos fluviales con canales poco profundos y flujos de lodo distales,

algunos de los cuales han desarrollado suelos. El espesor máximo estimado para esta unidad es 20 m, determinado en el sector de Ñaquito.

Hay que indicar que esta unidad muestra una variación lateral muy importante registrada en pocos metros, se puede identificar arenas fluviales y luego lacustres, lo que hace difícil su caracterización, *Figuras 4.1a y 4.1b*. Adicionalmente se determinó que durante la historia ocurrieron asentamientos humanos que modificaron las características de los materiales, ya que se utilizaron técnicas agrícolas que remobilizan material (camellones).

En la cuenca sur, es más difícil estimar las características de esta unidad, debido a que no hay afloramientos, sin embargo se determinaron sedimentos de ambiente lacustre palustre, intercalados con cenizas y pómez similares a las de la cuenca norte. Hay que indicar que, en este sector el contacto entre esta unidad y la cangahua es más claro, en especial a lo largo de la Panamericana Sur, donde fue posible ver como los depósitos evolucionan progresivamente, así, de sur a norte, los sedimentos tipo suelo orgánico aumentan de espesor y cambian a secuencias palustres llegando hasta los 4m, que fue el límite observado.

Es necesario indicar que las series fluviales en el sur se desarrollaron principalmente cerca de los riachuelos como el Río Grande y algunas de las pequeñas quebradas de la zona, estas secuencias están intercaladas con suelos palustres ricos en materia orgánica e intercalaciones de cenizas y pómez. El espesor total observado es de 14 m. En general esta unidad al sur es menos potente que al norte, estimamos que estaría entre 10 y 15 m en las partes más espesas, esto se considera debido a que el río Machángara drena la mayor parte del agua y por lo tanto los sedimentos lacustres, palustres o fluviales se desarrollan menos, no así los suelos.

En zonas como Turubamba de Monjas, La Ecuatoriana y Guamaní en el extremo sur de Quito, se encuentran muy desarrollados suelos negros limoarenosos, con intercalaciones de depósitos de cenizas volcánicas. Estos

suelos se encuentran depositados directamente sobre la Unidad Cangahua y posiblemente son producto de la meteorización in situ de esta unidad. En las perforaciones realizadas se han encontrado también depósitos limo arcillosos poco compactos con alto contenido orgánico generados en zonas pantanosas y lacustres y producto de la erosión de la cangahua depositada sobre los cerros circundantes. Estos suelos pueden llegar a presentar espesores de hasta 12 metros de acuerdo a datos de los moradores. En el *Mapa No. 1, Mapa Geológico del Distrito Metropolitano de Quito*, han sido diferenciados de la Unidad Fluvio-Lacustre la Carolina por su origen, pero corresponden al mismo período de depositación.

En la cuenca norte se realizaron columnas características a detalle en las cuales se hace una diferenciación en varias zonas de acuerdo al tipo de material. Se tomaron columnas tipo, para la generalización la cual fue muy complicada por las variaciones laterales de una excavación a otra, las cuales fueron indicadas anteriormente, *Figura 4.1*. A continuación se presenta una descripción detallada de las columnas estratigráficas.

Sector Av. Universitaria, Av. 10 de agosto, parque de El Ejido y Av. Colón.

En el tope de la columna se identifican sedimentos tipo flujo de lodo, con restos de construcción, en general material retrabajado. Bajo estos depósitos se ubican secuencias fluviales compuestas por arenas medias a gruesas, con estratificación cruzada y paralela. Hay algunas capas de ceniza y se encuentran además fragmentos de rocas y pómez diseminados en el depósito.

En la base de la mayoría de las columnas existe cangahua de color marrón consolidada con pómez y en ocasiones bolas de cangahua. El espesor del depósito supera los 7 m.

Estos sedimentos pueden interpretarse como secuencias de cono aluvial formadas por flujos de lodos y canales aluviales. *Figura 4.1a*.

Figura 4.1a. Av. Universitaria, 10 de Agosto, El Ejido

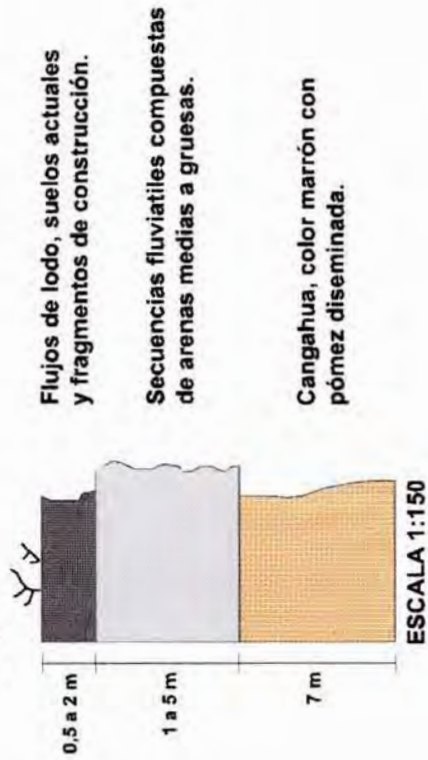


Figura 4.1b. La Mariscal, Av. República, Partidero a Tumbaco, Av Eloy Alfaro

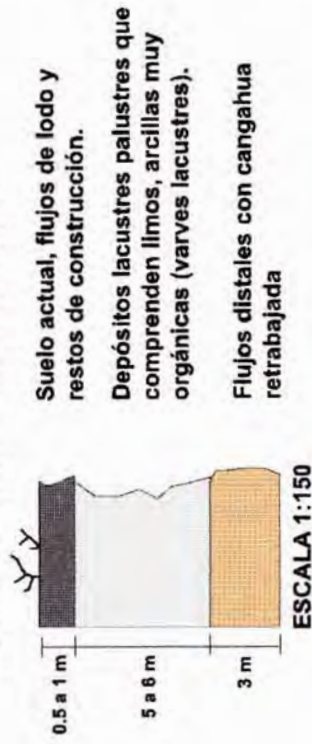


Figura 4.1c. Av. América, Rumipamba, Inglaterra

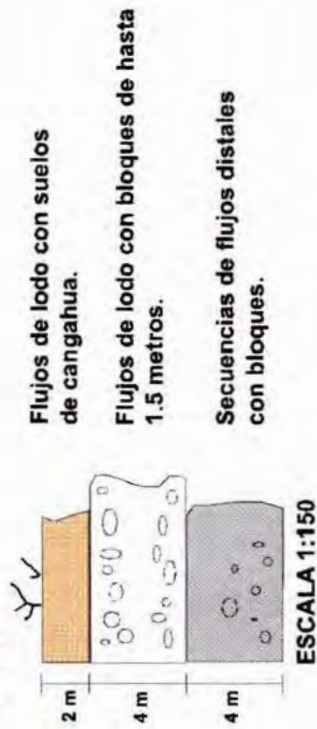


Figura 4.1.d. Av. Naciones Unidas, Av. Amazonas, Av. Gaspar de Villaroel, Av. Japón

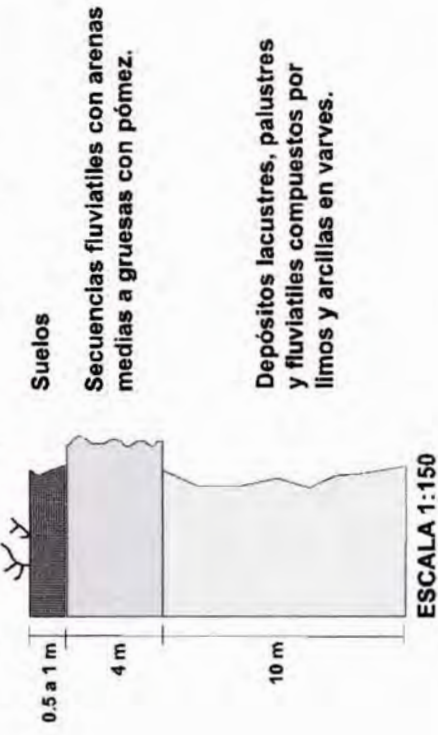


FIGURA 4.1 Columnas características de la Unidad Fluvio-Lacustre La Carolina

Sector La Mariscal-Av República-Partidero a Tumbaco-Av. Eloy Alfaro.

Son características de este sector secuencias lacustres y palustres, formadas por limos y arcillas, con varves lacustres. Se observan también intercalados niveles más arenosos de pómez y arenas medias a finas, además capas de ceniza y pómez con espesores variables de hasta 15 cm. Los depósitos palustres presentan desarrollo de suelos limosos muy orgánicos con restos de raíces y concreciones formadas por procesos pedológicos.

Bajo este nivel, en algunos sectores se ubican flujos de lodo distales que incluyen cangahuas retrabajadas, con espesores mayores a 3 metros, como en columnas de la calle Pinzón, en la Rábida y Pinta, así como en el parque de El Ejido. Hacia el norte, al final de las columnas se observan depósitos lacustres y palustres. El espesor total llega a 12 m, *Figura 4.1b*.

Sector Av. América, Rumipamba e Inglaterra.

Se observan secuencias características de un cono aluvial, formadas por flujos de lodo que incluyen granulometrías de arenas hasta bloques que superan el metro de diámetro, incluyen también cantos rodados. Las secuencias observadas superan los 4 metros de espesor. En la base se presentan secuencias de flujos distales con pequeños bloques, *Figura 4.1c*.

Sector Av. Naciones Unidas, Av. Amazonas, Av. Gaspar de Villaroel, Av. Japón

En este sector se tuvieron las excavaciones más profundas de hasta aproximadamente 16 m. Las secuencias están formadas por fluviales compuestos por arenas medias a gruesas con fragmentos de pómez. Se pueden observar algunos flujos de lodo, de hasta 15 cm de espesor. También se encuentran algunos niveles lacustres con estratos limosos que presentan laminación. Intercalada una caída de pómez y ceniza con espesor de 10 cm.

Bajo estas secuencias se encuentran depósitos lacustres, palustres y fluviales compuestos por limos y arcillas en varves, con espesores mayores a 3 metros. Suelos pantanosos que comprenden limos orgánicos con concreciones. Lateralmente pasa a fluviales con capas de arenas medias a gruesas, en esta secuencia existen intercalados paquetes de cenizas y pómez. *Figura 4.1d.*

4.3.12 DEPÓSITOS COLUVIALES

Los depósitos coluviales son materiales muy recientes depositados al pie de zonas de fuerte pendiente. Generalmente estos depósitos están asociados a zonas inestables en las laderas. Al norte de la zona de estudio, al este de la población de Calderón, existen laderas con fuertes pendientes, en este lugar se observa un importante escarpe asociado a un gran depósito coluvial que ha sido ya muy erosionado, es posible que deslizamientos de esta magnitud se encuentren relacionados a procesos tectónicos o sismos importantes que afectaron los materiales volcánicos.

En la zona de Guápulo se observa claramente la morfología de este tipo de depósito, aunque se encuentra muy erosionado. Hacia el sur al final de la loma de Puengasí existen una serie de coluviales producto de deslizamientos en la cangahua, estos materiales se encuentran poco consolidados y presentan un gran contenido de humedad.

4.3.13 DEPÓSITOS LAHARÍTICOS

Hacia el sur del Volcán Ilaló se observan una serie de depósitos intercalados al tope de las secuencias de cangahua y que constituye lahares originados en las erupciones del Volcán Cotopaxí. El denominado lahar “Valle de los Chillos” contiene una matriz de ceniza volcánica de color crema y líticos andesíticos a dacíticos, su edad es de aproximadamente 4500 aAP (Hall y Mothes, 1994), su depósito se extiende a través del Río San Pedro hacia el norte

inundando las partes centrales del Valle de los Chillos con espesores entre 1 a 2 metros.

Sobrepuesto por una fina capa de suelo orgánico se encuentra el lahar producido por la última erupción del Cotopaxi de 1877, este depósito aflora en el cauce del río Pita en la población de Sangolquí y se encuentra formando terrazas de hasta 5 metros de espesor, su matriz es de arena limosa, (Guerra, 1986).

En la zona de la Central Hidroeléctrica de Guangopolo (UTM: 833/725), hacia el cauce del río San Pedro, existen una serie de estratos de tobas y cangahuas intercaladas con flujos de lodo, al tope de la secuencia se encuentra depósitos laharíticos formando zonas planas a lo largo del río, estos depósitos presentan una matriz lodosa con material retrabajado, mal sorteo y líticos subangulares.

Afloramientos importantes pueden ser observados en la población de Pujilí, donde se presentan una serie de estratos laharíticos de matriz lodosa y estratificación inversa, en la base de la secuencia se observan bloques decimétricos, todo el paquete se encuentra sobre una capa que corresponde a una caída de ceniza de 20 cm de espesor. Estos depósitos se presentan muy consolidados.

4.3.14 ZONAS DE RELLENO

Constituyen zonas de antiguos cauces y que han sido rellenas con todo tipo de material, desde bloques, arenas, basura, materiales de construcción, etc. Estas zonas se ubican en su mayoría en las desembocaduras de las quebradas que descienden de las laderas orientales del volcán Pichincha, así como existen rellenos importantes en el Centro Histórico de Quito en el sector de la 24 de Mayo. Algunas de estas zonas se encuentran pobladas, representando un peligro en caso de la ocurrencia de un sismo o futuros flujos de lodo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACOSTA M., 1985, "Estudio geológico estructural para el proyecto geotérmico Valle de los Chillos", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología Minas y Petróleos, Quito.
2. ALVARADO A., 1996, "Evolución Geológica Cuaternaria y Paleosismicidad de la Cuenca de Quito-Ecuador", Tesis para la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología Minas y Petróleos, Quito.
3. BONIFAZ H., 1990, "Continuación del estudio de los principales parámetros dinámicos de la cangahua en el sector Noroccidental de Quito", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Geotécnico, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
4. CHANGKUON A., 1986, "Estudio hidrogeológico-hidrogeoquímico del proyecto geotérmico Valle de los Chillos", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología Minas y Petróleos, Quito.
5. DEL PINO., YÉPES H., 1990, "Apuntes para una historia sísmica de Quito," Centro Histórico de Quito, Problemática y perspectivas, dirección de Planificación del Ilustre Municipio de Quito, Ecuador.
6. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, GEOHAZARD INTERNATIONAL, ILUSTRE MUNICIPIO DE QUITO, ORSTOM QUITO, OYO CORPORATION, 1994, "The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project", A Compilation of Methods, data and Findings, Quito.
7. FOTOGRAFÍAS AÉREAS, Proyecto Quito, años 1967, 1977, 1989.
8. GUERRA R., 1986, "Estudio geológico de la zona sur del proyecto geotérmico Valle de los Chillos", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología Minas y Petróleos, Quito.

9. HALL M., MOTHESS P., 1994, "Tefroestratigrafía Holocénica de los Volcanes Principales del Valle Internadino, Ecuador", El Contexto Geológico del Espacio Físico Ecuatoriano, Estudios de Geografía, Vol.6 Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito.
10. HERRERA, R., 1986, "Mapa de Volcanes activos del Ecuador con posibilidad de reactivación", Estudio de los Volcanes: Corazón, Cotacachi, Cuicocha, Mojanda, Imbabura, Cayambe y Pululahua.
11. JIMENEZ E., 1999, "Zonificación de laderas inestables considerando el efecto sísmico, caso de las Cuencas de Rumipamba y Rumiurcu", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología Minas y Petróleos, Quito.
12. PEREZ V.H., 1986, "Estudio geológico-vulcanológico de la parte SSE del proyecto geotérmico Valle de los Chillos", Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología Minas y Petróleos, Quito.
13. RIVADENEIRA F., 1994, Apuntes de campo en la zona de Quito, trabajo inédito.
14. SOULAS, et al., 1991., "Tectónica Activa y Riesgo Sísmico en los Andes Ecuatorianos y el Extremo Sur de Colombia"., Boletín Geológico Ecuatoriano, Vol.2 No.1., pp. 3-11., Quito.

TRABAJO DE CAMPO

5.1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de microzonificar sísmicamente los suelos de la ciudad de Quito ha sido necesario realizar los siguientes ensayos de campo:

1. Ensayo Crosshole y Downhole de los suelos, mediante los cuales se encuentra la velocidad de propagación de las ondas de los suelos en cuestión.
2. Ensayo de vibración ambiental, mediante el cual se encuentra la frecuencia natural de vibración de los suelos.
3. Ensayo de penetración estándar de los suelos, mediante el cual se encuentran propiedades mecánicas de los suelos, tales como su peso específico.

Los criterios básicos para la determinación de los sitios en los cuales se realizaron los ensayos de campo, consideraron los distintos tipos de suelo de acuerdo a la litología y formaciones existentes en la zona, es decir, conos aluviales, coluviales, cangahua, suelos volcánicos, depósitos lacustres y fluviales, etc., cruzando esta información con los sitios en los cuales la información era escasa o inexistente considerando los ensayos realizados en el Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico en Quito. De esta manera es posible obtener la respuesta dinámica de cada uno de las diferentes litologías de acuerdo a las características del tipo de roca del que están compuestas.

La selección de los lugares en los cuales realizar los ensayos, se encuentra ligada de forma básica a las características geológicas debido a que depósitos de suelos granulares sueltos tales como depósitos fluviales, lacustres y coluviales pueden ser muy susceptibles a licuación. Este tipos de depósitos se encuentran presentes en las partes planas de la cuenca de Quito, San Antonio de Pichincha, y en el Valle de los Chillos y por ser suelos del Holoceno en su

mayoría, son más susceptibles que los depósitos más antiguos como los del Pleistoceno.

Además fue importante considerar las zonas de relleno, muy numerosas en la ciudad de Quito, debido a que los rellenos, aún compactados son materiales susceptibles a licuación. De esta forma se realizaron algunos ensayos en este tipo de zonas, las cuales fueron definidas mediante fotointerpretación. Las zonas de relleno frente a un sismo pueden provocar agrietamientos y subsidencias en el suelo, afectando seriamente las estructuras asentadas sobre estos sitios. En el *Mapa No.3, Mapa de Ubicación de los Ensayos Crosshole y la Red de Acelerógrafos*, están los 11 ensayos realizados en estudios anteriores y 15 ensayos correspondientes al presente proyecto.

5.2 ENSAYO CROSS HOLE

El Ensayo Cross Hole fue propuesto por Kenneth, Stokoe y Richard D.W, en 1972. El ensayo evalúa una de las propiedades dinámicas del suelo, como es la velocidad de propagación de ondas de corte.

Para realizar éste, se deben tener dos perforaciones de suelo, separadas una distancia recomendable entre 1.5 a 3.0 metros; para el presente ensayo se utilizó una separación entre pozos de 2.5 metros.

El Ensayo consiste en generar energía, a través de un impulso (golpe con un martillo) que es proporcionado al fondo de la primera perforación; este golpe crea ondas de corte que atraviesan horizontalmente al suelo hasta llegar a la segunda perforación, en donde se halla introducido un geófono, el cual recepta la onda de corte; el tiempo que le toma a la onda para llegar desde el martillo impulsor hasta el geófono se lo lee a través de un sismógrafo, el mismo que está fuera de los pozos. Con el tiempo medido y la distancia entre agujeros, se conoce la velocidad de propagación de la onda de corte, mediante la ecuación del movimiento rectilíneo uniforme: $V_s = e / t$.

Así, el ensayo Cross Hole se lo realiza en cinco sitios diferentes de la ciudad:

1. Sector Camal Metropolitano
2. Sector Guamaní
3. Sector Nueva Victoria – Sur de Quito
4. Sector Fundeporte
5. Sector Mañosca

El Anexo C muestra los valores de la velocidad de propagación de ondas de corte del suelo obtenidas para dichas perforaciones de suelo. Cabe mencionar que el ensayo se lo realiza a cada metro de profundidad de cada una de las perforaciones.

5.3 ENSAYO DOWN HOLE

El ensayo down hole de los suelos es similar al Cross Hole, la diferencia radica en que para su ejecución, sólo se requiere de una perforación de suelo.

En este ensayo, de igual forma se genera energía a través de un impulso, pero éste se lo hace en la superficie del suelo a una determinada distancia horizontal de la perforación. El golpe crea ondas, las mismas que son receptadas por el geófono que se encuentra dentro de la perforación de suelo. El tiempo que le toma en llegar a la onda, desde el martillo hasta el geófono es leído a través del sismógrafo. Para encontrar la velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo, se debe tomar en cuenta que la onda viaja en sentido diagonal, desde la superficie del suelo hasta el estrato donde se encuentre ubicado el geófono.

Los lugares en donde se realiza el ensayo down hole son:

1. Sector Carcelén Bajo – Colegio Americano
2. Av. Del maestro y Av. Real Audiencia de Quito
3. Sector Dos Puentes
4. Zona Industrial – Sur de Quito

5. Sector Conocoto – INFA
6. El Tingo
7. Complejo Liga Deportiva Universitaria – Pomasquí
8. Complejo la Contraloría – Pomasquí
9. Sector Santa Rosa – Cumbayá
10. Sector Santa Rosa (sur) – Cumbayá

El Anexo D muestra los valores de velocidades de propagación de las ondas de corte a cada metro de profundidad de los suelos indicados.

Cabe mencionar que los lugares en donde fueron realizadas las perforaciones, se escogieron de acuerdo a las unidades litológicas definidas, además algunos sitios se escogieron debido a la falta de información existente, relacionada con el tipo de suelos.

5.4 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR DE LOS SUELOS

El Ensayo de Penetración Estándar es uno de los más utilizados en el medio para el diseño de cimentaciones, por lo que se debe aprovecharlo de la mejor manera, así como lo hacen en países como el Japón, por ejemplo, lugar donde algunos investigadores han establecido ciertas correlaciones entre el número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar con la Velocidad de Propagación de las Ondas de Corte y el Módulo de Corte del Suelo.

En la presente investigación, se ha utilizado al ensayo de penetración estándar para encontrar el peso específico del suelo, ya que de acuerdo al número de golpes que proporciona el ensayo, se puede conocer su peso específico, dato que junto con la velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo servirán para modelar las columnas características de suelo de la ciudad en el programa de análisis dinámico PC – Shake.

5.5 ENSAYO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

El realizar estudios con respecto a las características dinámicas del suelo es de importancia ya que se ha demostrado que el daño provocado por un sismo a las estructuras depende, en muchos casos, de la manera cómo el suelo responde ante una sollicitación sísmica.

Existen algunos métodos para estimar las características dinámicas del subsuelo; a continuación se presenta la descripción de un método empírico, denominado técnica de vibración ambiental o de microtrepidaciones, el cual estima las características dinámicas de las capas superficiales del suelo, al medir solamente una serie de microtemblores en la superficie; mediante este método se puede establecer fácilmente una aproximación al período natural de vibración del suelo o su frecuencia predominante.

En el "Boletín de la Sociedad Sismológica de América", Vol. 88, se presenta el artículo "Simulation-Based Comparison of Four Site-response Estimation Techniques", cuyos autores son Coutel Fabien y Mora Peter, en el cual se menciona que los microtemblores o ruido sísmico de largo período y las grabaciones de sismos reales producen similares valores de período fundamental¹. Como resultado de estas investigaciones, Nakamura en 1989 propone la grabación de señales en una sola estación que, al dividir el espectro de la componente horizontal para el espectro de la componente vertical del ruido sísmico, se presenta una estimación de la función de transferencia del lugar. Adicionalmente, existe una pequeña justificación para la técnica en mención: Lermo y Chávez, 1994; Lachet y Bard, 1994 han observado en varias experiencias numéricas que, si los microtemblores consisten de ondas Rayleigh propagándose en una capa que descansa sobre el semi – espacio, la relación de Nakamura puede proporcionar la frecuencia fundamental del lugar analizado; sin embargo, no se tiene resultados confiables sobre la amplificación del sitio ¹.

Como se ha descrito previamente, el ensayo de vibración ambiental se basa en la Técnica de Nakamura, la misma que resulta ser muy conveniente y fácil de implementar, al obtener la frecuencia predominante de las capas superficiales del punto de interés. Debido a la sencillez de ésta es importante validarla y establecer sus limitaciones.

Nakamura en 1989, mediante la implementación del método alternativo en mención, en el cual se usa al ruido ambiental como principal fuente de datos, propone la determinación empírica de la respuesta local del sitio, basándose en la relación espectral entre las componentes de ruido horizontal y vertical del punto analizado. En otras palabras, la Técnica de Nakamura sugiere que la relación entre el espectro de la componente horizontal, denominada como H, con el espectro de la componente vertical, denominada como V, del ruido ambiental, viene a ser una aproximación de la función de transferencia, definiéndose a la función de transferencia como la división compleja entre el espectro de amplitudes de Fourier en la superficie de la señal de aceleraciones filtradas al atravesar la columna de suelo, para el espectro de amplitudes de Fourier en la base rocosa. Un espectro de amplitudes de Fourier se lo obtiene a partir de los datos proporcionados por un acelerograma: aceleraciones vs. tiempo, y ayudándose de la transformada de Fourier, para encontrar de esta forma el contenido de frecuencias del movimiento.

Se concluye que la función de transferencia es una función compleja, pues resulta de la división de números complejos. Así, al disponer del módulo de la función, se puede plotear los valores de amplitudes vs. frecuencia y mediante esta gráfica definir la frecuencia de vibración del sistema, representada como la abscisa que corresponde al máximo pico del gráfico.

Nakamura afirma que la función de transferencia encontrada con la técnica de vibración ambiental es similar a la explicada, por tanto del ensayo se presenta un gráfico en el cual se tendrá la frecuencia de vibración de la columna de suelo respectiva.

El procedimiento empleado por Nakamura ha sido analizado por varios autores, tales como: Field y otros, 1990; Lermo y Chávez – García, 1993; Field y Jacob, 1993, los cuales han concluido que el método es una buena aproximación para encontrar la frecuencia fundamental de depósitos sedimentarios. Este estudio ha sido comparado con los resultados obtenidos por modelos de análisis teóricos, realizados por Field y Jacob en 1995, Lachet y Bard en 1994 y Lermo y Chávez en 1994, sin embargo aún existen discusiones acerca de la aplicación de las microtrepidaciones para evaluar el nivel de amplificación de los sedimentos ¹¹.

5.5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO A UTILIZAR

El ensayo de vibración ambiental puede ser ejecutado mediante la utilización de diferentes equipos. Para este estudio se ha utilizado un acelerómetro “Altus Etna”, de Kinematics.

El equipo utilizado en este trabajo consistió básicamente de:

- Acelerógrafo
- Sensor
- Tarjeta de grabación de señales
- Bateria interna
- Computador portátil

El acelerógrafo, los sensores, la batería interna y la tarjeta se localizan en una caja metálica con base de aluminio, con el fin de protegerlos de las diferentes condiciones atmosféricas que se puedan presentar durante los ensayos, tales como lluvia, viento, etc. Las dimensiones de dicha caja son de 256mm. de ancho por 381mm. de largo y por 178 mm. de altura, con un peso total de 11.40 kg, en el que se incluye al peso de la batería; el rango de temperatura de operación del equipo varía entre -20°C y 70°C ⁶.

Además, existe el software correspondiente para el procesamiento de las señales obtenidas, proporcionado por el mismo fabricante del equipo, por medio del cual se encuentra la función de transferencia que define Nakamura. Las señales resultantes corresponden a tres componentes: una horizontal en el plano este - oeste, otra horizontal en el plano norte - sur y una vertical.

El computador portátil debe estar provisto de Windows 3.1 (mínimo), y poseer un drive que permita leer tarjetas de 8 Mb. que son las que utiliza el equipo de medición para la grabación de cualquier señal.

Para el funcionamiento del equipo se requiere un tiempo mínimo de carga de 4 horas, por medio de corriente alterna desde 100 a 250 voltios, así se asegura una utilidad aproximada de 36 horas de trabajo en el campo.

El manejo del equipo en el campo es simple, puesto que posee un solo botón de arranque con el cual se da inicio al registro de la señal; sin embargo, previo a la grabación de microtrepidaciones se deben editar ciertos parámetros que se encuentran en el programa Quicktalk, el mismo que es parte del software del equipo y mediante el cual se establece la comunicación entre el equipo y el computador. A continuación se describen brevemente los pasos a seguir para dar inicio con la grabación:

1. Encender el computador y verificar que en éste se encuentre el software correspondiente para el grabado y procesamiento de las señales.
2. Mediante el cable apropiado se conecta el equipo al computador.
3. Encender el equipo y esperar aproximadamente un minuto hasta que se establezca la mencionada conexión.
4. Con el programa Quicktalk se procede a editar los parámetros, para lo cual se escoge la opción "Edit Parameters", en donde aparecerá como primer punto "Station", ahí se debe señalar el número de canales que van a ser usados en el ensayo, para el caso son tres: dos horizontales y uno vertical.

El siguiente punto a editar se denomina "Streams", en donde se ingresa el tiempo del pre - evento y post - evento en segundos (tiempos descritos en el

numeral 5.5.2). Además se escoge el número de muestras por segundo para el ensayo. Este parámetro da las opciones de iniciar la grabación mediante una señal externa, como es el caso de un movimiento sísmico, o mediante el teclado; cuando se realiza el ensayo de vibración ambiental, al equipo se lo maneja manualmente por medio del teclado del computador.

5. Una vez editados estos parámetros, se procede a la grabación de la señal. Como se ha dicho se debe indicar al equipo mediante el teclado del computador para que comience la grabación, en ese instante en el equipo se enciende un botón de luz alterna denominado "event". Transcurrido el tiempo del pre – evento, el tiempo que se asigna para tomar la señal, para el caso de un minuto, y el tiempo del post – evento, el equipo se detiene mediante el teclado de la computadora. Las señales así grabadas quedan guardadas en la tarjeta de memoria del equipo.
6. Finalmente se procede al procesamiento de la señales, punto que se explica en el numeral 5.5.3

5.5.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Los sitios en donde se realiza el ensayo de vibración ambiental son los mismos en los que se realiza las perforaciones de los suelos, tanto para el ensayo Cross hole como para el ensayo Down hole.

Es importante mencionar que, generalmente, se trata de ubicar al equipo sobre lugares no asfaltados ni pavimentados, debido a que la señal puede perturbarse con la presencia de estos materiales sobre la superficie; en el sitio escogido se limpia y alisa para que el equipo quede lo mejor nivelado posible y, mediante un eje de coordenadas que trae consigo, se lo dirige siempre hacia el norte, para lograr mejores resultados según las especificaciones de éste.

En el numeral 5.5.1 se describió brevemente la edición de los parámetros del equipo de acuerdo a lo especificado en el manual del usuario. Se

recomienda realizar una primera medición en el campo para verificar la calibración del sistema.

En este caso, se tomó 100 muestras por segundo y el tiempo del evento fue asignado de un minuto de duración, aproximadamente. El tiempo del pre - evento es un tiempo requerido para que el equipo comience con el muestro y el del post - evento es el tiempo que se le da al equipo para que arroje los resultados, estos tiempos fueron calibrados a 5 seg. cada uno.

De esta forma, se dispone del equipo y el computador, previamente instalado el software, preparados para realizar el ensayo; el ensayo de campo es relativamente simple y rápido.

Para iniciar, tan solo se debe indicar dentro del software mediante la tecla "enter", una vez transcurrido el tiempo del pre - evento, ejecución y post - evento, se debe finalizar la grabación de igual manera que para su inicio, es decir mediante la tecla "enter", así el equipo guarda la información dentro de la tarjeta de grabación (tarjeta utilizada con una capacidad en memoria de 8 Mb).

Las señales así obtenidas son procesadas con tres programas:

1. Quicktalk (Qt)
2. Quicklook (Ql)
3. Power Spectral Density (PSD)

Por medio de Quicktalk se establece la comunicación entre el equipo y el computador, y como se ha descrito, en éste se calibran ciertos parámetros para iniciar la grabación. Quicklook muestra los acelerogramas de las componentes vertical y horizontales de las señales grabadas. El tercer programa denominado Power Spectral Density, muestra los resultados esperados, es decir el gráfico del módulo de la función de transferencia de la señal, que resulta al dividir el espectro en amplitudes de Fourier de la componente horizontal para el espectro en amplitudes de Fourier de la componente vertical. De ahí, se puede observar

los picos máximos de la función y sus correspondientes abscisas, una de las cuales viene a ser la frecuencia fundamental de vibración del suelo.

5.5.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos de las mediciones se guardan en la tarjeta de memoria del equipo, en archivos cuya extensión es .EVT, los mismos que se encuentran en formato ASCII.

Las señales así grabadas son transferidas a la computadora y procesadas con el software correspondiente.

Quicktalk ha sido diseñado para establecer la comunicación entre la tarjeta de grabación, incorporada dentro del equipo, y el computador (y viceversa), ya sea a través de un cable que va desde el equipo hasta el computador o por medio de un modem, es decir el programa permite transmitir las señales grabadas al computador.

Mediante Quicktalk se hace posible la calibración de los diferentes parámetros del equipo, tales como tiempo de ejecución, del pre – evento y del post – evento, número de muestras por segundo, etc.

Quicktalk muestra la fecha, hora y duración de la grabación, además permite dar inicio y fin a la reproducción de la señal.

Mientras que, Quicklook se ha diseñado para mirar el acelerograma resultante de las tres componentes (dos horizontales y una vertical) de la señal grabada.

El tercer programa denominado Power Spectral Density es usado para el procesamiento en sí de las muestras. Con éste se logra determinar la

aproximación de la función de transferencia, a la que se refiere Nakamura, entre las componentes de la señal: horizontal para vertical.

Los tres programas descritos funcionan bajo windows, por lo tanto su manejo es simple y rápido, dando de esta manera facilidad al usuario para encontrar los resultados buscados.

Para el procesamiento de cualquiera de las señales, Power Spectral Density es una herramienta muy versátil, puesto que al funcionar bajo windows, se requiere ingresar el nombre del archivo grabado que contiene los acelerogramas de las tres componentes de la señal, luego ir a la opción denominada "transfer function", opción que requiere del ingreso del nombre de la componente vertical (V) y el nombre de la componente horizontal (H), para de esta forma realizar la división respectiva, H/V y realizar el respectivo ploteo de la función de transferencia.

Quicklook muestra los acelerogramas de las tres componentes, por tanto Power Spectral Density obtiene dos gráficas de las funciones de transferencia, siendo éstas: H_1/V y H_2/V .

Con estos resultados se procede a encontrar el valor de la frecuencia natural de vibración del suelo; así, se escoge el pico máximo de la gráfica y su respectiva abscisa viene a ser la frecuencia buscada. Este procedimiento se realiza para las dos gráficas presentadas, cada una con su respectivo valor de frecuencia escogida, para de ahí sacar el promedio de los dos valores, constituyéndose éste como la frecuencia natural de vibración del suelo o su valor inverso: el período natural de vibración del suelo.

Es necesario resaltar que los valores asignados como frecuencias deben ser tomados con un buen criterio; considerando el tipo de suelo que se tiene en la región. Por ello, se debe tener una idea previa y general de los diferentes suelos que se presentan en el área. De esta forma se evitarán posibles errores

en el cálculo de las frecuencias, puesto que para un determinado suelo se tendrá un valor aproximado de período o frecuencia, dependiendo de la experiencia del analista en cuanto a propiedades dinámicas de los suelos se refiere.

Todas las señales han sido procesadas siguiendo el mismo procedimiento y los valores de los períodos encontrados se los presenta en la Tabla 6.1.

Finalmente, los valores de los períodos encontrados con el ensayo de vibración ambiental son comparados con los encontrados en la modelación dinámica de las columnas características de los suelos, mediante el programa Shake 91, dicha comparación se la realiza en el Capítulo siguiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COUTEL, FABIEN; MORA, PETER, "Simulation-Based Comparison of Four Site-Response Estimation Techniques", Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 88, Febrero, 1998.
2. CHAVEZ GARCÍA, FRANCISCO; LERMO JAVIER, "Are Microtremors Useful in Site Response Evaluation?", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, Octubre, 1994.
3. DIEHL, JOHN, "Ambient Vibration Survey: Application, Theory and Analytical Techniques", Application note by Kinometrics Inc., California.
4. DOBRY, RICARDO; OWEIS, ISSA; URZUA ALFREDO, "Simplified Procedures for estimating the Fundamental Period of a Soil Profile", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, Agosto, 1976.
5. GUTIÉRREZ, C.; LERMO, J.; NAVA, E.; SINGH, S. K.; COYOLI, R.; RODRIGUEZ, M.; MIJARES, H., "Registro de Temblores Pequeños y Medición de Microtremores en Acapulco para Microzonificación de la Ciudad", VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. I, Acapulco, 1989.
6. KINEMATRICS, Altus Etna, High Dynamic Range Accelerograph, Operations Manual, California, Diciembre, 1995.
7. LERMO, JAVIER; RODRÍGUEZ, MIGUEL; SINGH, S.K., "Observación de Microtemblores y su Aplicación en la Ingeniería Sísmica", Revista Geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Vol. 28, Enero – Junio, 1988
8. MUCCIARELLI, MARCO, "Reliability and Applicability of Nakamura's Technique Using Microtremors: An Experimental Approach", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 2, Italia, Mayo, 1998.
9. NAKAMURA, YUTAKA, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Sufsurface using Microtremor on the Ground Surface", QR of RTRI, Vol. 30, Febrero, 1989.
10. VACA, TANY, "Aplicación de la Técnica de Vibración Ambiental en la ciudad de Bahía de Caráquez", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, Octubre, 2000.

11. VOLANT, P; COTTON, F.; GARIEL J.C.; "Estimation of Site Response using the H/V Method. Applicability and Limits of this Technique on Garner Valley Downhole Array dataset (California)", 11th European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam, 1998.

PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

La información recopilada sobre estudios anteriores, el estudio de la geología y los ensayos de campo son la herramienta para la nueva modelación de las columnas características de suelo del Distrito Metropolitano de Quito mediante el programa computacional Shake 91.

Tanto el estudio de la geología como la información de estudios anteriores permiten preparar las campañas de perforaciones de suelo a realizarse. De igual forma los ensayos de campo permiten tener los datos necesarios para la modelación en el programa mencionado; estos datos corresponden a la velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo, N_{spt} y estratigrafía.. Además, mediante el ensayo de vibración ambiental se obtiene el período de vibración del suelo, dato que posteriormente es comparado con el que se obtiene mediante el programa Shake 91 y permite su calibración.

6.2 NUEVA MODELACIÓN DE LAS COLUMNAS DE SUELO

En el Capítulo 3 se explica la forma de utilizar el programa y las opciones que éste presenta, además, se modelan las columnas características de suelos de las 20 zonas propuestas en el Proyecto Manejo del riesgo Sísmico de la ciudad de Quito. Para el presente estudio se han revisado los datos de las columnas de suelo de esas zonas y se los ha corregido de acuerdo a los ensayos de campo realizados.

Los datos que se han revisado y corregido corresponden a:

1. Velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo, según el ensayo Cross Hole y Down Hole.
2. Número de golpes del ensayo de penetración estándar, mediante el cual se obtiene el peso específico del suelo.
3. Estratigrafía de las columnas de suelo propuestas.
4. Además, se conoce que gran parte de los suelos de Quito se hallan conformados por lo que se conoce como la cangahua. Para la implementación del programa computacional es necesario conocer curvas características de la variación no lineal del amortiguamiento y del módulo de corte vs. deformación de los diferentes tipos de suelos, la mayoría de estas curvas han sido caracterizadas por varios autores, por lo que su uso se restringe al criterio del usuario del programa, debido a que en el Ecuador los ensayos para obtener estas curvas con los suelos típicos del país, no han sido realizados por falta de equipo; sin embargo, para este proyecto se han utilizado los datos y curvas de varios ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad de los Andes de Bogotá - Colombia para otro proyecto de investigación de la EPN. Las muestras de suelo fueron escogidas de sitios donde se presentan suelos típicos de Quito, así:

- Zona de Rellenos: Sector Cumandá, junto al Terminal Terrestre
- Suelos Lacustres: Sector Jipijapa, Isla Tortuga e Isla Genovesa
- Suelos blandos: Sur de Quito, Sector Turubamba, junto a fábrica Novacero
- Depósitos aluviales: Sector El Bosque, Beck Rollo y José Jussieu
- Y principalmente la Cangahua: Vía a Nayón y de las Higuierillas

Los resultados utilizados corresponden a ensayos triaxiales dinámicos y de columna resonante.

Una vez revisadas y corregidas las columnas de suelos, se procede a la utilización del Shake 91, con el fin de encontrar los períodos predominantes de cada

uno de los suelos, sus funciones de transferencia y sus espectros de respuesta. Las columnas de suelos representativas de cada lugar, con sus respectivos datos de clasificación SUCS de los suelos, velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo, N_{spt} y espesor de capa, se encuentran en el Anexo E.

Es importante resaltar que en el Capítulo 3 se modelan veinte columnas de suelo y, como se explicó, se utilizaron nueve diferentes sismos escalados a 0.1g, 0.2g, 0.3g y 0.4g, para de esta manera comparar los resultados emitidos con cada uno de estas señales; sin embargo, en la nueva modelación se utilizaron tres sismos: sismo local, sismo continental (inland) y sismo subducción (sismos utilizados en el Proyecto Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito), y fueron escalados solamente a 0.4g, por cuanto esta aceleración representa la de mayor probabilidad de ocurrencia en la ciudad de Quito y la que mayor daño produciría.

En el Anexo F se presentan las funciones de transferencia obtenidas para cada una de las zonas.

6.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS DE PERÍODO NATURAL DE VIBRACIÓN DE LOS SUELOS, OBTENIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE VIBRACIÓN AMBIENTAL EL PROGRAMA SHAKE 91

Con el fin de llegar a mejores resultados, se realiza una comparación entre los valores de período fundamental de vibración del suelo obtenidos con el programa Shake y con el ensayo de vibración ambiental.

A continuación se presenta la Tabla 6.1, en donde se tienen los datos de período natural de vibración del suelo obtenidos con el programa de análisis Shake 91 y los mismos obtenidos con el ensayo de vibración ambiental.

| Zona # | Período (seg.) Shake 91 | Período (seg.) Vibración ambiental | Valor de Diferencia (%) |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Zona Q ₃ | 0.19 | 0.24 | 12 |
| Zona Q ₄ | 0.06 | 0.16 | 45 |
| Zona L ₈ | 0.08 | 0.40 | 66 |
| Zona F ₄ | 0.18 | 0.16 | 3 |
| Zona L ₆ | 0.21 | 0.29 | 6 |
| Zona R _{II} | 0.45 | 0.71 | 22 |
| Zona Q ₇ | 0.05 | 0.11 | 37 |
| Zona L _h | 0.05 | 0.30 | 71 |
| Zona Q ₅ | 0.05 | 0.18 | 57 |
| Zona L ₇ | 0.90 | 0.80 | 6 |

Tabla 6.1.- Comparación entre períodos con Shake 91 y microtrepidaciones

6.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con los resultados así obtenidos se procede a elaborar el mapa 2 de microzonificación de la ciudad de Quito, en el cual se incluyen los valores de los períodos de los suelos tanto de vibración ambiental como los del Shake 91.

En el Mapa No.2 *Mapa de Microzonificación Sísmica de los Suelos del Distrito Metropolitano de Quito*, se agrupa a los suelos según los perfiles de tipo de suelo detallados en el Capítulo I del Nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción: "Peligro Sísmico, espectros de Diseño y Requisitos de Cálculo para Diseño Sismoresistente", publicado en la revista Sigma del Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, en su edición especial de Noviembre de 1999. En este texto se ha clasificado a las condiciones geotécnicas de los sitios o perfiles de suelo de acuerdo

con las propiedades mecánicas del sitio y espesores de los estratos; así se citan a cuatro tipos de suelos*:

1. Perfil tipo S_1 : A este grupo corresponden las rocas y los suelos endurecidos con velocidades de corte mayores a 750 m/seg, con períodos fundamentales de vibración menores a 0.20 seg. Se incluyen los siguientes tipos de suelos:
 - Roca sana o parcialmente alterada constituida por lavas, depósitos de avalancha.
 - Depósito potentes de cangahua y tobas tipo arenas consolidadas
 - Suelos cohesivos duros que corresponden a depósitos aluviales
 - Arenas densas con N_{spt} mayores a 50, con espesores menores a 20 m. Sobreyacentes a roca u otro material endurecido con velocidad de onda de corte superior a 750 m/seg.
 - Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados, tobas y conglomerados con N_{spt} mayores a 50.

2. Perfil tipo S_2 : Suelos intermedios. Suelos con características intermedias entre los perfiles de suelos tipo S_1 y S_3 . Estos suelos corresponden a depósitos de cangahua de poco espesor no muy consolidados, depósitos lacustres y depósitos laharíticos sobreyacentes a potentes estratos de tobas y cangahuas.

3. Perfil tipo S_3 : Suelos blandos o estratos profundos. En este grupo se incluyen los perfiles de suelos blandos o estratos de gran espesor, en los que los períodos fundamentales de vibración son mayores a 0.60 seg. Estas zonas corresponden a potentes estratos de arenas volcánicas, caídas de cenizas y gravas poco consolidadas y muy dezlénables, suelos limosos de origen orgánico con altos niveles freáticos y zonas de relleno en el cauce de antiguas quebradas.

* Revista Sigma, Revista de la Fundación Ecuatoriana de Ingeniería y del Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, Novena edición, Noviembre, 1999.

El Mapa No.2 *Mapa de Microzonificación Sísmica de los Suelos de Quito*, se convierte entonces en el elemento de información complementario de el capítulo 1 del nuevo Código y convierte a la ciudad de Quito en la primera ciudad en contar con este instrumento técnico y científico el cual a su vez permitirá a su gobierno local definir políticas de reordenamiento territorial del distrito metropolitano.

6.5 CONCLUSIONES

6.5.1 Conclusiones Generales

- El basamento cuaternario del área Metropolitana de Quito, se encuentra constituido por rocas de origen volcánico de edad Plio - Pleistoceno a Pleistoceno superior que tiene como fuentes de origen los volcanes Atacazo y Rucu Pichincha, Ilaló y al norte el volcán Casitagua.
- El relleno de la cuenca de Quito y del Valle de los Chillos se encuentra constituido por volcanosedimentos que pueden llegar a espesores mayores a los 200 metros. La Unidad Fluvial Quito, parte del relleno de la cuenca de Quito, de edad Pleistoceno superior, tiene mucha importancia en la evolución geológica de la cuenca, ya que marca el inicio de la actividad tectónica del sistema de fallamiento inverso que separó la cuenca de Quito del Valle de los Chillos.
- La cangahua se encuentra muy distribuida en el área de estudio y se compone de material volcánico meteorizado in situ o retrabajado en períodos donde la actividad volcánica fue mínima o inexistente. Estos últimos depósitos tienen edades entre Pleistoceno superior a Holoceno. La cangahua como depósito presenta variaciones laterales importantes dentro de su litología desde arenas gruesas, arenas finas y limos en zonas de mayor humedad, además presentan intercalaciones de flujos de lodo, pómez diseminada y depósitos de cono aluvial.

- En la parte norte de la zona afloran cangahuas jóvenes de edad Holoceno superior que presentan estratos menos potentes y poco consolidados que cubren los depósitos volcánicos holocénicos del Volcán Pululahua.
- En la cuenca de Quito los depósitos más jóvenes corresponden a la Unidad fluvio-lacustre La Carolina (Alvarado, 1996), la cual presenta variaciones laterales muy bruscas observadas de una excavación a otra y las delgadas capas de suelos volcánicos que cubren las laderas del Pichincha y que afloran sobre los 3400 msnm.
- En la parte suroriental de la zona existen importantes depósitos laharíticos correspondientes a las últimas erupciones del volcán Cotopaxi y que se encuentran sobreyacentes a potentes estratos de cangahuas y tobas pleistocénicas.
- El ensayo de vibración ambiental resulta ser una herramienta de fácil uso y de gran utilidad, tanto para conocer el período fundamental del suelo como para realizar la microzonificación sísmica de una zona, sin embargo, la técnica puede presentar limitaciones en el caso de su aplicación cuando se tiene una geología local compleja como es el caso del Distrito Metropolitano de Quito.
- Una aplicación trascendental de la técnica de vibración ambiental y específicamente de la evaluación de la frecuencia predominante del suelo, es parte de lo que se conoce como el estudio de microzonificación, por lo que la estimación de estas frecuencias debe ser un parámetro fundamental dentro del código de la construcción.
- Las mediciones de microtrepidaciones obtenidas concuerdan con los resultados de la modelación de perfiles estratigráficos representativos de cada zona. Los valores de los períodos deben tomarse como valores referenciales de la magnitud

de los mismos para efectos de análisis generales de estructuras y aquellas que puedan calificarse como comunes. Para estructuras de particular importancia y especiales, el análisis individualizado de cada una de ellas, junto con un estudio particular de las condiciones del suelo, debe ser rigurosamente exigido.

- Las zonas cubiertas por estratos potentes estratos de cangahua y tobas muy consolidadas, así como zonas de arenas muy compactas y depósitos coluviales presentan valores menores a los 0.2 s. Los suelos con períodos de vibración mayores a 0.6 s se encuentran al norte y sur de la zona y corresponden a estratos profundos de arenas y gravas poco consolidadas, depósitos de limos orgánicos y zonas de relleno.
- Un ordenamiento territorial sin apoyo de microzonificación de una ciudad puede dejar dolorosos recuerdos en el futuro, por eso la necesidad de realizar estudios integrales para la planificación del crecimiento de la ciudad, de esta manera mapas de microzonificación como el obtenido al final del presente estudio, constituye una herramienta fundamental para este fin.

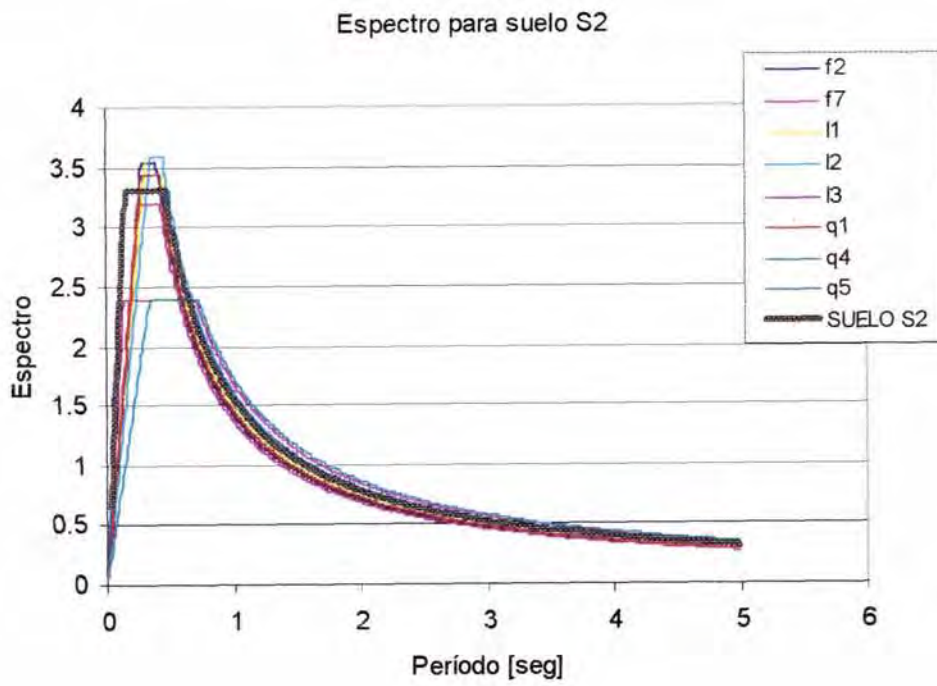
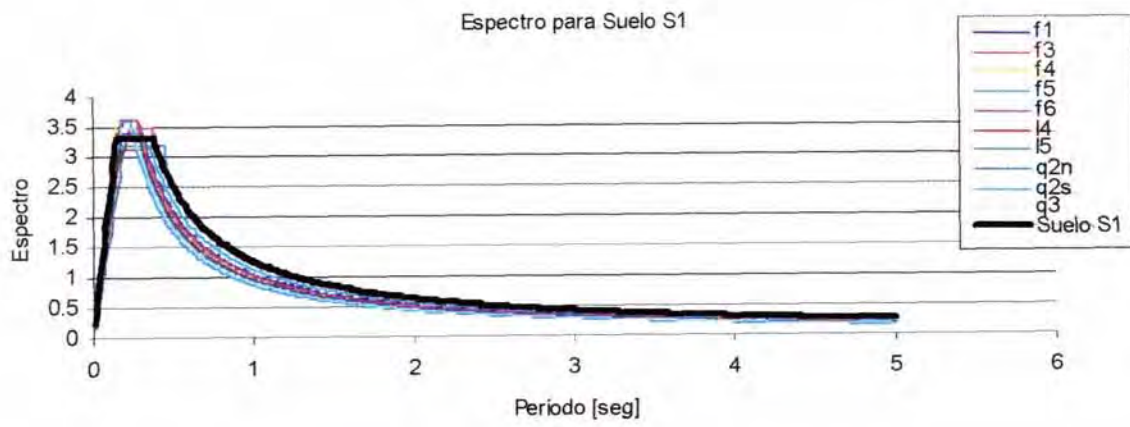
6.5.2 Conclusiones particulares

De lo expuesto en las secciones precedentes, queda claro entonces, que un proceso de microzonificación permite establecer zonas de distinto comportamiento frente a la acción de movimientos sísmicos en el área de interés.

El principal objetivo del presente estudio fue el de ubicar en el distrito metropolitano de Quito, los cuatro distintos tipos de suelos a los que hace referencia el Nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción en su capítulo correspondiente a la zonificación sísmica del Ecuador y la definición de su espectro para efectos de diseño, así como señalar zonas de distinto comportamiento si es que los hubiera. A continuación se señalan las conclusiones particulares de este estudio:

- Para efectos de diseño de obras comunes, el distrito metropolitano puede ser dividido en tres zonas de comportamiento dinámico similar, aunque sus características físicas sean diferentes. De acuerdo a la clasificación señalada en el Código, éstas corresponden a los suelos tipo S1, S2 y S3, con períodos fundamentales de vibración estimados entre 0.2 y 0.6 segundos respectivamente.
- Aparentemente, en la ciudad no se encontrarían zonas de suelos extremadamente blandos o especiales, como aquellos designados como S4 en el Código, sin embargo, debe quedar claro que los sitios de potentes rellenos de la ciudad de Quito merecen un estudio detallado, el mismo que no ha sido motivo de la presente investigación. Es bien conocido que la mayoría de dichos rellenos no han sido técnicamente realizados, por lo que su comportamiento frente a acciones de tipo dinámico como las inducidas por terremotos, es aún poco conocida.
- Las zonas correspondientes a suelos tipo S1 presentan perfiles de suelos con características de alta rigidez y consistencia, esto implica bajos períodos de vibración del suelo. En general, los períodos de suelos bajos pueden afectar a estructuras de baja altura y pocos pisos, en el caso de un sismo si éstas no están técnicamente bien diseñadas y ceñidas a las especificaciones del Código en lo relacionado a configuración estructural y materiales.
- Las zonas que pertenecen a los suelos tipo S2 cubren un rango de períodos ligeramente mayores a las zonas tipo S1 por lo que las estructuras de mediana altura serían las que podrían llegar a estar comprometidas si no se realiza el estudio estructural adecuado.

- Las zonas del tipo S3 presentan períodos de vibración altos los cuales pueden afectar a estructuras altas y esbeltas cuyos períodos de vibración concuerden y se asemejen numéricamente con los de los suelos sobre los que se asientan.
- En todos los casos y para todas las zonas los datos y valores reportados en este **estudio no excluyen**, y así lo especifica el Código, la realización de un estudio específico tanto del suelo como de la estructura.
- Los límites de las zonas pueden variar en el futuro si se cuenta con mayor información técnica que contribuya a alimentar la base de datos, especialmente en lo relacionado con la geología de detalle y estructural y con la geotecnia.
- Por otro lado, tampoco se han identificado en el área de estudio zonas con potenciales de licuación altos, dado que las condiciones de los suelos no favorecen este fenómeno.
- Para el plan general de reordenamiento urbano del Distrito este estudio debe servir de base para la definición de los posibles uso y ocupación del suelo y de la tipología y altura de las edificaciones. Cabe insistir en que esta zonificación no es totalmente rígida ya que por naturaleza la distribución de los suelos y sus capas es errática encontrándose variaciones drásticas aún en pequeñas áreas.
- El Mapa No. 2 y la información de este estudio se convierten en una de las herramientas para el desarrollo de un plan de estudio de la vulnerabilidad de las edificaciones existentes y para una planificación técnica del uso del suelo y de reordenamiento urbano del Distrito.
- En la Figura No. 6.1 se presenta el resultado final de los espectros de diseño propuestos para cada una de las zonas definidas en el Mapa No. 2.



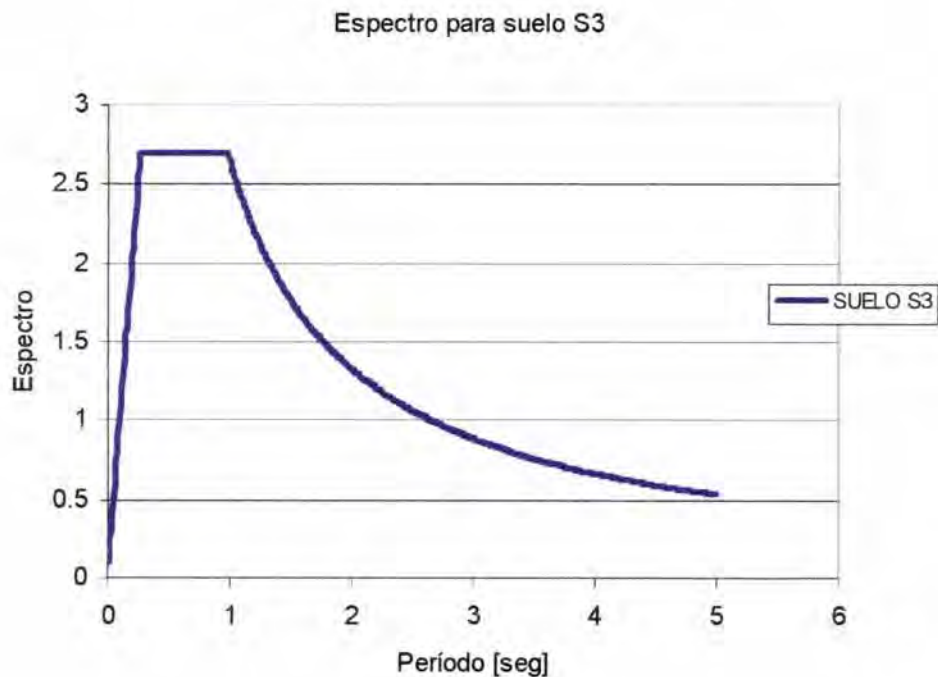


Figura N°. 6.1

- El período fundamental de vibración de una estructura, depende de su masa y rigidez; a su vez, la rigidez tiene que ver directamente con el tamaño de las secciones de columnas, paredes de cortante u otros elementos estructurales diseñados para resistir las cargas horizontales. En algunos países del mundo como Estados Unidos o Japón, por ejemplo, se cuenta con expresiones que relacionan el período fundamental de vibración de una estructura, con su número de pisos, obteniéndose valores muy cercanos a la realidad.

En nuestro país, desafortunadamente, no se cuenta con una expresión de ese tipo, por el momento, sin embargo en una siguiente etapa, la EPN considera

necesario realizar una campaña de medición de períodos de vibración sobre los distintos tipos de estructuras encontradas en el distrito metropolitano de Quito. Recientes trabajos como el de la zonificación estructural de Quito (Castro,2000), apuntan precisamente a la determinación de esas características en las edificaciones que aquí se construyen.

De todas maneras, la versión antigua del Código Ecuatoriano de la Construcción sugería la utilización de la expresión $T = 0.1 N$, para estimar el período fundamental de vibración de una estructura de N pisos de altura, la que no siempre proporciona resultados satisfactorios, en todo caso, si nos guiamos por esta expresión, para las zonas S1, estructuras pequeñas como de dos o tres pisos son las que podría verse mayormente afectadas, pues el período del suelo estimado para esa zona es de 0.2 seg.

En la zona S3 en cambio, las estructuras esbeltas cuyo período de vibración sea mayor que 0.6 seg., aproximadamente seis a siete pisos, son las que mayores daños podría sufrir. Finalmente, en la Zona S2, las estructuras entre dos y seis pisos, son las que deben diseñarse con mayor cuidado.

6.6 RECOMENDACIONES

- El sistema de fallamiento presentado en el *Mapa No. 1, Geología del Cuaternario del Distrito Metropolitano de Quito*, fue tomado del trabajo de tesis de Alvarado, 1996 y de ninguna manera constituye un trabajo de geología estructural del presente informe, por lo que se recomienda considerar importantes estudios tectónicos y neotectónicos existentes para su aplicación en diseños estructurales para el Distrito Metropolitano de Quito.

- Existen una serie de estudios y tesis de la geología de algunas zonas dentro del Distrito Metropolitano de Quito, por lo cual es recomendable partir de estos esfuerzos, sintetizarlos y profundizar el detalle de estos estudios a escalas de mayor detalle lo cual exige una inversión mayor tanto de tiempo como económica.
- En el Ecuador se están realizando las primeras experiencias con respecto a la evaluación de las propiedades dinámicas de los suelos, por lo que se requiere una sistematización de los datos con el fin de establecer un código de clasificación del sitio a partir de los períodos predominantes.
- Para complementar este estudio, se recomienda trabajar en al menos dos temas adicionales que son lo que tienen que ver con la consideración de los efectos topográficos en la respuesta tanto de suelos como de estructuras. Se conoce de manera cualitativa que efectivamente, en las zonas de lomas se esperan amplificaciones del nivel de aceleraciones, si se compara con las zonas planas. En la ciudad de Quito, esto ha sido reportado durante la ocurrencia de sismos como el de marzo de 1987 en que barrios ubicados en la González Suárez o en la zona del Bosque, reportaron haber sentido con mayor intensidad del movimiento. Por esta razón, es importante contar con instrumentación acelerográfica ubicada tanto en zonas planas como de lomas.
- El segundo estudio complementario es el que tiene relación con el mapeo y mejor localización de las zonas con mayor susceptibilidad de deslizamiento. Si bien el proyecto del plan de manejo del riesgo sísmico de Quito proporcionó un mapa de susceptibilidad de deslizamientos, se cuenta a la fecha con abundante información que debe ser incluida para actualizar ese mapa a la luz de reciente información obtenida en los años 1998, 1999 y 2000.

- Los trabajos que actualmente se llevan a cabo en el distrito metropolitano de Quito con apoyo de la cooperación francesa (IRD), relativo a la utilización de las técnicas de vibración ambiental y metodología de Nakamura para estimar las características dinámicas de los suelos y el presente, son complementarios, por lo que es indispensable que el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, busque los mecanismos para que los resultados de estos dos trabajos sean integrados.
- Finalmente la principal recomendación de este estudio se orienta hacia la instalación de una red de instrumentación local básica dentro del Distrito. Esta red debe ser instalada de acuerdo a la zonificación propuesta y con criterio técnico que permita en un futuro evento sísmico contar con registros propios de sismos provenientes de distintas fuentes sísmicas y sobre perfiles de suelo locales. La instalación de una red de acelerógrafos, tanto a nivel del basamento rocoso como en superficie, en diferentes lugares de la ciudad para conocer de manera directa y real el comportamiento dinámico de los suelos permitirá en el futuro ajustar la zonificación propuesta y contar con mejores herramientas de prevención ante la alta posibilidad de ocurrencia de un sismo. Este estudio presenta una probable ubicación de los instrumentos en un número mínimo dentro del Distrito (*Mapa No.3, Mapa de Ubicación de los Ensayos Crosshole y la Red Básica de Acelerógrafos*).
- Una clasificación general de las estructuras de Quito, de forma preliminar, ha permitido definir al menos 8 tipologías diferentes, cada una con distintos esqueletos sismorresistentes, por tanto, períodos fundamentales de vibración también diferentes. Para complementar la propuesta anterior se recomienda instrumentar al menos una estructura de cada tipo y en cada zona tipo (S1, S2, S3) y en aquellas estructuras de mayor altura se recomienda instrumentar en tres niveles diferentes.

- Esta instrumentación sería complementaria a la red de acelerógrafos sugerida anteriormente, por lo que el mínimo de instrumentos recomendado es de 40 instrumentos. El costo estimado de la red completa para suelos y estructuras del Distrito Metropolitano de Quito al momento sería de aproximadamente USD 200.000.
- Se sugiere que este costo podría ser cubierto total o parcialmente a través de una reglamentación municipal que cree un fondo para este propósito. Este fondo puede ser alimentado por varias fuentes relacionadas con el riesgo sísmico como Compañías de seguros, promotoras inmobiliarias, propietarios de edificios, usuarios, etc.
- Durante el mes de Mayo de 2001, la propuesta del nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción para el Ecuador, fue oficialmente aprobado por el INEN, organismo que de acuerdo a las leyes ecuatorianas está a cargo de la normalización en el país. Con base en este documento, el municipio del distrito metropolitano de Quito, debería adoptar este documento como norma para el diseño sismorresistente e ir un paso mas allá, al incluir ya la microzonificación propuesta en ese documento.
- Los resultados de este estudio necesitan complementarse con un estudio pormenorizado de los efectos topográficos, de la susceptibilidad de deslizamientos y la caracterización de las quebradas y rellenos potentes presentes a lo largo de la ciudad.
- La topografía es un factor de clara incidencia en la amplificación de los movimientos y al momento se cuenta con pocas herramientas, pero suficientes, para su análisis. Quito es una ciudad con una alta densidad de lomas y relieves que merece un estudio complementario.






- La reciente y mayor ocurrencia de deslizamientos en la ciudad, en especial durante épocas invernales, da cuenta de la reactivación de este fenómeno causada por la mayor ocupación de terrenos inestables y de alta susceptibilidad geológica y geotécnica. Esta componente debe ser estudiada con mayor profundidad y detalle para obtener un mapa de intervención y estabilización de las zonas de ladera y legislar sobre su utilización.
- El estudio y caracterización de los sitios de quebradas rellenadas permitirá tipificar y caracterizar con mayor precisión el comportamiento dinámico de estos depósitos. Sin embargo, los resultados de este estudio permiten tener una idea clara de los problemas que podrían tener las estructuras asentadas en este tipo de depósitos.

MAPA GEOLOGICO DEL CUATERNARIO DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

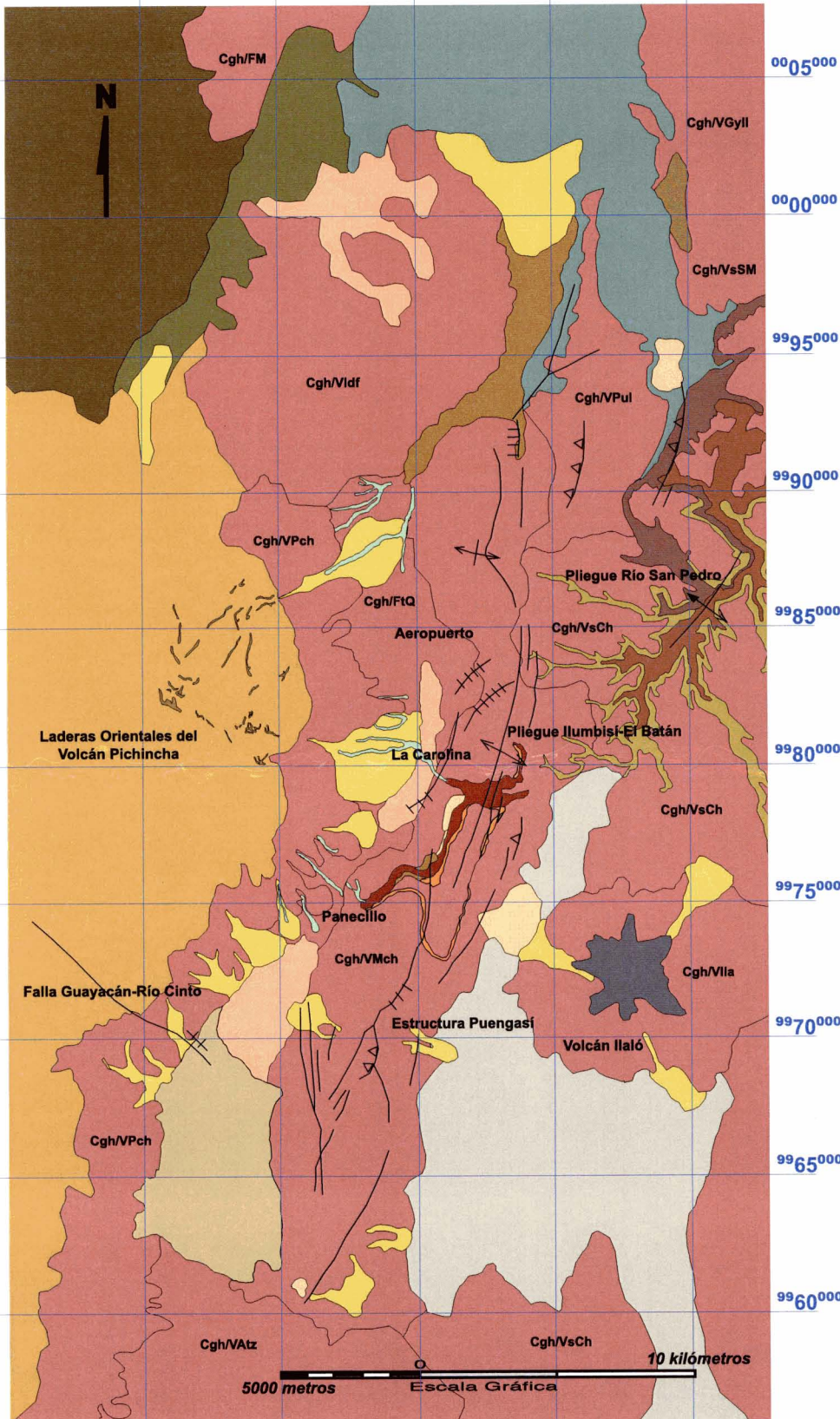
LEYENDA

-  Zona de relleno
-  Depósito lahárítico
-  Depósito coluvial
-  Depósito lacustre
-  Suelos de meteorización
-  Suelos volcánicos
-  Terraza aluvial
-  Volcánicos Pululahua
-  Cangahua (Cgh)
-  Depósito aluvial
-  Fluvialitl Quito (FtQ)
-  Volcano Sedimentos Chiche (VsCh)
-  Volcánicos Pichincha (lavas aflorantes, VPch)
-  Volcano Sedimentos San Miguel (VsSM)
-  Volcánicos Guayllabamba (VGyll)
-  Volcano Sedimentos Machángara (VMch)
-  Volcánicos Ilaló (Vlla)
-  Formación Macuchi (FM)
-  Formación Silante

CONVENCIONES

-  Contacto Litológico
-  Lineamiento
-  Pliegue
-  Falla normal
-  Falla inversa

Cgh/VsCh Relación estratigráfica de la cangahua



PROYECTO MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

CONVENIO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

MAPA No. 1
Distrito Metropolitano
de Quito

REALIZADO POR: Ing. Eliana Jiménez
Ing. Alexandra Alvarado
FECHA: abril del 2001



**MAPA DE MICROZONIFICACION
SISMICA DE LOS SUELOS DEL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

LEYENDA

 ZONA S1

Rocas y suelos endurecidos con velocidades de corte mayores a 750 m/seg y períodos de vibración menores a 0,2 seg. Incluyen zonas cubiertas por potentes estratos de cangahua y tobas muy consolidadas, zonas de depósitos coluviales y terrazas aluviales con arenas muy compactas.

 ZONA S2

Suelos intermedios con períodos de vibración entre 0,2 seg a 0.6 seg. Corresponden a depósitos de cangahua de poco espesor y no muy consolidados. Depósitos lacustres y suelos de meteorización, se encuentran también las zonas cubiertas por depósitos laháríticos.

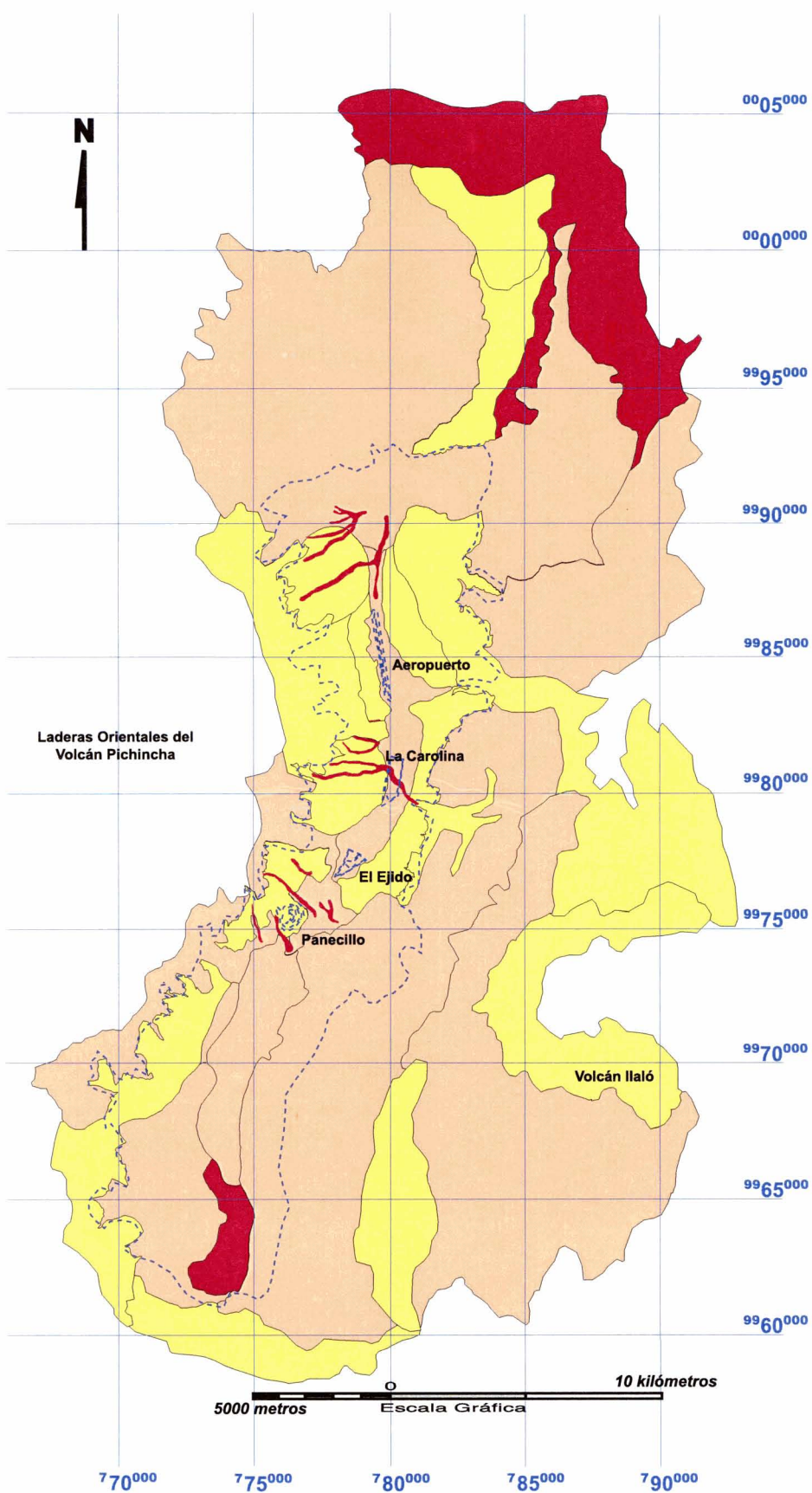
 ZONA S3

Suelos blandos o estratos profundos con períodos de vibración mayores a 0.6 seg. Incluyen estratos potentes de arenas y gravas poco consolidados, depósitos de limos orgánicos con nivel freático alto y zonas de relleno ubicadas en antiguos cauces de quebradas.

CONVENCIONES

 Contacto entre microzonas

 Límite de la ciudad y sectores importantes



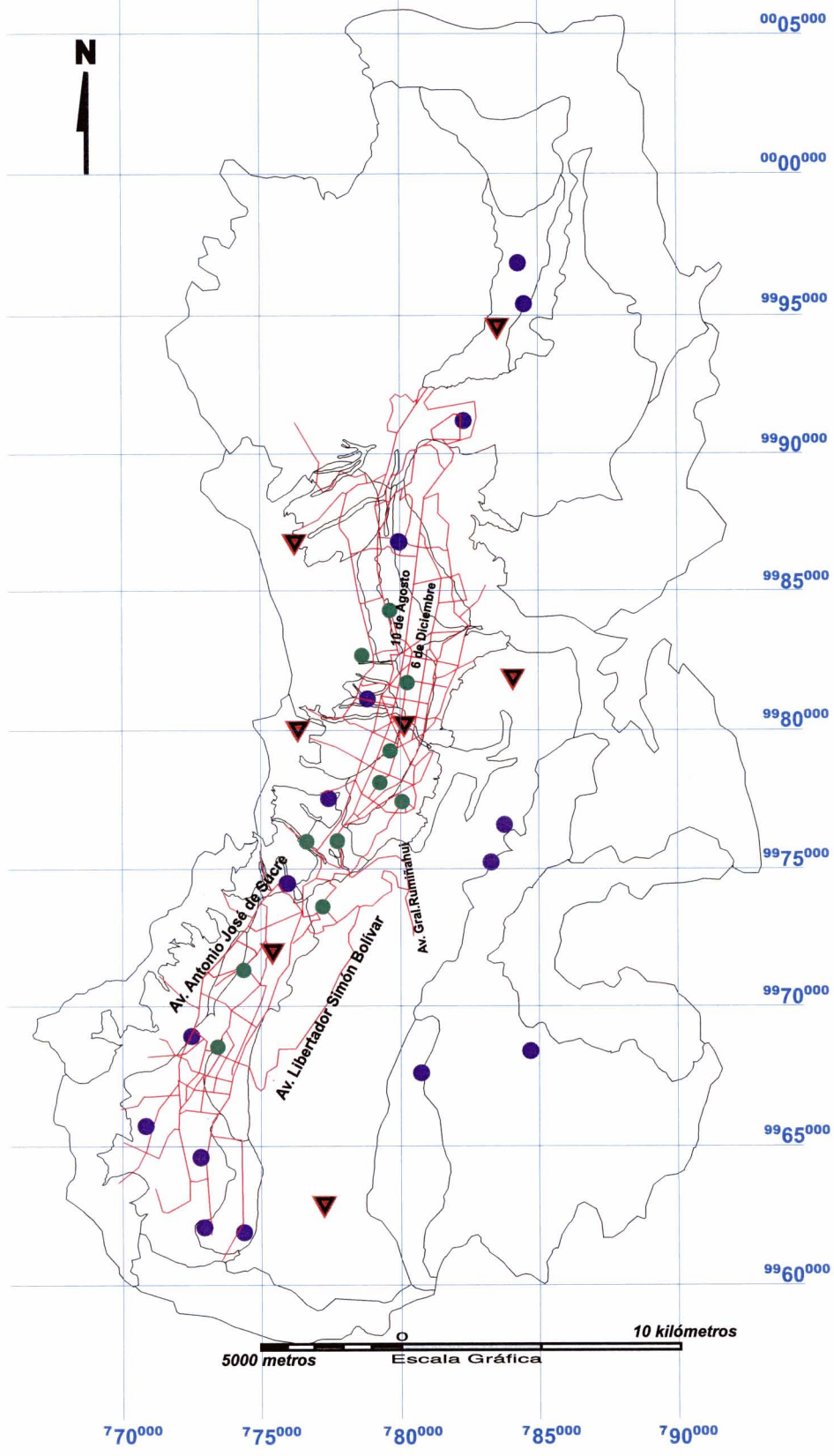
**PROYECTO MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS SUELOS DEL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**CONVENIO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**



MAPA No. 2
Distrito Metropolitano
de Quito

FECHA: abril del 2001



MAPA DE UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS CROSS HOLE Y ACCELERÓGRAFOS

LEYENDA



Microzonas



Sistema vial de la Ciudad de Quito

Propuesta de ubicación de la red básica de acelerógrafos



Ensayos Crosshole realizados en el presente estudio



Ensayos Crosshole realizados en los estudios anteriores



PROYECTO MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO



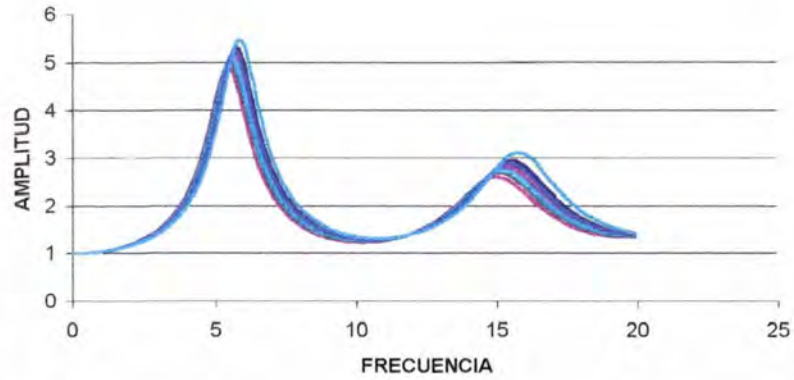
CONVENIO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

MAPA No. 3
Distrito Metropolitano
de Quito

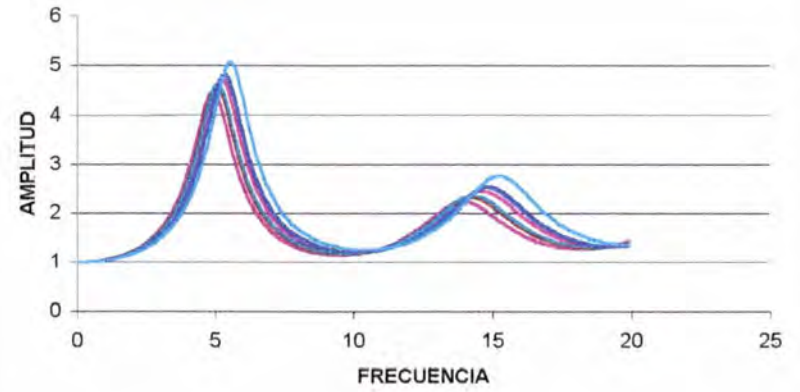
FECHA: MAYO DEL 2001

ANEXO A
FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

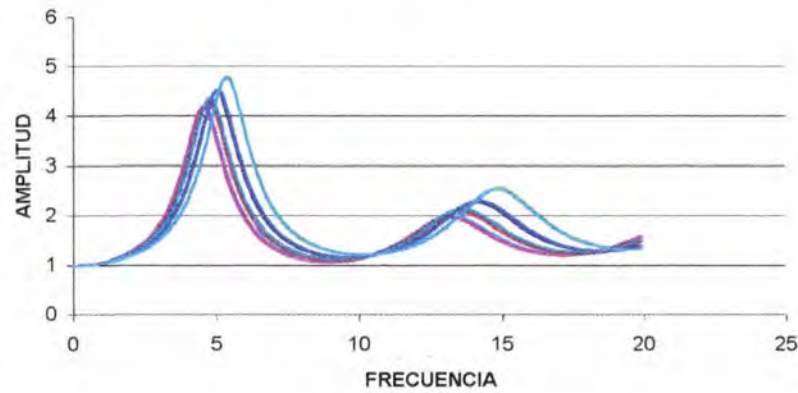
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F1 A 0.1 G



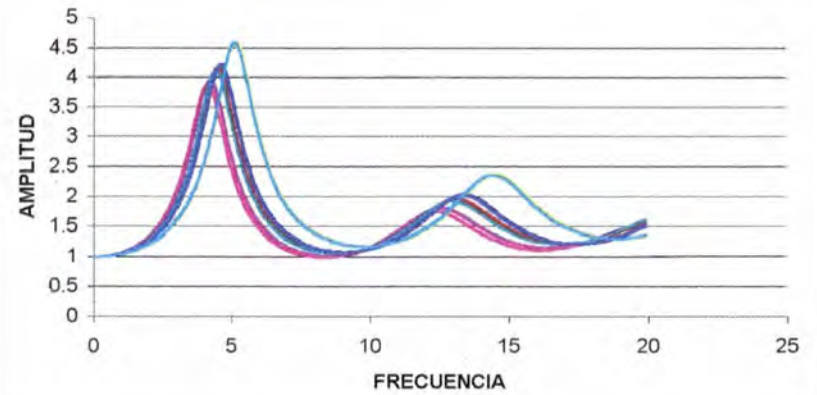
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F1 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F1 A 0.3 G

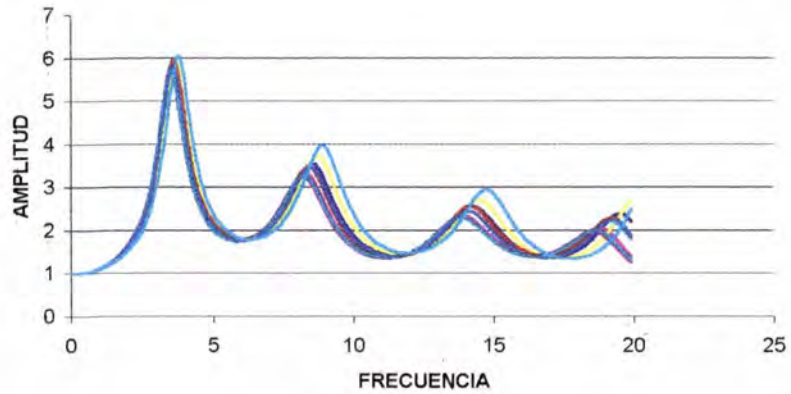


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F1 A 0.4 G

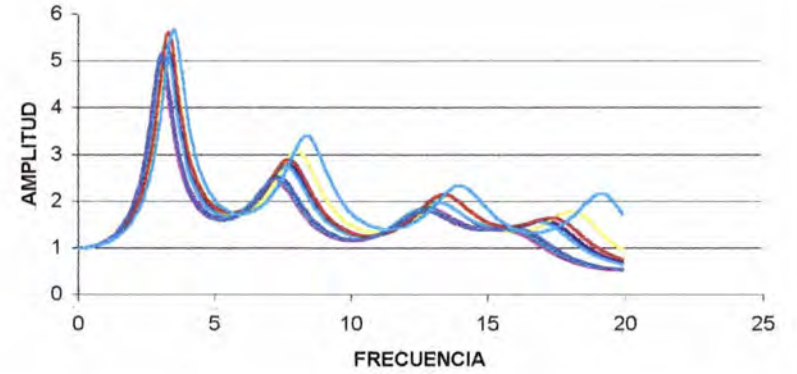


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

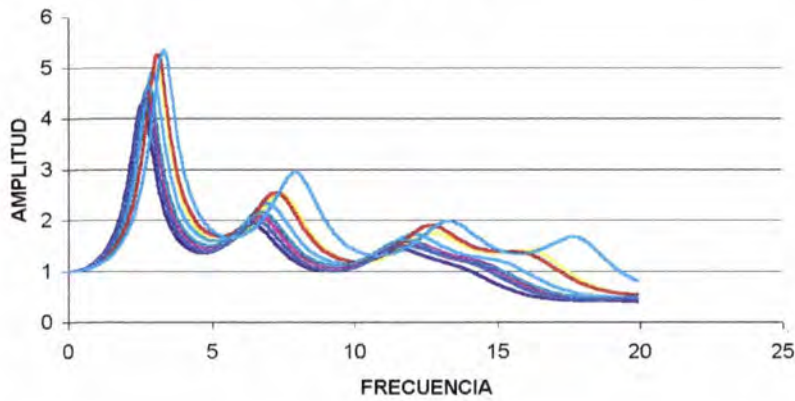
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F2 A 0.1 G



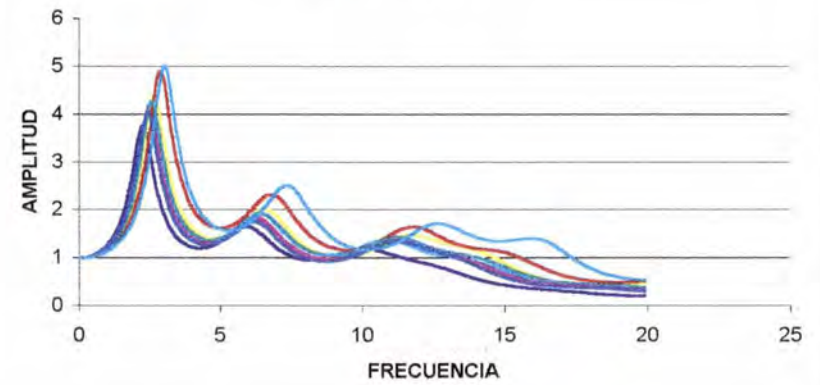
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F2 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F2 A 0.3 G

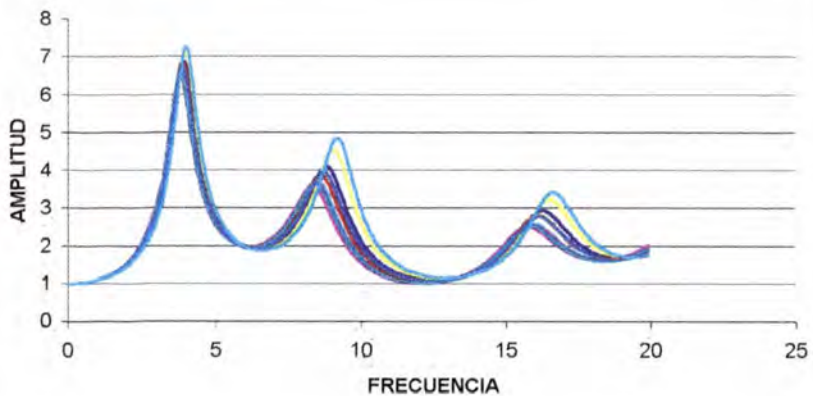


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F2 A 0.4 G

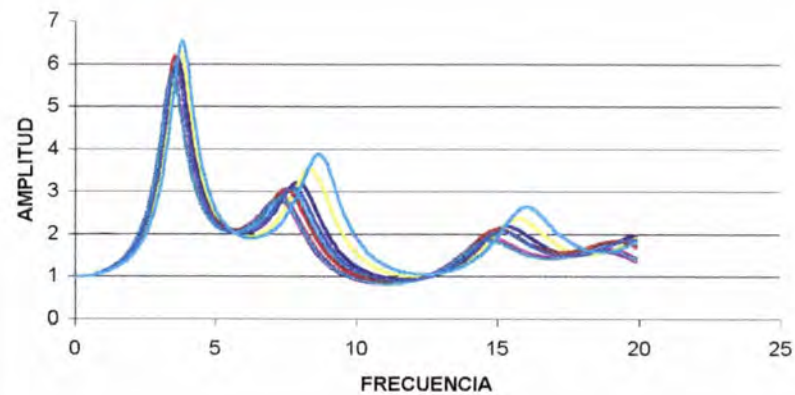


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

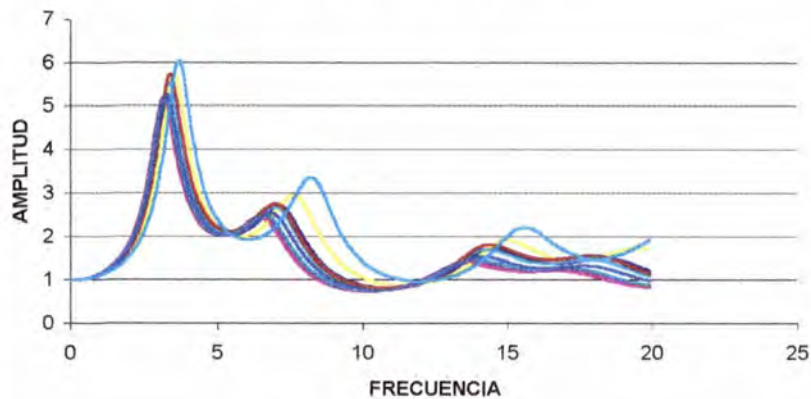
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F3 A 0.1 G



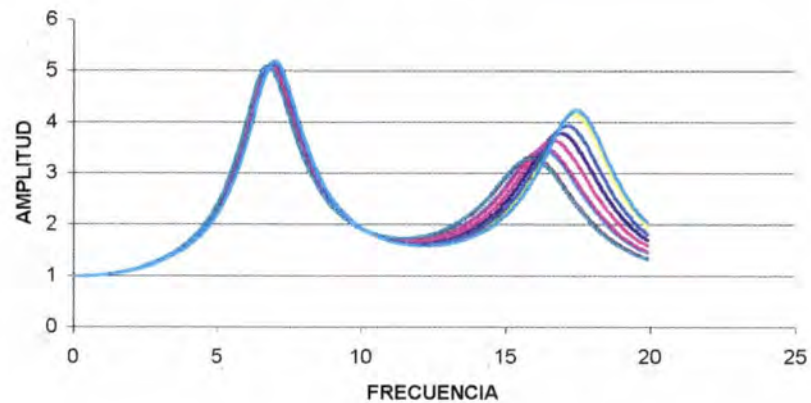
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F3 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F3 A 0.3 G

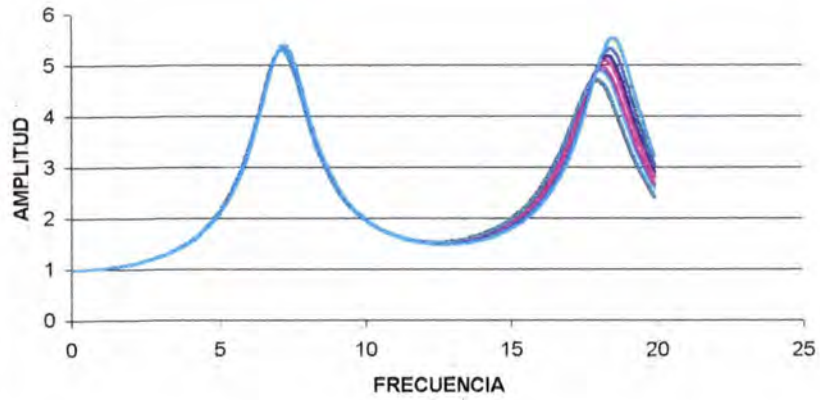


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F4 A 0.4 G

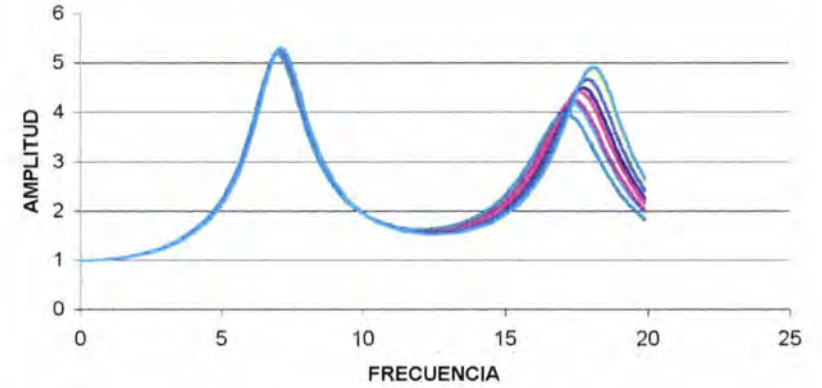


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

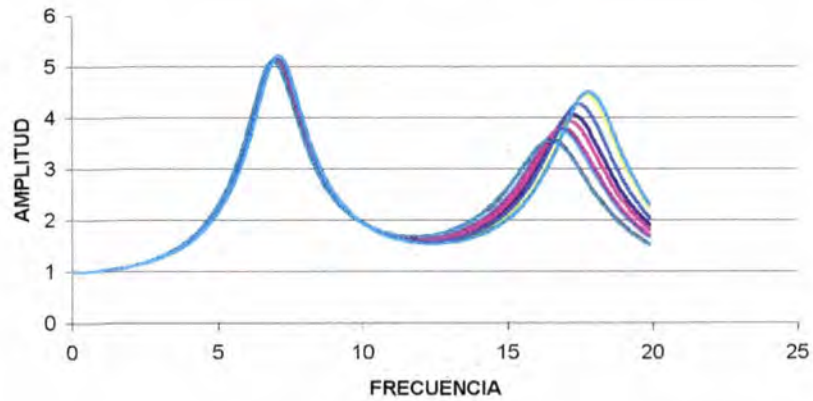
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F4 A 0.1 G



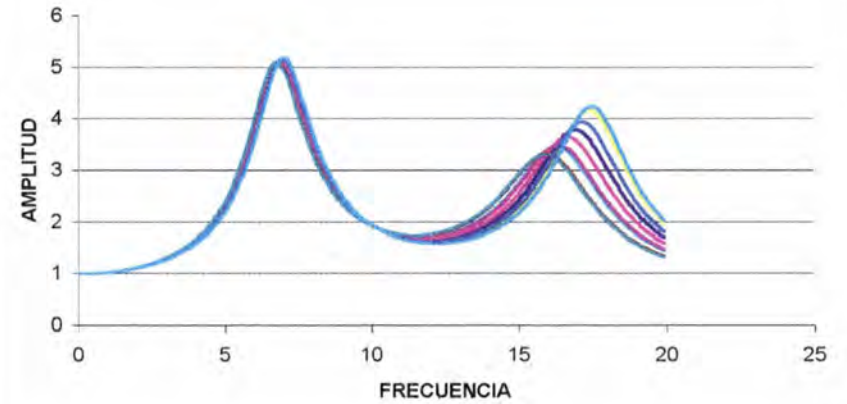
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F4 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F4 A 0.3 G

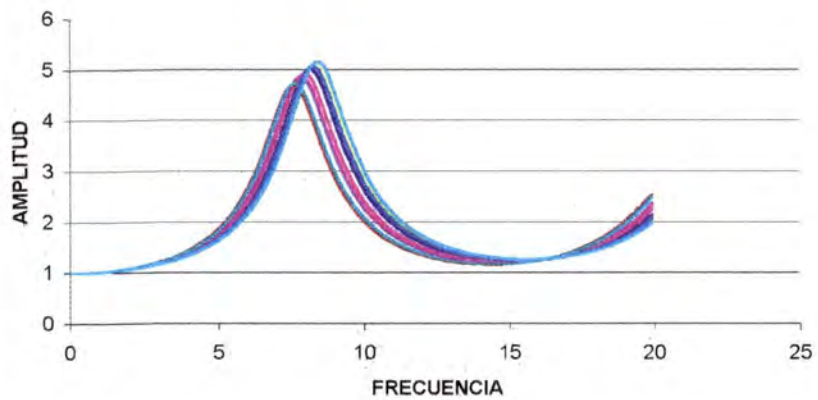


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F4 A 0.4 G

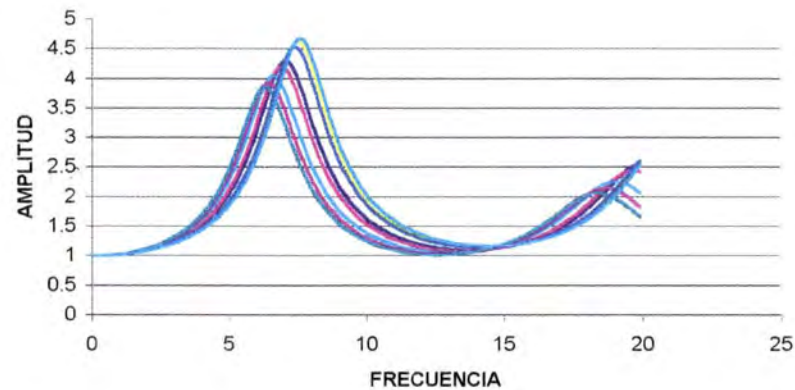


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

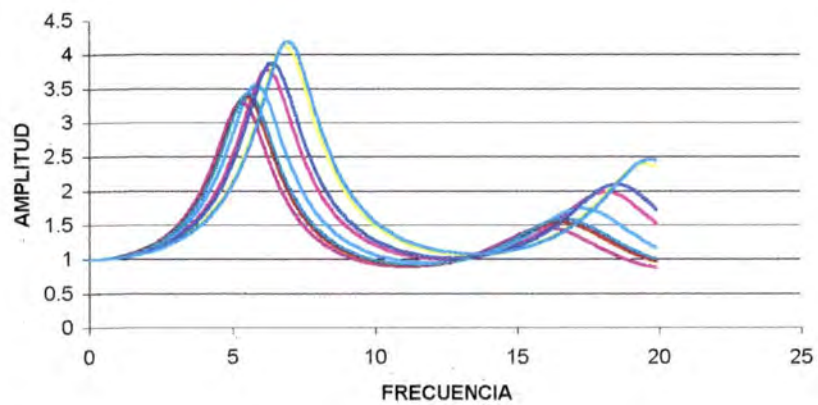
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F5 A 0.1 G



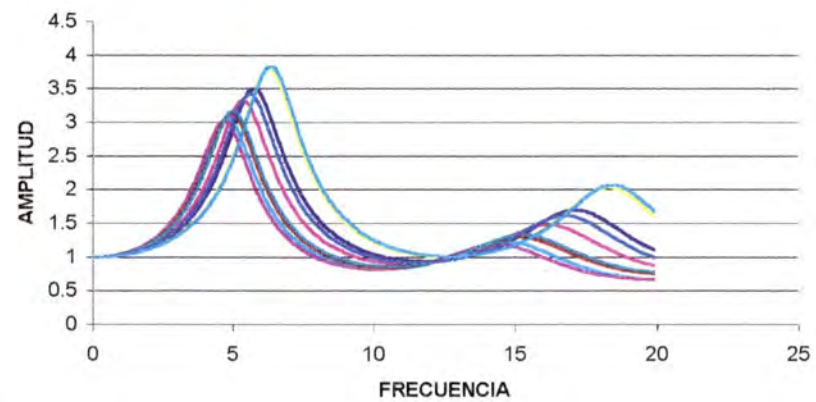
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F5 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F5 A 0.3 G

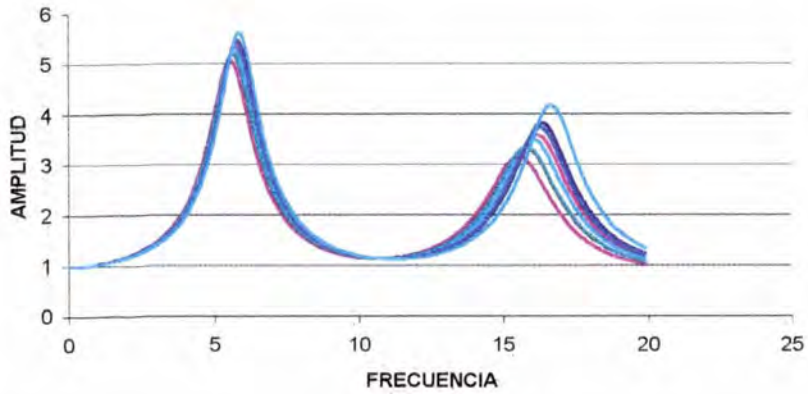


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F5 a 0.4 G

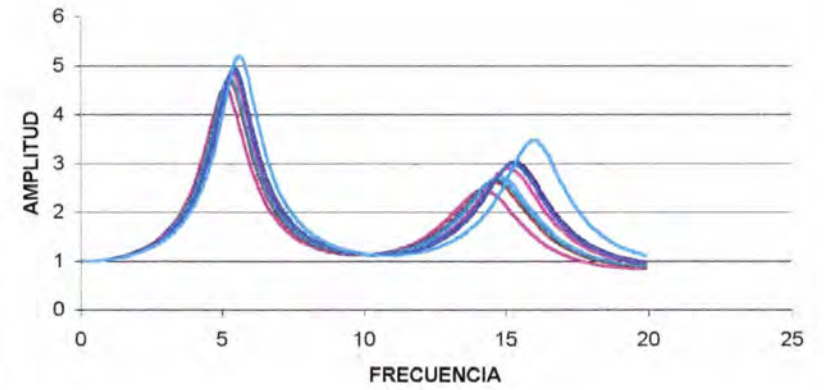


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

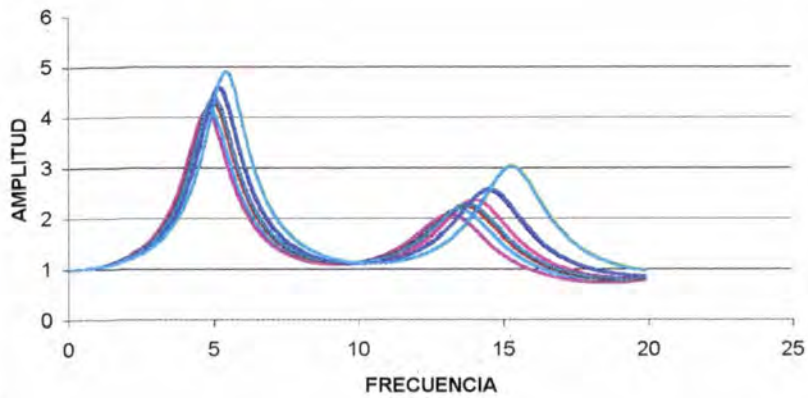
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F6 A 0.1 G



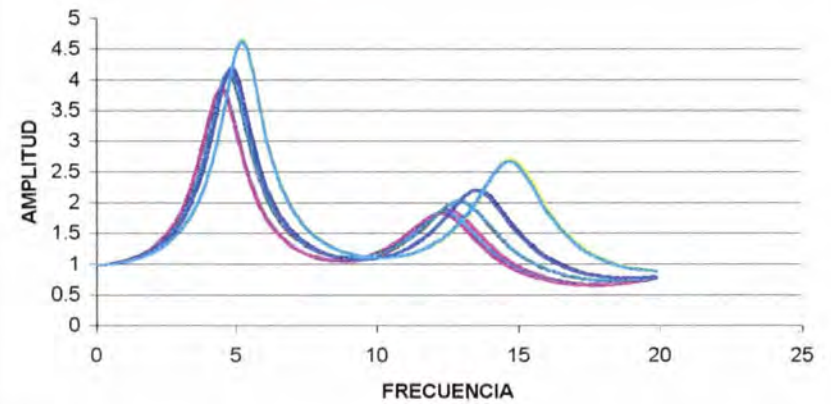
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F6 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F6 A 0.3 G

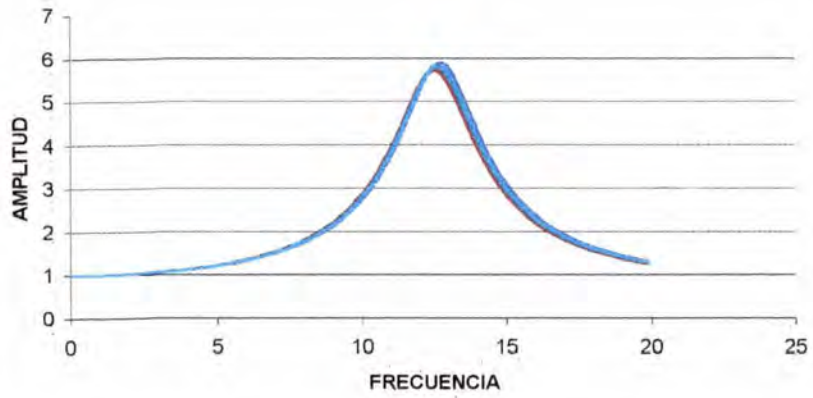


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F6 a 0.4 G

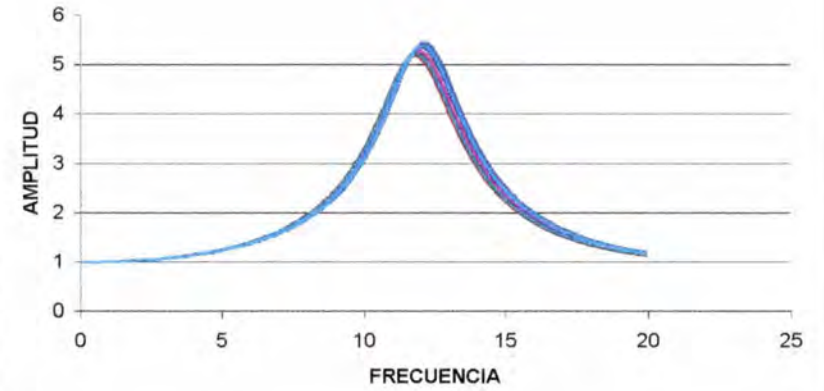


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F7 a 0.1 G

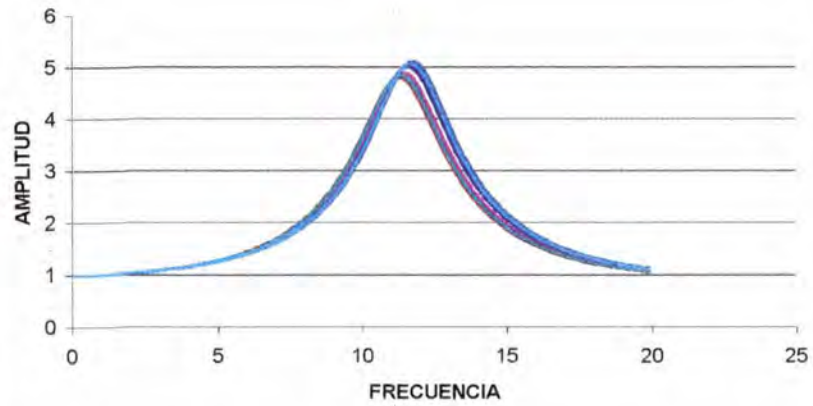


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F7 A 0.2 G

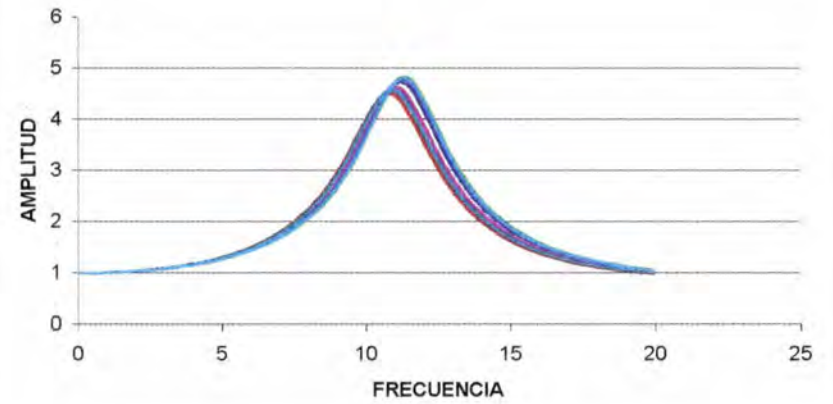


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

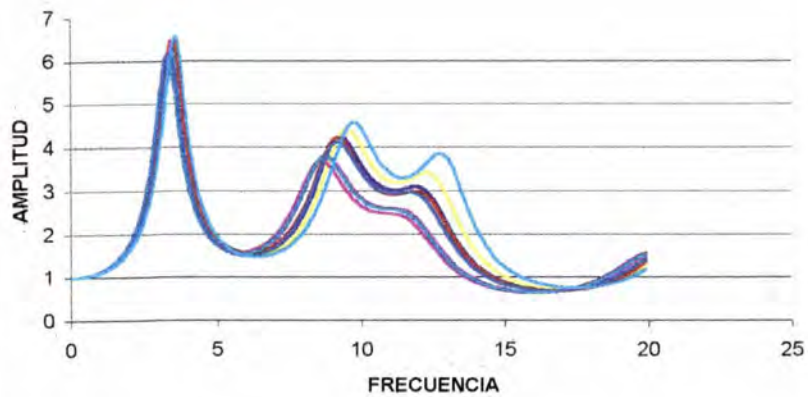
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F7 A 0.3 G



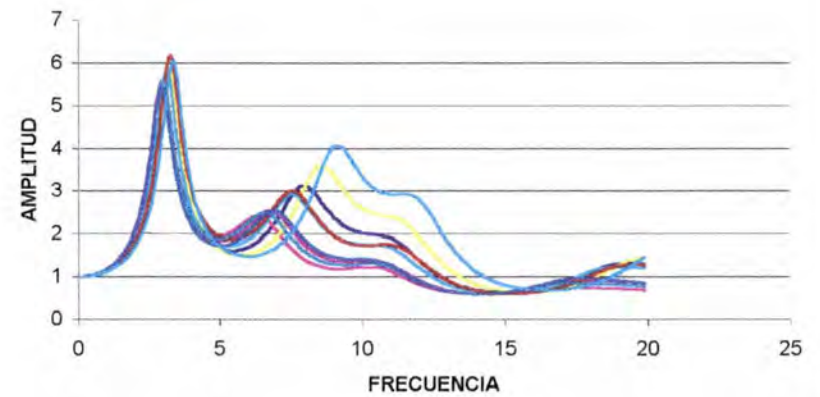
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F7 a 0.4 G



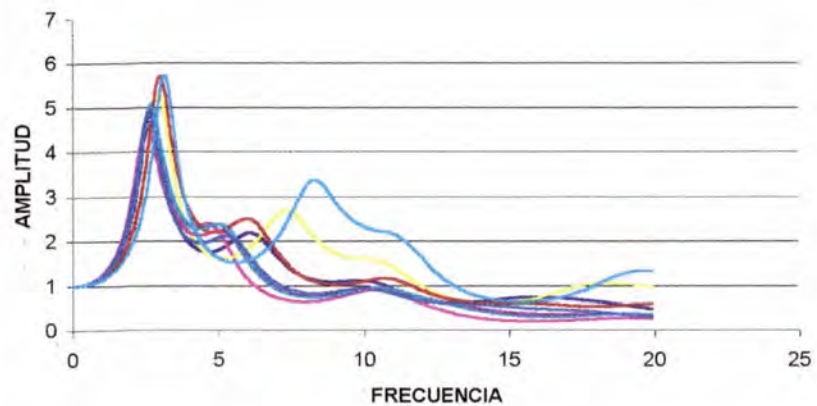
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L1 A 0.1 G



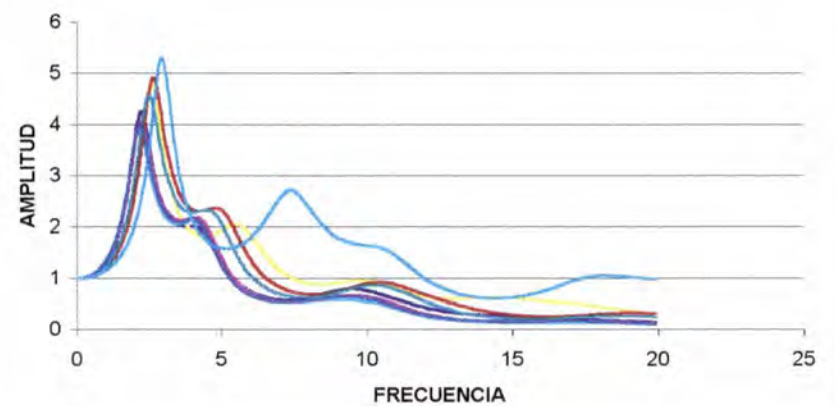
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L1 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L1 A 0.3 G

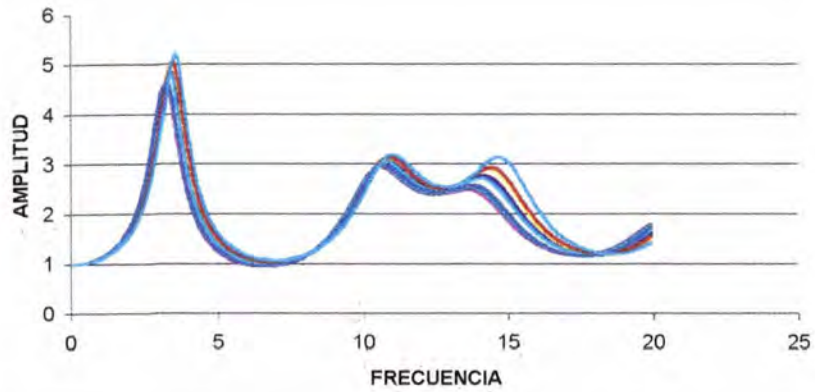


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L1 A 0.4 G

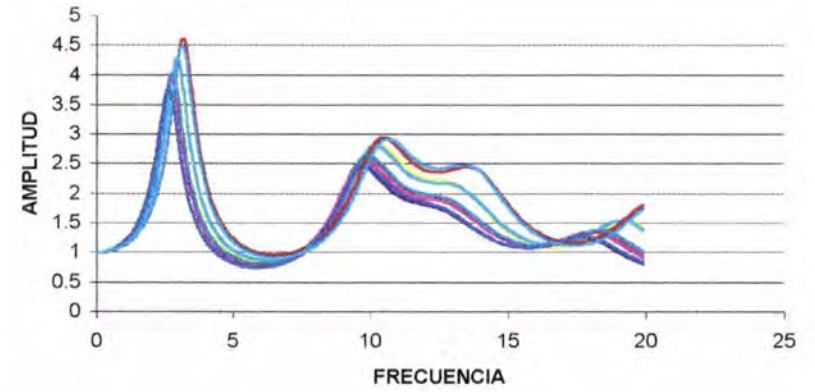


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

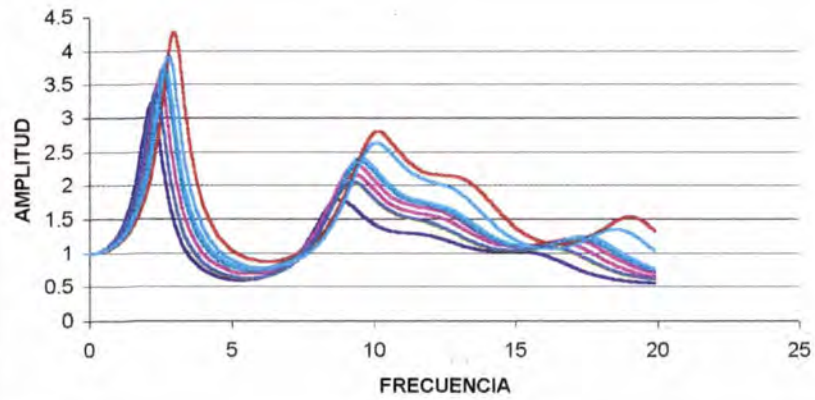
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L2 A 0.1 G



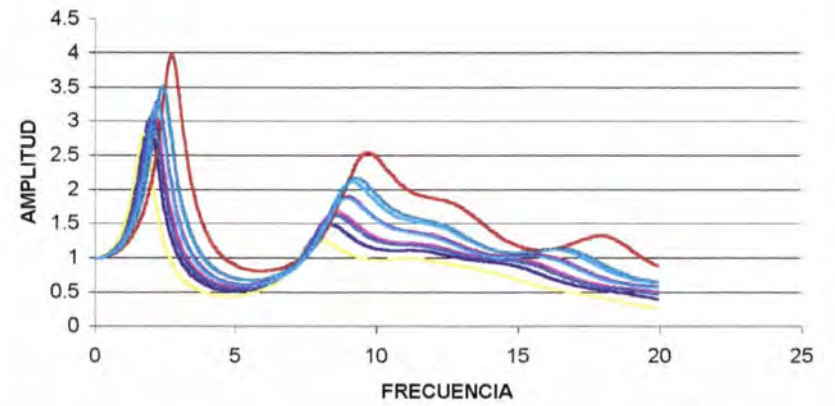
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L2 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L2 A 0.3 G

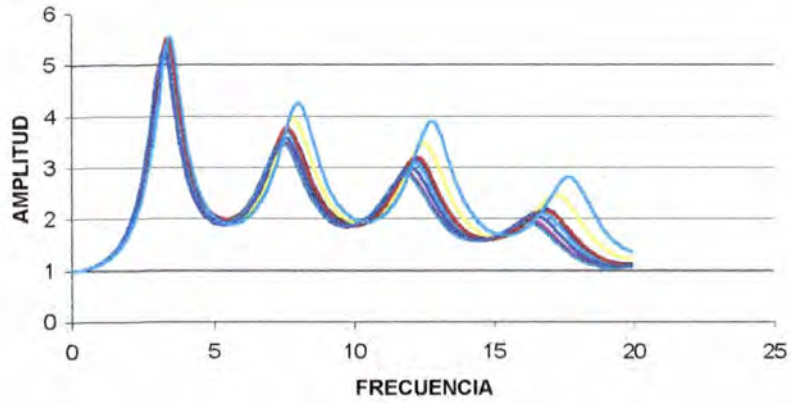


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L2 A 0.4 G

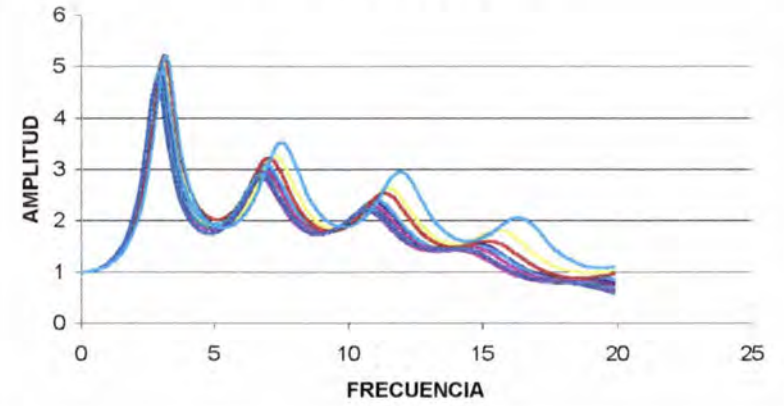


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACÓ LONG
- TUMBACÓ TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

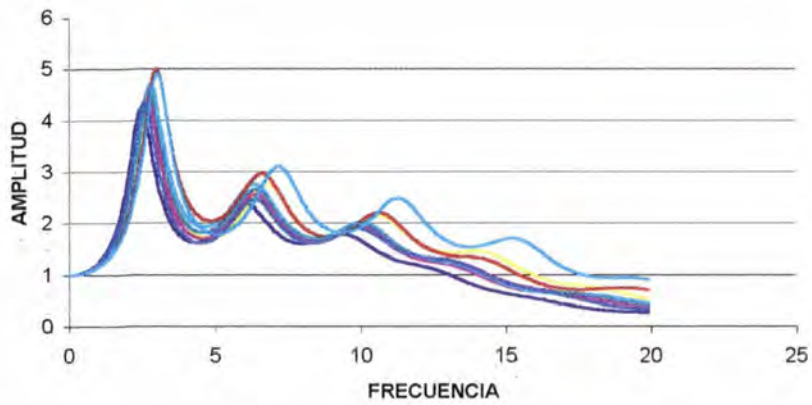
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L3 A 0.1 G



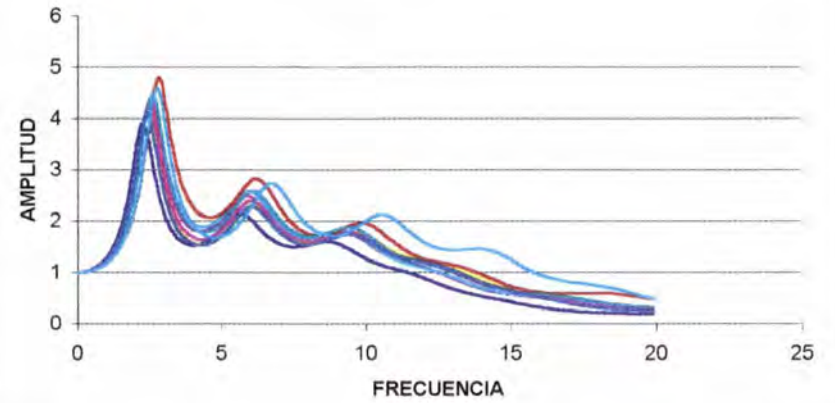
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L3 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L3 A 0.3 G

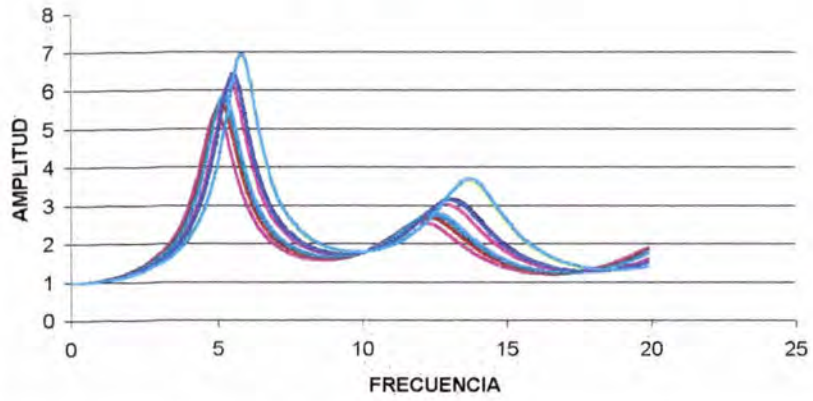


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L3 A 0.4 G

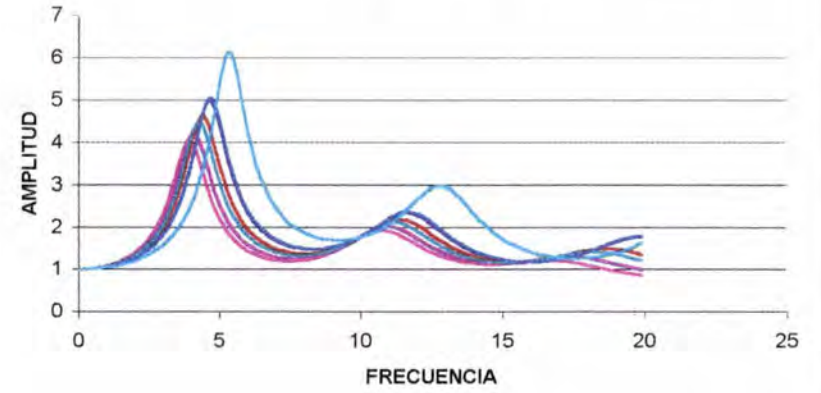


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

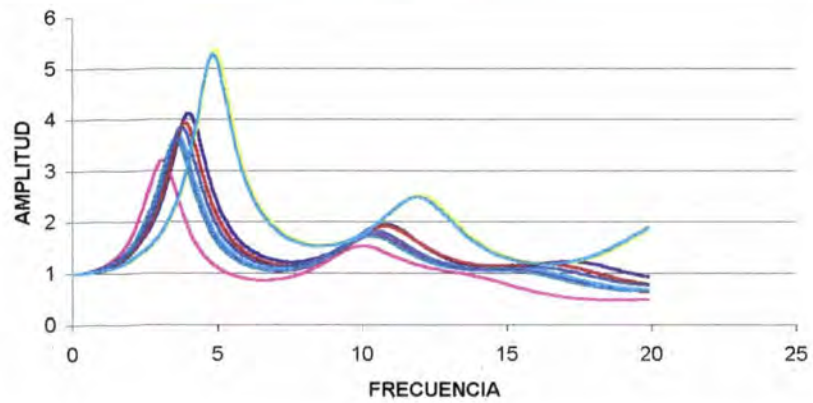
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L4 A 0.1 G



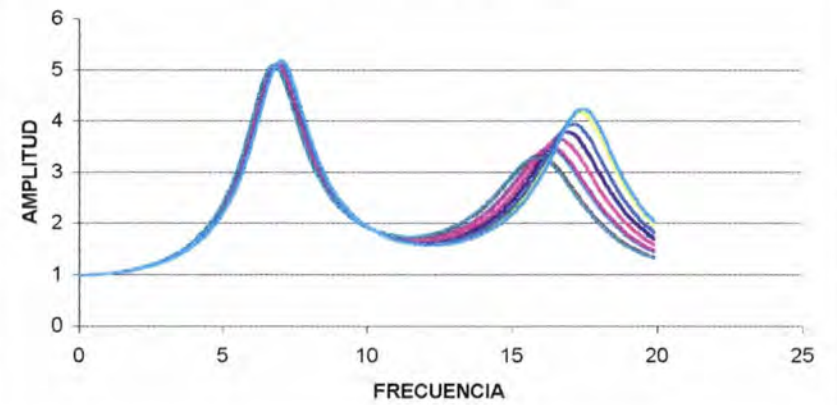
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L4 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L4 A 0.3 G

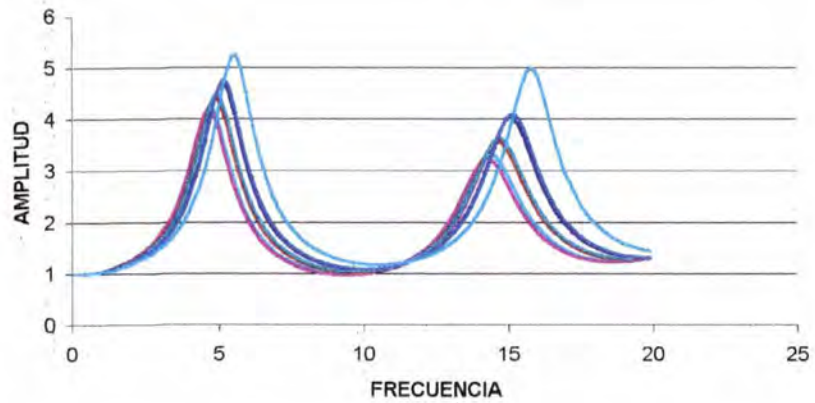


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L4 A 0.4 G

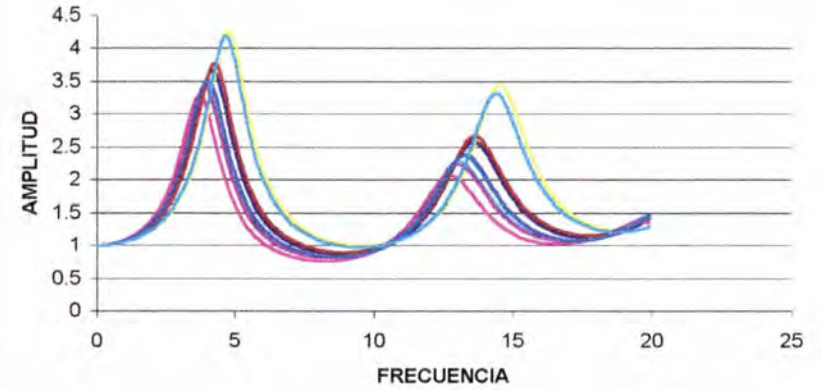


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

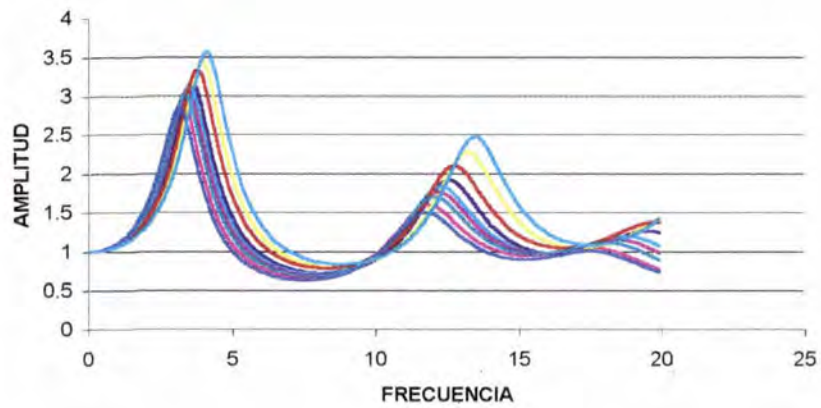
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L5 a 0.1 G



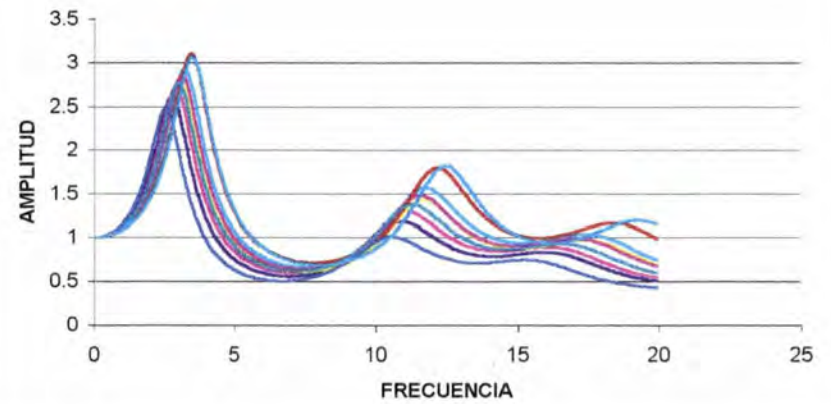
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L5 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L5 A 0.3 G

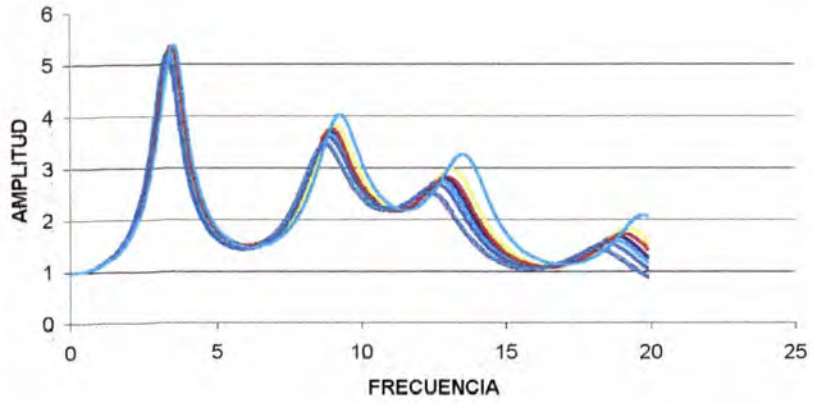


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L5 a 0.4 G

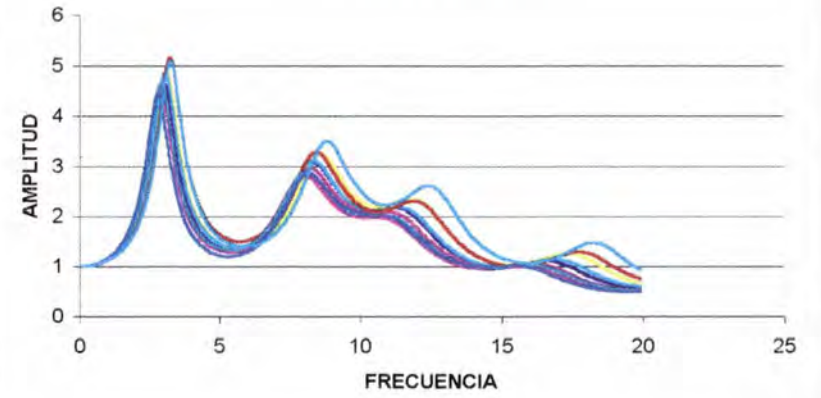


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

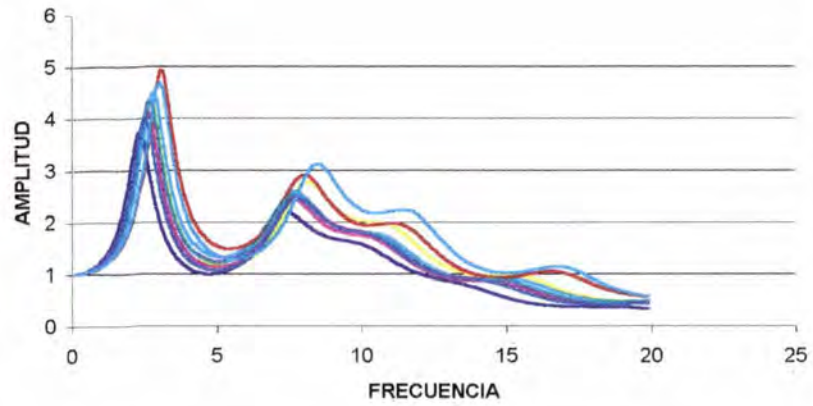
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q1 A 0.1 G



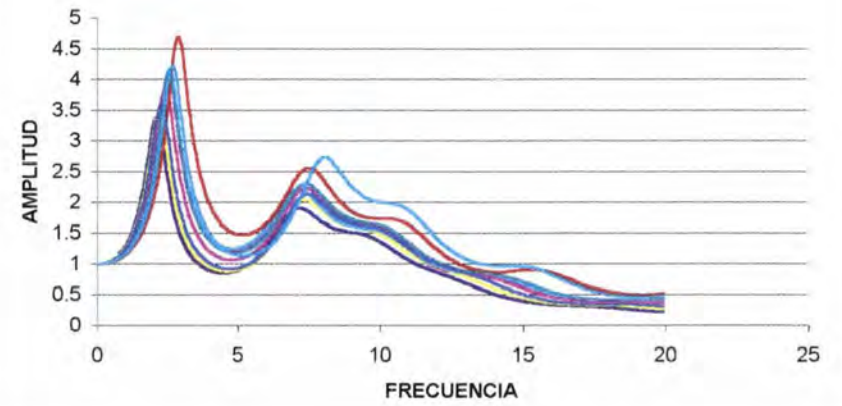
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q1 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q1 A 0.3 G

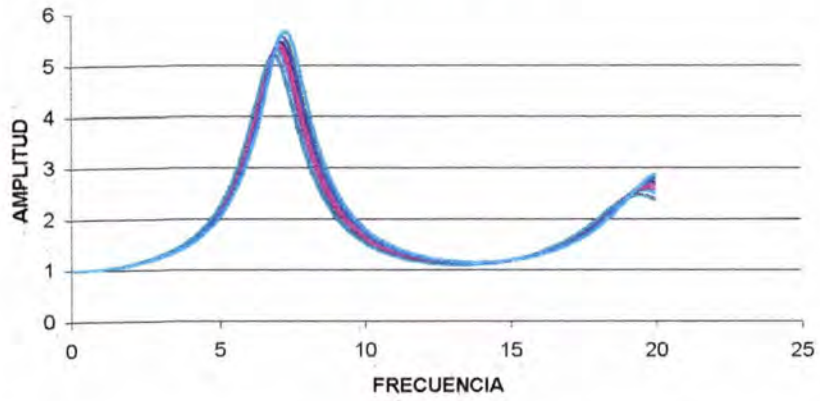


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q1 A 0.4 G

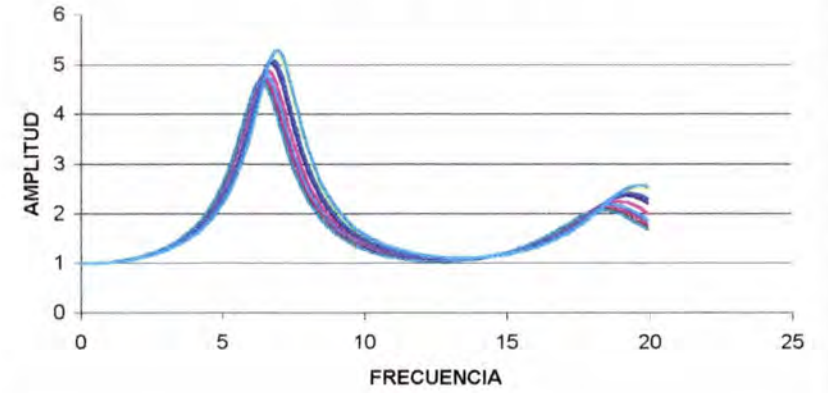


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

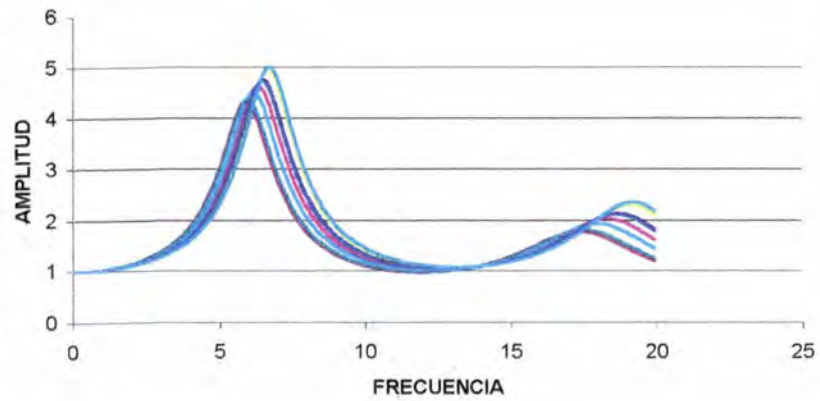
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2n A 0.1 G



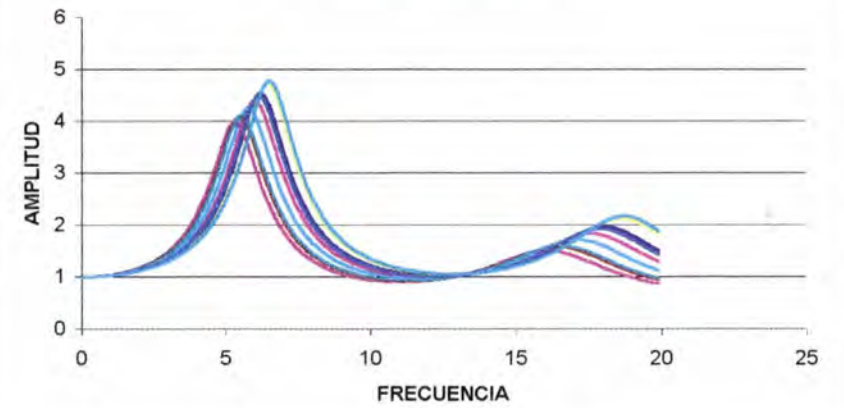
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2n A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2n A 0.3 G

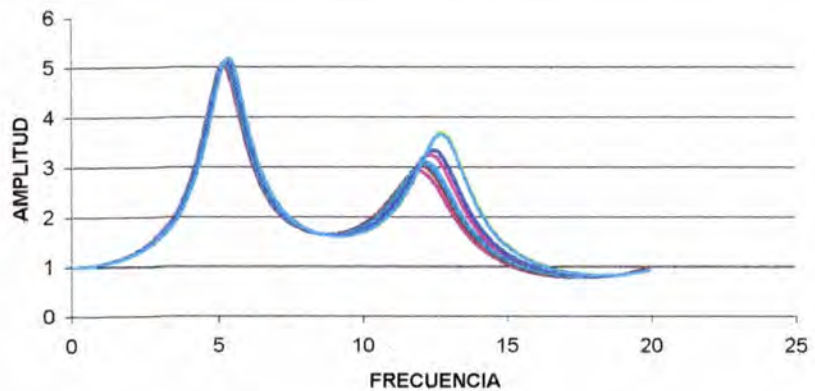


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2n A 0.4 G

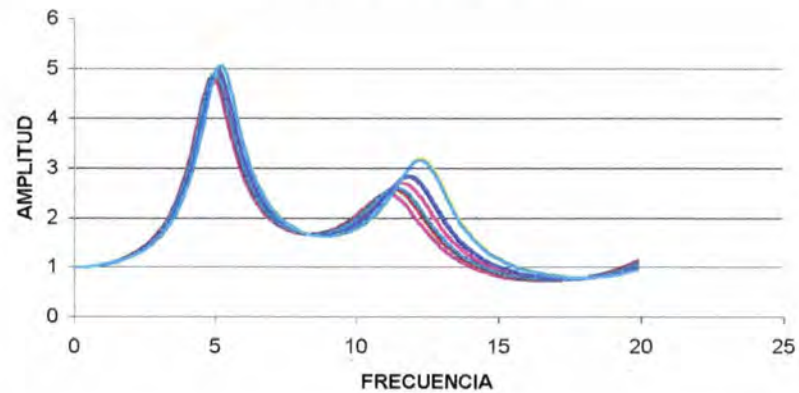


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

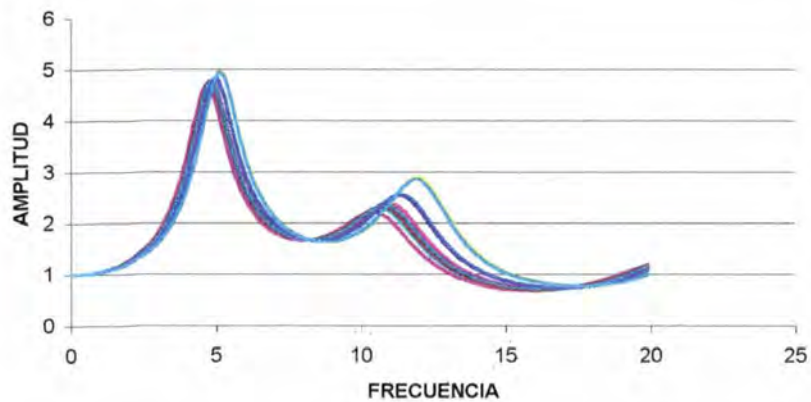
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2s A 0.1 G



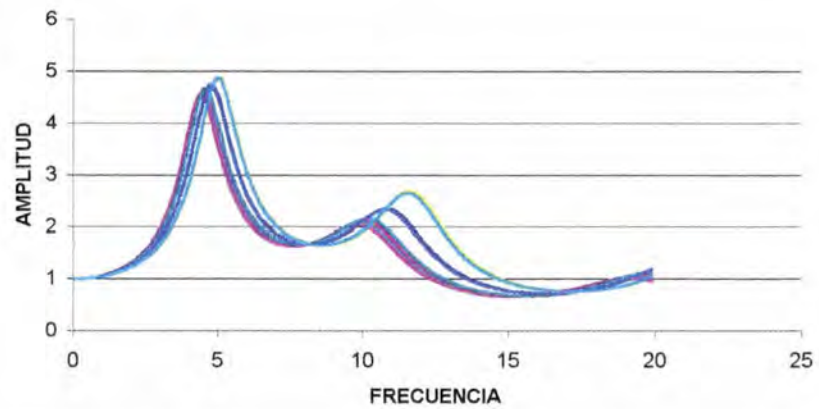
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2s A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2s A 0.3 G

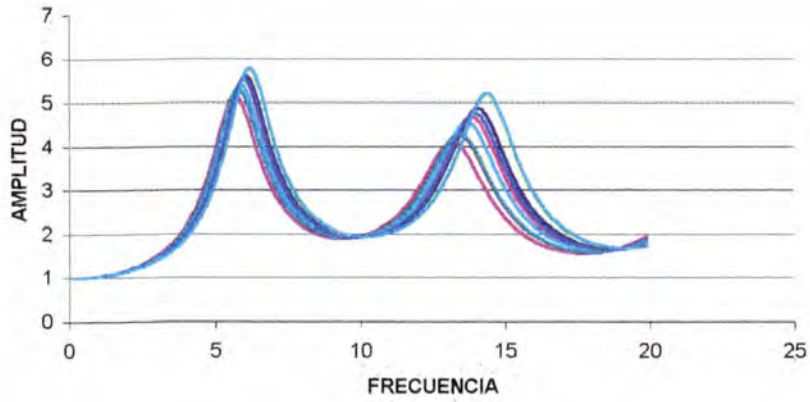


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q2s A 0.4 G

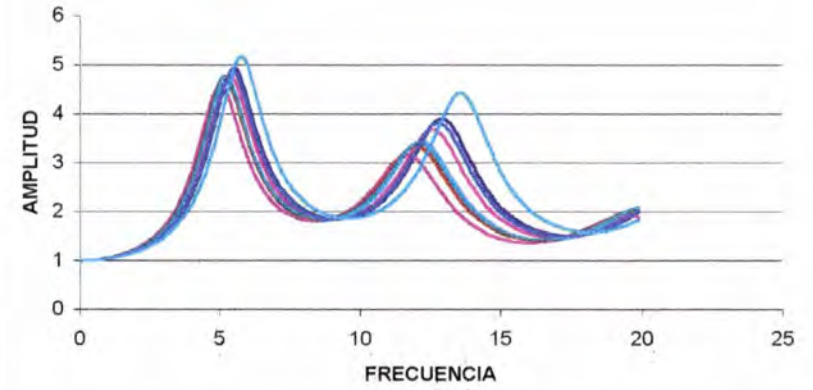


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

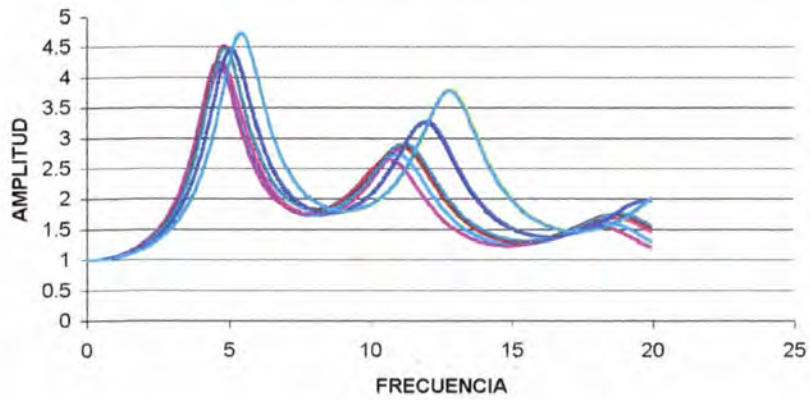
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q3 a 0.1 G



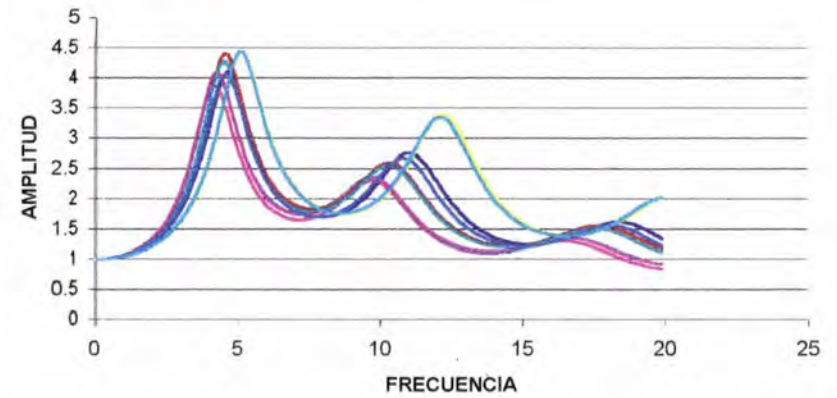
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q3 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q3 A 0.3 G

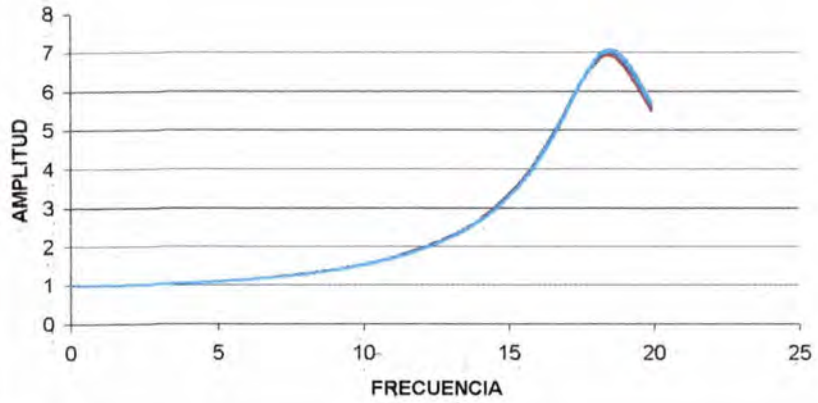


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q3 a 0.4 G

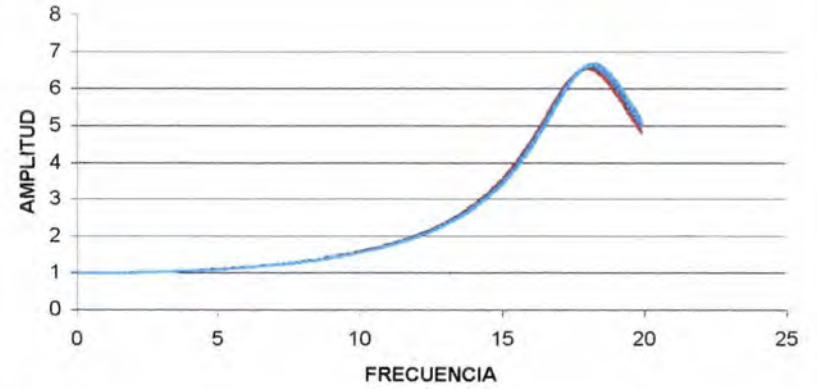


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

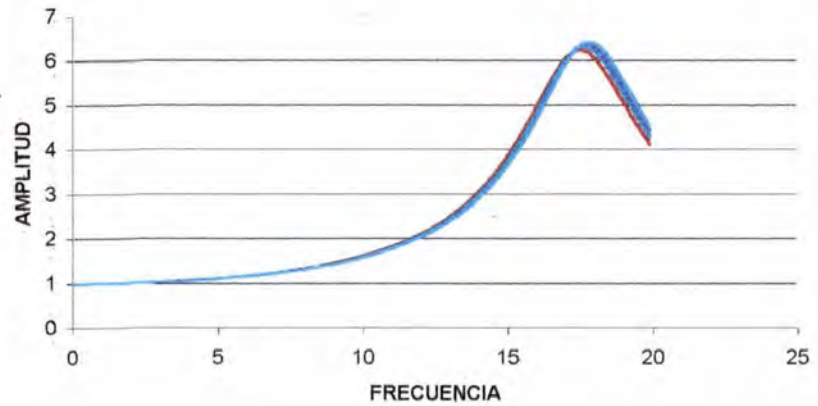
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q4 a 0.1 G



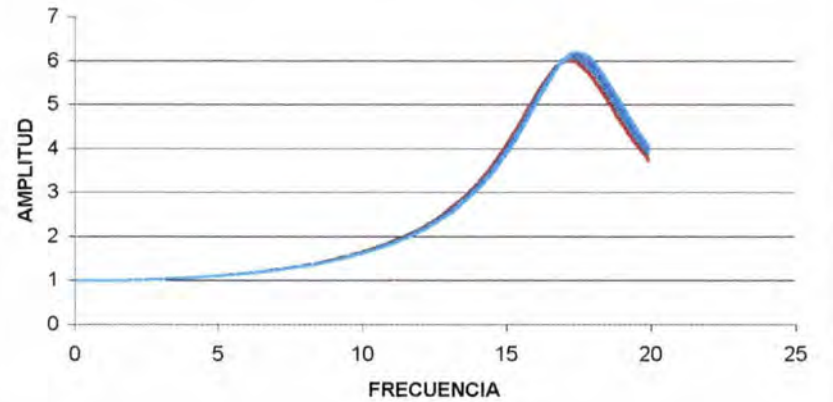
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q4 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q4 A 0.3 G

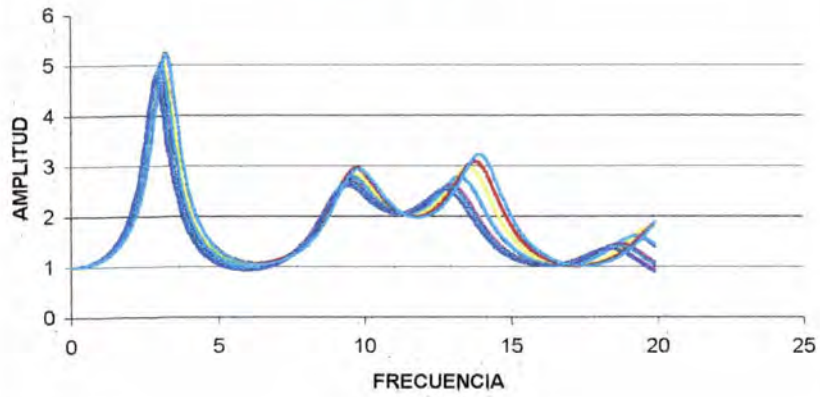


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q4 a 0.4 G

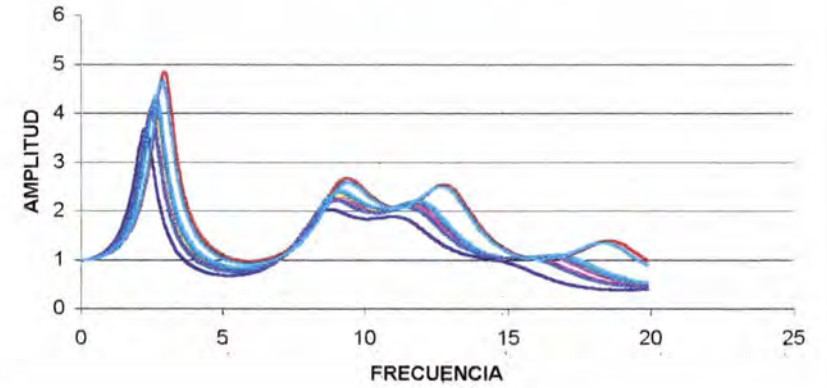


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

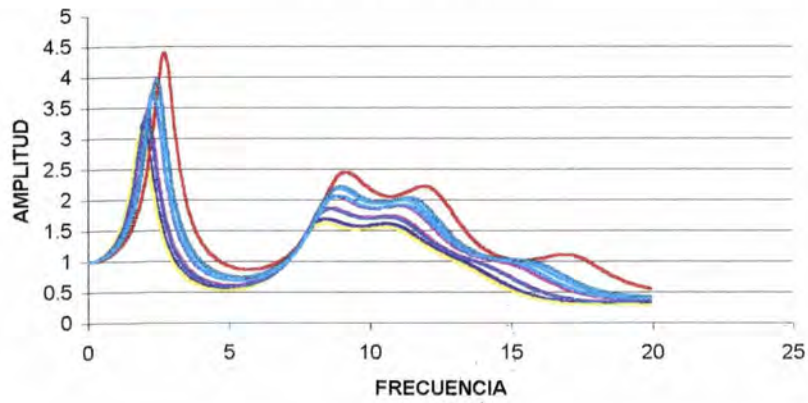
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q5 A 0.1 G



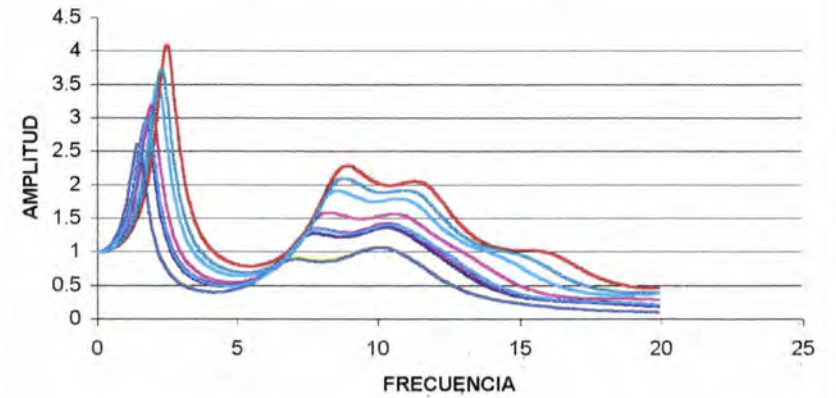
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q5 A 0.2 G



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q5 A 0.3 G

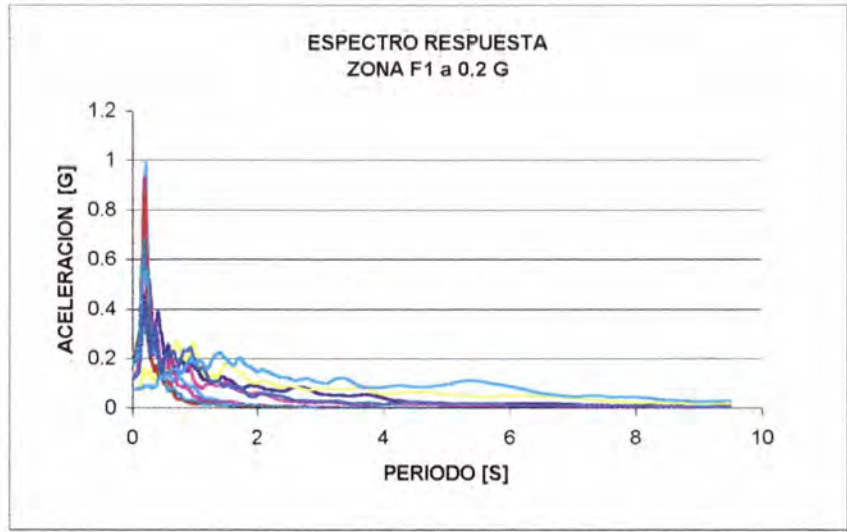
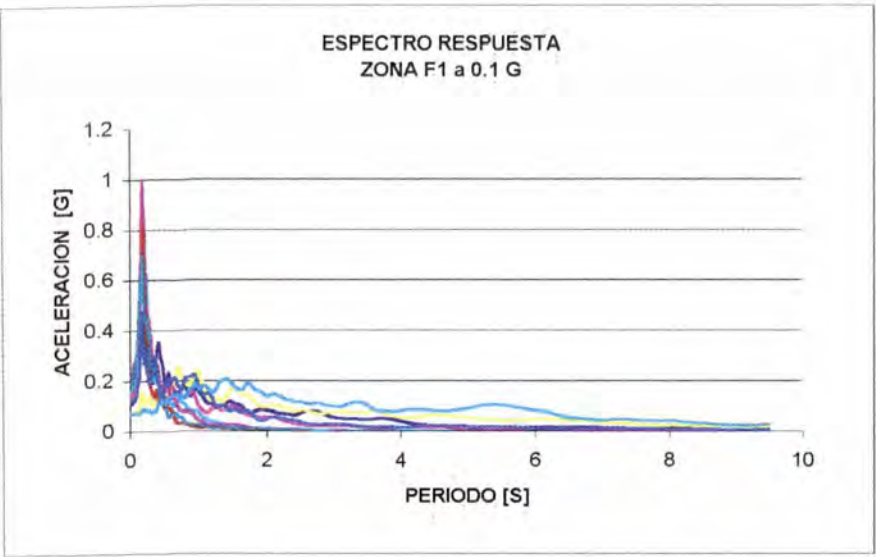


FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q5 A 0.4 G

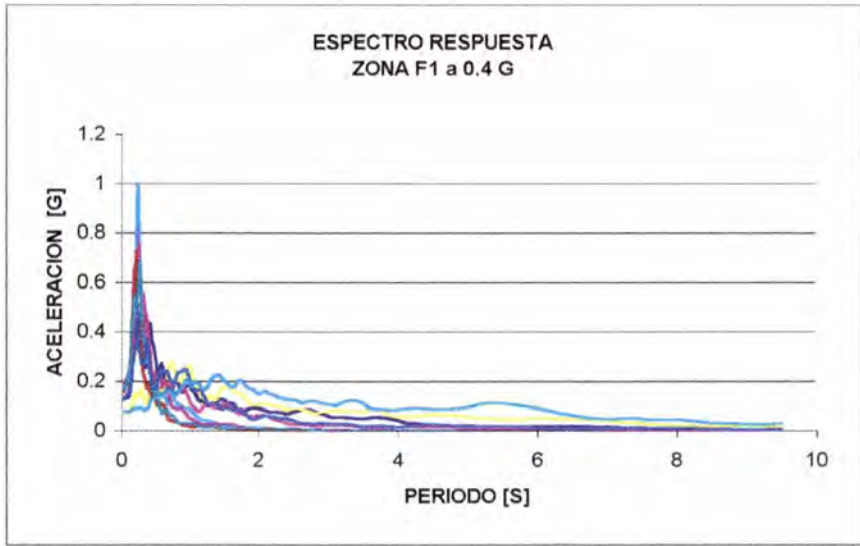
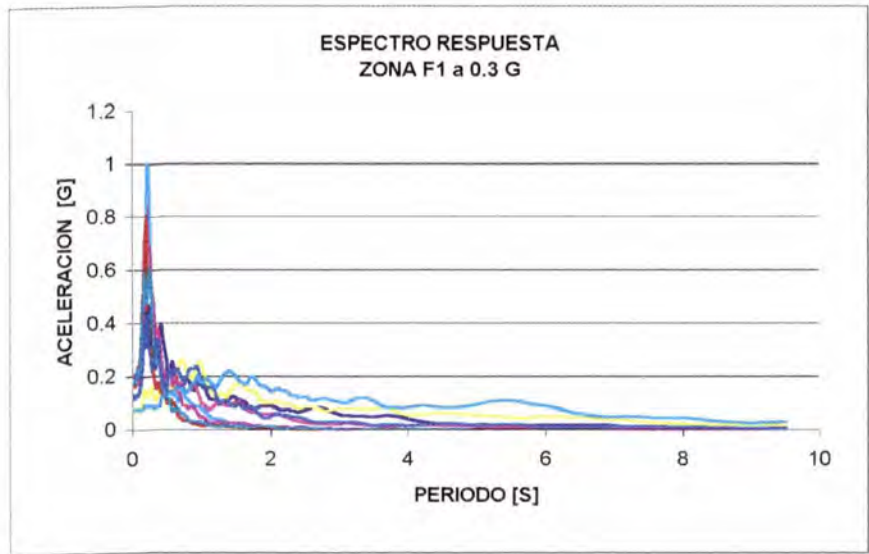


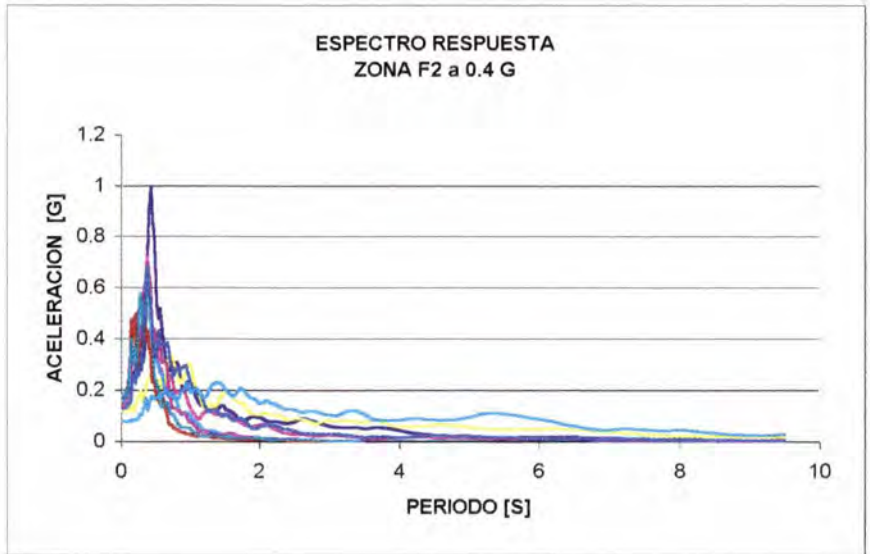
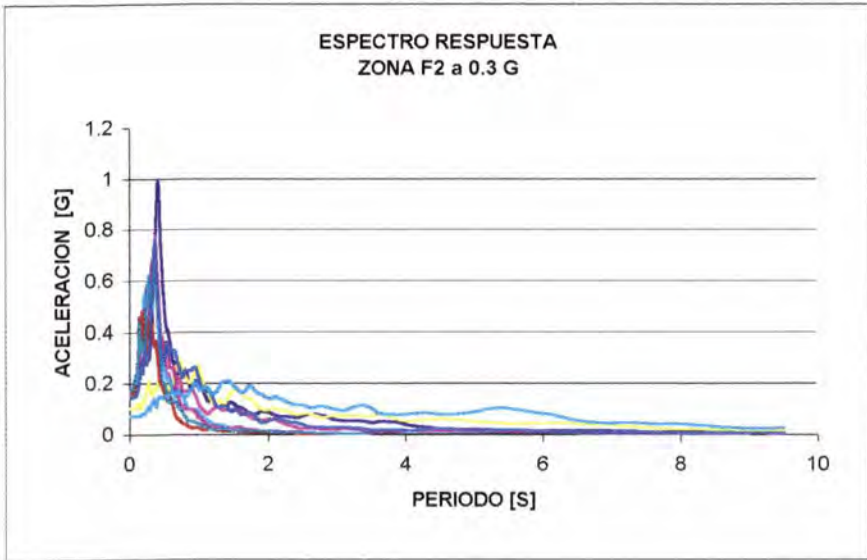
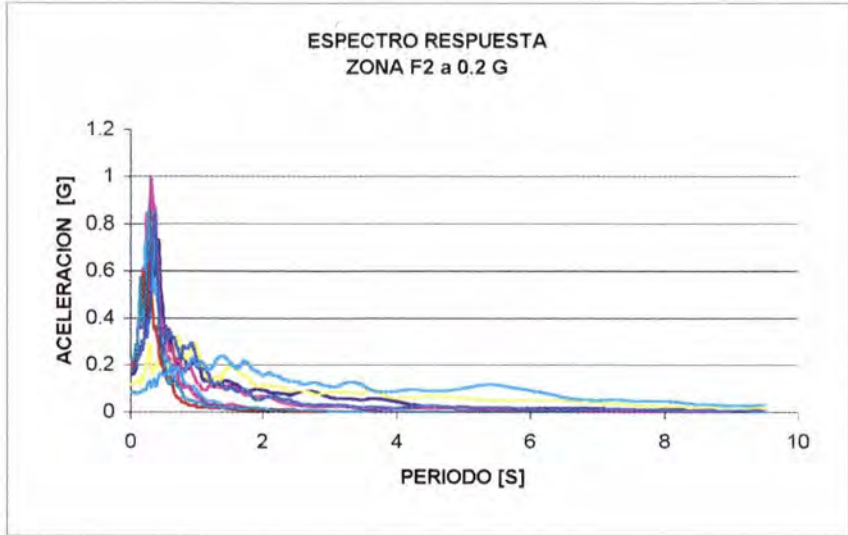
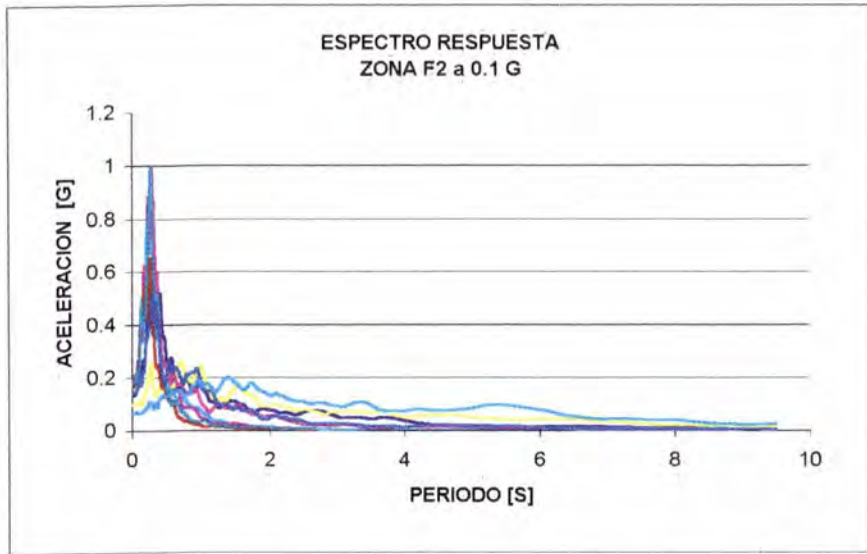
- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

ANEXO B
ESPECTROS DE RESPUESTA

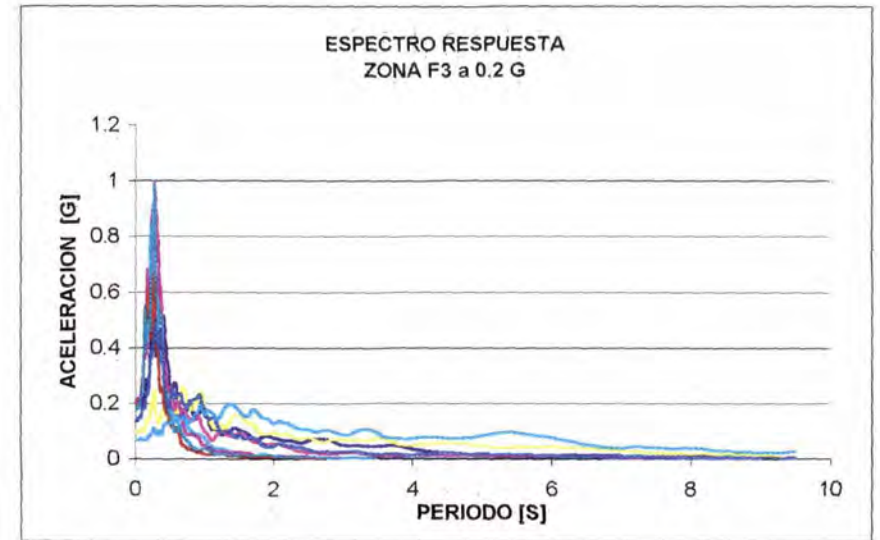
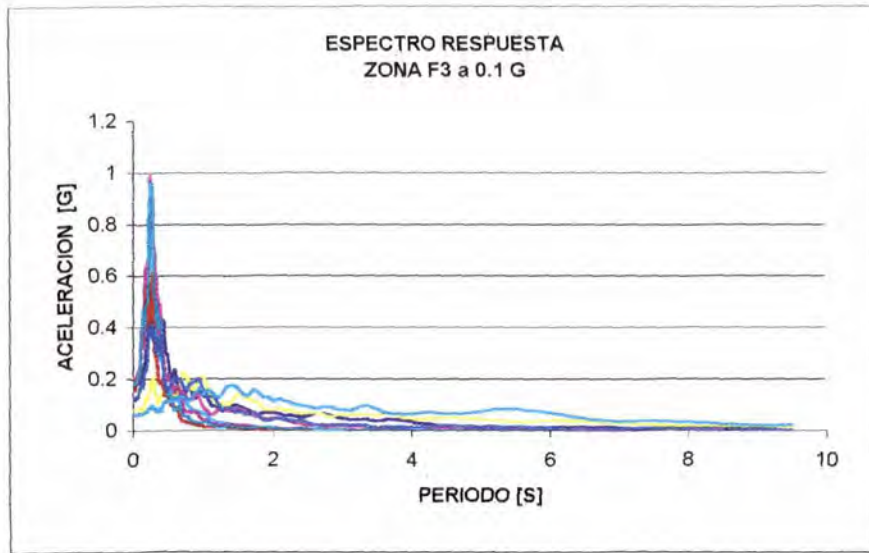


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

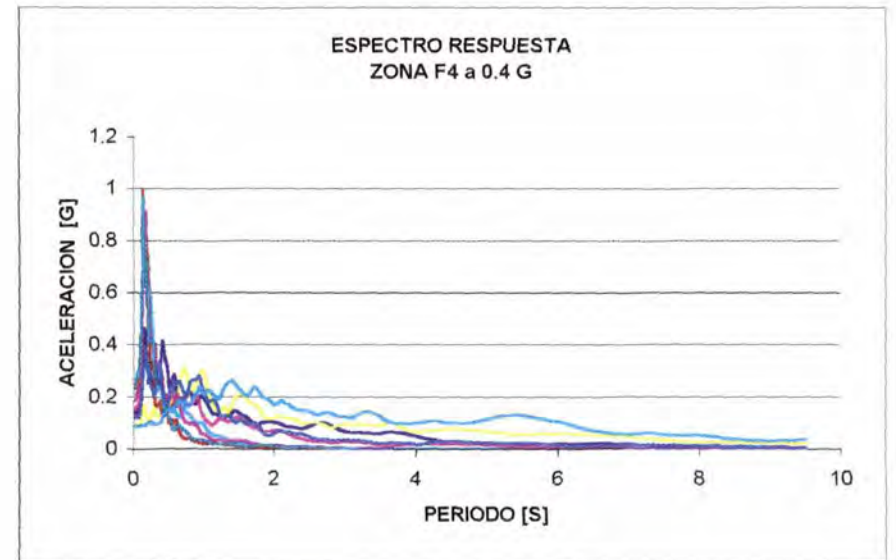
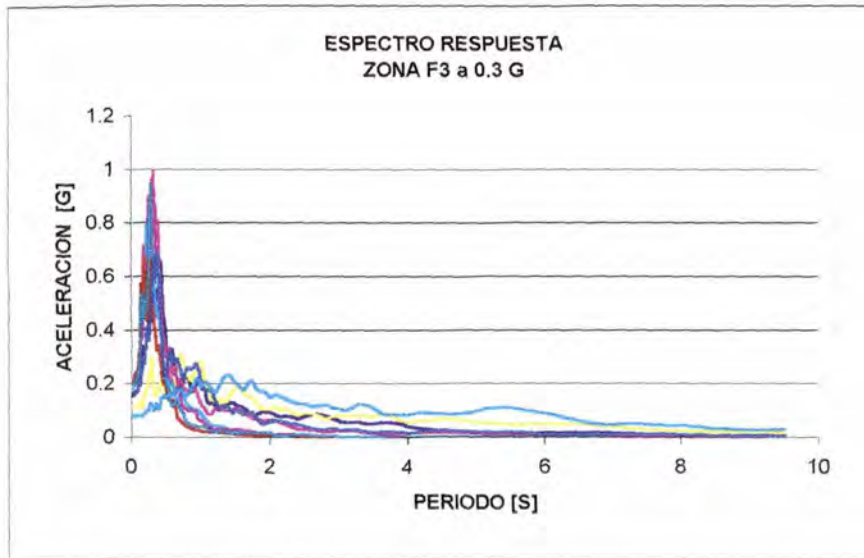




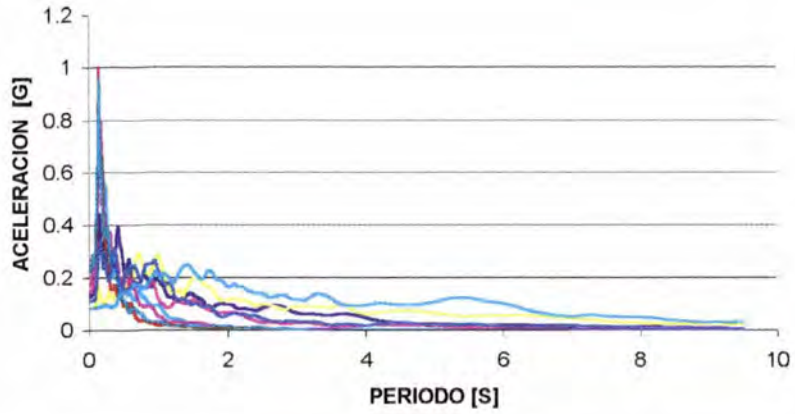
- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS



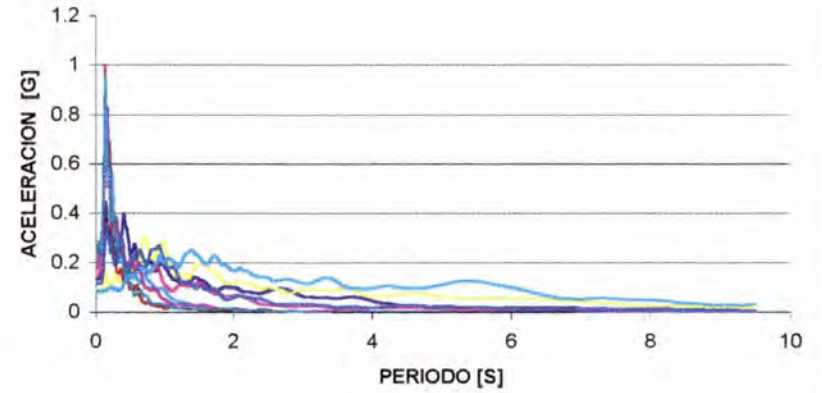
- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS



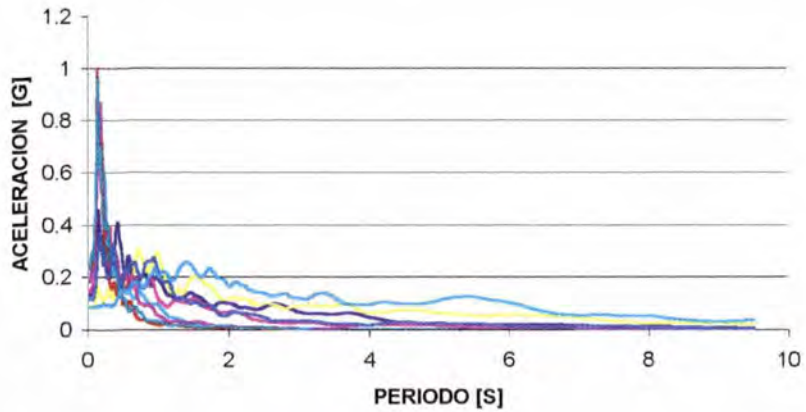
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F4 a 0.1 G



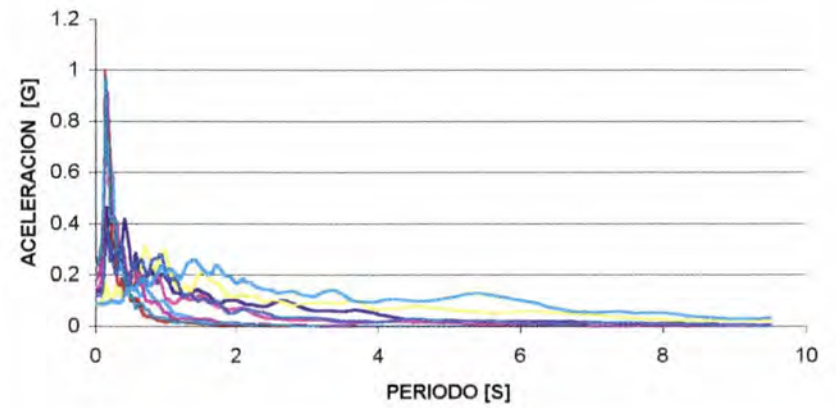
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F4 a 0.2 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F4 a 0.3 G

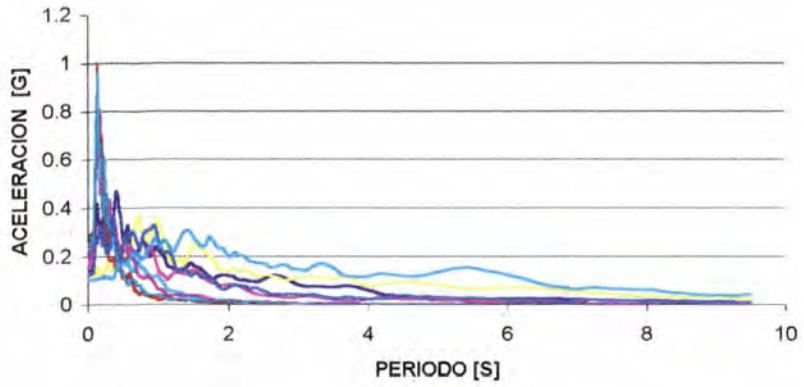


ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F4 a 0.4 G

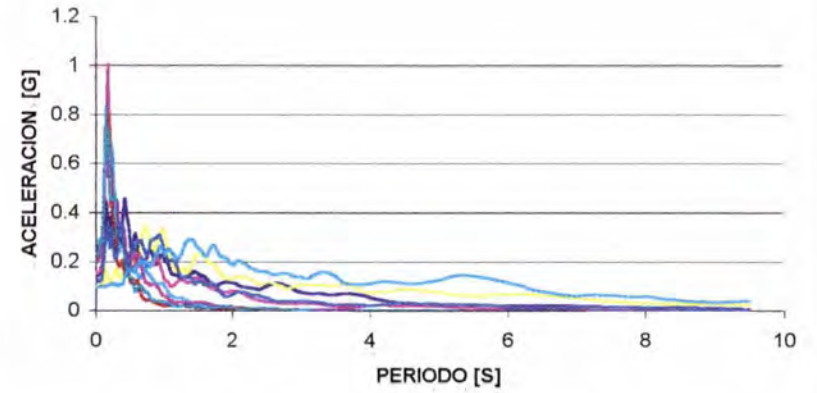


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

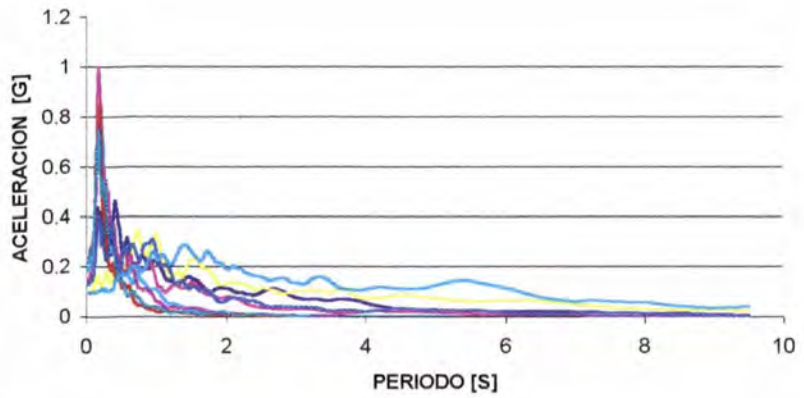
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F5 a 0.1 G



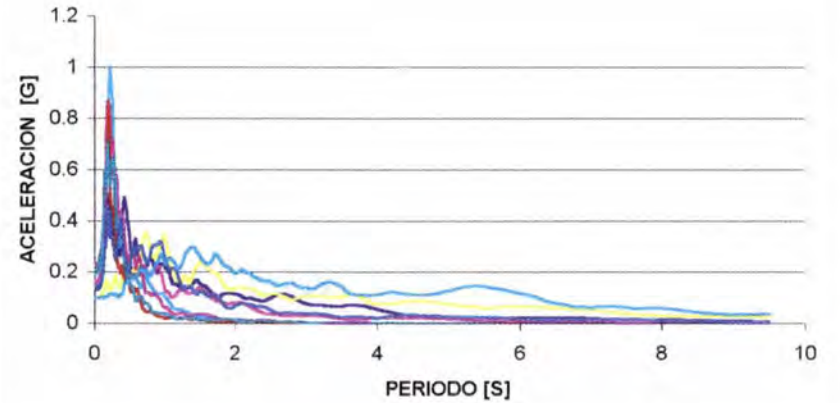
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F5 a 0.2 G



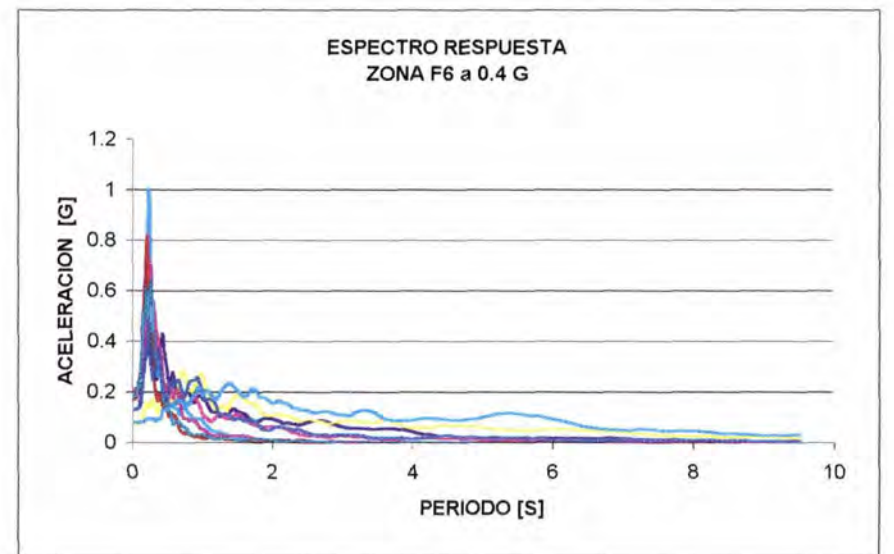
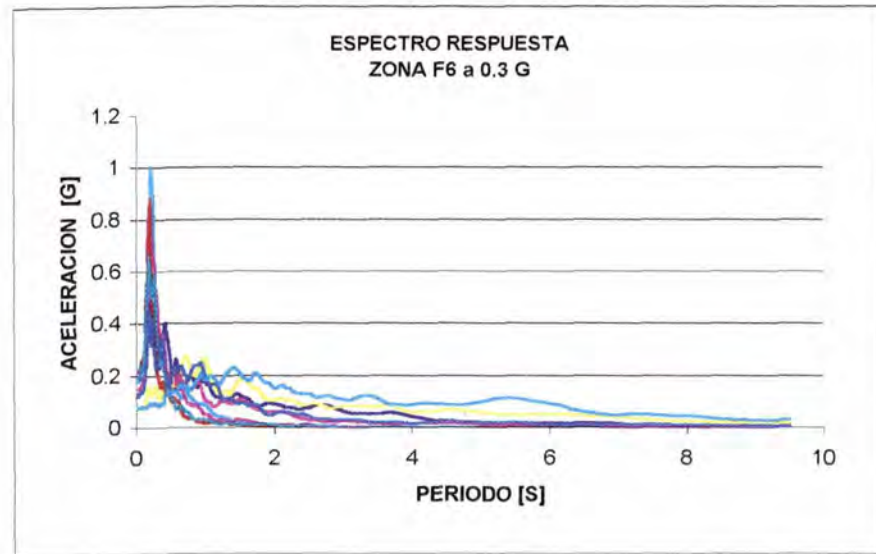
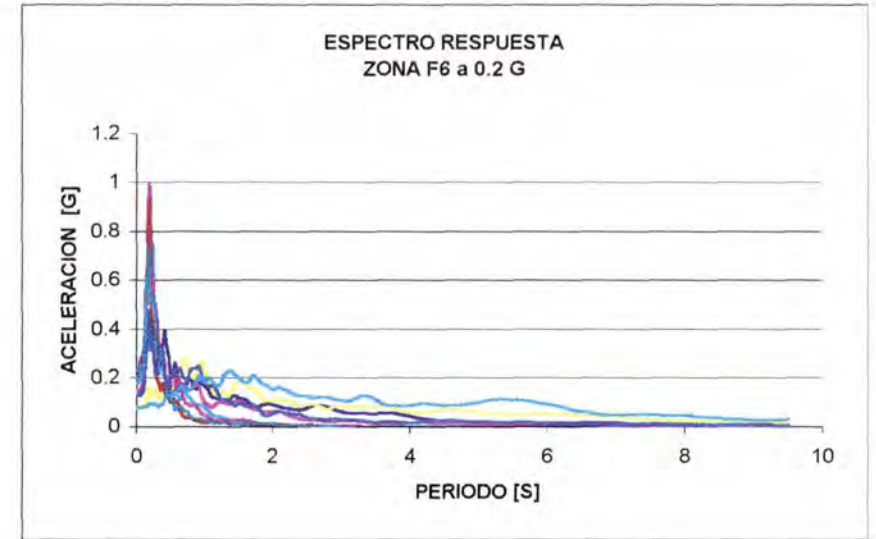
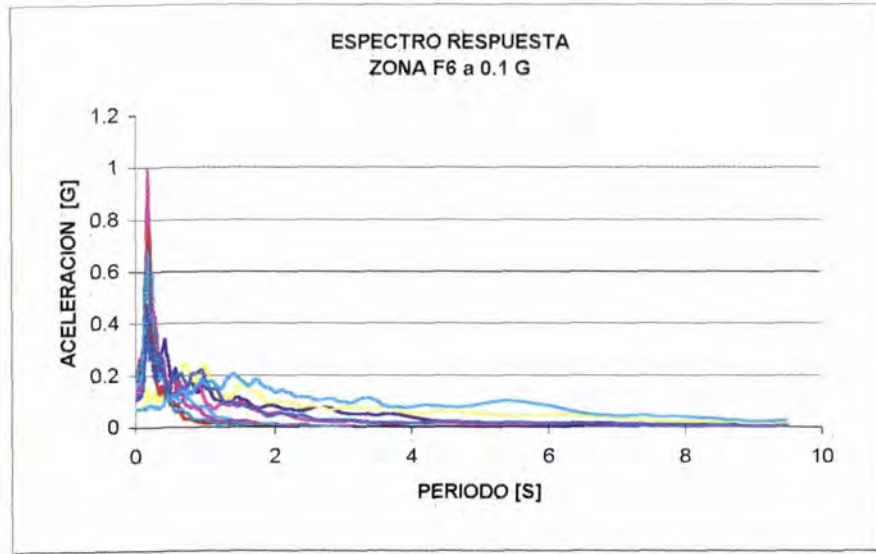
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F5 a 0.3 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F5 a 0.4 G

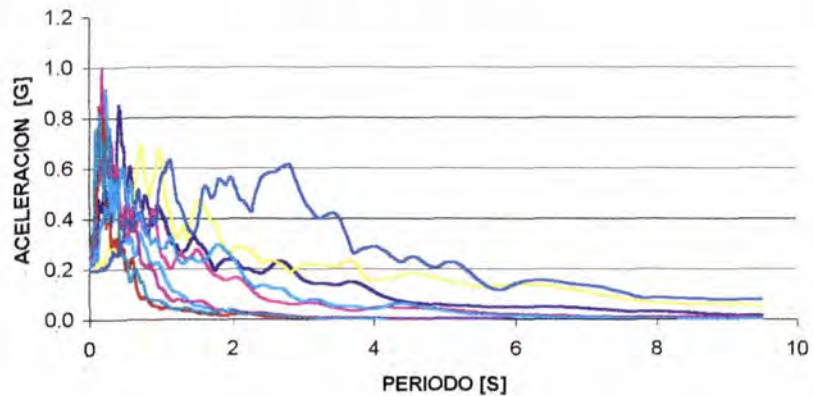


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

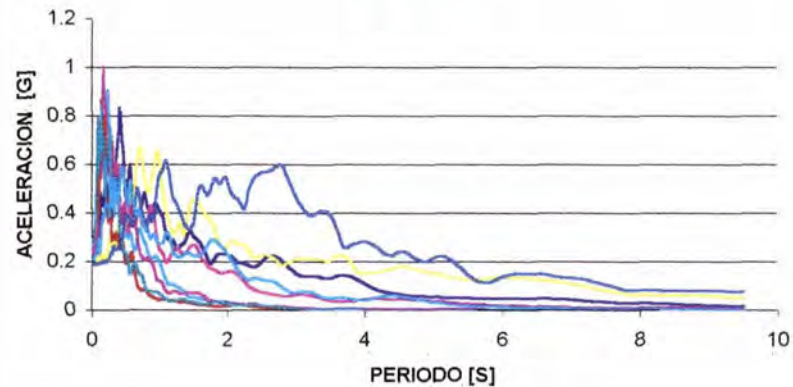


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

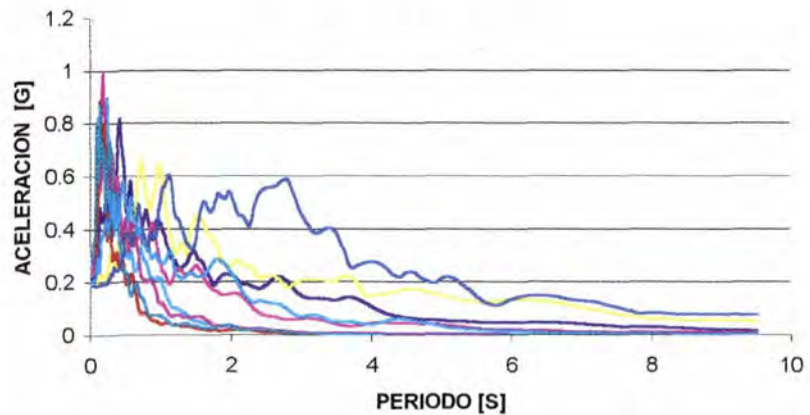
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F7 a 0.1 G



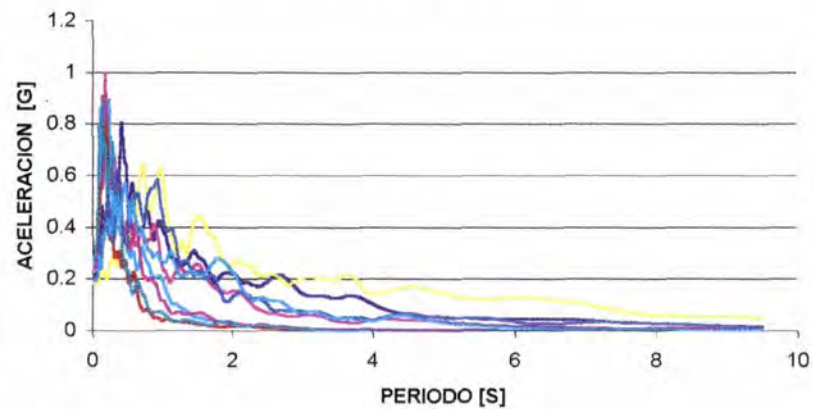
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F7 a 0.2 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F7 a 0.3 G

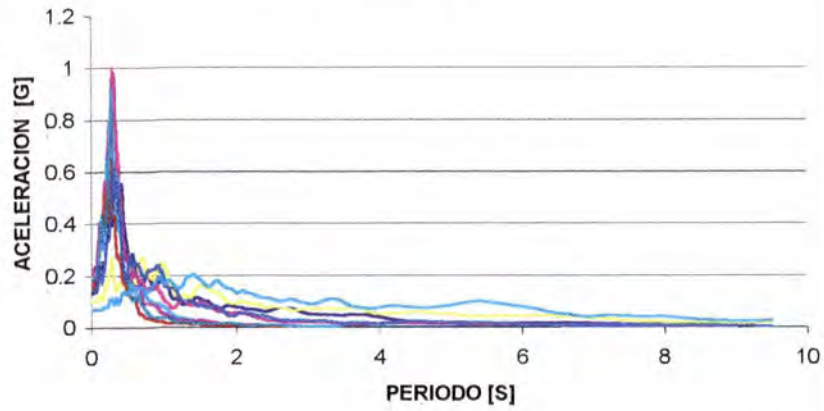


ESPECTRO RESPUESTA
ZONA F7 a 0.4 G

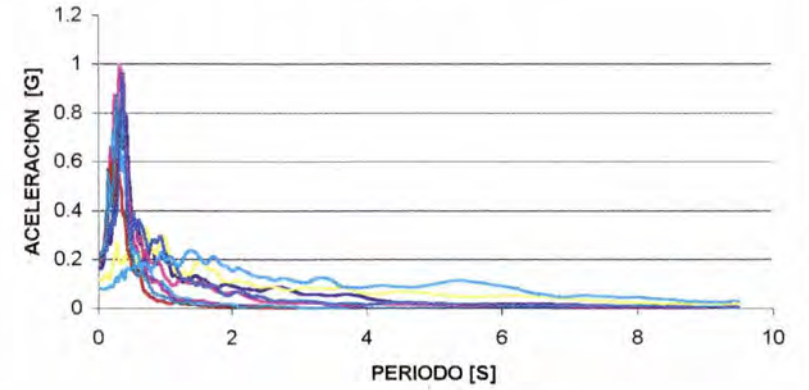


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

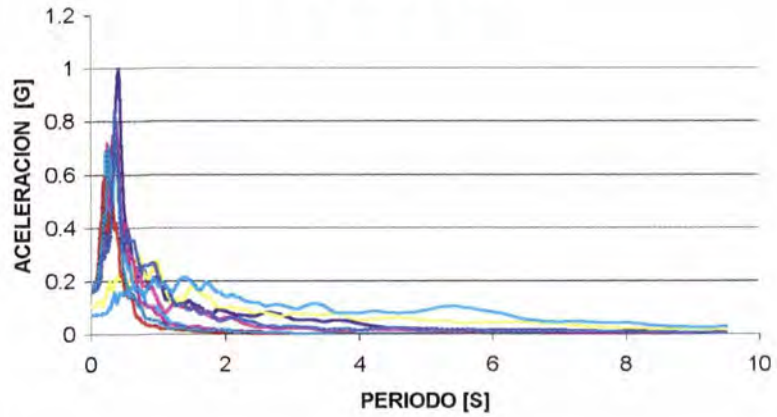
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L1 a 0.1 G



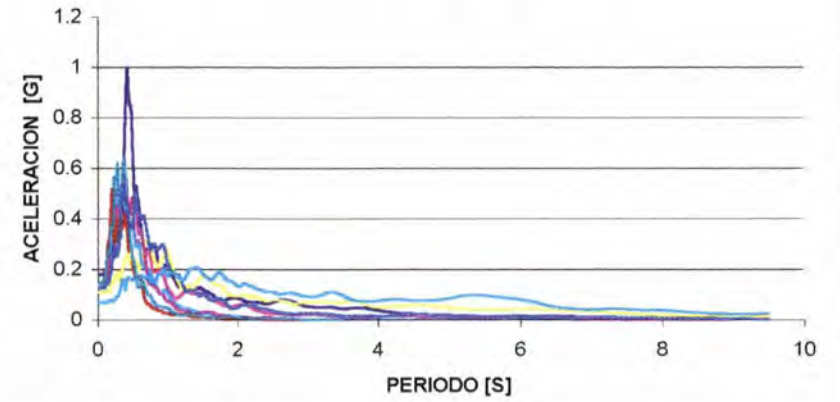
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L1 a 0.2 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L1 a 0.3 G

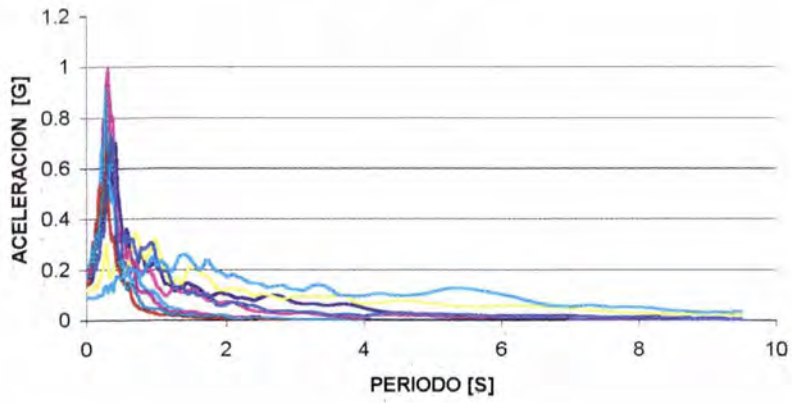


ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L1 a 0.4 G

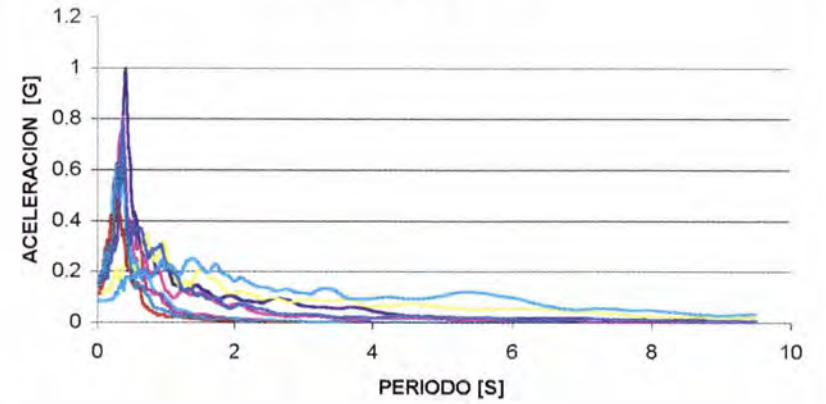


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

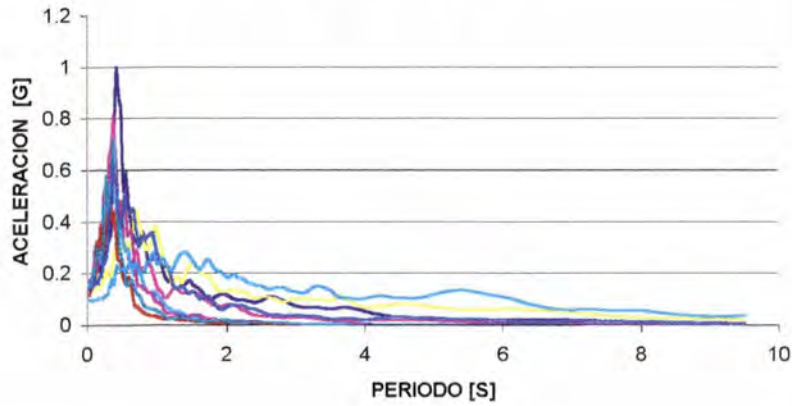
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L2 a 0.1 G



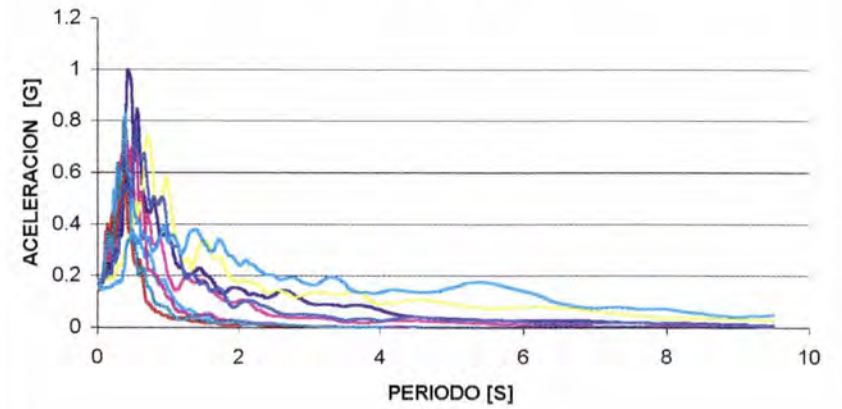
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L2 a 0.2 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L2 a 0.3 G

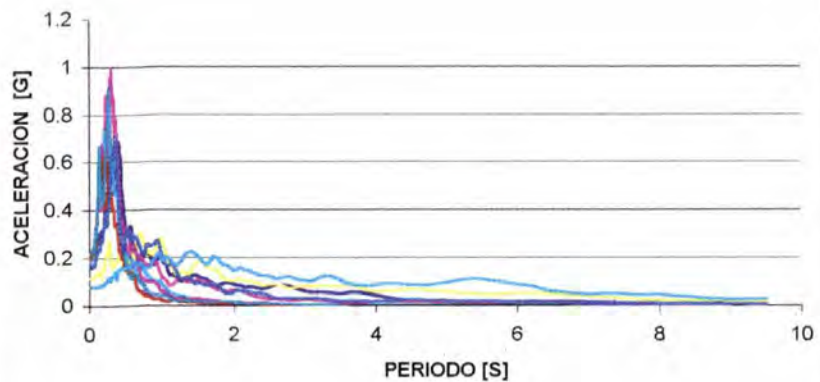


ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L2 a 0.4 G

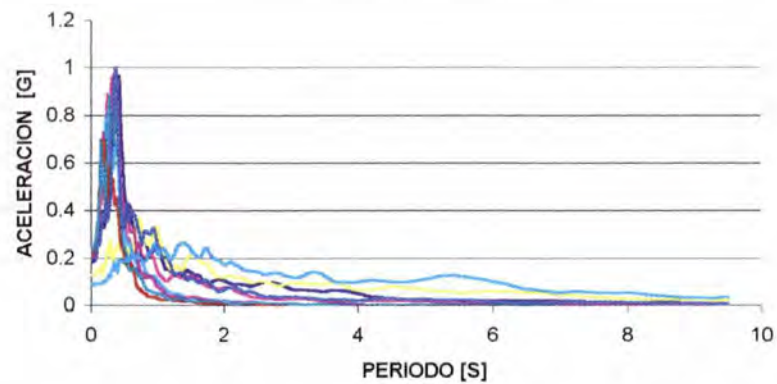


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

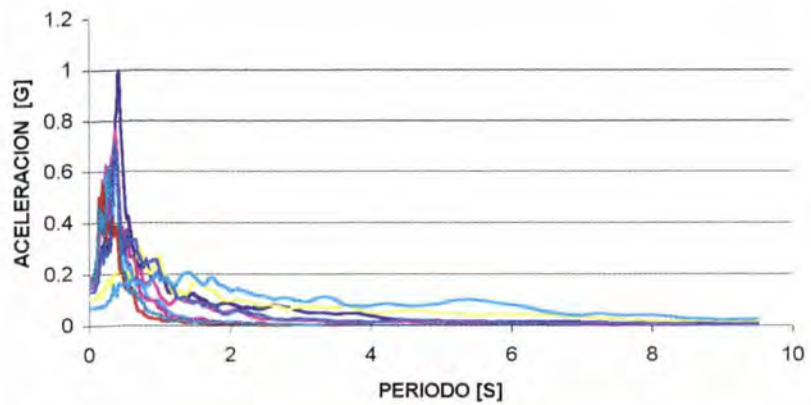
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L3 a 0.1 G



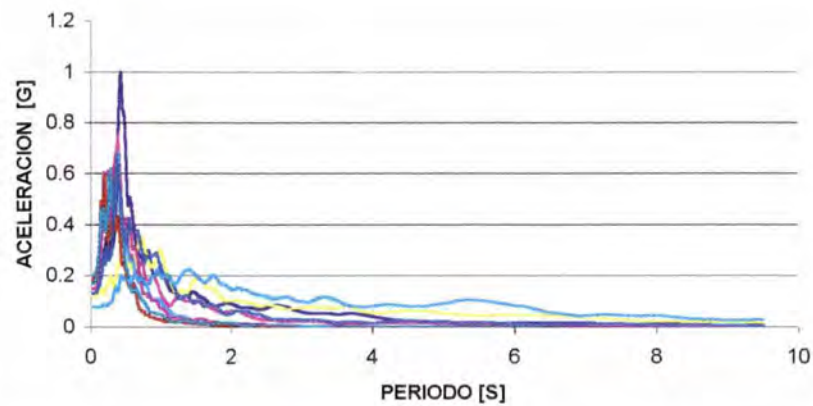
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L3 a 0.2 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L3 a 0.3 G

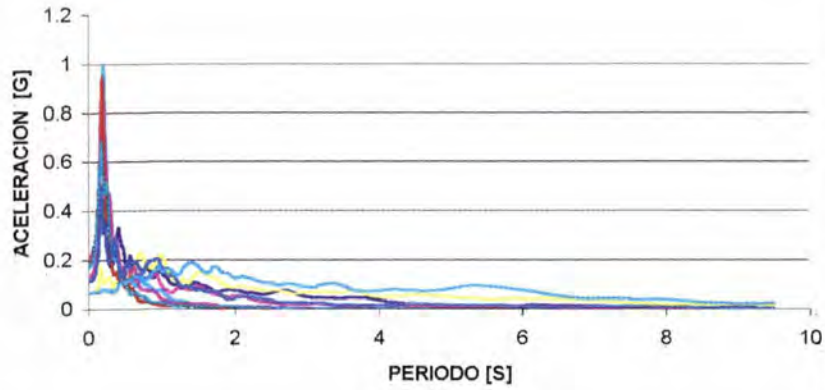


ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L3 a 0.4 G

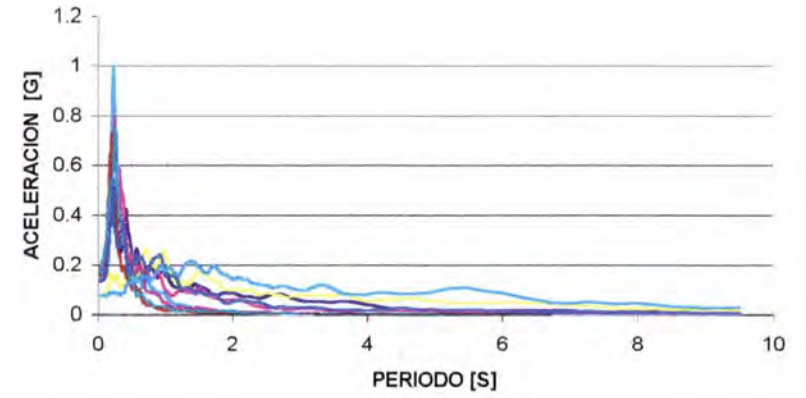


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

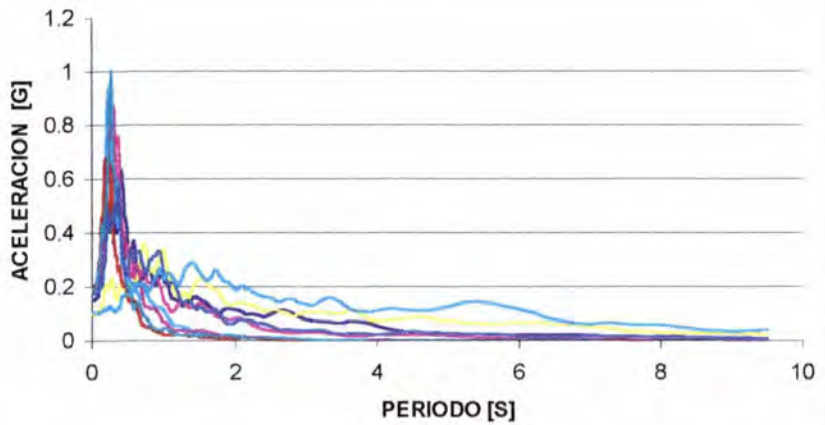
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L4 a 0.1 G



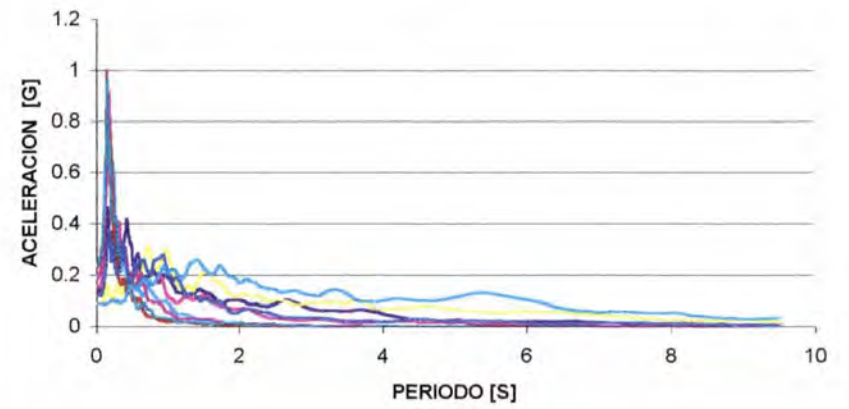
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L4 a 0.2 G



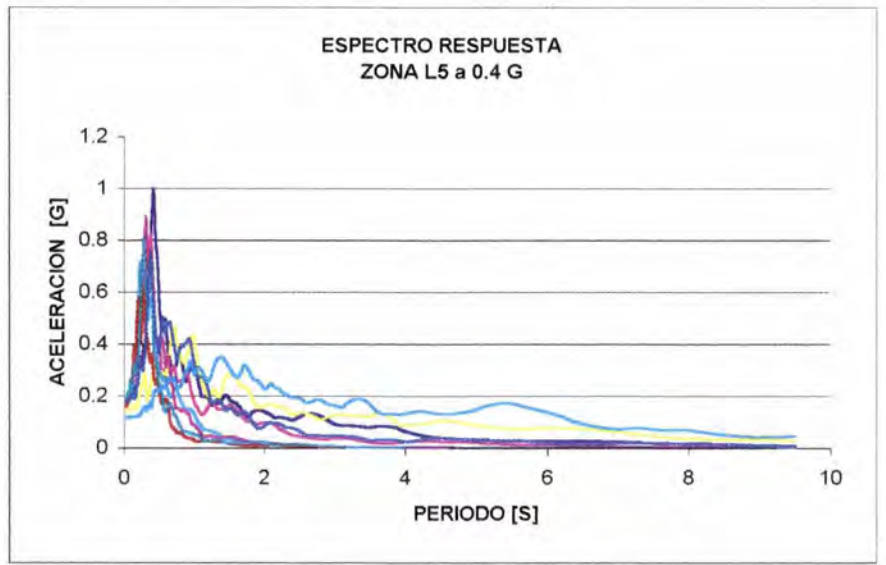
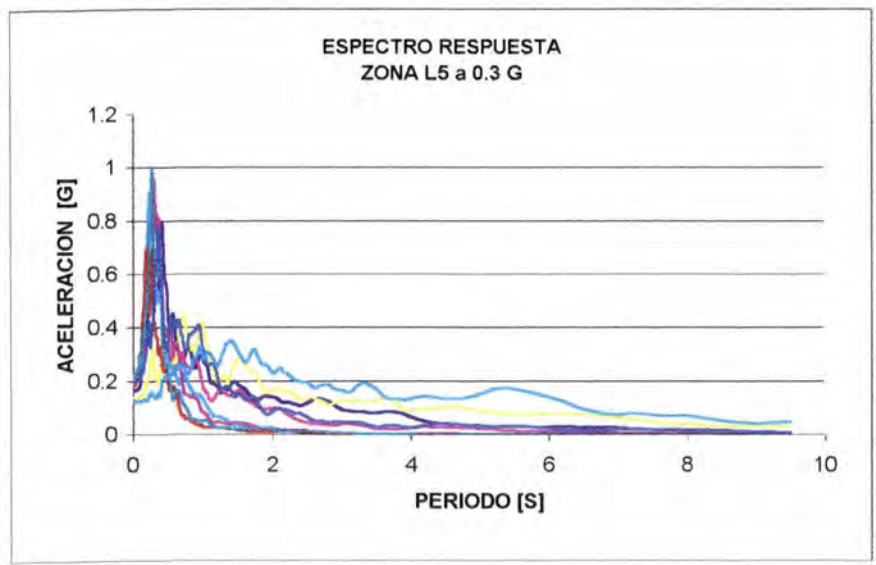
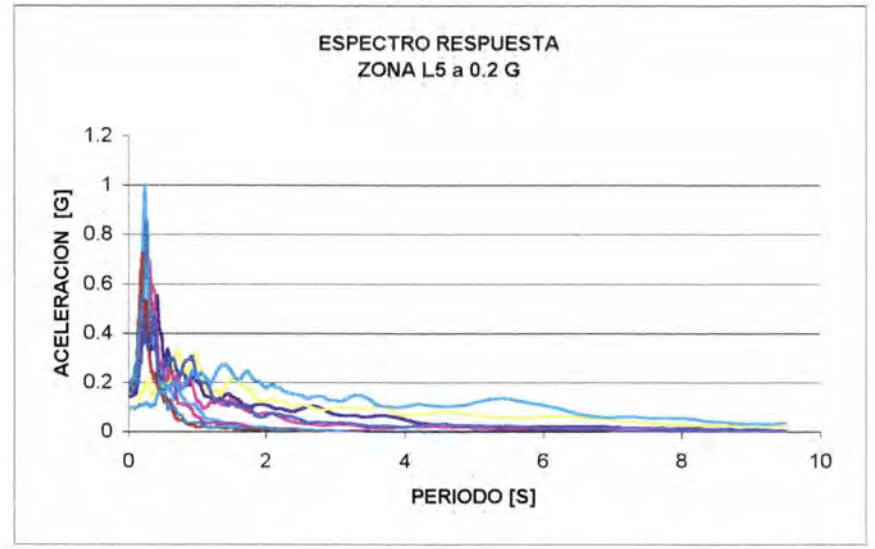
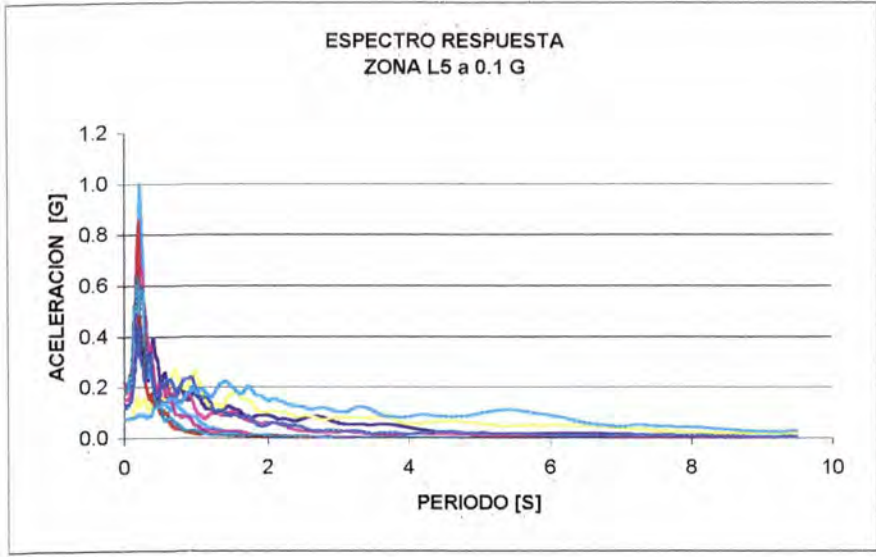
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L4 a 0.3 G



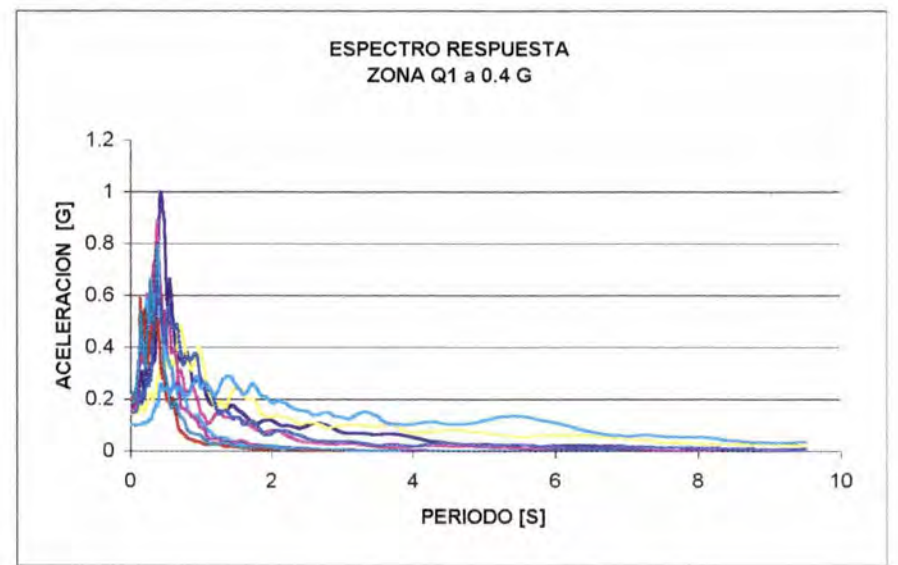
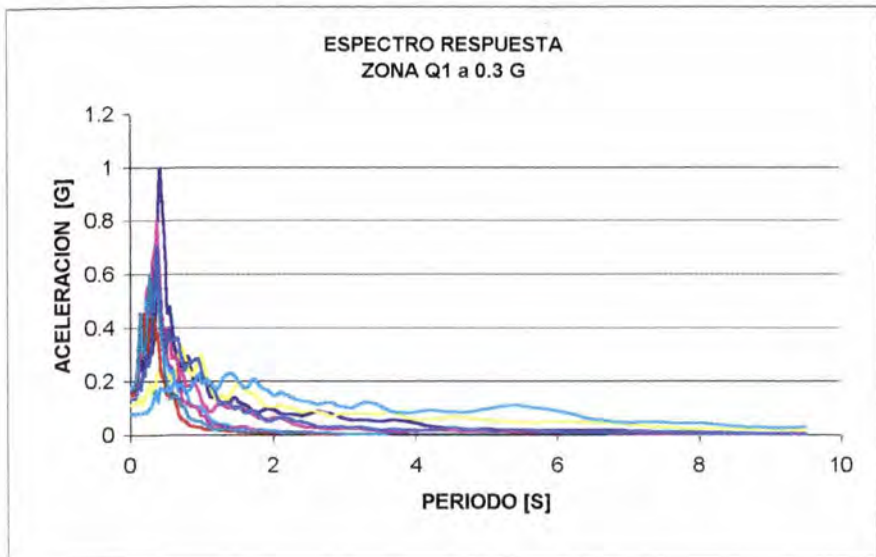
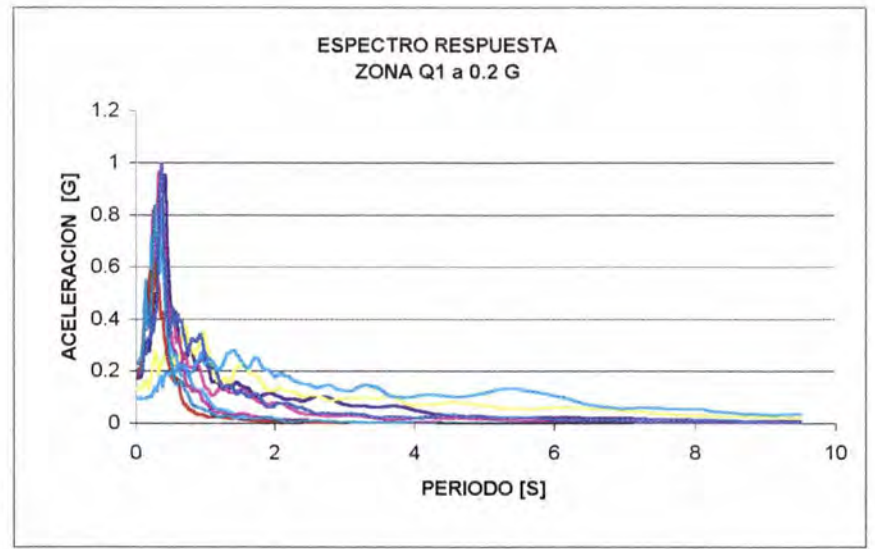
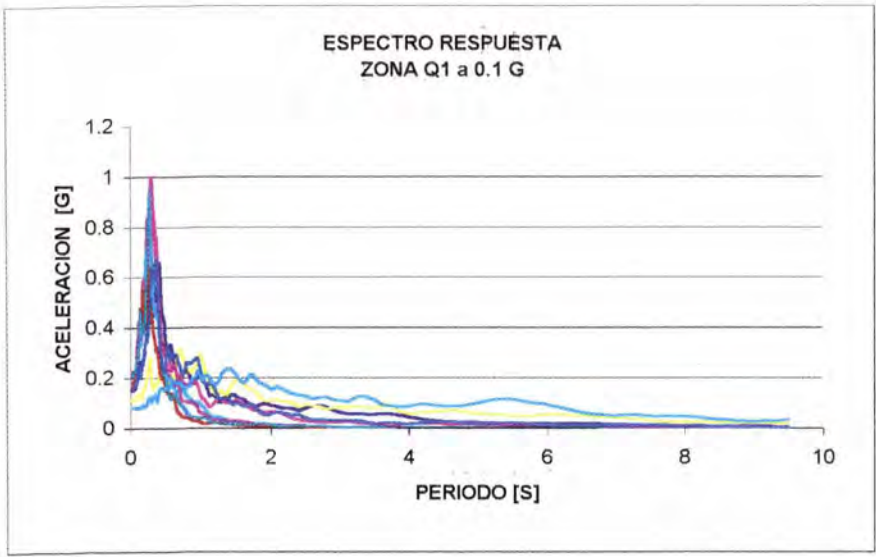
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA L4 a 0.4 G



- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

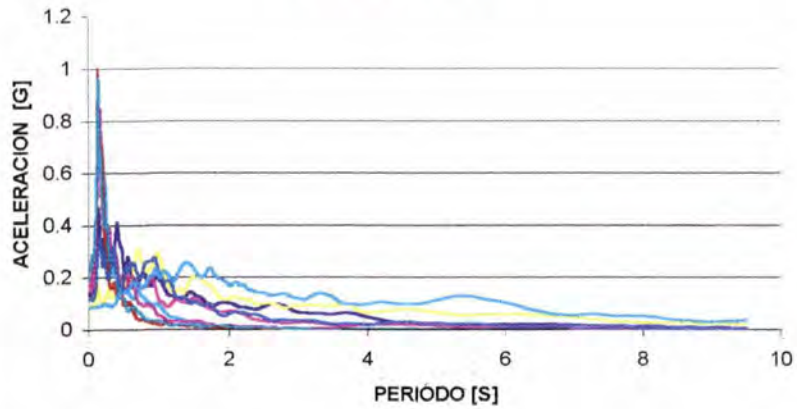


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

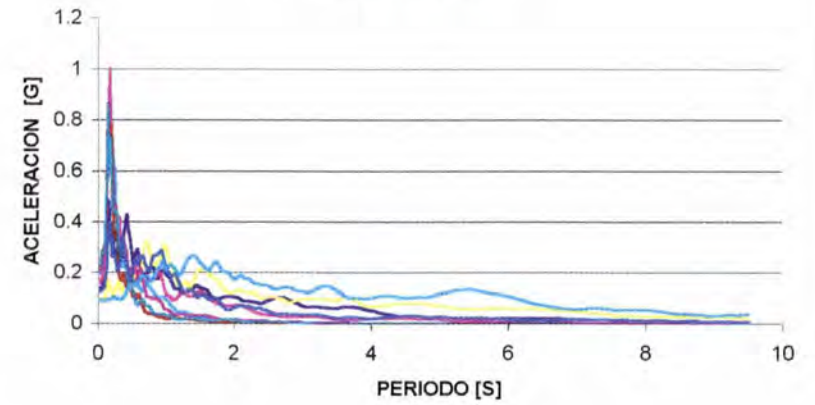


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

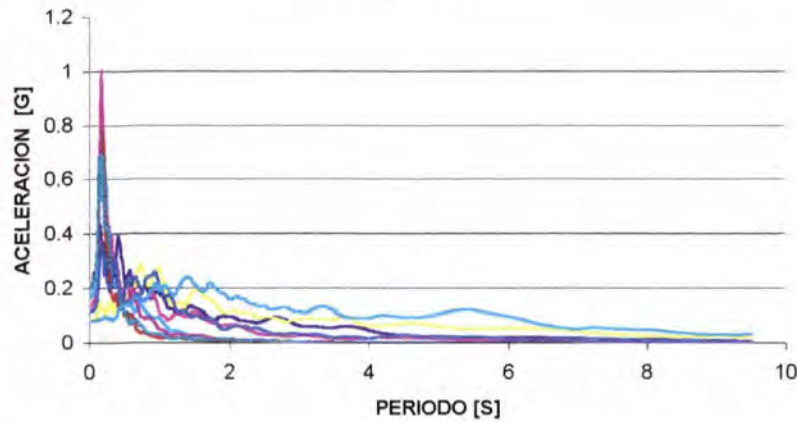
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2n a 0.1 G



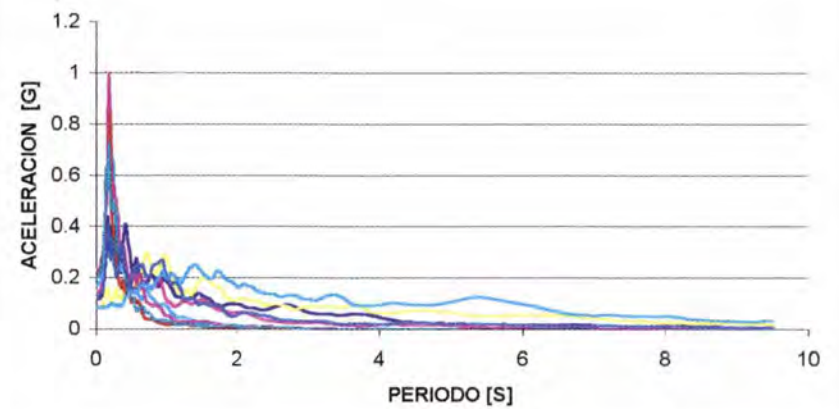
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2n a 0.2 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2n a 0.3 G

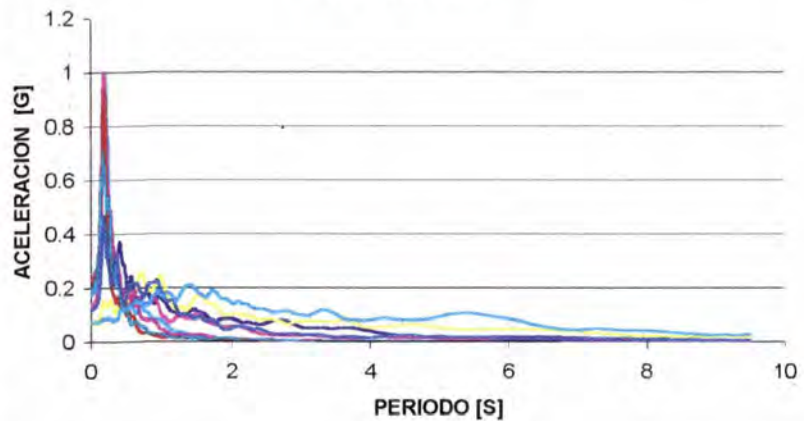


ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2n a 0.4 G

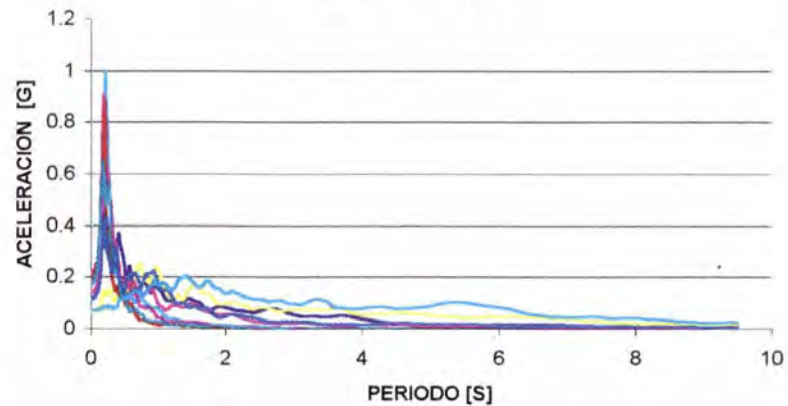


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

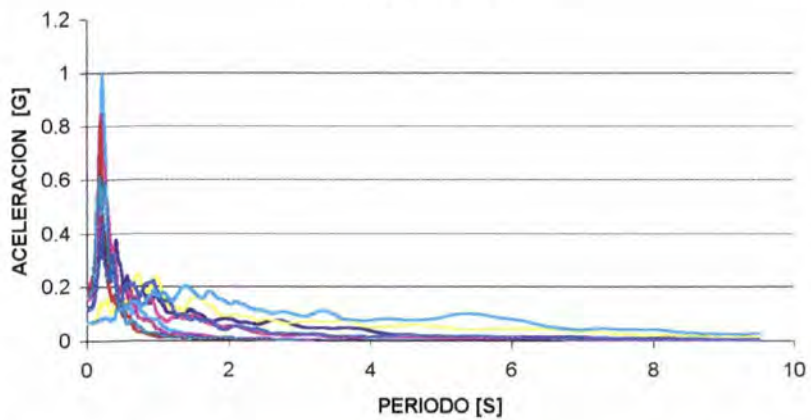
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2s a 0.1 G



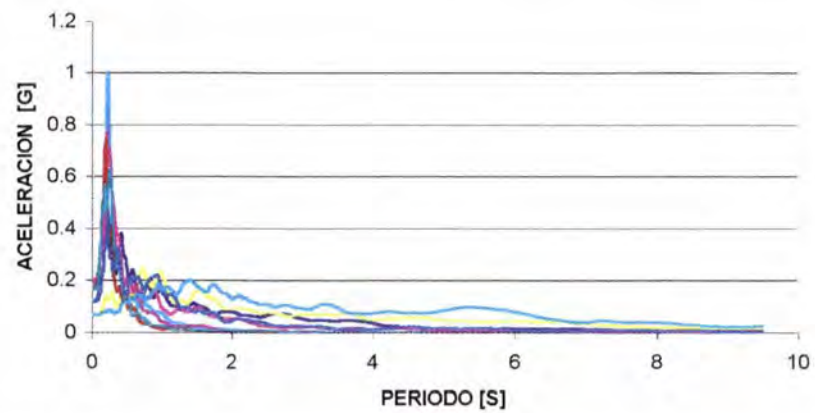
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2s a 0.2 G



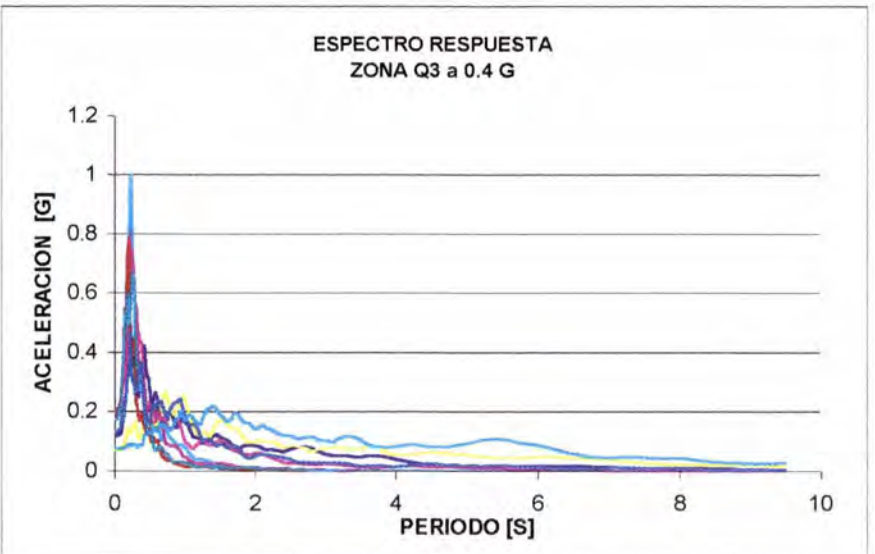
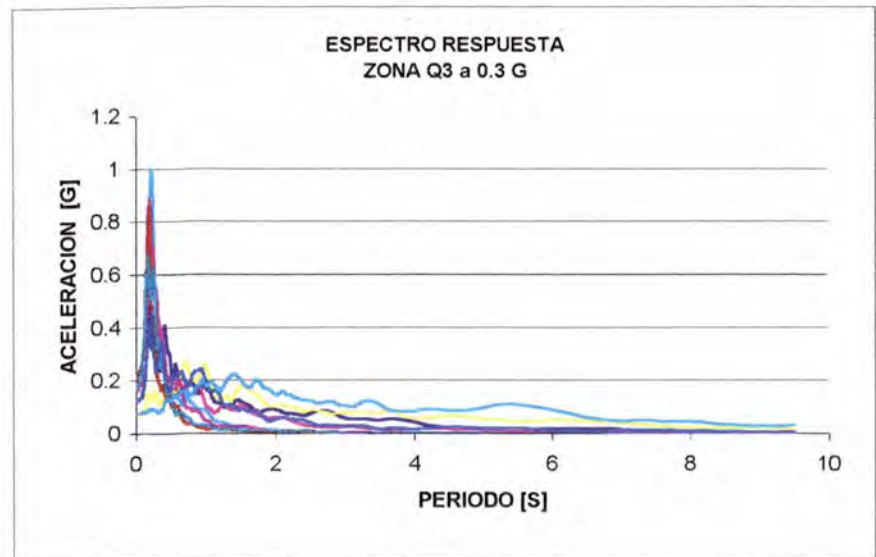
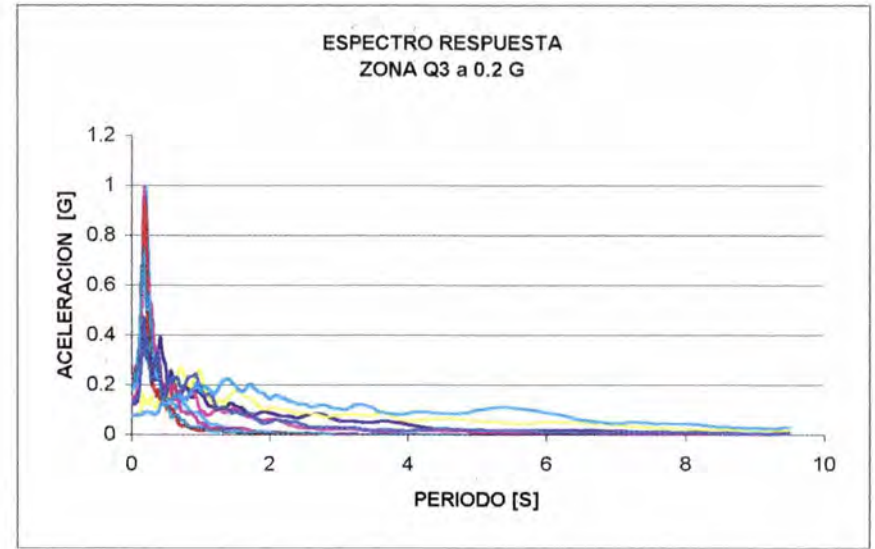
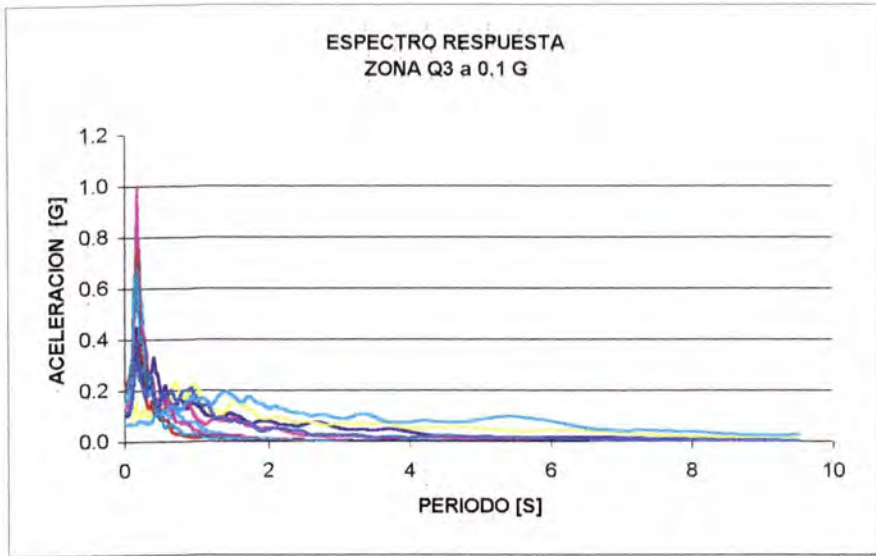
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2s a 0.3 G



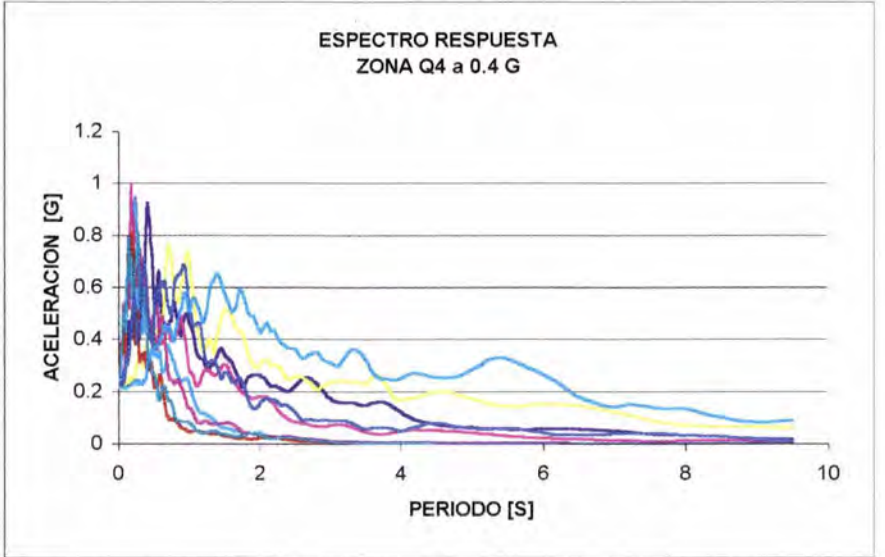
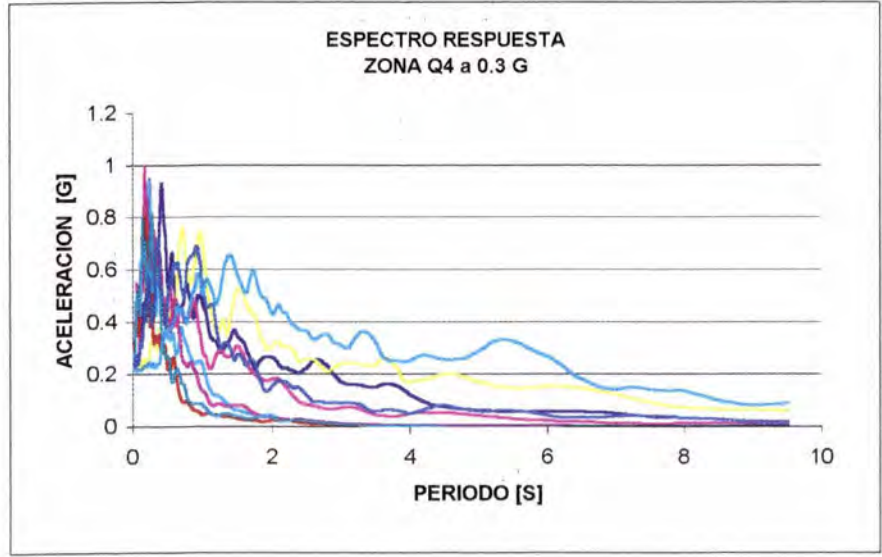
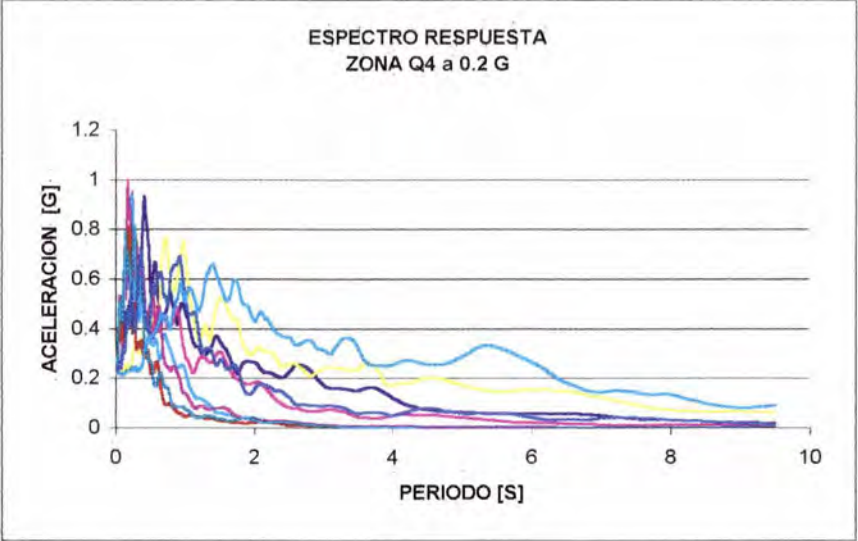
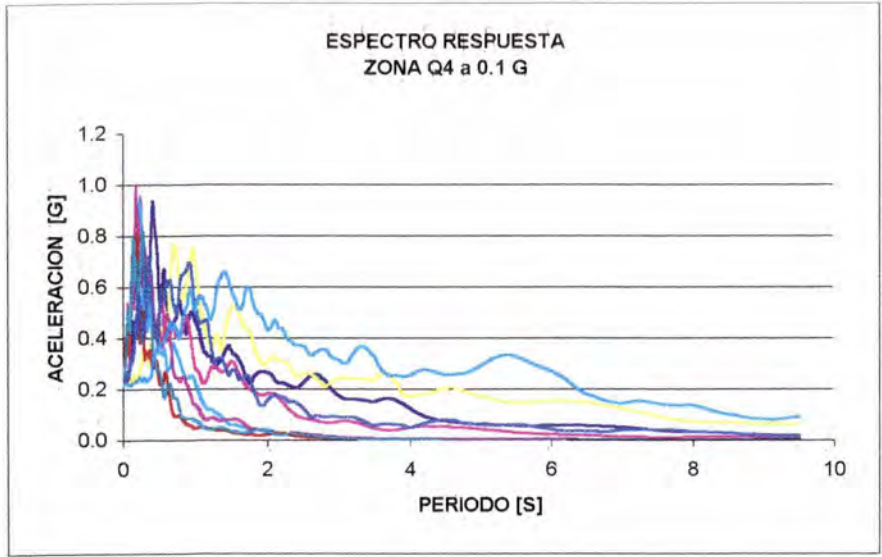
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q2s a 0.4 G



- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

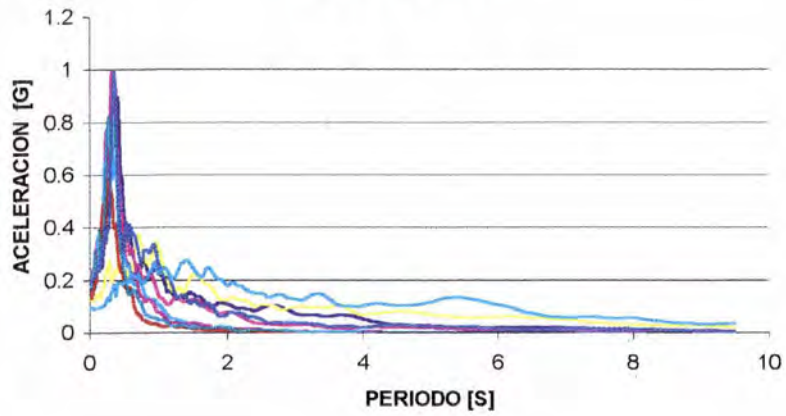


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

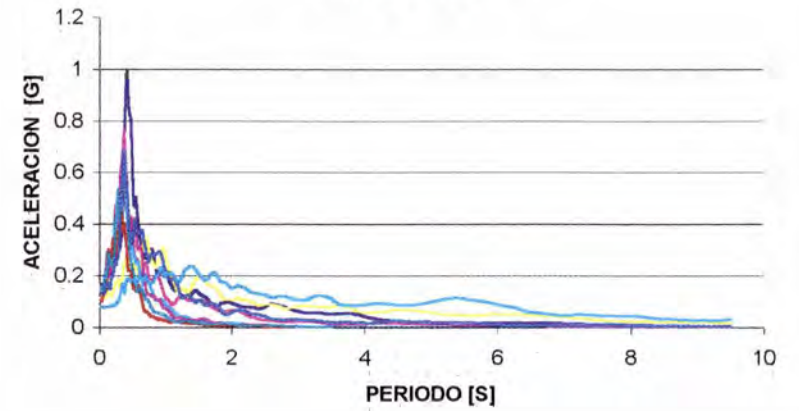


- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

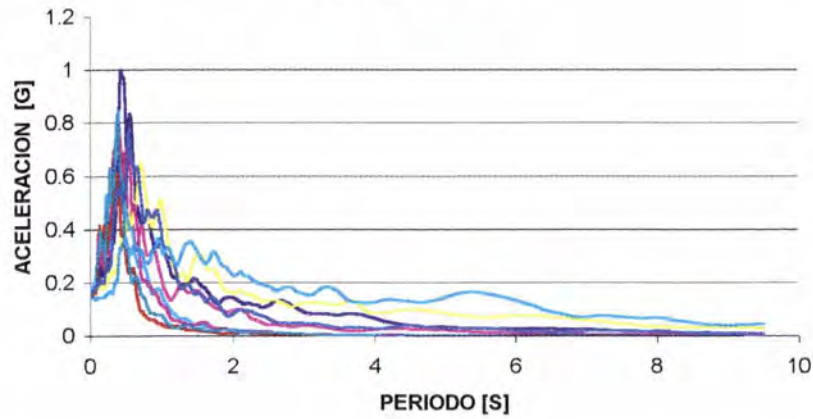
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q5 a 0.1 G



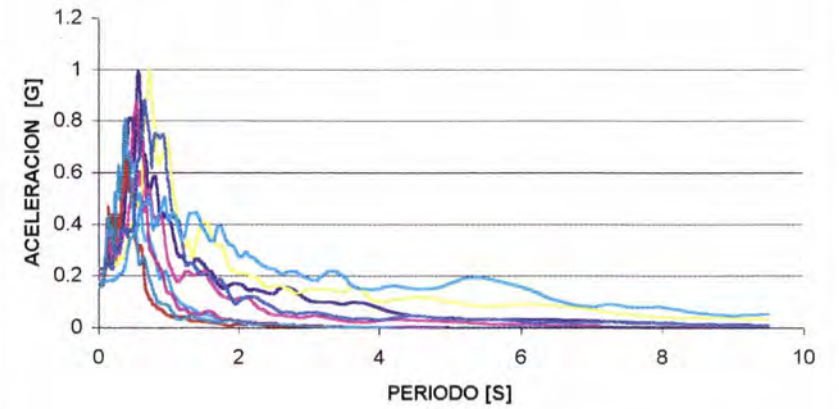
ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q5 a 0.2 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q5 a 0.3 G



ESPECTRO RESPUESTA
ZONA Q5 a 0.4 G



- SISMO INLAND
- SISMO LOCAL
- SISMO SUBDUCCION
- POMASQUI LONG
- POMASQUI TRANS
- TUMBACO LONG
- TUMBACO TRANS
- MARZO LONG
- MARZO TRANS

ANEXO C
DATOS DEL ENSAYO CROSS HOLE

ENSAYO CROSSHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITOMETROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: NUEVA VICTORIA - SUR DE QUITO

| DISTANCIA HORIZONTAL (m) | PROFUNDIDAD (m.) | Ts | | Vs | |
|--------------------------|------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| | | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 2.50 | 13.00 | 13.80 | 12.80 | 181.16 | 195.31 |
| | | 14.00 | 13.50 | 178.57 | 185.19 |
| | | 14.40 | 13.90 | 173.61 | 179.86 |
| | PROMEDIO | 14.07 | 13.40 | 177.73 | 186.78 |
| | 12.00 | 13.00 | 13.50 | 192.31 | 185.19 |
| | | 13.30 | 12.50 | 187.97 | 200.00 |
| | | 12.90 | 13.10 | 193.80 | 190.84 |
| | PROMEDIO | 13.07 | 13.03 | 191.33 | 192.01 |
| | 11.00 | 10.50 | 10.40 | 238.10 | 240.38 |
| | | 11.00 | 11.70 | 227.27 | 213.68 |
| | | 11.60 | 11.80 | 215.52 | 211.86 |
| | PROMEDIO | 11.03 | 11.30 | 226.59 | 221.97 |
| | 10.00 | 11.40 | 10.50 | 219.30 | 238.10 |
| | | 11.00 | 11.60 | 227.27 | 215.52 |
| | | 11.20 | 11.00 | 223.21 | 227.27 |
| | PROMEDIO | 11.20 | 11.03 | 223.21 | 226.96 |
| | 9.00 | 10.90 | 11.40 | 229.36 | 219.30 |
| | | 11.10 | 11.50 | 225.23 | 217.39 |
| | | 11.70 | 11.00 | 213.68 | 227.27 |
| | PROMEDIO | 11.23 | 11.30 | 222.55 | 221.32 |
| | 8.00 | 10.30 | 9.80 | 242.72 | 255.10 |
| | | 10.50 | 10.90 | 238.10 | 229.36 |
| | | 9.80 | 9.70 | 255.10 | 257.73 |
| | PROMEDIO | 10.20 | 10.13 | 245.10 | 247.40 |
| 7.00 | 8.70 | 7.30 | 287.36 | 342.47 | |
| | 7.10 | 7.60 | 352.11 | 328.95 | |
| | 7.90 | 7.90 | 316.46 | 316.46 | |
| PROMEDIO | 7.90 | 7.60 | 316.46 | 329.29 | |
| 6.00 | 11.00 | 11.00 | 227.27 | 227.27 | |
| | 11.60 | 11.00 | 215.52 | 227.27 | |
| | 12.20 | 11.90 | 204.92 | 210.08 | |
| PROMEDIO | 11.60 | 11.30 | 215.52 | 221.54 | |
| 5.00 | 7.40 | 8.80 | 337.84 | 284.09 | |
| | 7.70 | 7.90 | 324.68 | 316.46 | |
| | 8.00 | 7.40 | 312.50 | 337.84 | |
| PROMEDIO | 7.70 | 8.03 | 324.68 | 312.79 | |
| 4.00 | 12.90 | 13.80 | 193.80 | 181.16 | |
| | 13.00 | 12.90 | 192.31 | 193.80 | |
| | 12.60 | 12.00 | 198.41 | 208.33 | |
| PROMEDIO | 12.83 | 12.90 | 194.81 | 194.43 | |
| 3.00 | 12.40 | 12.60 | 201.61 | 198.41 | |
| | 13.00 | 13.30 | 192.31 | 187.97 | |
| | 13.20 | 13.00 | 189.39 | 192.31 | |
| PROMEDIO | 12.87 | 12.97 | 194.30 | 192.90 | |
| 2.00 | 17.40 | 22.00 | 143.68 | 113.64 | |
| | 17.60 | 19.70 | 142.05 | 126.90 | |
| | 18.90 | 18.70 | 132.28 | 133.69 | |
| PROMEDIO | 17.97 | 20.13 | 139.15 | 124.74 | |

ENSAYO CROSSHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: FUNDEPORTE

| DISTANCIA HORIZONTAL (m) | PROFUNDIDAD (m) | Ts | | Vs | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 2.50 | 11.00 | 2.00 | 2.50 | 1250.00 | 1000.00 |
| | | 1.60 | 2.70 | 1562.50 | 925.93 |
| | | 1.80 | 2.60 | 1388.89 | 961.54 |
| | PROMEDIO | 1.80 | 2.60 | 1388.89 | 962.49 |
| | 10.00 | 3.50 | 3.00 | 714.29 | 833.33 |
| | | 2.80 | 3.20 | 892.86 | 781.25 |
| | | 2.80 | 3.40 | 892.86 | 735.29 |
| | PROMEDIO | 3.03 | 3.20 | 824.18 | 783.29 |
| | 9.00 | 3.20 | 3.00 | 781.25 | 833.33 |
| | | 2.90 | 2.70 | 862.07 | 925.93 |
| | | 3.10 | 2.90 | 806.45 | 862.07 |
| | PROMEDIO | 3.07 | 2.87 | 815.22 | 873.78 |
| | 8.00 | 7.90 | 8.80 | 316.46 | 284.09 |
| | | 8.00 | 8.50 | 312.50 | 294.12 |
| | | 8.50 | 9.00 | 294.12 | 277.78 |
| | PROMEDIO | 8.13 | 8.77 | 307.38 | 285.33 |
| | 7.00 | 8.40 | 9.50 | 297.62 | 263.16 |
| | | 8.60 | 8.80 | 290.70 | 284.09 |
| | | 9.00 | 9.20 | 277.78 | 271.74 |
| | PROMEDIO | 8.67 | 9.17 | 288.46 | 273.00 |
| | 6.00 | 10.00 | 11.00 | 250.00 | 227.27 |
| | | 9.60 | 10.60 | 260.42 | 235.85 |
| | | 10.50 | 10.50 | 238.10 | 238.10 |
| | PROMEDIO | 10.03 | 10.70 | 249.17 | 233.74 |
| 5.00 | 10.10 | 10.40 | 247.52 | 240.38 | |
| | 9.90 | 9.70 | 252.53 | 257.73 | |
| | 9.70 | 10.00 | 257.73 | 250.00 | |
| PROMEDIO | 9.90 | 10.03 | 252.53 | 249.37 | |
| 4.00 | 9.80 | 8.90 | 255.10 | 280.90 | |
| | 10.20 | 9.90 | 245.10 | 252.53 | |
| | 9.90 | 10.30 | 252.53 | 242.72 | |
| PROMEDIO | 9.97 | 9.70 | 250.84 | 258.71 | |
| 3.00 | 14.20 | 14.20 | 176.06 | 176.06 | |
| | 13.70 | 13.70 | 182.48 | 182.48 | |
| | 13.00 | 14.20 | 192.31 | 176.06 | |
| PROMEDIO | 13.63 | 14.03 | 183.37 | 178.20 | |
| 2.00 | 15.60 | 15.10 | 160.26 | 165.56 | |
| | 14.70 | 15.70 | 170.07 | 159.24 | |
| | 14.90 | 16.20 | 167.79 | 154.32 | |
| PROMEDIO | 15.07 | 15.67 | 165.93 | 159.71 | |
| 1.00 | 16.20 | 16.90 | 154.32 | 147.93 | |
| | 15.50 | 17.50 | 161.29 | 142.86 | |
| | 16.30 | 17.20 | 153.37 | 145.35 | |
| PROMEDIO | 16.00 | 17.20 | 156.25 | 145.38 | |

ENSAYO CROSSHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
 FECHA: 27/03/01
 UBICACIÓN: CAMAL METROPOLITANO

| DISTANCIA HORIZONTAL (m) | PROFUNDIDAD (m) | Ts | | Vs | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 2.50 | 6.00 | 19.30 | 23.80 | 129.53 | 105.04 |
| | | 17.10 | 24.50 | 146.20 | 102.04 |
| | | 20.60 | 25.10 | 121.36 | 99.60 |
| | PROMEDIO | 19.00 | 24.47 | 131.58 | 102.23 |
| | 5.00 | 18.10 | 20.70 | 138.12 | 120.77 |
| | | 17.40 | 21.50 | 143.68 | 116.28 |
| | | 19.90 | 22.70 | 125.63 | 110.13 |
| | PROMEDIO | 18.47 | 21.63 | 135.38 | 115.73 |
| | 4.00 | 17.60 | 23.00 | 142.05 | 108.70 |
| | | 18.30 | 23.50 | 136.61 | 106.38 |
| | | 17.10 | 24.20 | 146.20 | 103.31 |
| | PROMEDIO | 17.67 | 23.57 | 141.51 | 106.13 |
| | 3.00 | 16.30 | 20.10 | 153.37 | 124.38 |
| | | 17.20 | 19.90 | 145.35 | 125.63 |
| | | 15.40 | 19.70 | 162.34 | 126.90 |
| | PROMEDIO | 16.30 | 19.90 | 153.37 | 125.64 |
| | 2.00 | 17.80 | 23.00 | 140.45 | 108.70 |
| | | 16.10 | 23.80 | 155.28 | 105.04 |
| | | 15.80 | 22.50 | 158.23 | 111.11 |
| | PROMEDIO | 16.57 | 23.10 | 150.91 | 108.28 |
| | 1.00 | 21.10 | 25.30 | 118.48 | 98.81 |
| | | 24.10 | 26.20 | 103.73 | 95.42 |
| | | 22.20 | 28.80 | 112.61 | 86.81 |
| | PROMEDIO | 22.47 | 26.77 | 111.28 | 93.68 |

ENSAYO CROSSHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
FECHA: 27/03/01
UBICACIÓN: MAÑOSCA

| DISTANCIA HORIZONTAL (m) | PROFUNDIDAD (m) | Ts | | Vs | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 2.50 | 10.00 | 7.00 | 12.40 | 357.14 | 201.61 |
| | | 6.40 | 13.40 | 390.63 | 186.57 |
| | | 6.60 | 13.00 | 378.79 | 192.31 |
| | PROMEDIO | 6.67 | 12.93 | 375.00 | 193.50 |
| | 9.00 | 13.50 | 15.10 | 185.19 | 165.56 |
| | | 14.10 | 16.00 | 177.30 | 156.25 |
| | | 14.60 | 17.30 | 171.23 | 144.51 |
| | PROMEDIO | 14.07 | 16.13 | 177.73 | 155.44 |
| | 8.00 | 7.40 | 9.60 | 337.84 | 260.42 |
| | | 7.20 | 8.50 | 347.22 | 294.12 |
| | | 8.60 | 10.40 | 290.70 | 240.38 |
| | PROMEDIO | 7.73 | 9.50 | 323.28 | 264.97 |
| | 7.00 | 6.30 | 9.00 | 396.83 | 277.78 |
| | | 7.40 | 9.90 | 337.84 | 252.53 |
| | | 6.80 | 11.20 | 367.65 | 223.21 |
| | PROMEDIO | 6.83 | 10.03 | 365.85 | 251.17 |
| | 6.00 | 11.60 | 13.30 | 215.52 | 187.97 |
| | | 11.20 | 13.10 | 223.21 | 190.84 |
| | | 10.90 | 13.30 | 229.36 | 187.97 |
| | PROMEDIO | 11.23 | 13.23 | 222.55 | 188.93 |
| | 5.00 | 7.40 | 9.60 | 337.84 | 260.42 |
| | | 7.20 | 10.20 | 347.22 | 245.10 |
| | | 7.10 | 10.70 | 352.11 | 233.64 |
| | PROMEDIO | 7.23 | 10.17 | 345.62 | 246.39 |
| 4.00 | 6.10 | 9.90 | 409.84 | 252.53 | |
| | 7.60 | 9.40 | 328.95 | 265.96 | |
| | 7.80 | 9.90 | 320.51 | 252.53 | |
| PROMEDIO | 7.17 | 9.73 | 348.84 | 257.00 | |
| 3.00 | 9.80 | 10.50 | 255.10 | 238.10 | |
| | 10.50 | 11.20 | 238.10 | 223.21 | |
| | 10.40 | 11.80 | 240.38 | 211.86 | |
| PROMEDIO | 10.23 | 11.17 | 244.30 | 224.39 | |
| 1.00 | 9.60 | 12.90 | 260.42 | 193.80 | |
| | 10.10 | 13.30 | 247.52 | 187.97 | |
| | 10.60 | 13.90 | 235.85 | 179.86 | |
| PROMEDIO | 10.10 | 13.37 | 247.52 | 187.21 | |

ENSAYO CROSSHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: GUAMANI

| DISTANCIA HORIZONTAL (m) | PROFUNDIDAD (m) | Ts | | Vs | |
|--------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 1.00 | 7.00 | 12.60 | 17.60 | 79.37 | 56.82 |
| | | 13.40 | 17.40 | 74.63 | 57.47 |
| | | 13.60 | 18.60 | 73.53 | 53.76 |
| | PROMEDIO | 13.20 | 17.87 | 75.76 | 56.02 |
| | 5.00 | 11.30 | 9.30 | 88.50 | 107.53 |
| | | 12.50 | 9.00 | 80.00 | 111.11 |
| | | 13.20 | 9.10 | 75.76 | 109.89 |
| | PROMEDIO | 12.33 | 9.13 | 81.08 | 109.51 |
| | 4.00 | 6.30 | 9.50 | 158.73 | 105.26 |
| | | 6.80 | 8.50 | 147.06 | 117.65 |
| | | 6.90 | 8.60 | 144.93 | 116.28 |
| | PROMEDIO | 6.67 | 8.87 | 150.00 | 113.06 |
| 3.00 | 14.50 | 7.30 | 68.97 | 136.99 | |
| | | 13.50 | 7.80 | 74.07 | 128.21 |
| | | 16.00 | 8.50 | 62.50 | 117.65 |
| | PROMEDIO | 14.67 | 7.87 | 68.18 | 127.61 |
| | 2.00 | 13.40 | 15.20 | 74.63 | 65.79 |
| | | 12.90 | 15.80 | 77.52 | 63.29 |
| 1.00 | | 11.90 | 15.40 | 84.03 | 64.94 |
| | PROMEDIO | 12.73 | 15.47 | 78.53 | 64.67 |
| | 1.00 | 7.22 | 9.50 | 138.50 | 105.26 |
| | | 7.39 | 10.08 | 135.32 | 99.21 |
| | 7.90 | 9.66 | 126.58 | 103.52 | |
| PROMEDIO | 7.50 | 9.75 | 133.27 | 102.66 | |

ANEXO D
DATOS DEL ENSAYO DOWN HOLE

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: CARCELÉN BAJO- COLEGIO AMERICANO

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 6.60 | 6.70 | 158.19 | 155.83 |
| | | 6.70 | 6.30 | 155.83 | 165.72 |
| | | 6.60 | 6.40 | 158.19 | 163.13 |
| | PROM. | 6.63 | 6.47 | 157.40 | 161.56 |
| | 2.00 | 8.50 | 8.60 | 524.11 | 458.60 |
| | | 8.60 | 8.30 | 497.46 | 533.64 |
| | | 8.70 | 8.10 | 473.39 | 598.99 |
| | PROM. | 8.60 | 8.33 | 498.32 | 530.41 |
| | 3.00 | 10.20 | 10.10 | 620.37 | 561.84 |
| | | 10.10 | 10.00 | 661.73 | 595.55 |
| | | 10.20 | 10.10 | 620.37 | 561.84 |
| | PROM. | 10.17 | 10.07 | 634.15 | 573.08 |
| | 4.00 | 11.90 | 11.60 | 574.77 | 649.74 |
| | | 11.20 | 11.80 | 964.13 | 574.77 |
| | | 11.40 | 11.50 | 807.79 | 695.07 |
| | PROM. | 11.50 | 11.63 | 782.23 | 639.86 |
| | 5.00 | 12.80 | 11.80 | 767.51 | 574.77 |
| | | 13.20 | 12.00 | 586.92 | 515.31 |
| | | 13.10 | 12.20 | 623.60 | 467.00 |
| | PROM. | 13.03 | 12.00 | 659.34 | 519.03 |
| | 6.00 | 13.40 | 12.30 | 525.14 | 446.09 |
| | | 13.00 | 12.10 | 665.17 | 489.97 |
| | | 12.90 | 11.80 | 712.68 | 574.77 |
| | PROM. | 13.10 | 12.07 | 634.33 | 503.61 |
| | 7.00 | 12.80 | 13.10 | 767.51 | 328.44 |
| | | 13.00 | 12.60 | 665.17 | 393.27 |
| | | 13.30 | 13.00 | 554.31 | 339.64 |
| | PROM. | 13.03 | 12.90 | 662.33 | 353.78 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: AV. REAL AUDIENCIA DE QUITO

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 6.30 | 6.50 | 165.72 | 160.62 |
| | | 6.80 | 6.60 | 153.53 | 158.19 |
| | | 6.80 | 6.60 | 153.53 | 158.19 |
| | PROM. | 6.63 | 6.57 | 157.60 | 159.00 |
| | 2.00 | 8.90 | 9.00 | 431.62 | 402.06 |
| | | 9.20 | 9.20 | 381.17 | 371.52 |
| | | 9.10 | 8.90 | 396.63 | 419.29 |
| | PROM. | 9.07 | 9.03 | 403.14 | 397.62 |
| | 3.00 | 11.20 | 11.80 | 465.28 | 358.77 |
| | | 11.70 | 11.90 | 376.93 | 346.25 |
| | | 11.50 | 11.80 | 407.91 | 358.77 |
| | PROM. | 11.47 | 11.83 | 416.71 | 354.59 |
| | 4.00 | 13.60 | 14.50 | 467.00 | 373.60 |
| | | 13.90 | 14.70 | 409.43 | 347.54 |
| | | 13.90 | 14.80 | 409.43 | 335.82 |
| | PROM. | 13.80 | 14.67 | 428.62 | 352.32 |
| | 5.00 | 15.60 | 15.50 | 554.31 | 271.71 |
| | | 15.90 | 15.30 | 475.12 | 287.39 |
| | | 16.10 | 14.80 | 433.81 | 335.82 |
| | PROM. | 15.87 | 15.20 | 487.75 | 298.31 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: SECTOR LOS DOS PUENTES

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 5.60 | 5.10 | 186.43 | 204.71 |
| | | 5.40 | 5.20 | 193.34 | 200.78 |
| | | 5.20 | 5.30 | 200.78 | 196.99 |
| | PROM. | 5.40 | 5.20 | 193.52 | 200.82 |
| | 2.00 | 13.20 | 12.60 | 125.43 | 132.21 |
| | | 13.60 | 12.80 | 119.31 | 128.73 |
| | | 13.00 | 11.90 | 128.73 | 146.02 |
| | | PROM. | 13.27 | 12.43 | 124.49 |
| | 3.00 | 16.00 | 16.20 | 363.14 | 263.52 |
| | | 16.20 | 15.70 | 338.38 | 303.85 |
| | | 16.00 | 15.50 | 363.14 | 323.67 |
| | | PROM. | 16.07 | 15.80 | 354.89 |
| | 4.00 | 19.90 | 19.00 | 259.90 | 311.33 |
| | | 20.10 | 19.20 | 247.01 | 293.02 |
| | | 19.70 | 18.90 | 274.20 | 321.38 |
| | | PROM. | 19.90 | 19.03 | 260.37 |
| | 5.00 | 22.30 | 22.50 | 415.73 | 148.70 |
| | | 22.70 | 21.40 | 356.34 | 177.91 |
| | | 22.10 | 21.50 | 453.53 | 174.78 |
| | | PROM. | 22.37 | 21.80 | 408.53 |
| | 6.00 | 23.30 | 21.80 | 293.46 | 166.05 |
| | | 22.70 | 21.60 | 356.34 | 171.77 |
| | | 22.80 | 21.60 | 344.05 | 171.77 |
| | | PROM. | 22.93 | 21.67 | 331.28 |
| | 7.00 | 21.80 | 21.20 | 525.14 | 184.49 |
| | | 21.80 | 20.70 | 525.14 | 203.32 |
| | | 21.60 | 21.00 | 586.92 | 191.59 |
| | | PROM. | 21.73 | 20.97 | 545.73 |
| | 8.00 | 24.70 | 23.80 | 207.87 | 124.53 |
| | | 24.60 | 23.30 | 212.29 | 132.84 |
| | | 25.00 | 23.20 | 195.64 | 134.63 |
| | | PROM. | 24.77 | 23.43 | 205.26 |
| | 9.00 | 25.00 | 24.90 | 195.64 | 109.48 |
| | | 25.40 | 24.70 | 181.41 | 111.94 |
| | | 25.50 | 24.70 | 178.17 | 111.94 |
| | | PROM. | 25.30 | 24.77 | 185.07 |
| | 10.00 | 27.20 | 25.70 | 136.68 | 100.63 |
| | | 26.20 | 25.40 | 158.37 | 103.78 |
| | | 25.90 | 25.20 | 166.29 | 105.99 |
| | | PROM. | 26.43 | 25.43 | 153.78 |
| | 11.00 | 28.00 | 27.80 | 123.18 | 83.02 |
| | | 28.10 | 27.30 | 121.68 | 86.63 |
| | | 27.30 | 27.00 | 134.83 | 88.95 |
| | | PROM. | 27.80 | 27.37 | 126.56 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
 FECHA: 27/03/01
 UBICACIÓN: ZONA INDUSTRIAL - SUR DE QUITO

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 8.50 | 10.10 | 122.83 | 103.37 |
| | | 9.30 | 9.80 | 112.26 | 106.53 |
| | | 9.50 | 9.60 | 109.90 | 108.75 |
| | PROM. | 9.10 | 9.83 | 115.00 | 106.22 |
| | 2.00 | 11.00 | 11.30 | 514.92 | 667.05 |
| | | 11.30 | 11.60 | 444.70 | 553.78 |
| | | 11.60 | 11.40 | 391.34 | 624.48 |
| | PROM. | 11.30 | 11.43 | 450.32 | 615.10 |
| | 3.00 | 12.80 | 12.50 | 661.73 | 930.55 |
| | | 12.80 | 13.10 | 661.73 | 595.55 |
| | | 13.10 | 13.30 | 551.44 | 531.74 |
| | PROM. | 12.90 | 12.97 | 624.96 | 685.95 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
 FECHA: 27/03/01
 UBICACIÓN: SECTOR SANTA ROSA (1) - CUMBAYÁ

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 5.70 | 6.30 | 183.16 | 165.72 |
| | | 6.10 | 6.50 | 171.15 | 160.62 |
| | | 5.70 | 6.50 | 183.16 | 160.62 |
| | | PROM. | 5.83 | 6.43 | 179.16 |
| | 2.00 | 9.70 | 9.30 | 253.02 | 341.28 |
| | | 8.70 | 9.20 | 341.28 | 353.62 |
| | | 9.60 | 8.90 | 259.74 | 396.63 |
| | | PROM. | 9.33 | 9.13 | 284.68 |
| | 3.00 | 11.20 | 11.10 | 531.74 | 504.71 |
| | | 11.10 | 10.90 | 561.84 | 561.84 |
| | | 10.90 | 10.90 | 633.57 | 561.84 |
| | | PROM. | 11.07 | 10.97 | 575.72 |
| | 4.00 | 11.10 | 10.90 | 561.84 | 561.84 |
| | | 11.20 | 10.80 | 531.74 | 595.55 |
| | | 11.30 | 10.90 | 504.71 | 561.84 |
| | | PROM. | 11.20 | 10.87 | 532.76 |
| | 5.00 | 11.60 | 11.00 | 437.91 | 531.74 |
| | | 11.30 | 11.40 | 504.71 | 437.91 |
| | | 11.00 | 11.00 | 595.55 | 531.74 |
| | | PROM. | 11.30 | 11.13 | 512.72 |
| | 6.00 | 11.30 | 11.10 | 504.71 | 504.71 |
| | | 10.90 | 10.90 | 633.57 | 561.84 |
| | | 10.70 | 11.30 | 726.28 | 458.12 |
| | | PROM. | 10.97 | 11.10 | 621.52 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
 FECHA: 27/03/01
 UBICACIÓN: SECTOR SANTA ROSA (2) - CUMBAYA

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 5.70 | 5.40 | 183.16 | 193.34 |
| | | 5.50 | 5.40 | 189.82 | 193.34 |
| | | 5.40 | 5.40 | 193.34 | 193.34 |
| | PROM. | 5.53 | 5.40 | 188.78 | 193.34 |
| | 2.00 | 8.10 | 8.10 | 381.17 | 362.35 |
| | | 9.00 | 8.20 | 282.21 | 349.41 |
| | | 8.50 | 8.20 | 329.78 | 349.41 |
| | PROM. | 8.53 | 8.17 | 331.06 | 353.72 |
| | 3.00 | 11.10 | 11.10 | 386.72 | 338.38 |
| | | 11.20 | 11.10 | 372.22 | 338.38 |
| | | 10.90 | 10.80 | 419.40 | 376.93 |
| | PROM. | 11.07 | 11.00 | 392.78 | 351.23 |
| | 4.00 | 13.00 | 13.90 | 222.22 | 173.13 |
| | | 13.60 | 13.60 | 195.91 | 182.68 |
| | | 13.40 | 13.50 | 203.96 | 186.11 |
| | PROM. | 13.33 | 13.67 | 207.36 | 180.64 |
| | 5.00 | 16.10 | 16.80 | 131.18 | 114.97 |
| | | 15.80 | 16.70 | 136.59 | 116.32 |
| | | 15.80 | 16.20 | 136.59 | 123.56 |
| | PROM. | 15.90 | 16.57 | 134.79 | 118.28 |
| | 6.00 | 17.10 | 18.00 | 115.87 | 100.94 |
| | | 17.70 | 17.80 | 108.28 | 103.04 |
| | | 17.30 | 17.50 | 113.22 | 106.35 |
| | PROM. | 17.37 | 17.77 | 112.46 | 103.44 |
| 7.00 | 17.60 | 18.00 | 109.48 | 100.94 | |
| | 17.60 | 18.40 | 109.48 | 97.00 | |
| | 18.10 | 17.80 | 103.75 | 103.04 | |
| PROM. | 17.77 | 18.07 | 107.57 | 100.32 | |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: POMASQUÍ - LA PAMPA

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 4.20 | 4.70 | 248.58 | 222.13 |
| | | 4.70 | 4.90 | 222.13 | 213.07 |
| | | 5.10 | 4.60 | 204.71 | 226.96 |
| | PROM. | 4.67 | 4.73 | 225.14 | 220.72 |
| | 2.00 | 10.00 | 9.60 | 183.44 | 201.03 |
| | | 9.80 | 10.60 | 190.59 | 166.76 |
| | | 9.70 | 10.60 | 194.37 | 166.76 |
| | PROM. | 9.83 | 10.27 | 189.47 | 178.19 |
| | 3.00 | 11.00 | 11.40 | 850.79 | 875.81 |
| | | 11.20 | 11.50 | 726.28 | 804.80 |
| | | 11.70 | 11.70 | 531.74 | 692.50 |
| | PROM. | 11.30 | 11.53 | 702.94 | 791.04 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: POMASQUÍ - CONTRALORÍA

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 9.80 | 8.80 | 106.53 | 118.64 |
| | | 9.50 | 9.00 | 109.90 | 116.00 |
| | | 9.60 | 9.40 | 108.75 | 111.07 |
| | PROM. | 9.63 | 9.07 | 108.39 | 115.24 |
| | 2.00 | 12.50 | 12.00 | 341.28 | 333.53 |
| | | 12.90 | 11.50 | 299.49 | 402.06 |
| | | 12.80 | 11.80 | 308.95 | 357.93 |
| | PROM. | 12.73 | 11.77 | 316.58 | 364.51 |
| | 3.00 | 13.40 | 12.00 | 1488.88 | 4253.95 |
| | | 13.00 | 13.00 | 3722.20 | 804.80 |
| | | 13.00 | 12.50 | 3722.20 | 1353.53 |
| | PROM. | 13.13 | 12.50 | 2977.76 | 2137.43 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: EL TINGO

| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.70 | 1.00 | 9.60 | 10.00 | 127.15 | 122.07 |
| | | 10.20 | 9.50 | 119.67 | 128.49 |
| | | 10.70 | 9.40 | 114.08 | 129.86 |
| | PROM. | 10.17 | 9.63 | 120.30 | 126.80 |
| | 2.00 | 11.40 | 10.70 | 728.36 | 842.16 |
| | | 11.40 | 10.80 | 728.36 | 769.98 |
| | | 11.30 | 11.00 | 792.62 | 657.30 |
| | PROM. | 11.37 | 10.83 | 749.78 | 756.48 |
| | 3.00 | 12.50 | 11.70 | 848.49 | 1109.56 |
| | | 13.00 | 11.80 | 588.75 | 994.78 |
| | | 12.50 | 11.70 | 848.49 | 1109.56 |
| | PROM. | 12.67 | 11.73 | 761.91 | 1071.30 |
| | 4.00 | 13.90 | 12.80 | 794.76 | 918.94 |
| | | 14.00 | 13.00 | 735.15 | 773.85 |
| | | 14.10 | 12.90 | 683.86 | 840.17 |
| | PROM. | 14.00 | 12.90 | 737.93 | 844.32 |
| | 5.00 | 15.20 | 12.50 | 823.31 | 1278.53 |
| | | 15.10 | 12.40 | 898.16 | 1470.31 |
| | | 15.10 | 12.80 | 898.16 | 918.94 |
| | PROM. | 15.13 | 12.57 | 873.21 | 1222.59 |

ENSAYO DOWNHOLE

PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS
DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FECHA: 27/03/01

UBICACIÓN: CONOCOTO - INNFA

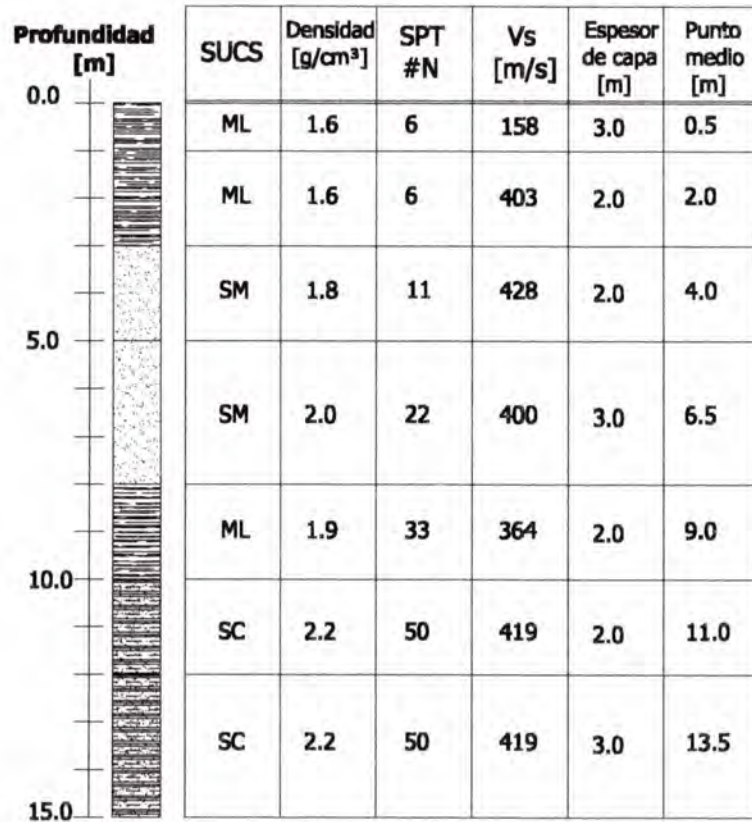
| DISTANCIAS | | Ts | | Vs | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| HORIZONTAL (m) | VERTICAL (m) | DIRECTA (ms) | INVERSA (ms) | DIRECTA (m/s) | INVERSA (m/s) |
| 0.30 | 1.00 | 6.10 | 6.90 | 171.15 | 151.31 |
| | | 6.20 | 6.10 | 168.39 | 171.15 |
| | | 6.10 | 6.20 | 171.15 | 168.39 |
| | PROM. | 6.13 | 6.40 | 170.23 | 163.62 |
| | 2.00 | 9.60 | 8.20 | 583.38 | 1123.54 |
| | | 9.90 | 8.50 | 536.91 | 963.04 |
| | | 9.30 | 8.40 | 638.64 | 1011.19 |
| | PROM. | 9.60 | 8.37 | 586.31 | 1032.59 |
| | 3.00 | 11.20 | 10.80 | 620.37 | 407.91 |
| | | 11.20 | 10.80 | 620.37 | 407.91 |
| | | 11.10 | 11.00 | 661.73 | 376.93 |
| | PROM. | 11.17 | 10.87 | 634.15 | 397.59 |
| | 4.00 | 12.50 | 13.20 | 747.20 | 426.97 |
| | | 13.00 | 13.00 | 543.42 | 467.00 |
| | | 12.80 | 13.10 | 609.96 | 446.09 |
| | PROM. | 12.77 | 13.10 | 633.53 | 446.69 |
| | 5.00 | 14.10 | 15.00 | 748.32 | 241.03 |
| | | 14.20 | 15.20 | 696.11 | 229.91 |
| | | 14.40 | 14.60 | 610.87 | 266.86 |
| | PROM. | 14.23 | 14.93 | 685.10 | 245.93 |
| | 6.00 | 14.70 | 15.80 | 516.08 | 201.95 |
| | | 14.80 | 15.20 | 490.70 | 229.91 |
| | | 14.90 | 15.10 | 467.70 | 235.34 |
| | PROM. | 14.80 | 15.37 | 491.49 | 222.40 |

ANEXO E
COLUMNAS CARACTERÍSTICAS DE
SUELO DE LAS ZONAS CORREGIDAS

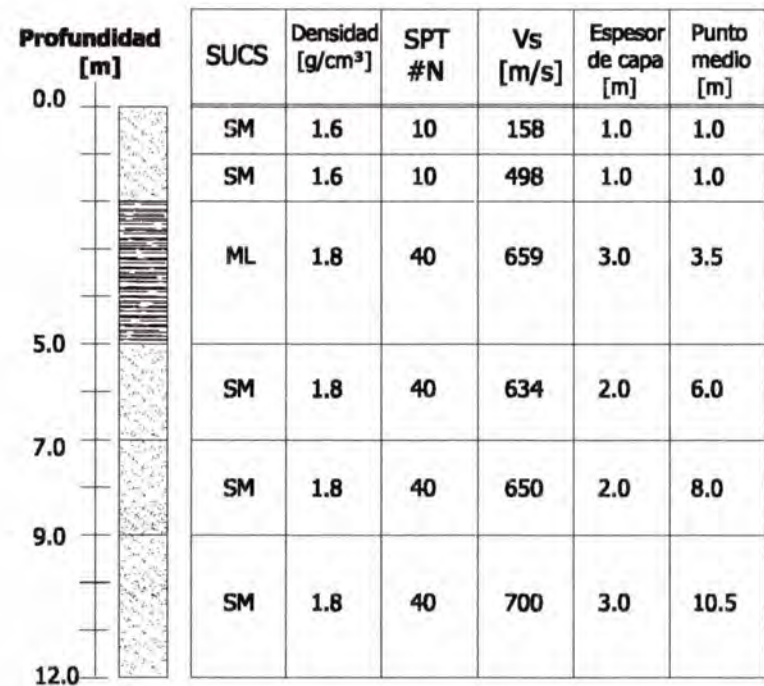
| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : F4 | |
| Propiedades Prom: Vs = 323.071 m/s T = 0.180 s | Profundidad máxima: 14.0 m |

| Profundidad [m] | SUCS | Densidad [g/cm ³] | SPT #N | Vs [m/s] | Espesor de capa [m] | Punto medio [m] |
|-----------------|------|-------------------------------|--------|----------|---------------------|-----------------|
| 0.0 | ML | 1.8 | 9 | 244 | 2.0 | 1.0 |
| | ML | 1.8 | 23 | 345 | 3.0 | 3.5 |
| 5.0 | ML | 2.0 | 44 | 200 | 3.0 | 6.5 |
| | ML | 2.0 | 44 | 400 | 3.0 | 9.5 |
| 10.0 | ML | 2.0 | 44 | 400 | 3.0 | 12.5 |

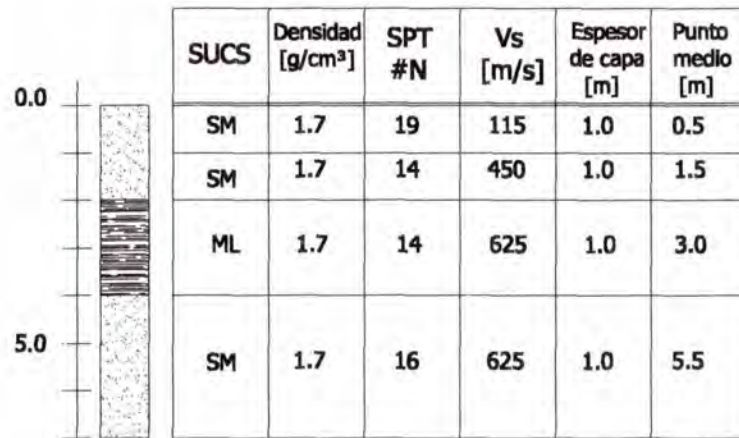
| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : Q3 | |
| Propiedades Prom: Vs = 389.53 m/s T = 0.190 s | Profundidad máxima: 15.0 m |



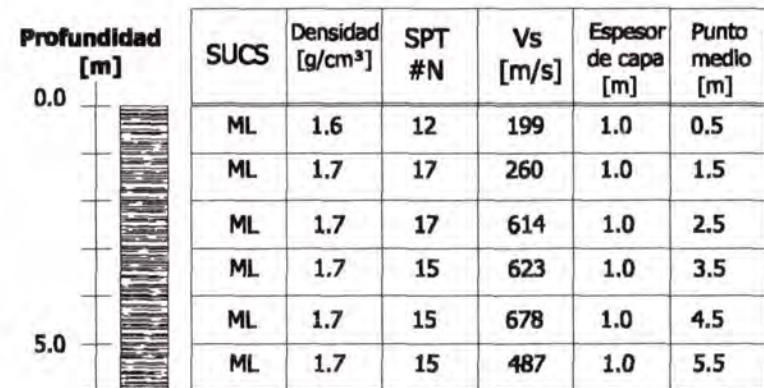
| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : Q4 | |
| Propiedades Prom: Vs = 608.42 m/s T = 0.064 s | Profundidad máxima: 12.0 m |



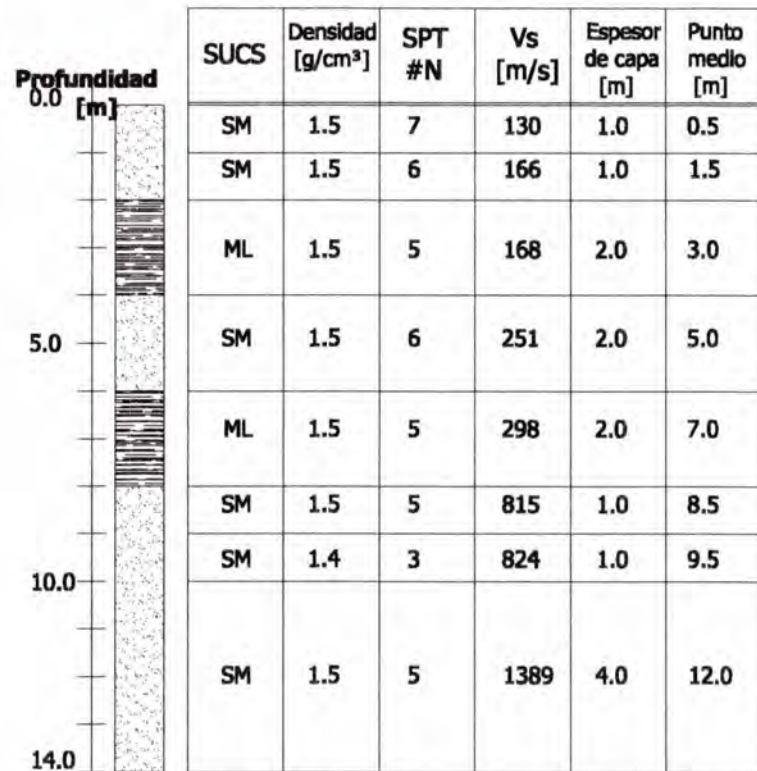
| | |
|---|---------------------------|
| Zona de suelo : Q5 | |
| Propiedades Prom: Vs = 527.14 m/s T = 0.05 s | Profundidad máxima: 7.0 m |



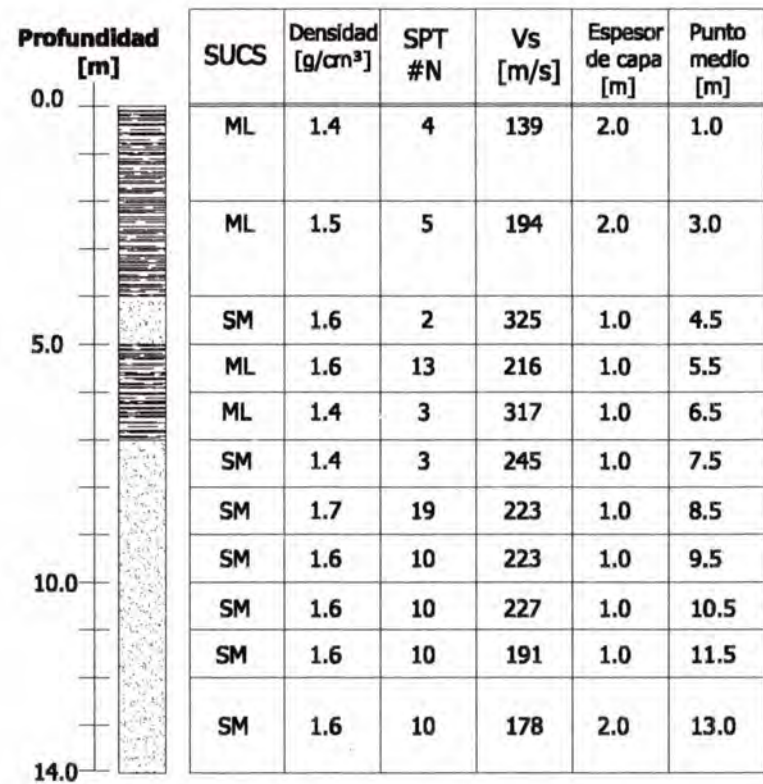
| | |
|---|---------------------------|
| Zona de suelo : Q7 | |
| Propiedades Prom: Vs = 476.83 m/s T = 0.05 s | Profundidad máxima: 6.0 m |



| | |
|--|----------------------------|
| Zona de suelo : L6 | |
| Propiedades Prom: Vs = 637.50 m/s T = 0.210 s | Profundidad máxima: 14.0 m |

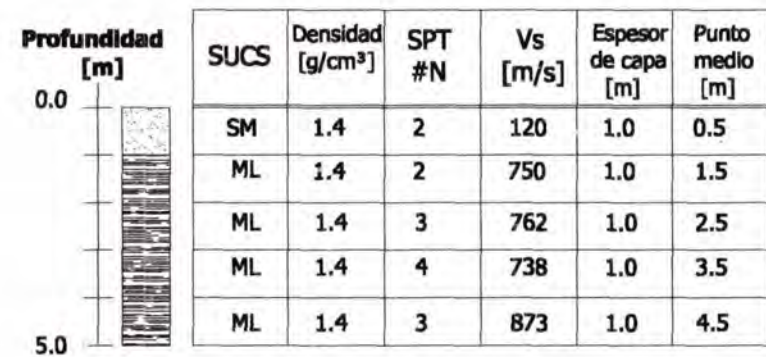
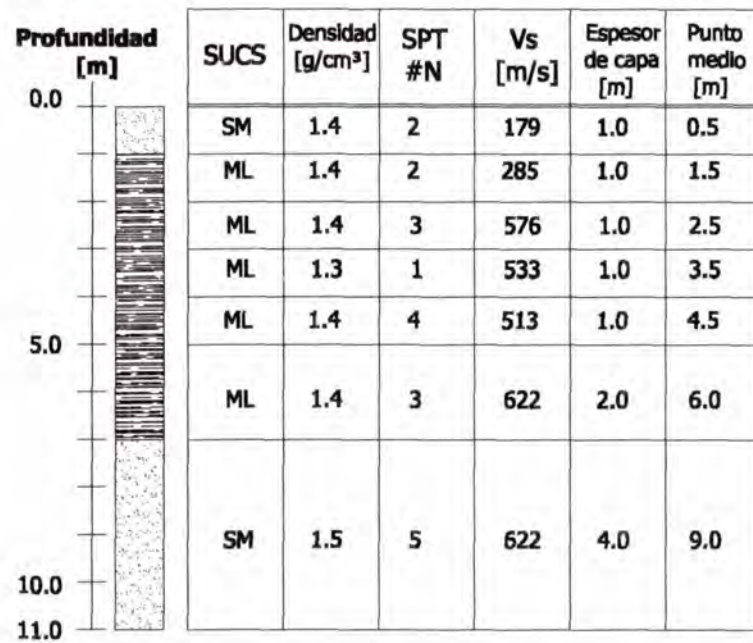


| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : L7 | |
| Propiedades Prom: Vs = 213.50 m/s T = 0.90 s | Profundidad máxima: 14.0 m |



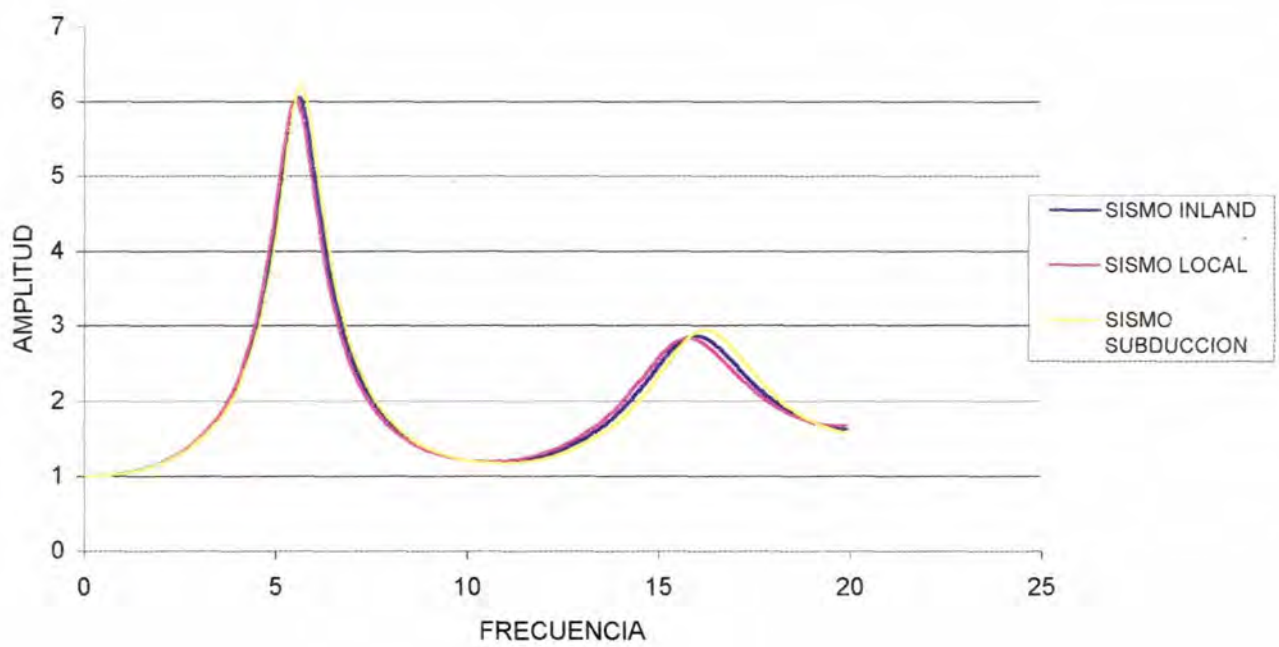
| | |
|---|----------------------------|
| Zona de suelo : L8 | |
| Propiedades Prom: Vs = 528.91 m/s T = 0.08 s | Profundidad máxima: 11.0 m |

| | |
|--|---------------------------|
| Zona de suelo : LH | |
| Propiedades Prom: Vs = 648.6 m/s T = 0.05 s | Profundidad máxima: 5.0 m |

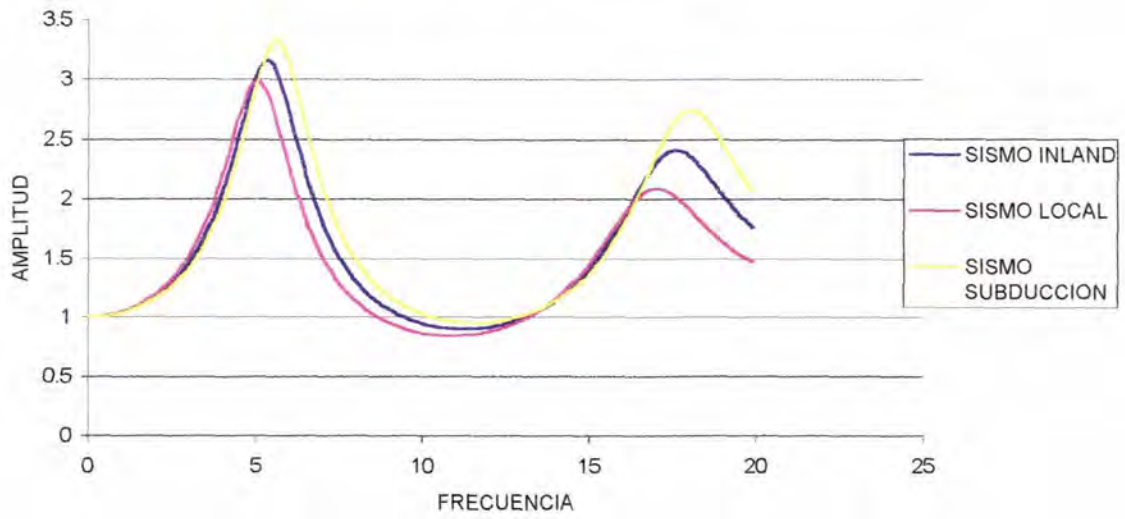


ANEXO F
FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE
LAS ZONAS CORREGIDAS

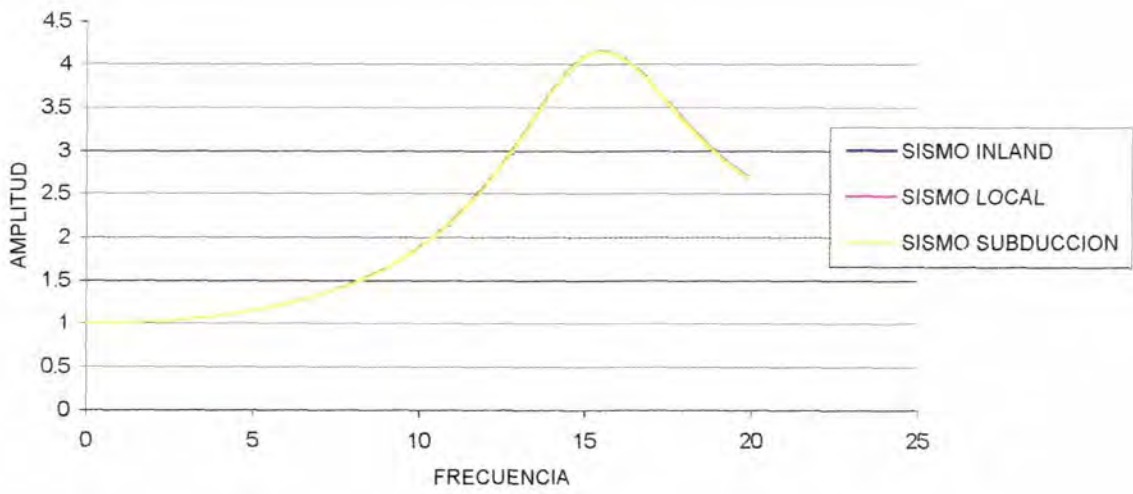
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA F4 CORREGIDA



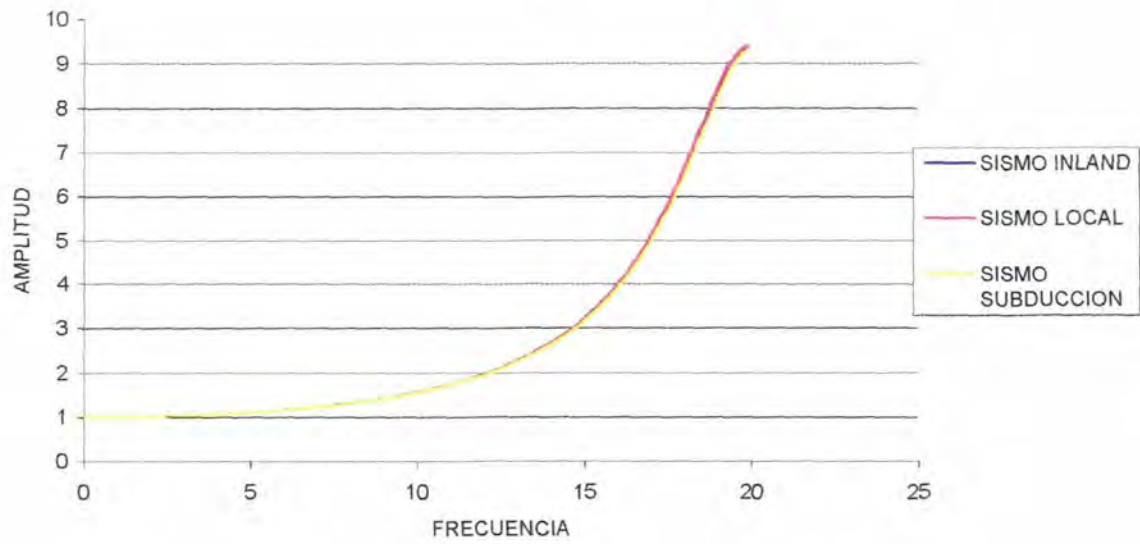
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q3 CORREGIDA



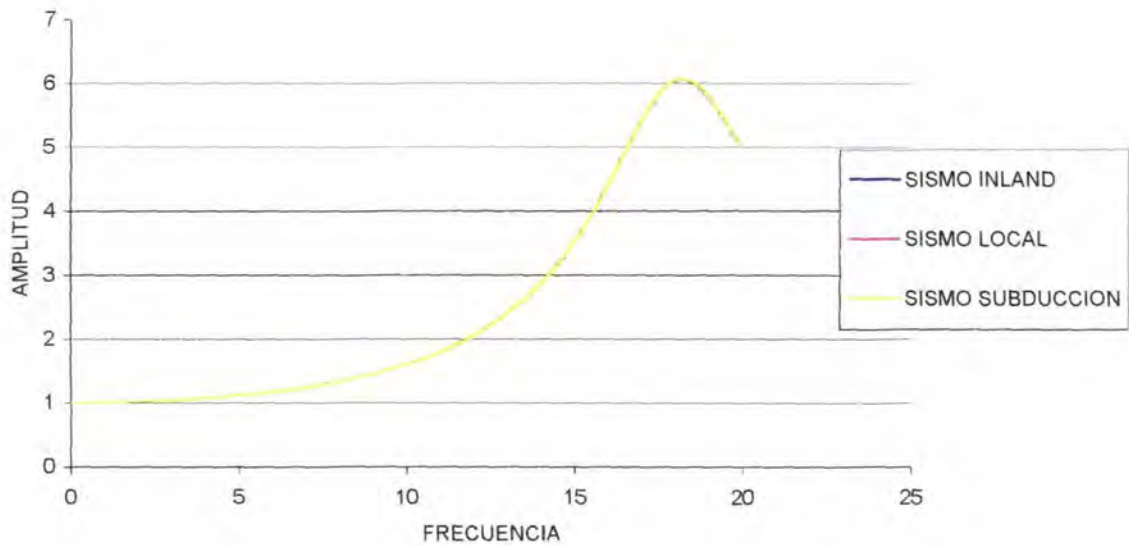
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q4 CORREGIDA



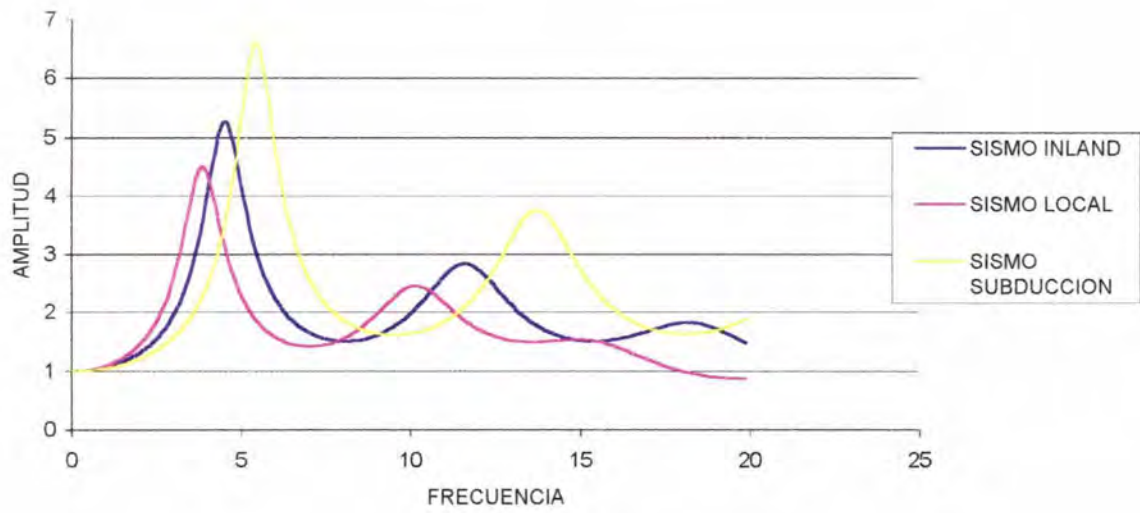
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q5



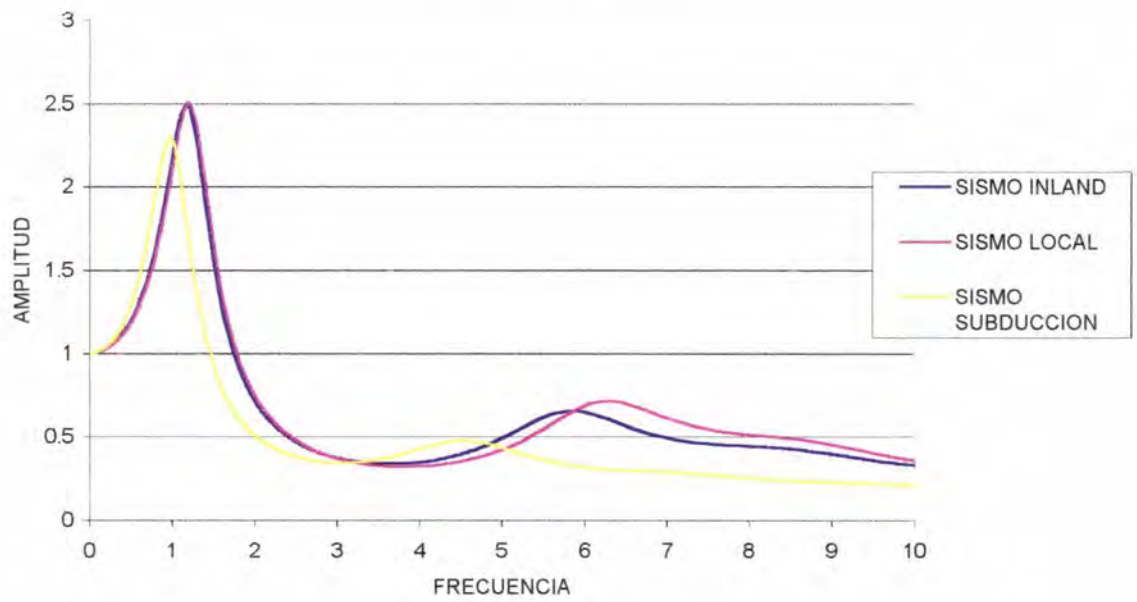
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA Q7



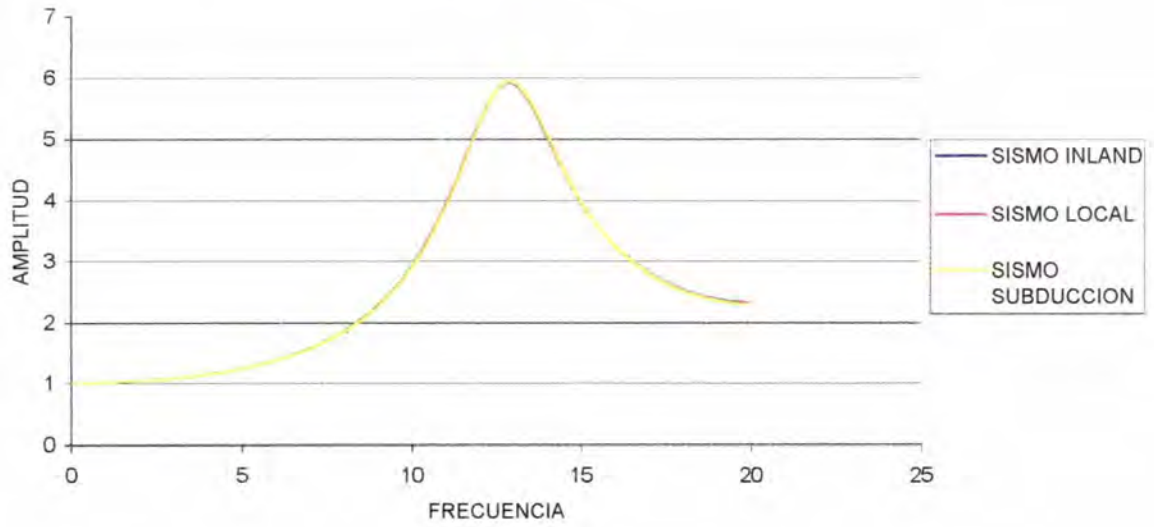
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L6



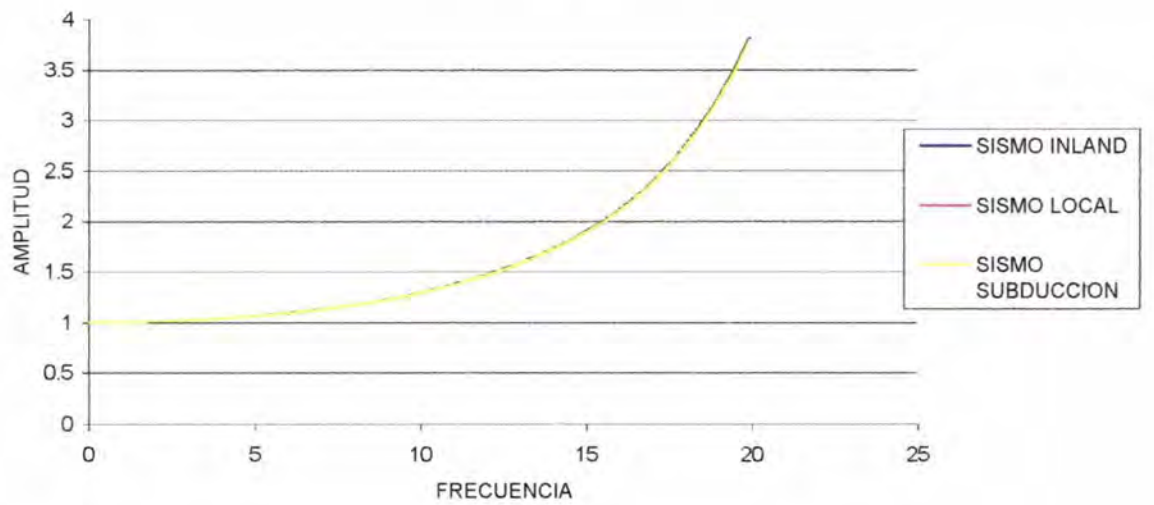
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L7



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA L8



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
ZONA LH



ANEXO G
CAPÍTULO 1 DEL NUEVO CÓDIGO
ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN
(CEC 2000)

**CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN.
PELIGRO SÍSMICO, ESPECTROS DE DISEÑO Y REQUISITOS MÍNIMOS DE CALCULO
PARA DISEÑO SISMO-RESISTENTE**

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Las especificaciones de este capítulo deben ser consideradas como requisitos mínimos a aplicarse para el cálculo y diseño de una estructura, con el fin de resistir eventos de origen sísmico. Dichos requisitos se basan principalmente en el comportamiento dinámico de estructuras de edificación. Para el caso de estructuras distintas a las de edificación, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, presas, tuberías, etc., cuyo comportamiento dinámico es distinto al de las estructuras de edificación, se deberán aplicar consideraciones adicionales especiales que complementen los requisitos mínimos que constan en el presente código.

Es la intención del presente código que, al cumplir con los requisitos aquí detallados, se proporcione a la estructura de un adecuado diseño sismo-resistente que cumpla con la siguiente filosofía:

- Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.

Estos objetivos se consiguen diseñando la estructura para que:

- Tenga la capacidad para resistir las fuerzas recomendadas por el código.
- Presente las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles.
- Pueda disipar energía de deformación inelástica, dado que el sismo de diseño produce fuerzas mucho mayores que las equivalentes recomendadas por el código.

La memoria de cálculo incluirá una descripción del sistema estructural, los parámetros utilizados para definir las fuerzas sísmicas de diseño, el espectro de diseño o cualquier otro método de definición de la acción sísmica utilizada, así como también los desplazamientos y derivas máximas que presente la estructura, demostrando el cumplimiento de las especificaciones de este código, debiendo incluir una descripción de la revisión del comportamiento inelástico, acorde con la filosofía descrita.

2. OBJETO Y ALCANCE

2.1 El objeto de este código es el de establecer un conjunto de especificaciones básicas adecuadas para el diseño de estructuras que están sujetas a los efectos de terremotos que podrían presentarse en algún momento de su vida útil.

2.2 El alcance de este código es de carácter nacional. Todos los profesionales e instituciones públicas y privadas dedicados a tareas de diseño, construcción o fiscalización, tienen la obligación de cumplir y hacer cumplir los requisitos mínimos establecidos en el presente código.

3. DEFINICIONES

3.1 Para efectos de este código se adoptan las siguientes definiciones:

3.1.1 Altura de piso: La distancia entre los diferentes niveles de piso de una estructura.

3.1.2 Base de la estructura: Nivel al cual se considera que la acción sísmica actúa sobre la estructura.

3.1.3 Cortante basal de diseño: Fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones del presente código.

3.1.4 Cortante de piso: Sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado.

3.1.5 Deriva de piso: Desplazamiento lateral relativo de un piso con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura.

3.1.6 Edificaciones esenciales: Aquellas estructuras que deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias.

3.1.7 Efectos P- Δ : Son los efectos secundarios que afectan a las fuerzas cortantes y axiales, y a los momentos flectores, cuando se aplican cargas verticales que actúan en pórticos deformados lateralmente.

3.1.8 Espectro de respuesta para diseño: Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. Este espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura, o bien puede ser un espectro construido según los requerimientos especificados en este código.

3.1.9 Estructura: Conjunto de elementos ensamblados para resistir cargas verticales y sísmicas. Las estructuras pueden clasificarse en estructuras de edificación y otras estructuras distintas a las de edificación.

3.1.10 Fuerzas sísmicas de diseño: Fuerzas laterales que resultan de distribuir adecuadamente el cortante basal de diseño en toda la estructura, según las especificaciones de este código.

3.1.11 Muro de cortante (Diafragma): Pared diseñada para resistir fuerzas sísmicas en su propio plano.

3.1.12 Muro estructural: Muro de cortante cuyo diseño proporcionará un comportamiento dúctil ante cargas sísmicas.

3.1.13 Muro de mampostería confinada (reforzada o no reforzada): muro de cortante con o sin varillas de acero de refuerzo, confinado mediante elementos de borde construidos en hormigón armado, fundidos posteriormente a la construcción del muro de mampostería.

3.1.14 Muro de mampostería reforzada: Muro de cortante de mampostería, reforzado con varillas de acero, y que no necesita de elementos de borde para su confinamiento.

3.1.15 Parámetros de respuesta elásticos: Fuerzas y deformaciones determinadas a partir de un análisis elástico, utilizando la representación del sismo de diseño sin reducción, de acuerdo con las especificaciones del presente código.

3.1.16 Piso blando: Piso en el cual su rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso inmediato superior.

3.1.17 Piso débil: Piso en el cual su resistencia lateral es menor que el 80% de la resistencia del piso inmediato superior.

3.1.18 Pórtico espacial sismo-resistente: Estructura formada por columnas y vigas descolgadas que resiste cargas verticales y de origen sísmico, en la cual tanto el pórtico como la conexión viga-columna son capaces de resistir tales fuerzas, y está especialmente diseñado y detallado para presentar un comportamiento estructural dúctil.

3.1.19 Pórtico espacial sismo-resistente con diagonales rigidizadoras: Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos espaciales sismo-resistente como por diagonales estructurales adecuadamente dispuestas, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición el ubicar las diagonales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere pórtico con diagonales se requiere que el sistema de diagonales absorba al menos el 75% del cortante basal.

3.1.20 Pórtico espacial sismo-resistente con muros estructurales (sistemas duales): Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos espaciales sismo-resistentes como por muros estructurales adecuadamente dispuestos, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición el ubicar los muros estructurales lo más simétricamente posible hacia la periferia y que mantienen su longitud en planta en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere como un sistema dual se requiere que los muros absorban al menos el 75 % del corte basal.

3.1.21 Pórtico espacial sismo-resistente con vigas banda: Estructura compuesta por columnas y losas con vigas banda (del mismo espesor de la losa) que resisten cargas verticales y de origen sísmico, en la cual tanto el pórtico como la conexión losa-columna son capaces de resistir tales fuerzas y está especialmente diseñada y detallada para presentar un comportamiento estructural dúctil.

3.1.22 Rigidez lateral de piso: Sumatoria de las rigideces a corte de los elementos verticales estructurales del piso.

3.1.23 Resistencia lateral del piso: Sumatoria de la capacidad a corte de los elementos estructurales verticales del piso.

3.1.24 Sismo de diseño: Terremoto que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, determinado bien a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura, o a partir de un mapa de peligro sísmico, tal como el proporcionado por este código. Para representar este terremoto, puede utilizarse un grupo de acelerogramas que presenten propiedades dinámicas representativas de las características tectónicas, geológicas y geotécnicas del sitio. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden representarse mediante un espectro de respuesta para diseño.

4.- DISPOSICIONES GENERALES

Como premisa fundamental es necesario contar con un documento actualizado para el cálculo sismo-resistente de estructuras, que refleje lo que se conoce actualmente de la realidad sísmica del Ecuador, y que permita, por un lado, poner al alcance de los calculistas y diseñadores herramientas sencillas de cálculo utilizando conceptos actuales de Ingeniería Sísmica, y por otro, permitiendo que el diseñador conozca claramente las hipótesis de cálculo y tome conciencia de la responsabilidad que implica tomar ciertas decisiones a la hora de aceptar tales hipótesis.

Consecuentemente, se ha establecido claramente la filosofía de diseño sismorresistente que se persigue mediante el cumplimiento estricto de los requisitos mínimos de cálculo y diseño especificados en este código. Dichos requisitos se aplicarán con base en las hipótesis que el calculista haya decidido adoptar, las cuales deberán estar claramente descritas en la memoria de cálculo que deberá acompañar a los planos estructurales de detalle.

Debido a que este documento se considera un punto de partida que deberá ser modificado y actualizado, conforme los avances de la Ingeniería Sísmica y los nuevos requisitos y tendencias que existen hoy en día y los que vayan apareciendo, se ha considerado mantener la filosofía tradicional de diseño que data de hace ya algunas décadas, que busca el evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de las estructuras. Sin embargo, las actuales tendencias en el mundo se dirigen no sólo a la protección de la vida, sino también a la protección de la propiedad y a la búsqueda del cumplimiento de diversos niveles de desempeño de la estructura, lo que sin duda se reflejará en requisitos de diseño más severos en el futuro, criterios que deberán ser incorporados en las futuras versiones del código.

4.1 DEFINICIONES

Es de interés el disminuir incertidumbres en cuanto a la definición de los términos que se refieren a los elementos que forman parte de las estructuras, a los parámetros de respuesta sísmica de las mismas e incluso a los términos de definición de la acción sísmica de diseño. Las definiciones incluidas en este código deberán ser utilizadas literalmente durante todo el proceso de cálculo y diseño sísmo-resistente, incluyendo la etapa de elaboración de la memoria de cálculo y de los planos estructurales. Otras definiciones de elementos o de conceptos de cálculo y diseño sísmo-resistente que se utilicen y que no estén incluidas en este apartado, deberán aplicar los términos definidos en el presente código.

4.2 BASES DEL DISEÑO

Para la definición del Capítulo 1 se ha utilizado la mejor información existente, tanto de Ecuador como de otros países del mundo. En particular, se ha tomado como documentos de trabajo los códigos UBC 94 y 97 de los Estados Unidos, y las normativas sísmo-resistentes colombiana 1998 y peruana 1997.

4.3 ZONAS SÍSMICAS Y FACTOR DE ZONA Z

El mapa de zonas sísmicas para propósitos de diseño incluido en el presente código proviene de un estudio completo que considera fundamentalmente los resultados de los estudios de peligro sísmico del Ecuador, así como también ciertos criterios adicionales que tienen que ver principalmente con la uniformidad del peligro de ciertas zonas del país, criterios de practicidad en el diseño, protección de ciudades importantes, irregularidad en curvas de definición de zonas sísmicas, suavizado de zonas de límites inter-zonas y compatibilidad con mapas de peligro de los países vecinos.

El mapa reconoce el hecho de que la subducción de la Placa de Nazca dentro de la Placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica en el Ecuador. A este hecho se añade un complejo sistema de fallamiento local superficial que produce sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano.

El estudio de peligro sísmico fue realizado de manera integral para todo el territorio nacional, de acuerdo con las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local, incluyendo:

- Un detenido estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas en el país y de sus mecanismos focales, que junto con la sísmicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sísmogenéticas (rumbo, buzamiento, profundidad media de actividad sísmica y magnitud máxima)
- La evaluación de los principales eventos históricos y un análisis de la homogeneidad y completitud de los catálogos sísmicos para el Ecuador. Se modelaron 22 000 sismos locales, de los cuales, puliendo las réplicas y los eventos premonitores, se obtuvieron los sismos independientes de magnitud mínima de homogeneidad 3,9 y máxima 8,6 utilizados en el análisis.
- La utilización de la base de datos microsísmicos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.
- La utilización de las curvas de atenuación de la ley de Young para las fuentes de subducción y la de Katayama /74 para las fuentes de fallamiento continental, ambas con una desviación estándar $\sigma = 0,80$, calibradas con los registros de aceleraciones de la red de acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- La definición de 53 fuentes sísmogenéticas contenidas en 10 provincias sísmotectónicas, determinándose sus parámetros sísmológicos (magnitud mínima de homogeneidad, la tasa media de actividad sísmica y magnitud máxima probable).
- Un estudio sobre las incertidumbres en los distintos parámetros utilizados, particularmente las leyes de atenuación.

- La modelación de la ocurrencia de los sismos como un proceso de Poisson, obteniéndose mapas de iso-aceleraciones para períodos de retorno de 475 años, equivalentes a una probabilidad del 10% de excedencia en 50 años, de acuerdo con la definición de sismo de diseño.

Se reconoce que los resultados alcanzados hasta el momento en los estudios de peligro sísmico tienen un carácter dinámico, ya que reflejan el estado actual del conocimiento en la sismología y neotectónica del Ecuador. A medida que se tenga mayor información proveniente de las redes de sismógrafos y acelerógrafos que funcionan actualmente en el territorio nacional, del fallamiento activo y de mejores leyes de atenuación, esta información será incluida en estudios posteriores. Se decidió que para esta etapa de revisión del código, no se presenten curvas de iso-aceleración sino únicamente la división del país por zonas. Sin embargo, para definir la propuesta de zonificación, se trabajó sobre los mapas de isoaceleración obtenidos del estudio de peligro sísmico ajustándose los límites y valores de isoaceleraciones de acuerdo a los criterios expuestos en el inicio del presente numeral.

4.4 GEOLOGÍA LOCAL Y PERFILES DE SUELO. COEFICIENTE S y Cm.

El factor de suelo S ha sido definido de tal forma de simplificar, desde el punto de vista práctico, los distintos tipos de suelo existentes en el país, reduciéndolos a sólo 4 tipos, cada uno de los cuales se ha descrito de la forma más concisa posible, a través de diversas propiedades físicas. La experiencia y los conocimientos sobre los tipos de suelo existentes en el Ecuador sirvieron como premisas de esta definición.

4.5 TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA. COEFICIENTE I.

La intención del presente código es el de disponer un mayor nivel de requisitos mínimos de cálculo al diseño de estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia de un sismo severo.

4.6 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE FUERZAS LATERALES

Por ser el cálculo estático una simplificación del cálculo dinámico, el presente código permite utilizarlo por sí solo únicamente en los casos en que las estructuras presentan regularidad tanto en planta como en elevación. En los casos restantes, la aplicación del cálculo dinámico permitirá detectar problemas de concentraciones de esfuerzos debidos a la presencia de irregularidades, los cuales deberá enfrentar el calculista.

El código permite la utilización de otros procedimientos de cálculo sísmico, tales como los análisis no-lineales, estáticos o dinámicos, que requieren de la aplicación de principios avanzados de Dinámica de Estructuras y de Ingeniería Sísmica, que podrán ser aplicados por profesionales altamente calificados y con los suficientes conocimientos de estas disciplinas.

4.7 BASES DEL DISEÑO, FUERZAS LATERALES DE DISEÑO MINIMAS Y EFECTOS RELACIONADOS

4.7.1 Requisitos del modelo estructural a utilizarse.-

4.7.1.1 El modelo matemático de la estructura debe ser capaz de representar su comportamiento real y por tanto, debe tomar en cuenta la distribución espacial de masas y rigideces de todos los elementos del sistema estructural.

4.7.1.2 En el caso de estructuras de hormigón armado, el modelo debe reconocer el hecho de que las secciones de los elementos se encuentran agrietadas desde el instante mismo de su construcción y, por tanto, el modelo matemático debe reflejar este hecho aplicando los valores de inercias agrietadas. En el caso de las vigas, el valor de I_g debe considerar la contribución de la losa de piso a la rigidez de la misma, siempre que la losa se encuentre monolíticamente unida a la viga. En el caso de losas armadas unidireccionalmente, la participación de la losa se deberá considerar únicamente en la dirección de la armadura principal. En el caso de los muros estructurales, los valores de inercia agrietada se aplican

únicamente en los pisos en los cuales se esperaría que se forme una rótula plástica por efectos de cargas sísmicas severas.

4.8 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE FUERZAS ESTÁTICAS.-

4.8.1 Cortante Basal de Diseño.-

4.8.1.1 Los valores de C_m y de S establecidos en la Tabla 2 provienen de los valores de aceleraciones espectrales máximas esperados para valores de Z y de tipo de suelo críticos. Adicionalmente, la intersección entre el valor de C y de su límite superior C_m , define la frecuencia de esquina o de corte que separa la zona de periodos con aceleración constante con la zona de periodos de velocidad constante, dependiendo del tipo de suelo.

4.8.1.2 Si de estudios de microzonificación sísmica realizados para una región determinada del país, se establecen valores de C , C_m y de S diferentes a los establecidos por este código, se podrán utilizar los valores de los mencionados estudios, prevaleciendo los de este código como requisito mínimo.

4.8.2 Coeficiente de configuración estructural en planta Φ_p .-

4.8.2.1 El código incorpora factores penalizantes al diseño de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, debido a que la presencia de dichas irregularidades usualmente causan problemas en las estructuras ante la ocurrencia de un sismo. Este código describe las tipologías de irregularidades que se pueden presentar con mayor frecuencia en las estructuras de edificación, y junto a la descripción se ha incluido una caracterización de la severidad (acumulativa o no) de tales irregularidades. Sin embargo, la descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales. La utilización de los factores penalizantes incrementa el valor del cortante de diseño, con la intención de proveer de mayor resistencia a la estructura, pero no evita los problemas que pudieran presentarse en el comportamiento sísmico de la edificación. Por tanto, es recomendable evitar al máximo la presencia de las irregularidades mencionadas.

4.8.3 Coeficiente de configuración estructural en elevación Φ_E .-

Los comentarios vertidos en el numeral 4.8.2 son también aplicables a este apartado.

4.8.4 Período de vibración T .-

La expresión del método 1 de cálculo del período fundamental de vibración proporciona un valor referencial simplificado, útil para aplicar el método de cálculo sísmico estático. El método 2, en cambio, requiere de utilizar una distribución aproximada de fuerzas laterales y el cálculo de las deflexiones elásticas estáticas resultantes de esa distribución de fuerzas en la estructura (incluye por tanto el efecto de la distribuciones de las rigideces laterales de la estructura). Por lo tanto, los resultados del método 2 constituyen una mejor estimación.

4.8.5. Factor de reducción de resistencia sísmica R .-

Para la definición del factor de reducción de resistencia R , se tomaron como criterios, tanto las recomendaciones de los códigos UBC-94 y UBC-97, como otros propios, que incluyen aspectos de agrupamiento de estructuración, diferencias entre realidades constructivas y de calidad entre los materiales y la construcción en los Estados Unidos y el Ecuador, así como penalizaciones dirigidas hacia cierto tipo de estructuras que no permiten disponer de ductilidad apropiada para soportar las deformaciones inelásticas requeridas por el sismo de diseño. Si bien se conoce claramente que los factores de reducción de resistencia R dependen realmente de muchas variables, entre otras, del tipo de estructura, del tipo de suelo, del período de vibración considerado y de los factores de ductilidad, sobre-resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite, se ha simplificado a un parámetro constante dependiente únicamente de la tipología estructural. Sin embargo, conceptualmente es importante su utilización, ya que reemplazando de alguna manera al factor K del CEC-77, permite observar claramente al diseñador una hipótesis fundamental del cálculo sismorresistente, cual es la de disminuir substancialmente la ordenada elástica espectral, exigiendo un

diseño eficiente que permita disponer de un adecuado comportamiento inelástico durante el sismo de diseño, proveyendo así la adecuada ductilidad y disipación de energía suficientes que impidan el colapso de la estructura ante eventos sísmicos severos.

4.9 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE FUERZAS LATERALES.-

Para la distribución del cortante basal en altura, se ha utilizado una distribución triangular asociada con el modo fundamental de vibración, más una fuerza en el tope que toma en cuenta la contribución de modos superiores de vibración.

4.10 EFECTOS P- Δ .-

La consideración de los efectos P- Δ se ha establecido tomando algunos criterios del UBC y de la normativa colombiana, con simplificaciones en cuanto a las expresiones a utilizar. El coeficiente de inestabilidad incorporado es una substancial mejora para la normativa, a fin de tomar en cuenta este efecto poco considerado anteriormente en el país.

4.11 LIMITES DE LA DERIVA DE PISO.-

Debido a que en ciertas ocasiones no son las fuerzas sísmicas, sino el control de deformaciones, el parámetro de diseño crítico a ser enfrentado durante la fase de diseño de una estructura, se enfatiza este requisito, estableciendo un cambio conceptual de aquel descrito en el CEC-77, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso. Tales derivas son limitadas por valores que se han tomado utilizando criterios de todos los documentos de trabajo y de criterios propios. Este hecho reconoce y enfrenta los problemas que se han observado en sismos pasados, donde las deformaciones excesivas han ocasionado ingentes pérdidas por daños a elementos estructurales y no estructurales. Con este código, el diseñador debe comprobar que su estructura presentará deformaciones inelásticas controlables, mejorando substancialmente el diseño conceptual. Los valores máximos se han establecido considerando que el calculista utilizará secciones agrietadas, de conformidad con el presente código.

4.12 SEPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURAS ADYACENTES

4.12.1 El establecimiento de separaciones máximas entre estructuras desea evitar el golpeteo entre estructuras adyacentes, o entre partes de la estructura intencionalmente separadas, debido a las deformaciones laterales. Este concepto está directamente relacionado con las derivas máximas inelásticas del numeral anterior.

4.12.2 Se considera el efecto desfavorable en que los sistemas de entepiso de cada una de las partes intencionalmente separadas de las estructuras, o de estructuras adyacentes, no coincidan a la misma cota de altura. Para los casos de coincidencia o no coincidencia, se establece la cuantificación de separación máxima. Cabe mencionar que la exigencia impuesta está cerca al 50% del valor de separación máxima que debería estrictamente cumplirse. Esta consideración obedece a criterios de carácter económico.

4.13 COMPONENTES VERTICALES DEL SISMO DE DISEÑO.-

4.13.1 El código reconoce la necesidad de considerar los efectos de la componente vertical de los sismos, especialmente sobre elementos que exceden los límites de las plantas de los pisos, como son los voladizos. La expresión toma en cuenta que, al menos en el campo no cercano, la acción máxima de la componente vertical se puede estimar como los dos tercios de la acción máxima horizontal, y que la rigidez de los voladizos horizontales requeriría utilizar un espectro de diseño plano establecido por el valor C_m , que a su vez depende del tipo de suelo del emplazamiento.

4.14 PROCEDIMIENTO DINÁMICO DE CÁLCULO DE FUERZAS.-

4.14.1 Definición de la acción sísmica.-

4.14.1.1 Un aporte muy importante, y que guarda mucha relación con las recomendaciones del UBC-97, es la adopción de varias definiciones de la acción sísmica, con fines de análisis dinámico. Se establece la posibilidad de utilización de un espectro de diseño tipo código, establecido por la misma normativa, la utilización de un espectro establecido para un caso específico, o la utilización de una familia de acelerogramas reales o simulados artificialmente. Con ello se abre una puerta hacia el diseño de estructuras mediante la aplicación de conceptos de Ingeniería Sísmica más actuales.

4.14.1.2 A diferencia del reglamento CEC-77, en el presente código se especifica claramente la forma del espectro de diseño elástico, que se puede utilizar indistintamente para el cálculo estático como para el dinámico. Para el establecimiento del espectro mencionado y de sus límites, se consideraron los siguientes criterios.

a) Estudio de las formas espectrales elásticas de los sismos ecuatorianos registrados en la Red Nacional de Acelerógrafos: A través de la recopilación de los registros de aceleración disponibles de sismos ecuatorianos, especialmente en roca y suelo firme, se estudiaron las formas espectrales de los mismos aplicando técnicas de promediado espectral.

b) Simulación estocástica de acelerogramas artificiales y estudio de formas espectrales: A partir de los registros de aceleración reales disponibles, y de la información sísmológica del sismo real y del sismo mayor a simular (caída de esfuerzos, momento sísmico), se simularon registros artificiales mediante procesos estocásticos y funciones de Green. La simulación de varias familias de registros permitió estudiar la forma espectral de sismos mayores.

c) Estudio de las formas espectrales elásticas de las normativas del UBC 94 y 97, de Colombia 1998 y del Perú 1997: Se estudiaron las formas espectrales, las frecuencias de corte, la plataforma superior máxima, la ecuación de la curva de caída y los valores mínimos de las ordenadas espectrales, según el tipo de suelo. Se consideraron los nuevos criterios incorporados en la normativa del UBC-97, que establece la variabilidad de la plataforma máxima del espectro como dependiente, entre otros factores, del tipo de suelo y del valor de la aceleración máxima, así como la tendencia de los códigos a utilizar las curvas de caída del espectro con una relación $1/T$ (T periodo de vibración), en lugar del \sqrt{T} del CEC-77.

d) Revisión de los estudios clásicos de Seed & Idris y de Seed, Ugas y Lysmer, que han servido para la definición de buena parte de los espectros de los códigos en el mundo, estudiándose las frecuencias de corte del espectro y los valores máximos de la meseta dependiendo del tipo de suelo.

A partir de toda esta información, se estableció la forma espectral. El término S^{δ} , aunque no ha sido utilizado por código alguno anteriormente sino únicamente por éste, se estableció a partir del ajuste matemático a la envolvente de todos los criterios analizados en los literales anteriores. Tanto S como su exponente tienen el mismo valor. Por otro lado el valor de los límites superior C_m e inferior se establecieron de similar manera, considerando los valores respectivos del UBC-97 para todos los tipos de suelo similares a los del presente código, y para aceleraciones en roca o suelo firme de entre $0.3g$ y $0.4g$. Igualmente, debido a la imposibilidad de utilizar la ductilidad para disminuir la ordenada espectral elástica para periodos cortos con fines de diseño, y por criterios de practicidad, se eliminó el ramal izquierdo de ascenso de los espectros elásticos de respuesta típicos y se estableció que la meseta máxima llegue hasta valores de periodos de vibración cercanos a cero.

4.14.2 Descripción de los Procedimientos de Análisis.-

Puesto que existe la posibilidad de utilizar diferentes definiciones de la acción sísmica de diseño, desde espectros hasta registros de aceleración reales o simulados artificialmente, se incrementan las posibilidades de métodos de análisis dinámico, sean estos espectrales o paso a paso en el tiempo, y dentro de los rangos elástico o inelástico. Para regular la utilización de estos métodos, se ha adoptado las recomendaciones del UBC-97.

4.15 OTRAS ESTRUCTURAS DIFERENTES A LAS DE EDIFICACIÓN

4.15.1 Es la intención del presente código proporcionar algunos requisitos mínimos que deben aplicarse para el cálculo sísmico de estructuras diferentes a las de edificación. A más de estos requisitos mínimos, deben considerarse aquellos estipulados por códigos y normativas especiales de reconocimiento internacional, aplicables al tipo de estructura en cuestión.

4.15.2 Período: Puesto que el comportamiento sísmico de estas estructuras puede ser diferente al de las estructuras de edificación, se requiere utilizar métodos apropiados de la dinámica de estructuras para la estimación del período fundamental de vibración. El método 1 del numeral 6.2.4.1 no es aplicable, debido a que ha sido establecido únicamente para estructuras de edificación. No así el método 2 del numeral 6.2.4.2, el cual considera la distribución de rigideces en la altura de la edificación al ser necesario establecer las deformaciones laterales debidas a la aplicación de las fuerzas laterales de diseño.

5. DISPOSICIONES ESPECIFICAS

5.1 BASES DEL DISEÑO

Los procedimientos y requisitos descritos en este código se determinarán considerando la zona sísmica del Ecuador donde se va a construir la estructura, las características del suelo del sitio de emplazamiento, el tipo de uso, destino e importancia de la estructura, y el tipo de sistema y configuración estructural a utilizarse. Las estructuras deberán diseñarse para una resistencia tal que puedan soportar los desplazamientos laterales inducidos por el sismo de diseño, considerando la respuesta inelástica, la redundancia y sobre-resistencia estructural inherente, y la ductilidad de la estructura. La resistencia mínima de diseño deberá basarse en las fuerzas sísmicas de diseño establecidas en este código.

5.2 ZONAS SÍSMICAS Y FACTOR DE ZONA Z

El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las cuatro zonas sísmicas del Ecuador, de acuerdo con la definición de zonas de la Figura 1. Una vez identificada la zona sísmica correspondiente, se adoptará el valor del factor de zona Z, según la Tabla 1. El valor de Z de cada zona representa la aceleración máxima efectiva en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño

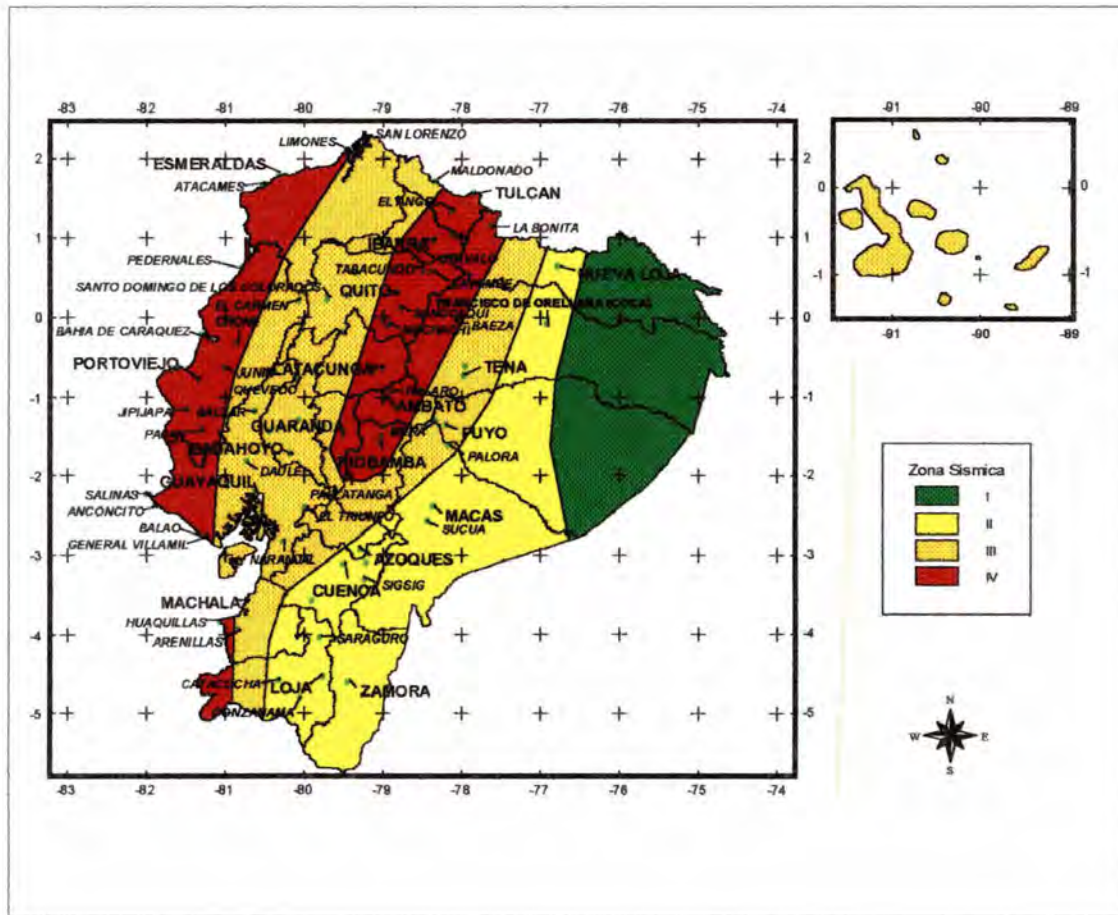


Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

| Zona sísmica | I | II | III | IV |
|----------------|------|------|------|------|
| Valor factor Z | 0,15 | 0,25 | 0,30 | 0,40 |

Para mayor exactitud al escoger el valor de Z, se incluye en la Tabla 2. un listado de algunas poblaciones con el valor correspondiente. Si se ha de diseñar una estructura en una zona que no consta en la lista, debe escogerse el valor de la población más cercana.

Tabla 2. Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z

| CIUDAD | PROVINCIA | CANTON | PARROQUIA | ZONA |
|--------------------|------------|-----------------------|-------------------------------|------|
| CHORDELEG | AZUAY | CHORDELEG | CHORDELEG | 2 |
| CUENCA | AZUAY | CUENCA | CUENCA | 2 |
| EL GIRON | AZUAY | GIRON | GIRON | 2 |
| EL PAN | AZUAY | EL PAN | EL PAN | 2 |
| GUACHAPALA | AZUAY | GUACHAPALA | GUACHAPALA | 2 |
| GUALACEO | AZUAY | GUALACEO | GUALACEO | 2 |
| NABON | AZUAY | NABON | NABON | 2 |
| OÑA | AZUAY | OÑA | OÑA | 2 |
| PAUTE | AZUAY | PAUTE | PAUTE | 2 |
| PUCARA | AZUAY | PUCARA | PUCARA | 2 |
| SAN FERNANDO | AZUAY | SAN FERNANDO | SAN FERNANDO | 2 |
| SANTA ISABEL | AZUAY | SANTA ISABEL | SANTA ISABEL (CHAGUARURCO) | 2 |
| SEVILLA DE ORO | AZUAY | SEVILLA DE ORO | SEVILLA DE ORO | 2 |
| SIGSIG | AZUAY | SIGSIG | SIGSIG | 2 |
| CALUMA | BOLIVAR | CALUMA | CALUMA | 3 |
| ECHANDIA | BOLIVAR | ECHANDIA | ECHANDIA | 3 |
| LAS NAVES | BOLIVAR | LAS NAVES | LAS NAVES | 3 |
| CHILLANES | BOLIVAR | CHILLANES | CHILLANES | 4 |
| GUARANDA | BOLIVAR | GUARANDA | GUARANDA | 4 |
| SAN JOSE DE CHIMBO | BOLIVAR | CHIMBO | SAN JOSE DE CHIMBO | 4 |
| SAN MIGUEL | BOLIVAR | SAN MIGUEL | SAN MIGUEL | 4 |
| AZOGUES | CAÑAR | AZOGUES | AZOGUES | 2 |
| BIBLIAN | CAÑAR | BIBLIAN | NAZON (PAMPA DE DOMINGUEZ) | 2 |
| DELEG | CAÑAR | DELEG | DELEG | 2 |
| CAÑAR | CAÑAR | CAÑAR | CAÑAR | 3 |
| EL TAMBO | CAÑAR | EL TAMBO | EL TAMBO | 3 |
| LA TRONCAL | CAÑAR | LA TRONCAL | LA TRONCAL | 3 |
| BOLIVAR | CARCHI | | | 4 |
| EL ANGEL | CARCHI | ESPEJO | EL ANGEL | 4 |
| HUACA | CARCHI | SAN PEDRO DE HUACA | HUACA | 4 |
| MIRA | CARCHI | | | 4 |
| SAN GABRIEL | CARCHI | | | 4 |
| TULCAN | CARCHI | TULCAN | TULCAN | 4 |
| ALAUSI | CHIMBORAZO | ALAUSI | ALAUSI | 3 |
| CHUNCHI | CHIMBORAZO | CHUNCHI | CHUNCHI | 3 |
| CUMANDA | CHIMBORAZO | CUMANDA | CUMANDA | 3 |
| CHAMBO | CHIMBORAZO | CHAMBO | CHAMBO | 4 |
| GUAMOTE | CHIMBORAZO | GUAMOTE | GUAMOTE | 4 |
| GUANO | CHIMBORAZO | GUANO | GUANO | 4 |
| LA UNION | CHIMBORAZO | COLTA | CAJABAMBA | 4 |
| PALLATANGA | CHIMBORAZO | PALLATANGA | PALLATANGA | 4 |
| PENIPE | CHIMBORAZO | PENIPE | PENIPE | 4 |
| RIOBAMBA | CHIMBORAZO | RIOBAMBA | RIOBAMBA | 4 |
| EL CORAZON | COTOPAXI | PANGUA | EL CORAZON | 3 |
| LA MANA | COTOPAXI | LA MANA | LA_MANA | 3 |
| SIGCHOS | COTOPAXI | SIGCHOS | SIGCHOS | 3 |
| LATACUNGA | COTOPAXI | LATACUNGA | LATACUNGA | 4 |
| PUJILI | COTOPAXI | PUJILI | PUJILI | 4 |

| | | | | |
|-----------------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| SAN MIGUEL | COTOPAXI | SALCEDO | SAN MIGUEL | 4 |
| SAQUISILI | COTOPAXI | SAQUISILI | SAQUISILI | 4 |
| CHILLA | EL ORO | CHILLA | CHILLA | 2 |
| PACCHA | EL ORO | ATAHUALPA | PACCHA | 2 |
| PIÑAS | EL ORO | PIÑAS | PIÑAS | 2 |
| PORTOVELO | EL ORO | PORTOVELO | PORTOVELO | 2 |
| ZARUMA | EL ORO | ZARUMA | SALVIAS | 2 |
| ARENILLAS | EL ORO | ARENILLAS | ARENILLAS | 3 |
| BALSAS | EL ORO | BALSAS | BALSAS | 3 |
| EL GUABO | EL ORO | EL GUABO | EL GUABO | 3 |
| LA VICTORIA | EL ORO | LAS LAJAS | LA VICTORIA | 3 |
| MACHALA | EL ORO | MACHALA | MACHALA | 3 |
| MARCABELI | EL ORO | MARCABELI | MARCABELI | 3 |
| PASAJE | EL ORO | PASAJE | PASAJE | 3 |
| SANTA ROSA | EL ORO | SANTA ROSA | SANTA ROSA | 3 |
| HUAQUILLAS | EL ORO | HUAQUILLAS | HUAQUILLAS | 4 |
| LA UNION | ESMERALDAS | QUININDE | LA UNION | 3 |
| ROSA ZARATE (QUININDE) | ESMERALDAS | QUININDE | ROSA ZARATE (QUININDE) | 3 |
| SAN LORENZO | ESMERALDAS | SAN LORENZO | SAN LORENZO | 3 |
| ATACAMES | ESMERALDAS | ATACAMES | ATACAMES | 4 |
| ESMERALDAS | ESMERALDAS | ESMERALDAS | ESMERALDAS | 4 |
| MUISNE | ESMERALDAS | MUISNE | MUISNE | 4 |
| VALDEZ (LIMONES) | ESMERALDAS | ELOY ALFARO | VALDEZ (LIMONES) | 4 |
| ALFREDO BAQUERIZO | GUAYAS | ALF. BAQUE. MORENO (JUJAN) | ALF. BAQUE MORENO(JUJAN) | 3 |
| BALAO | GUAYAS | BALAO | BALAO | 3 |
| BALZAR | GUAYAS | BALZAR | BALZAR | 3 |
| COLIMES | GUAYAS | COLIMES | COLIMES | 3 |
| CRNL MARCELINO (NN) | GUAYAS | CRNL MARCELINO MARIDUEÑA | CRNL MARCELINO MARIDUEÑA | 3 |
| DAULE | GUAYAS | DAULE | DAULE | 3 |
| EL SALITRE | GUAYAS | URBINA JADO | EL SALITRE (LAS RAMAS) | 3 |
| EL TRIUNFO | GUAYAS | EL TRIUNFO | EL TRIUNFO | 3 |
| ELOY ALFARO | GUAYAS | DURAN | ELOY ALFARO(DURAN) | 3 |
| GRAL ANTONIO ELIZALDE | GUAYAS | GENERAL ANTONIO ELIZALDE | GENERAL ANTONIO ELIZALDE | 3 |
| GENERAL VILLAMIL | GUAYAS | PLAYAS | GENERAL VILLAMIL (PLAYAS) | 3 |
| GUAYAQUIL | GUAYAS | GUAYAQUIL | CHONGON | 3 |
| LOMAS DE SARGENTILLO | GUAYAS | LOMAS DE SARGENTILLO | LOMAS DE SARGENTILLO | 3 |
| MILAGRO | GUAYAS | MILAGRO | MILAGRO | 3 |
| NARANJAL | GUAYAS | NARANJAL | NARANJAL | 3 |
| NARANJITO | GUAYAS | NARANJITO | NARANJITO | 3 |
| NARCISA DE JESUS (NOBOL) | GUAYAS | NOBOL | NARCISA DE JESUS | 3 |
| PALESTINA | GUAYAS | PALESTINA | PALESTINA | 3 |
| PEDRO CARBO | GUAYAS | PEDRO CARBO | SALINAS | 3 |
| SAN BORONDON | GUAYAS | SAMBORONDON | SAMBORONDON | 3 |
| SANTA LUCIA | GUAYAS | SANTA LUCIA | SANTA LUCIA | 3 |
| SIMON BOLIVAR | GUAYAS | SIMON BOLIVAR | SIMON BOLIVAR | 3 |
| VELASCO IBARRA | GUAYAS | EL EMPALME | VELASCO IBARRA(EL EMPALME) | 3 |
| YAGUACHI NUEVO | GUAYAS | YAGUACHI | YAGUACHI NUEVO | 3 |
| LA LIBERTAD | GUAYAS | LA LIBERTAD | LA LIBERTAD | 4 |
| SALINAS | GUAYAS | SALINAS | SALINAS | 4 |

| | | | | |
|-------------------------|----------|---------------|-------------------------|---|
| SANTA ELENA | GUAYAS | SANTA ELENA | SANTA ELENA | 4 |
| ATUNTAQUI | IMBABURA | ANTONIO ANTE | ATUNTAQUI | 4 |
| COTACACHI | IMBABURA | COTACACHI | COTACACHI | 4 |
| IBARRA | IMBABURA | IBARRA | IBARRA | 4 |
| OTAVALO | IMBABURA | OTAVALO | OTAVALO | 4 |
| PIMAMPIRO | IMBABURA | PIMAMPIRO | PIMAMPIRO | 4 |
| URCUQUI | IMBABURA | URCUQUI | URCUQUI | 4 |
| AMALUZA | LOJA | ESPINDOLA | AMALUZA | 2 |
| CARIAMANGA | LOJA | CALVAS | CARIAMANGA | 2 |
| CATACocha | LOJA | PALTAS | CATACocha | 2 |
| CATAMAYO | LOJA | CATAMAYO | CATAMAYO (LA TOMA) | 2 |
| GONZANAMA | LOJA | GONZANAMA | GONZANAMA | 2 |
| GUAGUARPAMBA | LOJA | CHAGUARPAMBA | CHAGUARPAMBA | 2 |
| LOJA | LOJA | LOJA | LOJA | 2 |
| QUILANGA | LOJA | QUILANGA | QUILANGA | 2 |
| SARAGURO | LOJA | SARAGURO | SAN ANTONIO DE CUMBE | 2 |
| SOZORANGA | LOJA | SOZORANGA | SOZORANGA | 2 |
| ALAMOR | LOJA | PUYANGO | ALAMOR | 3 |
| CELICA | LOJA | CELICA | CELICA | 3 |
| MACARA | LOJA | MACARA | MACARA | 3 |
| PINDAL | LOJA | PINDAL | PINDAL | 3 |
| ZAPOTILLO | LOJA | ZAPOTILLO | ZAPOTILLO | 4 |
| BABA | LOS RIOS | BABA | BABA | 3 |
| BABAHOYO | LOS RIOS | BABAHOYO | PIMOCHA | 3 |
| CATARAMA | LOS RIOS | URDANETA | CATARAMA | 3 |
| MONTALVO | LOS RIOS | MONTALVO | MONTALVO | 3 |
| PALENQUE | LOS RIOS | PALENQUE | PALENQUE | 3 |
| PUEBLO VIEJO | LOS RIOS | PUEBLOVIEJO | PUEBLOVIEJO | 3 |
| QUEVEDO | LOS RIOS | QUEVEDO | QUEVEDO | 3 |
| SAN JACINTO DE BUENA FE | LOS RIOS | BUENA FE | SAN JACINTO DE BUENA FE | 3 |
| VALENCIA | LOS RIOS | VALENCIA | VALENCIA | 3 |
| VENTANAS | LOS RIOS | VENTANAS | VENTANAS | 3 |
| VINCES | LOS RIOS | VINCES | VINCES | 3 |
| EL CARMEN | MANABI | EL CARMEN | EL CARMEN | 3 |
| OLMEDO | MANABI | OLMEDO | OLMEDO | 3 |
| PICHINCHA | MANABI | PICHINCHA | PICHINCHA | 3 |
| BAHIA DE CARAQUEZ | MANABI | SUCRE | BAHIA DE CARAQUEZ | 4 |
| CALCETA | MANABI | BOLIVAR | CALCETA | 4 |
| CHONE | MANABI | CHONE | CHONE | 4 |
| FLAVIO ALFARO | MANABI | FLAVIO ALFARO | FLAVIO ALFARO | 4 |
| JIPIJAPA | MANABI | JIPIJAPA | JIPIJAPA | 4 |
| JUNIN | MANABI | JUNIN | JUNIN | 4 |
| MANTA | MANABI | MANTA | MANTA | 4 |
| MONTECRISTI | MANABI | MONTECRISTI | MONTECRISTI | 4 |
| PAJAN | MANABI | PAJAN | PAJAN | 4 |
| PEDERNALES | MANABI | PEDERNALES | PEDERNALES | 4 |
| PORTOVIEJO | MANABI | PORTOVIEJO | PORTOVIEJO | 4 |
| PUERTO LOPEZ | MANABI | PUERTO LOPEZ | PUERTO LOPEZ | 4 |
| ROCAFUERTE | MANABI | ROCAFUERTE | ROCAFUERTE | 4 |
| SANTA ANA | MANABI | SANTA ANA | SANTA ANA | 4 |
| SUCRE | MANABI | 24 DE MAYO | SUCRE | 4 |
| TOSAGUA | MANABI | TOSAGUA | TOSAGUA | 4 |

| | | | | |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------|---|
| GRAL LEONIDAS P. GUITIERREZ | MORONA SANTIAGO | LIMON INDANZA | GRAL LEONIDAS P. GUTIERREZ | 2 |
| GUALAQUIZA | MORONA SANTIAGO | GUALAQUIZA | GUALAQUIZA | 2 |
| MACAS | MORONA SANTIAGO | MORONA | GENERAL PROAÑO | 2 |
| PABLO SEXTO | MORONA SANTIAGO | HUAMBOYA | HUAMBOYA | 2 |
| SAN JUAN BOSCO | MORONA SANTIAGO | SAN JUAN BOSCO | SAN JUAN BOSCO | 2 |
| SANTIAGO DE MENDEZ | MORONA SANTIAGO | SANTIAGO | SANTIAGO DE MENDEZ | 2 |
| SUCUA | MORONA SANTIAGO | SUCUA | SANTA MARIANITA DE JESUS | 2 |
| PALORA | MORONA SANTIAGO | PALORA | PALORA (METZERA) | 3 |
| ARCHIDONA | NAPO | ARCHIDONA | ARCHIDONA | 3 |
| NUEVO ROCAFUERTE | NAPO | AGUARICO | NUEVO ROCAFUERTE | 3 |
| TENA | NAPO | TENA | TENA | 3 |
| BAEZA | NAPO | QUIJOS | BAEZA | 4 |
| EL CHACO | NAPO | EL CHACO | EL CHACO | 4 |
| LA JOYA DE LOS SACHAS | ORELLANA | LA JOYA DE LOS SACHAS | LA JOYA DE LOS SACHAS | 2 |
| LORETO | ORELLANA | LORETO | AVILA (CAB. EN HUIRUNO) | 2 |
| FRANCISCO ORELLANA (COCA) | ORELLANA | ORELLANA | FRANCISCO DE ORELLANA (COCA) | 2 |
| MERA | PASTAZA | MERA | MERA | 3 |
| PUYO | PASTAZA | PASTAZA | VERACRUZ (INDILLAMA) | 3 |
| SANTA CLARA | PASTAZA | | | 3 |
| PEDRO VICENTE MALDONADO | PICHINCHA | PEDRO VICENTE MALDONADO | PEDRO VICENTE MALDONADO | 3 |
| PUERTO QUITO | PICHINCHA | PUERTO QUITO | PUERTO QUITO | 3 |
| SAN MIGUEL DE LOS BANCOS | PICHINCHA | SAN MIGUEL DE LOS BANCOS | SAN MIGUEL DE LOS BANCOS | 3 |
| STO DOMINGO DE COLORADOS | PICHINCHA | SANTO DOMINGO | ZARACAY | 3 |
| CAYAMBE | PICHINCHA | CAYAMBE | CAYAMBE | 4 |
| MACHACHI | PICHINCHA | MEJIA | MACHACHI | 4 |
| QUITO | PICHINCHA | QUITO | QUITO | 4 |
| SANGOLQUI | PICHINCHA | RUMIÑAHUI | RUMIPAMBA | 4 |
| TABACUNDO | PICHINCHA | PEDRO MONCAYO | TABACUNDO | 4 |
| EL CARMEN DEL PUTUMAYO | SUCUMBIO | PUTUMAYO | EL CARMEN DEL PUTUMAYO | 1 |
| SHUSHUFINDI | SUCUMBIO | SHUSHUFINDI | SHUSHUFINDI | 1 |
| NUEVA LOJA | SUCUMBIO | LAGO AGRIO | NUEVA LOJA | 2 |
| EL DORADO DE CASCALES | SUCUMBIO | CASCALES | EL DORADO DE CASCALES | 3 |
| LUMBAQUI | SUCUMBIO | PIZARRO | LUMBAQUI | 3 |
| LA BONITA | SUCUMBIO | SUCUMBIO | LA BONITA | 4 |
| AMBATO | TUNGURAHUA | AMBATO | AMBATO | 4 |
| BAÑOS | TUNGURAHUA | BAÑOS | BAÑOS | 4 |
| CEVALLOS | TUNGURAHUA | CEVALLOS | CEVALLOS | 4 |
| MOCHA | TUNGURAHUA | MOCHA | MOCHA | 4 |
| PATATE | TUNGURAHUA | PATATE | PATATE | 4 |
| PELILEO | TUNGURAHUA | PELILEO | PELILEO | 4 |
| PILLARO | TUNGURAHUA | PILLARO | PILLARO | 4 |
| QUERO | TUNGURAHUA | QUERO | QUERO | 4 |
| TISALEO | TUNGURAHUA | TISALEO | TISALEO | 4 |
| 28 DE MAYO | ZAMORA CHINCHIPE | YACUAMBI | 28 DE MAYO (SN JOSE DE YACUAM) | 2 |
| EL PANGUI | ZAMORA CHINCHIPE | EL PANGUI | EL PANGUI | 2 |
| GUAYZIMI | ZAMORA CHINCHIPE | NANGARITZA | GUAYZIMI | 2 |
| YANTZAZA | ZAMORA CHINCHIPE | YANTZAZA | YANTZAZA | 2 |
| ZAMORA | ZAMORA CHINCHIPE | ZAMORA | ZAMORA | 2 |

| | | | | |
|-----------------|--------------------|-------------------------|-------|---|
| ZUMBA | ZAMORA CHINCHIPE | CHINCHIPE | ZUMBA | 2 |
| ZUMBI | ZAMORA CHINCHIPE | CENTINELA DEL CONDOR | ZUMBI | 2 |
| EL PIEDRERO | Zona No Delimitada | | | 3 |
| LAS GOLONDRINAS | Zona No Delimitada | | | 3 |
| MANGA DE CURA | Zona No Delimitada | | | 3 |

5.3 GEOLOGÍA LOCAL Y PERFILES DE SUELO. COEFICIENTE S y Cm.

5.3.1 Los requisitos establecidos en este código que tienen como finalidad tomar en cuenta la geología local para propósitos de diseño, son requisitos mínimos y no substituyen los estudios de geología de detalle, los cuales son necesarios para el caso de proyectos de infraestructura y otros proyectos distintos a los de edificación.

Las condiciones geotécnicas de los sitios o perfiles de suelo se las clasifica de acuerdo con las propiedades mecánicas del sitio, los espesores de los estratos y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Este último parámetro puede ser correlacionado con otros parámetros del suelo, como por ejemplo el número de golpes del SPT, para algunos tipos de suelo en sitios donde se disponga de las correlaciones correspondientes.

5.3.2 Los tipos de perfiles de suelo se clasifican de la siguiente manera:

5.3.2.1 Perfil tipo S1: Roca o suelo firme.-

A este grupo corresponden las rocas y los suelos endurecidos con velocidades de ondas de corte similares a las de una roca (mayores a 750 m/s), con períodos fundamentales de vibración menores a 0,20s. Se incluyen los siguientes tipos de suelo:

- a) Roca sana o parcialmente alterada, con resistencia a la compresión no confinada mayor o igual a 500 KPa (5 kg/cm²).
- b) Gravas arenosas, limosas o arcillosas, densas y secas.
- c) Suelos cohesivos duros con resistencia al corte en condiciones no drenadas mayores a 100 Kpa (1 kg/cm²), con espesores menores a 20m y sobre yacentes a roca u otro material endurecido, con velocidad de onda de corte superior a 750 m/s.
- d) Arenas densas con número de golpes del SPT: N > 50, con espesores menores a 20m sobreyacentes a roca u otro material endurecido con velocidad de onda de corte superior a 750 m/s.
- e) Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados, tobas y conglomerados con número de golpes del SPT: N > 50.

5.3.2.2 Perfil tipo S2: Suelos intermedios.-

Suelos con características intermedias o que no se ajustan a los perfiles de suelos tipo S1 y S3.

5.3.3 Perfil tipo S3: Suelos blandos o estratos profundos.-

En este grupo se incluyen los perfiles de suelos blandos o estratos de gran espesor, en los que los períodos fundamentales de vibración son mayores a 0,6 s, incluyéndose los siguientes casos:

| Suelos cohesivos | Velocidad de ondas de corte, V_s (m/s) | Resistencia al corte No drenada, S_u (KPa) | Espesor del estrato (m) |
|------------------|--|--|-------------------------|
| Blandos | < 200 | < 25 | > 20 |
| Semiblandos | 200-400 | 25-50 | > 25 |
| Duros | 400-750 | 50-100 | > 40 |
| Muy duros | > 750 | 100-200 | > 60 |

| Suelos granulares | Velocidad de ondas de corte, V_s (m/s) | Valores N del SPT | Espesor del estrato (m) |
|-------------------|--|-------------------|-------------------------|
| Sueltos | < 200 | 4-10 | > 40 |
| Semidensos | 200-750 | 10-30 | > 45 |
| Densos | > 750 | > 30 | >100 |
| | | | |

Los valores de N , V_s y S_u son valores promedio del sitio y serán determinados según las siguientes expresiones:

$$V_s = \Sigma (h_i) / \Sigma(h_i / V_{si}) \quad (1)$$

$$N = \Sigma (h_i) / \Sigma(h_i / N_i) \quad (2)$$

$$S_u = \Sigma (h_i) / \Sigma(h_i / S_{ui}) \quad (3)$$

donde:

h_i = Espesor del estrato i ,

V_{si} = Velocidad de las ondas de corte en el estrato i ,

S_{ui} = Resistencia al corte no drenada promedio del estrato i .

5.3.4 Perfil tipo S4: Condiciones especiales de evaluación del suelo.-

En este grupo se incluyen los siguientes tipos de suelo:

- a) Suelos con alto potencial de licuefacción, colapsibles y sensitivos.
- b) Turbas, lodos y suelos orgánicos.
- c) Rellenos colocados sin control ingenieril.
- d) Arcillas y limos de alta plasticidad ($IP > 75$).
- e) Arcillas suaves y medio duras con espesor mayor a 30 m.

Los perfiles de este grupo incluyen los suelos altamente compresibles y donde las condiciones geológicas y/o topográficas sean especialmente desfavorables, que requieran estudios geotécnicos no rutinarios para determinar sus características mecánicas.

El tipo de suelo existente en el sitio de construcción de la estructura, y por ende, el coeficiente de suelo S , se establecerán de acuerdo con lo especificado en la Tabla 3. El coeficiente S se establecerá analizando el perfil que mejor se ajuste a las características locales. En los sitios donde las propiedades del suelo sean poco conocidas, se podrán utilizar los valores del perfil de suelo tipo S3. Adicionalmente se encuentra tabulado el coeficiente C_m , relacionado con la definición del espectro del sismo de diseño establecido más adelante en este código, y que depende del perfil de suelo a utilizar.

Tabla 3. Coeficiente de suelo S y Coeficiente C_m

| Perfil tipo | Descripción | S | C_m |
|-------------|-----------------------------------|------|-------|
| S1 | Roca o suelo firme | 1,0 | 2,5 |
| S2 | Suelos intermedios | 1,2 | 3,0 |
| S3 | Suelos blandos y estrato profundo | 1,5 | 2,8 |
| S4 | Condiciones especiales de suelo | 2,0* | 2,5 |

(*) = Este valor debe tomarse como mínimo, y no substituye los estudios de detalle necesarios para construir sobre este tipo de suelos.

5.4 TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA. COEFICIENTE I .

5.4.1 La estructura a construirse se clasificará en una de las categorías que se establecen en la Tabla 4, y se adoptará el correspondiente factor de importancia I .

Tabla 4. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

| Categoría | Tipo de uso, destino e importancia | Factor |
|--|--|---------------|
| 1. Edificaciones esenciales y/o peligrosas | Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio . Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas. | 1,5 |
| Estructuras de ocupación especial | Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente | 1,3 |
| Otras estructuras | Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores | 1,0 |

5.5 ESTRUCTURAS REGULARES E IRREGULARES

5.5.1 Estructuras regulares en planta: Una estructura se considera como regular en planta, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad en planta descritas en el numeral 6.2.2.

5.5.2 Estructuras regulares en elevación: Una estructura se considera como regular en elevación, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad en elevación descritas en el numeral 6.2.3.

5.6 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS LATERALES

5.6.1 En general, una estructura puede ser calculada mediante procedimientos de cálculo de fuerzas laterales estáticos o dinámicos. El procedimiento escogido dependerá de la configuración estructural, tanto en planta como en elevación.

5.6.2 Para el cálculo de estructuras regulares tanto en planta como en elevación es suficiente la aplicación de procedimientos estáticos de determinación de fuerzas laterales. Para el caso de estructuras irregulares se utilizará el procedimiento de cálculo dinámico. También pueden utilizarse procedimientos alternativos de cálculo sísmico que tengan un adecuado fundamento basado en los principios establecidos por la dinámica de estructuras, llevados a cabo por un profesional especializado. Sin embargo para todas las estructuras la aplicación del método estático, propuesto por éste código, se considerará como requisito mínimo.

6. DETERMINACION DE LAS FUERZAS LATERALES DE DISEÑO MINIMAS Y EFECTOS RELACIONADOS

6.1 GENERALIDADES: Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección horizontal. Debe asumirse que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura.

6.1.1 La carga sísmica reactiva W para fines de este código, representa la carga reactiva por sismo, igual a la carga muerta total de la estructura. En el caso de estructuras de bodegas o de almacenaje, W se calcula como la carga muerta más un 25% de la carga viva de piso.

6.1.2 El modelo matemático de la estructura incluirá todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como su distribución espacial de masas y rigideces en la estructura.

6.1.2.1 Para el caso de estructuras de hormigón armado, en el cálculo de la rigidez se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas I_{cr} de los elementos estructurales, de la siguiente manera: 0,5 I_g para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable) y 0,8 I_g para columnas, siendo I_g el valor de la inercia no agrietada de la sección transversal del elemento considerado. Para el caso de muros estructurales, los valores de inercia agrietada tomarán el valor de 0,6 I_g y se aplicarán únicamente en los dos primeros pisos de la edificación (para estructuras sin subsuelos) o en los dos primeros pisos y en el primer subsuelo (para estructuras con subsuelos). Para el resto de pisos la inercia agrietada del muro estructural puede considerarse igual a la inercia no agrietada.

6.1.2.2 Para el caso de estructuras de mampostería, el valor de la inercia agrietada a utilizar para los muros será de 0,5 I_g .

6.2 PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS ESTATICAS.-

6.2.1 Cortante Basal de Diseño: El cortante basal total de diseño V , que será aplicado a una estructura en una dirección dada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{ZIC}{R\Phi_p \Phi_E} W \quad (4)$$

$$C = \frac{1,25S^s}{T} \quad (5)$$

donde:

C = No debe exceder del valor de C_m establecido en la tabla 3, no debe ser menor a 0,5 y puede utilizarse para cualquier estructura,

S = Su valor y el de su exponente se obtienen de la tabla 2,

R = Factor de reducción de respuesta estructural,

Φ_p, Φ_E = Factores de configuración estructural en planta y en elevación.

6.2.2 Coeficiente de configuración estructural en planta Φ_p .

6.2.2.1 El coeficiente Φ_p se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad de las plantas en la estructura, descritas en la Tabla 5 y en la Figura 2. Se utilizará la expresión:

$$\Phi_p = \Phi_{pA} \times \Phi_{pB} \quad (6)$$

donde:

Φ_{pA} = El mínimo valor Φ_{pi} de cada piso i de la estructura, obtenido de la Tabla 5, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1, 2 y/o 3 (Φ_{pi} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las tres irregularidades),

Φ_{pB} = Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 4 y/o 5 en la estructura.

Cuando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritas en la Tabla 5, en ninguno de sus pisos, Φ_p tomará el valor de 1.

6.2.3 Coeficiente de configuración estructural en elevación Φ_E .

6.2.3.1 El coeficiente Φ_E se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en elevación de la estructura, descritas en la Tabla 6 y en la Figura 3. Se utilizará la expresión:

$$\Phi_E = \Phi_{EA} \times \Phi_{EB} \times \Phi_{EC} \quad (7)$$

donde:

Φ_{EA} = El mínimo valor Φ_{Ei} de cada piso i de la estructura, obtenido de la Tabla 6, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1 y/o 5 (Φ_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las dos irregularidades),

Φ_{EB} = Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 2 y/o 3 en la estructura,

Φ_{EC} = Se establece para cuando se encuentre presente la irregularidad tipo 4 en la estructura.

Cuando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritos en la Tabla 6, en ninguno de sus niveles, Φ_E tomará el valor de 1.

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que, cuando la deriva máxima de cualquier piso es menor de 1,3 veces la deriva del piso inmediato superior, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1, 2, ó 3.

6.2.4 Período de vibración T : El valor de T será determinado a partir de uno de los métodos descritos a continuación:

6.2.4.1 Método 1: Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_1 (h_n)^{3/4} \quad (8)$$

donde:

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura

$C_1 = 0,09$ para pórticos de acero

$C_1 = 0,08$ para pórticos espaciales de hormigón armado

$C_1 = 0,06$ para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales o con diagonales y para otras estructuras

6.2.4.2 Método 2: El período fundamental T puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, en un análisis apropiado y adecuadamente sustentado. Este requisito puede ser cumplido mediante la utilización de la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}} \quad (9)$$

donde:

f_i = Representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales, de acuerdo con los principios descritos más adelante, o cualquiera otra distribución racional.

δ_i = Deflexión elástica del piso i , calculada utilizando las fuerzas laterales f_i .

El valor de T así calculado no debe ser mayor en un 30% al valor de T calculado con el Método 1.

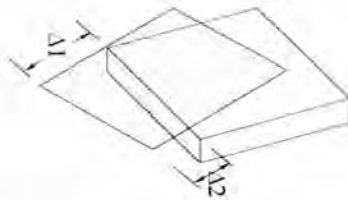
Tabla 5. Coeficientes de configuración en planta.

| Tipo | Descripción de las irregularidades en planta | Φ_{pi} |
|------|---|-------------|
| 1 | <p><i>Irregularidad torsional</i> Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p> | 0,9 |
| 2 | <p><i>Entrantes excesivos en las esquinas</i> La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p> | 0,9 |
| 3 | <p><i>Discontinuidad en el sistema de piso</i> La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p> | 0,9 |
| 4 | <p><i>Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales</i> Una estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p> | 0,8 |
| 5 | <p><i>Ejes estructurales no paralelos</i> La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p> | 0,9 |
| 6 | <p><i>Sistema de piso flexible</i> Cuando la relación de aspecto en planta de la edificación es mayor que 4:1 o cuando el sistema de piso no sea rígido en su propio plano se deberá revisar la condición de piso flexible en el modelo estructural.</p> | - |

IRREGULARIDADES EN PLANTA

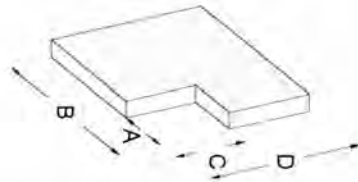
Tipo 1-Irregularidad torsional- $\phi_{p_i} = 0.9$

$$\Delta > 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}$$

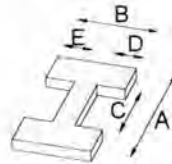
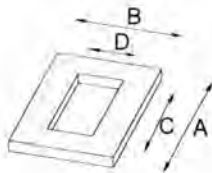


Tipo 2-Retrocesos excesivos en las esquinas - $\phi_{p_i} = 0.9$

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$



Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso - $\phi_{p_i} = 0.9$



$$1) C \times D > 0.5 A \times B$$

$$2) (C \times D + C \times E) > 0.5 A \times B$$

Tipo 4 - Desplazamiento de los planos de Acción - $\phi_{p_i} = 0.8$
de elementos verticales



Tipo 5 - Ejes estructurales no paralelos - $\phi_{p_i} = 0.9$

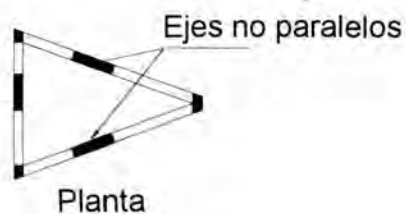


Tabla 6. Coeficientes de configuración en elevación

| Tipo | Descripción de las irregularidades en elevación | Pórticos espaciales y pórticos con vigas banda ϕE_i | Sistemas duales o con diagonales ϕE_i |
|------|---|---|---|
| 1 | <p><i>Piso blando (irregularidad en rigidez)</i> La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p> | 0,9 | 1,0 |
| 2 | <p><i>Irregularidad en la distribución de las masas</i> La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p> | 0,9 | 1,0 |
| 3 | <p><i>Irregularidad geométrica</i> La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p> | 0,9 | 1,0 |
| 4 | <p><i>Desalineamiento de ejes verticales</i> La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Se exceptúa la aplicabilidad de este requisito cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos.</p> | 0,8 | 0,9 |
| 5 | <p><i>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia</i> La estructura se considera irregular cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p> | 0,8 | 1,0 |
| 6 | <p><i>Columnas cortas</i> Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p> | - | - |

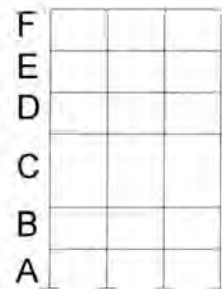
IRREGULARIDADES EN ELEVACION

Tipo 1 - Piso flexible - $\phi_{E_i} = 0.9$

Rigidez $K_C < 0.70$ Rigidez K_D

ó

Rigidez $K_C < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$

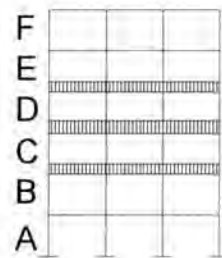


Tipo 2 - Distribución de masas - $\phi_{E_i} = 0.9$

$m_D > 1.50 m_E$

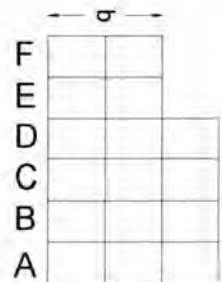
ó

$m_D > 1.50 m_C$



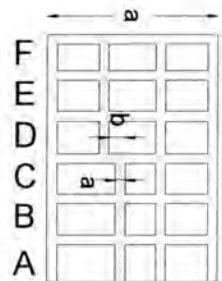
Tipo 3 - Irregularidad Geométrica - $\phi_{E_i} = 0.9$

$a > 1.30 b$



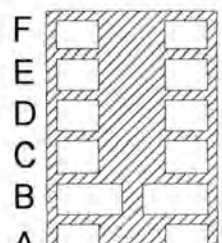
Tipo 4 - Desalineamientos en ejes verticales - $\phi_{E_i} = 0.8$

$b > a$



Tipo 5 - Piso débil - $\phi_{E_i} = 0.8$

Resistencia Piso B < 0.70 Resistencia Piso C



6.2.5. Factor de reducción de resistencia sísmica R.

6.2.5.1 El factor R a utilizarse en el cálculo del cortante basal aplicado a una estructura de edificación, en cualquiera de las direcciones de cálculo adoptadas, se escogerá de la Tabla 7, tomándose el menor de los valores para los casos en los cuales el sistema resistente estructural resulte en una combinación de varios sistemas como los descritos en la tabla. Para otro tipo de estructuras diferentes a las de edificación, se deberá cumplir con los requisitos establecidos en la sección 7 de este código. El valor de R podrá aplicarse en el cálculo del cortante basal, siempre y cuando la estructura sea diseñada cumpliendo con todos los requisitos de diseño sísmo-resistente acordes con la filosofía de diseño del presente código.

Tabla 7. Coeficientes de reducción de respuesta estructural R

| Sistema estructural | R |
|--|----|
| Sistemas de pórticos espaciales sísmo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales). | 12 |
| Sistemas de pórticos espaciales sísmo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente. | 10 |
| Sistemas de pórticos espaciales sísmo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales). | 10 |
| Sistemas de pórticos espaciales sísmo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.* | 10 |
| Sistemas de pórticos espaciales sísmo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras.* | 9 |
| Sistemas de pórticos espaciales sísmo-resistentes de hormigón armado con vigas banda. | 8 |
| Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio. | 7 |
| Estructuras de madera | 7 |
| Estructura de mampostería reforzada o confinada | 5 |
| Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada | 3 |

(*) = Cuando se utilizan diagonales, se debe verificar que los elementos en tensión cedan antes que los elementos en compresión.

6.3 DISTRIBUCION VERTICAL DE FUERZAS LATERALES.

6.3.1 En ausencia de un procedimiento más riguroso, basado en los principios de la dinámica, las fuerzas laterales totales de cálculo deben ser distribuidas en la altura de la estructura, utilizando las siguientes expresiones:

$$V = F_1 + \sum_{i=1}^n F_i \quad (10)$$

$$F_i = 0,07TV \quad (11)$$

donde:

F_1 = La fuerza concentrada que se aplicará en la parte más alta de la estructura, constituyéndose una fuerza adicional a la fuerza en el último piso.

n = Número de pisos de la estructura

T = El período utilizado para el cálculo del cortante basal total V .

Sin embargo, F_t no necesita exceder el valor de $0,25 V$, y puede considerarse nulo cuando T es menor o igual a $0,7 s$. La parte restante del cortante basal debe ser distribuido sobre la altura de la estructura, incluyendo el nivel n , de acuerdo con la expresión:

$$F_x = \frac{(V-F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n F_i w_i h_i} \quad (12)$$

F_x = La fuerza en el nivel x de la estructura que debe aplicarse sobre toda el área del edificio en ese nivel, de acuerdo a su distribución de masa en cada nivel.

w_i = Es el peso asignado a cada nivel de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W .

Las acciones y deformaciones en cada elemento estructural deben calcularse como resultado del efecto de las fuerzas F_x y F_t , aplicadas en los niveles apropiados de la estructura sobre su base.

6.4 DISTRIBUCION HORIZONTAL DEL CORTANTE .

6.4.1 El cortante de piso V_x , en cualquier piso x , es la suma de las fuerzas F_t y F_x sobre ese piso. V_x debe distribuirse entre los diferentes elementos del sistema resistente a cargas laterales en proporción a sus rigideces, considerando la rigidez del piso.

6.4.2 La masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero desplazada una distancia igual al 5 por ciento de la máxima dimensión del edificio en ese piso, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas laterales bajo consideración, para tomar en cuenta los posibles efectos de torsión accidental. El efecto de este desplazamiento debe incluirse en la distribución del cortante de piso y en los momentos torsionales.

6.4.3 En el caso de que la estructura presente un sistema de pisos flexibles, la distribución del cortante de piso hacia los elementos del sistema resistente se realizará tomando en cuenta aquella condición.

6.5 MOMENTOS TORSIONALES HORIZONTALES.

6.5.1 El momento torsional de diseño en un piso determinado debe calcularse como el momento resultante de las excentricidades entre las cargas laterales de diseño en los pisos superiores al piso considerado y los elementos resistentes a cargas laterales en el piso, más la torsión accidental (asumiendo el centro de masas desplazado, como se describe en el numeral 6.4.2).

6.5.2 Cuando existe irregularidad torsional, como se definió en el numeral correspondiente a irregularidad en planta, los efectos deben ser considerados incrementando la torsión accidental en cada nivel mediante un factor de amplificación A_x , calculado con la expresión:

$$A_x = \left[\frac{\delta_{\max}}{1,2 \delta_{\text{prom}}} \right]^2 \quad (13)$$

donde:

δ_{prom} = Promedio de los desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en el nivel x .

δ_{\max} = Valor del desplazamiento máximo en el nivel x .

El valor de A_x no necesita ser mayor que 3,0.

6.6 VOLCAMIENTO.-

6.6.1 Toda estructura debe ser diseñada para resistir los efectos de volcamiento causados por las fuerzas sísmicas especificadas en este código. En cualquier nivel, los momentos de volcamiento a ser resistidos

deben determinarse utilizando las fuerzas sísmicas (F_i y F_x), las cuales actúan en los niveles sobre el piso considerado. En cualquier nivel, los cambios incrementales de los momentos de volcamiento de diseño deben ser distribuidos hacia los diferentes elementos resistentes. Los efectos de volcamiento en cada elemento deben transmitirse hacia la cimentación.

6.7 EFECTOS P- Δ

6.7.1 Corresponden a los efectos adicionales, en las dos direcciones principales de la estructura, causados por efectos de segundo orden que producen un incremento en las fuerzas internas, momentos y derivas de la estructura, y que deben considerarse en la evaluación de la estabilidad estructural global. Los efectos P- Δ no necesitan ser considerados cuando el índice de estabilidad Q_i , es menor a 0,10.

6.7.2 El índice de estabilidad, para el piso i y en la dirección bajo estudio, puede calcularse por medio de la ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i} \quad (14)$$

donde:

Q_i = Índice de estabilidad del piso i , es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden.

P_i = Es la suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga por carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

Δ_i = Es la deriva del piso i calculada en el centro de masas del piso.

V_i = El cortante sísmico del piso .

h_i = La altura del piso considerado.

6.7.3 El índice de estabilidad de cualquier piso, Q_i , no debe exceder el valor de 0,30. Cuando Q_i es mayor que 0,30, la estructura es potencialmente inestable y debe rigidizarse, a menos que se demuestre, mediante procedimientos más estrictos, que la estructura permanece estable y que cumple con todos los requisitos de diseño sismorresistente establecidos en las normativas de diseño en hormigón armado, estructuras metálicas, madera o mampostería, acordes con la filosofía de diseño del presente código.

6.7.4 Para considerar el efecto P- Δ en la dirección bajo estudio, y cuando se cumple que $0,1 < Q_i < 0,3$, tanto las derivas de piso calculadas, Δ_{Ei} , como las fuerzas internas y los momentos de la estructura que aparecen como producto de la aplicación de las cargas laterales de diseño, se multiplicarán por un factor de mayoración $f_{P-\Delta}$ determinado por:

$$f_{P-\Delta} = \left(\frac{1}{1 - Q_i} \right) \quad (15)$$

6.8 LIMITES DE LA DERIVA DE PISO.-

6.8.1 Generalidades: Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos Δ_M de la estructura, causada por el sismo de diseño. Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño estáticas (Δ_E), para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico estático de la estructura. Pueden también calcularse mediante un análisis dinámico, como se especifica en la sección correspondiente de este código. El cálculo de las derivas de piso debe incluir las deflexiones debidas a efectos traslacionales y torsionales, y los efectos P- Δ . Adicionalmente, en el caso de pórticos con estructura metálica, debe considerarse la contribución de las deformaciones de las zonas de conexiones a la deriva total de piso.

6.8.2 Límites de la deriva.-

El valor de Δ_M debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = R \Delta_E \quad (16)$$

no pudiendo Δ_M superar los valores establecidos en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

| Estructuras de | Δ_M máxima |
|--|-------------------|
| Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera | 0,020 |
| De mampostería | 0,010 |

6.8.3 Las fuerzas laterales utilizadas para el cálculo de las derivas de piso deben obtenerse a partir del coeficiente C de la expresión del cortante basal, calculado sin tomar en cuenta el límite inferior del valor de C, ni las limitantes del Método 2 de determinación del valor de T.

6.9 SEPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURAS ADYACENTES.

6.9.1 Dentro de la misma estructura: Todos los elementos de la estructura deben diseñarse y construirse para que actúen como un solo esquema estructural a efectos de resistir el sismo de diseño, a menos que intencionalmente se separen unos elementos de otros una distancia suficiente para evitar problemas de colisión entre ellos. Para determinar la distancia mínima de separación entre los elementos estructurales, se deberá verificar si los sistemas de entrepiso de cada una de las partes intencionalmente separadas coinciden a la misma cota en altura. De no coincidir, la distancia mínima de separación será el promedio de los valores absolutos de los desplazamientos máximos horizontales Δ_M , obtenidos según lo especificado en este código, para cada una de las partes de la estructura que se desee actúen separadamente. Por el contrario, si las cotas de los entrepisos coinciden, la separación mínima será la mitad del valor absoluto del desplazamiento máximo horizontal Δ_M de una de las partes, el más desfavorable. Dichos valores deben medirse en la dirección perpendicular a la junta que las separe, a menos que se tomen medidas para que no se produzcan daños a los elementos estructurales al utilizar una distancia menor.

6.9.2 Entre estructuras adyacentes.: Una de las responsabilidades de la reglamentación urbana de las ciudades será la de fijar la separación mínima que debe existir entre estructuras colindantes que no formen parte de la misma unidad estructural. En ausencia de una reglamentación de este tipo, pueden utilizarse las siguientes recomendaciones:

6.9.2.1 Cuando ya exista una estructura vecina en la cual previamente se haya dejado una separación con respecto al lindero del terreno, y cuyas cotas de los diferentes entrepisos coincidan con las cotas de los entrepisos de la estructura por diseñarse, la nueva estructura debe separarse de la existente una distancia igual a la cuarta parte del desplazamiento máximo horizontal Δ_M del último piso, más 0,005 veces la altura de la estructura vecina, menos la separación previamente existente entre la estructura vecina y la nueva por diseñarse. Sin embargo, en el caso de que las cotas de los entrepisos de la estructura vecina no coincidan con las cotas de entrepisos de la estructura por diseñarse, la distancia mínima de separación deberá ser la mitad del desplazamiento máximo horizontal del último piso, más el uno por ciento de la altura de la estructura vecina, menos la separación previamente existente entre ambas estructuras.

6.9.2.2 Cuando ya exista una estructura vecina en la cual no existe una separación con respecto al lindero del terreno, y no se conozcan sus desplazamientos máximos, la nueva estructura debe separarse de la existente una distancia igual a la cuarta parte del desplazamiento máximo horizontal Δ_M del último piso, más una distancia igual a 0,005 veces la altura de la estructura vecina, para el caso en el que las cotas de los entrepisos de la estructura vecina coincidan con las cotas de la estructura por diseñarse. Si por el contrario, las cotas de los entrepisos de la estructura vecina no coinciden con las cotas de

entrepisos de la estructura nueva, la distancia mínima de separación requerida será el doble del valor descrito en este numeral, para el caso de coincidencia de cotas de entrepisos.

6.9.2.3 Cuando no se haya construido aún en el terreno colindante, y la reglamentación urbana permita construir estructuras adosadas, en aquellos pisos en los cuales no se requiere adosamiento, la estructura debe separarse del lindero del terreno una distancia igual a la mitad del desplazamiento máximo horizontal Δ_M del último piso.

6.10 COMPONENTES VERTICALES DEL SISMO DE DISEÑO

6.10.1 De existir voladizos horizontales en las estructuras, éstos se diseñarán para una fuerza neta vertical reversible F_v expresada por

$$F_v = \frac{2}{3} ZIC_m W_p \quad (17)$$

donde:

W_p = El peso que actúa en el voladizo.

6.11 PROCEDIMIENTO DINAMICO DE CALCULO DE FUERZAS

6.11.1 Generalidades: Cuando se utilicen procedimientos de cálculo dinámico, éstos deberán cumplir con los criterios establecidos en este código. La base del análisis constituirá una representación apropiada de la acción sísmica, de conformidad con los principios de la dinámica estructural, tal como se describe en el presente código.

6.11.2 La acción sísmica utilizada debe representar, como mínimo, a un sismo con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, sin la aplicación del factor de reducción de respuesta R , y puede ser una de las siguientes:

6.11.2.1 El espectro de respuesta elástico normalizado proporcionado en la Figura 4, consistente con el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura y considerando los valores de la tabla 3.

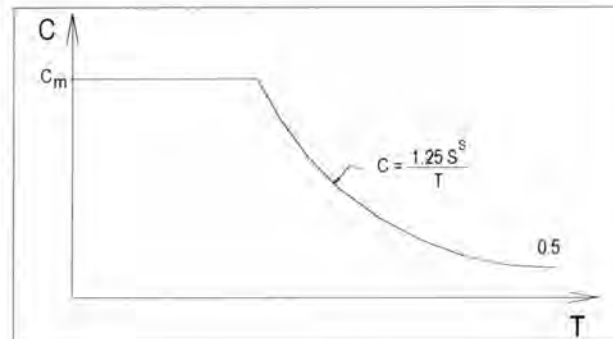
6.11.2.2 Un espectro de respuesta elástico obtenido para un sitio específico, basado en la geología, tectónica, sismología y características del suelo local. El espectro debe desarrollarse para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico de 0,05, a menos que la utilización de otros valores sea consistente con el comportamiento estructural previsto y con la intensidad del sismo establecida para el sitio.

6.11.2.3 Acelerogramas desarrollados para el sitio específico que sean representativos de los terremotos reales esperados en la zona. Los espectros de respuesta de tales acelerogramas, tanto individualmente como su combinación, deben aproximarse al espectro de respuesta descrito en el numeral 6.11.2.1.

Para estructuras localizadas en el perfil de suelo tipo S4, se debe tomar en cuenta la posible amplificación de la respuesta de la estructura, debido a los efectos de interacción suelo-estructura.

La componente vertical del sismo puede definirse mediante el escalamiento de la componente horizontal de la aceleración por un factor de 2/3.

Figura 4. Espectro sísmico elástico del presente reglamento, que representa el sismo de diseño.



6.11.3 Modelo Matemático: El modelo matemático de la estructura incluirá todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como también la distribución espacial de las masas y rigideces en la estructura, con una aproximación tal que sea capaz de capturar las características más significativas del comportamiento dinámico. Para el análisis dinámico de estructuras irregulares se utilizará un modelo tridimensional. Para el caso de estructuras de hormigón armado y de mampostería, en el cálculo de la rigidez se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas I_{er} de los elementos estructurales, de similar forma a la descrita para el procedimiento de cálculo estático de fuerzas sísmicas.

6.11.4 Descripción de los Procedimientos de Análisis.

6.11.4.1 Análisis dinámico espectral: Constituye un análisis dinámico elástico de la estructura, que utiliza la máxima respuesta de todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura. Las respuestas modales máximas son calculadas utilizando las ordenadas de un espectro de respuesta apropiado, que corresponden a los períodos de los modos de vibración. Las contribuciones modales máximas son combinadas de una forma estadística para obtener una aproximación de la respuesta estructural total.

6.11.4.2 Análisis paso a paso en el tiempo: Constituye un análisis de la respuesta dinámica de la estructura en cada incremento de tiempo, cuando la base de la misma está sujeta a un acelerograma específico.

6.11.5 Análisis dinámico espectral.

6.11.5.1 Representación del espectro de respuesta e interpretación de resultados: Los parámetros de respuesta, incluyendo fuerzas, momentos y desplazamientos, obtenidos mediante la utilización de un espectro de respuesta elástico que cumple con los requisitos descritos en el numeral correspondiente a la definición de la acción sísmica, se describirán como parámetros de respuesta elástica. Los parámetros de respuesta elástica pueden ser reducidos de acuerdo con 6.11.5.4.

6.11.5.2 Número de modos: El requerimiento de que se utilicen en el análisis todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, puede satisfacerse al utilizar todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas.

6.11.5.3 Combinación de modos: Las fuerzas máximas en elementos, los desplazamientos, cortantes de piso, fuerzas cortantes y reacciones máximas para cada modo, se combinarán utilizando métodos reconocidos por la dinámica estructural. Cuando se utilicen modelos tri-dimensionales, los efectos de interacción modal deben ser considerados cuando se combinen los valores modales máximos.

6.11.5.4 Reducción de los parámetros de respuesta elástica para diseño: Los parámetros de respuesta elástica pueden ser reducidos para propósitos de diseño, con el limitante de que en ningún caso podrán reducirse los parámetros de respuesta elástica a valores tales que el cortante basal de diseño correspondiente sea menor que el cortante basal de respuesta elástica dividido por R. El valor de R debe obtenerse de la Tabla 7 y podrá ser aplicado en el cálculo del cortante basal, siempre y cuando la estructura sea diseñada cumpliendo con todos los requisitos de diseño sismorresistente acordes con la filosofía de diseño del presente código.

6.11.5.5 Efectos direccionales: Los efectos direccionales de las componentes horizontales de los sismos se deben tomar en cuenta de igual forma a la descrita para el método estático. Cuando existe la presencia de voladizos horizontales, los efectos de la componente vertical de los sismos deben considerarse de similar manera a la descrita en el método estático. Alternativamente, la respuesta dinámica vertical puede calcularse utilizando métodos dinámicos; sin embargo, en ningún caso la respuesta utilizada para diseño será menor que la obtenida aplicando el método estático.

6.11.5.6 Torsión: El análisis deberá considerar los efectos torsionales, incluyendo los efectos debidos a la torsión accidental especificados para el caso del análisis estático. Cuando se utilizan modelos tri-dimensionales en el análisis, los efectos de la torsión accidental deben considerarse, mediante una apropiada re-localización de las masas, o mediante la aplicación de los procedimientos estáticos equivalentes descritos en la sección correspondiente al análisis estático de este código.

6.11.6 Análisis paso a paso en el tiempo.

6.11.6.1. Registros de aceleración: Los análisis paso a paso en el tiempo deben realizarse utilizando los dos componentes horizontales de registros de acelerogramas apropiadamente seleccionados y escalados a partir de los registros de no menos de 3 eventos sísmicos. Estos acelerogramas deben poseer las características de magnitud, distancia a la falla, mecanismos de falla y efectos del suelo, consistentes con aquellos parámetros que controlen el sismo de diseño. Cuando no se disponga de al menos 3 eventos sísmicos, pueden utilizarse acelerogramas apropiadamente simulados para generar el número de registros y de componentes requeridos. Para cada par de componentes horizontales de los acelerogramas, debe construirse la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros característicos del sitio, para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico de 0,05. Los acelerogramas deben ser escalados de tal forma que el valor promedio de los espectros provenientes de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros de los registros no se encuentre por debajo del espectro amortiguado al 5% del sismo de diseño para períodos entre $0,2 T$ y $1,5 T$, siendo T el período fundamental de la estructura, medido en segundos. Ambas componentes de los acelerogramas deben aplicarse simultáneamente al modelo, a fin de considerar efectos torsionales.

Los parámetros de interés deben calcularse para cada paso de tiempo del registro dato. Si se realizan los análisis para los 3 pares de registros, se tomarán para el diseño la respuesta máxima de los parámetros de interés. Si se realizan 7 o más análisis paso a paso en el tiempo, se utilizará para el diseño el valor promedio de los parámetros de respuesta de interés.

6.11.6.2 Análisis elásticos paso a paso en el tiempo: Los análisis elásticos paso a paso en el tiempo deben cumplir con los requisitos especificados en este código para realizar análisis dinámicos, construir modelos matemáticos de las estructuras, definir la acción sísmica, el número de modos, la reducción de los parámetros elásticos de respuesta a efectos de diseño, los efectos direccionales, de torsión y de registros de aceleración. Los parámetros de respuesta obtenidos a partir de análisis elásticos paso a paso se denominarán parámetros de respuesta elástica, y pueden reducirse de conformidad con lo dispuesto en este código para el caso de análisis dinámicos.

6.11.6.3 Análisis no-lineales paso a paso en el tiempo: Los análisis no-lineales paso a paso en el tiempo deberán cumplir con los principios establecidos por la dinámica estructural, y los acelerogramas a utilizar deberán cumplir con los mismos requisitos especificados en 6.11.6.1. Las capacidades y las características de los elementos estructurales no-lineales deberán modelarse de manera consistente con datos experimentales o mediante análisis adecuadamente sustentados. La respuesta máxima inelástica en

desplazamientos no deberá ser reducida y cumplirá con los límites establecidos anteriormente en este código.

6.11.6.4 Revisión del diseño cuando se utilice análisis no-lineal paso a paso en el tiempo: Si se realiza un análisis no lineal paso a paso con el fin de justificar un diseño estructural, se deberá efectuar una revisión del diseño de la estructura por parte de un equipo independiente de ingenieros que incluyan a personas ampliamente reconocidas y experimentadas en métodos de análisis sísmicos. La revisión del diseño de la estructura deberá incluir, pero no limitarse a lo siguiente:

- Revisión de los criterios aplicados para la obtención de un espectro para el sitio de emplazamiento y/o para la generación de acelerogramas.
- Revisión del diseño preliminar de la estructura (previo a la aplicación del análisis no-lineal)
- Revisión del diseño final de la estructura y de todos los criterios de análisis empleados.

La memoria de cálculo incluirá, a más de los cálculos y los planos de detalle, un escrito firmado por todos los miembros del equipo independiente de ingenieros que realizó la revisión, en el que se certifique que todas las revisiones descritas se han realizado.

7. OTRAS ESTRUCTURAS DIFERENTES A LAS DE EDIFICACION.

7.1 Generalidades: Las estructuras distintas a las de edificación incluyen todas las estructuras autoportantes que no son edificios, las cuales soportan cargas verticales y deben resistir los efectos sísmicos, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, presas, tuberías, etc., cuyo comportamiento dinámico es distinto al comportamiento de las estructuras de edificación. Este tipo de estructuras se diseñarán para resistir las fuerzas laterales mínimas especificadas en este numeral, complementadas mediante consideraciones adicionales especiales aplicables a cada tipo de estructura. El diseño se realizará de conformidad con los requisitos aplicables de las secciones anteriores de este código, modificadas con los requisitos que se describen en los siguientes numerales.

7.2 Criterios: Las fuerzas sísmicas mínimas de diseño descritas en esta sección se han establecido a un nivel tal, necesario para producir desplazamientos sobre modelos elásticos de estructuras empotradas en su base, comparables con los desplazamientos esperados en estructuras reales sometidas al sismo de diseño. Se permite una reducción de estas fuerzas mediante el factor R (Tabla 9) cuando el diseño de este tipo de estructuras provea de suficiente resistencia y ductilidad a las mismas, de manera consistente con la filosofía de diseño y las especificaciones del presente código.

Tabla 9. Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a las de edificación.

| Típos de estructuras | R |
|---|---|
| Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas, soportadas mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados. | 3 |
| Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación. | 5 |
| Estructuras tipo cantiliver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes. | 4 |
| Torres en celosía (autoportantes o atirantadas) | 4 |
| Estructuras en forma de péndulo invertido | 3 |
| Torres de enfriamiento | 5 |
| Depósitos elevados soportados por un pila o por apoyos no arriostrados | 4 |
| Letreros y carteleras | 5 |
| Estructuras para vallas publicitarias y monumentos | 3 |
| Otras estructuras no descritas en este código | 3 |

7.3 Peso W: El peso de las estructuras incluirá todas las cargas muertas definidas anteriormente para el caso de edificios. Para propósitos de cálculo de fuerzas laterales de diseño, W deberá incluir todos los pesos presentes debidos a los contenidos de dichas estructuras, en condiciones de operación normal.

7.4 Período: El período fundamental de la estructura se calculará utilizando métodos reconocidos de la dinámica estructural, tales como el Método 2 descrito anteriormente en este código para el caso de estructuras de edificación.

7.5 Deriva: Los límites de deriva establecidos para estructuras de edificios no necesitan ser aplicados para este tipo de estructuras. Los límites de deriva deben establecerse para los elementos estructurales y no estructurales cuya falla podría ocasionar peligro para la vida y la seguridad. Sin embargo, los efectos $P-\Delta$ deben calcularse para estructuras cuyas derivas excedan los límites establecidos en el presente código para el caso de estructuras de edificación.

7.6 Efectos de Interacción: Las estructuras que soporten elementos no-estructurales flexibles cuyo peso combinado exceda en un 25% al peso de la estructura, deberán diseñarse considerando los efectos de interacción entre la estructura y dichos elementos.

7.7 Fuerzas laterales: Los procedimientos de cálculo de fuerzas laterales para sistemas estructurales similares a los utilizados para el caso de edificaciones, deberán diseñarse como tales. Para el caso de estructuras rígidas (con periodos menores a 0,6 s), éstas se deberán diseñar (incluidos sus anclajes) aplicando la fuerza lateral obtenida mediante la ecuación

$$V = 0,6 Z I W \quad (18)$$

mientras que la fuerza V debe distribuirse de acuerdo con la distribución de masas y debe aplicarse en cualquier dirección horizontal.

7.8 Tanques con fondo apoyado: Los tanques cuyo fondo se encuentra apoyado directamente sobre la superficie del suelo o bajo ella, y los tanques cuyo fondo se encuentra apoyado sobre otros elementos estructurales, se diseñarán para resistir las fuerzas laterales calculadas utilizando el procedimiento descrito para estructuras rígidas en el numeral anterior, incluyendo todo el peso del tanque y el de su contenido. Alternativamente, estos tanques pueden diseñarse siguiendo uno de los dos siguientes procedimientos:

- Un análisis espectral, el cual incluya las consideraciones de un sismo esperado en el sitio y los efectos de la inercia de los fluidos contenidos en el tanque.
- Un procedimiento prescrito por códigos y normativas internacionales de reconocido valor, aplicables al caso de estructuras de tanques.

7.9 Otras estructuras diferentes a las estructuras de edificación: Otras estructuras que no sean de edificación y que no estén cubiertas por los numerales anteriores, se diseñarán para resistir fuerzas laterales mínimas no menores a las determinadas para estructuras de edificación especificadas anteriormente en este código, con los siguientes requisitos y excepciones adicionales:

7.9.1 El factor R se determinará según la Tabla 9, considerando que el cortante basal de diseño no debe ser menor que

$$V = 0,48 Z I W \quad (19)$$

ni tampoco menor que

$$V = \frac{1,14 Z I}{R} W(20)$$

7.9.2 Debe tomarse en cuenta que la utilización del factor de reducción de respuesta R puede utilizarse únicamente cuando las estructuras se diseñen conforme lo establecen las especificaciones de diseño sísmo-resistente de estructuras de hormigón armado, mampostería, metálicas, madera u otros consistentes con la filosofía de diseño del presente código.

7.9.3 La distribución vertical de las fuerzas sísmicas de diseño se determinará mediante los requisitos de distribución vertical de fuerzas laterales aplicables a estructuras de edificación, o mediante procedimientos de análisis dinámico.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

RESUMEN

Este estudio tiene como principal objetivo realizar la microzonificación sísmica de los suelos de Quito. La microzonificación se refiere a los depósitos y suelos de superficie que durante un evento sísmico son los que más movimiento soportan y daño causan a las viviendas, edificios y servicios públicos en general. La microzonificación se la hace basándose en la geología, topografía y geotecnia de la ciudad y se complementa con la modelación numérica de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo de Quito. Para esto último se emplean programas computacionales como el SHAKE91, de amplia utilización a escala mundial. Para esta modelación se utilizan acelerogramas de registros reales medidos en el pasado y señales sísmicas que se utilizaron en estudios anteriores como el Escenario Sísmico de Quito. Para la modelación se requiere conocer algunos parámetros dinámicos representativos de los suelos superficiales del área de estudio. Estos parámetros se obtuvieron mediante correlaciones definidas anteriormente en estudios e investigaciones previas y se complementaron con la medición in situ de varias columnas seleccionadas para cubrir toda el área de estudio y que a su vez permitan ajustar y calibrar con mayor precisión las correlaciones. De esta forma se realizaron varios ensayos de crosshole y de vibración ambiental. Producto de este análisis son las funciones de transferencia, los períodos de vibración, los espectros de respuesta y los espectros de diseño, calculados para cada perfil representativo de suelo de la ciudad.

Los períodos de vibración obtenidos para cada zona de la ciudad sirven para clasificar a los suelos de la ciudad de acuerdo a las categorías que establece el Código Ecuatoriano de la Construcción. Esta clasificación permite a los ingenieros y diseñadores utilizar los coeficientes adecuados que a su vez toman en consideración el comportamiento sísmico y dinámico de los suelos sobre los que se apoyan las edificaciones. Los resultados del estudio se presentan en forma de espectros de diseño, funciones de transferencia o amplificación del movimiento y valores de los períodos de vibración.

INTRODUCCIÓN

I. ANTECEDENTES

Quito, es una ciudad que tiene un alto grado de amenaza sísmica e históricamente ha sido sacudida por fuertes sismos. Estudios de la sismicidad histórica revelan que la ciudad ha experimentado, cada 50 años en promedio, daños causados ya sea por terremotos que ocurrieron en la vecindad inmediata como por otros más lejanos.

Por lo tanto el análisis estructural de las edificaciones debe incluir tanto el tratamiento del comportamiento sismorresistente de las estructuras como tomar en cuenta aspectos inherentes al suelo donde ellas se asientan. El efecto local de amplificación de ondas sísmicas del suelo en un terremoto por la respuesta dinámica de una estratigrafía determinada, es causante de graves daños estructurales y no estructurales en casas y edificios, así como en otro tipo de estructuras como líneas vitales, por ejemplo. Es conocido y ha sido demostrado que mientras más blando y suelto es el suelo mayor es la amplificación del movimiento en la superficie del terreno.

Es necesario “socializar” o difundir entre todos los profesionales que ejercen la ingeniería civil, el tema de los efectos locales del suelo en estructuras a causa de un terremoto, para tomar conciencia de la importancia de estudios de microzonificación de las ciudades, que permitan adoptar determinados valores y coeficientes relativos a probable acción sísmica de diseño.

Desde hace varias décadas, se ha observado una concentración de daños producidos por los sismos, una distribución de daños en emplazamientos urbanos que varía en función del tipo de suelo. Un análisis comparativo de registros sísmicos en un mismo sitio, tanto en el subsuelo (roca) como en la superficie, revela diferencias claras en cuanto a amplitud, contenido de frecuencias y duración del movimiento registrado. Dichas diferencias pueden ser representada

por medio de una función de transferencia de ondas, de los depósitos de suelo sobre roca firme.

Los estudios de amenaza sísmica regional proporcionan información para estratos firmes o rocas, pero el gran porcentaje de estructuras se cimientan en terrenos de menor calidad. Es necesario conocer la peligrosidad sísmica a escala local considerando los efectos de amplificación dinámica debido a la geometría y naturaleza del suelo sobre roca, además se puede considerar efectos indirectos producidos por las vibraciones de las ondas sísmicas, tales como deslizamientos, licuefacción, asentamientos, efectos topográficos y efectos bidimensionales del movimiento y del comportamiento dinámico de la estructura del suelo, etc.

II. JUSTIFICACIÓN

Quito, como capital del Ecuador cuenta con aproximadamente dos millones de habitantes, aquí se desarrolla gran parte de la economía del país ya que se cuenta con modernas industrias de producción y el funcionamiento de las principales instituciones gubernamentales del Estado.

Por otro lado, Quito cuenta con un gran número de inmigrantes, los mismos que se asientan sobre lugares desfavorables desde el punto de vista ingenieril, de igual manera el rápido crecimiento de la población genera asentamientos inapropiados. Todo esto conlleva a que las acciones de la naturaleza como terremotos, deslizamientos, inundaciones, entre otros, den como resultado grandes daños y pérdidas tanto humanas como materiales.

Por lo mencionado, toda investigación que tenga por objeto prevenir el posible daño producido por los fenómenos naturales, tiene amplia aceptación, porque de una u otra manera contribuye para la reducción del riesgo y permite definir planes de prevención, mitigación y atención del desastre.

III. OBJETIVOS

Los objetivos del presente proyecto plantean la necesidad de estudiar y evaluar técnicamente el peligro sísmico al que se encuentra expuesta la ciudad de Quito, de manera tal que las autoridades locales y nacionales correspondientes posean las herramientas suficientes para implementar los respectivos planes de mitigación y de prevención.

El análisis del comportamiento dinámico de los suelos para varias señales sísmicas, y la comparación de resultados, es una de las finalidades de este estudio, útil para la aportación de importantes conclusiones referentes al comportamiento dinámico de los perfiles tipo de la zonificación.

El determinar las funciones de transferencia de ondas sísmicas para una columna de suelo representativa de cada zona, con el fin de anticipar fenómenos de amplificación de ondas sísmicas para cualquier aceleración sísmica que afecte Quito es otro de los objetivos de la investigación.

Sin embargo la finalidad principal de este estudio es ayudar a la concepción de estructuras menos vulnerables a la acción sísmica, mediante la determinación del período fundamental de respuesta sísmica del suelo en cada zona de la ciudad; además es de interés técnico y científico, la obtención de los espectros de respuesta dinámica de los suelos ante la ocurrencia de cierta aceleración sísmica, parámetros dinámicos éstos que serán herramientas utilizadas por ingenieros en un más acertado análisis estructural que procura alejar a la estructura del rango de frecuencias de una posible resonancia sísmica.

Se espera además obtener espectros de diseño para las diferentes zonas definidas en el Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito, y realizar una comparación y afinación con los espectros de diseño de los diferentes tipos de suelo definidos en el nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000. Otra finalidad del proyecto es comprobar el comportamiento dinámico

teórico de los suelos con los resultados de la modelación a realizarse, para verificar los fundamentos teóricos del problema.

En general, el presente estudio tiene como objetivo global el aportar al mejor entendimiento del comportamiento dinámico de los suelos en Quito, para que sirva de apoyo en una microzonificación de la ciudad, permitiendo una concienciación de los peligros de los efectos de sitio durante el desarrollo de un terremoto que afecte Quito, identificando zonas de potencial peligro sísmico y que conlleve a la construcción de edificaciones más seguras para la protección de la vida de las personas.

En todo caso, una modelación óptima de las estratigrafías de la zonificación de la ciudad, es posible con la utilización de propiedades y correlaciones dinámicas del suelo (el módulo cortante del suelo G , velocidad de ondas de corte V_s , y las relaciones de amortiguamiento y el módulo de reducción $G/G_{\text{máx}}$ versus la deformación por cortante) medidas y verificadas en el campo y además el uso de parámetros dinámicos (aceleración, período, contenido de frecuencias, duración) de un grupo de señales sísmicas reales registradas en la ciudad. Sin embargo, la modelación propuesta en este estudio pretende dar una idea global y aproximada de las potenciales zonas de mayor peligro sísmico en la ciudad de Quito.

IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO

De acuerdo a los propósitos descritos en el numeral III, el método de trabajo permitió una división de tres áreas:

1. Estudio de la geología, topografía y fotografía aérea.
2. Ensayos de campo dinámicos como Crosshole, Downhole, Penetración Estándar y Vibración ambiental.
3. Modelación dinámica de las columnas de suelo características de cada zona en que se divide al Distrito Metropolitano de Quito.

Los tres puntos mencionados, conllevan a la elaboración del mapa de zonificación de los suelos del Distrito.

Características del subsuelo de la ciudad

Morfología

Dentro de la descripción de la geología de las zonas de estudio, es importante resaltar algunos aspectos morfológicos que forman parte de la ciudad. Quito es una cuenca sedimentaria alargada de dirección general N-S, limitada hacia el oeste, por el complejo volcánico Pichincha y hacia el este, por una serie de elevaciones que, de sur a norte, reciben los nombres de Puengasí, Ilumbisí, El Batán y La Bota. Estas elevaciones constituyen un alto morfológico que dividen a las cuencas de Quito y del Valle de los Chillos, su origen es tectónico y evidencia el fallamiento inverso que ha separado la ciudad de Quito del resto del Valle.

Casi en el centro de la cuenca de Quito, se identifica una elevación de origen volcánico denominada Panecillo, la misma que divide la cuenca en dos partes claramente definidas: la cuenca sur y la norte.

La cuenca norte muestra dos drenajes principales la quebrada de El Colegio al norte y la quebrada de El Batán, hacia el este. Del borde occidental descienden numerosas quebradas siendo las más importantes las de Rumipamba y Rumihurcu. Cerca del Panecillo, antiguamente se encontraban quebradas muy importantes como la que descendía en el sector de la Av. 24 de Mayo y los Dos Puentes, las mismas que drenaban gran parte de las aguas hacia el este, actualmente se encuentran canalizadas y rellenas.

La cuenca sur se caracteriza por poseer un drenaje mucho más importante, siendo el río Machángara el más relevante, este río corre de sur a norte, a la altura del barrio El Recreo, se profundiza progresivamente hasta formar una quebrada de 20 a 30 metros de profundidad a la altura de El Panecillo, luego el río

se dirige hacia el este bordeando la loma de Ilumbisí y la de El Batán, para descender hacia el Valle Interandino.

Hacia el norte de la cuenca de Quito se encuentran las zonas de Pomasqui y San Antonio de Pichincha, limitadas hacia el este por el Río Pusuquí - Monjas que baja desde la cuenca norte de Quito, y hacia el oeste por los volcanes Casitagua y Pululahua. La zona de Pomasqui se asienta sobre una gran terraza aluvial que forma una gran zona plana y hacia el norte San Antonio de Pichincha se ubica sobre un gran cono aluvial que desciende desde el flanco norte del volcán Casitagua y que se extiende hacia el este, terminando en el río Monjas.

En el Valle Interandino ubicado al este de la cuenca de Quito se encuentran las zonas de Nayón, Cumbayá y Tumbaco, hacia el norte del Volcán Ilaló, y las zonas de Guangopolo, San Pedro del Tingo, La Merced, Conocoto y Amaguaña hacia el sur del volcán ubicado aproximadamente al sudeste del Valle de los Chillos. El Río San Pedro cruza de sur a norte bordeado del Volcán Ilaló y se une hacia el norte aproximadamente por la zona de Nayón con el Río Machángara que baja bordeando la parte norte de la loma de Ilumbisí.

Geología local del cuaternario

En el área Metropolitana de Quito afloran principalmente rocas de origen volcánico que corresponden a lavas, depósitos de avalancha, caídas de ceniza y volcanosedimentos, con edades entre Plio - Pleistoceno a Pleistoceno superior. Así también, rocas detríticas producto de la erosión por parte de importantes sistemas de quebradas, que retrabajaron y transportaron rocas volcánicas antiguas y las depositaron en la parte central de la cuenca de Quito y como relleno del Valle de los Chillos, estos depósitos corresponden a volcanosedimentos, depósitos fluviales, depósitos de cono aluvial, flujos de lodo y cangahua. La cangahua se encuentra muy distribuida en el área de estudio y se compone de material volcánico meteorizado in situ o retrabajado en períodos

donde la actividad volcánica fue mínima o inexistente. Estos últimos depósitos tienen edades entre Pleistoceno superior a Holoceno.

En la parte norte en las poblaciones de Pomasqui y San Antonio de Pichincha, afloran los Volcánicos Pululahua de edad Holoceno y que corresponden a depósitos de flujos piroclásticos, lahares, colapsos de domos y productos detríticos que rellenaron los valles adyacentes, estos depósitos se encuentran sobrepuestos por cangahuas jóvenes. En el centro del valle, terrazas aluviales de edad Holoceno superior. En la cuenca de Quito los depósitos más jóvenes corresponden a la Unidad fluvio – lacustre La Carolina (Alvarado, 1996) y suelos volcánicos que forman las laderas del Pichincha y que afloran sobre los 3400 msnm.

En la parte suroriental de la zona existen importantes depósitos laharíticos correspondientes a las últimas erupciones del volcán Cotopaxi. Además existen importantes depósitos coluviales y zonas de relleno ubicadas en los cauces de antiguas quebradas.

Así, se presentan las unidades en orden cronológico de la más antigua a la más reciente:

1. Unidad volcánicos basales
2. Unidad volcano sedimentos san Miguel
3. Unidad volcánicos Pichincha
4. Unidad volcano sedimentos Chiche
5. Unidad fluviátil Quito
6. Depósitos aluviales
7. Unidad cangahua
8. Depósitos volcánicos holocénicos Pululagua
9. Terrazas aluviales
10. Suelos volcánicos
11. Unidad fluvio – lacustre la Carolina

12. Depósitos coluviales
13. Depósitos laharíticos
14. Zonas de relleno

En el mapa No. 1 se presenta el *Mapa Geológico del Cuaternario del Distrito Metropolitano de Quito*.

Zonificación Geotécnica

Estudios previos

El proyecto del manejo del riesgo sísmico para la ciudad de Quito, que se realizó entre 1992-1994, constituyó un gran esfuerzo por conocer la real situación sísmica de la ciudad. Se utilizó para ello información en los campos de la sismología, geología e ingeniería de suelos, se realizaron levantamientos estructurales en la ciudad y se empleó el Sistema Urbano de Información desarrollado por el Municipio.

El mencionado proyecto incluye trabajos y estudios anteriores, contemplando criterios de reconocidos expertos internacionales de diferentes campos que avalan los resultados obtenidos. Basándose en características litológicas de más de 2000 perforaciones, topográficas, geotécnicas y la geología superficial de la ciudad, se dividió a la ciudad en 20 microzonas de respuesta sísmica diferente, para las cuales se estableció una columna representativa de suelo hasta una profundidad de 30 m, sin alcanzar la base de roca, cuya localización es aún desconocida. Información adicional del Instituto Geofísico (EPN) referente a algunas columnas estratigráficas de suelo de algunos lugares alrededor de la ciudad, fue utilizada para complementar la zonificación en la ciudad.

Gracias a un estudio y descripción morfológica de la ciudad, y un análisis topográfico de Quito utilizando variables de altitud y pendiente de los suelos

emplazados en la ciudad, en el "Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project", se logra identificar 3 zonas básicas primarias.

La conformación de las subzonas dentro de las 3 zonas primarias de la zonificación básica definida previamente, es posible con el establecimiento de los bordes de las subzonas. La metodología empleada en el desarrollo del Proyecto sugiere que se debe dibujar los límites de las subzonas, observando los puntos en donde cambia la configuración del suelo en las secciones transversales.

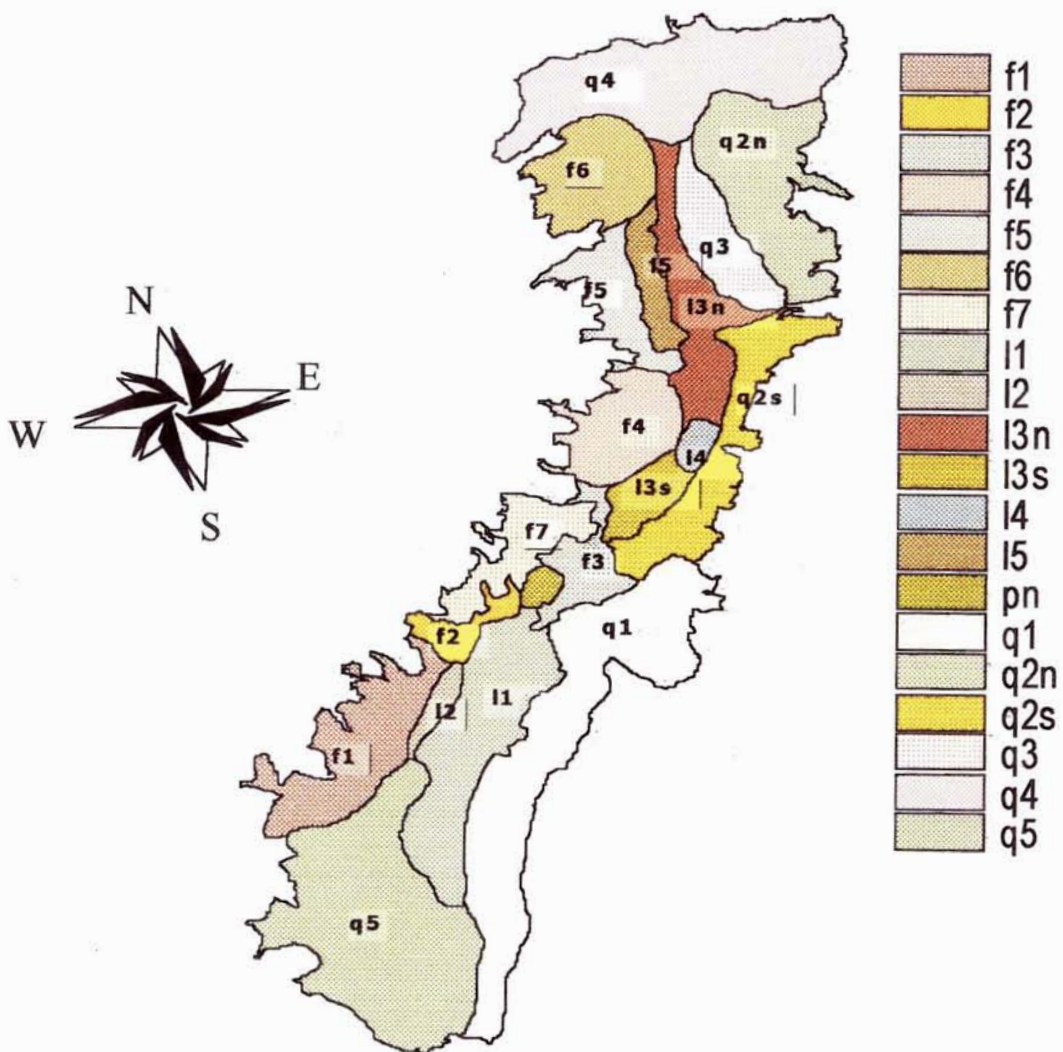
La interpretación de la fotografía aérea, permite ver con gran aproximación y extensión los detalles de algunos depósitos, como los aluviales en sus extremos. De esta manera se definieron 20 subzonas o microzonas. En los flancos del Pichincha existen 7 subzonas, 5 en los depósitos lacustres y 7 en los depósitos de cangahua u orientales, además de una subzona particular para la loma del Panecillo.

La conformación de perfiles de suelo típicos para cada una de las zonas dentro del Escenario Sísmico, incluye información referente a la potencia de cada estrato (profundidad), velocidad de ondas de corte V_s , el peso específico y la clasificación SUCS de cada estrato de cada columna de suelo.

La Figura N° 1 muestra las diferentes subzonas definidas en el "Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de Quito - Ecuador", subzonas que serán utilizadas en el presente estudio para su modelación matemática y obtención de la respuesta dinámica los perfiles de suelo.

ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE QUITO
 Obtenida del "Quito-Ecuador Earthquake Risk Management Project"

Figura N° 1



Modelación de los perfiles de suelo

Programa SHAKE91

SHAKE91 es una versión actualizada del programa desarrollado en la Universidad de Berkeley por los profesores Schnabel, Lysmer y Seed en Diciembre de 1972, y es utilizado para la evaluación del efecto de las condiciones locales o efectos de sitio, producidos sobre la respuesta dinámica de los suelos sometidos a una excitación sísmica.

El procedimiento analítico se basa principalmente en la suposición de que la respuesta fundamental de un depósito de suelo esta gobernada por la propagación vertical de las ondas de corte, a partir de una formación de roca hacia los estratos superiores de suelo.

De acuerdo con las observaciones realizadas en el campo, los resultados de la modelación de los depósitos de suelo basados en el procedimiento analítico anteriormente descrito, son lo suficientemente aproximados.

El análisis realizado por el programa SHAKE91 es unidimensional, y por lo tanto es solamente posible utilizarlo en estructuras de suelo estratificadas horizontalmente. Por simplificaciones realizadas, la modelación de los perfiles de suelo de la zonificación de la ciudad de Quito es unidimensional, en consecuencia no se tomará en cuenta los efectos topográficos ni efectos bidimensionales de amplificación de ondas sísmicas, pues su análisis y modelación no es posible realizarla en el programa.

Estudios puntuales en zonas de altura, de montañas y/o de estratigrafía irregular son necesarios ejecutar en el futuro inmediato para conocer en mejor forma el comportamiento dinámico de los suelos en esos lugares. De igual manera es necesario estudiar particularmente y con mayor detalle y profundidad los rellenos realizados a lo largo de la ciudad, utilizando estudios de mecánica y dinámica de suelos, para establecer los reales peligros que puede significar un evento sísmico sobre las estructuras localizadas en estos lugares.

Modelación de los perfiles de suelo

La conformación de perfiles de suelo debe incluir información referente a la potencia de cada estrato (profundidad), velocidad de ondas de corte V_s , el peso específico y la clasificación SUCS de cada estrato de cada columna de suelo, información indispensable para la modelación de la respuesta dinámica de cada perfil.

Se procede en primer lugar a la determinación del movimiento objeto que va excitar la columna de suelo. Implica entonces las probables características del movimiento a desarrollarse en la formación de roca subyacente, en este caso el sismo más probable que afecte a la ciudad de Quito para luego realizar la selección de un acelerograma para el análisis.

Acelerogramas procesados de la red de acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, ocurridos en los alrededores de la ciudad de Quito y que afectaron a la ciudad en el pasado, serán utilizados en la modelación de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo. Los eventos sísmicos ocurridos en Pomasqui, Tumbaco y el sismo de Marzo de 1987, son los sismos base para que sus acelerogramas en sus dos componentes (transversal y longitudinal) sean tomados en cuenta en la modelación del presente estudio.

Adicionalmente los sismos generados en el Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito, que representan acelerogramas para eventos como el de subducción, un evento local o un evento sísmico continental, son utilizados en la modelación de los perfiles de suelo. Estas señales constituyen las principales fuentes sísmicas de la ciudad.

Otro paso fundamental en la modelación matemática de la respuesta dinámica de los perfiles de suelo, es la determinación de las propiedades dinámicas de los depósitos de suelo. Debido al comportamiento no lineal de los suelos antes

grandes deformaciones, es indispensable tomar en cuenta este fenómeno para la modelación dinámica de los perfiles de suelo. La mayoría de programas de modelación dinámica de la respuesta dinámica de los suelos, utilizan un proceso pseudo - lineal o un proceso equivalente de aproximación a la deformación compatible, mediante un proceso iterativo. El siguiente paso es obtener las relaciones promedio del módulo de rigidez cortante normalizado $G/G_{m\acute{a}x}$ y el amortiguamiento como una función de la deformación por cortante. Partiendo de propiedades estáticas, se han establecido y expuesto en la literatura técnica especializada, curvas de ambas relaciones para diferentes tipos de depósitos de suelo.

Es necesario la obtención de curvas típicas de las propiedades dinámicas para nuestros tipos de suelo mediante ensayos dinámicos de laboratorio para establecer una modelación con resultados más aproximados y acordes a la realidad existente en Quito.

Con la información proporcionada por el Proyecto del Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito, se obtienen los parámetros de suelo necesarios para la modelación dinámica de los perfiles de suelo definidos en el mencionado proyecto. Gracias a la clasificación SUCS de los suelos, es posible identificar, para cada estrato de cada perfil de suelo, un material cuyo comportamiento dinámico está caracterizado por curvas experimentales de G y Amortiguamiento versus la deformación por cortante, obtenidas de la literatura técnica. Adicionalmente se define una clase de suelo, "la cangahua", como una arena media SM ó un limo de baja plasticidad ML, cuya velocidad de onda de corte supera los 400 m/s. El comportamiento dinámico de la cangahua, se obtiene de curvas experimentales de ensayos triaxiales cíclicos realizados en varias muestras y especímenes representativos de las unidades geotécnicas de la ciudad.

A continuación se presentan las curvas experimentales definidas para cada material o clasificación de suelo. Las curvas escogidas son curvas promedio de cada material y además incluye curvas experimentales de la cangahua:

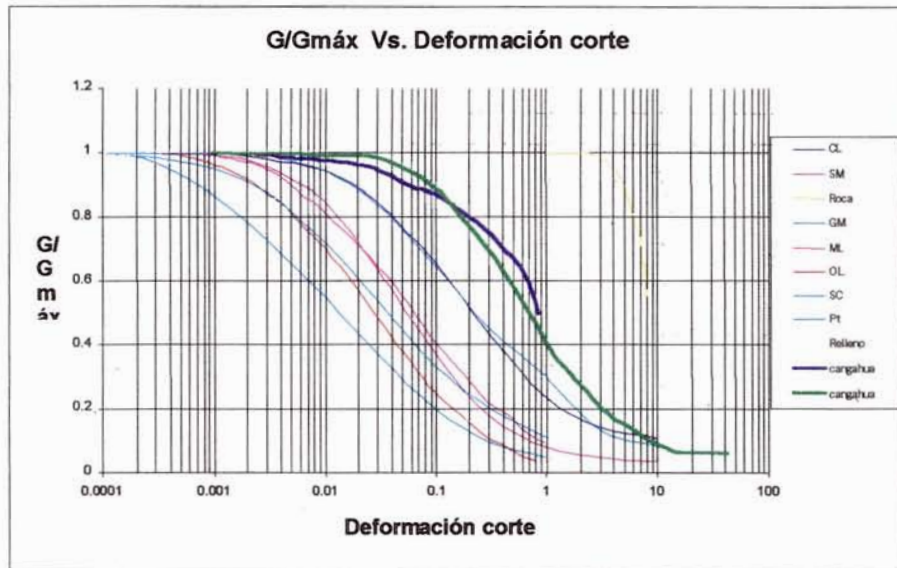


Figura No. 2

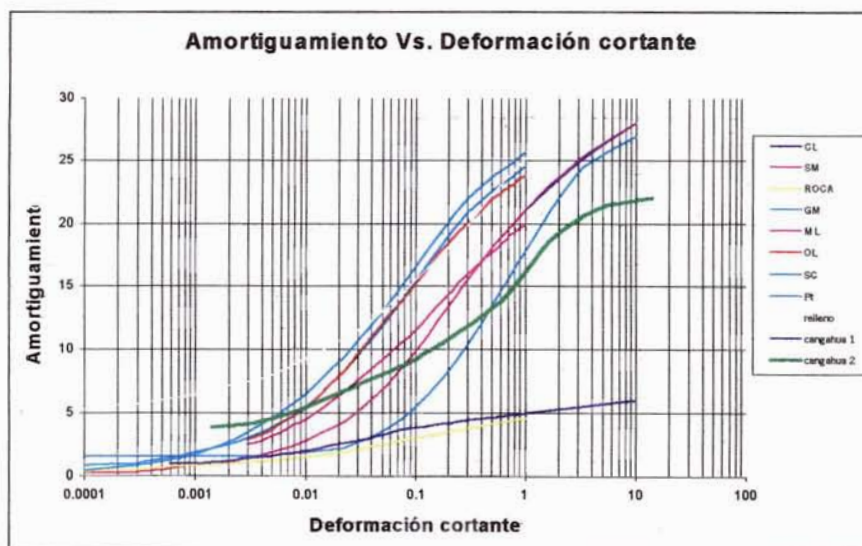


Figura N° 3

Luego se realiza un análisis de sensibilidad variando el movimiento objeto o el sismo actuante sobre la columna de suelo, de acuerdo a diferentes escalamientos, para cada uno de los acelerogramas escogidos. En este caso se escalaron las señales a 0.4 g, 0.3g, 0.2g, y 0.1g, esto para todas las zonas presentadas en el Escenario Sísmico de Quito.

El procesamiento de los resultados se lo realiza agrupando la información obtenida de la salida de los archivos del programa en función de la zona a la cual pertenece el archivo.

Luego se agrupan los resultados en los archivos de salida con aceleraciones máximas similares y se grafican los resultados. Los resultados utilizados son el módulo de la función de transferencia (amplitud en función de la frecuencia), y el espectro de respuesta de la columna de suelo (aceleración en función del período). Es decir, luego de procesar todos los resultados, cada zona de la ciudad presenta 4 gráficos de la función de transferencia que corresponden a los diferentes escalamientos de la aceleración y 4 gráficos del espectro de respuesta de la columna pertenecientes a estos escalamientos de la aceleración.

La Figura N° 4 presenta un ejemplo de una columna característica de suelo para una determinada zona junto con los datos de ingreso al programa, además se presenta la función de transferencia y los espectros de respuesta obtenidos, para esa zona.

| | |
|------------------------------------|------------------|
| Zona de sismo: P1 | |
| Procedimiento: U-ES-67p T=0.05s | Edificación: 15m |

| Altura (m) | U ₁ (m) | U ₂ (m) | U ₃ (m) | U ₄ (m) | U ₅ (m) | U ₆ (m) | U ₇ (m) | U ₈ (m) | U ₉ (m) | U ₁₀ (m) |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 00 | 34 | 19 | 19 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 10 | 34 | 19 | 19 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 20 | M | 19 | 15 | 29 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 30 | M | 21 | 30 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 40 | M | 20 | 40 | 38 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 50 | M | 23 | 75 | 40 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 60 | M | 23 | 75 | 40 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

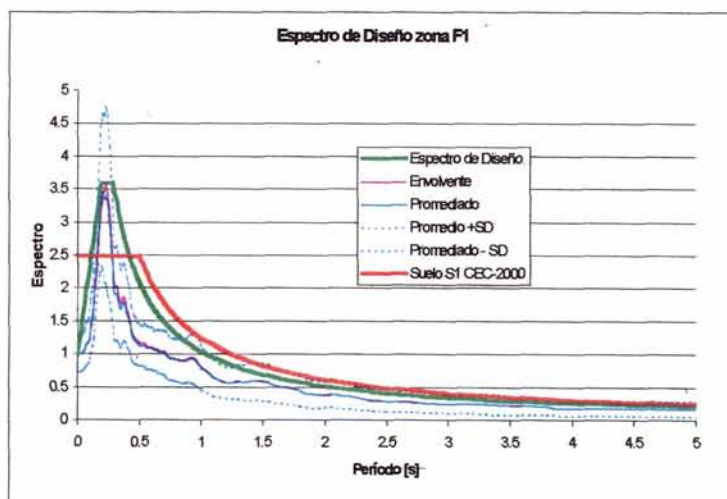
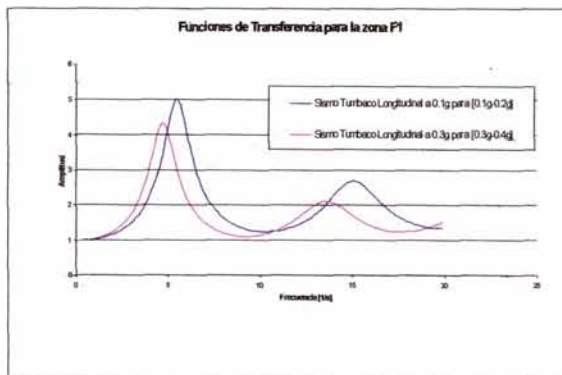


Figura N° 4

Ensayos de campo

En el proyecto se incluyen los siguientes ensayos de campo:

1. Ensayo Crosshole
2. Ensayo Downhole
3. Ensayo de Penetración Estándar
4. Ensayo de Vibración Ambiental

Crosshole y Downhole son ensayos similares, que se los hace con el fin de encontrar la velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo, para diferentes estratos.

El ensayo de Penetración Estándar de los suelos o SPT, al ser una prueba pseudo dinámica, se lo hace con el fin de encontrar el número de golpes N que presenta un suelo a la penetración, mediante este valor se encuentran propiedades mecánicas de los suelos, tales como su peso específico; además, mediante el SPT se recuperan muestras de suelo, las mismas que son utilizadas para clasificar al suelo de acuerdo a la clasificación SUCS.

El ensayo de vibración ambiental, utilizando la técnica de Nakamura, permite encontrar de una manera rápida y versátil el período fundamental de los suelos. Este valor es necesario compararlo con el encontrado mediante la modelación dinámica con el programa Shake91. Este ensayo se lo realiza en los mismos puntos escogidos para las perforaciones de los ensayos Crosshole, Downhole y SPT con el fin de calibrar la metodología empleada.

Los lugares en donde se realizan los ensayos de campo se detallan a continuación:

1. Sector Camal Metropolitano
2. Sector Guamaní
3. Sector Nueva Victoria - Sur de Quito
4. Sector Fundeporte

5. Sector Mañosca
6. Sector Carcelén Bajo – Colegio Americano
7. Avenidas del Maestro y Real Audiencia de Quito
8. Sector de los Dos Puentes
9. Zona Industrial – sur de Quito
10. Sector Conocoto – INNFA
11. El Tingo
12. Complejo Liga Deportiva Universitaria – Pomasqui
13. Complejo La Contraloría – Pomasqui
14. Sector Santa Rosa – Cumbayá
15. Sector Santa Rosa (sur) - Cumbayá

V. RESULTADOS

Nueva modelación de las columnas de suelo

La información recopilada sobre estudios anteriores, el estudio de la geología y los ensayos de campo son las fuentes de información para la nueva modelación de las columnas características de suelo del Distrito Metropolitano de Quito mediante el programa utilizado.

Anteriormente se explicó la forma de utilizar el programa y los resultados requeridos para el presente estudio a través de la modelación de las 20 zonas propuestas en el Proyecto Manejo del riesgo Sísmico de la ciudad de Quito. Para el presente análisis se han revisado los datos de las columnas de suelo de esas zonas y se los ha corregido de acuerdo a los ensayos de campo realizados. Cabe mencionar, que se han incluido nuevas zonas correspondientes a los sectores de Cumbayá, Conocoto, El Tingo, La Merced, Mitad del Mudo, Pomasqui.

Los datos que se han revisado y corregido corresponden a:

1. Velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo, según el ensayo Crosshole y Downhole.
2. Número de golpes del ensayo de penetración estándar, mediante el cual se obtiene el peso específico del suelo.
3. Estratigrafía de las columnas de suelo propuestas.

Una vez revisadas y corregidas las columnas de suelos, se procede a la utilización del programa, con el fin de encontrar los períodos predominantes de cada uno de los suelos, sus funciones de transferencia y sus espectros de respuesta. Las columnas de suelos representativas de cada lugar, con sus respectivos datos de clasificación SUCS de los suelos, velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo, N_{spt} y espesor de capa, se encuentran en los anexos del informe global.

Es importante resaltar que en la modelación preliminar a ésta, se trabaja con veinte columnas de suelo, en las que se utilizaron nueve diferentes sismos escalados desde 0.1g a 0.4g, para de esta manera comparar los resultados emitidos con cada uno de estas señales; sin embargo, en la nueva modelación se utilizan tres sismos: sismo local, sismo continental (inland) y sismo subducción (sismos utilizados en el Proyecto Manejo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Quito), y fueron escalados solamente a 0.4g, por cuanto esta aceleración representa la de mayor probabilidad de ocurrencia en la ciudad de Quito y la que mayor daño produciría de acuerdo al código.

Análisis comparativo entre los resultados de período natural de vibración de los suelos, obtenidos mediante la técnica de vibración ambiental el programa Shake91

Con el fin de llegar a mejores resultados, se realiza una comparación entre los valores de período fundamental de vibración del suelo obtenidos con el programa Shake91 y con el ensayo de vibración ambiental.

A continuación se presenta la Tabla 1, en donde se muestran los datos de períodos naturales de vibración para cada zona obtenidos con el programa con el ensayo de vibración ambiental.

| Zona # | Período (seg.) Shake 91 | Período (seg.) Vibración ambiental | Valor de Diferencia (%) |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Zona Q ₃ | 0.19 | 0.24 | 12 |
| Zona Q ₄ | 0.06 | 0.16 | 45 |
| Zona L ₈ | 0.08 | 0.40 | 66 |
| Zona F ₄ | 0.18 | 0.16 | 3 |
| Zona L ₆ | 0.21 | 0.29 | 6 |
| Zona R _{II} | 0.45 | 0.71 | 22 |
| Zona Q ₇ | 0.05 | 0.11 | 37 |
| Zona L _h | 0.05 | 0.30 | 71 |
| Zona Q ₅ | 0.05 | 0.18 | 57 |
| Zona L ₇ | 0.90 | 0.80 | 6 |

Tabla 1.- Comparación entre períodos calculados y medidos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados así obtenidos, se procede a elaborar el Mapa No. 2, "Mapa de Microzonificación Sísmica de los Suelos del Distrito Metropolitano de Quito", en el cual se incluyen los valores de los períodos de los suelos obtenidos en los dos métodos descritos.

En este mapa, se agrupa a los suelos según los perfiles de tipo de suelo detallados en el Capítulo I del Nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción: "Peligro Sísmico, espectros de Diseño y Requisitos de Cálculo para Diseño Sismorresistente", publicado en la revista Sigma del Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, en su edición especial de Noviembre de 1999. En este texto se ha

clasificado a las condiciones geotécnicas de los sitios o perfiles de suelo de acuerdo con las propiedades mecánicas del sitio y espesores de los estratos; así se citan a cuatro tipos de suelos*:

1. Perfil tipo S_1 : A este grupo corresponden las rocas y los suelos endurecidos con velocidades de corte mayores a 750 m/s, con períodos fundamentales de vibración menores a 0.20 seg. Se incluyen los siguientes tipos de suelos:
 - Roca sana o parcialmente alterada constituida por lavas, depósitos de avalancha.
 - Depósitos potentes de cangahua y tobas tipo arenas consolidadas
 - Suelos cohesivos duros que corresponden a depósitos aluviales
 - Arenas densas con N_{spt} mayores a 50, con espesores menores a 20 m. Sobreyacentes a roca u otro material endurecido con velocidad de onda de corte superior a 750 m/seg.
 - Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados, tobas y conglomerados con N_{spt} mayores a 50.

2. Perfil tipo S_2 : Suelos intermedios. Suelos con características intermedias entre los perfiles de suelos tipo S_1 y S_3 . Estos suelos corresponden a depósitos de cangahua de poco espesor no muy consolidados, depósitos lacustres y depósitos laharíticos sobreyacentes a potentes estratos de tobas y cangahuas.

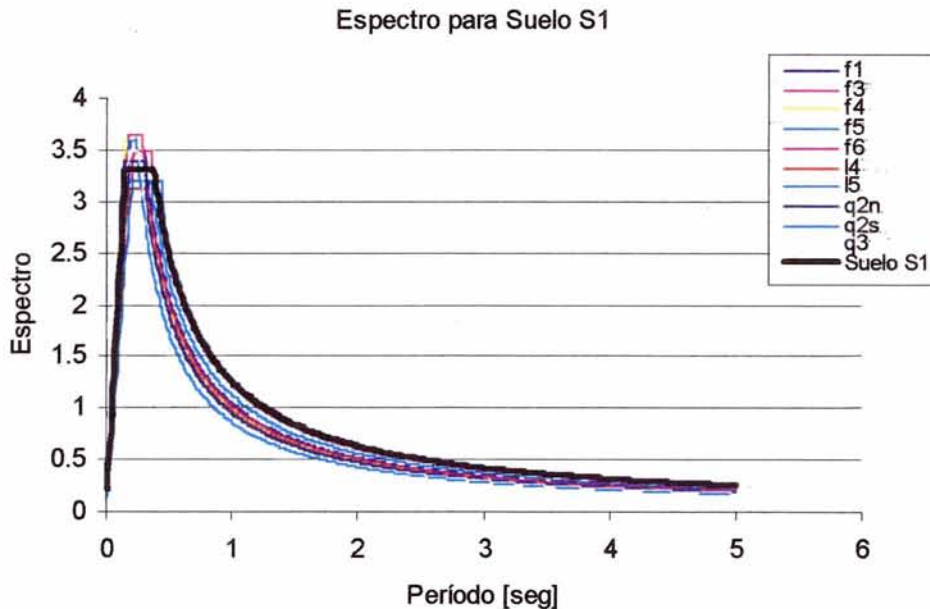
3. Perfil tipo S_3 : Suelos blandos o estratos profundos. En este grupo se incluyen los perfiles de suelos blandos o estratos de gran espesor, en los que los períodos fundamentales de vibración son mayores a 0.60 seg. Estas zonas corresponden a potentes estratos de arenas volcánicas, caídas de cenizas y gravas poco consolidadas y muy deleznable, suelos limosos de origen orgánico con altos niveles freáticos y zonas de relleno en el cauce de antiguas quebradas.

* Revista Sigma, Revista de la Fundación Ecuatoriana de Ingeniería y del Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, Novena edición, Noviembre, 1999.

El Mapa No. 2 se convierte entonces en el elemento de información complementario del capítulo 1 del nuevo Código y convierte a la ciudad de Quito en la primera ciudad en contar con este instrumento técnico y científico el cual a su vez permitirá a su gobierno local definir políticas de reordenamiento territorial del distrito metropolitano.

Este mapa y la información de este estudio se convierten en una de las herramientas para el desarrollo de un plan de estudio de la vulnerabilidad de las edificaciones existentes y para una planificación técnica del uso del suelo y de reordenamiento urbano del Distrito.

Además, en la Figura No. 5 se presenta el resultado final de los espectros de diseño propuestos para cada una de las zonas definidas en el Mapa No. 2.



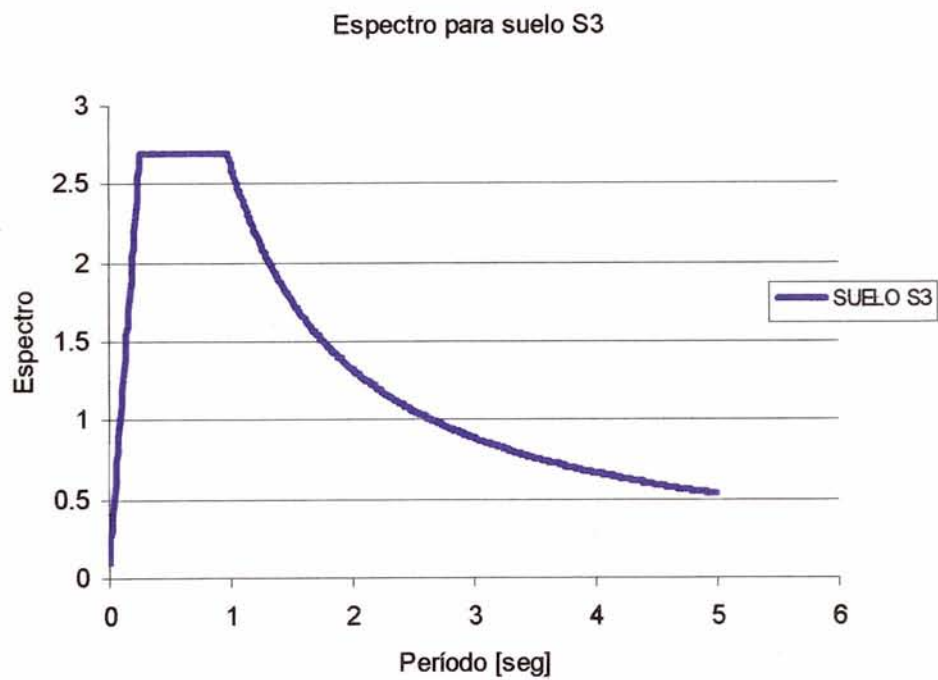
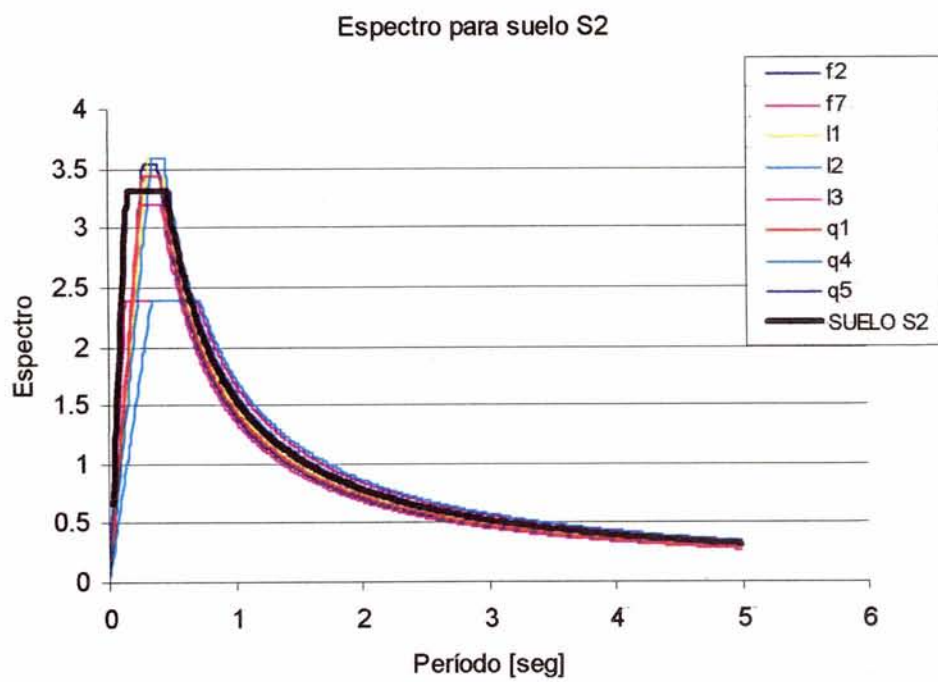


Figura N°. 5

El período fundamental de vibración de una estructura, depende de su masa y rigidez; a su vez, la rigidez tiene que ver directamente con el tamaño de las secciones de columnas, paredes de cortante u otros elementos estructurales diseñados para resistir las cargas horizontales. En algunos países del mundo como Estados Unidos o Japón, por ejemplo, se cuenta con expresiones que relacionan el período fundamental de vibración de una estructura, con su número de pisos, obteniéndose valores muy cercanos a la realidad.

En nuestro país, desafortunadamente, no se cuenta con una expresión de ese tipo, por el momento, sin embargo en una siguiente etapa, la EPN considera necesario realizar una campaña de medición de períodos de vibración sobre los distintos tipos de estructuras encontradas en el distrito metropolitano de Quito. Recientes trabajos como el de la zonificación estructural de Quito (Castro,2000), apuntan precisamente a la determinación de esas características en las edificaciones que aquí se construyen.

De todas maneras, la versión antigua del Código Ecuatoriano de la Construcción sugería la utilización de la expresión $T = 0.1 N$, para estimar el período fundamental de vibración de una estructura de N pisos de altura, la que no siempre proporciona resultados satisfactorios, en todo caso, si nos guiamos por esta expresión, para las zonas S1, estructuras pequeñas como de dos o tres pisos son las que podría verse mayormente afectadas, pues el período del suelo estimado para esa zona es de 0.2 seg.

En la zona S3 en cambio, las estructuras esbeltas cuyo período de vibración sea mayor que 0.6 seg., aproximadamente seis a siete pisos, son las que mayores daños podría sufrir. Finalmente, en la Zona S2, las estructuras entre dos y seis pisos, son las que deben diseñarse con mayor cuidado.

Los resultados de este estudio necesitan complementarse con un estudio pormenorizado de los efectos topográficos, de la susceptibilidad de deslizamientos y la caracterización de las quebradas y rellenos potentes presentes a lo largo de la ciudad.

La topografía es un factor de clara incidencia en la amplificación de los movimientos y al momento se cuenta con pocas herramientas, pero suficientes, para su análisis. Quito es una ciudad con una alta densidad de lomas y relieves que merece un estudio complementario.

La reciente y mayor ocurrencia de deslizamientos en la ciudad, en especial durante épocas invernales, da cuenta de la reactivación de este fenómeno causada por la mayor ocupación de terrenos inestables y de alta susceptibilidad geológica y geotécnica. Esta componente debe ser estudiada con mayor profundidad y detalle para obtener un mapa de intervención y estabilización de las zonas de ladera y legislar sobre su utilización.

El estudio y caracterización de los sitios de quebradas rellenadas permitirá tipificar y caracterizar con mayor precisión el comportamiento dinámico de estos depósitos. Sin embargo, los resultados de este estudio permiten tener una idea clara de los problemas que podrían tener las estructuras asentadas en este tipo de depósitos.

Durante el mes de Mayo de 2001, la propuesta del nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción para el Ecuador, fue oficialmente aprobado por el INEN, organismo que de acuerdo a las leyes ecuatorianas está a cargo de la normalización en el país. Con base en este documento, el municipio del distrito metropolitano de Quito, debería adoptar este documento como norma para el diseño sismorresistente e ir un paso mas allá, al incluir ya la microzonificación propuesta en ese documento.

Una de las principales recomendaciones de este estudio se orienta hacia la instalación de una red de instrumentación local básica dentro del Distrito. Esta red debe ser instalada de acuerdo a la zonificación propuesta y con criterio técnico que permita en un futuro evento sísmico contar con registros propios de sismos provenientes de distintas fuentes sísmicas y sobre perfiles de suelo locales. La instalación de acelerógrafos, tanto a nivel del basamento rocoso como

en superficie, en diferentes lugares de la ciudad para conocer de manera directa y real el comportamiento dinámico de los suelos permitirá en un futuro ajustar la zonificación propuesta y contar con mejores herramientas de prevención ante la posible ocurrencia de un sismo. El Mapa No. 3, *Red de Acelerógrafos*, presenta una propuesta de los lugares, en cuanto a suelos se refiere, en donde se debería colocar acelerógrafos; para el caso de estructuras, se debe realizar un estudio específico del tipo de estructuras que se tiene, de manera tal de seleccionar ciertas edificaciones en donde deberían colocarse acelerógrafo

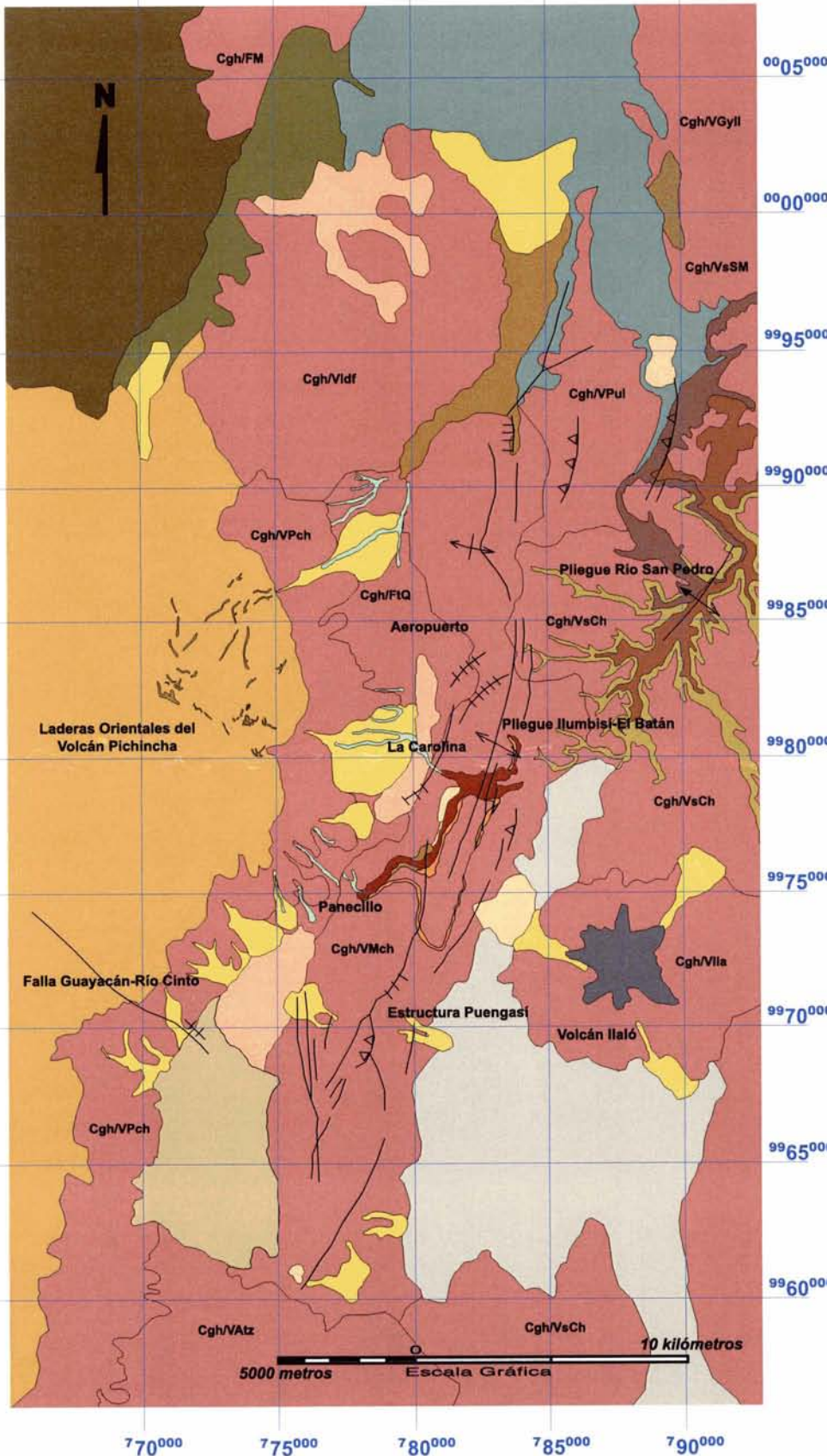
MAPA GEOLOGICO DEL CUATERNARIO DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

LEYENDA

-  Zona de relleno
-  Depósito laharrítico
-  Depósito coluvial
-  Depósito lacustre
-  Suelos de meteorización
-  Suelos volcánicos
-  Terraza aluvial
-  Volcánicos Pululahua
-  Cangahua (Cgh)
-  Depósito aluvial
-  Fluvialitl Quito (FtQ)
-  Volcano Sedimentos Chiche (VsCh)
-  Volcánicos Pichincha (lavas aflorantes, VPch)
-  Volcano Sedimentos San Miguel (VsSM)
-  Volcánicos Guayllabamba (VGyll)
-  Volcano Sedimentos Machángara (VMch)
-  Volcánicos Ilaíó (Vlla)
-  Formación Macuchi (FM)
-  Formación Silante

CONVENCIONES

-  Contacto Litológico
-  Lineamiento
-  Pliegue
-  Falla normal
-  Falla inversa
-  Relación estratigráfica de la cangahua



PROYECTO MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

CONVENIO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

MAPA No. 1
Distrito Metropolitano
de Quito

REALIZADO POR: Ing. Eliana Jiménez
Ing. Alexandra Alvarado
FECHA: abril del 2001



**MAPA DE MICROZONIFICACION
SISMICA DE LOS SUELOS DEL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

LEYENDA

 ZONA S1

Rocas y suelos endurecidos con velocidades de corte mayores a 750 m/seg y períodos de vibración menores a 0,2 seg. Incluyen zonas cubiertas por potentes estratos de cangahua y tobas muy consolidadas, zonas de depósitos coluviales y terrazas aluviales con arenas muy compactas.

 ZONA S2


Suelos intermedios con períodos de vibración entre 0,2 seg a 0.6 seg. Corresponden a depósitos de cangahua de poco espesor y no muy consolidados. Depósitos lacustres y suelos de meteorización, se encuentran también las zonas cubiertas por depósitos laháríticos.

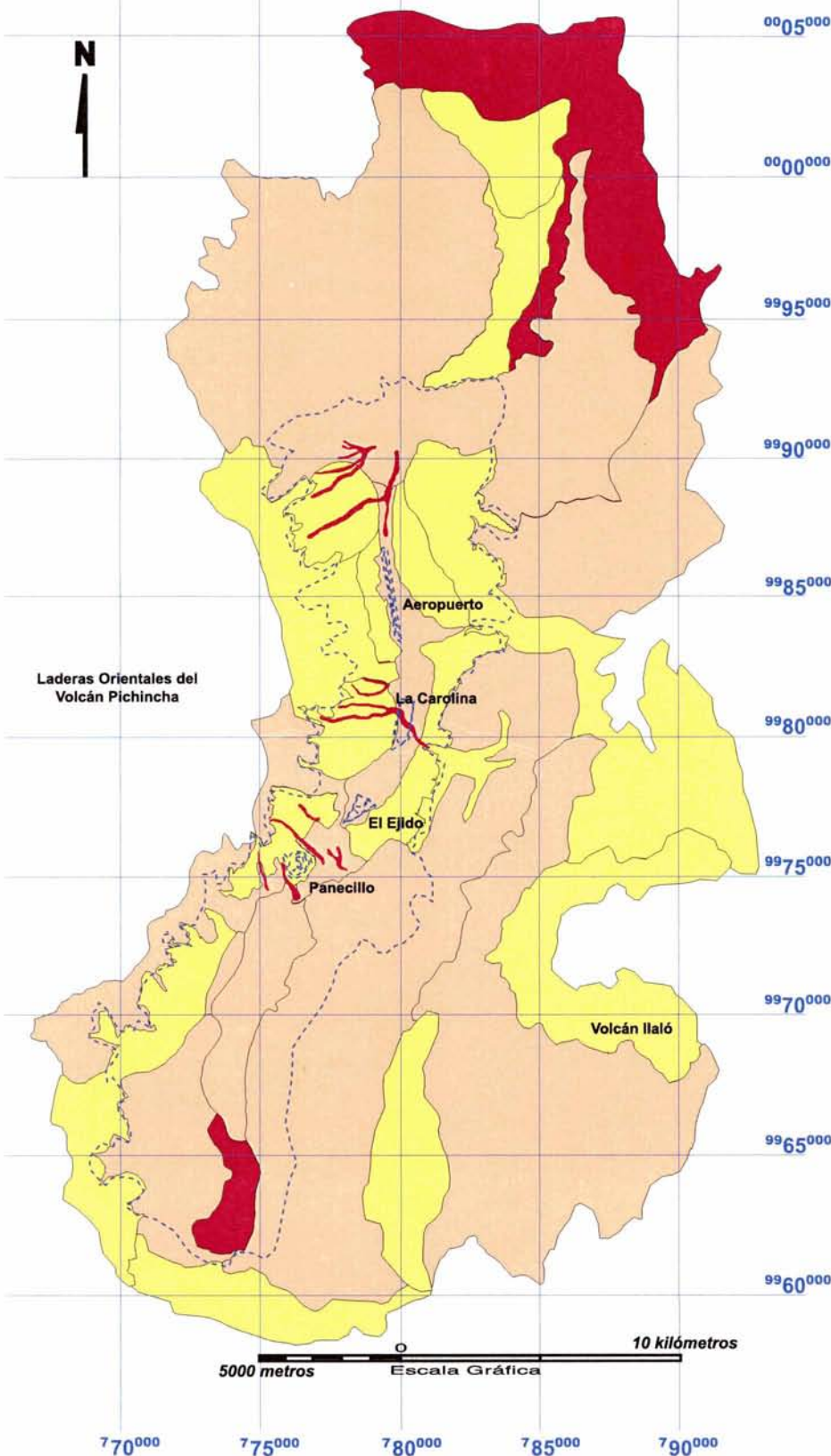
 ZONA S3

Suelos blandos o estratos profundos con períodos de vibración mayores a 0.6 seg. Incluyen estratos potentes de arenas y gravas poco consolidados, depósitos de limos orgánicos con nivel freático alto y zonas de relleno ubicadas en antiguos cauces de quebradas.

CONVENCIONES

 Contacto entre microzonas

 Limite de la ciudad y sectores importantes



**PROYECTO MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS SUELOS DEL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**CONVENIO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**



MAPA No. 2
Distrito Metropolitano
de Quito

FECHA: abril del 2001

**MAPA DE UBICACIÓN DE LOS
ENSAYOS CROSS HOLE
Y ACCELERÓGRAFOS**

LEYENDA



Microzonas

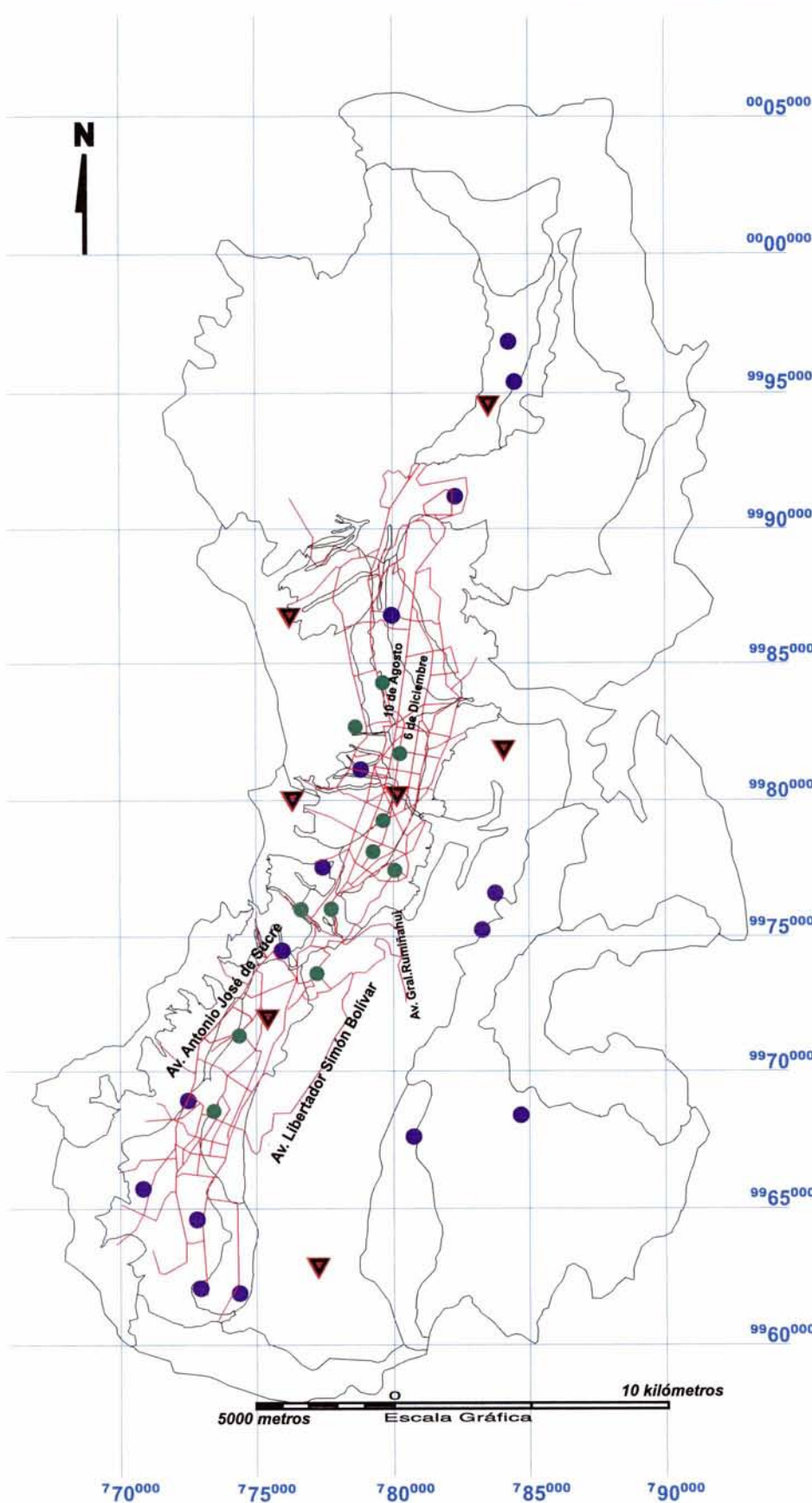


Sistema vial de la
Ciudad de Quito

▼ Propuesta de ubicación
de la red básica de
acelerógrafos

● Ensayos Crosshole
realizados en el
presente estudio

● Ensayos Crosshole
realizados en el
estudios anteriores



**PROYECTO MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS SUELOS DEL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**



**CONVENIO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

MAPA No. 3
Distrito Metropolitano
de Quito

FECHA: MAYO DEL 2001

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, GEOHAZARDS INTERNATIONAL, ILUSTRE MUNICIPIO DE QUITO, ORSTOM, OYO CORPORATION "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project", Geohazards International Publication, Quito, 1994
2. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, GEOHAZARDS INTERNATIONAL, ILUSTRE MUNICIPIO DE QUITO, ORSTOM, OYO CORPORATION "The Quito - Ecuador, Earthquake Risk Management Project an Overview", Geohazards International Publication, Quito, 1994
3. ESCUELA POLITECNICA NACIONAL," Causas y Efectos de Sismos Recientes sobre las edificaciones y Líneas de Vida", Memorias técnicas Seminario Internacional, Quito 1994.
4. INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, "Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá", Publicación especial de Ingeominas, Agosto, 1997.
5. MAYER-ROSA, D; JIMÉNEZ, M; "Seismic Zoning, State-of-the-art and recommendations for Switzerland, Federal Office for Water and Geology, Swiss National Hydrological and Geological Survey, Switzerland, 2000.
6. NAKAMURA, YUTAKA, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface", QR of RTRI, Vol. 30, Febrero, 1989.
7. YÈPEZ F, FERNANDEZ J, VALVERDE J, "Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000", Jornadas XIII de Ingeniería Estructural, Quito 2000.
8. YÈPEZ F, A. BARBAT, CANAS, "Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería", Monografías de Ingeniería Sísmica, Editor A. H. Barbat, España, 1995.