



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO DE  
GUAYAQUIL Y SU RESPUESTA ANTE EXCITACIONES SÍSMICAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO**

**A OPTAR EL GRADO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE**

**RAFAEL COELLO NARVÁEZ**

**NOMBRE DEL(A) TUTOR(A)**

**ING. BLAS CRUZ CARPIO M.I.**

**SAMBORONDÓN, SEPTIEMBRE, 2018**

## **APROBACIÓN DEL(A) TUTOR(A)**

En mi calidad de tutor del estudiante Rafael Alejandro Coello Narváez, estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil, carrera dictada en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES, certifico: Que he revisado el trabajo de tesis con el título: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO DE GUAYAQUIL Y SU RESPUESTA ANTE EXCITACIONES SÍSMICAS, presentado por el estudiante Rafael Alejandro Coello Narváez con cédula de ciudadanía N°. 0923641831, como requisito previo para optar por el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

---

Tutor: Ing. Blas Cruz Carpio M.I.

SAMBORONDÓN, AGOSTO, 2018

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mi madre, que me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se realiza un paso a la vez. También está dedicado a mi padre, quien me enseñó que el mejor tipo de conocimiento es el que se aprende por sí mismo.

## RECONOCIMIENTO

Agradezco a todos los que de una forma u otra contribuyeron en la realización de esta tesis. Primero, doy gracias a Dios por la protección y la capacidad de hacer el trabajo. Me gustaría agradecer sinceramente a mi tutor, el Ing. Blas Cruz Carpio M.I., por su orientación y apoyo a lo largo de este estudio, y especialmente por su confianza en mí. También me gustaría agradecer al Ing. Xavier Vera-Grunauer PhD, por permitirme unirme a su equipo de trabajo, Geoestudios, sus comentarios y preguntas fueron muy beneficiosos para completar el manuscrito y proyección de esta investigación. Aprendí mucho de su visión, al Ing. Sebastián López M. Sc., le agradezco la discusión e interpretación de algunos resultados presentados en esta tesis, tal como sus palabras de motivación para un crecimiento profesional. Además, me gustaría agradecer a mi asesora, la Ing. Olga Roa PhD, de una manera especial, expreso mi más sincero agradecimiento por su guía y apoyo que creí haber aprendido de los mejores.

A todos mis amigos, gracias por su comprensión y aliento en mis muchos, muchos momentos de crisis. Su amistad hace que mi vida sea una experiencia maravillosa. No puedo enumerar todos los nombres aquí, pero siempre están en mi mente.

Al final pero no menos importante, a mi familia, gracias por animarme en todas mis actividades e inspirarme a seguir mis sueños. Estoy especialmente agradecido con mis padres, por su amor y apoyo incondicional. Siempre supe que creían en mí y deseaban lo mejor para mí. Gracias por enseñarme que mi trabajo en la vida era aprender, ser feliz, conocerme y comprenderme a mí mismo; solo entonces podría conocer y entender a los demás. Gracias a mi madre, Patricia Narváez, por guiarme como persona, profesional e hijo, y por ofrecer su experiencia en edición a lo largo de este proceso.

*Si supiéramos qué es lo que estábamos haciendo,  
no se llamaría investigación, ¿o sí?*  
Albert Einstein

## RESUMEN

En la presente tesis se describe los resultados de la investigación realizada en campo y el análisis numérico de la respuesta dinámica de sitio para la Avenida Quito, sector céntrico de Guayaquil. El propósito de este estudio es el de constituir una caracterización geotécnica adecuada del sitio de estudio, en base a las técnicas de exploración, para de manera posterior descubrir la tendencia de respuesta sísmica y poder identificar todos los parámetros más influyentes en esta área. Como resultado de la caracterización se desarrolló la metodología impuesta por Yoshida (2015) para el análisis dinámico de la respuesta de sitio, el cual está influenciado por las propiedades de comportamiento del estrato, frente a la acción de cargas dinámicas externas. Estos análisis han sido incorporados en programas computacionales como DEEPSOIL y QUAD4M, por el método de elementos finitos. Se obtuvieron resultados de LDI con la finalidad de predecir los movimientos en la superficie del terreno para la construcción de espectros de respuesta para diseño; de tal modo que los resultados mostrados en este trabajo pueden ser útiles en el diseño de estructuras que se planeen construir sobre el mismo cuerpo y cuyo perfil litológico se asemeje de los típicos propuestos en la microzonificación geotécnica de Guayaquil.

***Palabras clave:*** Análisis dinámico, Guayaquil, Respuesta sísmica, sitio.

## **ABSTRACT**

This thesis describes the results of the field research and the numerical analysis of the dynamic response of the site for the Quito Avenue, downtown area of Guayaquil. The purpose of this study is to establish an adequate geotechnical characterization of the study site, based on exploration techniques, in order to subsequently discover the seismic response trend and be able to identify all the most influential parameters in this area. As a result of the characterization the methodology imposed by Yoshida (2015) was developed for the dynamic analysis of the site response, which is influenced by the behavioral properties of the stratum, as opposed to the action of external dynamic loads. These analyzes have been incorporated into computer programs such as DEEPSOIL and QUAD4M, by the finite element method. Results of LDI were obtained in order to predict the movements in the surface of the land for the construction of response spectra for design; in such a way that the results shown in this work can be useful in the design of structures that are planned to be built on the same body and whose lithological profile resembles the typical ones proposed in the geotechnical microzonification of Guayaquil.

***Keywords:*** Dynamic analysis, seismic response, Guayaquil, site.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Generalidades .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Planteamiento del problema .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Formulación del problema .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5. Justificación e importancia .....</b>	<b>6</b>
<b>1.6. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
1.6.1.    Objetivo general.....	7
1.6.2.    Objetivos específicos .....	8
<b>1.7. Alcance .....</b>	<b>8</b>
<b>1.8. Área de estudio .....</b>	<b>9</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Amenaza Sísmica .....</b>	<b>13</b>
2.1.1.    Vulnerabilidad sísmica-geotécnica de la ciudad de Guayaquil .....	13
2.1.2.    Estructuras geológicas del golfo de Guayaquil .....	23
<b>2.2. Campaña de exploración geofísica - geotécnica.....</b>	<b>25</b>
2.2.1.    Técnicas de exploración directa – geotécnica .....	27
2.2.2.    Técnicas de exploración indirecta - geofísica.....	30
2.2.3.    Efectos de Sitio .....	33
2.2.4.    Análisis de respuesta dinámico de sitio .....	38
2.2.5.    Análisis de respuesta dinámica de sitio en relación a la NEC-15.....	48
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1. Análisis de resultados .....</b>	<b>52</b>
3.1.1.    Resultado de análisis cualitativo para la modelación del perfil de suelo .....	52
3.1.2.    Parámetros de entrada y consideraciones generales adoptadas en el análisis de respuesta de sitio .....	66
3.1.3.    Parámetros de entrada adoptados: ARS Estación E1 - Parque Centenario .....	80
3.1.4.    Parámetros de entrada adoptados: ARS 1D & 2D - Plaza Julián Coronel .....	86
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>6. APÉNDICES .....</b>	<b>113</b>



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del perfil del suelo de acuerdo al NEC (2015) .....	4
Tabla 2. Caracterización de las fallas activas de Guayaquil.....	24
Tabla 3. Estaciones y ensayos correspondientes .....	27
Tabla 4. Ubicación, cotas y profundidad de los sondeos realizados para las estaciones del proyecto.....	27
Tabla 5. Ubicación, cotas y profundidad de los ensayos CPTu realizados para las estaciones del proyecto.....	30
Tabla 6 . Ubicación de ensayos geofísicos para el proyecto .....	31
Tabla 7. Resumen de resultados de ensayos MASW-MAM .....	38
Tabla 8. Estimación de la profundidad del semi-espacio (MASW_MAM 1, 2_1 y 4). .....	69
Tabla 9. Profundidad y velocidad de onda de corte del semi-espacio adoptada para los análisis.....	70
Tabla 10. Características sismológicas de los movimientos sísmicos escalados de fallas activas cercanas para eventos de fuente cercana ( $T_r=475$ años).....	73
Tabla 11. Características sismológicas de los movimientos sísmicos escalados de subducción para la componente horizontal de los eventos de fuente lejana ( $T_r=475$ años).....	75
Tabla 12. Sismos representativos seleccionados para optimizar el análisis 2D; características sismológicas y escaladas .....	76
Tabla 13. Parámetros de entrada generales de la columna de suelo para el ARS E1-Parque Centenario.....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resumen de la intensidad sísmica del Ecuador desde el 1900 hasta el año 2017, tomado del Instituto geológico de los Estados Unidos (2017) .....	3
Figura 2. Ubicación geográfica de Av. Quito, Guayaquil con su respectiva zonificación geotécnica y la estimación catastral de los edificios con su número de pisos, gráfico adaptado de la microzonificación de Guayaquil. ....	10
Figura 3. Distribución urbanística de los 6 sectores de la Avenida Quito, Guayaquil .....	12
Figura 4. Ubicación geográfica de la ciudad de Guayaquil, Avenida Quito. ....	14
Figura 5. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador, donde se puede observar las 5 zonas diferenciadas por colores, en la cual clasificamos a Guayaquil, sitio de estudio, dentro de la zona sísmica V por el NEC-2015. ....	15
Figura 6. Microzonificación geotécnica de la ciudad de Guayaquil tomado del informe emitido por Vera Grunauer (2014). ....	17
Figura 7. Mapa de fallas geológicas activas y capaces de la ciudad de Guayaquil, obtenido del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2016).....	19
Figura 8. Vistas de la ciudad de Guayaquil: (a) fotografía aérea en 1946, (b) imagen satelital 2018. El área rodeada por la elipse es de similar área en ambas imágenes (2018).....	20
Figura 9. Mapa de la ciudad de Guayaquil mostrando la estimación de las zonas de mayor demanda espectral (Sa/PGA) <sub>max</sub> en el rango elástico, en función de los números de pisos de la edificación (Vera Grunauer, et al. 2015).....	22
Figura 10. Visualización satelital de la ubicación de las dos estaciones para el sitio de estudio tomada de Google Maps (2018).....	26
Figura 11. Equipo empleado para los sondeos SPT.....	29
Figura 12. Arreglo sísmico típico para adquisición de ondas superficiales.....	32
Figura 13. Efectos de sitio registrados en la ciudad de México, sismo de 1985 (Ordaz, Miranda, & Avilés, 2011).....	35
Figura 14. Dependencia de la amplificación-atenuación de la aceleración pico del terreno (PGA) para suelos blandos (Idriss, Lysmer, Hwang, & Seed, 1973). ....	36
Figura 15. Ajuste con RSPMatch09 para un registro sísmico: registros iniciales vs. modificados de: (a) aceleración, (b) velocidad, (c) desplazamiento. Comparación de espectros de aceleración: (d) inicial vs. objetivo y (e) calculado vs. objetivo.....	39
Figura 16. Flujoograma del procedimiento del análisis de respuesta de sitio (Yoshida, 2015) .....	40
Figura 17. Respuesta no lineal típica de esfuerzo de corte vs. deformación de corte de un suelo bajo cargas cíclicas (Kottke, 2010). ....	43
Figura 18. Curvas de reducción de módulo de corte y amortiguamiento que caracterizan la respuesta no lineal del suelo (Kottke, 2010).....	43
Figura 19. Campaña de exploración de la Zona 1 - Estación “E1-Parque Centenario” .....	53
Figura 20. Campaña de exploración de la Zona 2 - Estación “E2-Plaza Julián Coronel” .....	53
Figura 21. Caracterización de la Zona 1 - Estación (E1).....	55

Figura 22. Caracterización de la Zona 1 - Estación (E1), contiene: (N60), (D <sub>50</sub> ), (Cu), (DR), (φ') y (Vs) (GEOESTUDIOS, 2018).....	56
Figura 23. Caracterización de la Zona 1 - Estación (E1), contiene: (RA), (CR), (RR), (K <sub>0</sub> ), Índice de comportamiento de tipos de suelo (Ic (GEOESTUDIOS, 2018)).....	57
Figura 24. Caracterización de la Zona 2 – Estación (E2), contiene: (N60), (FC%), (wc), (LL), (IP), (Su), (OCR) (GEOESTUDIOS, 2018).....	59
Figura 25. Caracterización de la Zona 2 – Estación (E2), contiene: Número de golpes del ensayo SPT corregido por energía (N60) para arenas, Diámetro de abertura del tamiz por el que pasa el 50% del material (D <sub>50</sub> ), Coeficiente de uniformidad (Cu), Densidad relativa (DR), Ángulo de fricción interna (φ') y Velocidad de onda de corte (Vs (GEOESTUDIOS, 2018)).....	60
Figura 26. Caracterización de la Zona 2 – Estación (E2), contiene: Actividad relativa (RA), Relación de compresión (CR), relación de recompresión (RR), Coeficiente de presión lateral del suelo (K <sub>0</sub> ), Índice de comportamiento de tipos de suelo (Ic (GEOESTUDIOS, 2018)).....	61
Figura 27. Perfil Geotécnico A-A' "Estación (E1)" (Abscisa 0+000 a 0+100) (GEOESTUDIOS, 2018).....	62
Figura 28. Perfil Geotécnico B-B' "Estación (E2)" (Abscisa 0+160 a 0+280) (GEOESTUDIOS, 2018).....	63
Figura 29. Implantación Perfil geotécnico A-A'-Tramo 1: Estación "Parque Centenario" / Estación "Plaza Julián Coronel" (GEOESTUDIOS, 2018).....	64
Figura 30. Perfil Geotécnico A-A' Tramo 1: Estación "Parque Centenario" / Estación "Plaza Julián Coronel" (Abscisa 0+000 a 0+620) (GEOESTUDIOS, 2018).....	65
Figura 31. Guayaquil (URS Corporation, 2007) ROCA Tr=475 años.....	66
Figura 32. Comparación entre el espectro de respuesta de diseño para roca blanda NEC (2015), UHS, y dos propuestas de actualización del NEC para roca dura, ξ =5%. .....	67
Figura 34. Estimación del periodo elástico (Te) del subsuelo a partir del método de Nakamura (NAKAMURA 1, 2_1) (GEOESTUDIOS, 2018).....	68
Figura 35. Curvas de tendencia entre la profundidad del semi espacio – periodo elástico (curva roja) y la profundidad donde Vs=300 m/s – periodo elástico (curva azul) (GEOESTUDIOS, 2018).....	69
Figura 36. Espectro de respuesta de aceleración (5% de amortiguamiento estructural) para 25 movimientos sísmicos escalados (líneas grises) para sismos corticales (fuente cercana, NF), de características sismológicas similares al espectro de peligro uniforme UHS esperado, 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, la mediana y la mediana ± 1 desviación estándar de los movimientos escalados (GEOESTUDIOS, 2018).....	72
Figura 37. Espectro de respuesta de aceleración para 25 movimientos sísmicos escalados para sismos de subducción (fuente lejana, FF), de características sismológicas similares al espectro de peligro uniforme UHS esperado, 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, la mediana y la mediana ± 1 desviación estándar de los movimientos escalados (GEOESTUDIOS, 2018).....	74
Figura 38. Comparación de espectros obtenidos para FC y FL por medio del escalamiento con RSPMatch09 (GEOESTUDIOS, 2018).....	77
Figura 39. Escalamiento realizado del sismo de Fuente Cercana (FC) 24/11/1987 Superstition Hills, California; estación El Centro (GEOESTUDIOS, 2018).....	78
Figura 40. Escalamiento realizado del sismo de Fuente Lejana (FL) 16/04/2016 Muisne, Ecuador; estación UCSG (GEOESTUDIOS, 2018).....	79

Figura 41. ARS E1: Curvas de amortiguamiento y degradación de la rigidez normalizada (GEOESTUDIOS, 2018). .....	81
Figura 42. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final “ARS Estación E1” aplicable a: <b>E1, P1, P2</b> (GEOESTUDIOS, 2018). .....	84
Figura 43. Valores máximos de $\gamma$ , $T_{\text{máx}}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo “ARS Estación E1- Parque Centenario” aplicable a: <b>E1, P1, P2</b> (GEOESTUDIOS, 2018). .....	85
Figura 44. Vista satelital de la geología local de Zona Plaza Julián Coronel .....	86
Figura 45. ARS Plaza Julián Coronel: Curvas de amortiguamiento y degradación de la rigidez normalizada (GEOESTUDIOS, 2018). .....	88
Figura 46. (a) Planta de la zona Plaza Julián Coronel, se muestra: ubicación de elementos constructivos y sondeos de interés; dirección del trazado considerado para el perfil geotécnico geológico mostrado en (b) y una zona ampliada del mismo mostrada en (b’) (GEOESTUDIOS, 2018). .....	89
Figura 47. Esquema general de parámetros de entrada para el ARS Plaza JC: columnas estratigráficas y propiedades de materiales de los modelos [A] [B] [C] [D] para los análisis DEEPSOIL 1D; malla de elementos finitos adoptada para el análisis QUAD4M 2D (GEOESTUDIOS, 2018). .....	90
Figura 48. Comparación de resultados de análisis ARS Plaza Julián Coronel: DEEPSOIL 1D y QUAD4M 2D (GEOESTUDIOS, 2018). .....	95
Figura 49. ARS Plaza JC: Amplificación espectral 2D de los puntos [B], [C] y [D] relativa al punto [A] (GEOESTUDIOS, 2018). .....	96
Figura 50. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final “ARS 2D Plaza JC [A]” aplicable a: P3 (GEOESTUDIOS, 2018). .....	97
Figura 51. Valores máximos de $\gamma$ , $\tau_{\text{máx}}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo “ARS 2D Plaza JC [A]” aplicable a: P3 (GEOESTUDIOS, 2018). .....	98
Figura 52. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final “ARS 2D Plaza JC [C]” aplicable a: P4 (GEOESTUDIOS, 2018). .....	99
Figura 53. Valores máximos de $\gamma$ , $\tau_{\text{máx}}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo “ARS 2D Plaza JC [C]” aplicable a: P4 (GEOESTUDIOS, 2018). .....	100
Figura 54. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final “ARS 2D Plaza JC [D]” aplicable a: E2, P5, P6 (GEOESTUDIOS, 2018). .....	101
Figura 55. Valores máximos de $\gamma$ , $\tau_{\text{máx}}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo “ARS 2D Plaza JC [D]” aplicable a: E2, P5, P6 (GEOESTUDIOS, 2018). .....	102
Figura 56. Envolventes de diseño final de aceleración espectral aplicables al sitio de estudio. ....	104
Figura 57. Envolventes de diseño final de desplazamiento espectral aplicables al sitio de estudio. ....	105
Figura 58. Valores máximos de LDI (m) aplicables al proyecto en el sitio de estudio. ....	106

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Generalidades

Las condiciones y características del subsuelo de una determinada área de estudio influyen directamente en la respuesta dinámica de este ante una excitación sísmica, por lo tanto, es de suma importancia considerar dicho efecto al momento de estimar los niveles de aceleraciones a producirse bajo un determinado nivel de amenaza, niveles que son de vital utilidad en el análisis y posterior diseño estructural del proyecto.

Los terremotos se propagan desde el lecho de roca a la superficie a través del depósito de suelo que lo cubre, que actúa como un filtro y modifica las características de movimiento del suelo. La variación de las ondas sísmicas en términos de amplitud, duración y contenido de frecuencia a cualquier profundidad se puede evaluar mediante un análisis de respuesta en el suelo. La estratigrafía del suelo local, las propiedades del material, la topografía del sitio, la profundidad de la capa freática y las características del terremoto, por ejemplo, duración, pico de aceleración, contenido de frecuencia, tienen una gran influencia en la respuesta del suelo y en la estrategia de modelado (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016).

Briaud (2014) menciona que el análisis de respuesta de un depósito de suelo puede considerarse como un estudio preliminar necesario para el análisis dinámico de una estructura, ya que su respuesta sísmica está influenciada por las propiedades geológicas y geotécnicas del suelo de soporte. Debido a su efecto de filtro, el depósito del suelo modifica las ondas sísmicas al amplificar la señal en algunas frecuencias específicas y amortiguarla en algunas otras. Si la frecuencia a la que se produce la amplificación máxima del movimiento del suelo es cercana a la frecuencia natural de la estructura suprayacente, el

edificio y el movimiento del suelo están en resonancia entre sí. Esto significa que el sistema oscila con amplitudes muy altas que pueden causar grandes daños en el edificio.

Este efecto local se estima mediante un análisis de respuesta de sitio, que implica la propagación de ondas sísmicas desde el basamento rocoso a través de las capas de suelo superpuestas hasta la superficie del mismo. El análisis de respuesta dinámico de sitio proporciona registros de aceleración/tiempo, espectros de respuesta de aceleración superficial y/o factores de amplificación espectral basados en la respuesta dinámica de las condiciones locales del subsuelo.

Son de vital importancia la acertada selección de los sismos de entrada en la condición del afloramiento rocoso según las características geológicas y sismológicas inherentes al sitio, así como la correcta caracterización geotécnica y geofísica de las columnas de suelo a analizarse; para una correcta estimación de los efectos sísmicos locales a partir del análisis de respuesta dinámico de sitio.

## **1.2. Antecedentes**

El movimiento tectónico en que se encuentra Ecuador, se lo puede dividir en dos etapas generales. Parte del sector norte del territorio ecuatoriano forma parte de la microplaca denominada “Bloque andino”, la cual pertenece a la placa sudamericana. Esta microplaca, se encuentra en una interacción entre las placas de Nazca, Cocos y Caribe. El movimiento en esta zona se ha medido en un intervalo aproximado de 56 mm/año, mientras que para la placa continental, el movimiento se encuentra entre 2 y 5 mm/año (Alvarado, 2012).

Las velocidades de deslizamiento del fenómeno de subducción, varía a lo largo de la Costa del Ecuador. Chlieh et al. (2014), presenta estudios de velocidades de que van de 15-25mm/año en la costa Norte, entre 26 a 36 mm/año para la zona de la Isla de la Plata y de 5-15mm/año para la zona que va de la Península de Santa Elena hacia el Sur. La convergencia resultante relativa entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana es de 46mm/año.

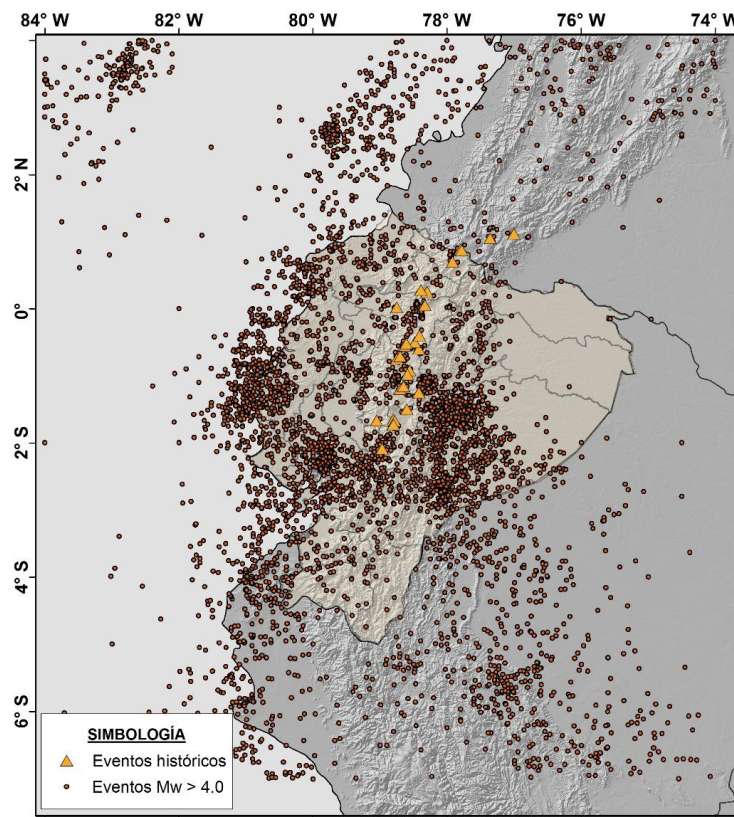


Figura 1. Resumen de la intensidad sísmica del Ecuador desde el 1900 hasta el año 2017, tomado del Instituto geológico de los Estados Unidos (2017)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) define seis tipos de perfil de suelo (A-F), la cual ha utilizado parámetros en la clasificación correspondientes a los 30m superiores del perfil. De acuerdo a la ubicación geográfica de la ciudad se encuentra asentada en un territorio estuarino deltaico, esta condición incide en la formación de suelos arcillosos, condición que favorece a la amplificación de las ondas sísmicas y por tanto

incrementa el riesgo a sufrir daños en las edificaciones. La norma estandariza este tipo de condiciones del suelo con la denominación suelos tipo E, como se muestra en la Tabla 1, según la zonificación sísmica de la ciudad, la cual establece tipos de suelo que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante,  $V_s < 180$  m/s, o que contenga un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas con una humedad ( $w \geq 40\%$ ), un índice de plasticidad ( $IP < 20$ ) y una resistencia al corte no drenado ( $S_u < 50$  kPa).

Tabla 1. Clasificación del perfil del suelo de acuerdo al NEC (2015)

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ Kpa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100$ kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	<b>F1</b> —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	<b>F2</b> —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	<b>F3</b> —Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	<b>F4</b> —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	<b>F5</b> —Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
<b>F6</b> —Rellenos colocados sin control ingenieril.		



### **1.3. Planteamiento del problema**

La ciudad de Guayaquil debido a su condición geográfica registra sismos de magnitudes entre 6,5 – 7,5 en la escala de Richter con una tasa de retorno de 475 años que es la tasa empleada para sismos en la etapa de diseño, la cual representa una tasa anual de excedencia del 10% en 50 años, estos sismos están clasificados por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, como sismos severos. La NEC (2015) de igual manera a categorizado a la ciudad de Guayaquil como zona sísmica tipo 5 dentro del mapa de zonificación sísmica del Ecuador, el cual dota de un  $Z > 0.4g$ .

García, Aguiar, y Villamarín, (2010) mencionan que las condiciones geográficas de la ciudad inciden debido a ciertas particularidades tales como las fallas geológicas activas continentales detalladas como corticales e intraplaca, de igual manera las ocasionadas por la subducción de la placa tectónica de nazca con la sudamericana, fallas de interplaca. Estas peculiaridades del sector de estudio generan que la ciudad cuente con una vulnerabilidad sísmica alta, la cual incide en las amplitudes de la aceleración pico de las edificaciones, a su vez como en la forma de los espectros de respuesta de los mismos.

Los factores que inciden dentro de un diseño sísmico de las edificaciones, son la duración, la frecuencia y la aceleración máxima esperada en roca de los sismos característicos que incidirían en el sitio de estudio para lo cual se quiere lograr caracterizar las zonas sismogénicas activas cercanas al sitio de interés ya que con la identificación nos permitirá conocer los ambientes tectónicos dominantes cercanos y así simular los sismos característicos influyentes a la zona y prediciendo su incidencia.

#### **1.4. Formulación del problema**

Ante la acción de cargas sísmicas en suelos arcillosos, existe la posibilidad de presentarse efectos de efectos de sitio dinámicos en las edificaciones construidas sobre dichos suelos ¿cómo puede optimizarse y mejorarse el diseño de los nuevos proyectos a construirse teniendo conocimiento sobre las propiedades dinámicas de los suelos y su incidencia en el efecto de respuesta?

#### **1.5. Justificación e importancia**

Ecuador es un país sísmicamente activo, cuyos principales terremotos se originan en la zona de subducción, debido a la interacción entre la placa Nazca y Sudamericana, descrita anteriormente. Adicionalmente, en la corteza terrestre también se generan movimientos del terreno, que pueden ser conocidos como sismos corticales. Existe una variación entre la sismicidad que pueden generar las diferentes fallas, lo cual hace que ciertas regiones sean sísmicamente más activas que otras (García et al. 2010).

En las últimas décadas han existido eventos sísmicos de considerable magnitud, los cuales han producido daños en ciertas zonas del país, el ejemplo más reciente es el sismo del 16 de abril de 2016. Como consecuencia de este evento, gran parte de la costa norte del Ecuador sufrió ingentes daños.

La NEC-15, está conformada por un conjunto de especificaciones prescriptivas que regulan el proceso y diseño sismo-resistente de edificios. Esta norma permite y recomienda que las condiciones de apoyo de la superestructura se evalúen mediante un análisis de interacción suelo-estructura.

No obstante, no define un método específico para el modelamiento de los efectos de interacción suelo-estructura, ni regula la interacción cinemática del suelo hacia la cimentación de la estructura frente a la influencia de cargas sísmicas.

La interacción dinámica suelo-estructura es un fenómeno que modifica la respuesta natural de un sistema estructural debido que el suelo de alguna manera altera no sólo las condiciones de apoyo que se pueden suponer inicialmente fijas, sino también la flexibilidad y el amortiguamiento total del sistema. Debido a que el suelo no produce ni empotramiento perfecto ni libertad total en la cimentación, el problema básicamente consiste en determinar cómo se ven afectadas las propiedades dinámicas del sistema analizado. El mecanismo de interacción dinámica entre la estructura, la cimentación y el suelo, comprenden dos fenómenos físicos, estos son la interacción cinemática y la interacción inercial, generados simultáneamente (Phillips, 2013).

Mediante los resultados obtenidos se podrá realizar un análisis de la influencia de los suelos arcillosos blandos en las cimentaciones profundas del sitio de estudio, a efectos de tener la capacidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica las diferentes estructuras del casco comercial y establecer un modelo de consideraciones para el desarrollo de futuro proyectos urbanísticos que se asienten en este suelo de determinadas propiedades geotécnicas.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

- ✓ Ejecutar el análisis de respuesta de sitio de los suelos blandos arcillosos en cimentaciones profundas (pilotes) y su comportamiento frente a la acción de cargas sísmicas, mediante una simulación computacional en 1D y 2D de elementos finitos a través del software DEEPSOIL Y QUAD4M respectivamente.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- ✓ Identificar las características geológicas, topográficas, geofísicas y geotécnicas del subsuelo del sitio mediante la creación de un perfil estratigráfico del suelo.
- ✓ Realizar los análisis cuantitativos de peligro sísmico correspondientes mediante el análisis de respuesta de sitio considerando para el suelo un modelo de comportamiento equivalente lineal (EQL) y no lineal (NL) de acuerdo a la NEC-15.
- ✓ Presentar los pseudo-espectros de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento estimados correspondientes a la respuesta dinámica de la superficie del terreno bajo la acción de un sismo con un periodo de retorno equivalente a 1000 años (475 años considerando un factor de importancia igual a 1.3) para un valor de porcentaje de amortiguamiento crítico correspondiente al 5%.
- ✓ Presentar las envolventes de diseño finales de aceleración y desplazamiento definidas para el estudio.
- ✓ Presentar el perfil de valores máximos de LDI (m) definidos para el sitio de estudio.

### **1.7. Alcance**

La exploración del subsuelo del sitio a cargo de la empresa GEOESTUDIOS para el proyecto “Aerovía de Guayaquil: peligro sísmico”, bajo contrato de SOFRATESA, consistió de sondeos mediante el ensayo de piezocono (CPTu), perforaciones implementando la metodología de penetración estándar (SPT), ensayos de medición de velocidad de onda de corte (MASW + MAM), y exploración geológica en sitios de interés.

A partir de los datos obtenidos en base a la exploración del subsuelo del sitio, estudios de laboratorio y la respectiva selección y escalamiento de los sismos de entrada compatibles con las características del sitio, se procedió a modelar el análisis de respuesta sísmica del mismo aplicando el método equivalente lineal (EQL) y no lineal (NL).

Para tal fin se identificaron las características geológicas, sismológicas, topográficas, geofísicas y geotécnicas del subsuelo del sitio para así poder determinar los registros de aceleración, velocidad, desplazamiento vs. tiempo, así como los espectros de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento correspondientes a la respuesta dinámica de la superficie del terreno bajo la acción de un sismo con un periodo de retorno equivalente a 1000 años para un valor de porcentaje de amortiguamiento crítico correspondiente al 5%, como lo señala la Norma NEC-15 para este tipo de estructuras.

### **1.8. Área de estudio**

La zona objeto de este estudio es en la avenida Quito, en el centro de la ciudad de Guayaquil ilustrada en la Figura 2. En términos de circulación vehicular, la avenida Quito es la arteria vial más importante de Guayaquil, pues ésta conecta hacia el sur con el Puerto Marítimo, y al norte, con el aeropuerto José Joaquín de Olmedo y con el Terminal Terrestre. Tiene ocho carriles de ancho y 4 km de largo aproximadamente. Nace en la intersección de la calle Julián Coronel y termina en la calle El Oro. El suelo de la zona a estudiarse está categorizada como D1 y D3a y D3b, esto es, depósitos estuarinos-deltaicos.

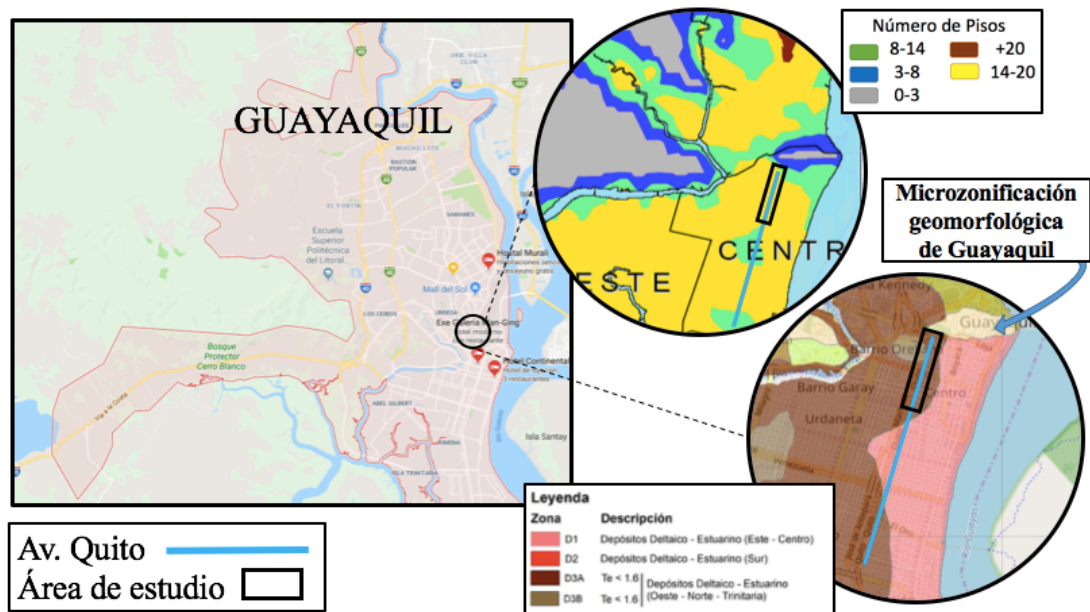


Figura 2. Ubicación geográfica de Av. Quito, Guayaquil con su respectiva zonificación geotécnica y la estimación catastral de los edificios con su número de pisos, gráfico adaptado de la microzonificación de Guayaquil.

La zona céntrica de la ciudad y en consecuencia el casco comercial sería la zona más vulnerable durante un evento sísmico, y las razones fundamentales para ello, es debido a que en mencionada zona se concentra la mayor cantidad de construcciones vetustas o de diseño obsoleto. En un eventual terremoto de 7 grados en la escala Richter, el proyecto RADIUS en su estudio concluyó que ésta es la zona más susceptible de la ciudad y determinó que el 15% de los edificios y el 10% de los puentes colapsarían o serían afectados (Villacrés & Argudo, 2000).

La Avenida Quito de la ciudad, ha sido dividida en 6 sectores urbanísticos estipulados por la M.I. Municipalidad de Guayaquil, que corresponde a una totalidad de 795 edificaciones asentadas en la zona, dentro de la cual para el estudio se tomará como muestra dos sectores, el 09 y el 11, correspondientes a la sección que va desde la calle Julián Coronel hasta la Avenida 9 de Octubre como se puede observar en la Figura 3. La zona a estudiar posee de 185 edificios de los cuales 65 que equivale al 40% consta con cimentaciones profundas en sus estructuras.

El principal objetivo de un estudio de peligro sísmico, es el de caracterizar de la manera más precisa, los niveles de movimiento del terreno que deberá soportar una determinada estructura. Se busca que el nivel de demanda sísmica se encuentre asociado a un nivel de desempeño de la estructura determinado previamente, de manera que se puedan controlar los daños que ocasionaría el evento sísmico.

El reto se encuentra en conocer la caracterización geotécnica del sitio de estudio sintetizándola mediante un perfil estratigráfico del suelo, mediante perforaciones y análisis de laboratorio de las muestras, para tener un entendimiento de las propiedades geotécnicas de cada uno de los estratos que lo constituyen y a su vez del comportamiento de los mismos, propiedades del suelo tales como la aceleración máxima (PGA), peso unitario ( $\gamma$ ), módulo de Young (E), coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), cohesión (c), ángulo de fricción ( $\phi$ ), y la amortiguación del mismo ( $\xi$ ) (Briaud J. L., 2014).

El sitio de estudio esta asentado sobre arcillas blandas de baja rigidez, el estrato resistente del suelo se encuentra a gran profundidad y las edificaciones son de mediana-alta elevación, por lo que se ha requerido un diseño de pilotes de gran altura, de tal medida que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo.

Se realizó un catastro de las edificaciones asentadas en el sitio de estudio donde de un total de 187 edificaciones asentadas, el 35% de estas poseen cimentaciones profundas (pilotes), lo cual implica en el estado de estar propenso a la interacción cinemática inducidos por el tipo de suelo del sitio. La finalidad del mismo se consolida a realizar un análisis de respuesta del sitio para conocer el rango de posibles desplazamientos de la cimentación incitados por las cargas sísmicas a través del perfil estratigráfico del suelo.



Figura 3. Distribución urbanística de los 6 sectores de la Avenida Quito, Guayaquil (M.I. Municipalidad de Guayaquil, 2018)



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Amenaza Sísmica**

El Golfo de Guayaquil localizado en el segmento Sur del margen continental del Ecuador, presenta un margen de tipo acrecionario y se produce el mayor aporte de sedimentos por el Cañón de Guayaquil. Jaillard et. al (2005) mencionan que este se encuentra ubicado al Este de la Fractura de Grijalva, dicha fractura es la causa de la división de la placa Nazca, limitando la corteza de Nazca con edades menores a 25 millones de años de la vieja corteza Farallón de edades mayores a 25 millones de años. La Fractura de Grijalva probablemente se extiende debajo de la Placa Sudamericana.

Collot et. al (2010) divide en 2 partes al Golfo de Guayaquil:

- ✓ Golfo Externo, que corresponde a la zona limitada por Punta Arena al norte y la Bahía de Tumbes al sur llamándolo “golfo sensu-lato”, que comprende la zona levantada del Golfo de Guayaquil.
- ✓ Golfo interno o “golfo sensu-estricto”, que comprende la zona de costa baja de manglar.

#### **2.1.1. Vulnerabilidad sísmica-geotécnica de la ciudad de Guayaquil**

Guayaquil, nombre oficial Santiago de Guayaquil, es la zona urbana más grande de Ecuador con una población que supera los 2,3 millones de habitantes con el puerto principal del país (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010). Como centro del comercio internacional y el comercio interno de Ecuador, es económicamente la ciudad más importante del país. Existen refinerías de azúcar, fundiciones de hierro, talleres mecánicos, curtiembres y aserraderos, así como fábricas y plantas de procesamiento para una variedad de bienes de consumo liviano.

La ciudad está ubicada en la zona estuarina-deltaica del bajo río Guayas como se puede observar en la Figura 4 y la estratigrafía del suelo está constituida en sedimentos profundos y blandos sobre rocas duras del período Cretácico. Estos sedimentos del Holoceno son muy suaves, débiles y altamente compresibles (Vera, Bray, & Pestana, 2006).

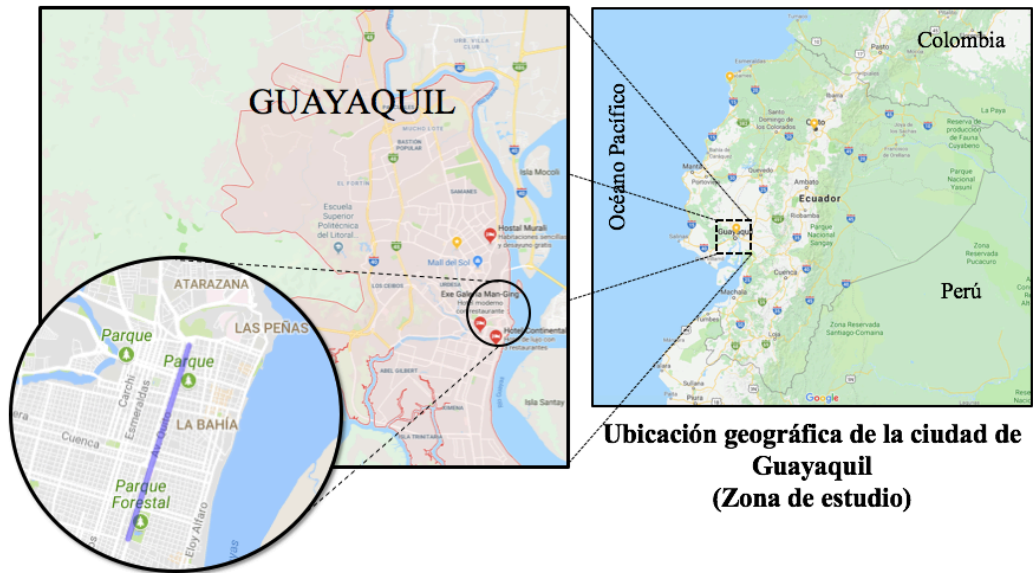
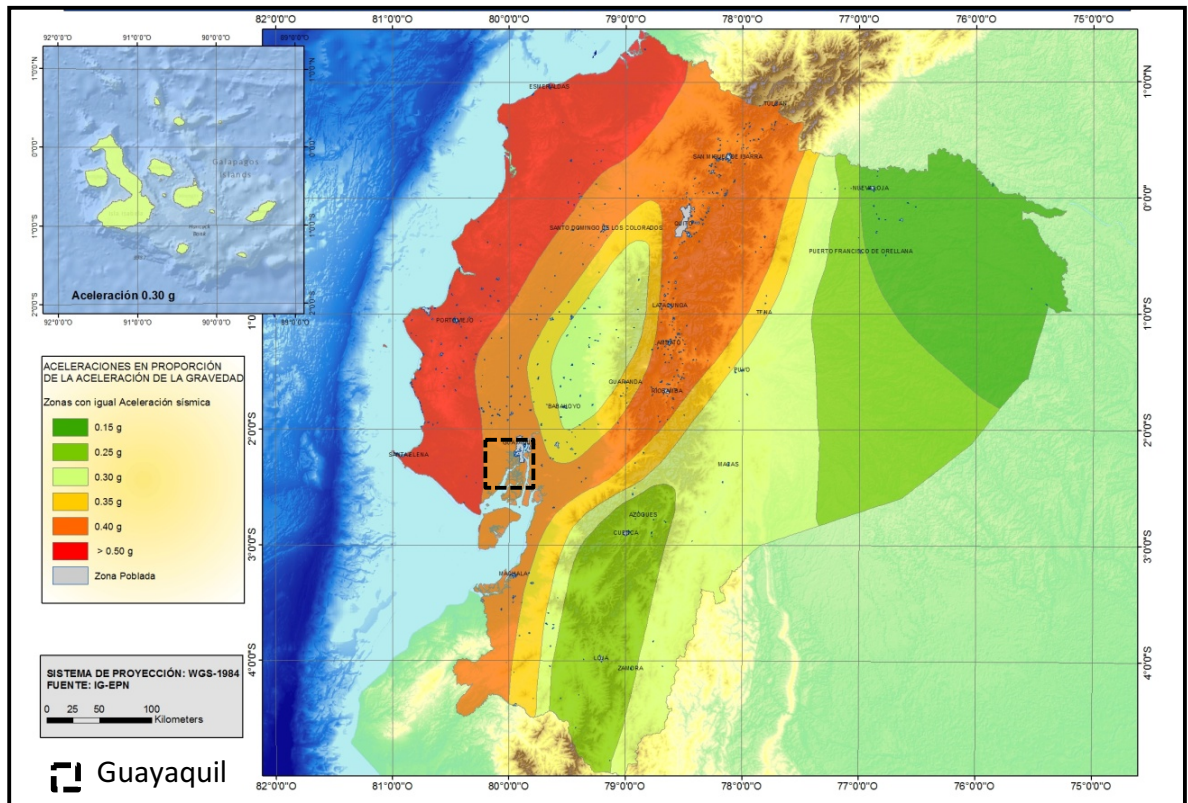


Figura 4. Ubicación geográfica de la ciudad de Guayaquil, Avenida Quito.

Guayaquil de acuerdo a su ubicación se encuentra en una zona altamente sísmica, tipo V donde el  $Z > 0.4g$ , este factor corresponde a la zona sísmica, la cual constituye a la aceleración máxima en roca esperada para un sismo de diseño, el cual corresponde a un sismo de 475 años; es expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, como lo muestra la Figura 5.

El último terremoto más importante que afectó a la ciudad ocurrió el 16 de abril de 2016 con una magnitud de 7.8 con epicentro en el cantón Pedernales, con una distancia de aproximadamente 250 km al noroeste de la ciudad y causó daños significativos en la área de Guayaquil (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2016).



Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.50$
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Figura 5. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador, donde se puede observar las 5 zonas diferenciadas por colores, en la cual clasificamos a Guayaquil, sitio de estudio, dentro de la zona sísmica V por el NEC-2015.

El área total de Guayaquil es de 344.5 km<sup>2</sup>, con un área de tierra de 316.42 km<sup>2</sup> y un área de agua de 28.08 km<sup>2</sup>. Guayaquil está ubicado en el margen izquierdo del río Guayas a lo largo de la costa del Pacífico sudamericano (IGPN, 2016).

Como en la mayoría de las ciudades ubicadas al borde de un río navegable, los suelos subyacentes de Guayaquil han sido depositados bajo el agua, por lo tanto son débiles

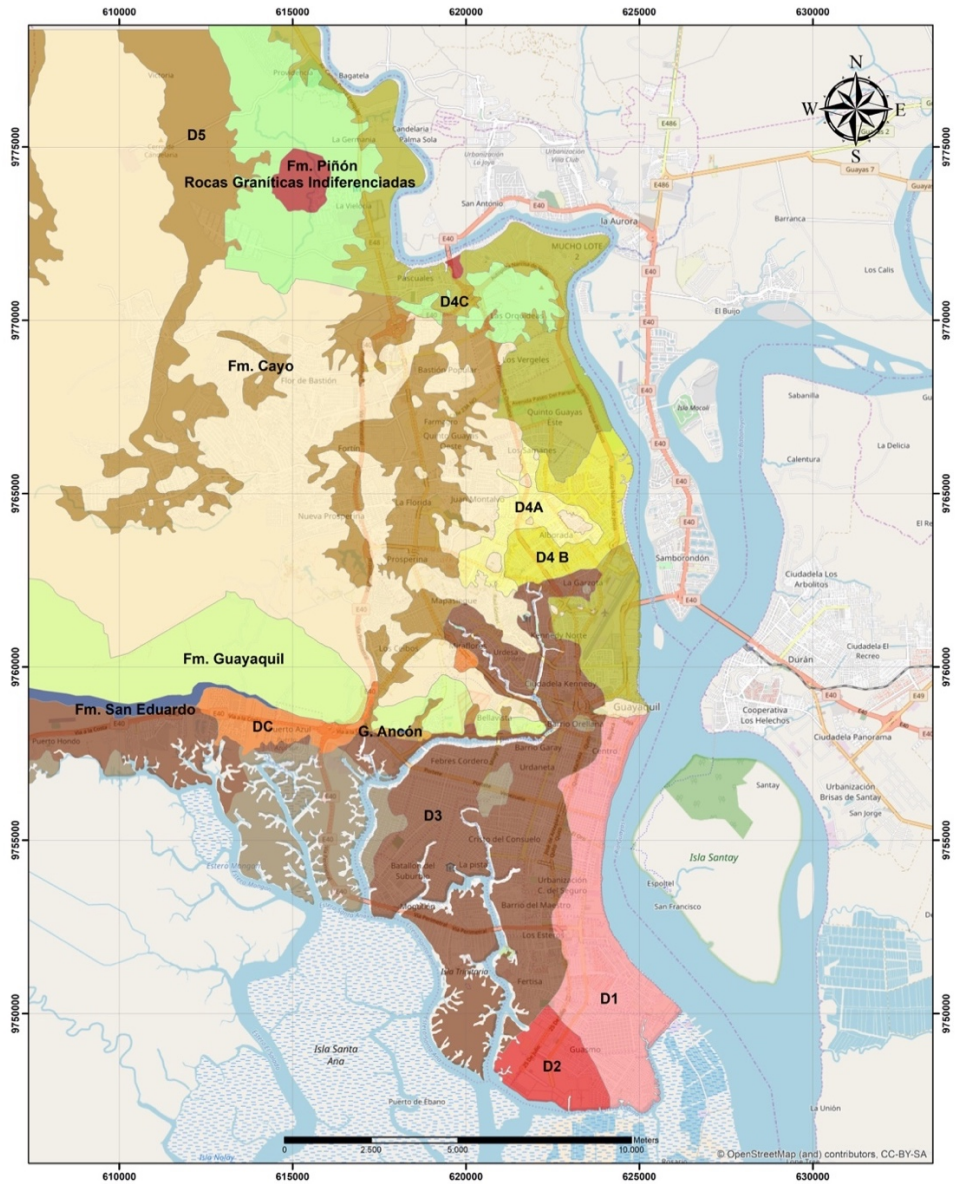
y comprimibles, como podemos ver en la Figura 6, en el año 2014 se realizó la microzonificación geotécnica de la ciudad con el aval de la M.I. Municipalidad de Guayaquil, (Vera Grunauer, 2014).

En la zonificación geotécnica de Guayaquil se ha identificado diferencias significativas entre los suelos sedimentados, probablemente porque las partículas en suspensión se expusieron a diferentes regímenes de agua que incluyen agua marina, salobre o dulce, modificando así los suelos depositados con sus propiedades geotécnicas. Los suelos estuarinos consisten principalmente en arcillas limosas de color gris verdoso con laminados de arena limosa, y raramente, bancos de arena con detritus de conchas (Das, Sivakugan, & Ameratunga, 2016).

El sector estuarino-deltaico se divide en 3 zonas: zona geotécnica D1, que corresponde a los depósitos estuarino-deltaicos que aparecen en la zona central y sureste de la ciudad de Guayaquil, la zona geotécnica D2, que corresponde a la zona sur de la ciudad; la zona geotécnica D3, que corresponde al noreste y zonas sudeste de la ciudad. Por otra parte la zona D3 fue subdividido en D3a y D3b.

La zona D3a corresponde a depósitos con períodos elásticos menores que 1.6 segundos y la zona D3b corresponde a depósitos profundos con períodos elásticos superiores a 1.6 segundos. Una de las zonas más importantes es D2, en que se observó menos espesor de depósito de arcilla con respecto a las zonas D1 y D3 (Vera Grunauer, 2014).

Los estuarios y los deltas son difíciles de definir, en parte porque a menudo resultan como componentes de una característica compuesta, que consiste en la asociación de un sedimento sub-aéreo y sub-acuoso, llamado delta; asociado con una estructura submarina semi-cerrada llena de agua salada, llamada estuario (Briaud J. L., 2014).



**Legenda**

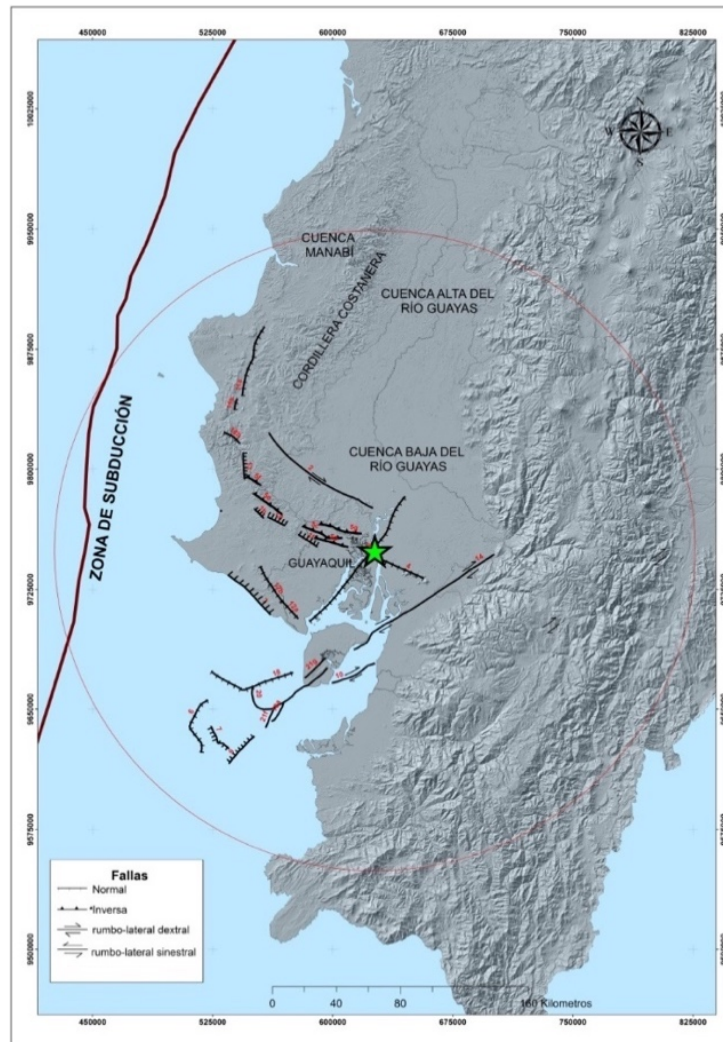
Zona	Descripción	D7 Formación Rocosa	
D1	Depósitos Deltaico - Estuarino (Este - Centro)	G. Ancón	
D2	Depósitos Deltaico - Estuarino (Sur)	Fm. San Eduardo	
D3A	Te < 1,6 } Depósitos Deltaico - Estuarino (Oeste - Norte - Trinitaria)	Fm. Guayaquil	G. Azúcar
D3B		Fm. Cayo	
D4A	H < 10 m	Rocas Graníticas Indiferenciadas	
D4 B	10 m < H < 20 m	Fm. Piñón	
D4C	H > 20 m		
D5	Depósitos Aluvio - Lacustres		
D6	Depósitos Coluviales		

Figura 6. Microzonificación geotécnica de la ciudad de Guayaquil tomado del informe emitido por Vera Grunauer (2014)

La mayoría de los terremotos ocurren cuando dos segmentos de la corteza terrestre se mueven repentinamente una en relación con la otra. La superficie a lo largo de la cual se produce el movimiento se conoce como una falla tectónica. El movimiento repentino libera energía de tensión y hace que las ondas sísmicas se propaguen a través de la corteza que rodea la falla.

Estas ondas hacen que la superficie del suelo se sacuda violentamente, y es esta sacudida del suelo la principal preocupación de la ingeniería estructural para resistir los terremotos. Los terremotos tienen muchos efectos, además del temblor de tierra. Por diversas razones, los otros efectos generalmente no son consideraciones importantes en el diseño de edificios y estructuras similares (NEHRP, 2016).

En la Figura 7 se ilustra el mapa que corresponde a las 21 fallas geológicas activas y capaces de generar sismos en Guayaquil. Las estructuras sismogénicas capaces de generar sismos son: (1) la convergencia de las placas de Nazca y la Sudamericana, (2) el desplazamiento del bloque Norandino sobre la placa Sudamericana, a través de la falla lateral dextral Guayaquil – Caracas, (3) la actividad de sistemas de fallas geológicas en la corteza continental, dependiendo de su ambiente tectónico, y (4) en menor intensidad sísmica, la actividad volcánica.



*Figura 7.* Mapa de fallas geológicas activas y capaces de la ciudad de Guayaquil, obtenido del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2016)

Grandes áreas de la ciudad se han desarrollado al colocar relleno sobre estos depósitos estuarinos deltaicos y nuevos edificios han sido construidos sobre ellos. Los primeros asentamientos de la ciudad se establecieron en las colinas, mientras que las tierras bajas eran en su mayoría manglares y humedales. Como la ciudad creció, nuevas porciones de tierras bajas fueron gradualmente dragadas. Hasta el siglo pasado, algunas pequeñas ramificaciones del estuario existían en lo que ahora son partes construidas y urbanizadas de la ciudad.

La Figura 8 muestra los cambios en la ciudad de Guayaquil de 1946 a 2018 como lo demuestran las fotografías aéreas e imágenes satelitales. Se muestra una gran parte del sur y oeste de la ciudad donde existían esteros y salitrales que luego fueron rellenados por la necesidad, generado por el crecimiento económico de la ciudad, de una ampliación urbana. Un gran porcentaje de estos sectores tienen subsuelos que están conformados por depósitos estuarinos que subyacen a un relleno artificial que provienen de las canteras cercanas a la ciudad de Guayaquil., el área enmarcada con un círculo rojo representa una superficie semejante de la ciudad (Vera, Bray, & Pestana, 2006).

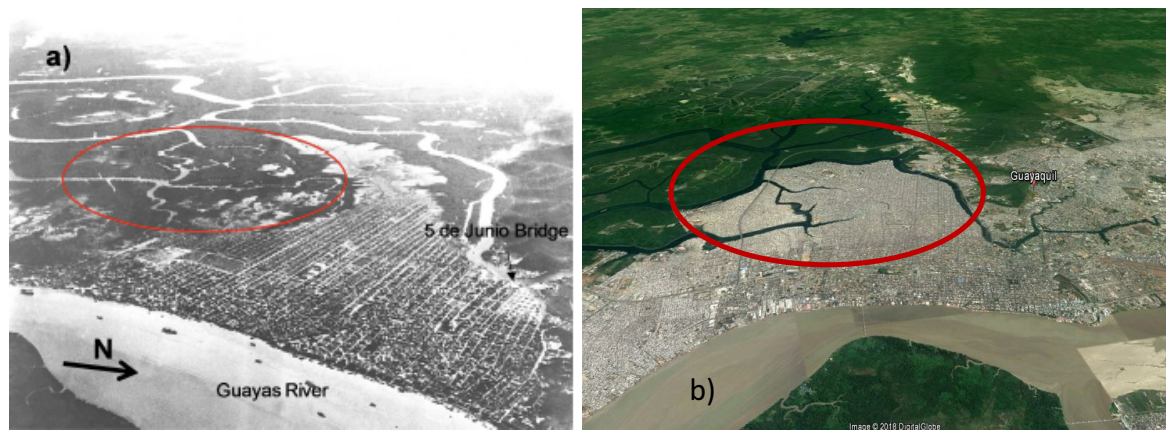


Figura 8. *Vistas de la ciudad de Guayaquil: (a) fotografía aérea en 1946, (b) imagen satelital 2018. El área rodeada por la elipse es de similar área en ambas imágenes (2018)*

Las dificultades para construir en depósitos de suelo blando son comunes en muchas partes del mundo, ya que muchas ciudades congestionadas se expanden cerca de los frentes de agua. Para nuestra ciudad, considerando la presencia de estos depósitos profundos compresibles, en el centro y sur de Guayaquil, de bajo módulo de rigidez al cortante y bajo amortiguamiento histerético, los sismos de frecuencias vibratorias bajas provenientes de la zona de subducción en las costas de Esmeraldas, generarían mayores amplificaciones sísmicas al llegar las ondas a los depósitos deltaicos estuarinos, siendo éstos los que



predominan en el peligro sísmico de Guayaquil, centro y sur de la ciudad, predominantemente.

Uno de los aspectos más relevantes de la dinámica estructural, considerando el estado actual de la práctica, es la demanda espectral para el rango de interés donde la estructura participará durante su vida útil de diseño. En este aspecto, si consideramos que la resonancia se desarrollará cuando el periodo de vibración del suelo coincida con el periodo fundamental de la estructura, tendremos como resultado, la mayor demanda espectral elástica en la estructura de interés.

En la Figura 9 se presenta el mapa de la ciudad de Guayaquil, con la estimación de los números de pisos de las edificaciones que tendrían la mayor demanda espectral  $(S_a/PGA)_{\text{máx}}$  para el sismo frecuente y/o ocasional. Es importante indicar, que este análisis es cualitativo que podría servir para un estudio complementario de vulnerabilidad sísmica. Sin embargo, la respuesta estructural es más compleja, la cual depende de muchas variables, entre ellas, la interacción entre el suelo-estructura y la demanda sísmica.

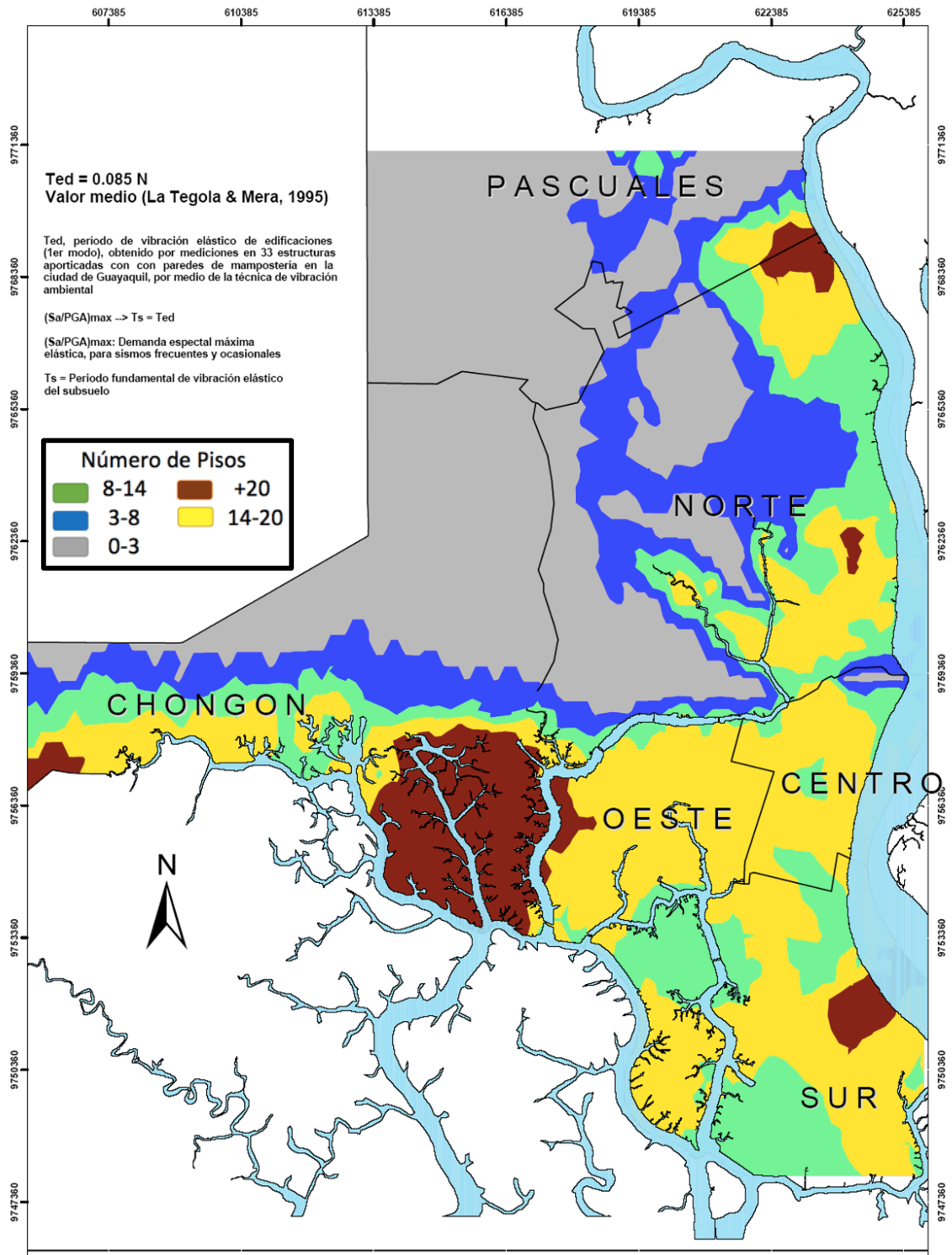


Figura 9. Mapa de la ciudad de Guayaquil mostrando la estimación de las zonas de mayor demanda espectral (Sa/PGA)max en el rango elástico, en función de los números de pisos de la edificación (Vera Grunauer, et al. 2015).

### **2.1.2. Estructuras geológicas del golfo de Guayaquil**

El modelo estructural del Golfo marino de Guayaquil de Witt y Bourgois (2009), muestra que esta zona es afectada por dos sistemas de fallas. El Sistema de fallas Normales Domito (SFD) y el Banco Perú (BC) con dirección Banco Perú, que se encuentra paralelo a la fosa.

Con la revisión de trabajos anteriores y de los datos existentes se identificaron en la zona de estudio las fallas activas potenciales o capaces de producir grandes terremotos con efectos desastrosos. Incluyen todas las fallas activas desde el Pleistoceno Superior-Cuaternario.

Se han identificado 21 fallas geológicas activas y capaces de generar sismos. Estas fallas han sido caracterizadas en 44 segmentos de fallas. Las fallas estructuralmente segmentadas son descritas a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de las fallas activas de Guayaquil.

	Caracterización de Fallas Activas	Tipo	Long. (Km)	Salto Falla (mt)	Prof. (Km)	Rumb	Buz.	Dist. (Km)	Tasa desplaz. (mm/año)			Mw característica
									min.	med.	máx.	
1a	Falla Carrizal	normal	3	0.42	20	NW	45N	79	0.1	0.2	0.3	5.67
1b	Falla Carrizal	normal	6	0.55	21	NW	45N	79	0.1	0.2	0.3	5.96
1c	Falla Carrizal	normal	6	0.56	21	NW	45N	71	0.1	0.2	0.3	6
1d	Falla Carrizal	normal	9	0.65	10	NW	45N	58	0.1	0.2	0.3	6.16
1e	Falla Carrizal	normal	2	0.36	21	NW	45N	48	0.1	0.2	0.3	5.49
1	Falla Carrizal	normal	13	0.79	21	N40W	45N	36	0.1	0.2	0.3	6.38
2	Falla Carrizal	dextral	83	1.78	12	N45W	90	26	0.3	0.4	0.5	7.31
3	Falla Chanduy	normal	36	1.24	24	N45E	N	76	0.1	0.1	0.2	6.89
4	Falla Churute	normal	33	1.19	12	N50W	S	6	0.1	0.1	0.2	6.85
5a	Falla Colonche	Inversa	6	0.56	25	N120E	N	21	0.3	0.4	0.5	5.98
5b	Falla Colonche	Inversa	18	0.89	20	N120E	N	38	0.3	0.4	0.5	6.56
5c	Falla Colonche	Inversa	28	1.1	21	N120E	N	36	0.3	0.4	0.5	6.32
5d	Falla Colonche	Inversa	6	0.55	12	N120E	N	69	0.3	0.4	0.5	6.81
5e	Falla Colonche	Inversa	19	0.92	12	N120E	N	75	0.3	0.4	0.5	6.56
5f	Falla Colonche	Inversa	12	0.75	16	N120E	N	81	0.3	0.4	0.5	6.32
5g	Falla Colonche	Inversa	31	1.15	21	N120E	N	13	0.3	0.4	0.5	6.81
6	Falla Domito	normal	39	1.28	16	N10E	E	140	1	4	7	6.93
7	Falla Esperanza	normal	21	0.97	20	N40W	N	150	1	4	7	6.61
8	Falla Estero Salado	normal	99	1.92	12	NNE	80S	1.2	0.3	0.4	0.5	7.39
9	F. Golfo de Guayaquil	normal	24	1.04	26	N30E	N	138	1	4	7	6.69
10	Falla Jambelí	dextral	30	1.13	12	N50E	90	70	0.1	0.1	0.1	6.79
11a	Falla Jipijapa	normal	46	1.37	12	N10E	40E	126	0.6	0.8	1	7.01
11b	Falla Jipijapa	normal	10	0.68	10	N20E	40E	123	0.6	0.8	1	6.22
12a	Falla La Cruz	normal	16	0.87	16	N40W	45S	64	0.1	0.2	0.3	6.49
12b	Falla La Cruz	normal	27	1.08	10	N40W	45S	76	0.1	0.2	0.3	6.74
12c	Falla La Cruz	normal	18	0.9	10	N40W	45S	60	0.1	0.2	0.3	6.52
12d	Falla La Cruz	normal	3	0.44	10	N40W	45S	67	0.1	0.2	0.3	5.71
13	Falla Las Delicias	normal	17	0.89	26	N10E	40E	96	0.6	0.8	1	6.51
14	Falla Pallatanga	dextral	57	1.51	12	NNE	90	53	3	5	7	7.12
15	Falla Posorja	normal	59	1.54	17	N50E	S	59	1	4	7	7.14
16	Falla Puná	dextral	50	1.42	10	NE	90	43	3	5	7	7.05
17	Falla Punta Salinas	dextral	17	0.88	18	N40E	90	99	0.1	0.1	0.1	6.5
18a	Falla San Jacinto	normal	9	0.66	33	N60W	S	92	0.1	0.1	0.1	6.18
18b	Falla San Jacinto	normal	2	0.37	10	N20W	s	107	0.1	0.1	0.1	5.52
18c	Falla San Jacinto	normal	2	0.37	10	N20W	s	127	0.1	0.1	0.1	5.53
19a	Falla Santa Clara	dextral	23	1.01	18	NE	90	115	3	5	7	6.66
19b	Falla Santa Clara	dextral	18	0.9	18	NE	90	115	3	5	7	6.53
20	Falla Tenguel	normal	20	0.95	12	N30W	N	121	1	4	7	6.59
21a	F. Zambapala-Lechuza	dextral	9	0.68	25	NE	90	101	3	5	7	6.21
21b	F. Zambapala-Lechuza	dextral	11	0.72	25	NE	90	101	3	5	7	6.28
21c	F. Zambapala-Lechuza	dextral	2	0.35	25	NE	90	98	3	5	7	5.47
21d	F. Zambapala-Lechuza	dextral	5	0.51	25	NE	90	90	3	5	7	5.87
21e	F. Zambapala-Lechuza	dextral	9	0.68	25	NE	90	86	3	5	7	6.21
21f	F. Zambapala-Lechuza	dextral	21	0.96	12	NE	90	79	3	5	7	6.61

Nota: Dentro de las 21 fallas activas podemos encontrar que muchas de ellas se presentan de carácter tipo dextral, inversa y normal, demarcando la zona de estudio en un radio de 200 km (Insituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2016).

## **2.2. Campaña de exploración geofísica – geotécnica**

Santoyo (2010) referencia a la caracterización geotécnica de una localidad, con la cual se podría obtener dos componentes específicos:

- Estimar la estratigrafía del subsuelo y su contenido de agua
- Estimar las propiedades ingenieriles más relevantes del subsuelo

En primera instancia se identifica el orden espacial de los principales tipos de suelos presentes (unidades estratigráficas), sus condiciones físicas y la variación del nivel del agua subterránea. El segundo cuantifica las propiedades de los suelos con fines de diseño para la cimentación.

Las pruebas de laboratorio en muestras de suelo pueden incluir pruebas de clasificación de SUCS, tales como: contenido de agua natural, límites de Atterberg y pruebas de grano para granos gruesos y finos. Algunas pruebas comunes se describen brevemente a continuación, con el objetivo de sacar a la luz posibles errores en la práctica actual y promover un mejoramiento en las prácticas. Algunas pruebas adicionales y económicas que pueden mejorar la comprensión de los suelos de Guayaquil también se introducen aquí (Fredlund & Rahardjo, 2012).

En el sitio de estudio de acuerdo con el mapa de zonificación geotécnica del documento de Microzonificación Sísmica de Guayaquil elaborado por Vera Gruanuer (2015). El área del proyecto se encuentra ubicada en las zonas geotécnicas D3, la cual corresponde a los depósitos deltaicos estuarinos en las zonas noreste y sureste de la ciudad.

Las estaciones a estudiar se encuentran distribuidas de la siguiente manera para englobar los dos sectores de estudio: Estación Parque Centenario “E1” (Av. Quito y 9 de Octubre); estación Plaza Julián Coronel “E2” (Redondel Estrella de Octubre, Av. Quito y Julián Coronel). Estas estaciones fueron establecidas para constatar la ubicación de los dos sectores de estudio, las estaciones se ilustran en la Figura 10.

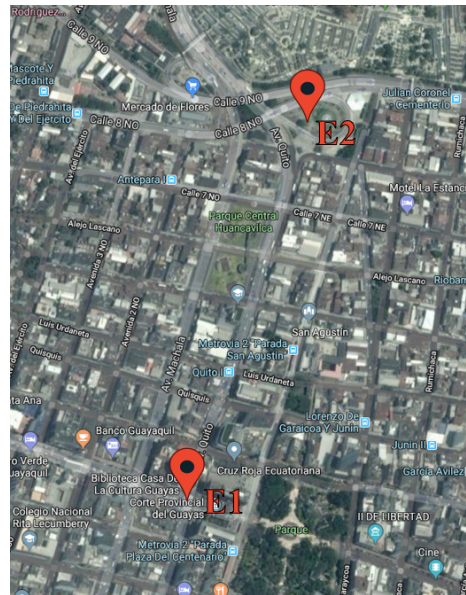


Figura 10. *Visualización satelital de la ubicación de las dos estaciones para el sitio de estudio tomada de Google Maps (2018)*

Como parte de la campaña de exploración geotécnica para el proyecto se han realizado ensayos de tipo mecánico y geofísico. Los ensayos mecánicos consistieron en 2 perforaciones (SPT) ejecutadas con metodología de roto-percusión y 5 ensayos de penetración de punta de cono (CPTu). Además, se realizaron 3 ensayos geofísicos denominados MASW+MAM y 3 ensayos para estimar el periodo elástico del suelo mediante el método de Nakamura. En la Tabla 3 se resume los ensayos considerados para la caracterización geotécnica de cada estación.

Tabla 3. Estaciones y ensayos correspondientes

ESTACIONES	SONDEO, CPTu Y MASW_MAM
E1	GEO-01
	CPTu-01
	CPTu-05
	MASW_MAM_1
E2	GEO-02
	CPTu-02
	CPTu-08
	CPTu-09
	MASW_MAM_2_1
	MASW_MAM_2_2

### 2.2.1. Técnicas de exploración directa – geotécnica

#### 2.2.1.1. Perforaciones roto-percusión

Con el fin de obtener parámetros geotécnicos para la evaluación de los estados límite de falla y servicio se realizaron perforaciones con metodología de roto-percusión. Las coordenadas y profundidades alcanzadas de las perforaciones realizadas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Ubicación, cotas y profundidad de los sondeos realizados para las estaciones del proyecto

ELEMENTO ESTRUCTURAL	SONDEO	COTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	N.F. (m)	COORDENADAS	
					NORTE (m)	ESTE (m)
E1	GEO-1	3.89	32.85	4.00	9757998	623531
E2	GEO-2	4.58	24.00	2.50	9758571	623718

Las muestras fueron tomadas a diferentes profundidades para cada sondeo. Se da por finalizada la perforación con metodología a percusión cuando se presenta uno de los siguientes casos:

- Cuando se alcanza la profundidad proyectada para el sondeo.
- En el caso de obtener 50 golpes en los primeros 15 cm de penetración de la cuchara,
- Cuando se presentan 100 golpes en los últimos 30 cm de penetración de la cuchara, entendiéndose esto como rechazo.

Las muestras de cada sondeo fueron obtenidas para caracterizar las condiciones del subsuelo y consecuentemente realizar los ensayos en el laboratorio. Luego de que el muestreador es retirado del sondeo, las muestras son observadas, registradas, etiquetadas, selladas en frascos herméticos y protegidos con fundas plásticas para su posterior análisis en el laboratorio.

Se realizó una clasificación visual preliminar de suelos en el campo, de acuerdo con la norma ASTM D2487 (Sistema de Clasificación de Suelos Unificada). La clasificación de las muestras de suelo es verificada posteriormente por una inspección en el laboratorio en base a los resultados obtenidos de los ensayos.

En el Apéndice A-1 se presenta el registro final de perforaciones, desarrollado a partir de los resultados de laboratorio, mostrando así los datos de campo y laboratorio en un solo archivo, para su posterior análisis y obtención de parámetros de diseño.





Figura 11. *Equipo empleado para los sondeos SPT.*

#### 2.2.1.2. *Ensayos de Penetración con Piezocono (CPTu)*

Las pruebas de CPTu fueron ejecutadas en cumplimiento con la norma ASTM D5778 (2012). El cono avanza a una velocidad de 2.0cm/s registrando de manera digital y continuamente cada 10mm tres lecturas independientes como la resistencia de la punta de cono ( $q_c$ ), la fricción lateral ( $f_s$ ) y la presión intersticial dinámica ( $u^2$ ). Durante el CPTu, se estima el nivel freático al detener el avance de la punta de cono en un estrato arenoso permitiendo que el cono haga de piezómetro y así calcular la presión hidrostática.

Posteriormente, se pueden interpretar los datos recolectados para estimar propiedades, realizar análisis de licuación, obtener perfil de capacidad de pilote ( $Q$ ) vs profundidad ( $z$ ), estimar capacidad portante de cimentaciones superficiales ( $q_{ult}$ ), calcular permeabilidad de suelos ( $Kh$ ), o realizar control de calidad en un tratamiento de mejora de terreno. El cono utilizado en estos ensayos fue el cono Vertek's HT Series.

Para todos los ensayos CPTu se utilizó un penetrómetro de compresión electrónico con punta de cono. Este tiene 10 cm<sup>2</sup> y 150 cm<sup>2</sup> de área de punta y de fricción, respectivamente, mientras que está diseñado con una razón de área de punta  $a_n = 0.58$ .

Las coordenadas y profundidades alcanzadas de los ensayos CPTu realizados se muestran en la Tabla 5.

*Tabla 5. Ubicación, cotas y profundidad de los ensayos CPTu realizados para las estaciones del proyecto*

Ensayo		Coordenadas		Profundidad (m)
		Este (m)	Norte (m)	
E1	CPTu_1	623538	9758002	32.818
E2	CPTu_2	623718	9758571	11.211

### **2.2.2. Técnicas de exploración indirecta - geofísica.**

La investigación del subsuelo con relación a la medición de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) es necesaria a nivel geotécnico, ya que por medio del conocimiento de la velocidad de propagación de referida onda se pueden calcular parámetros asociados a la rigidez del suelo y a su comportamiento mecánico dentro de los límites de elasticidad, lo que permite a su vez realizar un mejor diseño para las construcciones civiles.

La profundidad de prospección de  $V_s$ , a partir de la adquisición de ondas superficiales, estará directamente ligada al origen de excitación sísmica que está recibiendo el subsuelo, de modo que las vibraciones naturales permiten prospectar a mayor profundidad y las vibraciones artificiales se usan para prospección somera del subsuelo.

Ante nombrada aclaración, dentro de los métodos sísmicos se usan métodos de fuente pasiva como el Análisis de Microtremidaciones de Arreglo Multicanal (MAM) que

registran sismicidad natural, y los de fuente activa o artificial tales como el Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW) y el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) siendo este último de mayor uso (Georys S.A., 2016).

Durante la ejecución de los ensayos, se buscó hacer las mediciones de período elástico lo más próximo posible al lugar donde se había dispuesto el tendido sísmico para que de este modo poder asociar las velocidades de onda de corte con el valor de periodo elástico. La ubicación de los ensayos por su ubicación puede observarse en la tabla que se muestra a continuación.

*Tabla 6 . Ubicación de ensayos geofísicos para el proyecto*

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenada Este (m)</b>	<b>Coordenada Norte (m)</b>
E-01	MASW-MAM	Av. Quito	623604	9757937
E-02_1	MASW-MAM	Redondel Av. Julián Coronel	623700.5	9758553.5
E-02_2	MASW-MAM	Redondel Av. Julián Coronel	623715	9758579.5
E-01	Nakamura	Av. Quito	623548	9758012
E-02_1	Nakamura	Redondel Av. Julián Coronel	623714	9758560
E-02_2	Nakamura	Redondel Av. Julián Coronel	623717	9758553

*2.2.2.1. Ensayos de Sísmica para el análisis de ondas superficiales: pasiva MAM y activa MASW*

Los métodos indirectos de prospección geofísica MASW y MAM, tienen como fin estudiar las ondas superficiales que se hayan inmersas dentro de los microtemores, ruido ambiental, que ha sido generadas por una fuente sísmica artificialmente. Estos métodos se

basan principalmente en una propiedad de las ondas superficiales conocida como dispersión la cual solamente ocurre en medios estratificados.

A través de un análisis espectral de las ondas superficiales, se puede establecer la dispersión que sufren las mismas en distintos rangos de frecuencia, permitiendo así obtener de un área de investigación estimaciones de la velocidad de onda de corte a partir de una curva de dispersión. El software empleado utiliza un algoritmo de inversión del cual se obtiene la velocidad de las ondas de corte  $V_s$  (Rivera, Piedra, & Paripanca, 2015).



Figura 12. *Arreglo sísmico típico para adquisición de ondas superficiales*

El MASW es un método sísmico para adquisición de ondas superficiales en el cual se utilizan fuentes artificiales, de modo de causar una excitación sísmica en la parte más somera del subsuelo. Su metodología es muy práctica debido a que permite el uso de arreglos de muchos geófonos, al contrario que el SASW en donde se usan arreglos de solo dos receptores.

El método MAM es muy usado para obtener mejores resultados en la prospección de menores frecuencias de respuesta sísmica, asociadas a mayores profundidades. Sin embargo, los métodos pasivos poseen una desventaja frente a los métodos activos y es que carecen de fuente controlada, de modo que en el registro sísmico aparecerán eventos

asociados a frentes de onda de provienen de diferentes direcciones, lo que de alguna manera podrá afectar en menor o mayor grado para la obtención de la curva de dispersión en la etapa de procesamiento. Es por ello, que para la aplicación del MAM se pueden usar tanto arreglos lineales como bidimensionales, que son menos susceptibles a ser perjudicados por el ruido ambiental.

Posterior al procesamiento de los datos sísmicos, se lleva a cabo la inversión a partir de las curvas de dispersión y curvas de autocorrelación obtenidas por los diferentes métodos de análisis y así obtener un perfil 1D de profundidad Vs, empleando para ello un algoritmo de inversión Monte Carlo. Dicho algoritmo de manera similar a los algoritmos genéticos, genera una población de soluciones posibles que se van mutando matemáticamente para irse ajustando cada vez más a la curva de dispersión hasta obtener el mínimo error después de un número determinado de iteraciones (Rivera, et al. 2015).

### **2.2.3. Efectos de Sitio**

Los efectos de sitio o las condiciones locales de sitio pueden influenciar profundamente las características más importantes del movimiento fuerte del terreno, tales como amplitud, contenido de frecuencia y duración.

De acuerdo con Ansal (2004), los efectos de sitio incluyen principalmente los efectos del contraste de impedancia entre los depósitos superficiales de suelo que sobre yacen el lecho rocoso o suelo firme considerado como roca, los cuales se pueden modelar de manera adecuada mediante análisis unidimensionales 1D (elástico, lineal equivalente o no lineal).

También se incluyen efectos de cuenca profunda y efectos de borde de cuenca, producidos a partir de fuertes discontinuidades geológicas laterales (fallas, anomalías geológicas, etc). Estos efectos que están dominados por la presencia de ondas de superficie

y ondas de cuerpo, solo pueden ser estudiados utilizando modelos 2D y 3D. Finalmente, los efectos de sitio también incluyen variaciones en las características del movimiento del terreno debido a cambios en la topografía superficial.

#### *2.2.3.1. Efectos de la propagación de las ondas sísmicas*

Los efectos de sitio incluyen la modificación de las ondas sísmicas debido a las capas de suelo locales, el efecto de cuencas aluviales y el efecto de la topografía local. Está bien establecido que las condiciones locales del suelo tienen un gran efecto en la amplitud y las características de la respuesta espectral de los movimientos sísmicos a nivel del suelo dependiendo del tipo, profundidad del suelo y el nivel del movimiento sísmico.

Ejemplos de demostraciones dramáticas de los efectos de sitio son: Ciudad de México en el sismo de México de 1985, en el área de la Bahía de San Francisco en el sismo de Loma Prieta en 1989 y en Adapazarí en el sismo de Kocaeli en 1999.

En la Figura 13 se muestran los registros de aceleraciones medidos a diferentes distancias del epicentro durante la secuencia del terremoto de Ciudad de México de 1985. La amplitud de aceleración medida a diferentes distancias cambia drásticamente. Podemos observar que la amplitud de la aceleración disminuye de gran manera primero y luego aumenta cuando las ondas sísmicas alcanzan el depósito aluvial en el que se fundó la ciudad de México (Ordaz, Miranda, & Avilés, 2011).

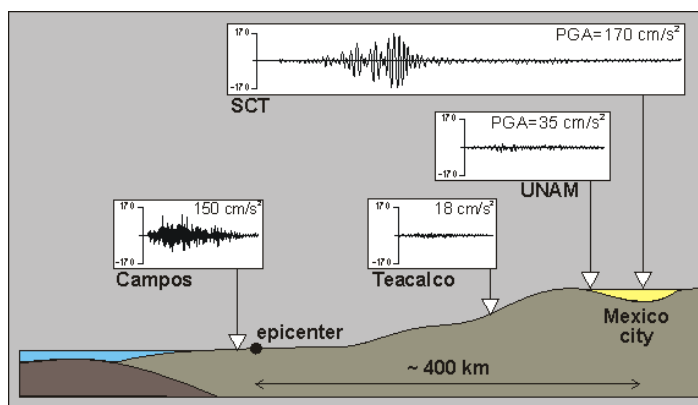


Figura 13. *Efectos de sitio registrados en la ciudad de México, sismo de 1985* (Ordaz, Miranda, & Avilés, 2011)

Los suelos blandos que forman capas de baja velocidad de onda cerca de la superficie de la Tierra atrapan energía, amplifican todas las frecuencias debido a la disminución de la impedancia sísmica y amplifican preferentemente las frecuencias resonantes. Varios investigadores han demostrado que, para capas de espesor dado, la respuesta sísmica relativa será mayor cuando las unidades geológicas de superficie tengan los valores de impedancia más bajos y donde el contraste de impedancia entre la capa superficial y la capa subyacente sea mayor.

En el caso de la aceleración pico del terreno (PGA), la dependencia de la amplificación en el nivel de movimiento del suelo queda ilustrada por la relación del suelo blando desarrollada por Idriss (1991) que se muestra en la Figura 14. Para aceleraciones pico en roca, menores a aproximadamente 0.4g, los movimientos del suelo se amplifican típicamente en suelos blandos. Sin embargo, para niveles más altos de movimiento del suelo, una mayor amortiguación ocurre debido al comportamiento no lineal del suelo, donde tiende a dar lugar a la atenuación de las aceleraciones pico, o componentes espectrales de respuesta de alta frecuencia.

La no linealidad en el comportamiento del suelo generalmente se reconoce en las diferencias entre la respuesta del sitio cuando las aceleraciones máximas superan aproximadamente 0.4g, la velocidad máxima excede los 30 cm/s, o la deformación máxima excede del 0.1%. Los efectos de la no linealidad generalmente reducen las amplitudes al disminuir la rigidez efectiva de corte de los sedimentos y aumentar el amortiguamiento histerético.

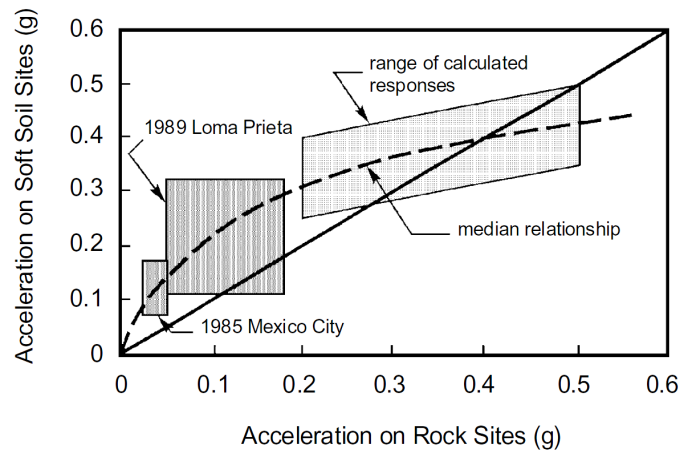


Figura 14. Dependencia de la amplificación-atenuación de la aceleración pico del terreno (PGA) para suelos blandos (Idriss, Lysmer, Hwang, & Seed, 1973).

La amplificación sísmica debida a la topografía del sitio ha sido identificada tanto en estudios teóricos como empíricos. La parte superior de colinas aisladas, crestas alargadas, bordes de mesetas y acantilados suelen ser zonas de amplificación debido a la difracción y el enfoque. Los resultados principales son que la amplificación topográfica es máxima en la cima de la colina, y es máxima a la frecuencia en la que una longitud de onda de corte es igual al ancho de la base de la colina. En topografías cóncavas (como cuencas), la amplificación varía en las partes laterales (cercanas a la pendiente de la cuenca) y aumenta con la pendiente.



El efecto de la geología local en el movimiento del suelo también depende de otros parámetros tales como la intensidad, la frecuencia y el ángulo de incidencia de las ondas sísmicas entrantes para sismos fuertes o débiles, que en combinación con las condiciones locales del sitio podrían introducir fenómenos no lineales. En general, se podría decir que hay una gran variedad de parámetros según los cuales, alguien podría categorizar los efectos del sitio, un hecho que confirman la complejidad y la necesidad de comprender los antecedentes físicos de este fenómeno (Ansal, 2004).

### 2.2.3.2. Interpretación y análisis de resultados de efectos de sitio

Se realizaron 3 ensayos geofísicos para medición de ondas superficiales con el fin de obtener perfiles de velocidad de onda de corte, usando para ello las metodologías de métodos activos y pasivos.

Posterior a la etapa de procesamiento para ondas superficiales, tal como fue descrito anteriormente se obtuvieron los perfiles 1D de velocidad de onda de corte. Se realizó el cálculo para cada perfil del promedio ponderado de la velocidad de onda de corte de los primeros 30 metros ( $V_{S30}$ ), con la finalidad de establecer la clasificación de los suelos presentes en el área de proyecto, usando como criterio la geología local y la escala de velocidad de onda de corte expresada en la NEC-2015. Para calcular el valor de  $V_{S30}$  se usó la expresión matemática que se presenta a continuación:

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{\sum_{i=1}^N \frac{H_i}{V_{si}}}$$

En donde,

$V_{S30}$ : es el valor promedio de velocidad de onda cortante de los primeros 30 metros.

$H_i$ : es el espesor de cada estrato en el perfil de Vs.

$V_{si}$ : es la velocidad de cada estrato en el perfil de Vs.

Como bien puede observarse en la Tabla 7 se presentan los valores de  $V_{s30}$  por punto de medición, también se ha añadido dos campos definidos como  $V_{sRoca}$  y  $H_{Roca}$ , en caso de que a través del ensayo geofísico se hayan detectado contraste de velocidad de roca y a cuál profundidad se consiguió dicho contraste. Al final se incluye la clasificación del perfil de subsuelo según la NEC-15. La información por cada sitio de medición de los perfiles de  $V_s$  se pueden observar en el Apéndice A-2.

Tabla 7. Resumen de resultados de ensayos MASW-MAM

Ensayo	Método	$V_{s30}$ (m/s)	$V_{sRoca}$ (m/s)	$H_{Roca}$ (m)	Descripción NEC-15
E-01	MASW-MAM	130	N/A	N/A	Suelos blandos
E-02_1	MASW-MAM	172	N/A	N/A	Suelos blandos
E-02_2	MASW-MAM	240	860	26.5	Suelos lig. rígidos

#### 2.2.4. Escalamiento/ajuste de registros sísmicos con RSPMatch09

El programa RSPMatch09 realiza un ajuste o “match” espectral en el dominio del tiempo agregando wavelets (ondículas) de ajuste a un registro inicial tiempo-historia de aceleración (acelerograma) para generar un acelerograma modificado cuyo espectro de respuesta es compatible con un espectro de respuesta objetivo específico.

El programa original fue desarrollado por (Abrahamson, 1992) y modificado en 1999 para preservar el carácter no estacionario del movimiento inicial del suelo en períodos largos. La nueva versión del programa incluye una nueva función de ajuste de wavelets que proporciona una solución estable y eficiente en el tiempo sin causar deriva en los registros resultantes tiempo-historia de velocidad y desplazamiento.

En la publicación de (Abrahamson & Al Atik, 2010) se muestran las capacidades del programa RSPMatch09 y se detallan las funciones de ajuste que utiliza el mismo para

lograr los ajustes espectrales. En la Figura 15 se muestra un ejemplo del ajuste o “match” obtenido con el programa RSPMatch09 para un registro sísmico: registros tiempo-historia iniciales vs. modificados de (a) aceleración, (b) velocidad, (c) desplazamiento. Se muestra además comparación de espectros de aceleración (d) inicial vs. objetivo y (e) calculado vs. objetivo. Se puede apreciar que el ajuste obtenido es excelente, al mismo tiempo que se mantienen las características originales (no-estacionarias) del sismo.

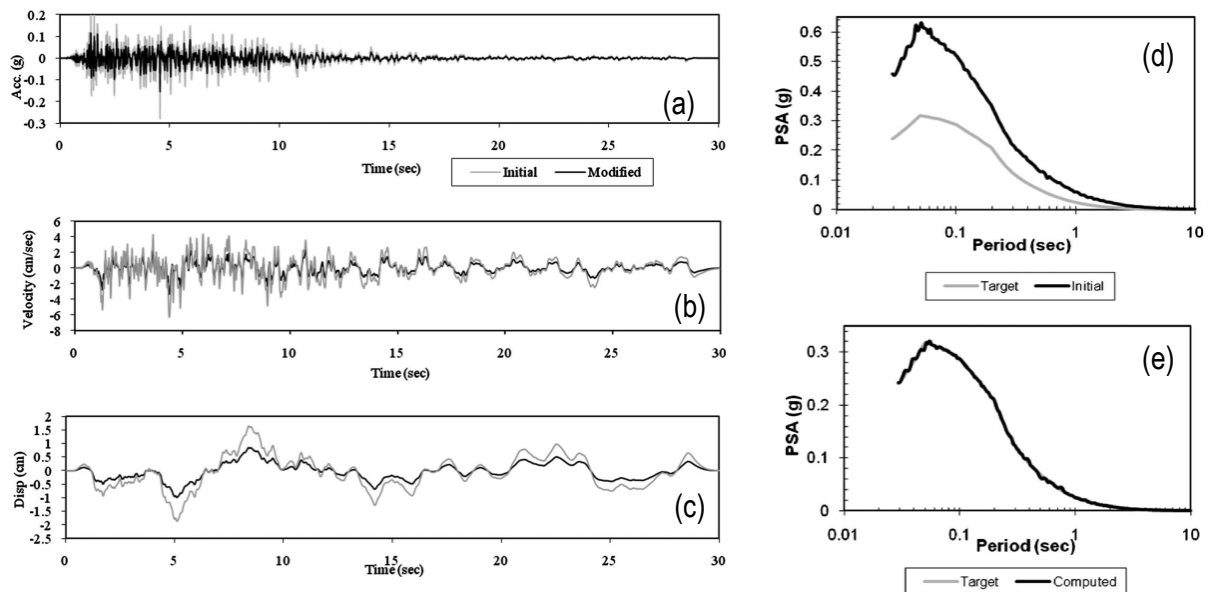


Figura 15. Ajuste con RSPMatch09 para un registro sísmico: registros iniciales vs. modificados de: (a) aceleración, (b) velocidad, (c) desplazamiento. Comparación de espectros de aceleración: (d) inicial vs. objetivo y (e) calculado vs. objetivo.

### 2.2.5. Análisis de respuesta dinámica de sitio

Las condiciones y características del subsuelo de una determinada área de estudio influyen directamente en la respuesta dinámica de los mismos ante una excitación sísmica, por lo tanto, es necesario considerar dicho efecto al momento de estimar los niveles de aceleraciones a producirse bajo un determinado nivel de amenaza, niveles que son de vital utilidad en el análisis y posterior diseño estructural del proyecto.

### 2.2.5.1. Procedimiento de análisis de respuesta de sitio

El procedimiento en la forma más simplificada consta de los siguientes pasos: (1) recopilar datos, (2) modelarlos para programas informáticos, (3) ejecutar programas informáticos e (4) interpretar los resultados. Se requieren varios datos de entrada en el análisis de respuesta sísmica al suelo (Yoshida, 2015).

En la Figura 16 se muestra el flujograma correspondiente al procedimiento generalizado del análisis de respuesta de sitio:

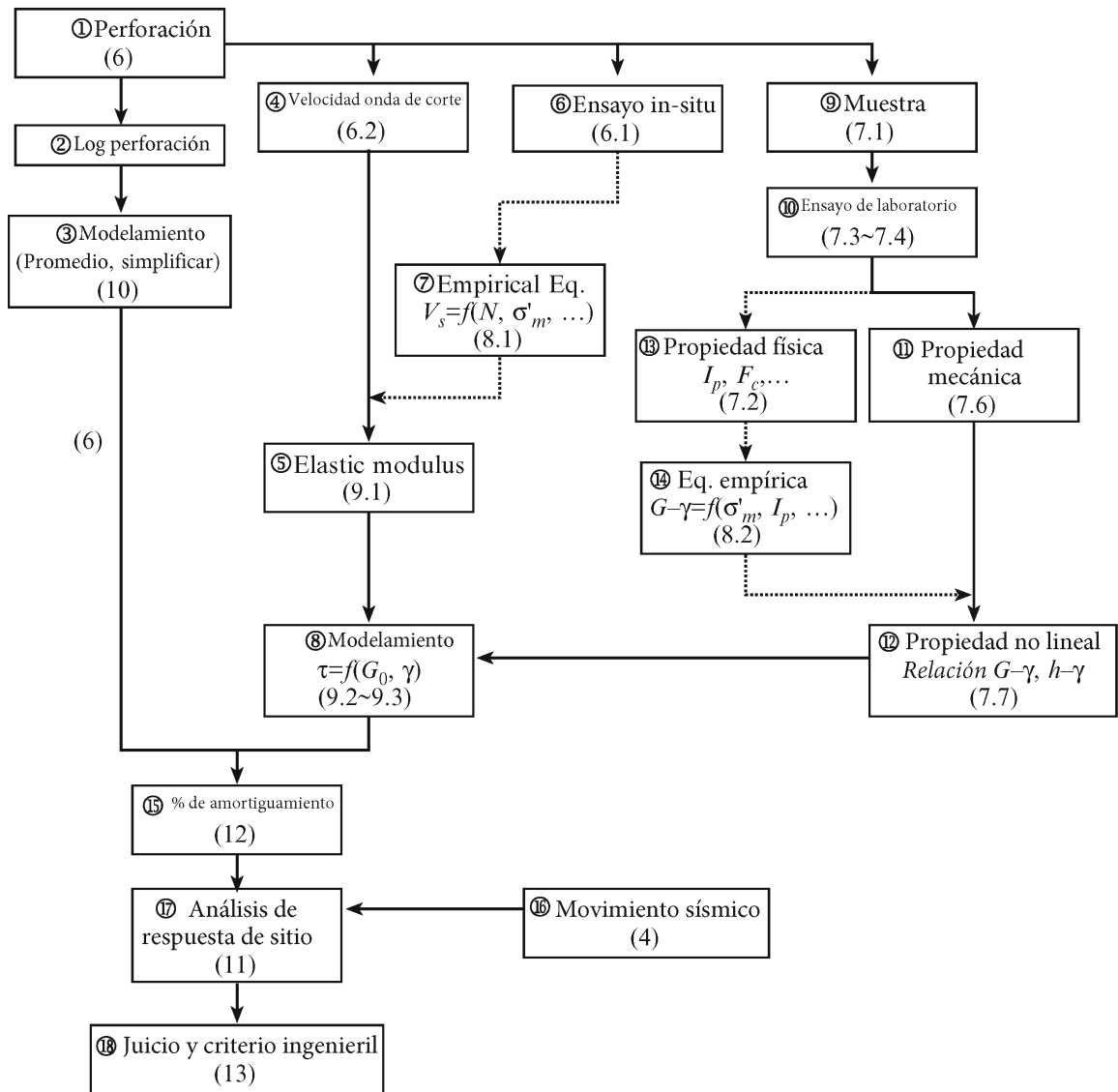


Figura 16. Flujograma del procedimiento del análisis de respuesta de sitio (Yoshida, 2015)

Después de obtener los datos de la perforación (1), se requiere el modelado de la configuración topográfica dividiendo el perfil en capas que tienen propiedades mecánicas similares (3) usando los registros de perforación (2). Los límites laterales y las condiciones de contorno deben establecerse en el análisis multidimensional como parte de este proceso.

El modelamiento del perfil generalmente requiere que el suelo se clasifique en arena, limo o arcilla, siendo además necesario considerar la edad geológica y/o las condiciones de deposición. La subdivisión de cada capa también se requiere dependiendo del método de análisis. Además, las capas subdivididas con mencionada clasificación SUCS pueden no propiedades mecánicas similares debido a que indicadas propiedades dependen en gran medida de la presión efectiva de confinamiento y/o índice de plasticidad. El módulo de corte y la resistencia al corte, por ejemplo, cambian con la profundidad.

Las propiedades que cambian continuamente con la profundidad, sin embargo, no pueden ser manejadas en un programa informático; por ejemplo, se eligen valores representativos para cada capa, discretizados con la profundidad, sin embargo, el valor N60 obtenido del ensayo SPT varía incluso en capas con similares características; por lo tanto, se requieren medios para calcular el promedio.

Inicialmente se deben determinar las propiedades mecánicas del suelo, las cuales se obtienen a través de ensayos directos, siendo uno de los métodos más comunes en el medio el ensayo de penetración estándar (SPT) (1). Es necesario que los resultados de la exploración directa se complementen con ensayos de laboratorio.

El módulo elástico y velocidad de onda del suelo se puede estimar al medirlo en el sitio o utilizar ecuaciones empíricas basadas en otras mediciones de campo (6). Existen muchas ecuaciones empíricas para obtener la velocidad de onda de corte, por ejemplo, correlaciones con el valor N60 obtenido del ensayo SPT (7). Dependiendo de la ecuación

empírica utilizada, pueden ser necesario parámetros adicionales tales como la relación de vacíos y/o el esfuerzo de confinamiento efectivo. El módulo elástico además se puede evaluar a partir de la velocidad de onda de corte y la densidad (5).

Existen también dos métodos para obtener los parámetros no lineales del suelo (12). En el primer método, (11) se obtienen directamente a través de pruebas de laboratorio (10) utilizando muestras inalteradas tomadas in situ (9). En segundo lugar, pueden obtenerse mediante el juicio basado en experiencias pasadas o en ecuaciones empíricas (14).

Además de la clasificación del suelo se pueden requerir otros parámetros (13) tales como el índice de plasticidad y el contenido de finos. También, es necesario establecer un comportamiento esfuerzo-deformación para los diversos geomateriales utilizados en el análisis y asignar características de amortiguamiento (15). Los últimos datos de entrada son los registros sísmicos (16) que se utilizarán en el análisis. Después de preparar todos estos datos, se puede ejecutar el análisis de respuesta sísmica de sitio (17), evaluando los resultados obtenidos a lo largo de la columna de suelo modelada (18).

#### 2.2.5.2. *Método lineal equivalente (EQL)*

El análisis de respuesta de sitio equivalente-lineal (EQL) utiliza la propagación de onda unidimensional, lineal-elástica a través de medios estratificados para modelar la respuesta dinámica del depósito del suelo. El método incorpora la no linealidad del suelo mediante el uso de propiedades del suelo compatibles con la deformación para cada capa de suelo.

La respuesta típica del esfuerzo de corte no lineal ( $\tau$ ) frente a la deformación por corte ( $\gamma$ ) del suelo bajo carga cíclica da como resultado una curva histerética (Figura 17). La curva histerética para un nivel dado de deformación por corte puede caracterizarse por un módulo de corte secante (G) y una razón de amortiguamiento (D) que está relacionada

con el tamaño de la histéresis. Generalmente, a medida que aumenta la deformación por corte,  $G$  disminuye y  $D$  aumenta (Kottke, 2010).

Las variaciones del módulo de corte y de la razón de amortiguamiento con la deformación por corte se prescriben mediante curvas de reducción de módulo ( $G=G_{max}$ ) y de amortiguamiento ( $D$ ) (Figura 18), en las que  $G_{max}$  es el módulo de corte en las deformaciones pequeñas.  $G_{max}$  puede estar relacionado con la velocidad de onda cortante ( $V_s$ ) a través de la densidad ( $\rho$ ) del suelo ( $G_{max} = \rho V_s^2$ ).

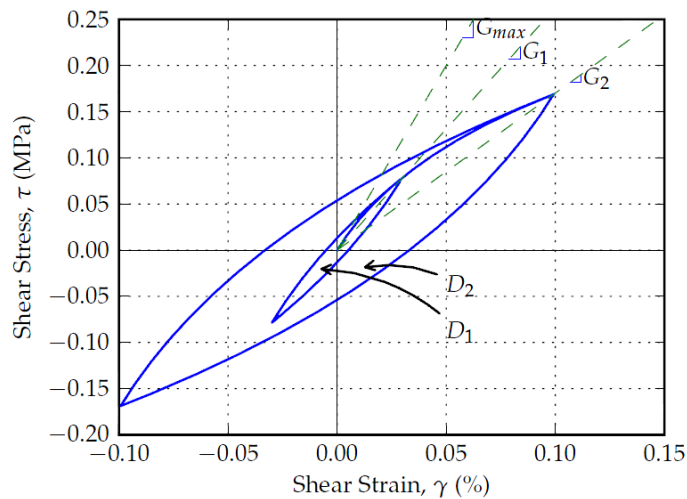


Figura 17. Respuesta no lineal típica de esfuerzo de corte vs. deformación de corte de un suelo bajo cargas cíclicas (Kottke, 2010).

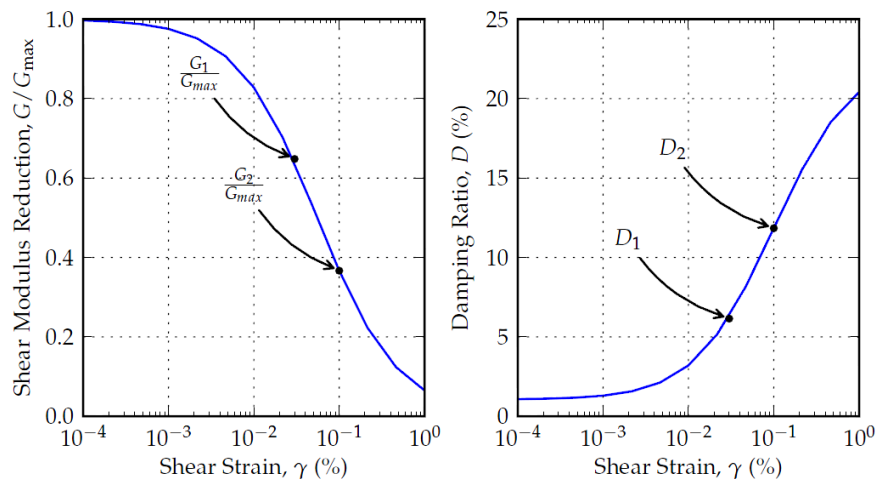


Figura 18. Curvas de reducción de módulo de corte y amortiguamiento que caracterizan la respuesta no lineal del suelo (Kottke, 2010).

La clave del enfoque del método EQL es la selección de las propiedades del suelo (G y D) para cada capa de suelo que son consistentes con el nivel de esfuerzo de corte inducido por el movimiento de roca de entrada. El desarrollo de propiedades compatibles con la deformación requiere un enfoque iterativo en el que las deformaciones se calculan, las propiedades se revisan en base a las deformaciones y las deformaciones revisadas se calculan en base a las propiedades actualizadas.

Otro aspecto importante del análisis de respuesta de sitio EQL es que se realiza en el dominio de la frecuencia usando funciones de transferencia. La propagación del dominio de frecuencia se requiere porque la solución de la ecuación de onda es para ondas armoniosas, es decir, sinusoidales. La serie de tiempo de entrada se convierte primero en el dominio de frecuencia utilizando la Transformada de Fourier Rápida (FFT) y los cálculos de propagación de onda se realizan simplemente multiplicando las amplitudes de Fourier de valor complejo del movimiento de entrada por la función de transferencia de valor complejo.

La serie de tiempo en la superficie del terreno se obtiene mediante la aplicación de una FFT inversa. El cálculo se limita generalmente a frecuencias inferiores a una frecuencia máxima que se rige por el incremento de tiempo, las características del filtro y el interés ingenieril. Las frecuencias superiores a la frecuencia máxima de interés se truncan o se definen como cero.

El uso de cálculos en el dominio de la frecuencia hace que el análisis EQL sea una técnica muy eficiente para los cálculos de la respuesta del sitio.



### 2.2.5.3. Método no lineal

El análisis de respuesta de sitio no lineal calcula la respuesta dinámica de una columna de suelo 1D que consiste en masas agrupadas/concentradas y resortes de corte no lineales sometidos a un movimiento de entrada en roca. El análisis no lineal incorpora el esfuerzo de corte completamente no lineal frente a la respuesta de deformación por corte del suelo en el dominio del tiempo y no incorpora propiedades compatibles con la deformación.

El enfoque no lineal se basa en una curva esqueleto de esfuerzo-deformación por corte y en las reglas de descarga/recarga, es decir, las reglas de Masing; para determinar la respuesta histórica del suelo bajo carga cíclica (Puzrin, 2012). Una curva esqueleto común es la del modelo MKZ (Matasovic & Vucetic, 1993), que es una hipérbola modificada definida como:

$$\tau = \frac{G_{max} * \gamma}{1 + \alpha \left(\frac{\gamma}{\gamma_r}\right)^s}$$

Esta curva requiere tres parámetros de ajuste:  $\alpha$ ,  $\gamma_r$  y  $s$  en adición de  $G_{max}$ , la cual se define para cada capa basándose en la velocidad de onda de corte. Las reglas de Masing utilizan la curva esqueleto para generar la respuesta de descarga/recarga bajo carga cíclica, y estos ciclos de histéresis representan los niveles modelados de amortiguamiento. Se requiere de un amortiguamiento viscoso adicional ( $D_{min}$ ) para modelar la disipación de energía a deformaciones muy pequeñas donde el amortiguamiento histerético es esencialmente cero y no representativo del suelo.

Los modelos que se adhieren totalmente a las reglas de Masing, generan una sobre estimación del amortiguamiento a medianas como grandes deformaciones por corte (Phillips, 2013). Lo anterior sucede cuando los parámetros del modelo constitutivo son calibrados únicamente con base a la curva de reducción de la rigidez (Darandelli, 2001), tal

procedimiento es conocido como MR (Modulus Reduction); este fenómeno genera una subestimación del perfil de deformaciones por corte. Diversos investigadores han presentado alternativas en forma de factores de reducción o procedimientos que modifican las reglas Masing, entre los que destaca Phillips (2013).

#### **2.2.5.3.1. DEEPSOIL**

DEEPSOIL es un programa desarrollado en Visual Basic que permite el cálculo de efectos de sitio mediante un modelo unidimensional. En este programa el comportamiento no lineal del suelo puede ser modelado mediante un análisis lineal equivalente o un análisis no lineal, modelo no lineal hiperbólico, paso a paso. El programa desarrollado por Youssef, Hashash y Duhee Park en la Universidad de Illinois, tiene una interfaz gráfica para el ingreso de datos y post procesamiento de los resultados.

Si el análisis de propagación de onda unidimensional realizado es del tipo no lineal, el amortiguamiento del suelo se introduce en el modelo a través de una nueva formulación con la cual es posible tener en cuenta modos de vibración superiores al primer modo de vibración del depósito. Esta nueva formulación representa de una forma más cercana el amortiguamiento que se presenta en procesos de propagación de onda para depósitos con profundidades superiores a 50 m.

#### **2.2.5.3.2. QUAD4M**

QUAD4M es la versión actualizada (Hudson, Idriss, & Biekae, 2003) con funcionalidades adicionales importantes del programa desarrollado originalmente como “QUAD4” por (Idriss, Lysmer, Hwang, & Seed, 1973). El programa no posee interfaz gráfica, es ejecutado a partir de la línea de comandos de Windows y sus archivos de entrada (input) son de tipo “.txt” los cuales, en términos generales, poseen la información de la

geometría (malla), demanda sísmica (registro de aceleración) y del suelo (propiedades geomecánicas de los materiales) del problema ingenieril.

QUAD4M es un programa de análisis 2D (bidimensional) de elementos finitos capaz de realizar análisis dinámicos, en el dominio del tiempo, de tipo equivalente lineal. Como parte de las funcionalidades adicionales importantes que brinda su última versión se tiene: modelación de una base transmisora, un algoritmo mejorado de incremento del tiempo, cálculo de coeficientes sísmicos, capacidad de reiniciar desde el último análisis realizado, cambio en el algoritmo por medio del cual el amortiguamiento es calculado.

Finalmente, incorpora un método nuevo para la formulación de las matrices de amortiguamiento, lo cual resulta en una reducción significativa del sobre-amortiguamiento en frecuencias altas asociado comúnmente a la formulación de amortiguamiento de Rayleigh. En QUAD4M, los registros tiempo historia de las aceleraciones se calculan en cada nodo, los esfuerzos y deformaciones al corte se calculan en el centro de cada elemento.

#### **2.2.5.3.3. Fronteras transmisoras en QUAD4M**

Para conseguir que una malla 2D finita represente adecuadamente la respuesta en condición de campo infinito, la reflexión artificial de las ondas sísmicas en las fronteras laterales, así como en el semi espacio subyacente, debe ser minimizada. Para lograr esto, los autores de QUAD4M modelaron amortiguadores en cada uno de los nodos que componen la base del modelo finito, excluyendo las fronteras laterales.

Para minimizar los efectos de reflexión artificial de ondas sísmicas en las fronteras laterales los autores recomiendan incrementar la extensión de la malla de elementos finitos hasta conseguir condiciones de campo libre.

#### 2.2.5.3.4. Consideraciones y recomendaciones geométricas

Tanto en los análisis de tipo 1D, 2D se debe respetar consideraciones geométricas en cuanto al espesor de las capas de materiales y el tamaño de los elementos de la malla de elementos finitos, respectivamente.

La subdivisión de capas en el análisis unidimensional y la determinación del tamaño de malla en los análisis de elementos finitos deben verificarse en dos puntos de vista: propagación de ondas y representación de las propiedades del material que cambia continuamente en una capa. Este último aparece, por ejemplo, como resultado de la dependencia del esfuerzo de confinamiento del módulo elástico y la resistencia al corte.

##### **Análisis 1D: Espesor máximo de capas**

La frecuencia máxima corresponde a la frecuencia más alta a la cual una capa se puede propagar y se define como  $f_{max} = V_s/4H$  donde  $V_s$  es la velocidad de onda de corte y  $H$  es el espesor de la capa. Para incrementar  $f_{max}$  se debe disminuir el espesor de la capa. (Hashash et al., 2015) recomienda un valor mínimo de  $f_{max} = 30$  Hz.

##### **Análisis 2D: Tamaño máximo de elementos de la malla**

(Kuhlemeyer & Lysmer, 1973) sugieren:  $tamaño_{promedio} \leq \lambda/8 = V_{s_{min}}/8f_{max}$ . Donde  $V_{s_{min}}$  es la velocidad de onda de corte más baja,  $f_{max}$  es la componente de frecuencia máxima de la onda de entrada.

#### 2.2.6. Análisis de respuesta dinámica de sitio en relación a la NEC-15

Este análisis requiere la consideración de 3 aspectos:

- I. Modelación del perfil de suelo
- II. Selección de los registros sísmicos de entrada en la condición del afloramiento rocoso para el perfil de suelo
- III. Análisis de respuesta de sitio e interpretación de resultados.

## ***I. Modelación del perfil del suelo***

Comúnmente se refiere a una columna unidimensional de suelo que se extiende desde la superficie hasta el basamento rocoso o donde se desarrolla el primer contraste de impedancia menor a 0.5. Esta columna se modela para capturar las primeras características del análisis de respuesta de sitio.

Sin embargo, de acuerdo a la NEC-15, para proyectos de gran envergadura, se deben considerar modelos bidimensionales y tridimensionales cuando las velocidades de onda cortante bidimensional y tridimensional son significativas en el estudio, por ejemplo, en cuencas topográficas para el caso del diseño de presas, puentes u otra infraestructura de importancia.

## ***II. Selección de los registros sísmicos de entrada en la condición de afloramiento rocoso para el perfil de suelo.***

Como lo señala la NEC-15, para el modelo de perfil de suelo se requieren seleccionar los registros de aceleraciones en afloramiento rocoso según perfil tipo B, que sean representativas a las condiciones sismológicas del sitio.

A menos que de un análisis específico de peligro sísmico del sitio, probabilista o determinista, se desarrolle el espectro de respuesta en la roca, éste se lo definirá para un perfil de suelo tipo B, tomando como referencia el espectro elástico de aceleraciones según lo estipulado en la presente norma.

Se deben seleccionar un mínimo de 7 registros de aceleraciones sismológicamente compatibles con las magnitudes de momentos sísmicos, distancia esperada para el sitio y deben ser escalados de tal forma que la mediana de los registros se debe aproximar, en el rango de período de interés para la estructura a analizar, con el espectro elástico en campo

libre en roca tipo B o A. Debido a que el espectro de respuesta en roca está definido en la superficie de esta en lugar de a una profundidad por debajo de un depósito de suelo, se debe de considerar el efecto de la condición de frontera en la excitación sísmica de entrada.

### ***III. Análisis de respuesta de sitio e interpretación de resultados***

Si la respuesta del suelo es altamente no lineal, por ejemplo, con altos niveles de aceleración y suelos blandos arcillosos, los métodos no lineales son los más recomendables. Sin embargo, al realizar análisis no lineales en términos de esfuerzo efectivos o totales, se deberá realizar paralelamente análisis lineales equivalentes para evaluar las respuestas.

Existen relaciones entre los espectros de respuesta de registros sísmicos de salida y de entrada desde el afloramiento de la roca a la superficie, que deben ser calculadas.

Para ello, se deben analizar:

- Espectros de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para el 5,00% del amortiguamiento crítico estructural
- Variación con la profundidad de las deformaciones unitarias por cortante máximas y esfuerzo cortante máximo.

Por lo general, se obtiene la mediana o media de los 7 espectros de respuesta. Este espectro de respuesta es habitualmente ajustado a un espectro de respuesta del suelo suavizado por leves descensos de los picos espectrales y ligeros aumentos de los valles espectrales.

### 3. METODOLOGÍA

En el presente estudio, el método investigativo planteado es el cualitativo y cuantitativo, debido a que se está partiendo de una recopilación de datos de todos los sondeos y técnicas de exploración realizados en el sitio de estudio, para luego ejecutarse los ensayos de laboratorio respectivos para generar una base de datos, pertinentes a la influencia en el fenómeno dinámico mediante el análisis de respuesta de sitio.

Una vez realizada la obtención de los parámetros geo-mecánicos de las respectivas muestras tomadas en sitio se procedió a realizar la metodología propuesta por Yoshida (2015) para el análisis de respuesta dinámico de sitio en base a las técnicas de exploración geotécnicas y geofísicas. Este método se clasifica en cuatro categorías:

- Configuración geológica o topológica, tales como los perfiles de suelo
- Propiedades dinámicas del suelo
- Movimiento sísmico de entrada
- Parámetros para controlar el flujo del programa informático o el método de análisis.

Mediante la campaña de exploración en campo se espera poder caracterizar los estratos arcillosos y detectar adecuadamente el nivel freático a través de los ensayos SPT y CPTu. La variedad de ensayos para determinar la resistencia al corte no drenada de las arcillas nos permitirá definir la variabilidad de los valores del  $S_u$  a diferentes profundidades. Con la finalidad de representar la variación espacial de los geomateriales basados en la campaña de exploración mediante el modelamiento del perfil geotécnico.

Se estudiará el efecto de multiplicar el coeficiente de importancia  $I=1.3$  directamente al espectro resultante obtenido en suelo vs. multiplicarlo a los sismos de entrada en roca. Para que de manera posterior se pueda analizar que método es más conservador para tomar. Se observó que lo primero resulta conservador en comparación a lo segundo.

Se seleccionarán y escalarán 50 sismos de entrada en roca (25 movimientos sísmicos de fuente cercana (FC/NF) y 25 movimientos sísmicos de fuente lejana (FL/FF) de tal manera que la mediana de sus espectros se ajuste al espectro “target” en roca obtenido en el PSHA realizado por (URS Corporation, 2007) (Vera-Grunauer et al., 2014).

Adicionalmente, con el propósito de optimizar el tiempo para los análisis bidimensionales 2D en QUAD4M, se realizará de manera similar una selección y un escalamiento sísmico en RSPMatch09 con el fin de obtener un sismo representativo de fuente cercana y un sismo representativo de fuente lejana. De esta manera se espera obtener sismos escalados de entrada “25 FC + 25 FL” y sismos escalados de entrada (RSP Match) “2 FC + 2 FL”.

En todos los ARS a realizar se tendrá en consideración para el suelo, un modelo de comportamiento equivalente lineal (EQL) y no lineal (NL), análisis 1D en DEEPSOIL. Adicionalmente, en el ARS de la E2 Plaza Julián Coronel se estudiarán los efectos de sitio esperados según la geología local por medio de un análisis 2D en QUAD4M.

### **3.1. Análisis de resultados**

#### **3.1.1. Resultado de análisis cualitativo para la modelación del perfil de suelo**

A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio se ha podido obtener la clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), con mencionada clasificación se ha establecido la variación de las series estratigráficas en el área de estudio. Se han elaborado 2 perfiles estratigráficos para presentar la variación espacial de los geomateriales según las perforaciones, ensayos CPTu y ensayos tipo MASW+MAM ejecutados.



En la Figura 19 y 20, se presenta la ubicación en planta de los 2 perfiles. La información detallada de los perfiles se la presenta en los planos de “Perfiles geotécnicos” ubicados en el Apéndice A-3. La línea negra entrecortada corresponde a la implantación de la estación para el proyecto.



Figura 19. Campaña de exploración de la Zona 1 - Estación “E1-Parque Centenario”

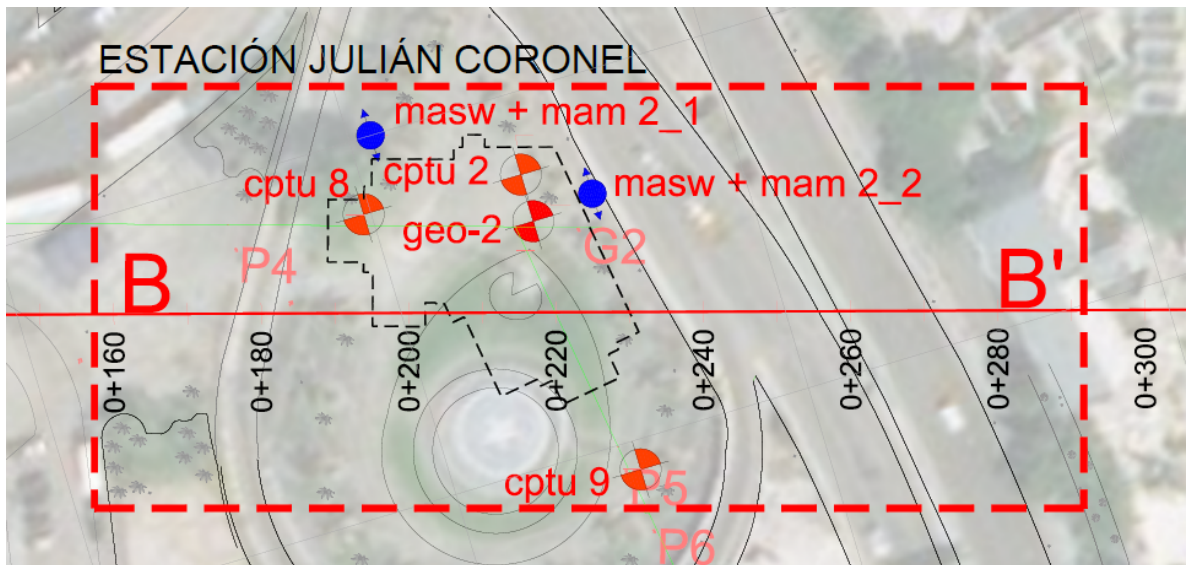


Figura 20. Campaña de exploración de la Zona 2 - Estación “E2-Plaza Julián Coronel”

### *3.1.1.1. Descripción de las series estratigráficas*

Para la descripción de las series estratigráficas se ha considerado la información obtenida de la campaña de exploración, resultados de laboratorio y correlaciones realizadas de los parámetros geotécnicos. Se han establecido 2 zonas de acuerdo a la información obtenida y a los perfiles geotécnicos realizados para caracterizar mejor los geomateriales presentes en las series estratigráficas del proyecto, estas zonas delimitan los dos sectores de estudio.

- I. Zona 1 – Estación E1
- II. Zona 2 – Estación E2

#### ***I. Zona 1 – Estación E1 (Parque Centenario)***

La zona 1, se encuentra superficialmente un relleno conformado por gravas limosas, seguido de un estrato compuesto por arcillas de alta y baja plasticidad, con una resistencia al corte no drenada que varía de 40 kPa a 80 kPa.

Bajo el estrato limoso se identificó un lente de arena limosa de compacidad suelta. Seguidamente, se identificó un estrato de arcilla con intercalaciones de limos y arenas limosas, estas arcillas presentan una consistencia de muy blanda a firme. Adicionalmente, se identificó un estrato de arena limosa de compacidad suelta a medianamente densa.

Finalmente, se presenta un estrato de limos y arcillas de alta y baja plasticidad de consistencia blanda a muy rígida con ciertas intercalaciones donde se detectó presencia de turba y arena. En esta caracterización se hizo referencia al perfil A-A', el cual se presenta al final de las descripciones estratigráficas. Desde la Figura 21 hasta la Figura 23, se presentan las gráficas de los parámetros antes descritos. Los valores correlacionados se presentan con símbolos vacíos.

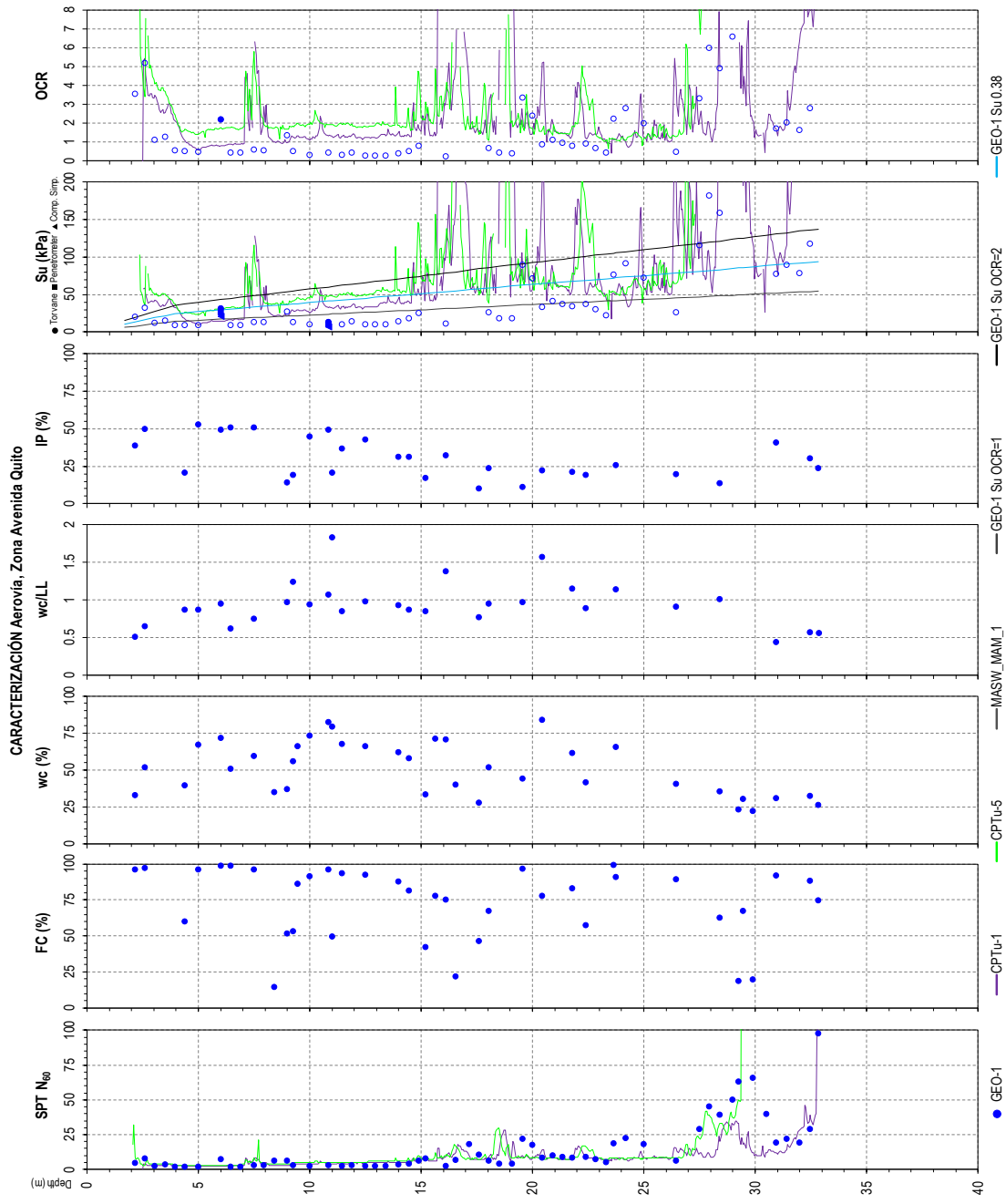


Figura 21. Caracterización de la Zona 1 - Estación (E1), contiene: Número de golpes del ensayo SPT corregido por energía (N60), Porcentaje de finos (FC%), Contenido de humedad natural (wc), Límite Líquido (LL), Índice de plasticidad (IP), Resistencia al corte no drenado (Su) de laboratorio y correlacionado y Razón de sobre consolidación (OCR) lab y correlacionado (GEOSTUDIOS, 2018).

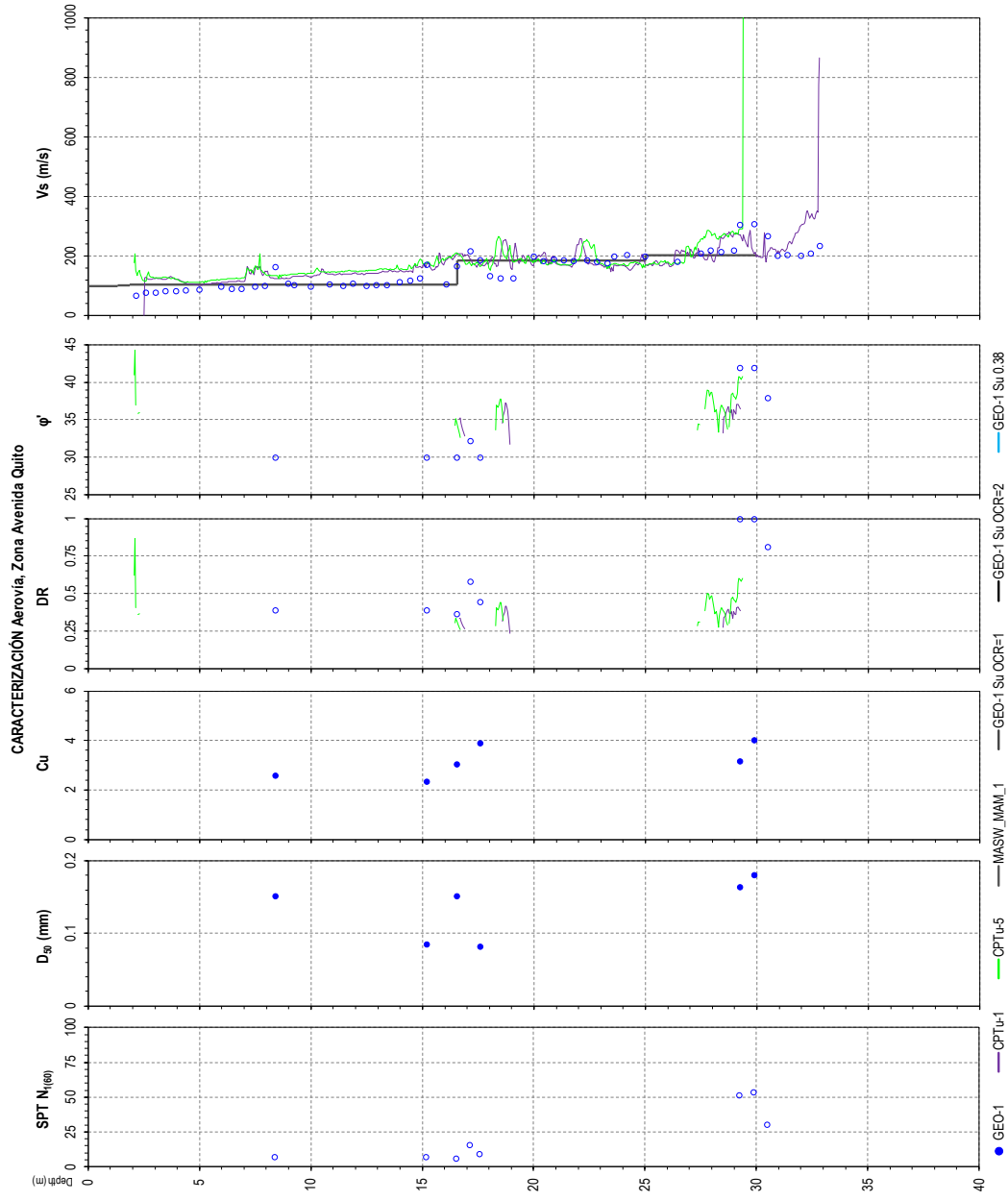
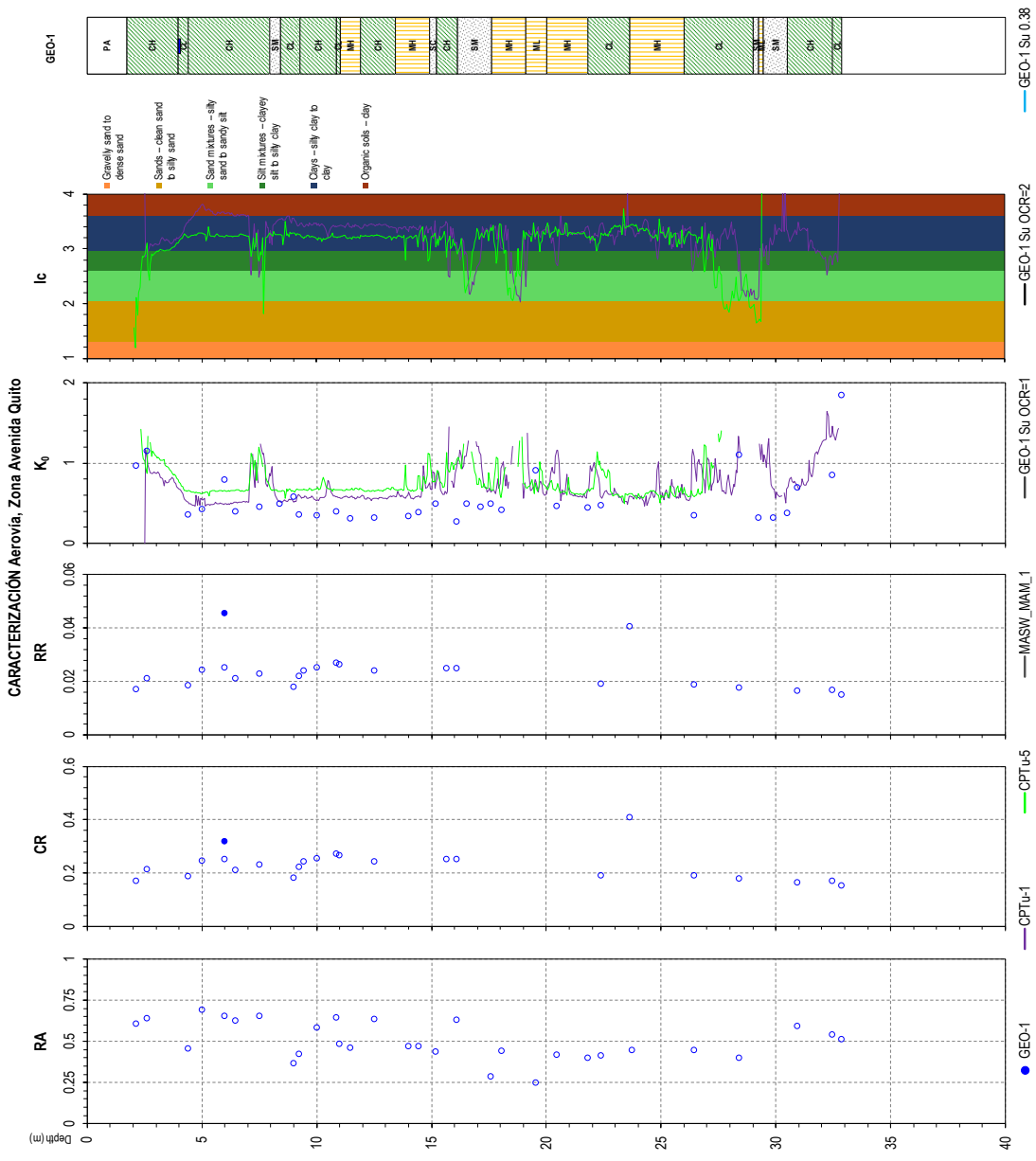


Figura 22. Caracterización de la Zona 1 - Estación (E1), contiene: Número de golpes del ensayo SPT corregido por energía (N60) para arenas, Diámetro de abertura del tamiz por el que pasa el 50% del material ( $D_{50}$ ), Coeficiente de uniformidad (Cu), Densidad relativa (DR), Angulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y Velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) (GEOESTUDIOS, 2018).



Donde: SPT N60: número del golpes corregidos por energía; FC: contenido de finos (pasante del tamiz 200); wc: contenido de humedad; LL: límite líquido; IP: índice de plasticidad; RA: actividad relativa; Sur: resistencia al corte no drenada; OCR: razón de sobre consolidación; SPTN1(60); N60 normalizado por esfuerzo de confinamiento; DR: densidad relativa; D50: diámetro de partícula 50% pasante; Cu: coeficiente de uniformidad; φ': ángulo de fricción efectivo; Ko: coeficiente de presión lateral; Ic: índice de comportamiento del suelo (SBTn CPTu).

Figura 23. Caracterización de la Zona 1 - Estación (E1), contiene: Actividad relativa (RA), Relación de compresión (CR), Relación de recompresión (RR), Coeficiente de presión lateral del suelo (K<sub>0</sub>), Índice de comportamiento de tipos de suelo (Ic) (GEOESTUDIOS, 2018)).

## ***II. Zona 2 – Estación E2 (Plaza Julián Coronel)***

La zona 2, se encuentra superficialmente un relleno compuesto por arenas limosas de color amarillo claro y gravas limosas de color amarillo oscuro a marrón claro, seguido de un estrato arcilloso de consistencia muy blanda a firme. Bajo el estrato arcilloso se identificó un estrato de limos y arcillas de baja plasticidad de consistencia muy blanda.

Seguidamente, se identificó un estrato compuesto por arenas y gravas limosas de color gris oscuro a gris claro de compacidad medianamente densa a muy densa. Finalmente, a partir de la cota -7.0 msnm se encontraron intercalaciones de arena y fragmentos de lutita que corresponden a materiales coluviales de la Fm. Guayaquil.

Estas intercalaciones se identificaron hasta la cota -14.5 msnm en donde se identificó fragmentos de arenisca, que están relacionados a materiales coluviales provenientes de la formación Cayo.

En esta caracterización se hizo referencia al perfil B-B', el cual se presenta al final de las descripciones estratigráficas. Desde de la Figura 24 a la 26, se presentan las gráficas de los parámetros antes descritos. Los valores correlacionados se presentan con símbolos vacíos.

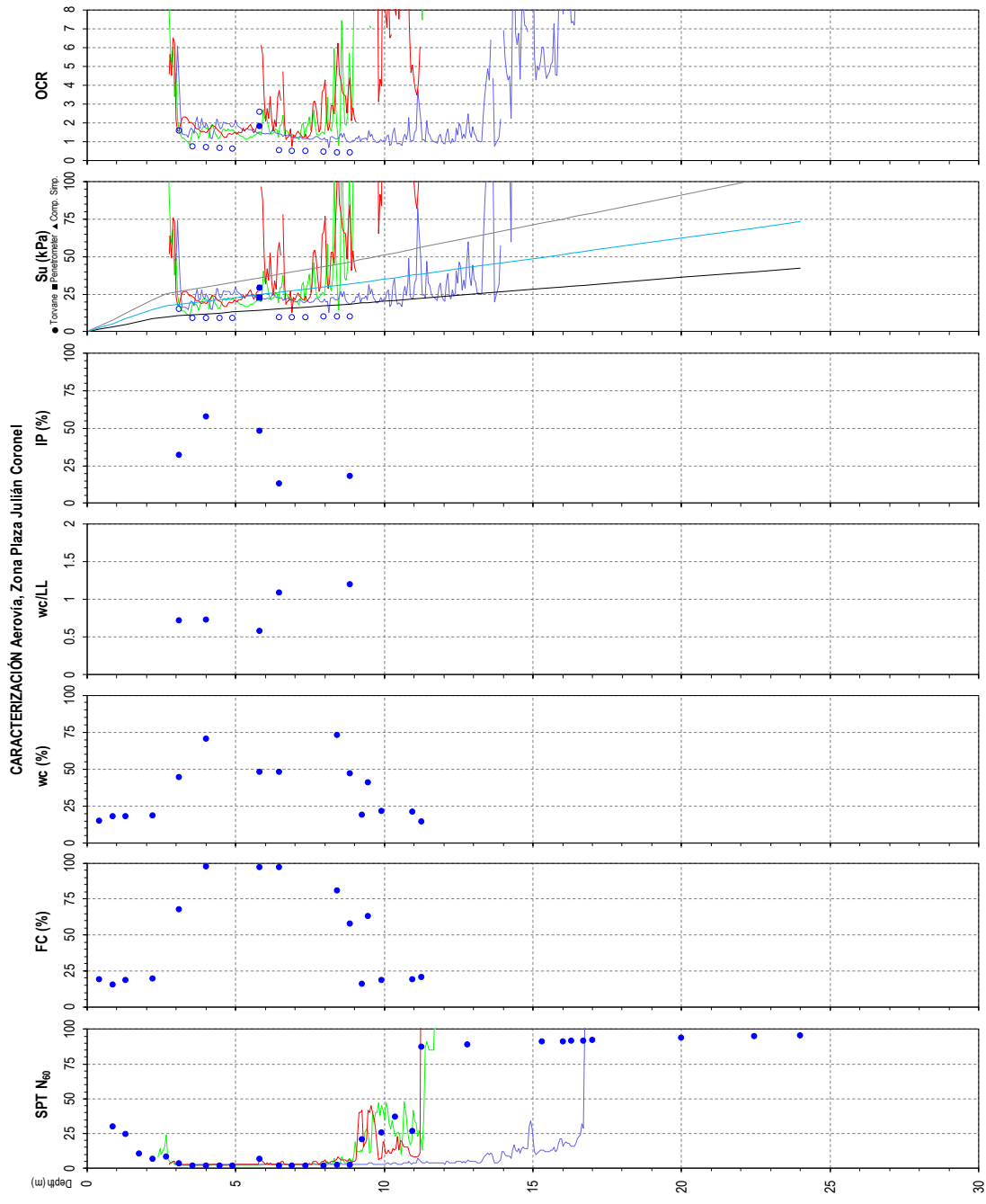


Figura 24. Caracterización de la Zona 2 – Estación (E2), contiene: Número de golpes del ensayo SPT corregido por energía (N60), Porcentaje de finos (FC%), Contenido de humedad natural (wc), Límite Líquido (LL), Índice de plasticidad (IP), Resistencia al corte no drenado (Su) de laboratorio y correlacionado y Razón de sobre consolidación (OCR) lab y correlacionado (GEOESTUDIOS, 2018).

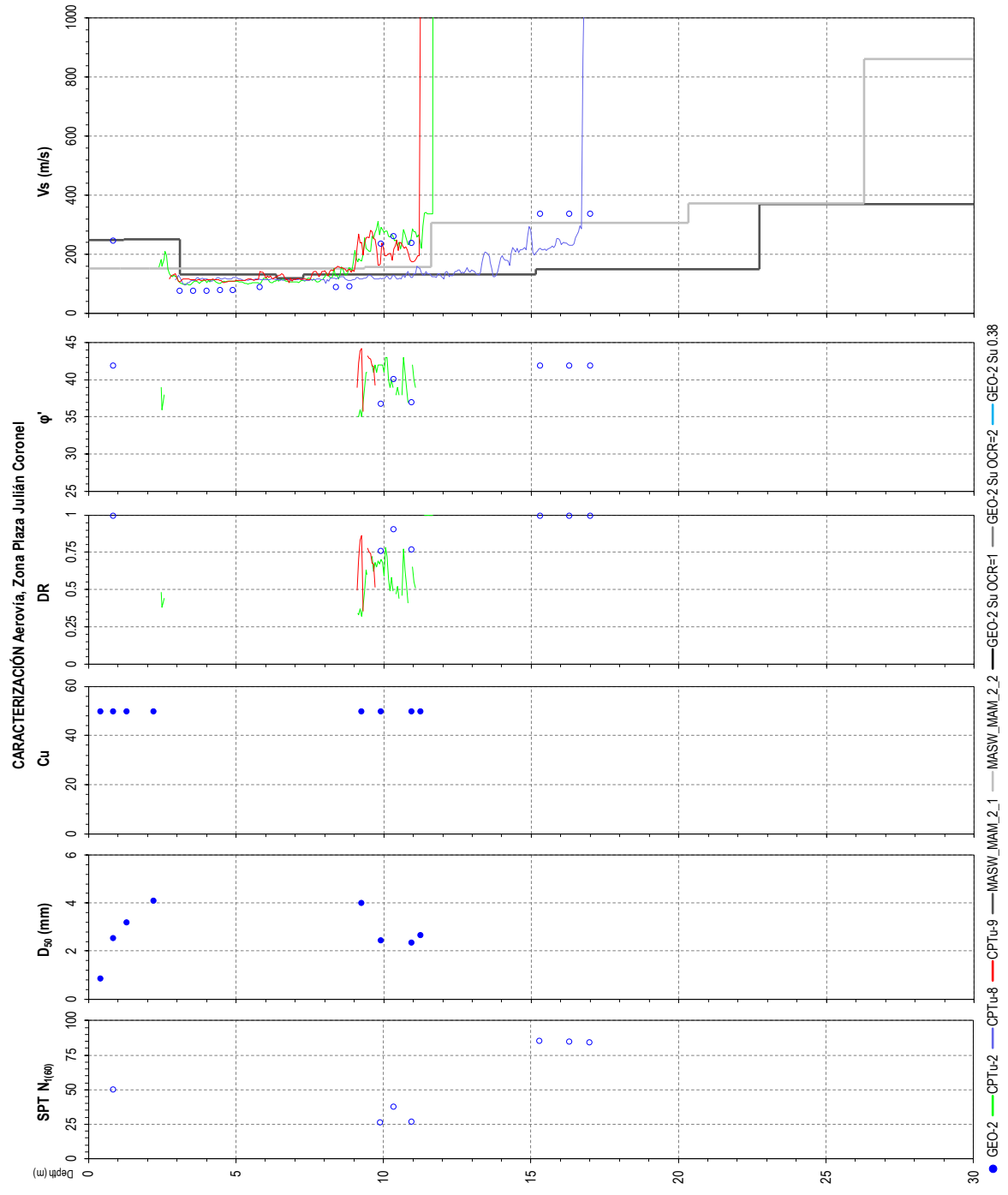


Figura 25. Caracterización de la Zona 2 – Estación (E2), contiene: Número de golpes del ensayo SPT corregido por energía (N60) para arenas, Diámetro de abertura del tamiz por el que pasa el 50% del material ( $D_{50}$ ), Coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ), Densidad relativa ( $DR$ ), Ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y Velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) (GEOESTUDIOS, 2018).



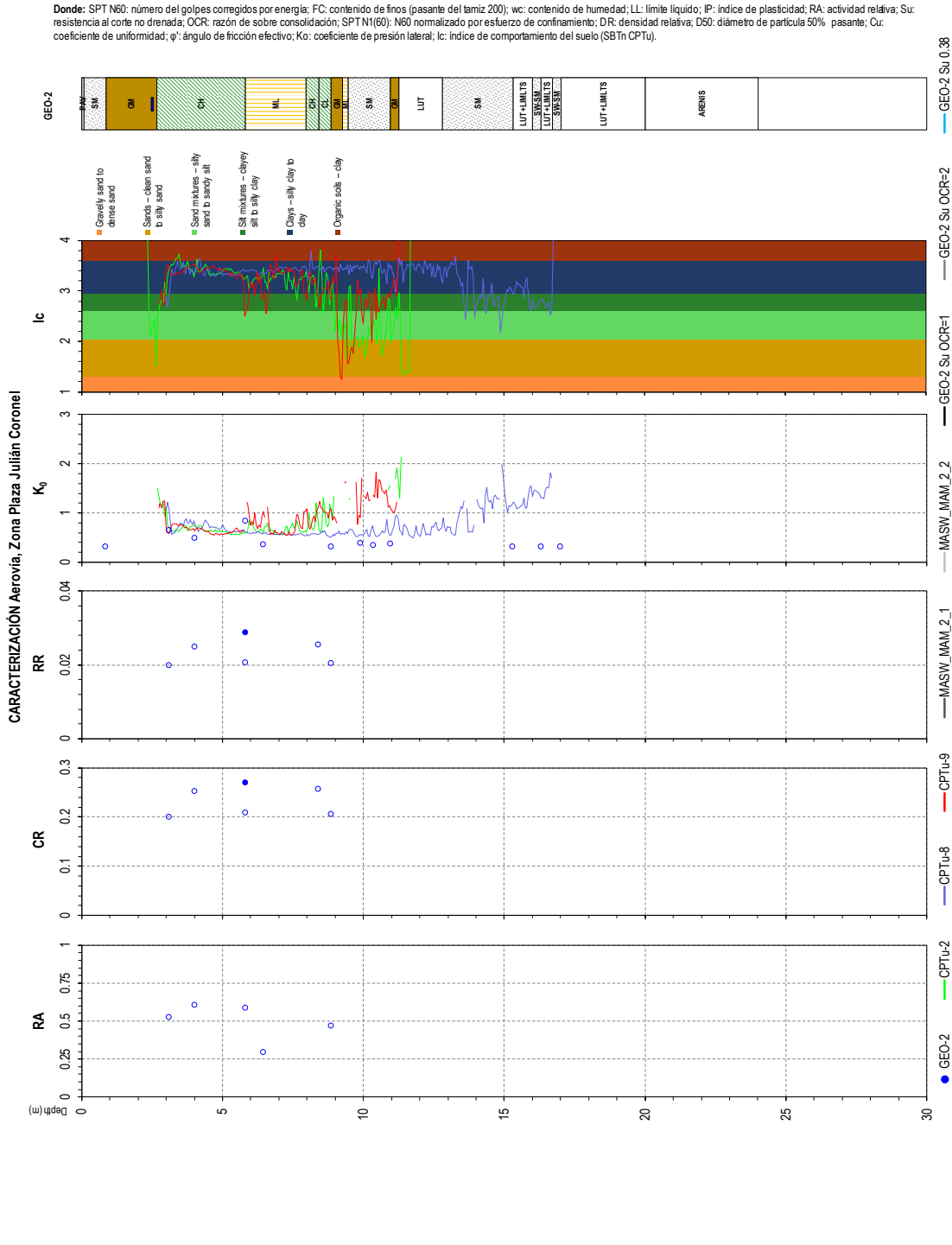


Figura 26. Caracterización de la Zona 2 – Estación (E2), contiene: Actividad relativa (RA), Relación de compresión (CR), relación de recompresión (RR), Coeficiente de presión lateral del suelo ( $K_0$ ), Índice de comportamiento de tipos de suelo ( $I_c$ ) (GEOESTUDIOS, 2018).

En la Figura 29 y Figura 30, se presentan los perfiles geotécnicos elaborado para el presente proyecto para las estaciones E1 (Parque Centenario), E2 (Plaza Julián Coronel), respectivamente, los mismos que se realizaron para identificar y caracterizar las series estratigráficas.

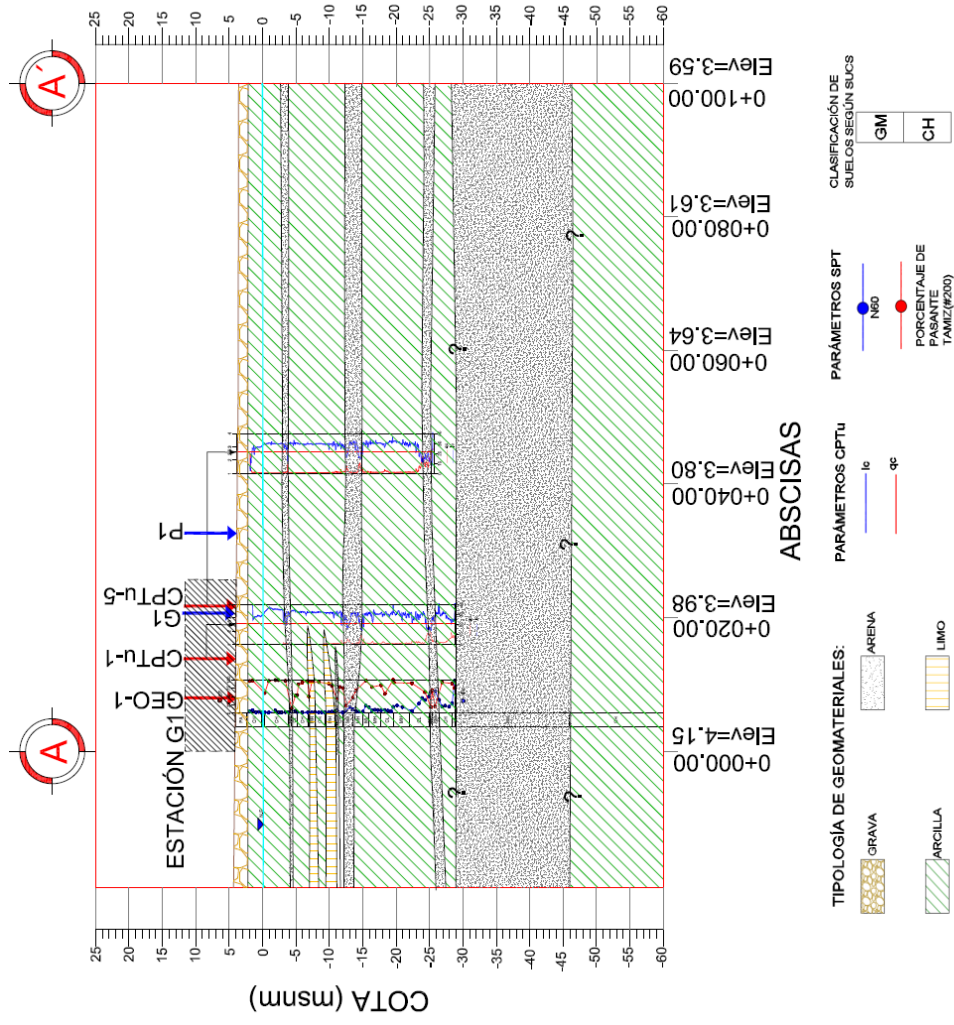


Figura 27. Perfil Geotécnico A-A 'Estación (E1)' (Abscisa 0+000 a 0+100) (GEOESTUDIOS, 2018).

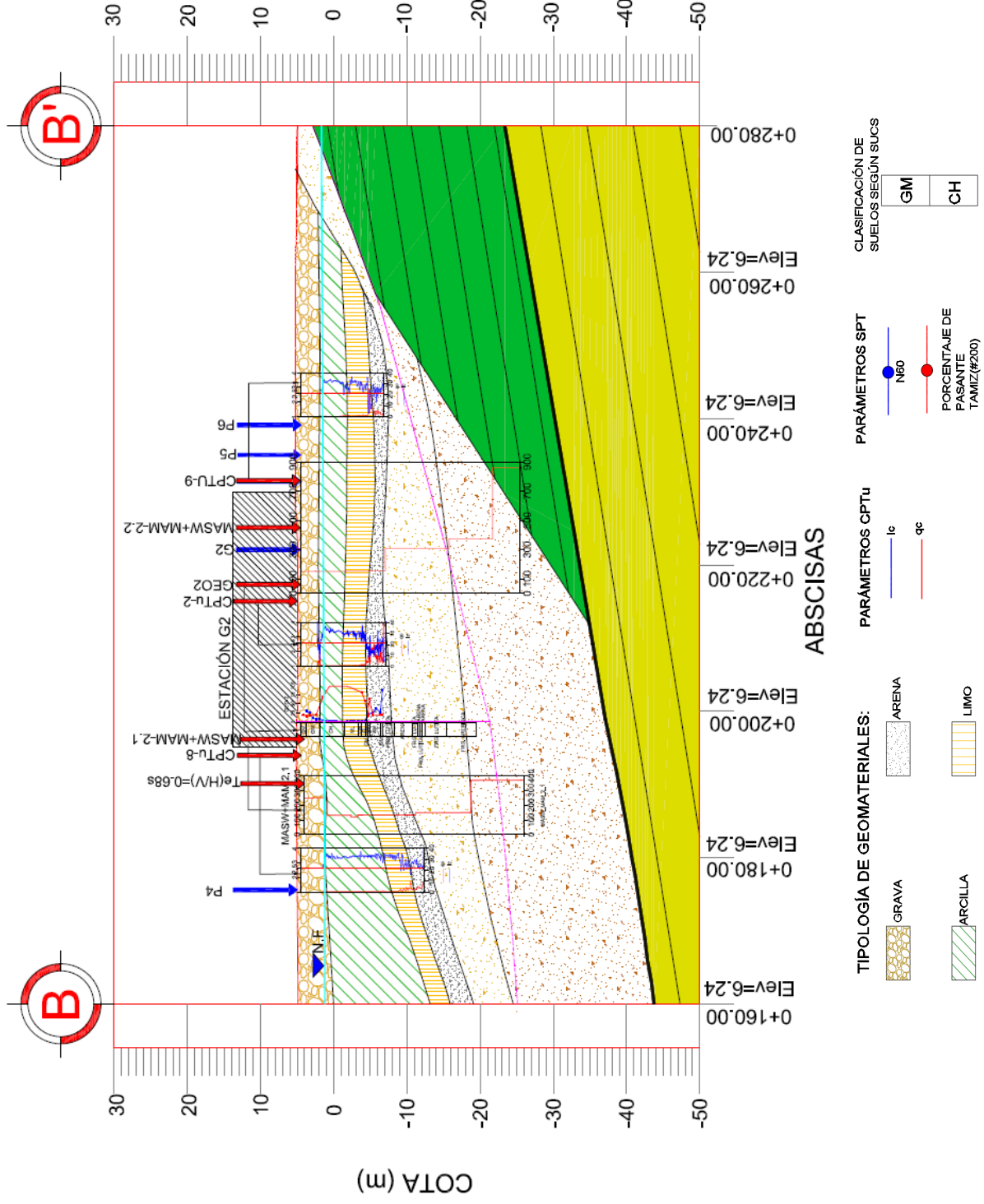


Figura 28. Perfil Geotécnico B-B' "Estación (E2)" (Abscisa 0+160 a 0+280) (GEOESTUDIOS, 2018)

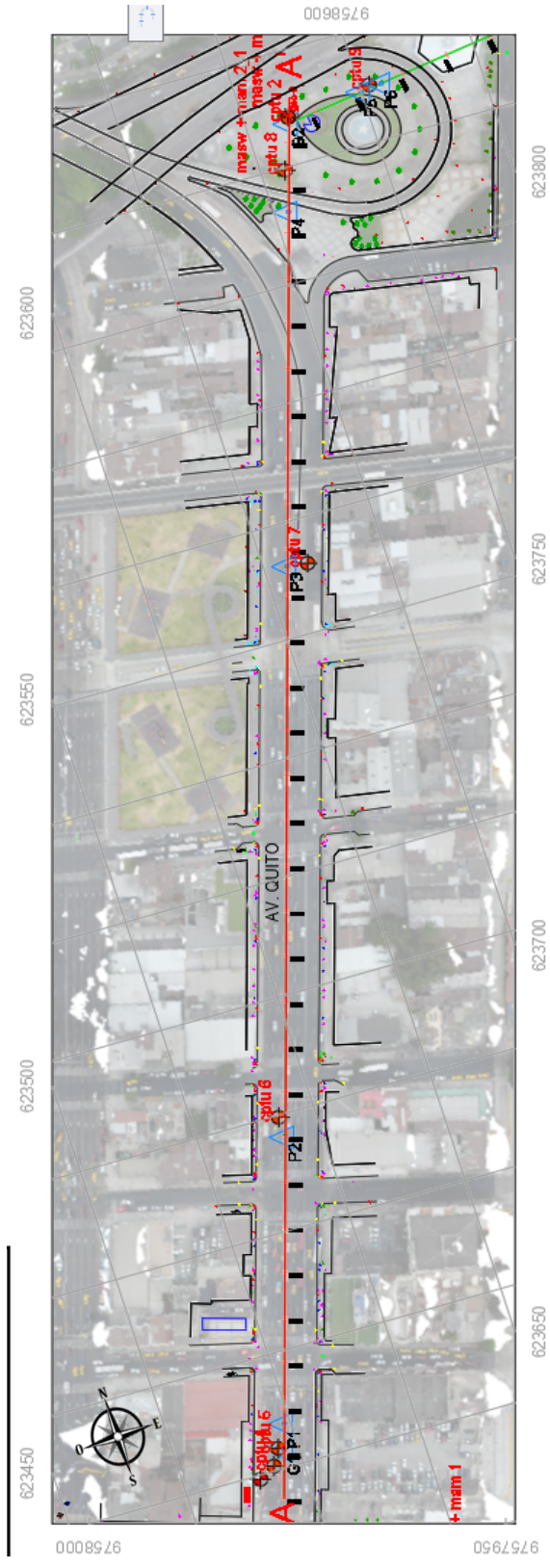


Figura 29. Implantación Perfil geotécnico A-A'-Tramo 1: Estación "Parque Centenario" /Estación "Plaza Julián Coronel" (GEOESTUDIOS, 2018).

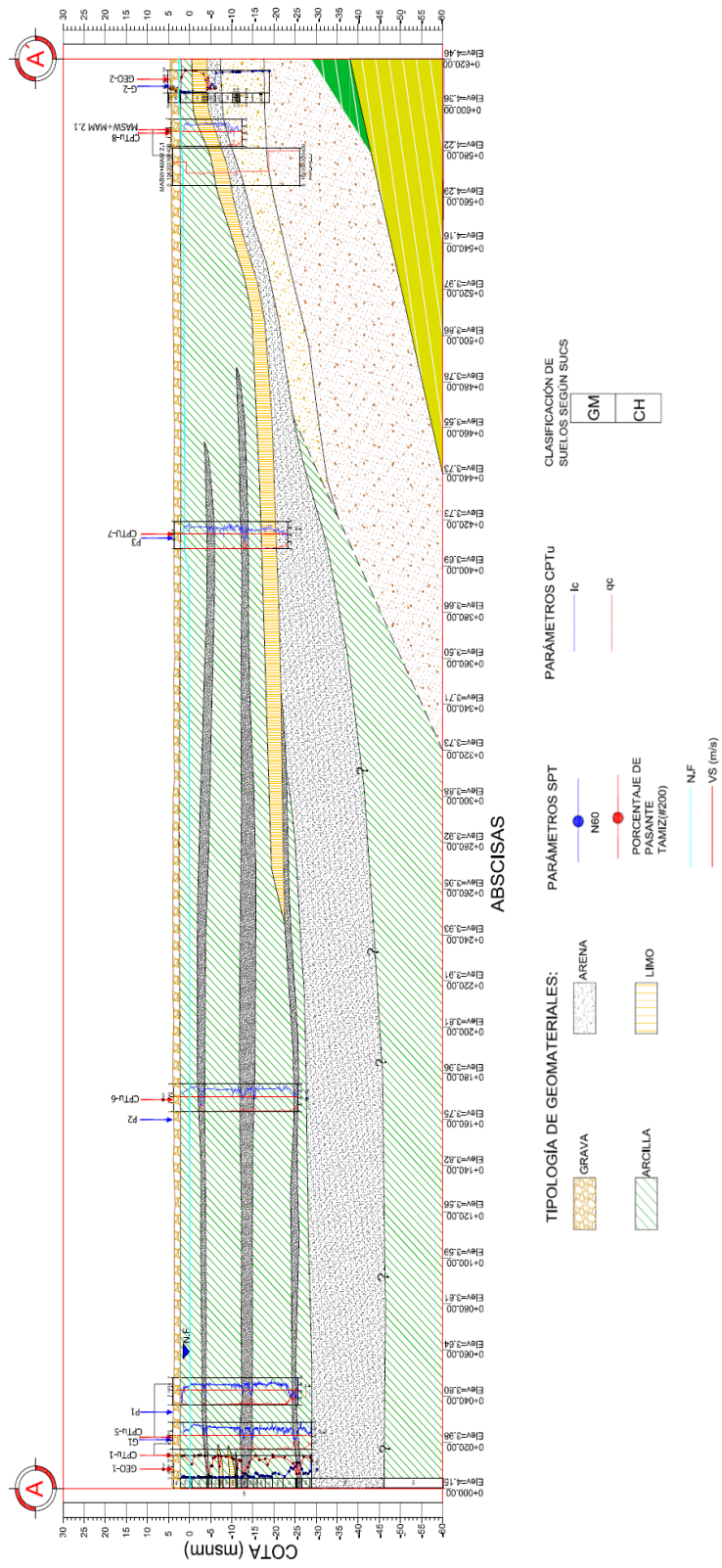


Figura 30. Perfil Geotécnico A-A' Tramo 1: Estación "Parque Centenario" / Estación "Plaza Julián Coronel" (Abscisa 0+000 a 0+620) (GEOESTUDIOS, 2018).

### 3.1.2. Parámetros de entrada y consideraciones generales adoptadas en el análisis de respuesta de sitio

#### 3.1.2.1. Definición del espectro de diseño en ROCA y desagregación del Espectro de Peligro Uniforme (UHS) para $Tr=475$ años

URS Corporation (2007) realizó un análisis de peligro sísmico probabilístico para un proyecto en la ciudad de Guayaquil. Este estudio presenta un espectro de peligro uniforme (UHS) para condiciones de roca dura para un período de retorno ( $Tr$ ) de 475 años, línea verde Figura 32. También, URS presentó una desagregación de las ordenadas espectrales del UHS, para períodos espectrales;  $T = 0$  (PGA),  $T = 1, 1.5$  y 2 segundos (Figura 31).

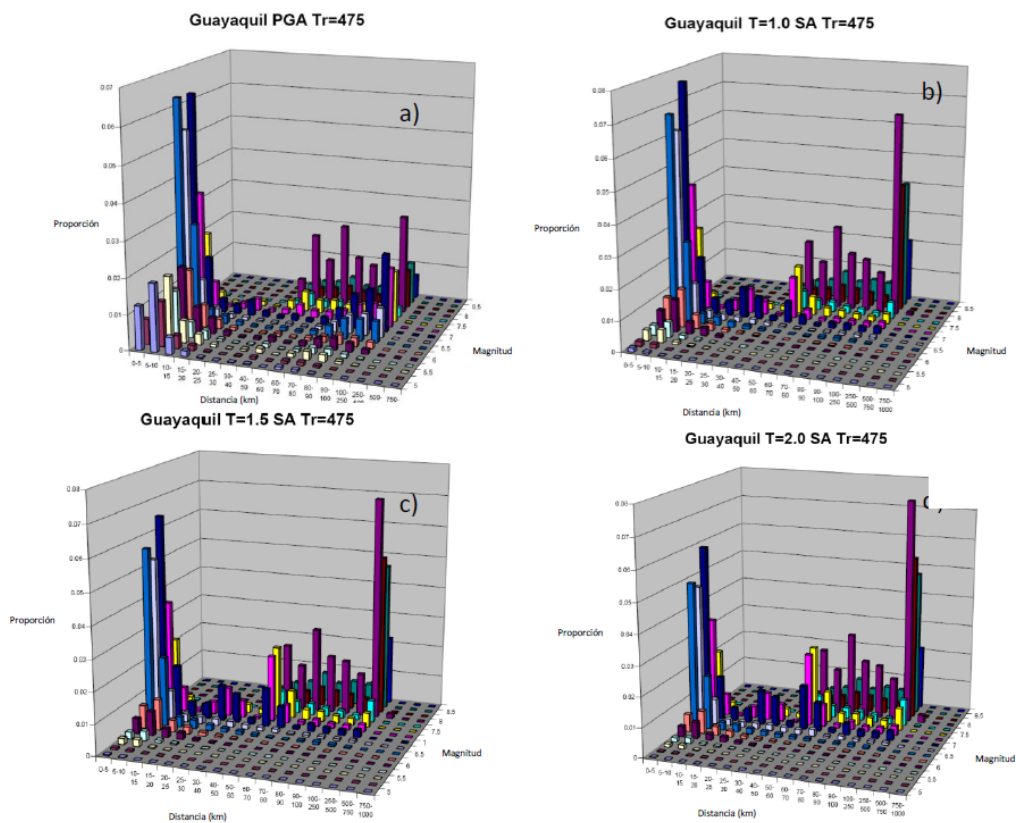


Figura 31. Guayaquil (URS Corporation, 2007) ROCA  $Tr=475$  años

Se puede observar en la Figura 32 que el espectro de peligro uniforme (UHS) tiene valores similares a las ordenadas espectrales del espectro de diseño de NEC (2015), aunque el valor de la PGA es de 0.40 y 0.32 para el UHS de la NEC y de URS, respectivamente.

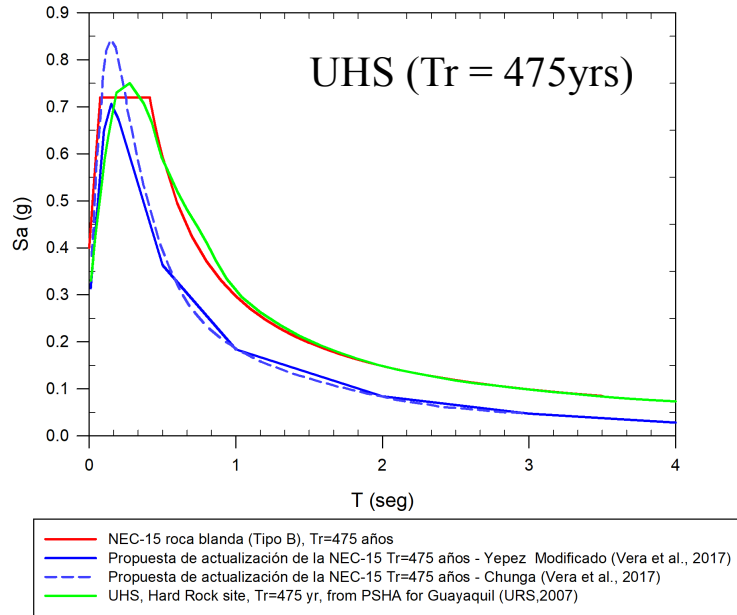


Figura 32. Comparación entre el espectro de respuesta de diseño para roca blanda NEC (2015), UHS, y dos propuestas de actualización del NEC para roca dura,  $\zeta = 5\%$ .

### 3.1.2.2. Curvas normalizadas de degradación del módulo de corte y amortiguamiento dependientes de la deformación.

Las curvas dinámicas para materiales friccionantes se generaron a partir del modelo de Menq (2003), el cual posee como parámetros de entrada el coeficiente de uniformidad  $C_u$ , el coeficiente de presión lateral ( $K_o$ ), el número de ciclos de carga ( $N$ ) y el diámetro de partícula 50% pasante ( $D_{50}$ ).

La generación de las curvas dinámicas para los geomateriales finos se realizó en base al modelo propuesto por Darendeli (2001). Este modelo requiere como parámetros de entrada el índice de plasticidad (IP), la relación de sobre consolidación (OCR), el número de ciclos de carga ( $N$ ) y la frecuencia ( $f$ ).

Es de suma importancia recalcar que para el cálculo de las curvas dinámicas usando el método propuesto por (Darendeli, 2001) se empleó un valor de OCR de 80 logrando a

partir del mismo simular el efecto de cementación de las arcillas de Guayaquil (Vera Grunauer, 2014). Mientras que para el cálculo del coeficiente de presión de suelo en reposo se mantuvo el valor de OCR de que fue lo observado en la caracterización geotécnica.

### 3.1.2.3. Consideraciones específicas para los análisis de tipo no lineal (NL)

Se empleó para las curvas dinámicas de los geomateriales el ajuste mejorado propuesto por (Phillips, 2013) para obtener el mejor ajuste posible con la curva de amortiguamiento objetivo; tal procedimiento se encuentra implementado en el software DEEPSOIL y el procedimiento en general se denomina MRDF-UIUC para la solución de Phillips. Adicionalmente, en los análisis de tipo no lineales se consideró el modelo constitutivo General Cuadrático (GQ/H) (Groholski et al., 2016) para definir la curva esqueleto esfuerzo-deformación inicial.

### 3.1.2.4. Estimación de la profundidad y velocidad de onda de corte del semi espacio

Se muestra en la Figura 34 los resultados de la estimación del periodo elástico del subsuelo a partir del método de Nakamura. Se muestran los ensayos NAKAMURA 1, 2\_1 utilizados en los análisis ARS Parque Centenario y ARS Plaza Julián Coronel, respectivamente.

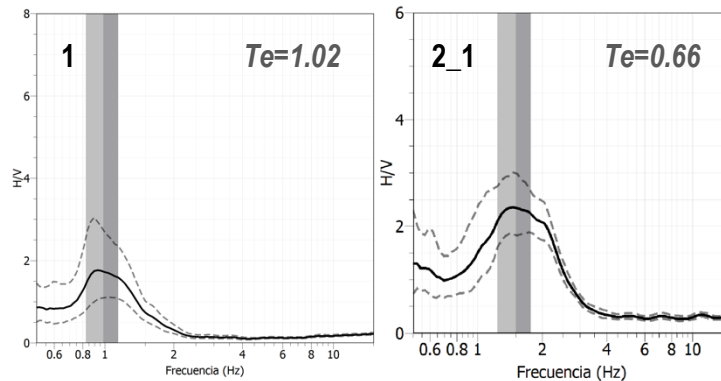


Figura 33. Estimación del periodo elástico ( $T_e$ ) del subsuelo a partir del método de Nakamura (NAKAMURA 1, 2\_1) (GEOESTUDIOS, 2018).



En la Tabla 8 se presenta la estimación de la profundidad del semi espacio a partir de los resultados de los ensayos de NAKAMURA (Te) y MASW\_MAM (Vs) de acuerdo a distintos métodos, incluyendo el presentado en el documento de la MICRO-GYE a partir del periodo elástico del sitio (Vera Grunauer, 2014), el cual se lo presenta en la Figura 35.

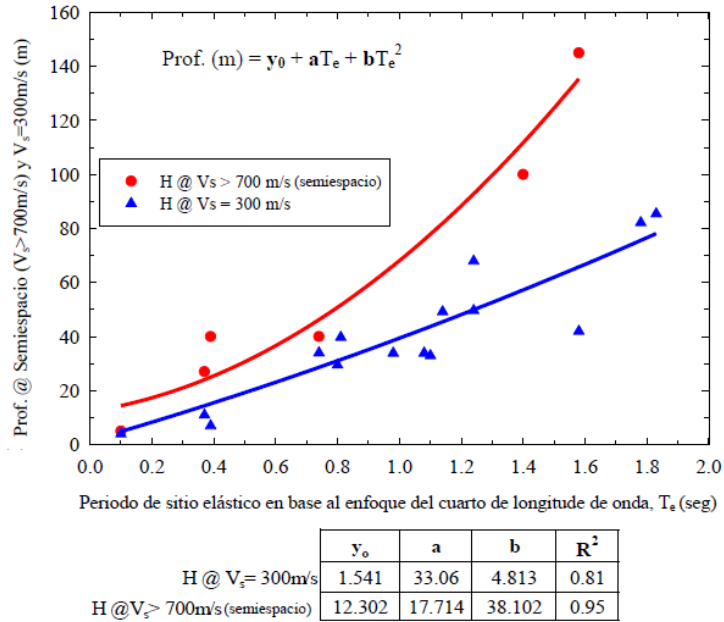


Figura 34. Curvas de tendencia entre la profundidad del semi espacio – periodo elástico (curva roja) y la profundidad donde  $V_s=300\text{ m/s}$  – periodo elástico (curva azul) (GEOESTUDIOS, 2018).

Tabla 8. Estimación de la profundidad del semi-espacio (MASW\_MAM 1, 2\_1 y 4).

ID	f0 (H/V)	Te (H/V)	Vs ponderado (m/s), $V_s^* = \frac{\sum(V_{si} \cdot d_i)}{\sum(d_i)}$	Estimated halfspace depth (m), $H = (V_s^*)(T_e)/4$	Micro GYE	
					Estimated halfspace depth (m), H @ $V_s > 300\text{ m/s}$	Estimated halfspace depth (m), H @ $V_s > 700\text{ m/s}$
MASW_MAM_1	0.980	1.020	143.15	<b>36.50</b>	<b>40.27</b>	<b>70.01</b>
MASW_MAM_2_1	1.515	0.660	206.61	<b>34.09</b>	<b>25.46</b>	<b>40.59</b>
MASW_MAM_4	1.163	0.860	195.86	<b>42.11</b>	<b>33.53</b>	<b>55.72</b>

A partir de los resultados de la Tabla 8 y teniendo en cuenta otras consideraciones como el carácter geotécnico y geológico de los sitios se procedió definir la profundidad y la velocidad de onda de corte adoptada para el semi espacio como se muestra en la Tabla 9.

Para el caso de la E1, se adoptó el semi espacio a la profundidad de 145 m, que corresponde al semi espacio definido para la estación Ramón Unamuno (ERU), cercano a esta estación, a partir de una perforación profunda de 145 m (Vera et al., 2014). Para la Plaza Julián Coronel se definió el semi espacio a partir de los ensayos de geofísica de este estudio, complementándolos con la profundidad obtenida a partir del periodo elástico del sitio (Vera et al., 2014). Se consideró adicionalmente en el modelo 2D materiales de la Fm. Guayaquil y Fm. Cayo al identificarse el contacto en afloramientos cercanos.

*Tabla 9. Profundidad y velocidad de onda de corte del semi-espacio adoptada para los análisis.*

ARS	Depth (m)	Vs (m/s)	Adoptado considerando
ARS E1	145	2800	Perforación ERU hasta la ROCA z=145 m. Interpretación geotécnica-geológica (Vera, 2014)
ARS Plaza JC	55	750	Vs MASW_MAM_2_1. Te NAKAMURA_2_1. Perforación GEO-2 llegó a la ROCA. Interpretación geotécnica-geológica. Se consideró adicionalmente en el modelo 2D materiales de la Fm. Guayaquil y Fm. Cayo al identificarse el contacto en afloramientos cercanos.

### *3.1.2.5. Selección sísmica de entrada en afloramiento rocoso de acuerdo a la NEC-15*

En la Microzonificación Sísmica de Guayaquil (Vera-Grunauer, et al., 2014) se realizó una cuidadosa selección de 25 sismos de similares características a los sismos de control, esto para sismos de fuente cercana o near field (FC/NF) y para sismos de fuente lejana o far field (FL/FF). Siguiendo el procedimiento recomendado por la norma ASCE-07, se obtuvo una calibración de los factores de escala para los sismos seleccionados, conservando un factor de escala de 0.5 a 2, donde la mediana de la componente horizontal de los 25 sismos sea similar a las ordenadas espectrales del espectro de peligro uniforme (UHS) para un (Tr) de 475 años definido para Guayaquil por (URS Corporation, 2007).

### **3.1.2.5.1. Movimientos sísmicos de fallas activas cercanas (eventos de fuente cercana)**

Los sismos de fallas activas cercanas o eventos de fuente cercana deben ser elegidos de manera que sean sismológicamente compatibles con el movimiento sísmico de control de entrada en períodos cortos de la UHS.

Para estimar dichos parámetros de movimiento de tierra compatibles, los modelos de predicción de movimiento del suelo se consideraron a partir de (N. Abrahamson & Silva, 2008), (Boore & Atkinson, 2008), (Campbell & Bozorgnia, 2008), y (Chiou & Youngs, 2008).

Para  $M_W = 6.8$  y  $R_{rup}=5$  Km, la mediana de PGA para sitio de roca fue de 0.31g. Los movimientos originales fueron rotados para obtener componentes normales y paralelas con respecto a las fallas. Dentro del conjunto de movimientos modificados, la magnitud  $M_W$ , varía entre 5.7 y 7.6 con una mediana de 6.7. La distancia a la falla,  $R_{rup}$ , varía de 3 a 20.3 km con una mediana de 9 km.

La Figura 36 muestra el espectro de respuesta (5% de amortiguamiento estructural) para los 25 sismos escalados corticales (Near Field, NF), la mediana del espectro de respuesta y el espectro de respuesta de la mediana  $\pm 1\sigma$ . Se usó un procedimiento de escalado lineal para modificar la aceleración tiempo-historia de los movimientos sísmicos. El factor de escala varió de 0.6 a 1.4.

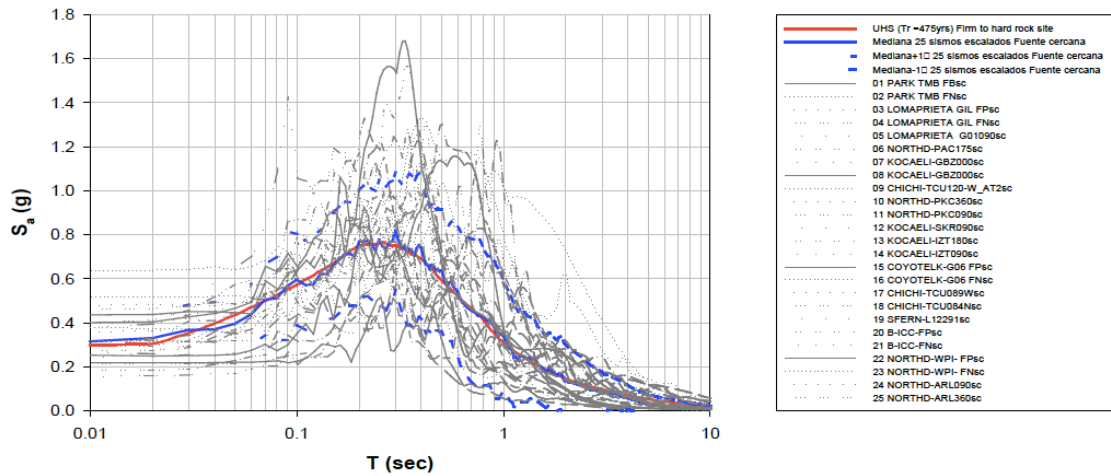


Figura 35. Espectro de respuesta de aceleración (5% de amortiguamiento estructural) para 25 movimientos sísmicos escalados (líneas grises) para sismos corticales (fuente cercana, NF), de características sismológicas similares al espectro de peligro uniforme UHS esperado, 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, la mediana y la mediana  $\pm 1$  desviación estándar de los movimientos escalados (GEOESTUDIOS, 2018).

La Tabla 10 muestra las características sismológicas de 25 movimientos sísmicos escalados de fallas activas cercanas para eventos de fuente cercana. A partir de los movimientos corticales escalados.

Tabla 10. Características sísmológicas de los movimientos sísmicos escalados de fallas activas cercanas para eventos de fuente cercana ( $T_r=475$  años).

Mov.	Sismo	Estación	#nombre	Tipo de mov.	Mecanismo	Parámetros registrados					Parámetros escalados					R (km)	Clase sismo (NEHRP)
						PGA (g)	PGV (cm/s)	Tm (seg)	D595 (seg)	Ia (cm/seg)	PGA Escalado (g)	PGV Escalado (cm/s)	Factor Escalado	Ia Escalado (cm/seg)	Mw		
	<b>Valores esperados (Mediana)</b>					<b>0.32-0.34</b>	<b>48 - 106</b>	<b>0.45-0.5</b>	<b>9.0-14.0</b>	<b>100 - 150</b>							
1	Parkfield 66-06-27	Tembler	PARKF/TMB-FP	FD	SS	0.2473	12.28	0.39	5.99	23.4	1	0.2473	12.28	23.4	6.1	9.99	B
2	Parkfield 66-06-27	Tembler	PARKF/TMB205 FN	FD	SS	0.3707	22.41	0.404	4.2	52.2	1	0.3707	22.41	52.2	6.1	10	B
3	Loma Prieta 89-10-17	Gilroy-Gavilan Coll.	LOMA PRIETA/GIL- FP	FD	OB	0.324	26.2	0.32	4.69	66.1	1.1	0.3564	28.82	79.981	7	11.6	B
4	Loma Prieta 89-10-17	Gilroy-Gavilan Coll.	LOMA PRIETA/GIL FN	FD	OB	0.441	26.03	0.35	4.77	94.43	0.9	0.3969	23.427	76.5	7	12	B
5	Loma Prieta 89-10-17	Gilroy array #1	LOMA PRIETA/G01090	FD	OB	0.473	33.86	0.387	3.68	167.9	0.6	0.2838	20.316	60.444	7	11.2	A
6	Northridge 94-1-17	Pacoima Dam (downstr)	NORTHD-PAC175	FD	R	0.415	45.08	0.45	4.34	93.5	0.7	0.2905	31.556	45.8	6.7	8	A
7	Kocaeli 99-8-17	Gezbe	KOCAELI-GBZ00	FD	SS	0.2441	50.3	0.72	7.41	54.9	1	0.2441	50.3	54.9	7.4	17	A
8	Winter Narrows 87-01-10	San Gabriel E Grand Av	WHITTIER-A-GRN180	NPL		0.304	22.79	0.5	5.1	83	1.3	0.3946	29.627	139.8	6	9	A
9	Chi-Chi, Taiwan 99-9-20	TCU120	CHICHI-TCU120-W_A12	NPL		0.225	63.17	1.055	32.61	200	1.4	0.315	88.438	392	7.6	8.1	B
10	Northridge 94-1-17	Pacoima Kagel Canyon	NORTHD-PKC360	NPL		0.433	51.23	0.64	9.84	179.3	1.1	0.4763	56.353	217.0	6.7	8	B
11	Northridge 94-1-17	Pacoima Kagel Canyon	NORTHD-PKC090	NPL		0.301	31.3	0.67	10.08	160	0.7	0.2107	21.91	78.4	6.7	8.2	B
12	Kocaeli 99-8-17	Sakarya	KOCAELI-SKR090	NPL		0.376	79.5	0.4	9.86	175.8	1	0.376	79.5	175.8	7.4	3	B
13	Kocaeli 99-8-17	Izmit	KOCAELI-IZI180	NPL		0.152	22.6	0.63	14.99	56.18	1.2	0.1824	27.12	80.892	7.4	4.8	A
14	Kocaeli 99-8-17	Izmit	KOCAELI-IZI090	NPL		0.22	29.77	0.58	13.24	81.3	0.7	0.154	20.839	39.8	7.4	5	A
15	Coyote Lake 79-08-06	Gilroy Array # 6	COYOTEK-G06FP	NPL		0.333	27.12	0.41	3.04	60.2	1.3	0.4329	35.256	101.738	5.7	3.1	B
16	Coyote Lake 79-08-06	Gilroy Array # 6	COYOTEK-G06 FN	NPL		0.45	51.537	0.62	3.42	85.22	1.4	0.63	72.1518	167.0	5.7	3	B
17	Chi-Chi, Taiwan 99-9-20	TCU089	CHICHI-TCU089W	NPL		0.333	30.9	0.46	24.12	300	1.3	0.4329	40.17	507	7.6	8.22	B
18	Chi-Chi, Taiwan 99-9-20	TCU084	CHICHI-TCU084N	NPL		0.417	45.6	0.759	23.17	386	1.1	0.4587	50.16	467.1	7.6	10	B
19	San Fernando 71-02-09	Lake Hughes #12	SPERN-L12291	NPL		0.283	12.61	0.21	11.89	78.4	0.9	0.2547	11.349	63.504	6.6	20.3	B
20	Supersition Hills (B) 87-11-24	El Centro Imp. Co. Cent	B-ICC- FP	FD	SS	0.22	36.127	0.63	17.52	73.8	1.2	0.264	43.3524	106.3	6.7	14	C
21	Supersition Hills (B) 87-11-24	El Centro Imp. Co. Cent	B-ICC- FN	FD	SS	0.308	51.89	0.81	18.83	99.8	1	0.308	51.89	99.8	6.7	14	C
22	Northridge 94-1-17	Newhall W. Pico Canyon Rd.	NORTHD-WPL- FP	FD	FD	0.357	61.25	1.25	9.76	93.7	0.6	0.2142	36.75	33.7	6.7	7	B
23	Northridge 94-1-17	Newhall W. Pico Canyon Rd.	NORTHD-WPL- FN	FD	FD	0.467	93.46	1.49	6.16	157.7	1.1	0.5137	102.806	190.817	6.7	7	B
24	Northridge 94-1-17	Arleta - Northhoff Fre Sta	NORTHD-ARL090	NPL		0.34	40.43	0.6	12.98	152.2	1.15	0.391	46.4945	201.3	6.7	9	B
25	Northridge 94-1-17	Arleta - Northhoff Fre Sta	NORTHD-ARL360	NPL		0.3	23.12	0.54	13.46	117.1	1	0.3	23.12	117.1	6.7	9.2	B
						<b>mediana =</b>	<b>0.33</b>	<b>33.86</b>	<b>0.58</b>	<b>9.84</b>	<b>93.70</b>				<b>0.32</b>	<b>35.26</b>	<b>99.80</b>

FD, Forward-Directivity ground motion (pulse-like)

NPL, Non-pulse-like ground motion

OB, Oblique Slip

SS, Strike Slip

R, Closest distance from the source

### 3.1.2.5.2. Movimientos sísmicos de subducción (eventos de fuente lejana)

Con el objetivo de seleccionar los movimientos sísmicos de terremotos de subducción o eventos de fuente lejana, se eligieron aquellos sismos que sean compatibles sismológicamente con los valores esperados del espectro de peligro uniforme. Para los 25 movimientos seleccionados, la magnitud de momento  $M_W$  varió desde 7.6 hasta 8.4 con una mediana de 8.1. La distancia  $R$  varió desde 38 hasta 300 km, con una mediana de 133 km.

La Figura 37 muestra el espectro de respuesta (5% de amortiguamiento estructural) para los 25 movimientos sísmicos escalados corticales (Near Field, NF), la mediana del espectro de respuesta y el espectro de respuesta de la mediana  $\pm 1\sigma$ . Se usó un procedimiento de escalado lineal para modificar la aceleración tiempo-historia de los movimientos sísmicos. El factor de escala varió de 0.5 a 2.

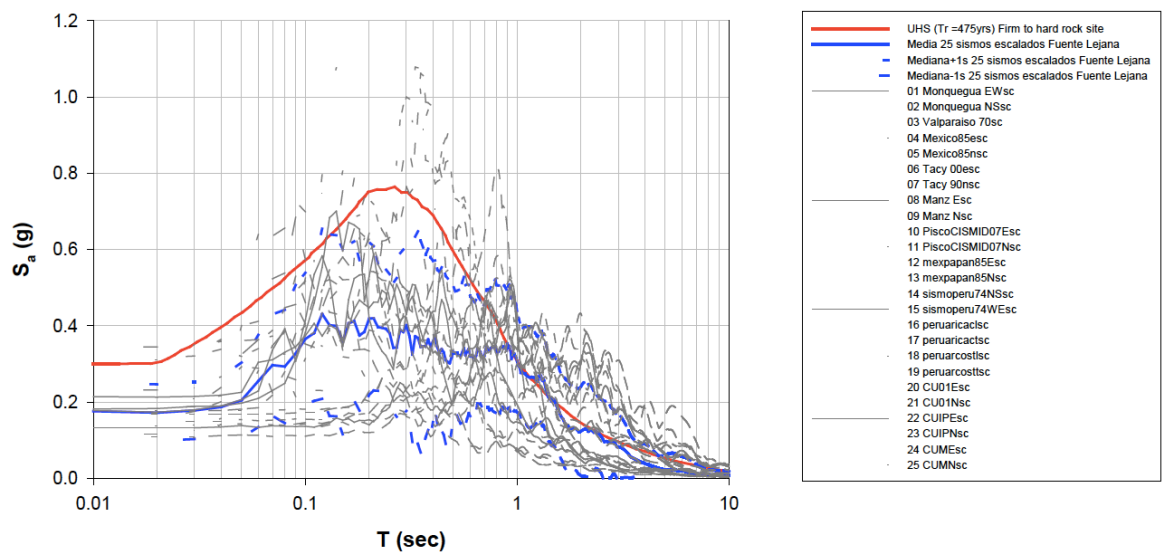


Figura 36. Espectro de respuesta de aceleración (5% de amortiguamiento estructural) para 25 movimientos sísmicos escalados (líneas grises) para sismos de subducción (fuente lejana, FF), de características sismológicas similares al espectro de peligro uniforme UHS esperado, 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, la mediana y la mediana  $\pm 1$  desviación estándar de los movimientos escalados (GEOESTUDIOS, 2018).

Las características sismológicas de los 25 movimientos sísmicos de subducción escalados (eventos de fuente lejana, FF) se muestran en la Tabla 11 para un periodo de retorno de 475 años.

Tabla 11. Características sismológicas de los movimientos sísmicos escalados de subducción para la componente horizontal de los eventos de fuente lejana ( $T_r=475$  años)

Mov	Sismo	Estación	#nombre	Parámetros registrados					Parámetros escalados				Mw	Prof (km)	R (km)	Clase Sitio (NEHRP)
				PGA (g)	PGV (cm/sec)	Tm (sec)	DS-95 (sec)	Ia (cm/sec)	PGA Factor escalado	PGA escalado (g)	Ia escalado (cm/sec)					
1	Peru 2001-06-23	Monquegua, PERU	MonqueguaEW	0.3	24.93	0.53	35.86	284	0.7	0.21	139.2	8.4	33	60	A	
2	Peru 2001-06-23	Monquegua, PERU	Monquegua NS	0.224	29.93	0.526	36.04	247	0.7	0.1568	121.0	8.4	33	60	A	
3	Chile 1985-03-03	Valparaiso, Chile	Valparaiso 70	0.178	17.16	0.42	38.94	111	1	0.178	111.0	7.9	129	129	A	
4	Mexico 1985-09-19	Caleta de Campos	Mexico85e	0.131	14.83	0.45	60.39	53.85	1.5	0.1965	121.2	8.1	15	38	A	
5	Mexico 1985-09-19	Caleta de Campos	Mexico85n	0.151	18.3	0.59	57.4	70.8	1.5	0.2265	159.3	8.1	15	38	A	
6	Mexico 1985-09-19	Tacy	Tacy 00e	0.03	11.5	1.34	56.8	5.6	5	0.15	140.0	8.1	15	300	C	
7	Mexico 1985-09-19	Tacy	Tacy 90n	0.03	8.54	1.58	62.3	5	5	0.15	125.0	8.1	15	300	C	
8	Tecoman 2003-01-22	Manzanillo Power Plant	Manz E	0.343	29.86	0.39	16.11	209	0.5	0.1715	52.3	7.6	9	50	C	
9	Tecoman 2003-01-22	Manzanillo Power Plant	Manzn	0.253	31.94	0.65	18.01	129	1	0.253	129.0	7.6	9	50	C	
10	Pisco 2007-08-15	CISMID(UAH)	PiscoCISMID07E	0.074	6.72	0.248	97.4	30.4	2	0.148	121.6	8	39	111	C	
11	Pisco 2007-08-15	CISMID(UAH)	PiscoCISMID07N	0.045	3.735	0.21	101.5	19.3	2	0.09	77.2	8	39	111	C	
12	Mexico 1985-09-19	PAPANOA	mexpapan85N	0.151	8.52	0.26	18.5	20.11	2	0.302	80.4	8.1	15	133	A	
13	Mexico 1985-09-19	PAPANOA	mexpapan85E	0.11	6.15	0.22	19.97	25.3	1	0.11	25.3	8.1	15	133	A	
14	Peru 1974-10-03	PARQUE DE LA RESERVA, LIMA	sismoperu74NS	0.166	11.89	0.28	48.34	86.69	1	0.166	86.7	7.8	13	114	B	
15	Peru 1974-10-03	PARQUE DE LA RESERVA, LIMA	sismoperu74WE	0.177	18.6	0.36	47.9	120	1	0.177	120.0	7.8	13	114	B	
16	Peru 2001-06-23	Arica Casa, CHILE	peruaricae	0.262	24.19	0.63	23.65	142	1	0.262	142.0	8.4	33	170	C	
17	Peru 2001-06-23	Arica Casa, CHILE	peruaricae	0.308	26.88	0.43	24	169	1	0.308	169.0	8.4	33	170	C	
18	Peru 2001-06-23	Arica Costanera, CHILE	peruaricost	0.34	27.45	0.55	20.52	141	1	0.34	141.0	8.4	33	170	C	
19	Peru 2001-06-23	Arica Costanera, CHILE	peruaricost	0.282	23.56	0.54	23	124	1.2	0.3384	178.6	8.4	33	170	C	
20	Mexico 1985-09-19	CU01, Lab Inst. Sismica-UNAM	CU01E	0.033	7.94	1.6	57.15	6.5	4	0.132	104.0	8.1	15	300	B	
21	Mexico 1985-09-19	CU01, Lab Inst. Sismica-UNAM	CU01N	0.026	8.97	1.7	64.6	6	4	0.104	96.0	8.1	15	300	B	
22	Mexico 1985-09-19	CUIP, Jardín Lab. Suelos, UNAM	CUIPE	0.032	7.76	1.54	47.5	5.9	4	0.128	94.4	8.1	15	300	B	
23	Mexico 1985-09-19	CUIP, Jardín Lab. Suelos, UNAM	CUIPN	0.027	9.04	1.72	48.44	6.2	4	0.108	99.2	8.1	15	300	B	
24	Mexico 1985-09-19	CUM, Mesa Vibradora, UNAM	CUME	0.036	9.7	1.45	44.57	4.9	4	0.144	78.4	8.1	15	300	B	
25	Mexico 1985-09-19	CUM, Mesa Vibradora, UNAM	CUMN	0.033	9.19	1.49	41.59	6.1	4	0.132	97.6	8.1	15	300	B	
			<b>mediana</b>	<b>0.151</b>	<b>13.36</b>	<b>0.54</b>	<b>46.035</b>	<b>62.3</b>		<b>0.17</b>	<b>120.0</b>	<b>8.4</b>	<b>39</b>	<b>300</b>		

R= Distancia más cerca de la fuente

### 3.1.2.6. Escalamiento/ajuste de registros sísmicos con RSPMatch09

Debido a lo costoso en cuanto a tiempo que representa un análisis de tipo 2D para cada uno de los 25 sismos de fuente cercana y 25 sismos de fuente lejana, se procedió a escoger y escalar/ajustar un sismo representativo de fuente cercana (24/11/87 estación “El Centro”) y un sismo representativo de fuente lejana (16/04/16 estación “UCSG”) considerando como “target” la mediana 25 sismos escalados de entrada FC y, respectivamente. Los sismos seleccionados y sus características se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Sismos representativos seleccionados para optimizar el análisis 2D; características sísmológicas “as recorded” y escaladas

Type	As recorded										RSP Matched							
	Date	Station	Vs30 (m/s)	M <sub>w</sub>	R (km)	Direction	PGA (g)	PGV (cm/s)	Tm (s)	TP (s)	D5-95 (s)	Ia (cm/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	Tm (s)	TP (s)	D5-95 (s)	Ia (cm/s)
FF	16/04/16	UCSG	1214	7.8	283.9	EW	0.034	3.430	0.449	0.320	37.970	3.898	4.134	24.256	0.551	0.200	36.500	104.691
						NS	0.026	2.160	0.387	0.180	40.290	2.088	5.448	20.887	0.537	0.200	36.940	93.106
NF	24/11/87	El Centro	360-760	6.7	14	FP	0.268	43.352	0.629	0.180	17.525	106.287	1.318	24.702	0.492	0.200	17.880	172.398
						FN	0.308	51.891	0.820	0.220	18.835	99.893	1.152	31.040	0.533	0.280	14.205	129.361

En la Figura 38 se muestran los espectros obtenidos con RSPMatch09 para FC y FL. Se puede apreciar el excelente ajuste entre la Mediana sismos esc. de entrada “25 FC + 25 FL” y la mediana sismos esc. de entrada (Rsp match) “2 FC + 2 FL”. En la Figura 39 y Figura 40 se muestra a mayor detalle el escalamiento individual para el sismo de fuente cercana y fuente lejana, respectivamente.



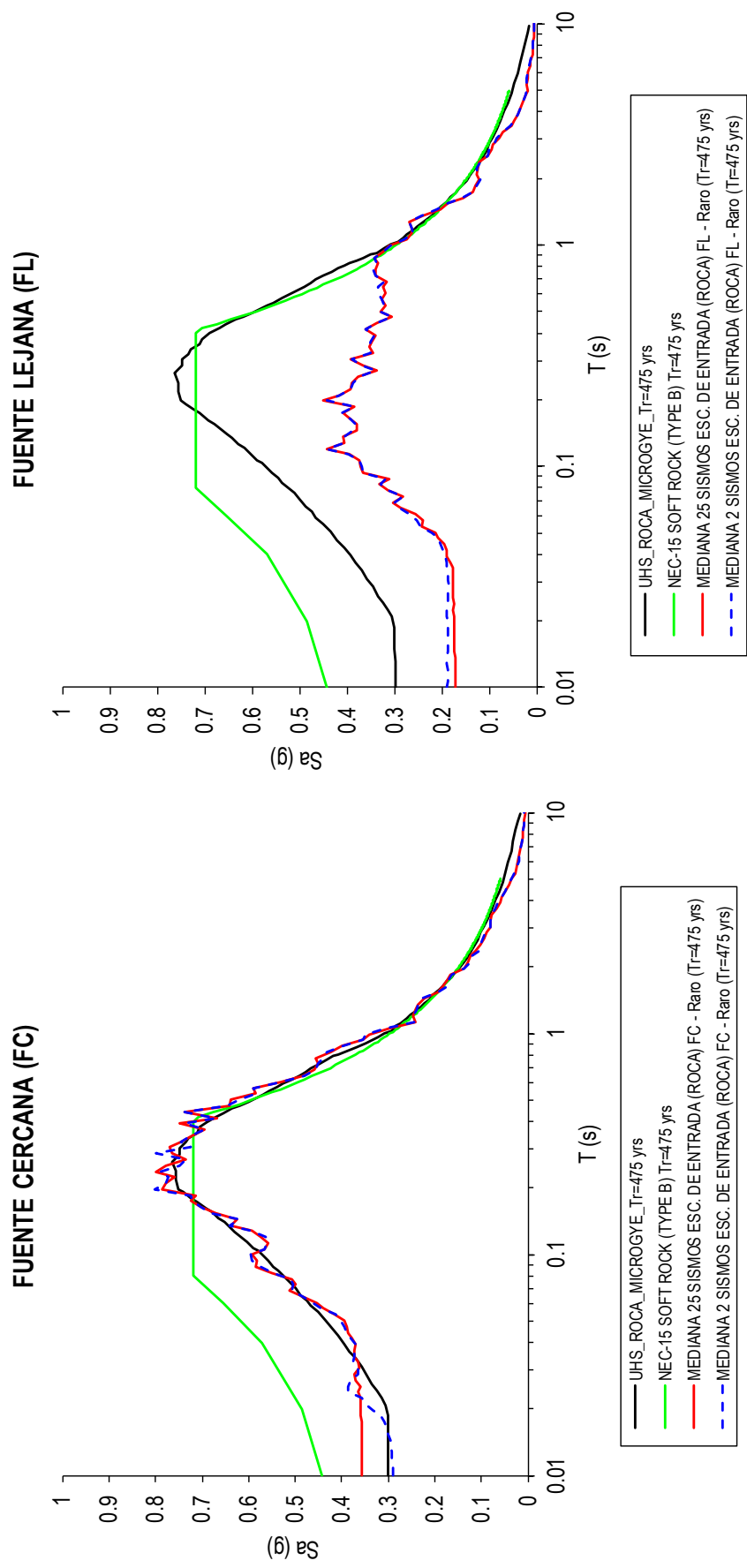


Figura 37. Comparación de espectros obtenidos para FC y FL por medio del escalamiento con RSPMatch09 (GEOESTUDIOS, 2018).

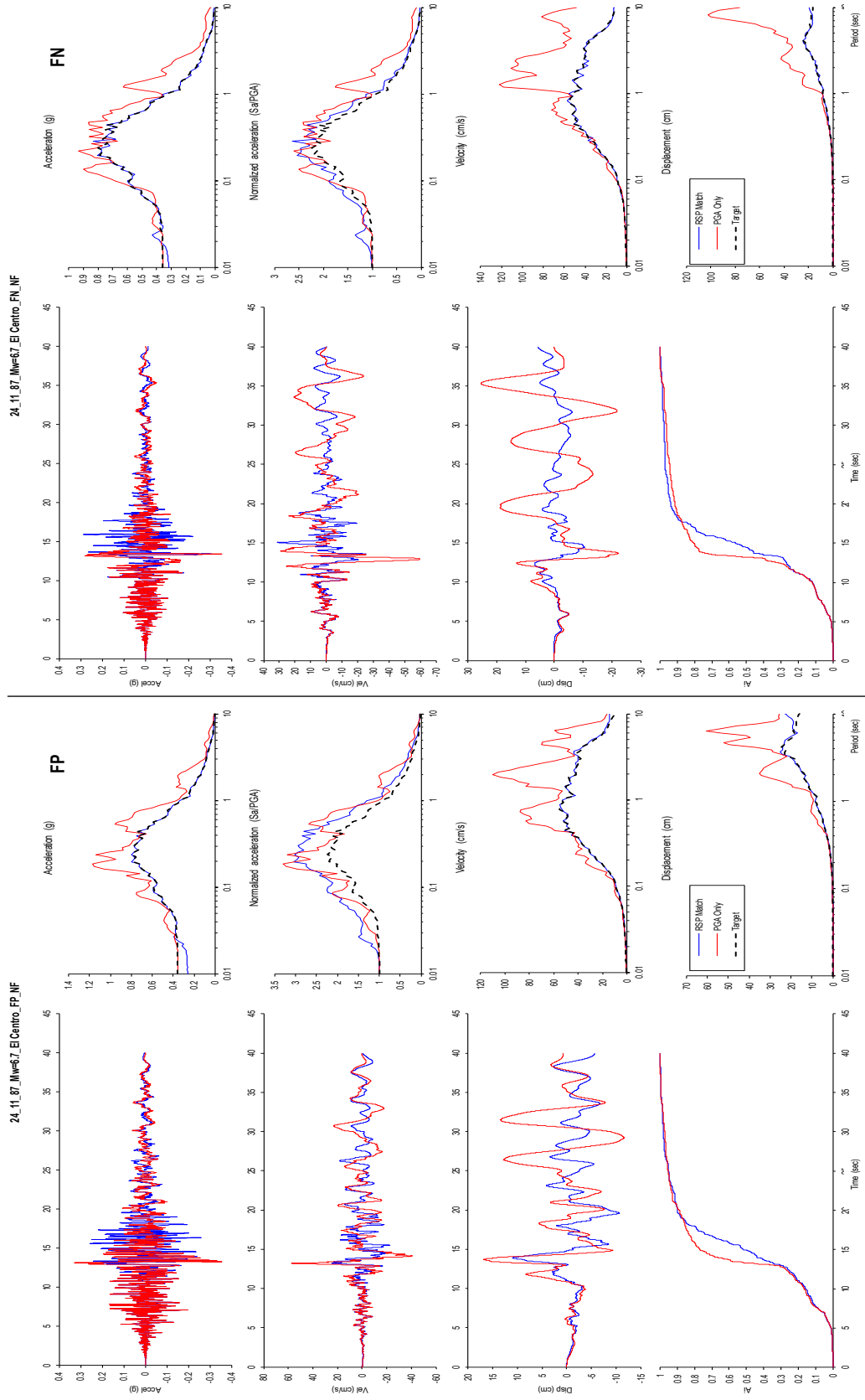


Figura 38. Escalamiento realizado del sismo de Fuente Cercana (FC) 24/11/1987 Superstition Hills, California; estación El Centro (GEOESTUDIOS, 2018).

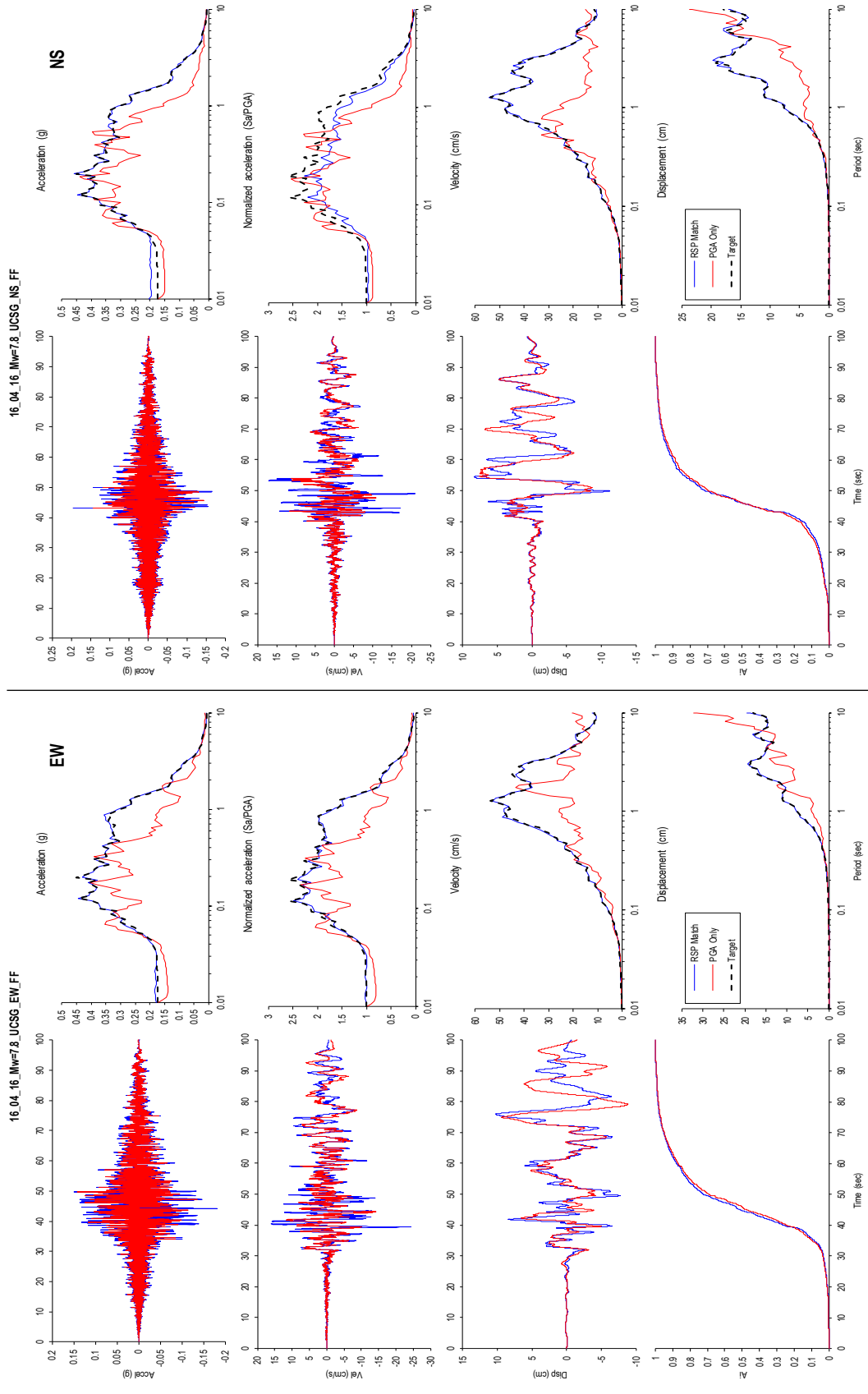


Figura 39. Escalamiento realizado del sismo de Fuente Lejana (FL) 16/04/2016 Muisne, Ecuador; estación UCSCG (GEOESTUDIOS, 2018).

### **3.1.3. Parámetros de entrada adoptados: ARS Estación E1 - Parque Centenario**

En el sitio de la estación E1 se encontraron arcillas blandas de gran espesor, similar a lo que reportan los ensayos CPTu de los elementos P1 (CPTu-5) y P2 (CPTu-6) cercanos ubicados en la avenida Quito, es por esto que a estos elementos se les asignaron los mismos resultados obtenidos en el presente análisis.

#### *3.1.3.1. Modelo de columna de suelo adoptado*

En la Tabla 13 se presenta el resumen de las propiedades mecánicas adoptadas para definir los parámetros necesarios para el ARS. Estas propiedades fueron definidas en base a los resultados de la caracterización geotécnica del sitio, tal como se mencionan en la sección previa y son todas propiedades de entrada necesarias para el correcto modelamiento mecánico de la columna de suelo.

Con el propósito de completar la información geotécnica del sitio, debido a que solo se exploró hasta los 32 m. de profundidad, se adoptó a partir del MAT 11 en la Tabla 13 las propiedades definidas en la MICRO-GYE para el sitio “Estadio Ramón Unamuno” cercano al proyecto ( $\approx 1.5$  km.) y se ubica dentro de la misma zona geotécnica D-3a.

En el Apéndice A-4 adjunto se presenta la tabla completa, considerando las subdivisiones de los materiales, del modelo de suelo adoptado para el análisis.

Tabla 13. Parámetros de entrada generales de la columna de suelo para el ARS EI-Parque Centenario.

	Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu	D50 (mm)	φ (N160)	IP (%)	OCR	Su	Vs (m/s)
TOMADO DE ESTADIO UNAMUNO RAMÓN REPULLA	MAT 1	GW	1.70	18.00	50.00	3.00	42	-	-	-	100
	MAT 2	CH	3.00	16.00	-	-	-	45.0	4.0	15	100
	MAT 3	CH	5.00	16.00	-	-	-	25.0	1.5	20	100
	MAT 4	CH	9.00	16.00	-	-	-	50.0	1.0	25	100
	MAT 5	CH	12.00	16.00	-	-	-	40.0	1.0	35	100
	MAT 6	CH	15.00	16.00	-	-	-	30.0	1.0	45	100
	MAT 7	CH	17.00	16.00	-	-	-	20.0	1.0	45	100
	MAT 8	CH	20.00	16.00	-	-	-	20.0	1.0	60	200
	MAT 9	CH	25.00	16.00	-	-	-	20.0	1.0	60	200
	MAT 10	CH	32.00	16.00	-	-	-	17.0	1.0	70	200
	MAT 11	SP-SM	50.00	17.00	4.25	0.92	44	-	-	-	400
	MAT 12	CH	59.00	16.00	-	-	-	35.0	1.0	190	300
	MAT 13	CH	78.00	16.00	-	-	-	43.0	1.0	220	300
	MAT 14	SW-SM	106.00	17.00	6.17	0.80	39	-	-	-	650
	MAT 15	CH	119.00	16.00	-	-	-	44.0	1.0	380	400
	MAT 16	CH-MH	126.00	16.00	-	-	-	37.0	1.0	430	400
	MAT 17	CH-MH	145.00	16.00	-	-	-	37.0	1.0	900	650
SEMIESPACIO				21.00							2800

A continuación, se presentan las curvas normalizadas de degradación del módulo de corte y de amortiguamiento previas al ajuste MRDF-UIUC de algunos de los materiales definidos:

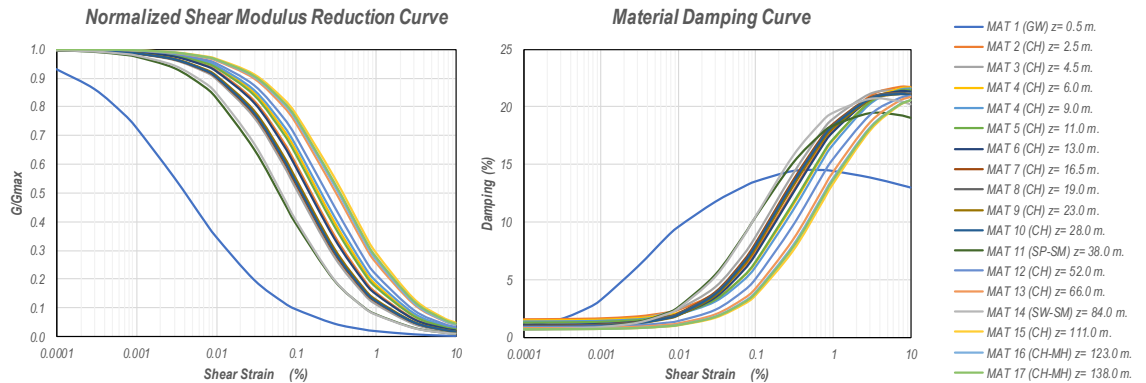


Figura 40. ARS EI: Curvas de amortiguamiento y degradación de la rigidez normalizada (GEOESTUDIOS, 2018).

### 3.1.3.2. Resultados: ARS Estación E1 para un periodo de retorno de 475 años

En la Figura 42 se presenta un esquema de la obtención de la envolvente de diseño final de aceleración definida para el presente análisis, los elementos a los cuales es aplicable esta envolvente se asignaron en función de semejanzas geotécnicas y geológicas encontradas con el sitio considerado para el análisis.

El proceso seguido para obtener la envolvente de diseño final se resume de la siguiente manera:

1. Se trazó la (1) envolvente de diseño base, en base a los espectros de respuesta de aceleración en superficie obtenidos en la Figura 42. (a) [análisis EQL] y (b) [análisis NL-ET].
2. Tanto para el caso de fuente cercana (FC) y fuente lejana (FL), se estudió el efecto de multiplicar el coeficiente de importancia  $I=1.3$  directamente al espectro resultante obtenido en suelo vs. multiplicarlo a los sismos de entrada en roca y propagarlos a la superficie en el análisis no lineal (NL).
3. A partir del paso (2) se obtuvo el cociente entre los espectros obtenidos en superficie al propagar los sismos de entrada  $\times 1.3$  y los espectros obtenidos en superficie sin multiplicar  $\times 1.3$ , este cociente se presenta con líneas azules en la Figura 42 (c) cuya ordenada se define como “Non linear  $S_a$  amp (amplificación no lineal de  $S_a$ )”.
4. Se consideraron los valores máximos de la media y  $media+1\sigma$  de las líneas azules obtenidas en el paso (3) figura 42 (c) y los mismos (además del factor 1.3) se multiplicaron por la (1) envolvente de diseño base obteniendo los espectros:  $(1) * 1.3$ ;  $(1) * media$  y  $(1) * media + 1\sigma$  que se muestran en la Figura 42 (d).
5. Se definió a la envolvente de diseño final como el espectro  $(1) * media + 1\sigma$  mostrada en la Figura 42(d).

Es importante recalcar que se observó que los cocientes presentados con líneas azules en la Figura 42 (c) varían considerablemente su valor a partir del periodo  $t = 2.0$  seg. (atravesado con línea vertical gris discontinua en la Figura 42 (c) y Figura 42 (d)). Se puede apreciar en la Figura 42 (c) que, para periodos menores a  $t = 2.0$  seg., la media y  $media+1\sigma$  de las líneas azules es menor a 1.3; sin embargo, para periodos mayores a  $t=2.0$ seg., la media y  $media+1\sigma$  de las líneas azules es mayor a 1.3. En otras palabras, la amplificación no lineal del suelo al multiplicar el coeficiente de importancia  $i=1.3$  a los sismos de entrada en roca y propagarlos a la superficie no es igual a 1.3, sino más bien es menor a 1.3 en  $t < 2.0$  seg. y mayor a 1.3 en  $t > 2.0$  seg. es por esto que la media y  $media+1\sigma$  de las líneas azules se calculó y aplicó en el paso (4) para el caso  $t < 2.0$  seg. y  $t > 2.0$  seg. por separado.

En la Figura 43 se presenta el perfil de los resultados obtenidos de deformación unitaria por corte máxima ( $\gamma_{\text{máx}}$ ), esfuerzo de corte máximo ( $\tau_{\text{máx}}$ ), razón de esfuerzo cíclico (CSR), aceleración máxima en el terreno (PGA) y desplazamiento lateral máximo (LDI). Además, se muestra la columna estratigráfica modelada del suelo. Los valores graficados corresponden a la mediana de los resultados mencionados para el análisis [NL-ET] multiplicando los sismos de entrada por el coeficiente de importancia = 1.3.

Se pueden apreciar deformaciones unitarias por corte máximas “Max Strain (%)” que no pasan del 8% y valores máximos de desplazamientos laterales (LDI (m)) de 0.25 m. o 25 cm. El perfil de LDI mostrado en la Figura 43 para el presente análisis fue considerando la envolvente de los perfiles de desplazamiento mostrados. Este perfil de desplazamiento lateral es útil para el análisis de capacidad de carga de las cimentaciones profundas del sitio. En el apéndice A-5 adjunto se presentan a mayor detalle los resultados de los análisis de respuesta para el sitio de estudio, incluye espectros de velocidad y desplazamiento, así como perfil de valores máximos.

# ARS Estación E1: E1, P1 y P2

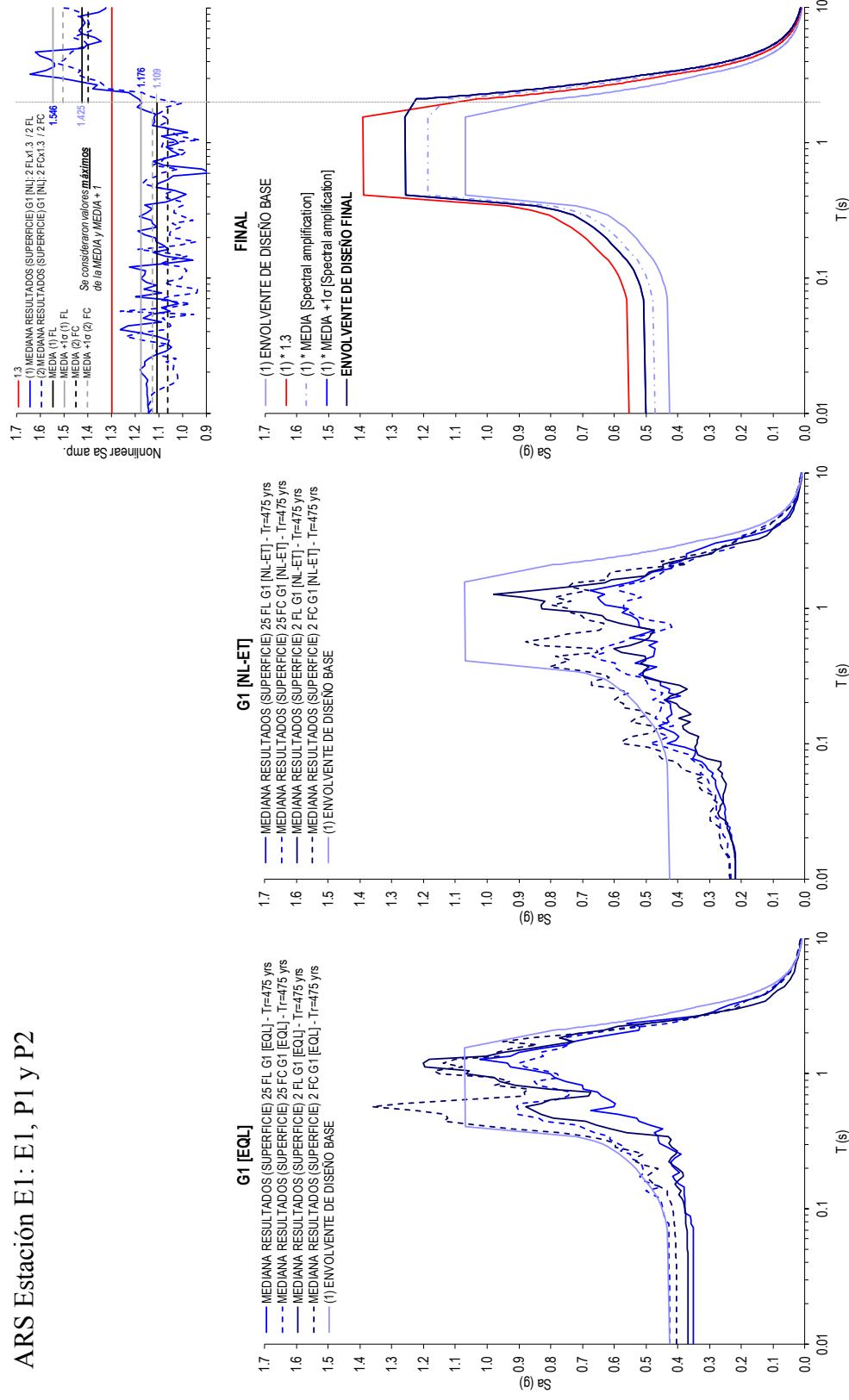


Figura 41. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final “ARS Estación E1” aplicable a: E1, P1, P2 (GEOESTUDIOS, 2018).



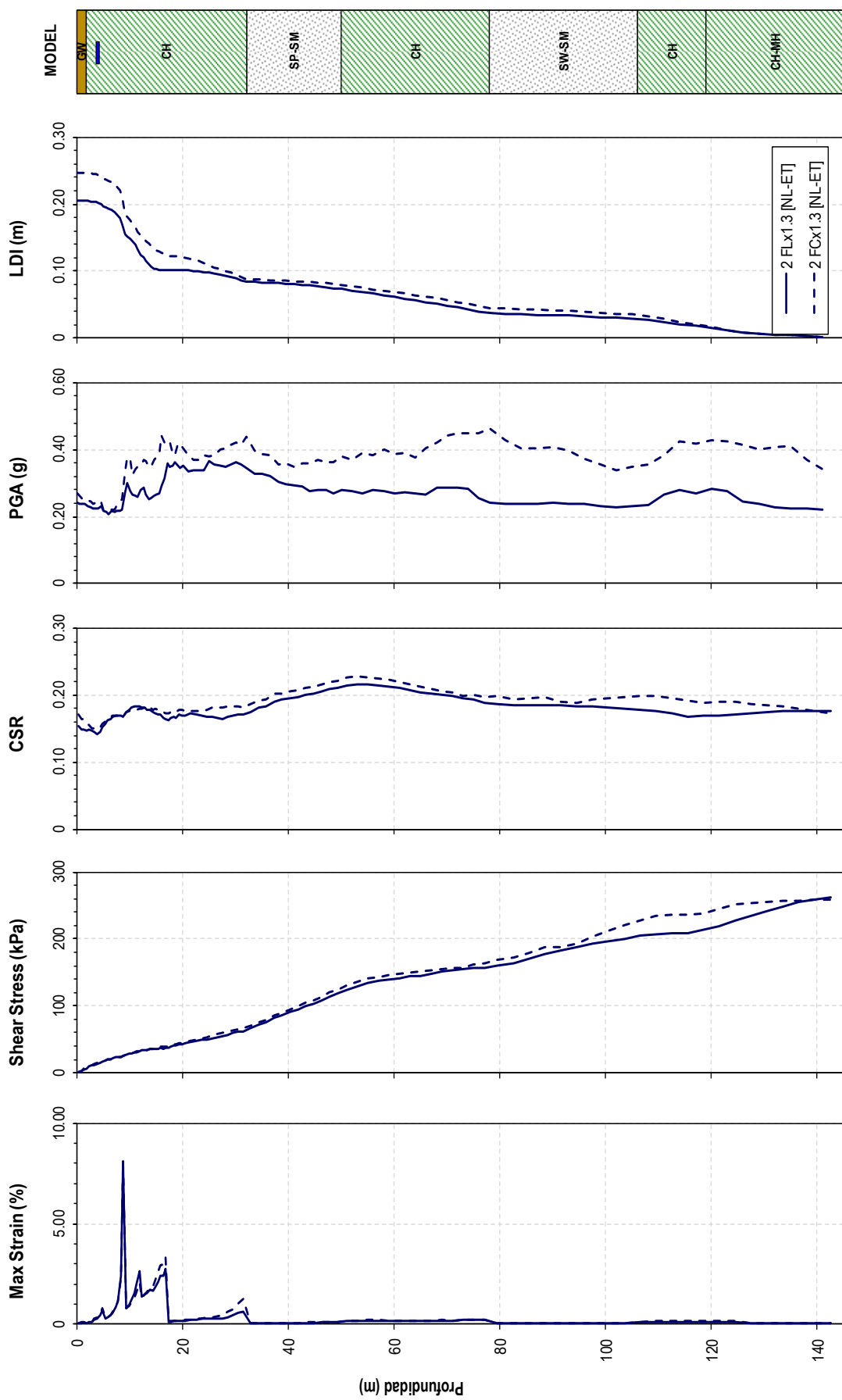


Figura 42. Valores máximos de  $\gamma$ ,  $T_{\text{máx}}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo "ARS Estación EI- Parque Centenario" aplicable a: EI, P1, P2 (GEOESTUDIOS, 2018).

### 3.1.4. Parámetros de entrada adoptados: ARS 1D & 2D - Plaza Julián Coronel

La Plaza Julián Coronel, al estar ubicada en las faldas del cerro del Carmen, se espera que los efectos de sitio 2D sean significativos, Figura 44. A partir de la exploración geológica realizada en afloramientos rocosos que se presentan en el cementerio municipal de Guayaquil y mediante la exploración geofísica-geotécnica se pudo determinar las características estructurales de los materiales rocosos, así como sus propiedades geomecánicas. Dentro de la exploración geológica-estructural se midió la dirección de buzamiento, y el buzamiento de los materiales, valores que al contrastarlos con la exploración geotécnica permitieron definir la profundidad de la roca y trazar el perfil geológico de la Plaza Julián Coronel (Ver Figura 46).



Figura 43. Vista satelital de la geología local de Zona Plaza Julián Coronel

Geológicamente se trata de una zona de transición de depósitos deltarico estuarinos (Zona Geotécnica D3, Vera, 2014) a depósitos coluviales (Zona Geotécnica D6, Vera, 2014). Se identificaron las formaciones rocosas Guayaquil (GYE) ( $V_s=900$  m/s) y Cayo (CAYO) ( $V_s=700$  m/s), existiendo una inversión en la velocidad de onda debido al diferente grado de rigidez de los materiales de estas formaciones.

En el caso de la Formación Guayaquil, la roca comprende materiales de limolita con alto contenido de sílice que incrementa la resistencia de la roca dentro de los primeros metros del perfil, mientras que la Formación Cayo comprende materiales de roca arenisca que presentan menores valores de resistencia y rigidez.

A nivel la superficie del suelo, se encuentra dentro de la zona una capa de grava de espesor  $\approx 3$  m. seguida por una capa de arcilla de espesor  $\approx 8-15$  m; luego se encuentra una capa de limo de espesor  $\approx 2-4$  m seguida de una capa de arena de similar espesor. Finalmente se tiene una capa de material coluvial altamente meteorizado  $V_s=300$  m/s definido como coluvial 2 “COL 2” seguida por una capa de material coluvial menos meteorizado  $V_s=370$  m/s definido como coluvial 1 “COL 1”.

En la Figura 46(a) se muestra la planta de la zona Plaza Julián Coronel de manera mas detallada a la mostrada anteriormente, para el presente análisis se muestra: ubicación de elementos constructivos y sondeos de interés así como la dirección del trazado considerado para el perfil geotécnico geológico mostrado en la Figura 46 (b) y una zona ampliada del mismo mostrada en la Figura 46 (b’).

#### *3.1.4.1. Modelo de suelo adoptado*

En el Apéndice adjunto A-6 se presenta la caracterización geotécnica del sitio correspondiente al presente análisis, el modelo de suelo mostrado corresponde al del punto [C], para los otros puntos lo único que varía son las profundidades y por ende los esfuerzos verticales considerados.

En la Figura 47 se presenta el resumen de las propiedades geométricas y mecánicas adoptadas para definir los parámetros necesarios para el análisis de respuesta de sitio. Estas propiedades fueron definidas en base a los resultados de la caracterización geotécnica del sitio y son todas propiedades de entrada necesarias para el correcto modelamiento mecánico de la columna de suelos.

En el apéndice adjunto A-7 se presenta la tabla completa del modelo de suelo adoptado para los análisis de los puntos [A], [B], [C], [D] y [2D] de la Figura 47, respectivamente.

Para la generación de la malla de elementos finitos de entrada en el análisis 2D QUAD4M expuesta en la parte inferior de la Figura 47 se tomaron en cuenta las consideraciones expuestas en la sección de “Fronteras transmisoras en QUAD4M” y “Análisis 2D: Tamaño máximo de elementos de la malla”. En cuanto a las propiedades de los materiales ingresadas en el análisis 2D se adoptaron las curvas generadas en el punto [2D] que toma en cuenta los esfuerzos de confinamiento en aquellas profundidades; para la generación de las mencionadas curvas dinámicas se partió de propiedades semejantes utilizadas en los análisis de tipo 1D en DEEPSOIL para mantener consistencia entre ambos.

QUAD4M solicita adicionalmente al usuario el ingreso del valor de coeficiente de Poisson  $\nu$  para cada capa de material definida además del valor de velocidad de onda P  $V_p$  del semi espacio. El valor de  $\nu$  adoptado fue de 0.30 para todos los materiales a excepción de las arcillas, cuyo valor adoptado fue de 0.35; el valor de  $V_p$  del semi-espacio fue definido como 2400 m/s.

A continuación, se presentan las curvas normalizadas de degradación del módulo de corte y de amortiguamiento previas al ajuste MRDF-UIUC de algunos de los materiales definidos:

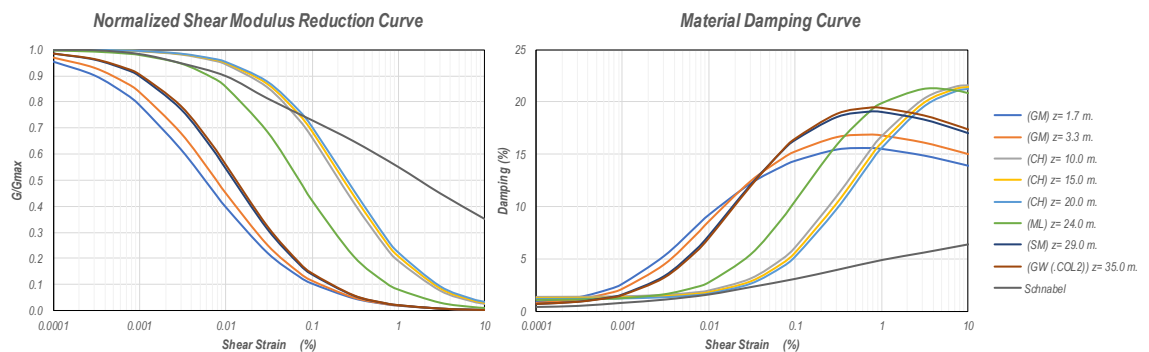


Figura 44. ARS Plaza Julián Coronel: Curvas de amortiguamiento y degradación de la rigidez normalizada (GEOESTUDIOS, 2018).

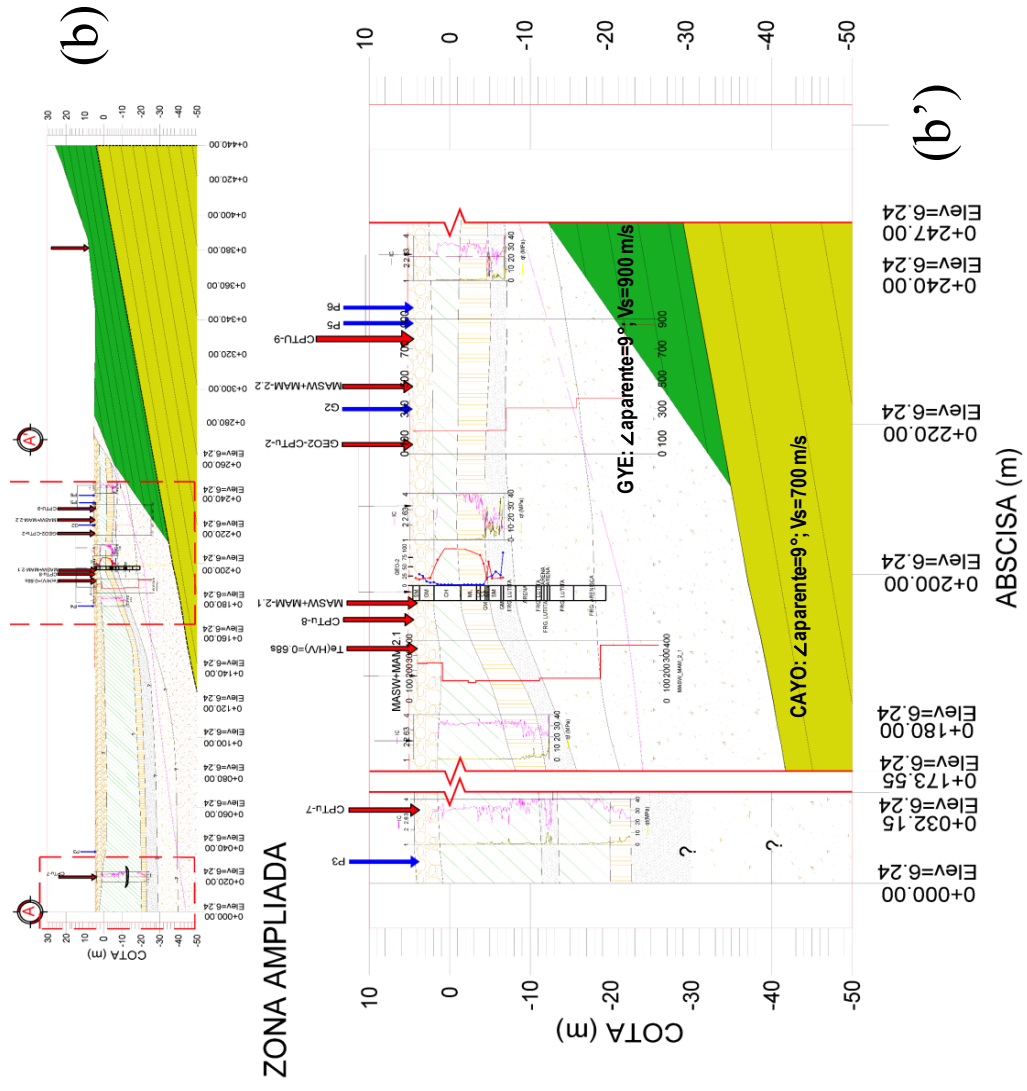


Figura 45. (a) Planta de la zona Plaza Julián Coronel, se muestra: ubicación de elementos constructivos y sondeos de interés; dirección del trazado considerado para el perfil geotécnico mostrado en (b) y una zona ampliada del mismo mostrado en (b') (GEOESTUDIOS, 2018).

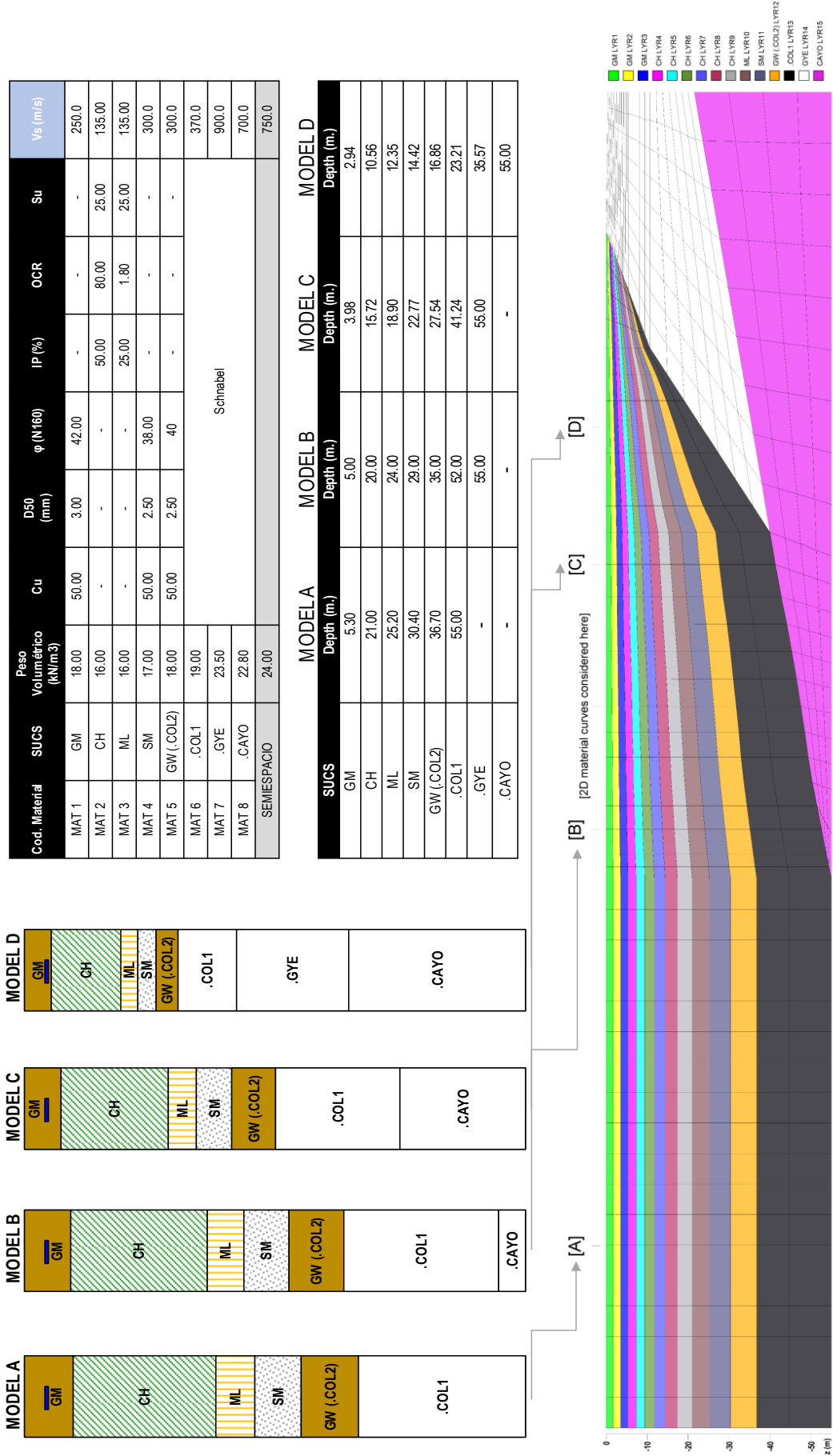


Figura 46. Esquema general de parámetros de entrada para el ARS Plaza JC: columnas estratigráficas y propiedades de materiales de los modelos [A] [B] [C] [D] para los análisis DEEPSOIL 1D; malla de elementos finitos adoptada para el análisis QUADAM 2D (GEOESTUDIOS, 2018).

*3.1.4.2. Resultados: ARS 1D y 2D – Plaza Julián Coronel para un período de retorno de 475 años.*

En la Figura 48 se muestra una comparación de los resultados de análisis ARS Plaza Julián Coronel: DEEPSOIL 1D y QUAD4M 2D. En las figuras superiores se muestra para cada uno de los respectivos puntos [A], [B], [C] y [D] la mediana resultados en superficie de los espectros de aceleraciones espectrales en g, obtenidos en superficie en base a los análisis DEEPSOIL 1D [Mediana 2 FC & Mediana 2 FL] así como en base a los análisis QUAD4M 2D [Mediana 2 FC & Mediana 2 FL]. En las dos figuras inferiores de la Figura 48, se muestran los gráficos de relleno de contorno de la aceleración máxima en g calculada en cada uno de los nodos de la malla de elementos finitos definida a partir del análisis QUAD4M 2D, se muestra, de manera similar a las figuras superiores, la mediana resultados en base a los sismos 2 FL y 2 FC, respectivamente.

La escala en ambas figuras de relleno de contorno es diferente: la aceleración máxima es de 0.275 g (2 FL) y 0.491 g (2 FC) , el considerar sismos de fuente cercana 2 FC es más crítico que el caso de fuente lejana 2 FL. Es importante notar cómo se amplifica el valor de la aceleración máxima, especialmente en el caso de los 2 sismos de fuente cercana, conforme las ondas sísmicas se acercan al talud rocoso, validando lo expuesto en la sección “Efectos de sitio”.

En la Figura 49 se muestra la amplificación espectral 2D de los puntos [B], [C] y [D] relativa al punto [A] calculada como el COCIENTE entre los espectros mediana resultados (superficie) 2D de los puntos [B], [C] y [D] al espectro obtenido en [A]. Se puede apreciar cómo, en el caso de los sismos de fuente cercana (FC), la aceleración pico en el terreno (PGA) se amplifica hasta 1.73 veces ([D/A (2D\_FC)]) en comparación a la aceleración pico en el terreno (PGA) estimada en el punto [A], punto libre de efectos 2D.

En la Figura 50, Figura 52 y Figura 54, se presenta un esquema de la obtención de la envolvente de diseño final de aceleración definida para los puntos de la Plaza Julián Coronel [A], [C] y [D], respectivamente. Los elementos a los cuales son aplicables estas envolventes se asignaron en función de semejanzas geotécnicas y geológicas encontradas con los respectivos sitios considerados para el análisis.

El procedimiento para obtener la envolvente de diseño final mostrado a continuación fue el mismo para los puntos [A], [C] y [D] con la única excepción de que en los puntos [C] y [D] se consideró adicionalmente la amplificación por efectos de sitio 2D calculada a partir del análisis en QUAD4M.

El proceso seguido en los puntos [A], [C] y [D], donde se excluye punto [B] debido a que no se asignó a ningún elemento estructural, para obtener la envolvente de diseño final se resume de la siguiente manera:

1. Se trazó la (1) envolvente de diseño base FL y (1) Envolvente de diseño base FC en base a los espectros de respuesta de aceleración en superficie, presentados en las Figura 50, Figura 52 y Figura 54 en las representaciones (a) y (b) para casos de sismos de fuente lejana (FL) y fuente cercana (FC), respectivamente.
2. Tanto para el caso de fuente lejana (FL) y fuente cercana (FC), se estudió el efecto de multiplicar el coeficiente de importancia  $I=1.3$  directamente al espectro resultante obtenido en suelo vs. multiplicarlo a los sismos de entrada en roca y propagarlos a la superficie en el análisis no lineal (NL).
3. A partir del paso (2) Se obtuvo el cociente entre los espectros obtenidos en superficie al propagar los sismos de entrada  $\times 1.3$  y los espectros obtenidos en superficie sin multiplicar  $\times 1.3$ , este cociente se presenta con líneas grises en las secciones (a') y (b') correspondientes a la Figura 45, Figura 52 y Figura 54, FL y FC respectivamente, cuya ordenada se define como "Amplificación no lineal de  $S_a$ ".



4. Para la obtención de los espectros finales, de los 3 sitios ([A], [B] y [C]) se consideraron los valores de la media y media+1 $\sigma$  de las líneas grises obtenidas en el paso (3), los cuales (además del factor 1.3) se multiplicaron por la (1) envolvente de diseño base [FL & FC] obteniendo los espectros: (1) \* 1.3; (1) \* media y (1) \* media + 1 $\sigma$  que se muestran en las secciones (a) y (b) de las Figura 59, Figura 61 y Figura 63, que corresponden a FL y FC, respectivamente.
5. Se definió a la envolvente de diseño final como la envolvente de los espectros (1) \* media+ 1 $\sigma$  FL y (1) \* media + 1 $\sigma$  FC mostrada en las figuras mencionadas anteriormente (c).

Es importante recalcar que, se observó una variación considerable en los cocientes presentados con líneas grises a partir del periodo  $T = 2.0$  seg, los cuales se pueden ver en las Figura 50, Figura 52 y Figura 54 en sus representaciones (a') y (b'), el límite de  $T = 2.0$  seg ha sido representado por una línea vertical gris discontinua que atraviesa las figura ya mencionadas en (a), (b), (a'), (b').

De igual manera, se evidencia en las figuras que, para periodos menores a  $T = 2.0$  seg. la media y media+1 $\sigma$  de las líneas grises es menor a 1.3; sin embargo, para periodos mayores a  $T = 2.0$  seg., la media y media+1 $\sigma$  de las líneas grises es mayor a 1.3.

En otras palabras, la amplificación no lineal del suelo al multiplicar el coeficiente de importancia  $I=1.3$  a los sismos de entrada en roca y propagarlos a la superficie NO es igual a 1.3, sino más bien es menor a 1.3 en  $T < 2.0$  seg. y mayor a 1.3 en  $T > 2.0$  seg. Es por esto que la media y media+1 $\sigma$  de las líneas grises se calculó y aplicó en el paso (4) para el caso  $T < 2.0$  seg. y  $T > 2.0$  seg. por separado.

En la Figura 51, Figura 53 y Figura 55 se presentan los perfiles de los resultados obtenidos de deformación unitaria por corte máxima ( $\gamma_{\text{máx}}$ ), esfuerzo de corte máximo ( $\tau_{\text{máx}}$ ), razón de esfuerzo cíclico (CSR), aceleración máxima en el terreno (PGA) y

desplazamiento lateral máximo (LDI) para los puntos de la Plaza Julián Coronel [A], [C] y [D], respectivamente. Además, se muestran las columnas estratigráficas modeladas del suelo. Los valores graficados corresponden a la mediana de los resultados mencionados para los análisis [NL-ET] multiplicando los sismos de entrada por el coeficiente de importancia = 1.3.

Se pueden apreciar deformaciones unitarias por corte máximas que no pasan del 2.8%, 2.9% y 3.4% y valores máximos de desplazamientos laterales de 0.15 m., 0.13 m. y 0.07 m. para los puntos [A], [C] y [D], respectivamente. Los perfiles de LDI mostrados en la Figura 58 para los puntos [A], [C] y [D] fue considerando la envolvente de los respectivos perfiles de desplazamiento mostrados Figura 51, Figura 53 y Figura 55, respectivamente. Estos perfiles de desplazamiento lateral son útiles para el análisis de capacidad de carga de las cimentaciones profundas del sitio.

En el apéndice adjunto A-8 se presentan a mayor detalle los resultados de los análisis de respuesta para el presente sitio, donde incluyen espectros de velocidad y desplazamiento, así como perfil de valores máximos.

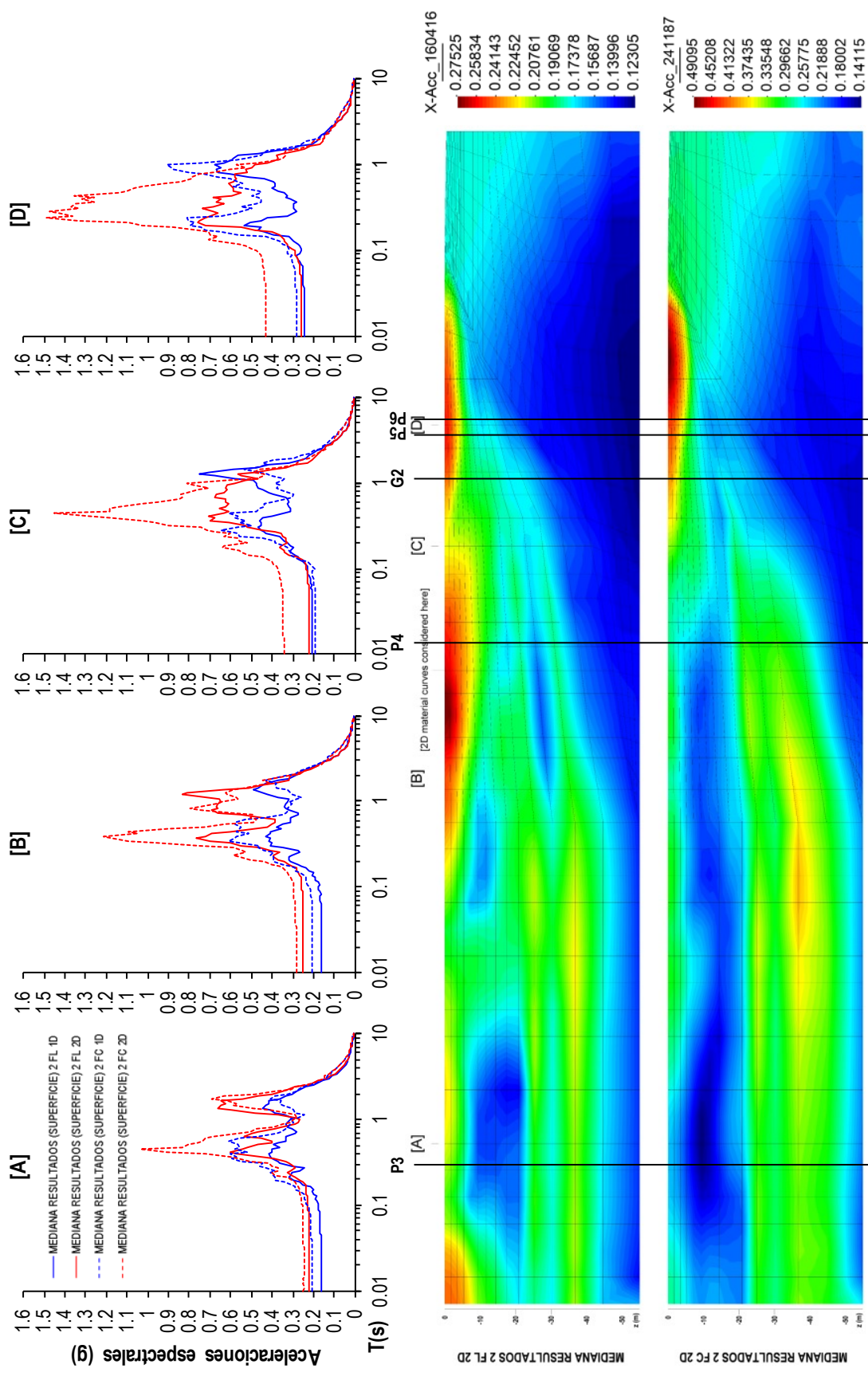


Figura 47. Comparación de resultados de análisis ARS Plaza Julián Coronel: DEEPSOIL 1D y QUADAM 2D (GEOESTUDIOS, 2018).

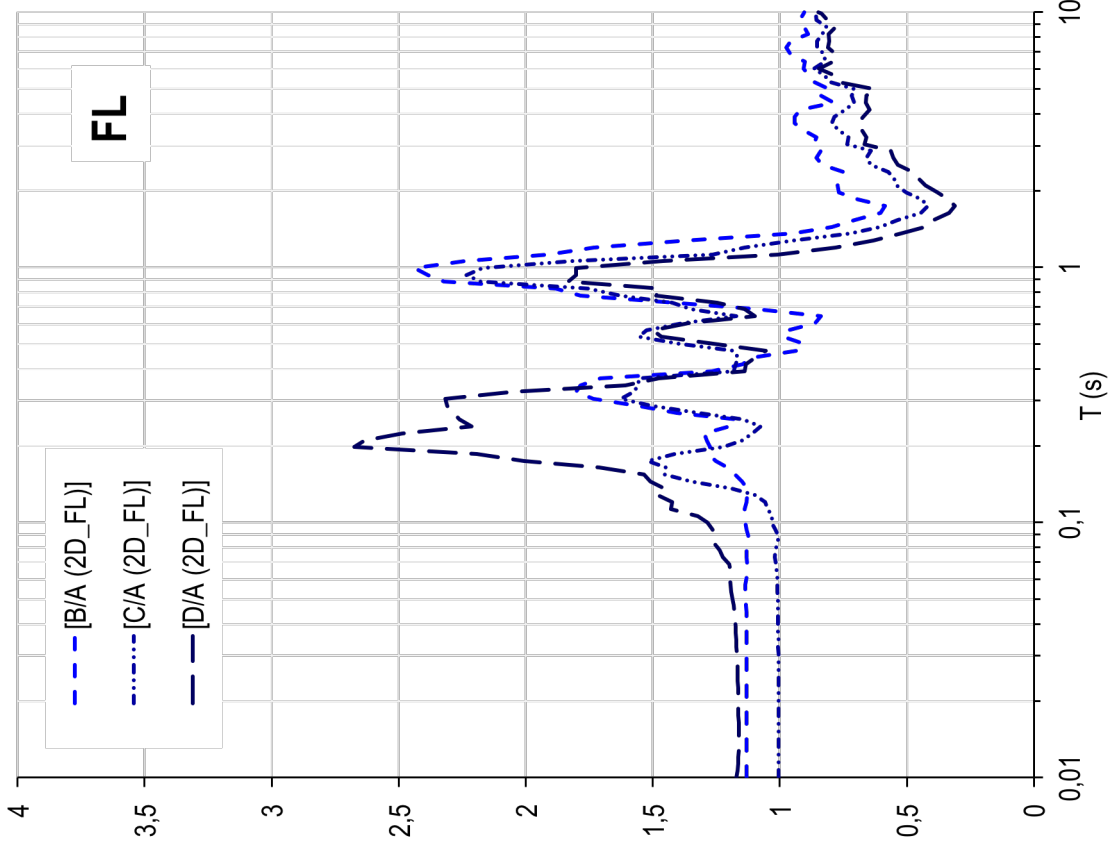
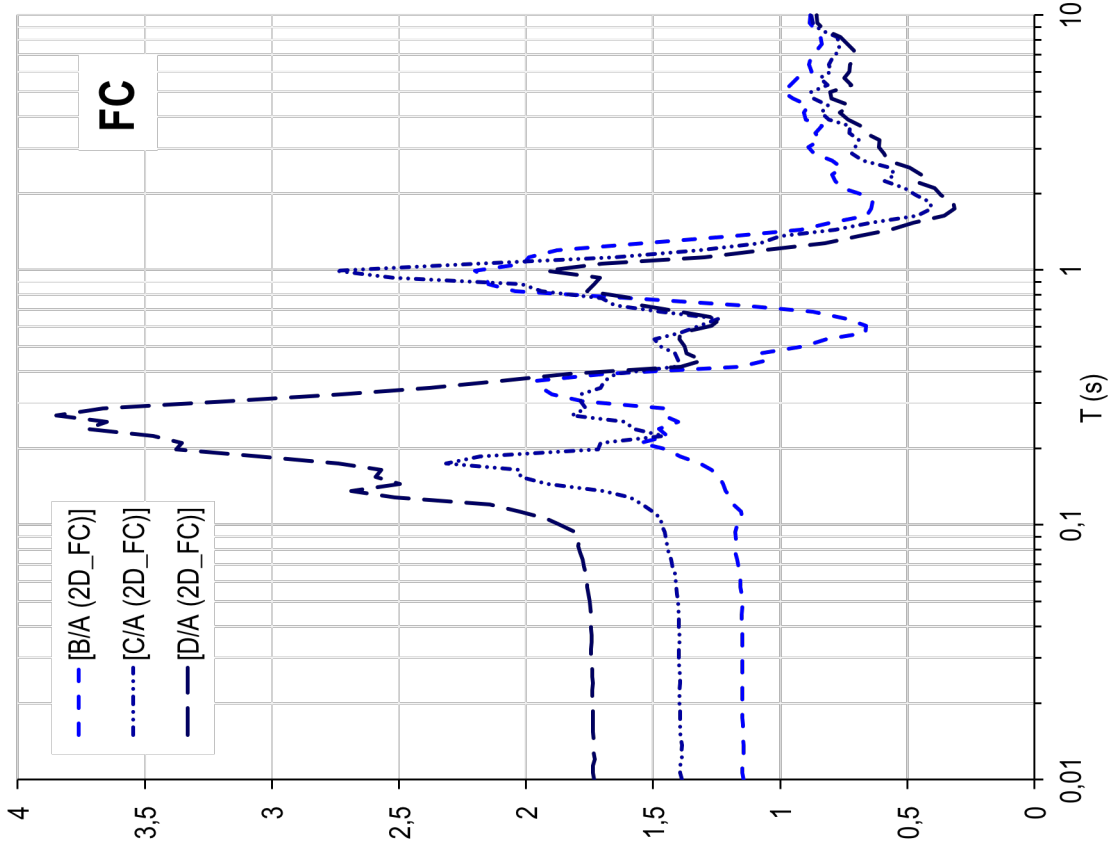


Figura 48. ARS Plaza JC: Amplificación espectral 2D de los puntos [B], [C] y [D] relativa al punto [A] (GEOESTUDIOS, 2018).

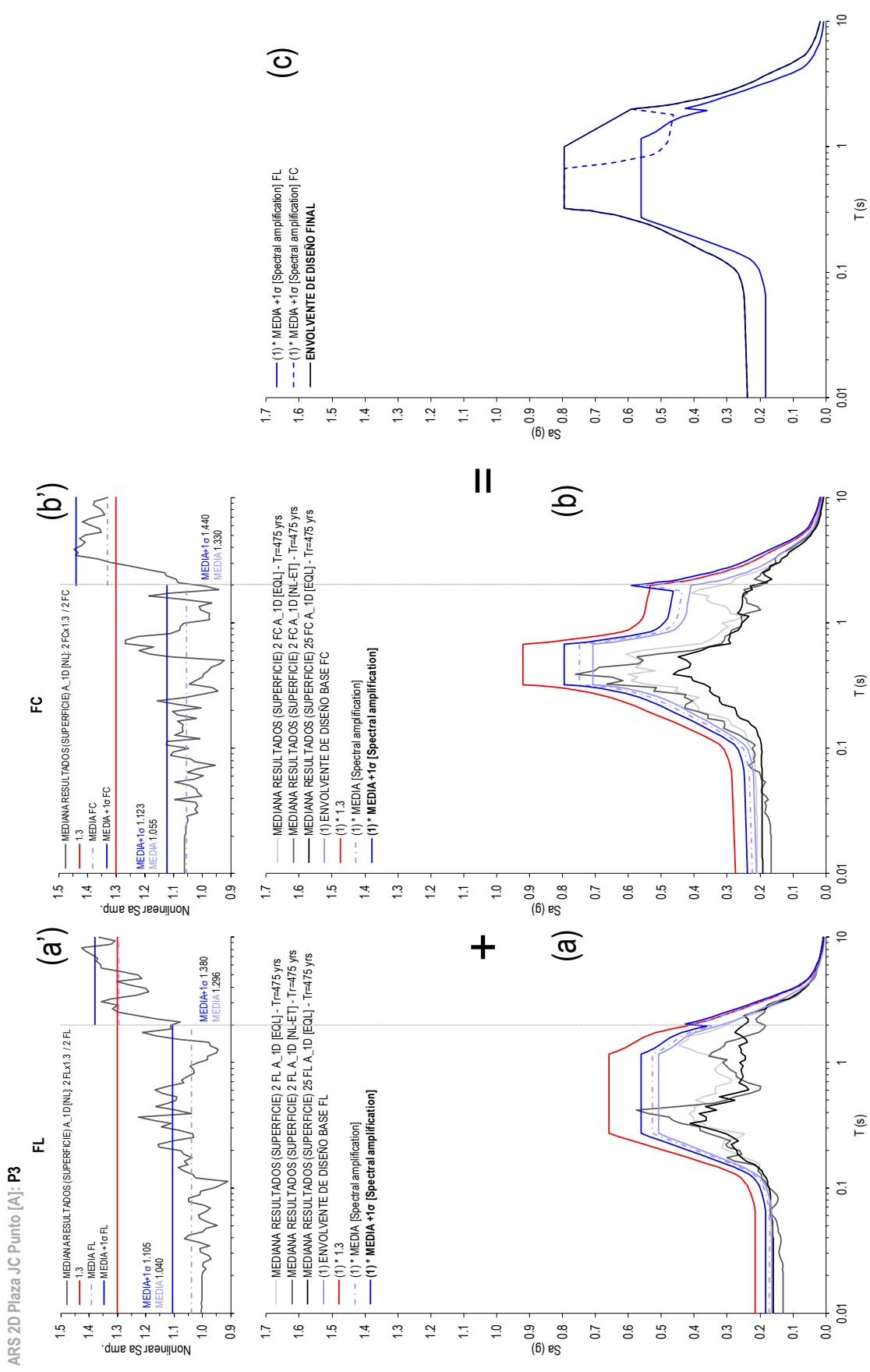


Figura 49. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final "ARS 2D Plaza JC [A]" aplicable a: P3 (GEOESTUDIOS, 2018).

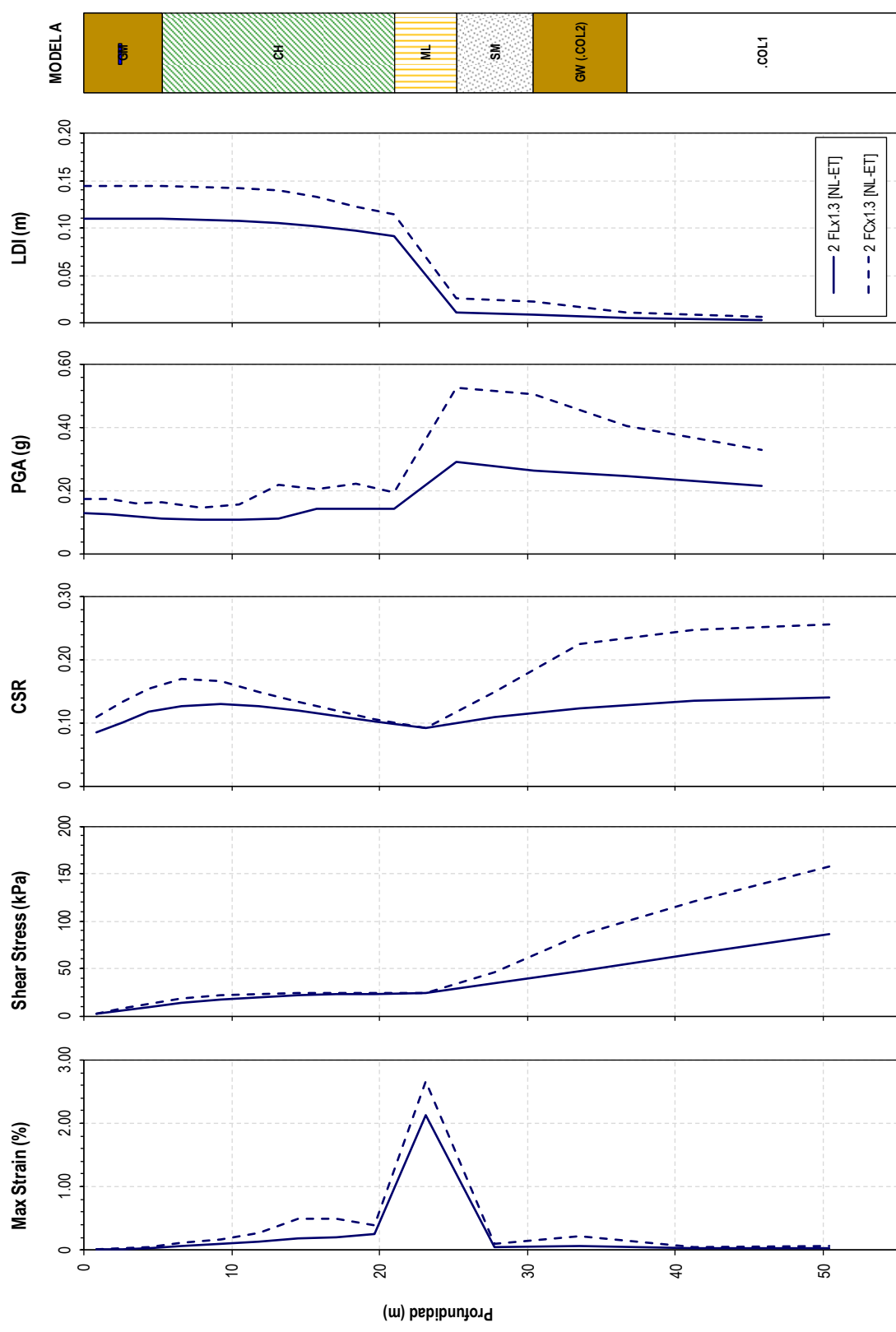


Figura 50. Valores máximos de  $\gamma$ ,  $\tau_{máx}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo "ARS 2D Plaza JC [A]" aplicable a: P3 (GEOESTUDIOS, 2018).

ARS 2D Plaza JC Punto [C]: P4, P7, P12, P14

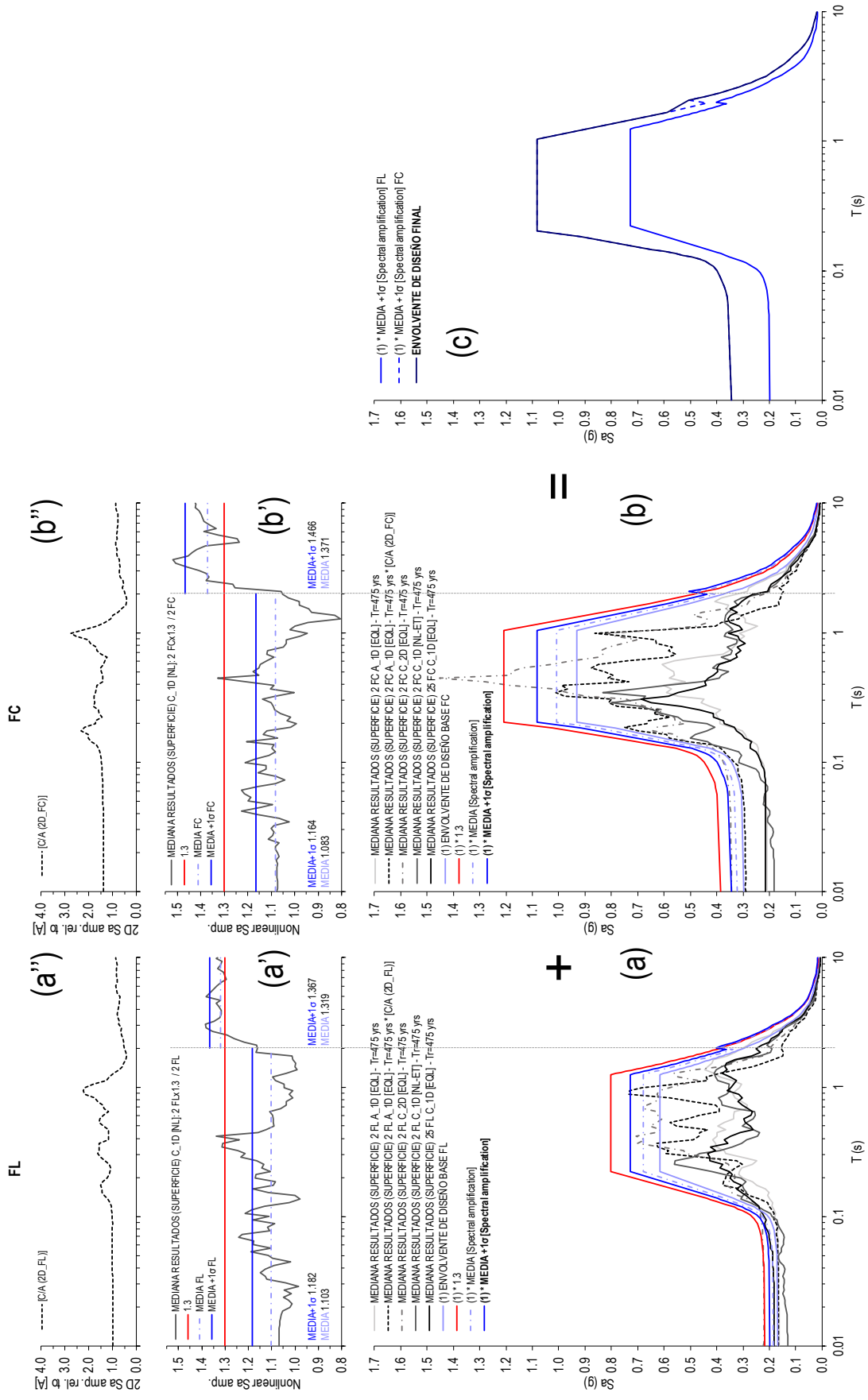


Figura 5.1. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final "ARS 2D Plaza JC [C]" aplicable a: P4 (GEOESTUDIOS, 2018).

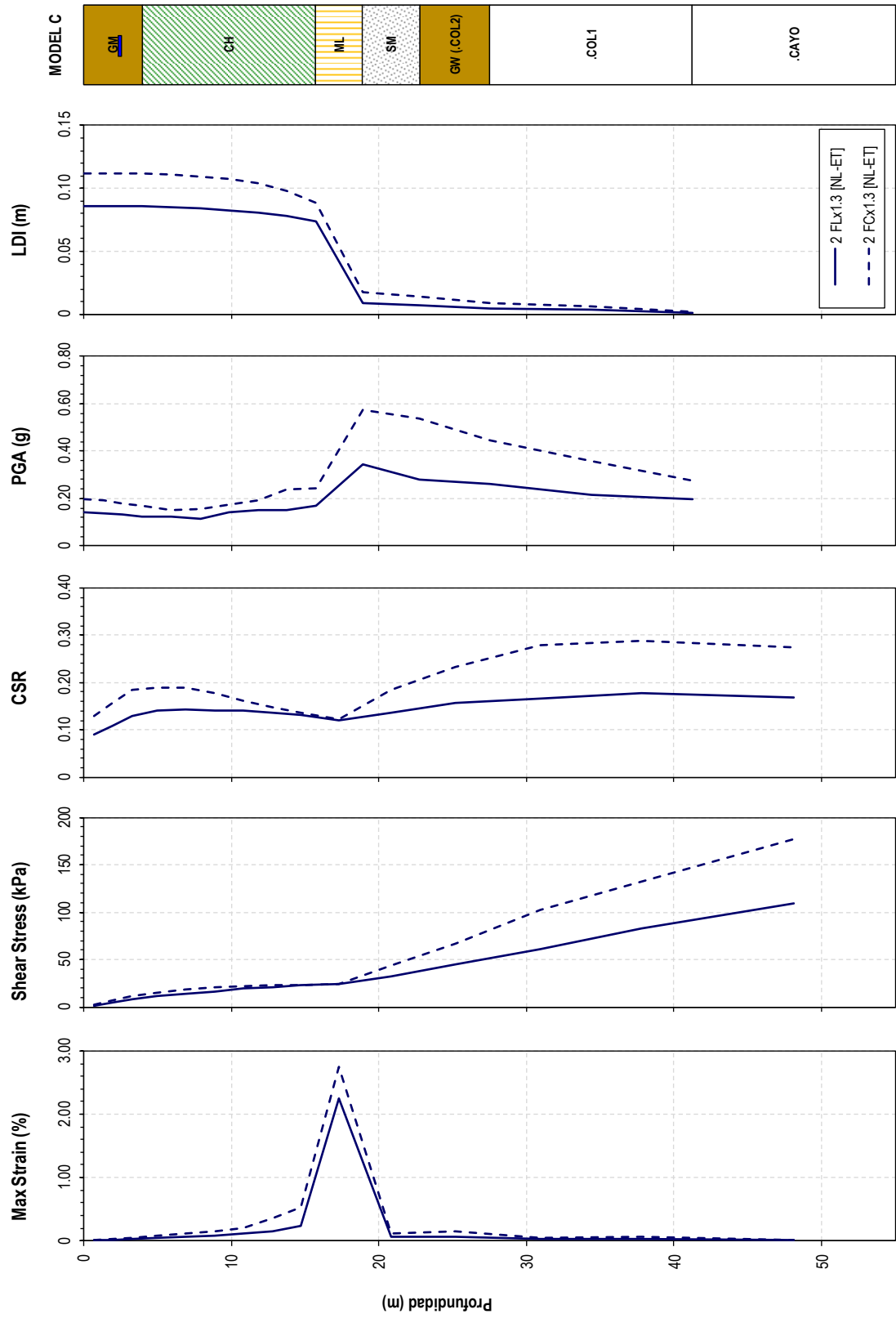


Figura 52. Valores máximos de  $\gamma$ ,  $\tau_{máx}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo "ARS 2D Plaza JC [C]" aplicable a: **P4** (GEOESTUDIOS, 2018).



ARS 2D Plaza JC Punto [D]: G2, P5, P6, P11, P13

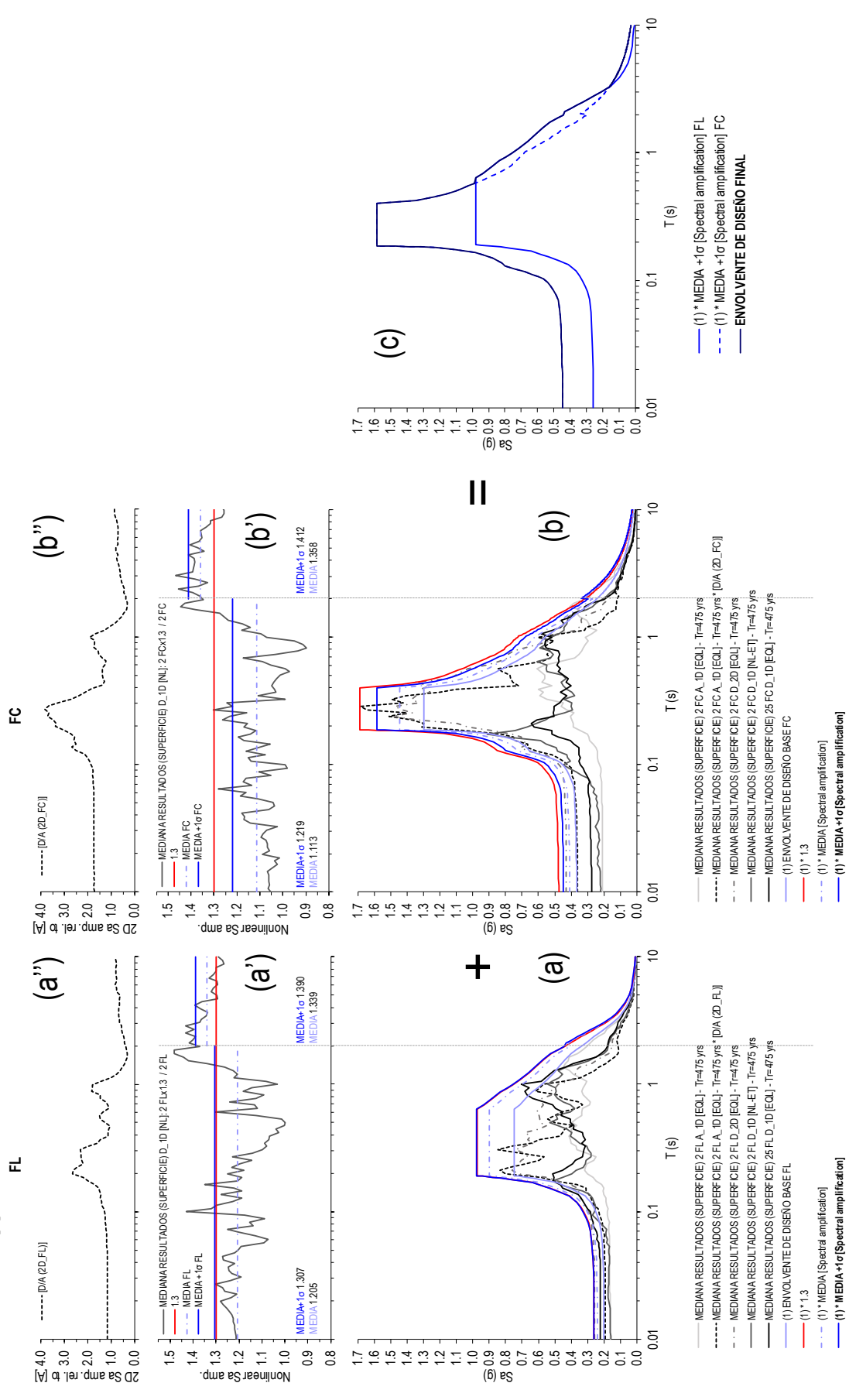


Figura 53. Esquema de obtención de la envolvente de diseño final "ARS 2D Plaza JC [D]" aplicable a: E2, P5, P6 (GEOESTUDIOS, 2018).

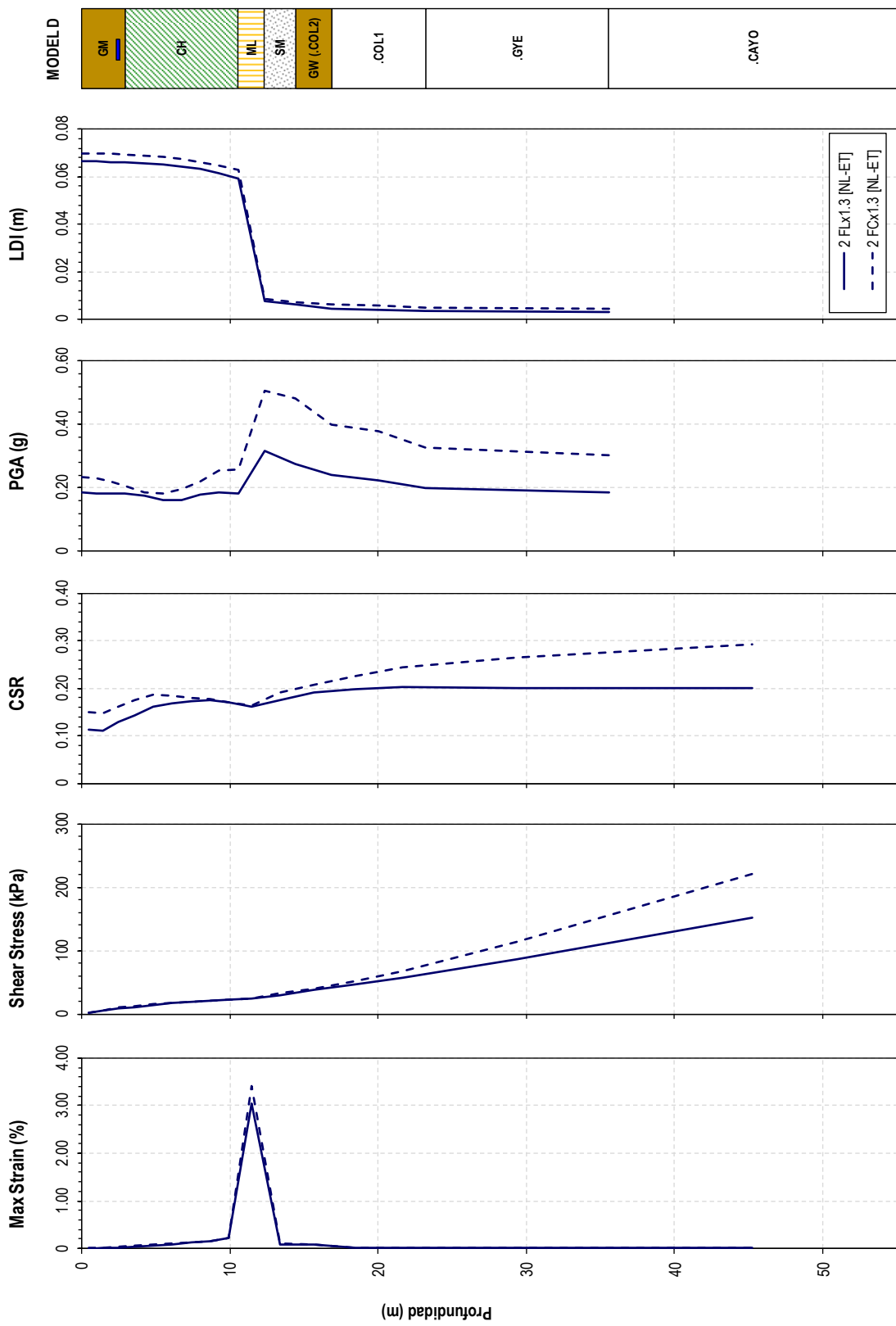


Figura 54. Valores máximos de  $\gamma$ ,  $\tau_{máx}$ , CSR, PGA, LDI; modelo del suelo "ARS 2D Plaza JC [D]" aplicable a: E2, P5, P6 (GEOESTUDIOS, 2018).

### *3.1.4.3. Envolventes de diseño y valores máximos de LDI finales aplicables al proyecto para un tiempo de retorno de 475 años*

En las Figura 56, Figura 57 y Figura 58 se presentan las envolventes de diseño final de aceleración espectral, las envolventes de diseño final de desplazamiento espectral y los valores máximos de LDI aplicables al proyecto, respectivamente. Como se puede observar en la Figura 51 y Figura 52, el efecto del factor de importancia ( $I=1.3$ ) se refleja en elevadas demandas espectrales.

En el análisis de respuesta de sitio de E1 se observa los efectos de los suelos arcillosos blandos cementados de gran profundidad, característicos de la Zona Geotécnica D3, al generar amplificación espectral en periodos altos ( $T>1$  seg), a diferencia del resto de análisis, así como altos niveles de deformación lateral como se observa en la Figura 58. Para los ARS en los que se ha considerado el efecto 2D, que se encuentran en la Zona de la Plaza Julián Coronel; la demanda espectral aumenta desde ARS 2D Plaza JC [A], continuando por ARS 2D Plaza JC [C] hasta ARS 2D JC [D], punto en el cual la demanda espectral es significativamente superior al resto de ARS entre los periodos de 0.15 y 0.45 seg.

AEROVÍA ESPECTROS DE ACCELERACIÓN: ESTACIONES

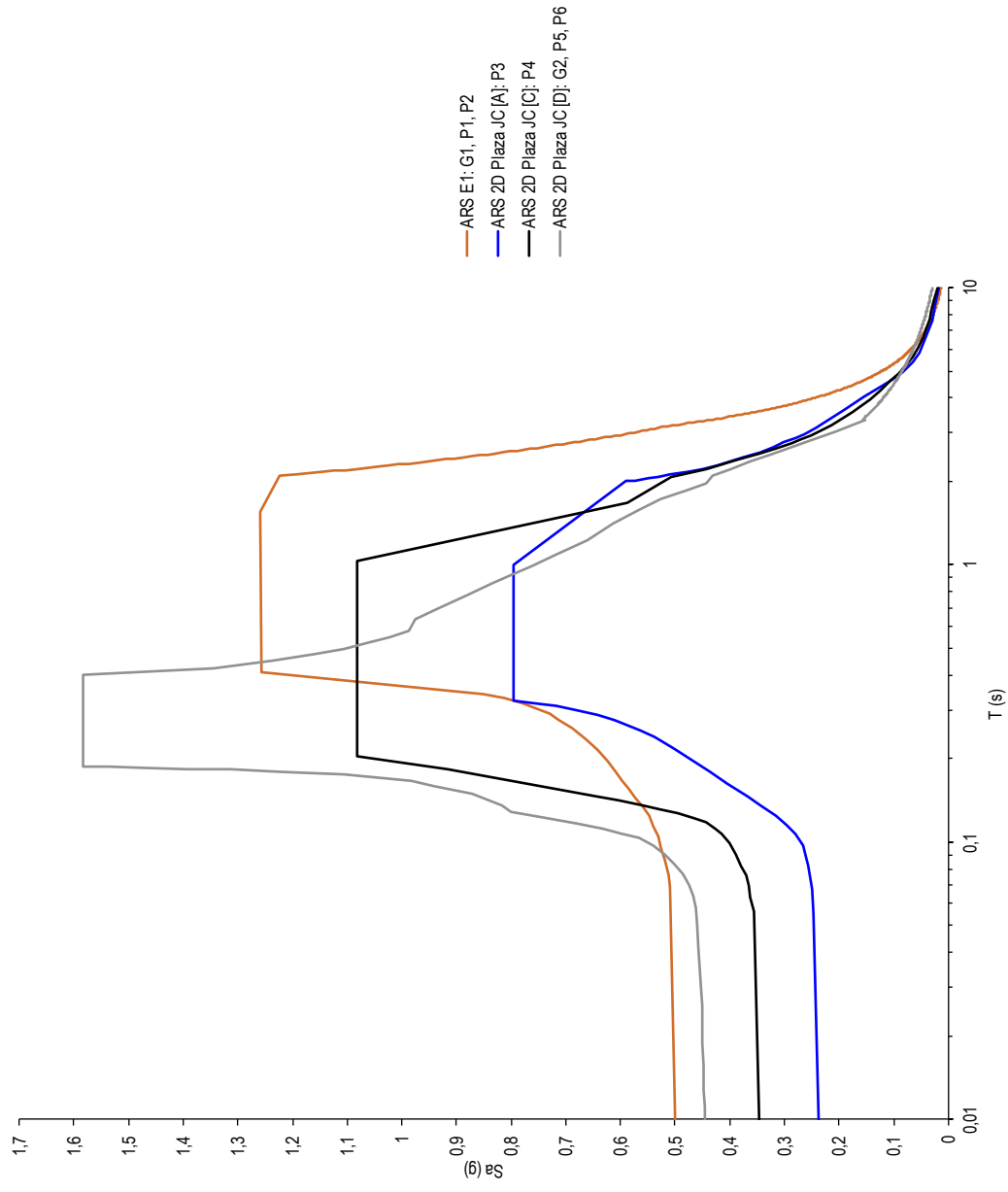


Figura 55. Envoltantes de diseño final de aceleración espectral aplicables al sitio de estudio.

AEROVÍA ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO: ESTACIONES

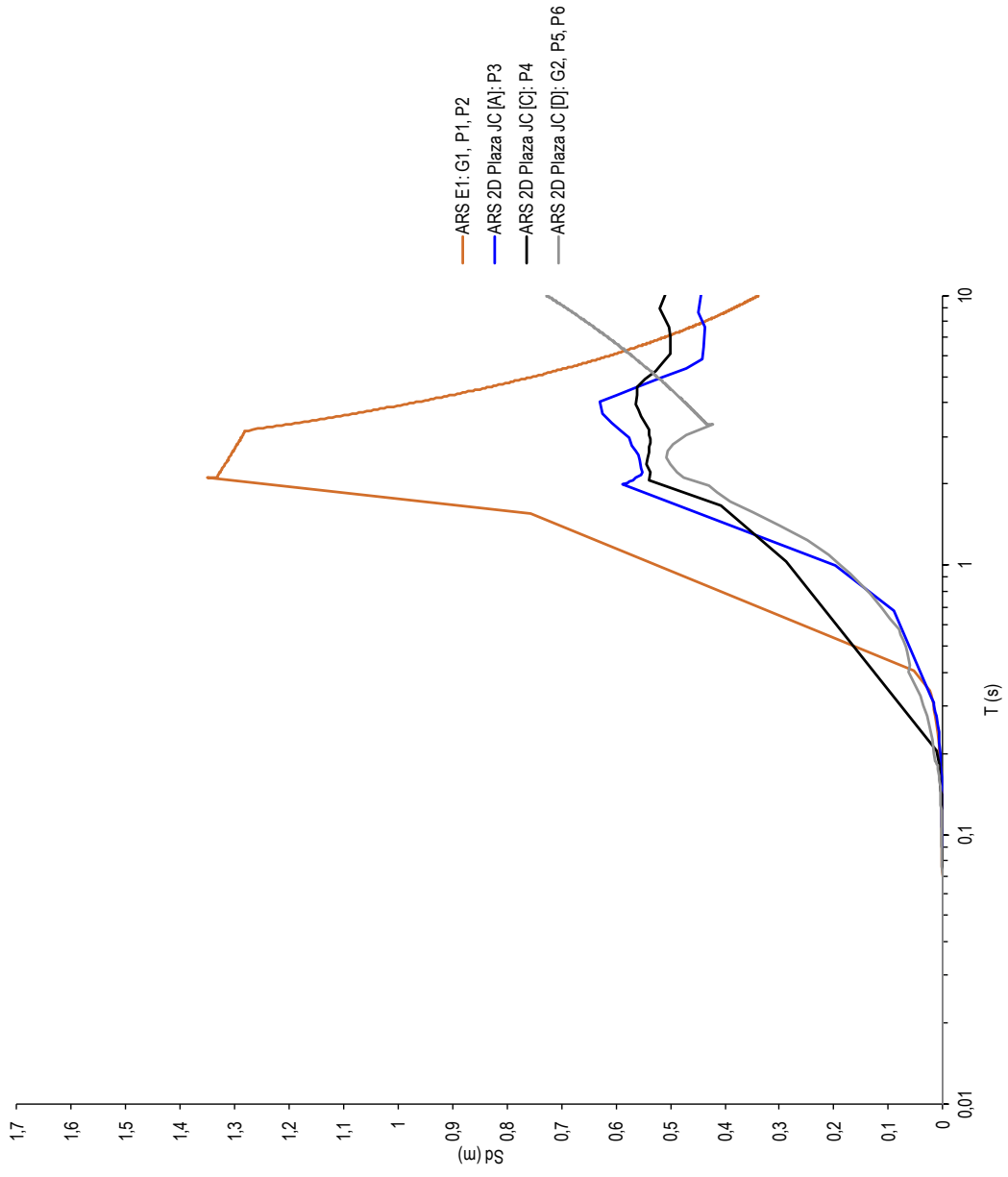


Figura 56. Envoltantes de diseño final de desplazamiento espectral aplicables al sitio de estudio.

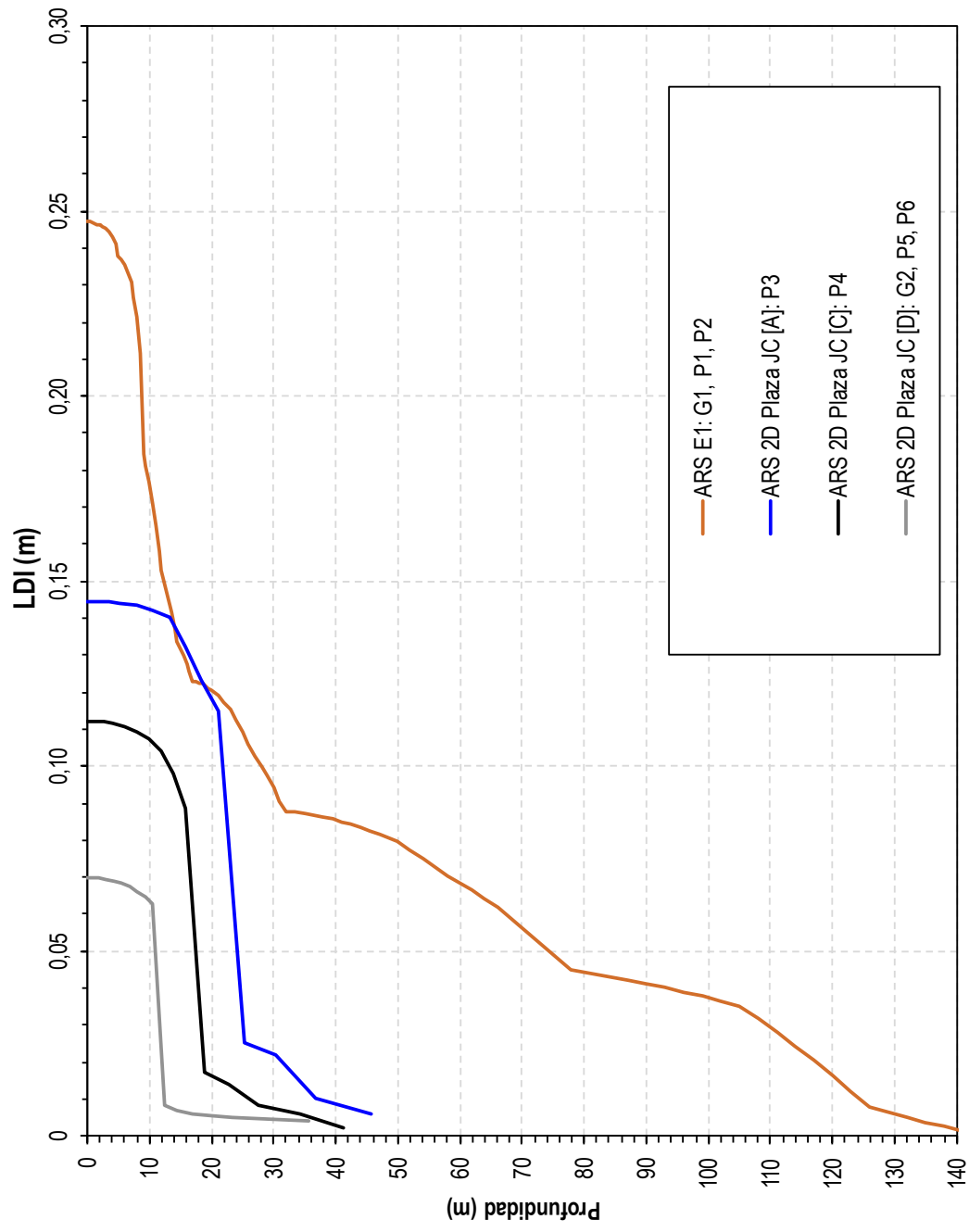


Figura 57. Valores máximos de LDI (m) aplicables al proyecto en el sitio de estudio.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados de la caracterización geotécnica y posterior análisis de peligro sísmico realizado para la zona de estudio se concluye lo siguiente:

- ✓ De acuerdo a la caracterización geotécnica de la zona E1 (Estación Parque centenario), se encuentra superficialmente un relleno conformado por gravas limosas, seguido de un estrato compuesto por arcillas de alta y baja plasticidad, con una resistencia al corte no drenada que varía de 40 kPa a 80 kPa. Bajo el estrato limoso se identificó un lente de arena limosa de compacidad suelta. Seguidamente, se identificó un estrato de arcilla con intercalaciones de limos y arenas limosas, estas arcillas presentan una consistencia de muy blanda a firme. Adicionalmente, se identificó un estrato de arena limosa de compacidad suelta a medianamente densa. Finalmente, se presenta un estrato de limos y arcillas de alta y baja plasticidad de consistencia blanda a muy rígida con ciertas intercalaciones donde se detectó presencia de turba y arena.
- ✓ Al realizar la caracterización geotécnica de la zona E2 (Plaza Julián Coronel), se encuentra superficialmente un relleno compuesto por arenas limosas de color amarillo claro (SM) y gravas limosas de color amarillo oscuro a marrón claro (GM), seguido de un estrato arcilloso de consistencia muy blanda a firme. Bajo el estrato arcilloso se identificó un estrato de limos y arcillas de baja plasticidad (ML - CL) de consistencia muy blanda. Seguidamente, se identificó un estrato compuesto por arenas y gravas limosas de color gris oscuro a gris claro de compacidad medianamente densa a muy densa. Finalmente, a partir de la cota -7.0 msnm se encontraron intercalaciones de arena y fragmentos de lutita que corresponden a

materiales coluviales de la Fm. Guayaquil. Estas intercalaciones se identificaron hasta la cota -14.5 msnm en donde se identificó fragmentos de arenisca, que están relacionados a materiales coluviales provenientes de la formación Cayo.

- ✓ Se calculó en cada ARS los registros de aceleración vs. tiempo, así como los pseudo-espectros de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento correspondientes a la respuesta dinámica de la superficie del terreno bajo la acción de un sismo con un Tr de 1000 años ( $\approx$  5% de probabilidad de excedencia en 50 años) que equivale a diseñar para un Tr de 475 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años) considerando un coeficiente de importancia acordado igual a 1.3. Se consideró un valor de porcentaje de amortiguamiento crítico de 5%.
- ✓ Luego de haberse considerado el efecto de multiplicar el coeficiente de importancia  $I=1.3$  al espectro resultante obtenido en el suelo vs. multiplicarlo a los sismos de entrada en roca. Se llegó a la conclusión que, en cuanto al espectro resultante obtenido en suelo, considerar el primer escenario resulta conservador en comparación al segundo debido al comportamiento no lineal del suelo al propagar los sismos a través del mismo; aquello se demuestra en los resultados del estudio.
- ✓ En caso de realizar un análisis espectral en el diseño estructural se recomienda el uso de los espectros de aceleración mostrados en la Figura 56, mientras que al diseñar por desplazamientos se recomienda utilizar los espectros de desplazamiento mostrados en la Figura 57.
- ✓ En el análisis y diseño de las cimentaciones, para el caso de carga cinemática se recomienda utilizar los perfiles de desplazamientos obtenidos de este estudio, expuestos en la Figura 58.



## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A. (2012). Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur. *Institut de Sciences de la Terre de Grenoble* , pp. 259.
- Alvarez, V. (2003). *Estudio de la sismicidad de un sector de la margen ecuatoriana, a través de una red de estaciones sismológicas marinas y terrestres*. Universidad Pierre et Marie Curie, Science. Paris: Universidad Pierre et Marie Curie.
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. (2016). *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Townsville, Australia: Springer.
- Ansal, A. (2004). *Recent advances in earthquake geotechnical engineering and microzonation*. Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- ASTM International. (2012). *Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils*. West Conshohocken: ASTM.
- ASTM International. (2017). *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*. American Society for Testing And Materials. Pennsylvania: ASTM.
- Botas, G. (2012). *Diseño por Desempeño*. Mexico: aj Mexico.
- Briaud, J. L. (2014). *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*. Hoboken, New Jersey, United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Centro Sismológico. (2016). *Informe Técnico Terremoto Chile*. Santiago: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile.
- Crisafulli, F. (2014). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero* (4 ed.). Mendoza: Alacero.
- Chlieh, M., Mothes, P., Nocquet, J. M., Charvis, P., Cisneros, D., Collot, J. Y., y otros. (2014). Distribution of discrete seismic asperities and aseismic slip along the Ecuadorian megathrust. *Earth and Planetary Science Letters* , 404, 292-301.
- Darandelli, M. (2001). *Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves*. The University of Texas, Faculty of the Graduate School. Austin: The University of Texas at Austin.
- Das, B. M. (2016). *Ingeniería Geotécnica*. Sacramento, California, Estados Unidos: Braja M. Das.
- Das, B. M., Sivakugan, N., & Ameratunga, J. (2016). *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Henderson, California, United States: Springer.
- Fredlund, D., & Rahardjo, H. (2012). *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice*. Hoboken, New Jersey, United States: John Wiley & Sons Inc.
- García, E., Aguiar, R., & Villamarín, R. (2010). Leyes de atenuación para sismos corticales y de subducción del Ecuador. *Ciencia* , 13, 1-18.
- Gelagoti, F., Korkoulis, R., Anastasopoulos, I., Tazoh, T., & Gazetas, G. (2010). Seismic Wave Propagation in a Very Soft Alluvial Valley: Sensitivity to Ground-Motion Details and Soil Nonlinearity, and Generation of a Parasitic Vertical Component . *Bulletin of the Seismological Society of America* , 6.
- GEOESTUDIOS. (2018). *Aerovía de Guayaquil: Peligro Sísmico*. Guayaquil.

GEOESTUDIOS. (2018). *Caracterización geotécnica para Aerovía de Guayaquil*. Guayaquil.

Georys S.A. (2016). Análisis de medición microtrepidaciones en arreglos multicanal (MAM). *GEORYS INGENIEROS S.A.C.* (139), 1-9.

Hashash, Y., Musgrove, M., Harmon, J., Groholski, D., & Phillips, C. (2016). *DEEPSOIL 6.1, User Manual*. University of Illinois, Urbana-Champaign. Illinois: Board of Trustees.

Hudson, M., Idriss, I. M., & Biekae, M. (2003). *QUAD4M: A Computer Program to Evaluate the Seismic Response of Soil Structures Using Finite Element Procedures and Incorporating a Compliant Base*. University of California, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering. Davis: University of California.

Idriss, I. (1991). Earthquake Ground Motions at Soft Soil Sites. *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics* , 2265-2276.

Idriss, I. M., Lysmer, J., Hwang, R., & Seed, H. (1973). *QUAD-4 : a computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures*. Berkeley, California, Estados Unidos: National Technical Information Service.

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2016). *Instituto Geofísico*. (E. P. Nacional, Productor) Recuperado el 18 de Enero de 2017, de Informes de los últimos sismos: <http://www.igeppn.edu.ec/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *INEC*. Recuperado el 18 de Enero de 2017, de Población y demografía: [www.ecuadorencifras.gob.ec/](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/)

Jaillard, E., Guillier, B., Bonnardot, M. A., Hassani, R., Lapierre, H., & Toro, J. (2005). Orogenie buildup of the Ecuadorian Andes. *International Symposium on Andean Geodynamics* , 404-407.

Jean-Yves, C., Michaud, F., Alvarado, A., Marcaillou, B., Marc, S., Ratzov, G., y otros. (2010). Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador - Sur de Colombia: Implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la cordillera de Carnegie. *Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador* , 203-219.

Jones, K. (Mayo de 2014). Dynamic Soil-Structure-Interaction Analysis of Structures in Dense Urban Environments. (U. o. California, Ed.) *Civil & Environmental Engineering* , 2-350.

Kottke, A. (2010). A Comparison of Seismic Site Response Methods. *The University of Texas* , 60-112.

Kuhlemeyer, R., & Lysmer, J. (1973). Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* , 9 (5), 421-437.

Marquez, Lobo & Vielma. (2015). Comportamiento de Edificios de Acero con Diagonales Excéntricas y Concéntricas. *Universidad de los Andes* .

- Matinmanesha, H., & Asheghabadi, S. (2014). Seismic Analysis on Soil-Structure Interaction of Buildings over Sandy Soil. *Procedia Engineering 14* , 1717–1743.
- McGregor, J., & Duncan, M. (1998). *Performance and use of the standard penetration test in geotechnical engineering practice*. Blacksburg, Virginia, United States: Center for Geotechnical Practice and Research.
- Mitchell, J., & Soga, K. (2006). *Fundamentals of Soil Behaviour* (Vol. 3). Berkeley, California, Estados Unidos: Wiley.
- Mylonakis, G., & Nikolaou, S. (2013). Design methods for earthquake - induced pile bending. *Mueser Rutledge Consulting Engineers* , 8-12.
- National Earthquake Hazards Reduction Program. (2016). *2015 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples* (Vols. P-1051). Washinton D.C., Washington, Estados Unidos: Building Seismic Safety Council.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Ordaz, M., Miranda, E., & Avilés, J. (2011). Propuesta de espectros de diseño por sismo para el DF. *nstituto Mexicano de Tecnología del Agua* , 34-56.
- Pennington, W. (1981). Subduction of the Eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research* , 86 (B11), 10753-10770.
- Phillips, C. (2013). *Dynamic soil modeling in site response and soil-large pile interaction analysis*. University of Illinois, Civil & Enviromental Engineering. Illinois: Urbana-Champaign.
- Pile Dynamics Inc. (2000). *Measures the energy transferred into an instrumented SPT rod during a Standard Penetration Test (SPT)*. Cleveland: Pile Dynamics, Inc.
- Poulos, H. G. (2017). Designing piles for seismic events. *Deep Foundations Institute* , 4-28.
- Puzrin, A. (2012). *Constitutive Modelling in Geomechanics*. Zurich, Suiza: Springer.
- Reese, L., Isenhower, W., & Wang, S.-T. (2006). *Analysis and design of shallow and deep foundations*. Hoboken, New Jersey, United States: Wiley.
- Rivera, M., Piedra, R., & Paripanca, Y. (2015). Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y Medición de Ondas de corte para usos de cimentación en obras de edificaciones. *GEORYS Ingenieros S.A.C* , 50-64.
- Salgado, R. (2007). *The Engineering of Foundations*. Pensilvania: McGraw Hill.
- Santoyo, E. (2010). *Exploracion de suelos: Métodos directos e indirectos, muestreo y pruebas de campo*. Acapulco, Mexico: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.
- Santoyo, L., Ovando, E., & Lin Xue, R. (2012). *El Cono en la Exploración Geotécnica*. Mexico D.F., Mexico: TGC Geotecnia S. A.
- Shiwakoti, D., Tanaka, H., Tanaka, M., & Locat, J. (2002). Influences of diatom microfossils on engineering properties of soils. *Soils and Foundations* , 42 (3), 2-17.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. (2017). *Ingeniería de cimentaciones profundas*. Ciudad de México: SMIG.

Taípe, L. (2013). *Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador, utilizando datos registrados durante el periodo 200-2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos* (págs. 125). Ecuador: Tesis previa a la obtención de especialista en Geología, Escuela Politécnica Nacional.

Trigo, T. (2017). Influencia de la Amplificación Local de las Ondas Sísmicas y la Interacción Suelos-Fundación en el puente Marga-Marga. *Universidad de Chile*.

USGS. (2017). *United States Geological Survey*. Recuperado el 17 de Enero de 2018, de Earthquake Hazards Program.

Vera Grunauer, X. (2014). *Seismic Response of a Soft, High Plasticity, Diatomaceous Naturally Cemented Clay Deposit*. University of California, Berkeley, Engineering – Civil and Environmental Engineering. Berkeley: Berkeley, CA.

Vera Grunauer, X., Kayen, R., Ramirez, J., Vera Grunauer, J., & Tanzado, E. (Diciembre de 2015). Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. *IIFIUC*, 34-56.

Vera-Grunauer, X., Quinde, P., Suarez, M., & Mera, W. (Diciembre de 2016). Propuesta de actualización de la NEC-15 para el peligro sísmico probabilista en roca en el Ecuador. *IIFIUC*, 01-90.

Vera, X., Bray, J., & Pestana, J. (2006). *Site characterization and seismic zonation of Guayaquil city, Ecuador*. 8th Us National Conference On Earthquake Engineering 2006. Guayaquil: EENC.

Villacrés, A., & Argudo, J. (2000). *RADIUS*. M. I. Municipalidad de Santiago de Guayaquil. Guayaquil: IIFIUC.


Witt, C., & Bourgois, J. (2009). *Relaciones entre la evolución de la cuenca del Golfo de Guayaquil-Tumbes y el escape del bloque Nor-Andino*. Institut de Recherche pour le Développement, Geología y geofísica marina. Galápagos: Horizon.

Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., y otros. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment. *Tectonics 2016: AGU Journal*, 35 (5), 1249-1279.

Yoshida, N. (2015). *Seismic Ground Response Analysis* (Vol. 36). Londres, Inglaterra: Springer.

## **6. APÉNDICES**

## Apéndice A-1. Registro final de perforaciones en sitio de estudio E1 – Parque Centenario

 GEOESTUDIOS S.A. Cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz 704 V3 Guayaquil		<b>SONDEO N° GEO-01/G1</b> HOJA 1 de 5	
<b>CLIENTE</b> CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE		<b>LOCALIZACIÓN</b> GUAYAQUIL	
<b>PROYECTO</b> AEROVÍA DE GUAYAQUIL			
<b>FECHA COMIENZO</b> 12/12/17		<b>FECHA FINAL</b> 13/12/17	
<b>ELEVACIÓN</b> 3.97 m		<b>TAMAÑO de SONDEO</b> 75 mm	
<b>CONTRATISTA:</b> CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE			
<b>NIVEL FREÁTICO</b> Sondeo realizado en río			
<b>MÉTODO:</b> Percusión y Lavado		<b>DURANTE LA PERFORACIÓN</b> ---	
<b>PERFORADOR:</b> Angel Castillo		<b>DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN</b> 4,00 m / Elev -0.03 m	
<b>REGISTRADO POR:</b> Dazlyn Solano		<b>COORDENADAS</b> X: 623531 Y: 9757998	

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	SUPEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
1	2.97		- Pavimento asfáltico, concreto y relleno	MA 0										
2	1.97		1,70m (CH) 1 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia firme	MA 1	40	4-3-3 (6)			33,0	64,0	25,0	39,0	97	
3	0.97		2,15m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia rígida a muy blanda	MA 2	45	5-5-6 (11)			52,0	78,0	28,0	50,0	98	
				MA 3	55	2-2-1 (3)								
4	-0.03			MA 4	88	2-2-2 (4)								
				MA 5	88	2-1-1 (2)								
5	-1.03		3,95m (CL) 32 % grava, 7 % arena, 60 % finos Arcilla gravosa de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 6	75	1-1-1 (2)			40,0	45,0	24,0	21,0	60	
				MA 7	88	1-1-1 (2)			67,0	76,0	23,0	53,0	97	
6	-2.03		4,40m (CH) 1 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris claro de consistencia muy blanda con pintas de oxidación	MI 8	50		26	31	72,0	75,0	26,0	49,0	99	
7	-3.03		5,00m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia firme	MA 9	88	1-1-1 (2)			51,0	81,0	30,0	51,0	99	
				MA 10	100	1-1-1 (2)								

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS S.A.  
Cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz 704 V3  
Guayaquil

**SONDEO N° GEO-01/G1**  
HOJA 2 de 5

CLIENTE CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE LOCALIZACIÓN GUAYAQUIL

PROYECTO AEROVÍA DE GUAYAQUIL

FECHA COMIENZO 12/12/17 FECHA FINAL 13/12/17 ELEVACIÓN 3.97 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE NIVEL FREÁTICO Sondeo realizado en río

MÉTODO: Percusion y Lavado DURANTE LA PERFORACIÓN ---

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN 4,00 m / Elev -0.03 m

REGISTRADO POR: Dazlyn Solano COORDENADAS X: 623531 Y: 9757998

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
									HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD	
8	-4.03		6,90m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia blanda (continua)	MA 11	100	1-1-2 (3)			60,0	78,0	27,0	51,0	97
				MA 12	88	2-1-2 (3)							
9	-5.03		7,95m (SM) 0 % grava, 85 % arena, 15 % finos Arena limosa de color gris oscuro de compactad suelta	MA 13	77	2-2-5 (7)			35,0	NP	NP	NP	15
			8,40m (CL) 0 % grava, 48 % arena, 52 % finos Arcilla arenosa de color gris oscuro de consistencia firme	MA 14	66	3-4-3 (7)			37,0	38,0	24,0	14,0	52
			9,00m (CL) 0 % grava, 46 % arena, 54 % finos Arcilla arenosa de color gris verdoso de consistencia blanda	MA 15A	77	2-1-2 (3)			56,0	45,0	26,0	19,0	54
10	-6.03		9,25m (CH) 0 % grava, 13 % arena, 87 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia blanda con presencia de arena	MA 15B					66,0	-	-	-	87
			9,45m (CH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 16	100	1-1-1 (2)			73,0	77,0	32,0	45,0	92
			10,00m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 17A	80				83,0	76,0	27,0	49,0	97
11	-7.03		10,85m (CL) 0 % grava, 50 % arena, 50 % finos Arcilla arenosa de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 17B					79,0	43,0	22,0	21,0	50
			11,00m (MH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy blanda a blanda	MA 18	77	1-1-1 (2)			68,0	79,0	42,0	37,0	94
12	-8.03		11,90m (CH) 0 % grava, 7 % arena, 93 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 19	88	1-2-1 (3)							
				MA 20	77	1-1-1 (2)			66,0	67,0	24,0	43,0	93
13	-9.03			MA 21	88	1-1-1 (2)							
				MA 22	88	1-1-1 (2)							
			13,40m (MH) 0 % grava, 12 % arena, 88 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia blanda con presencia de arena	MA 23	77	1-2-1 (3)			62,0	66,0	35,0	31,0	88
14	-10.03												

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS S.A.  
Cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz 704 V3  
Guayaquil

**SONDEO N° GEO-01/G1**  
HOJA 3 de 5

CLIENTE CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE LOCALIZACIÓN GUAYAQUIL  
 PROYECTO AEROVÍA DE GUAYAQUIL  
 FECHA COMIENZO 12/12/17 FECHA FINAL 13/12/17 ELEVACIÓN 3.97 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm  
 CONTRATISTA: CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE NIVEL FREÁTICO Sondeo realizado en río  
 MÉTODO: Percusión y Lavado DURANTE LA PERFORACIÓN ---  
 PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN 4,00 m / Elev -0.03 m  
 REGISTRADO POR: Dazlyn Solano COORDENADAS X: 623531 Y: 9757998

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
15	-11.03		14,00m (MH) 0 % grava, 18 % arena, 82 % finos Limo con arena de color gris verdoso de consistencia blanda a firme	MA 24	77	3-2-2 (4)			58,0	66,0	35,0	31,0	82	
				MA 25	90	2-3-3 (6)								
16	-12.03		14,90m (SC) 0 % grava, 57 % arena, 43 % finos Arena arcillosa de color gris verdoso de compactidad medianamente densa	MA 26A	80	3-4-5 (9)			33,0	39,0	22,0	17,0	43	
				MA 26B						71,0	-	-	-	79
17	-13.03		15,20m (CH) 0 % grava, 21 % arena, 79 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia firme	MA 27	100	2-1-1 (2)			71,0	51,0	19,0	32,0	76	
				MA 28	65	3-3-4 (7)			40,0	NP	NP	NP	23	
18	-14.03		15,65m (CH) 0 % grava, 24 % arena, 76 % finos Arcilla con arena de color gris oscuro de consistencia muy blanda	MA 29	100	6-9-10 (19)								
				MA 30	90	7-7-5 (12)			28,0	36,0	26,0	10,0	47	
19	-15.03		16,10m (SM) 0 % grava, 77 % arena, 23 % finos Arena limosa de color gris oscuro de compactidad suelta a medianamente densa	MA 31	100	4-3-3 (6)			52,0	54,0	30,0	24,0	68	
				MA 32	100	3-2-2 (4)								
20	-16.03		17,15m (SM) 0 % grava, 53 % arena, 47 % finos Arena limosa de color gris oscuro de compactidad medianamente densa	MA 33	95	2-2-2 (4)								
				MA 34	95	12-14-10 (24)			44,0	45,0	34,0	11,0	97	
21	-17.03		17,60m (MH) 0 % grava, 32 % arena, 68 % finos Limo arenoso de color gris oscuro de consistencia firme a blanda	MA 35	45	5-11-7 (18)								
				MA 36	70	4-4-5 (9)			84,0	53,0	31,0	22,0	79	
			19,10m (ML) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia muy rígida a rígida	MA 37	65	6-6-5 (11)								

(Continúa en la Página Siguiente)





GEOESTUDIOS S.A.  
Cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz 704 V3  
Guayaquil

# SONDEO N° GEO-01/G1

HOJA 4 de 5

CLIENTE CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE LOCALIZACIÓN GUAYAQUIL

PROYECTO AEROVÍA DE GUAYAQUIL

FECHA COMIENZO 12/12/17 FECHA FINAL 13/12/17 ELEVACIÓN 3.97 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE NIVEL FREÁTICO Sondeo realizado en río

MÉTODO: Percusión y Lavado DURANTE LA PERFORACIÓN ---

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN 4,00 m / Elev -0.03 m

REGISTRADO POR: Dazlyn Solano COORDENADAS X: 623531 Y: 9757998

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NUMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
				MA 38	70	4-5-5 (10)								
			21,35m (MH) 0 % grava, 16 % arena, 84 % finos Limo con arena de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de turba	MA 39	100	4-4-5 (9)			62,0	53,0	32,0	21,0	84	
22	-18.03		21,80m (CL) 0 % grava, 42 % arena, 58 % finos Arcilla arenosa de color gris oscuro de consistencia firme a blanda con presencia de turba	MA 40	65	4-4-6 (10)			42,0	46,0	27,0	19,0	58	
				MA 41	88	4-3-4 (7)								
23	-19.03			MA 42	90	4-2-3 (5)								
			23,30m 0 % grava, 0 % arena, 100 % finos TURBA	MA 43A	88	10-9-10 (19)			185,0	-	-	-	100	
				MA 43B					66,0	57,0	31,0	26,0	92	
24	-20.03		23,63m (MH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia entre rígida a muy rígida con presencia de turba	MA 44	30	10-11-13 (24)								
				MA 45	45	10-9-9 (18)								
25	-21.03													
				MA 46	0									
26	-22.03													
			26,00m (CL) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Arcilla de color gris oscuro de consistencia firme a dura	MA 47	100	5-3-3 (6)			41,0	44,0	24,0	20,0	90	
				MA 48	100	15-16-14 (30)								
27	-23.03													
				MA 49	100	15-22-24 (46)								
28	-24.03													



GEOESTUDIOS S.A.  
Cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz 704 V3  
Guayaquil

# SONDEO N° GEO-01/G1

HOJA 5 de 5

CLIENTE CONSORCIO SUSPENDIDO GYE LOCALIZACIÓN GUAYAQUIL

PROYECTO AEROVÍA DE GUAYAQUIL

FECHA COMIENZO 12/12/17 FECHA FINAL 13/12/17 ELEVACIÓN 3.97 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE NIVEL FREÁTICO Sondeo realizado en río

MÉTODO: Percusión y Lavado DURANTE LA PERFORACIÓN ---

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN 4,00 m / Elev -0.03 m

REGISTRADO POR: Dazlyn Solano COORDENADAS X: 623531 Y: 9757998

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
29	-25.03		27,95m (CL) 0 % grava, 37 % arena, 63 % finos Arcilla arenosa de color gris oscuro de consistencia dura (continua)	MA 50	100	16-18-23 (41)			36,0	35,0	21,0	14,0	63	
				MA 51	88	18-26-25 (51)								
30	-26.03		29,00m (SM) 0 % grava, 81 % arena, 19 % finos Arena limosa de color gris oscuro de compactidad muy densa 29,25m (ML) 0 % grava, 32 % arena, 68 % finos Limo arenoso de color gris oscuro de consistencia dura 29,45m (SM) 0 % grava, 80 % arena, 20 % finos Arena limosa de color gris oscuro de compactidad muy densa a densa	MA 52A	65	18-30-34 (64)			23,0	NP	NP	NP	19	
				MA 52B					31,0	-	-	-	68	
				MA 53	100	35-27-40 (67)			22,0	NP	NP	NP	20	
				MA 54	100	20-25-16 (41)								
31	-27.03		30,50m (CH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia entre rígida a muy rígida	MA 55	88	7-9-10 (19)			31,0	69,0	28,0	41,0	92	
				MA 56	88	9-10-12 (22)								
				MA 57	88	6-7-12 (19)								
32	-28.03		32,00m (CH) 0 % grava, 10 % arena, 89 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida 32,45m (CL) 6 % grava, 19 % arena, 75 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia dura	MA 58	77	11-14-16 (30)			33,0	56,0	26,0	30,0	89	
				MA 59	70	20-48-50/R en 10 cm			26,0	46,0	22,0	24,0	75	

Fin de SONDEO a 32,85m

## E2- Plaza Julián Coronel



GEOESTUDIOS S.A.  
 cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz704 V3  
 Guayaquil  
 Tel.: 042680068

**SONDEO N° GEO-02/G2**

HOJA 1 de 4

<b>CLIENTE</b> CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE <b>PROYECTO</b> AEROVÍA DE GUAYAQUIL	<b>LOCALIZACIÓN</b> GUAYAQUIL
<b>FECHA COMIENZO</b> 13/11/17 <b>FECHA FINAL</b> 13/11/17 <b>ELEVACIÓN</b> 4.58 m <b>TAMAÑO de SONDEO</b> 75 mm	
<b>CONTRATISTA:</b> CONSORCIO SUSPENDIDO GYE <b>NIVEL FREÁTICO</b> Sondeo realizado en río	
<b>MÉTODO:</b> Percusión y Lavado <b>DURANTE LA PERFORACIÓN</b> ---	
<b>PERFORADOR:</b> Nevill Rodriguez <b>DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN</b> 2,50 m / Elev 2.08 m	
<b>REGISTRADO POR:</b> Dazlyn Solano <b>COORDENADAS</b> X: 623718    Y: 9758571	

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			- Pavimento	MA 1										
			0,06m (SM) 32 % grava, 48 % arena, 20 % finos Arena limosa con grava de color amarillo claro / Material de Relleno	MA 2	40				15,0	NP	NP	NP	20	
			0,40m (SM) 36 % grava, 48 % arena, 16 % finos Arena limosa con grava de color amarillo claro de compacidad muy densa	MA 3	35	13-26-17 (43)			18,0	NP	NP	NP	16	
1	3.58		0,85m (GM) 44 % grava, 37 % arena, 19 % finos Grava limosa con arena de color amarillo oscuro de compacidad densa a medianamente densa	MA 4	70	15-17-18 (35)			18,0	NP	NP	NP	19	
				MA 5	20	7-8-6 (14)								
2	2.58		1,75m (GM) 48 % grava, 32 % arena, 20 % finos Grava limosa con arena de color marrón claro de compacidad medianamente densa	MA 6	35	7-4-5 (9)			19,0	NP	NP	NP	20	
				MA 7	20	7-6-5 (11)								
3	1.58		2,65m (CH) 11 % grava, 21 % arena, 68 % finos Arcilla arenosa de color gris verdoso de consistencia blanda a muy blanda	MA 8	55	3-2-2 (4)			45,0	61,0	29,0	32,0	68	
				MA 9	78	2-1-1 (2)								
4	0.58		3,55m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 10	65	1-1-1 (2)			71,0	95,0	37,0	58,0	98	
				MA 11		2-1-1 (2)								
				MA 12	100	1-1-1 (2)								
5	-0.42		5,00m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia firme	MI 13	40				48,0	82,0	34,0	48,0	98	
6	-1.42													

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS S.A.  
 cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz704 V3  
 Guayaquil  
 Tel.: 042680068

**SONDEO N° GEO-02/G2**

HOJA 2 de 4

CLIENTE CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE

LOCALIZACIÓN GUAYAQUIL

PROYECTO AEROVÍA DE GUAYAQUIL

FECHA COMIENZO 13/11/17

FECHA FINAL 13/11/17

ELEVACIÓN 4.58 m

TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: CONSORCIO SUSPENDIDO GYE

NIVEL FREÁTICO Sondeo realizado en río

MÉTODO: Percusión y Lavado

DURANTE LA PERFORACIÓN ---

PERFORADOR: Nevill Rodriguez

DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN 2,50 m / Elev 2.08 m

REGISTRADO POR: Dazlyn Solano

COORDENADAS

X: 623718

Y: 975857

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	SU-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	SU-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
7	-2.42		6,00m (ML) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 14	100	1-1-1 (2)			48,0	44,0	31,0	13,0	98	
				MA 15	100	1-1-1 (2)								
				MA 16	80	1-1-1 (2)								
				MA 17	100	1-1-1 (2)								
8	-3.42		7,95m (CH) 14 % grava, 4 % arena, 82 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de grava	MA 18	40	1-1-1 (2)			73,0	-	-	-	82	
				MA 19	84	3-1-1 (2)			47,0	39,0	21,0	18,0	58	
9	-4.42		8,40m (CL) 0 % grava, 42 % arena, 58 % finos Arcilla arenosa de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 20A	80	5-6-18 (24)			19,0	NP	NP	NP	16	
				MA 20B					41,0	-	-	-	64	
				MA 21	55	19-16-14 (30)			22,0	NP	NP	NP	19	
				MA 22	55	14-21-22 (43)								
				MA 23	55	11-13-18 (31)			21,0	NP	NP	NP	20	
10	-5.42		9,00m (GM) 48 % grava, 36 % arena, 16 % finos Grava limosa con arena de color gris oscuro de compacidad medianamente densa	MA 24	50	27-50/R en 14 cm			15,0	NP	NP	NP	21	
11	-6.42		9,25m (ML) 0 % grava, 36 % arena, 64 % finos Limo arenoso de color gris verdoso de consistencia muy rígida											
12	-7.42		9,45m (SM) 34 % grava, 46 % arena, 19 % finos Arena limosa con grava de color gris oscuro de compacidad densa a muy densa											
			10,50m (SM) 37 % grava, 43 % arena, 20 % finos Arena limosa con grava de color gris claro de compacidad densa											
			10,95m (GM) 41 % grava, 38 % arena, 21 % finos Grava limosa con arena de color gris claro de compacidad muy densa											
			11,24m Fragmentos lutíticos centimétricos, de color gris azulado, angulosos con presencia de chert, poco meteorizados a tope.											

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS S.A  
 cdla. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz704 V3  
 Guayaquil  
 Tel.: 042680068

**SONDEO N° GEO-02/G2**  
 HOJA 3 de 4

**CLIENTE** CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE **LOCALIZACIÓN** GUAYAQUIL  
**PROYECTO** AEROVÍA DE GUAYAQUIL  
**FECHA COMIENZO** 13/11/17 **FECHA FINAL** 13/11/17 **ELEVACIÓN** 4.58 m **TAMAÑO de SONDEO** 75 mm  
**CONTRATISTA:** CONSORCIO SUSPENDIDO GYE **NIVEL FREÁTICO** Sondeo realizado en río  
**MÉTODO:** Percusión y Lavado **DURANTE LA PERFORACIÓN** ---  
**PERFORADOR:** Nevill Rodriguez **DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN** 2,50 m / Elev 2.08 m  
**REGISTRADO POR:** Dazlyn Solano **COORDENADAS** X: 623718 Y: 975857

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NUMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG			
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)
			11,24m Fragmentos lutíticos centimétricos, de color gris azulado, angulosos con presencia de chert, poco meteorizados a tope( <i>continua</i> )	ROT 25									
13	-8.42		12,80m Arena limosa de color gris claro de compacidad muy densa										
14	-9.42			ROT 26					33	NP	NP	NP	19
15	-10.42												
16	-11.42		15,30m Fragmentos centimétricos de lutitas y limolitas de color gris azulado, angulosos, con presencia de chert, altamente meteorizados con óxidos de hierro y minerales de arcilla.	ROT 27									
			16,00m Arena bien graduada con limo de color gris claro de compacidad muy densa.	ROT 28					26	NP	NP	NP	6
			16,30m Fragmentos centimétricos de lutitas y limolitas altamente meteorizadas, color gris verdoso, presencia de óxidos de hierro.	ROT 29									
17	-12.42		16,70m Arena bien graduada con limo de color gris claro de compacidad muy densa.	ROT 30					24	NP	NP	NP	7
18	-13.42		17,00m Fragmentos de milimétricos a centimétricos de lutitas y limolitas color gris verdoso, altamente meteorizadas con presencia de óxidos.										

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS S.A.  
 cda. Kennedy Norte Calle Assaf Bucaram Mz704 V3  
 Guayaquil  
 Tel.: 042680068

**SONDEO N° GEO-02/G2**  
 HOJA 4 de 4

**CLIENTE** CONSORCIO AEROSUSPENDIDO GYE **LOCALIZACIÓN** GUAYAQUIL

**PROYECTO** AEROVÍA DE GUAYAQUIL

**FECHA COMIENZO** 13/11/17 **FECHA FINAL** 13/11/17 **ELEVACIÓN** 4.58 m **TAMAÑO de SONDEO** 75 mm

**CONTRATISTA:** CONSORCIO SUSPENDIDO GYE **NIVEL FREÁTICO** Sondeo realizado en río

**MÉTODO:** Percusión y Lavado **DURANTE LA PERFORACIÓN** ---

**PERFORADOR:** Nevill Rodriguez **DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN** 2,50 m / Elev 2.08 m

**REGISTRADO POR:** Dazlyn Solano **COORDENADAS** X: 623718 Y: 975857

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG			
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)
19	-14.62		17,00m Fragmentos de milimétricos a centimétricos de lutitas y limolitas color gris verdoso, altamente meteorizadas con presencia de óxido de hierro (continua)	ROT 31									
20	-15.42		20,00m Fragmentos centimétricos de areniscas de grano muy fino a fino, subangulares, de color amarillo oscuro, medianamente meteorizadas.	ROT 32									
21	-16.42												
22	-17.42												
23	-18.42		22,45m Areniscas de grano muy fino a fino, sudredondeadas, de color gris verdoso intercaladas con rocas de grano fino, color gris azulada denotando un ambiente de depositación turbulento. Presencia de numerosas fracturas de aperturas milimétricas rellenas de carbonatos, a su vez se nota gran predominio de patinas de óxidos de manganeso. A la base la coloración de la roca se torna de color blanco y su densidad aumenta junto con el contenido de carbonatos.	ROT 33									
24	-19.42												

Fin de SONDEO a 24,00m

## Apéndice A-2. Perfiles de Vs para cada una de las estaciones E1 - Parque Centenario



### ENSAYO DE SISMICA ACTIVA + PASIVA



**Proyecto:** "AEROVÍA DE GUAYAQUIL"

**Longitud de tendido:** 55 m

**Cliente:** Consorcio Aerosuspendido GYE

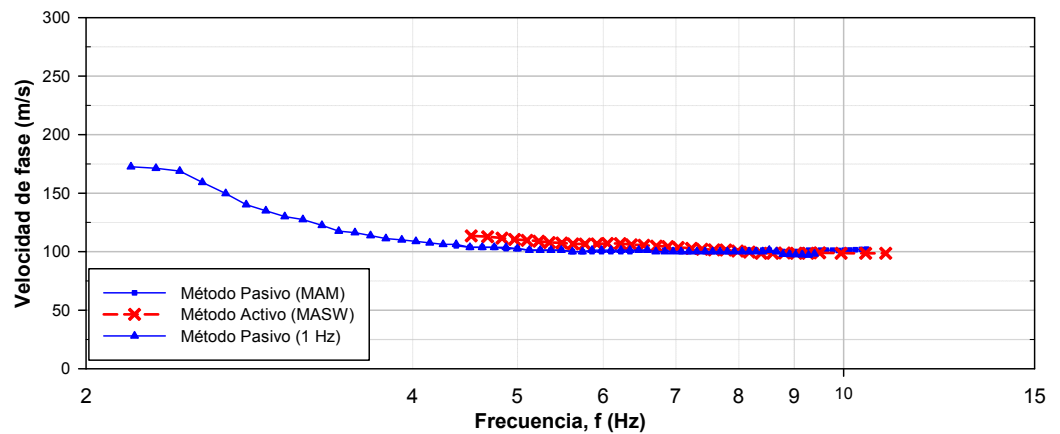
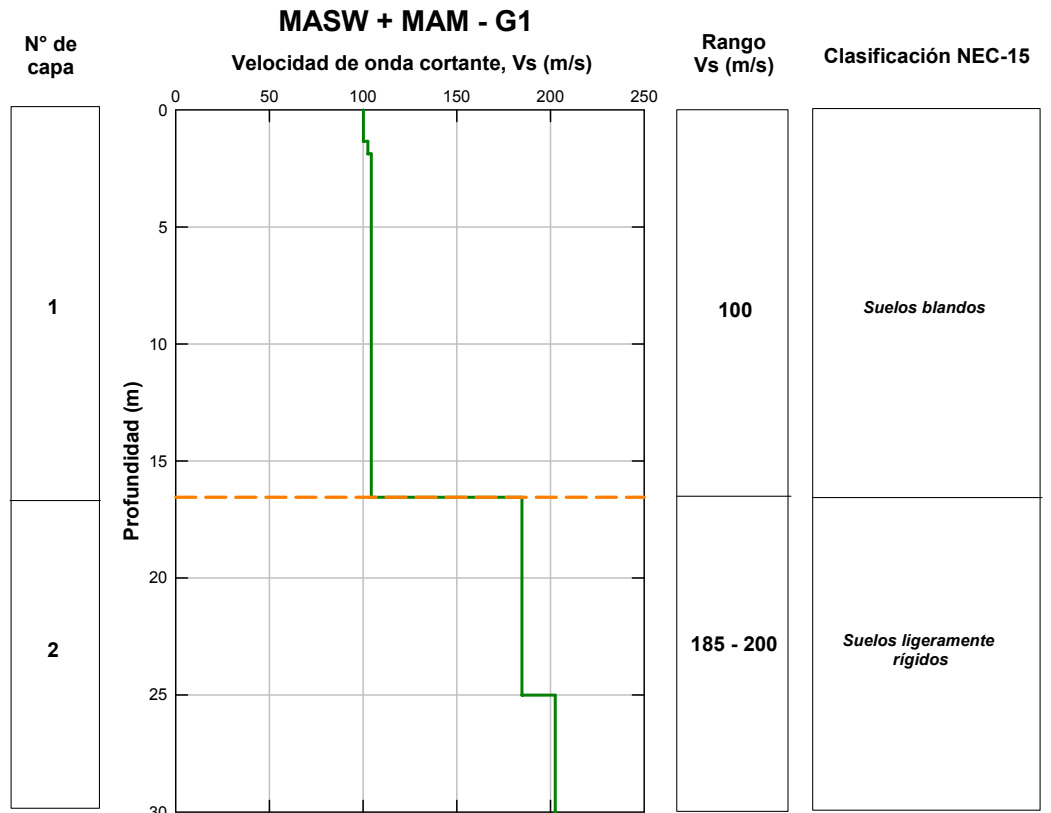
**Número de geófonos:** 23 geófonos

**Sistema de referencia:** UTM WGS-84

**Coordenadas**

**Promedio Vs<sub>30</sub> :** 130 m/s

**Centro** 623604 E , 9757937 N



## E2 – Plaza Julián Coronel

**Proyecto:** "AEROVÍA DE GUAYAQUIL"

**Longitud de tendido:** 69 m

**Cliente:** Consorcio Aerosuspendido GYE

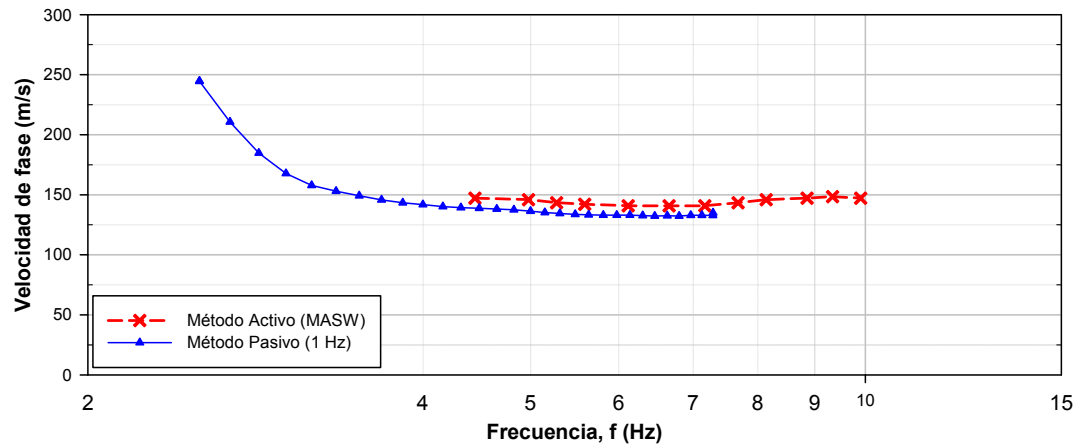
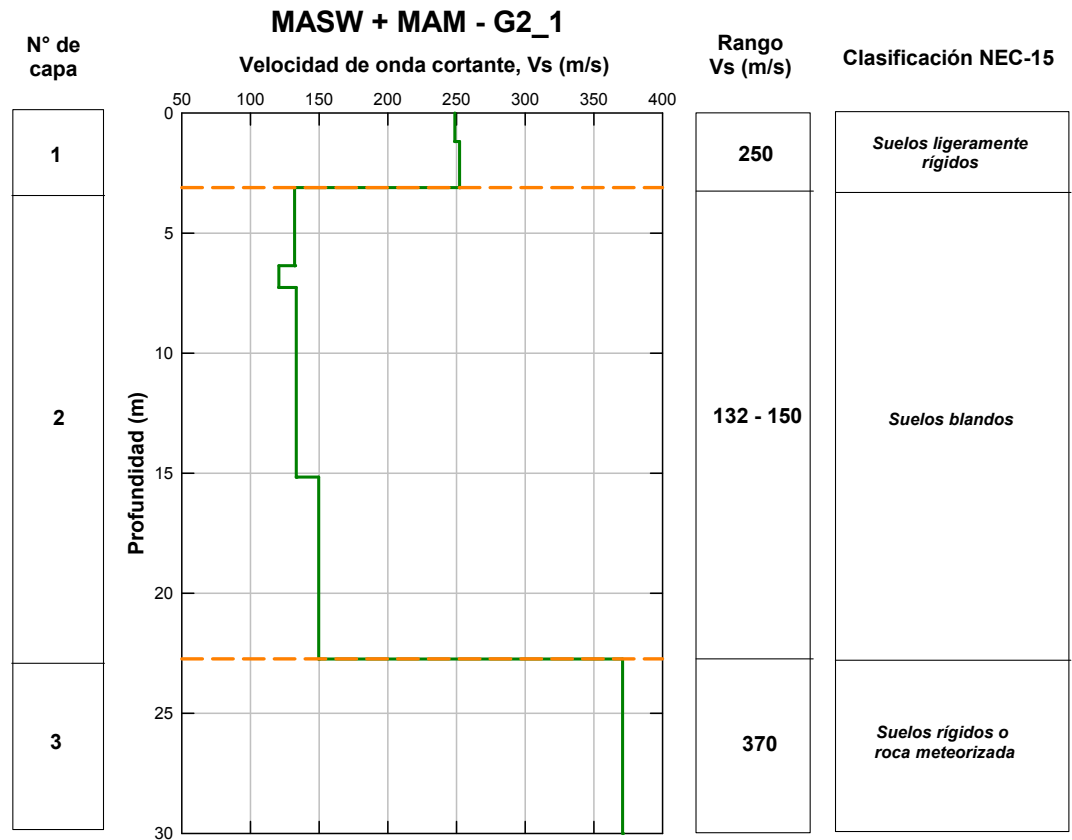
**Número de geófonos:** 24 geófonos

**Sistema de referencia:** UTM WGS-84

**Coordenadas**

**Promedio  $V_{s30}$  :** 172 m/s

**Centro** 623700.5 E , 9758553.5 N





**Proyecto:** "AEROVÍA DE GUAYAQUIL"

**Longitud de tendido:** 57.5 m

**Cliente:** Consorcio Aerosuspendido GYE

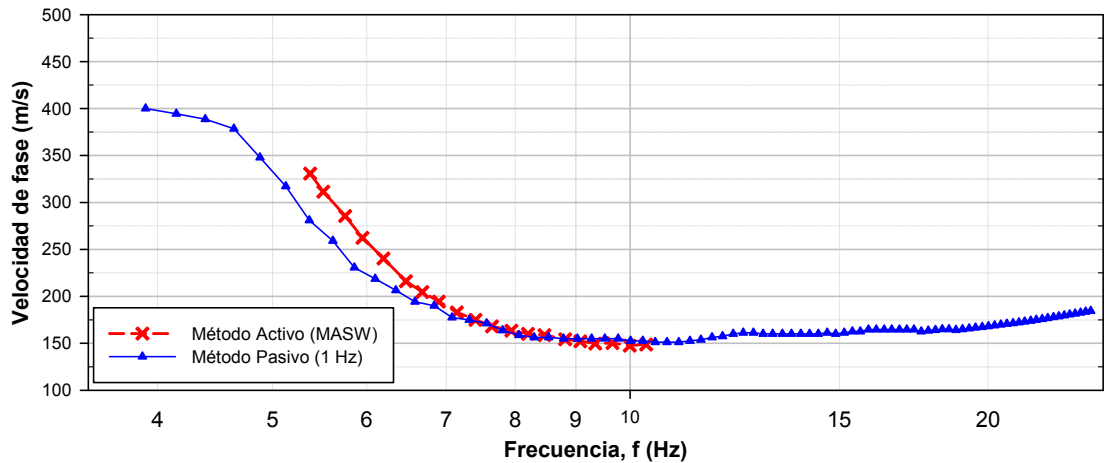
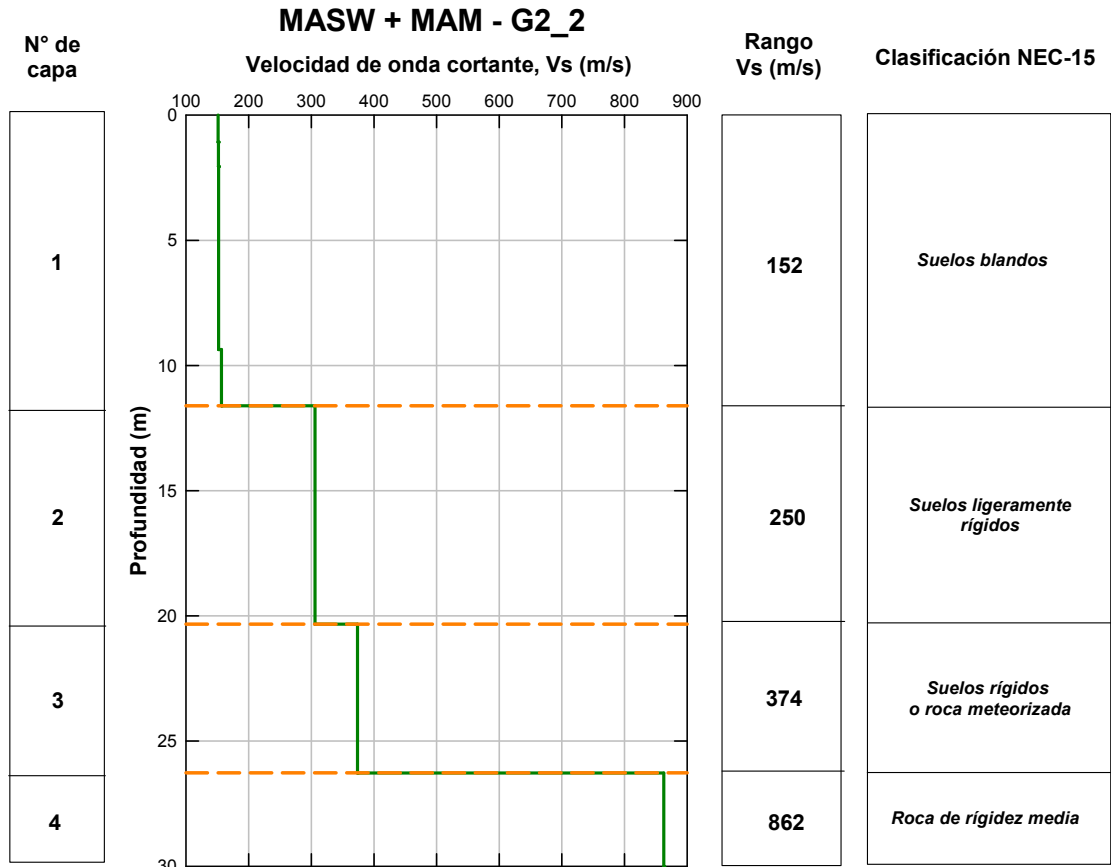
**Número de geófonos:** 24 geófonos

**Sistema de referencia:** UTM WGS-84

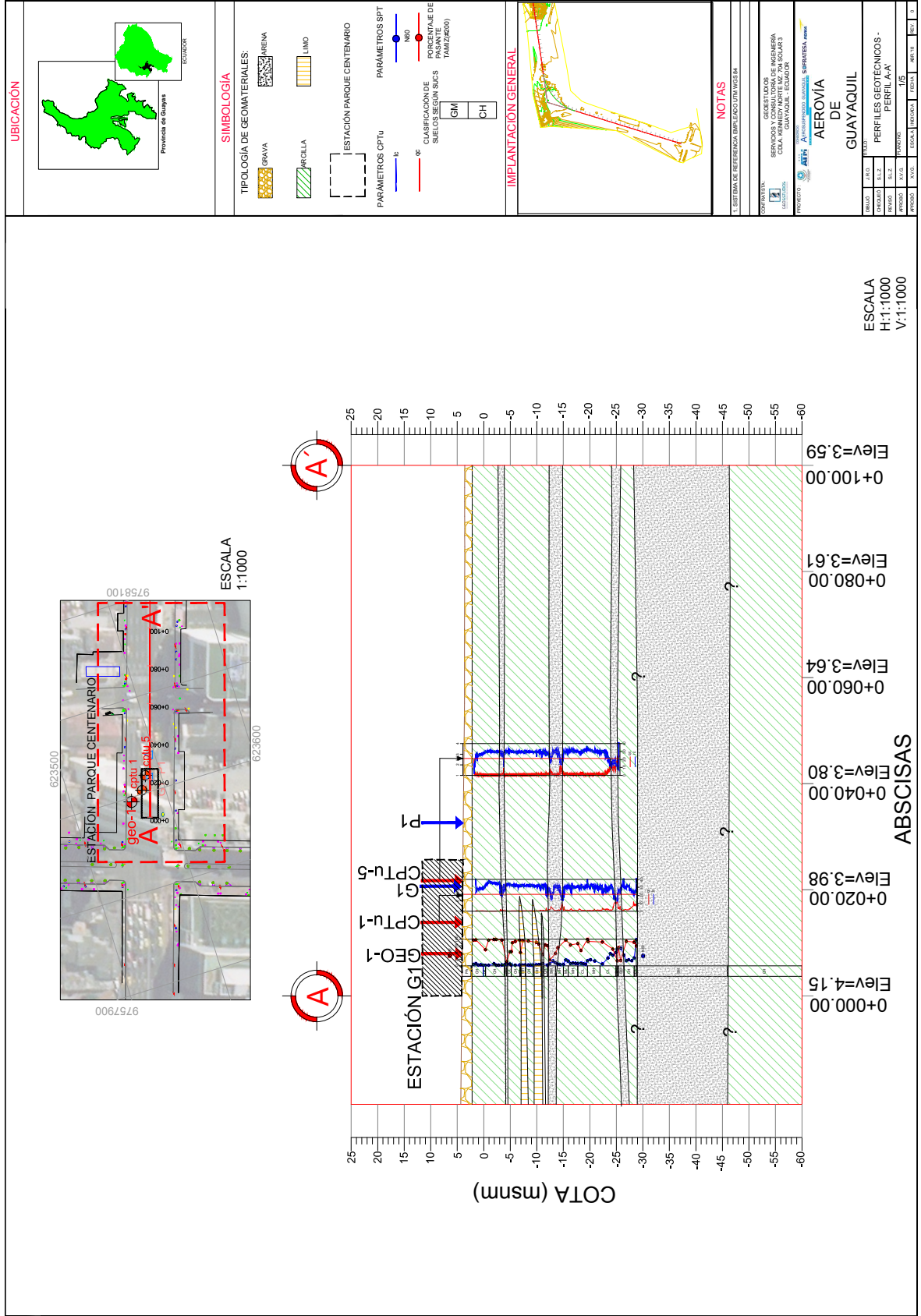
**Coordenadas**

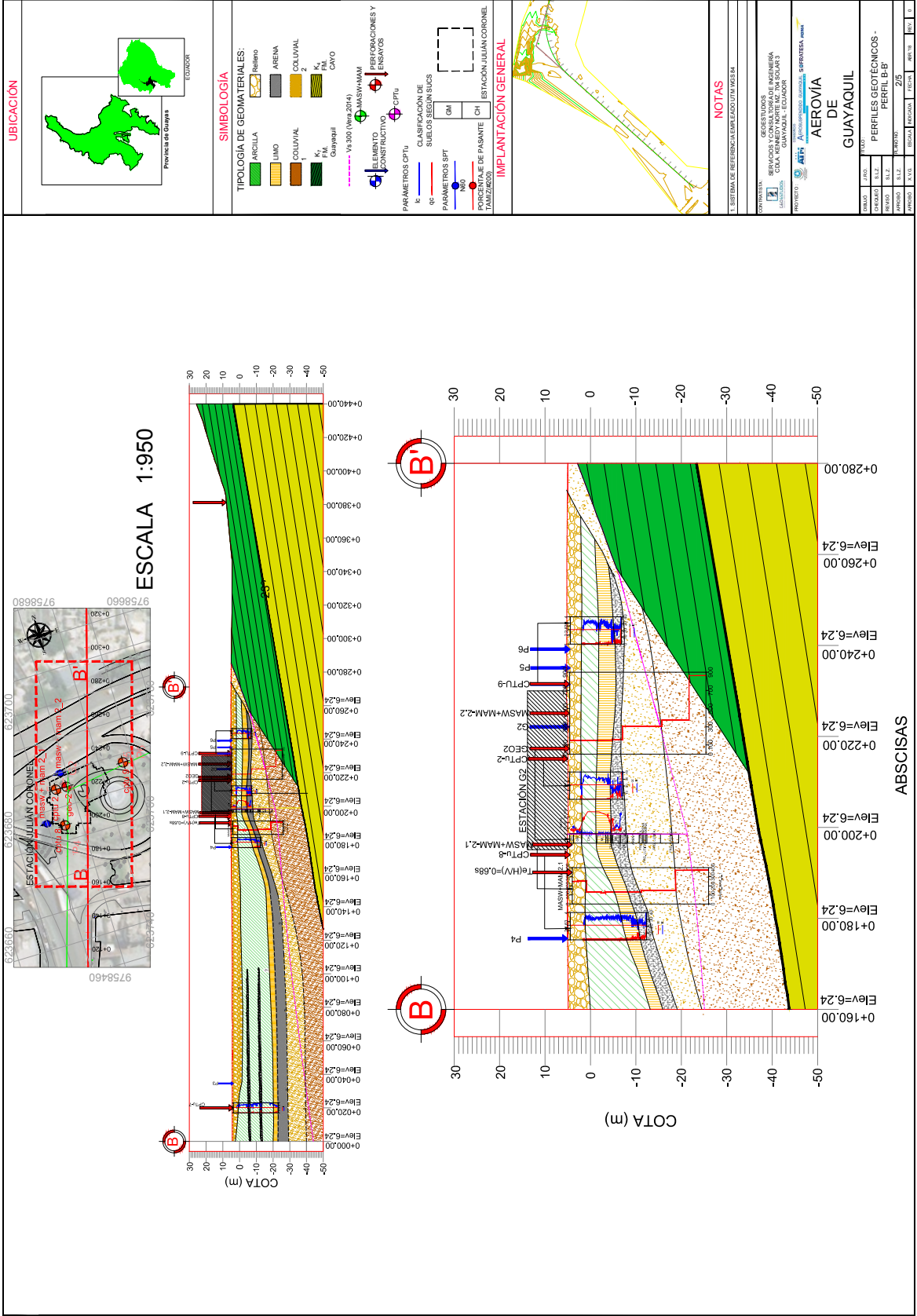
**Promedio Vs<sub>30</sub> :** 240 m/s

**Centro** 623715 E , 9758579.5 N



# Apéndice A-3. Perfiles Geotécnicos de las dos estaciones





# Apéndice A-4. Registro completo de propiedades de geomateriales E1

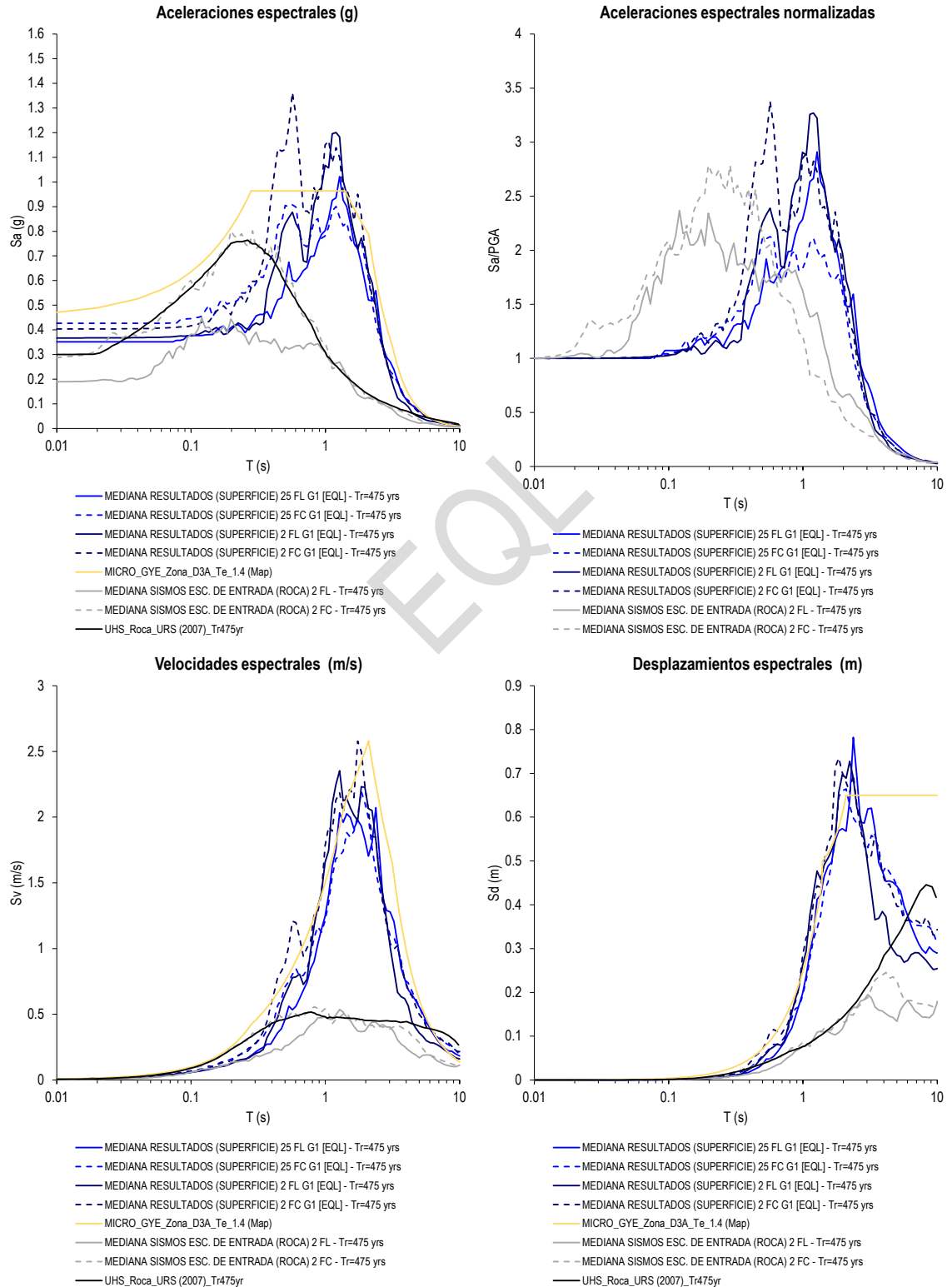
SITE ARS G1 MODEL

Nota: se modificaron las curvas de Darendeli para materiales arcillosos y limos de alta plasticidad para tener en cuenta los efectos de cementación en las arcillas de la ciudad de Guayaquil.

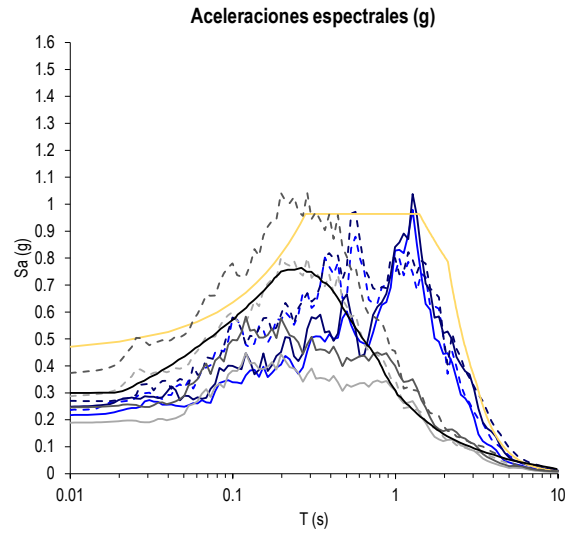
Material	Cod. Material	ID	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kN/m3)	V <sub>a</sub> (ml)	G <sub>mo</sub> (Kpa)	τ (Kpa)	Menq, 2003		Darendeli, 2001		Depth (m.)
								Cu	D50 (mm)	φ	IP (%)	
GW	MAT 1	1	0.50	18.00	100	18349	4	50.00	3.00	42	--	0.50
	MAT 1	2	0.50	18.00	100	18349	12	50.00	3.00	42	--	1.00
	MAT 1	3	0.50	18.00	100	18349	20	50.00	3.00	42	--	1.50
CH	MAT 2	4	0.50	16.00	100	16310	15	--	--	26	45.0	2.00
	MAT 2	5	0.50	16.00	100	16310	15	--	--	26	45.0	2.50
	MAT 2	6	0.50	16.00	100	16310	15	--	--	26	45.0	3.00
	MAT 3	7	0.50	16.00	100	16310	20	--	--	29	25.0	3.50
	MAT 3	8	0.50	16.00	100	16310	20	--	--	29	25.0	4.00
	MAT 3	9	0.50	16.00	100	16310	20	--	--	29	25.0	4.50
	MAT 3	10	0.50	16.00	100	16310	20	--	--	29	25.0	5.00
	MAT 4	11	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	5.50
	MAT 4	12	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	6.00
	MAT 4	13	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	6.50
	MAT 4	14	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	7.00
	MAT 4	15	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	7.50
	MAT 4	16	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	8.00
	MAT 4	17	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	8.50
	MAT 4	18	0.50	16.00	100	16310	25	--	--	25	50.0	9.00
	MAT 5	19	0.50	16.00	100	16310	35	--	--	27	40.0	9.50
	MAT 5	20	0.50	16.00	100	16310	35	--	--	27	40.0	10.00
	MAT 5	21	0.50	16.00	100	16310	35	--	--	27	40.0	10.50
	MAT 5	22	0.50	16.00	100	16310	35	--	--	27	40.0	11.00
	MAT 5	23	0.50	16.00	100	16310	35	--	--	27	40.0	11.50
	MAT 5	24	0.50	16.00	100	16310	35	--	--	27	40.0	12.00
	MAT 6	25	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	28	30.0	12.50
	MAT 6	26	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	28	30.0	13.00
	MAT 6	27	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	28	30.0	13.50
	MAT 6	28	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	28	30.0	14.00
MAT 6	29	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	28	30.0	14.50	
MAT 6	30	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	28	30.0	15.00	
MAT 7	31	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	30	20.0	15.50	
MAT 7	32	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	30	20.0	16.00	
MAT 7	33	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	30	20.0	16.50	
MAT 7	34	0.50	16.00	100	16310	45	--	--	30	20.0	17.00	
MAT 8	35	0.50	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	17.50	
MAT 8	36	0.50	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	18.00	
MAT 8	37	0.50	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	18.50	
MAT 8	38	0.50	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	19.00	
MAT 8	39	0.50	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	19.50	
MAT 8	40	0.50	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	20.00	
MAT 9	41	1.00	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	21.00	
MAT 9	42	1.00	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	22.00	
MAT 9	43	1.00	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	23.00	
MAT 9	44	1.00	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	24.00	
MAT 9	45	1.00	16.00	200	65240	60	--	--	30	20.0	25.00	
MAT 10	46	1.00	16.00	200	65240	70	--	--	30	17.0	26.00	
MAT 10	47	1.00	16.00	200	65240	70	--	--	30	17.0	27.00	
MAT 10	48	1.00	16.00	200	65240	70	--	--	30	17.0	28.00	
MAT 10	49	1.00	16.00	200	65240	70	--	--	30	17.0	29.00	
MAT 10	50	1.00	16.00	200	65240	70	--	--	30	17.0	30.00	
MAT 10	51	1.00	16.00	200	65240	70	--	--	30	17.0	31.00	
MAT 10	52	1.00	16.00	200	65240	70	--	--	30	17.0	32.00	
SP-SM	MAT 11	53	1.50	17.00	400	277268	265	4.25	0.92	44	--	33.50
	MAT 11	54	1.50	17.00	400	277268	276	4.25	0.92	44	--	35.00
	MAT 11	55	1.50	17.00	400	277268	286	4.25	0.92	44	--	36.50
	MAT 11	56	1.50	17.00	400	277268	297	4.25	0.92	44	--	38.00
	MAT 11	57	1.50	17.00	400	277268	307	4.25	0.92	44	--	39.50
	MAT 11	58	1.50	17.00	400	277268	317	4.25	0.92	44	--	41.00
	MAT 11	59	1.50	17.00	400	277268	328	4.25	0.92	44	--	42.50
	MAT 11	60	1.50	17.00	400	277268	338	4.25	0.92	44	--	44.00
	MAT 11	61	1.50	17.00	400	277268	349	4.25	0.92	44	--	45.50
	MAT 11	62	1.50	17.00	400	277268	359	4.25	0.92	44	--	47.00
	MAT 11	63	1.50	17.00	400	277268	369	4.25	0.92	44	--	48.50
	MAT 11	64	1.50	17.00	400	277268	380	4.25	0.92	44	--	50.00
CH	MAT 12	65	2.00	16.00	300	146789	190	--	--	28	35.0	52.00
	MAT 12	66	2.00	16.00	300	146789	190	--	--	28	35.0	54.00
	MAT 12	67	2.00	16.00	300	146789	190	--	--	28	35.0	56.00
	MAT 12	68	2.00	16.00	300	146789	190	--	--	28	35.0	58.00
	MAT 13	69	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	60.00
	MAT 13	70	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	62.00
	MAT 13	71	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	64.00
	MAT 13	72	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	66.00
	MAT 13	73	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	68.00
	MAT 13	74	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	70.00
	MAT 13	75	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	72.00
	MAT 13	76	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	74.00
	MAT 13	77	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	76.00
	MAT 13	78	2.00	16.00	300	146789	220	--	--	26	43.0	78.00
SW-SM	MAT 14	79	3.00	17.00	650	732161	495	6.17	0.80	39	--	81.00
	MAT 14	80	3.00	17.00	650	732161	512	6.17	0.80	39	--	84.00
	MAT 14	81	3.00	17.00	650	732161	530	6.17	0.80	39	--	87.00
	MAT 14	82	3.00	17.00	650	732161	547	6.17	0.80	39	--	90.00
	MAT 14	83	3.00	17.00	650	732161	565	6.17	0.80	39	--	93.00
	MAT 14	84	3.00	17.00	650	732161	582	6.17	0.80	39	--	96.00
	MAT 14	85	3.00	17.00	650	732161	599	6.17	0.80	39	--	99.00
	MAT 14	86	3.00	17.00	650	732161	617	6.17	0.80	39	--	102.00
	MAT 14	87	3.00	17.00	650	732161	634	6.17	0.80	39	--	105.00
CH	MAT 15	88	3.00	16.00	400	260958	380	--	--	26	44.0	108.00
	MAT 15	89	3.00	16.00	400	260958	380	--	--	26	44.0	111.00
	MAT 15	90	3.00	16.00	400	260958	380	--	--	26	44.0	114.00
	MAT 15	91	3.00	16.00	400	260958	380	--	--	26	44.0	117.00
	MAT 16	92	3.00	16.00	400	260958	430	--	--	27	37.0	120.00
	MAT 16	93	3.00	16.00	400	260958	430	--	--	27	37.0	123.00
	MAT 16	94	3.00	16.00	400	260958	430	--	--	27	37.0	126.00
CH-MH	MAT 17	95	3.00	16.00	650	689093	900	--	--	27	37.0	129.00
	MAT 17	96	3.00	16.00	650	689093	900	--	--	27	37.0	132.00
	MAT 17	97	3.00	16.00	650	689093	900	--	--	27	37.0	135.00
	MAT 17	98	3.00	16.00	650	689093	900	--	--	27	37.0	138.00
	MAT 17	99	3.00	16.00	650	689093	900	--	--	27	37.0	141.00
	MAT 17	100	3.00	16.00	650	689093	900	--	--	27	37.0	144.00
ROCA	101	Semiapacado	21.00	2800	16782875							

## Apéndice A-5. Resultados de los análisis de respuesta para estación E1-Parque Centenario

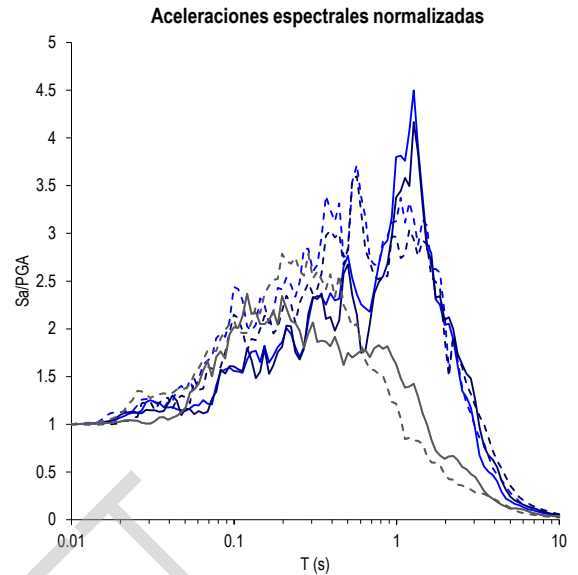
### Método Equivalente Lineal



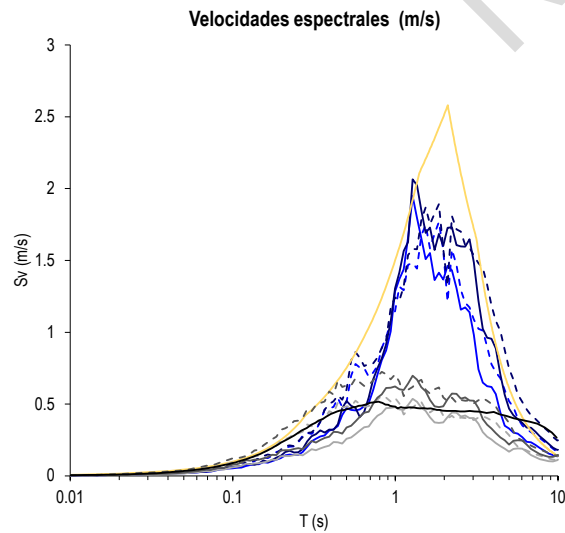
## Método No Lineal



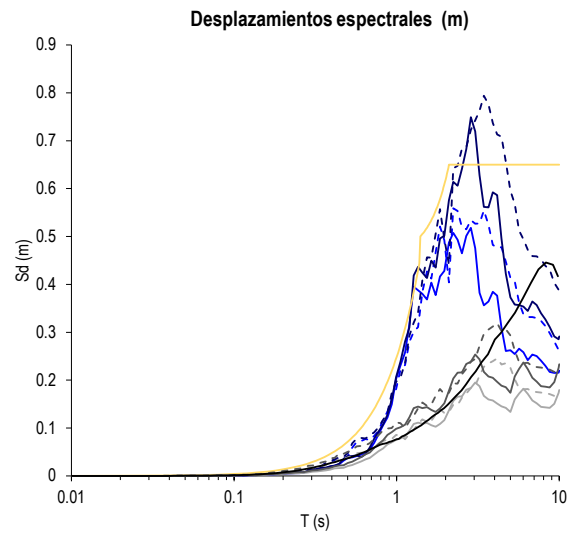
- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FL G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FC G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FLx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FCx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- MICRO\_GYE\_Zona\_D3A\_Te\_1.4 (Map)
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FL - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FC - Tr=475 yrs
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FLx1.3 - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FCx1.3 - Tr=1000 yrs
- UHS\_Roca\_URS (2007)\_Tr475yr



- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FL G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FC G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FLx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FCx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FL - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FC - Tr=475 yrs
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FLx1.3 - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FCx1.3 - Tr=1000 yrs

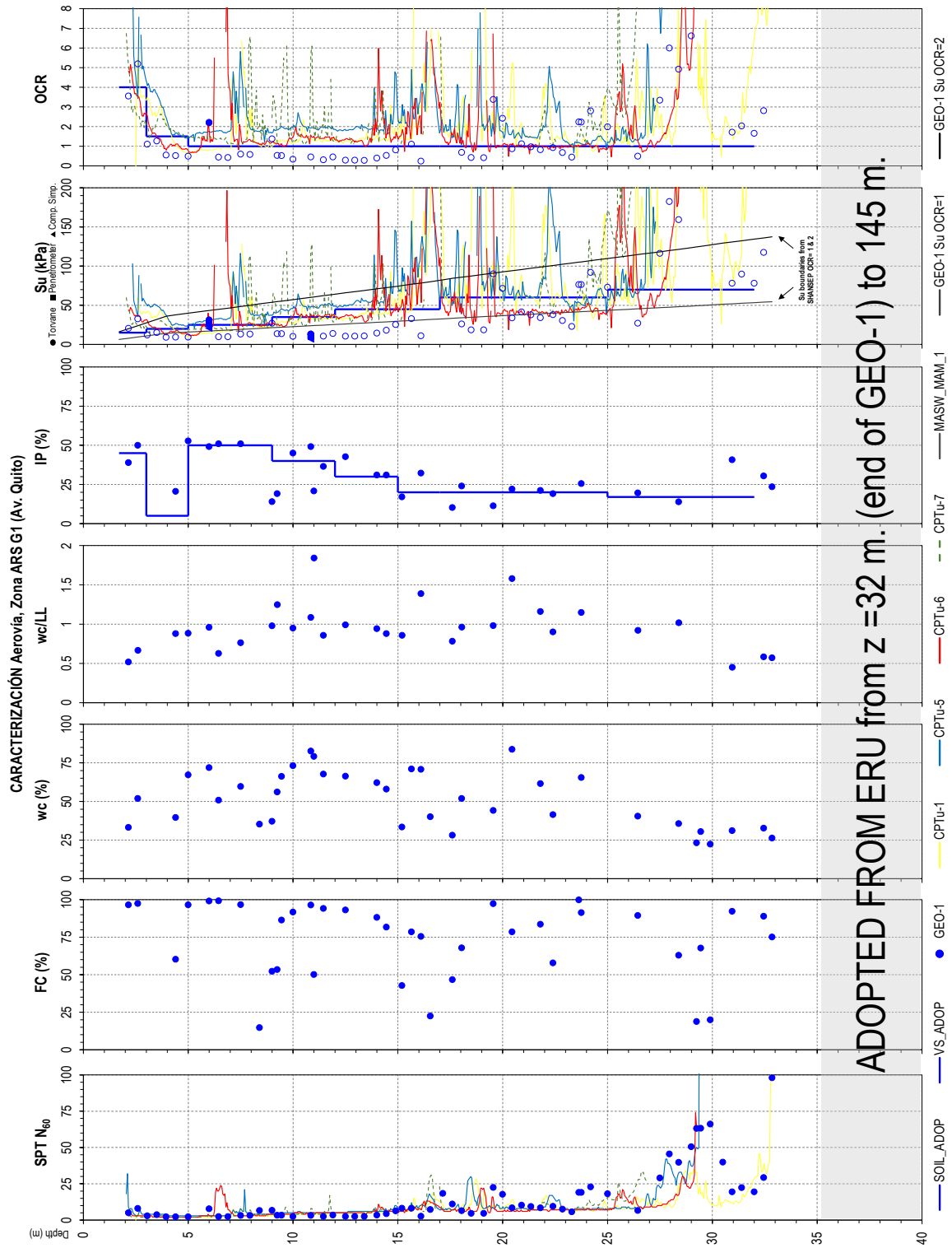


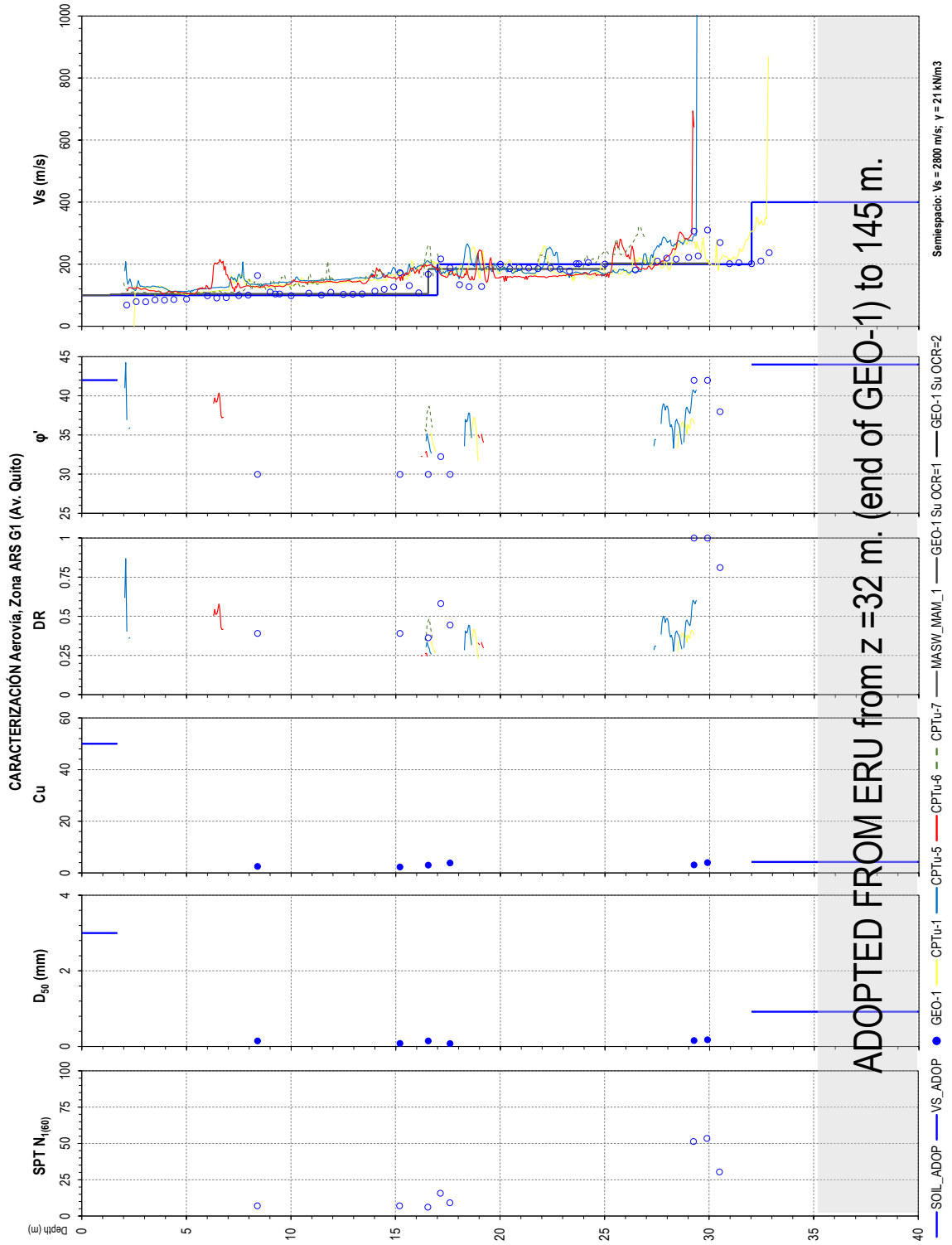
- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FL G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FC G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FLx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FCx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- MICRO\_GYE\_Zona\_D3A\_Te\_1.4 (Map)
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FL - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FC - Tr=475 yrs
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FLx1.3 - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FCx1.3 - Tr=1000 yrs
- UHS\_Roca\_URS (2007)\_Tr475yr



- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FL G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FC G1 [NL-ET] - Tr=475 yrs
- MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FLx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA RESULTADOS (SUPERFICIE) 2 FCx1.3 G1 [NL-ET] - Tr=1000 yrs
- MICRO\_GYE\_Zona\_D3A\_Te\_1.4 (Map)
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FL - Tr=475 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FC - Tr=475 yrs
- MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FLx1.3 - Tr=1000 yrs
- - - MEDIANA SISMOS ESC. DE ENTRADA (ROCA) 2 FCx1.3 - Tr=1000 yrs
- UHS\_Roca\_URS (2007)\_Tr475yr

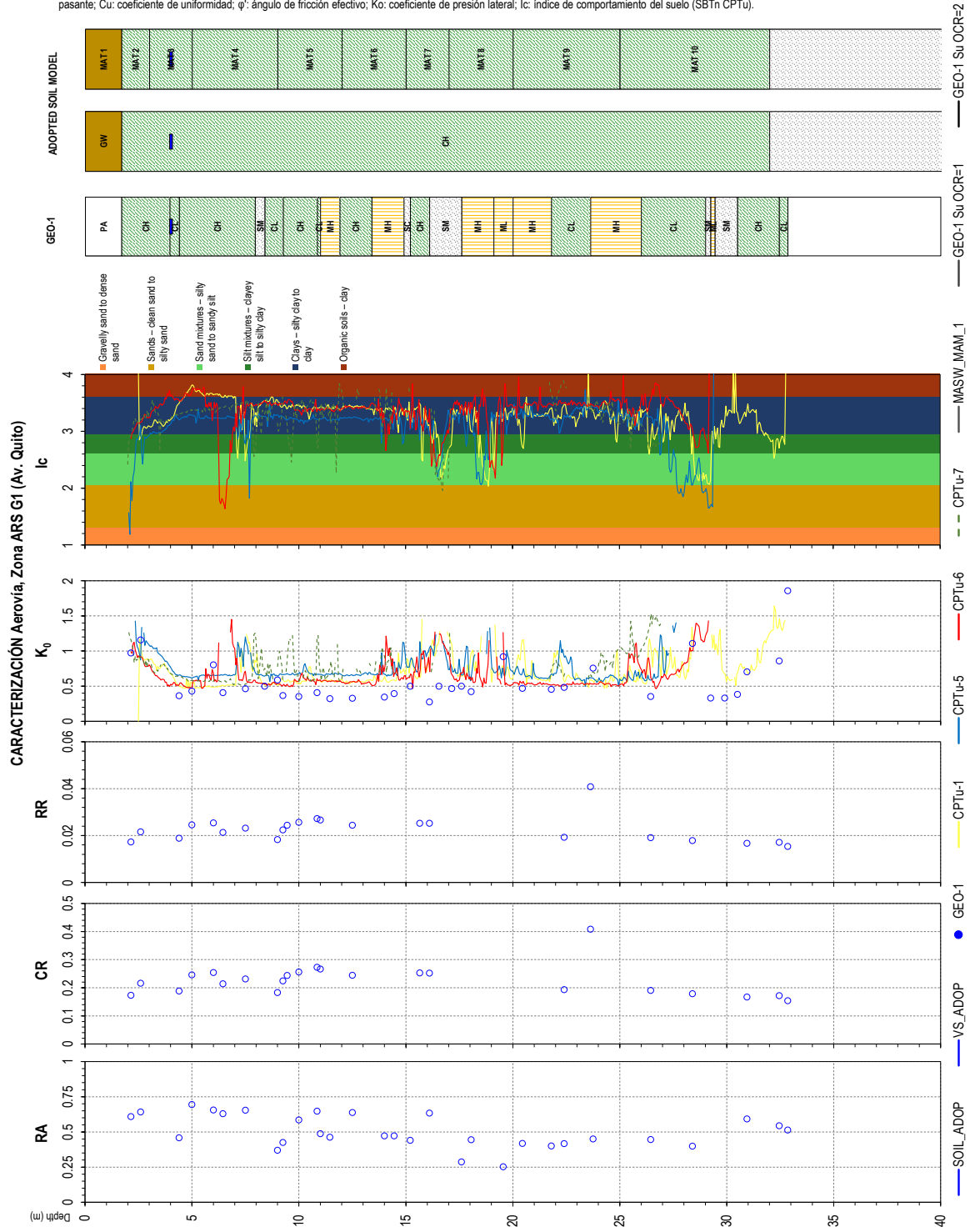
## Apéndice A-6. Caracterización geotécnica de la E1- Parque Centenario







Donde: SPT N60: número del golpes corregidos por energía; FC: contenido de finos (pasante del tamiz 200); wc: contenido de humedad; LL: límite líquido; IP: índice de plasticidad; RA: actividad relativa; Su: resistencia al corte no drenada; OCR: razón de sobre consolidación; SPT N1(60): N60 normalizado por esfuerzo de confinamiento; DR: densidad relativa; D50: diámetro de partícula 50% pasante; Cu: coeficiente de uniformidad;  $\phi'$ : ángulo de fricción efectivo; Ko: coeficiente de presión lateral; Ic: índice de comportamiento del suelo (SBTn CPTu).



## Apéndice A-7. Modelos de suelo adoptados para E2 – Plaza Julián Coronel

SITE ARS Plaza JC [A] MODEL

Material	Cod. Material	ID	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Gmo (Kpa)	τ (Kpa)	Menq, 2003		Darendeli, 2001			Depth (m.)
								Cu	D50 (mm)	φ	IP (%)	OCR	
GM	GM	1	1.77	18.00	250	114679	14	50.00	3.00	42	--	--	1.77
	GM	2	1.77	18.00	250	114679	42	50.00	3.00	42	--	--	3.53
	GM	3	1.77	18.00	250	114679	55	50.00	3.00	42	--	--	5.30
CH	CH	4	2.62	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	7.92
	CH	5	2.62	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	10.53
	CH	6	2.62	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	13.15
	CH	7	2.62	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	15.77
	CH	8	2.62	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	18.38
	CH	9	2.62	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	21.00
ML	ML	10	4.20	16.00	135	29725	25	--	--	29	25.0	1.8	25.20
SM	SM	11	5.20	17.00	300	155963	175	50.00	2.50	38	--	--	30.40
GW (.COL2)	GW (.COL2)	12	6.30	18.00	300	165138	251	50.00	2.50	40	--	--	36.70
.COL1	.COL1	13	9.15	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	45.85
	.COL1	14	9.15	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	55.00
	ROCA	15	Semiespacio	24.00	750	1376146.8							

SITE ARS Plaza JC [B] MODEL

Material	Cod. Material	ID	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Gmo (Kpa)	τ (Kpa)	Menq, 2003		Darendeli, 2001			Depth (m.)
								Cu	D50 (mm)	φ	IP (%)	OCR	
GM	GM	1	1.67	18.00	250	114679	14	50.00	3.00	42	--	--	1.67
	GM	2	1.67	18.00	250	114679	41	50.00	3.00	42	--	--	3.33
	GM	3	1.67	18.00	250	114679	53	50.00	3.00	42	--	--	5.00
CH	CH	4	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	7.50
	CH	5	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	10.00
	CH	6	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	12.50
	CH	7	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	15.00
	CH	8	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	17.50
	CH	9	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	20.00
ML	ML	10	4.00	16.00	135	29725	25	--	--	29	25.0	1.8	24.00
SM	SM	11	5.00	17.00	300	155963	168	50.00	2.50	38	--	--	29.00
GW (.COL2)	GW (.COL2)	12	6.00	18.00	300	165138	240	50.00	2.50	40	--	--	35.00
.COL1	.COL1	13	8.50	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	43.50
	.COL1	14	8.50	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	52.00
CAYO	CAYO	15	3.00	22.80	700	1138838	--	--	--	--	--	--	55.00
	ROCA	16	Semiespacio	24.00	750	1376146.8							

SITE ARS Plaza JC [C] MODEL

Material	Cod. Material	ID	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Gmo (Kpa)	τ (Kpa)	Menq, 2003		Darendeli, 2001			Depth (m.)
								Cu	D50 (mm)	φ	IP (%)	OCR	
GM	GM	1	1.33	18.00	250	114679	11	50.00	3.00	42	--	--	1.33
	GM	2	1.33	18.00	250	114679	32	50.00	3.00	42	--	--	2.65
	GM	3	1.33	18.00	250	114679	47	50.00	3.00	42	--	--	3.98
CH	CH	4	1.96	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	5.94
	CH	5	1.96	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	7.89
	CH	6	1.96	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	9.85
	CH	7	1.96	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	11.81
	CH	8	1.96	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	13.76
	CH	9	1.96	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	15.72
ML	ML	10	3.18	16.00	135	29725	25	--	--	29	25.0	1.8	18.90
SM	SM	11	3.87	17.00	300	155963	136	50.00	2.50	38	--	--	22.77
GW (.COL2)	GW (.COL2)	12	4.77	18.00	300	165138	193	50.00	2.50	40	--	--	27.54
.COL1	.COL1	13	6.85	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	34.39
	.COL1	14	6.85	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	41.24
CAYO	CAYO	15	13.76	22.80	700	1138838	--	--	--	--	--	--	55.00
	ROCA	16	Semiespacio	24.00	750	1376146.8							

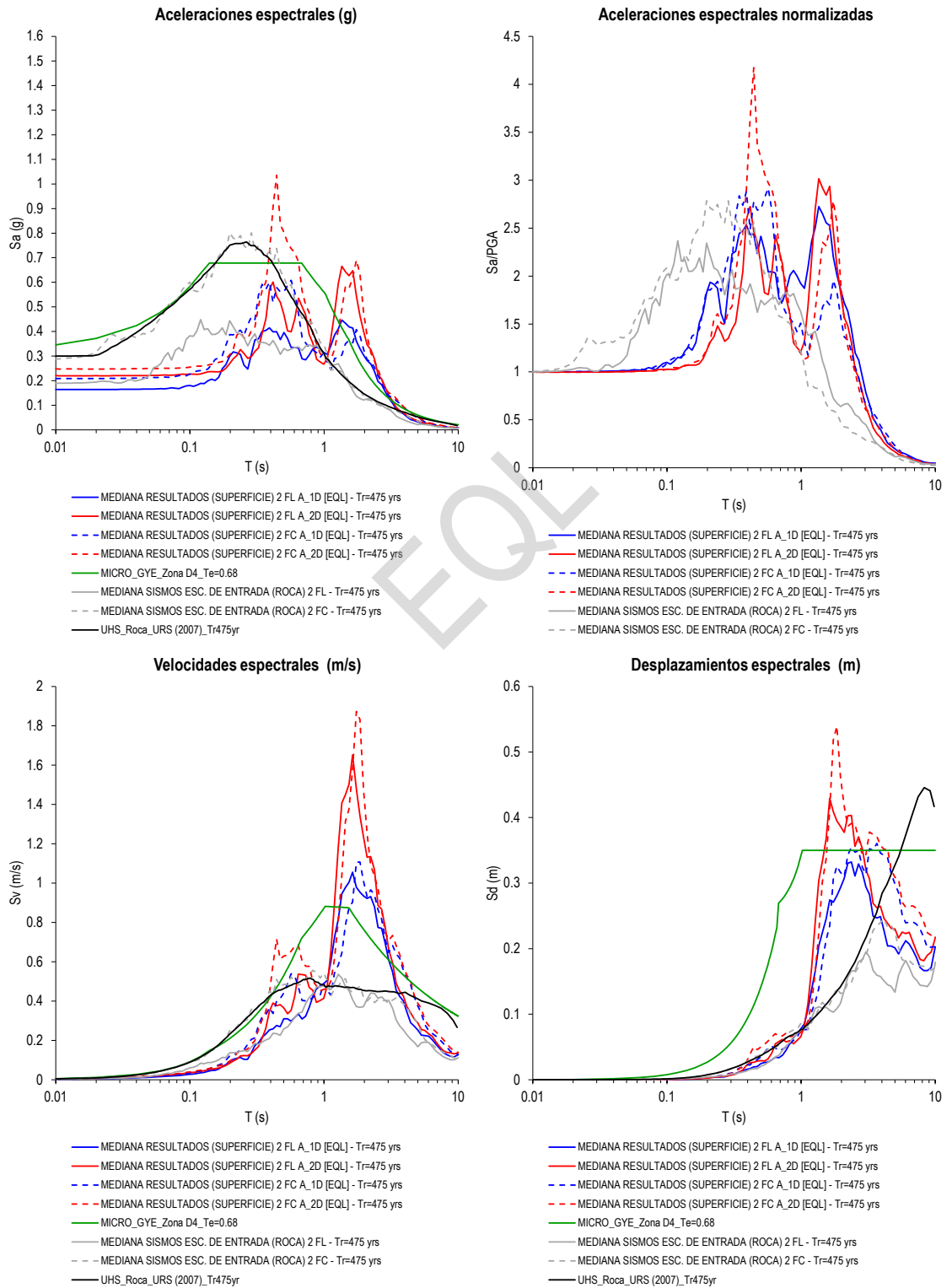
SITE ARS Plaza JC [D] MODEL

Material	Cod. Material	ID	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Gmo (Kpa)	τ (Kpa)	Menq, 2003		Darendeli, 2001			Depth (m.)
								Cu	D50 (mm)	φ	IP (%)	OCR	
GM	GM	1	0.98	18.00	250	114679	8	50.00	3.00	42	--	--	0.98
	GM	2	0.98	18.00	250	114679	24	50.00	3.00	42	--	--	1.96
	GM	3	0.98	18.00	250	114679	40	50.00	3.00	42	--	--	2.94
CH	CH	4	1.27	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	4.21
	CH	5	1.27	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	5.48
	CH	6	1.27	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	6.75
	CH	7	1.27	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	8.02
	CH	8	1.27	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	9.29
	CH	9	1.27	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	10.56
ML	ML	10	1.79	16.00	135	29725	25	--	--	29	25.0	1.8	12.35
SM	SM	11	2.07	17.00	300	155963	94	50.00	2.50	38	--	--	14.42
GW (.COL2)	GW (.COL2)	12	2.44	18.00	300	165138	128	50.00	2.50	40	--	--	16.86
.COL1	.COL1	13	3.18	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	20.04
	.COL1	14	3.18	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	23.21
GYE	GYE	15	12.36	23.50	900	1940367	--	--	--	--	--	--	35.57
CAYO	CAYO	16	19.43	22.80	700	1138838	--	--	--	--	--	--	55.00
	ROCA	17	Semiespacio	24.00	750	1376146.8							

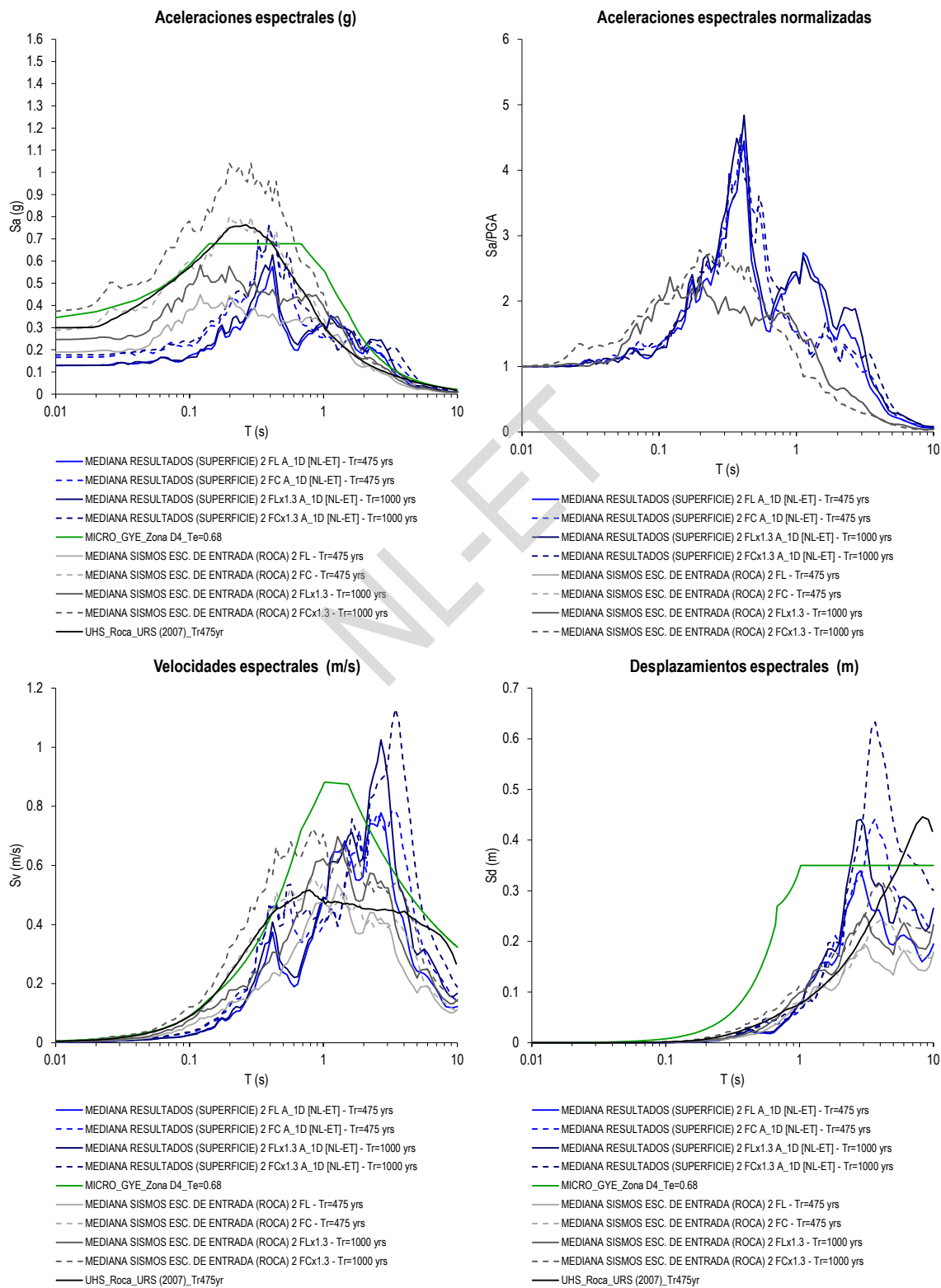
SITE ARS Plaza JC [2D] MODEL

Material	Cod. Material	ID	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Gmo (Kpa)	τ (Kpa)	Menq, 2003		Darendeli, 2001			Depth (m.)
								Cu	D50 (mm)	φ	IP (%)	OCR	
GM	GM	1	1.67	18.00	250	114679	14	50.00	3.00	42	--	--	1.67
	GM	2	1.67	18.00	250	114679	41	50.00	3.00	42	--	--	3.33
	GM	3	1.67	18.00	250	114679	53	50.00	3.00	42	--	--	5.00
CH	CH	4	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	7.50
	CH	5	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	10.00
	CH	6	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	12.50
	CH	7	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	15.00
	CH	8	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	17.50
	CH	9	2.50	16.00	135	29725	25	--	--	25	50.0	80.0	20.00
ML	ML	10	4.00	16.00	135	29725	25	--	--	29	25.0	1.8	24.00
SM	SM	11	5.00	17.00	300	155963	168	50.00	2.50	38	--	--	29.00
GW (.COL2)	GW (.COL2)	12	6.00	18.00	300	165138	240	50.00	2.50	40	--	--	35.00
.COL1	.COL1	13	--	19.00	370	265148	--	--	--	--	--	--	--
GYE	GYE	14	--	23.50	900	1940367	--	--	--	--	--	--	--
CAYO	CAYO	15	--	22.80	700	1138838	--	--	--	--	--	--	--
	ROCA	16	Semiespacio	24.00	750	1376146.8							

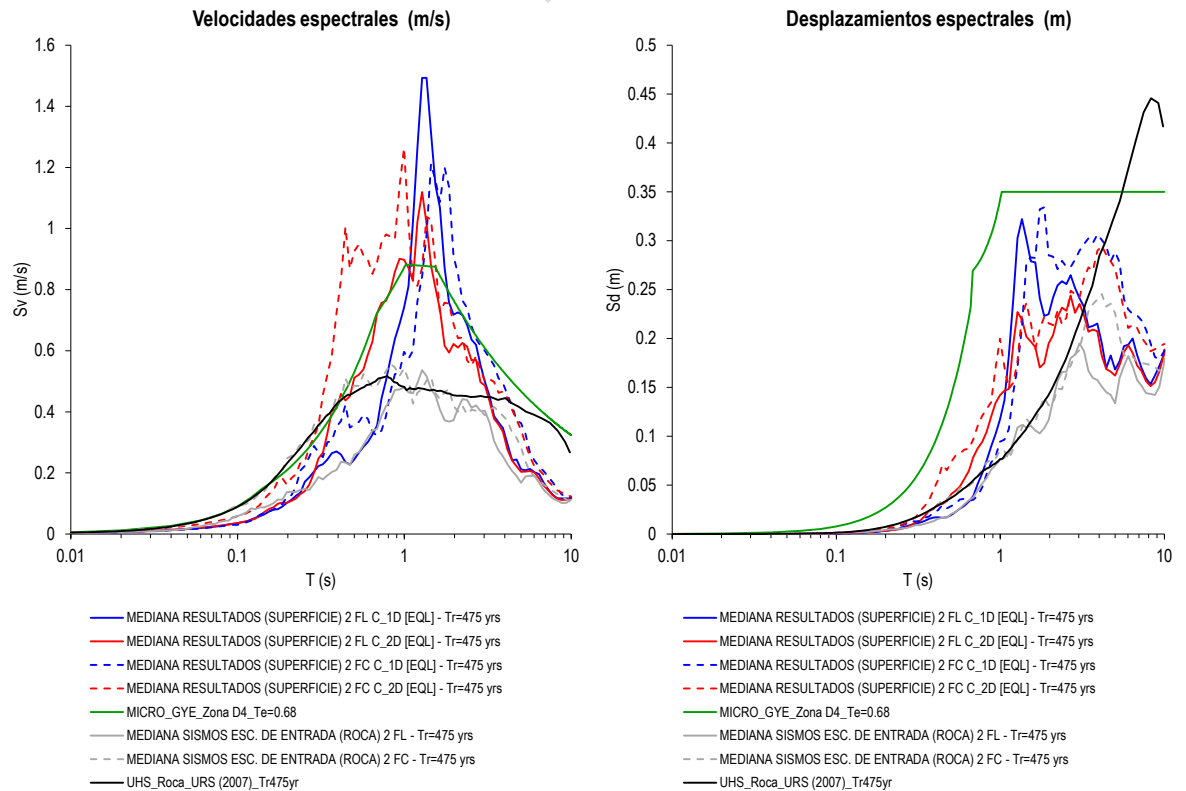
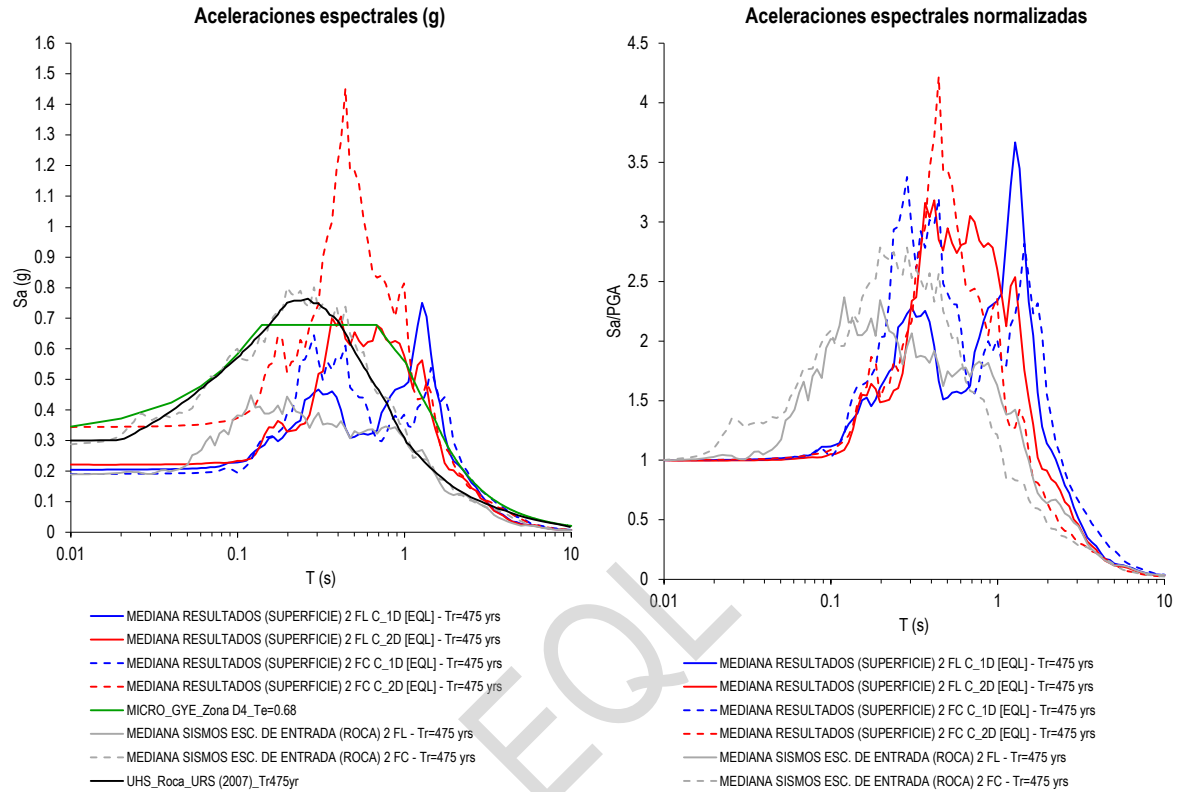
**Apéndice A-8. Resultados de los análisis de respuesta para estación E2-Plaza Julián Coronel**  
**Método Equivalente Lineal – Punto A**



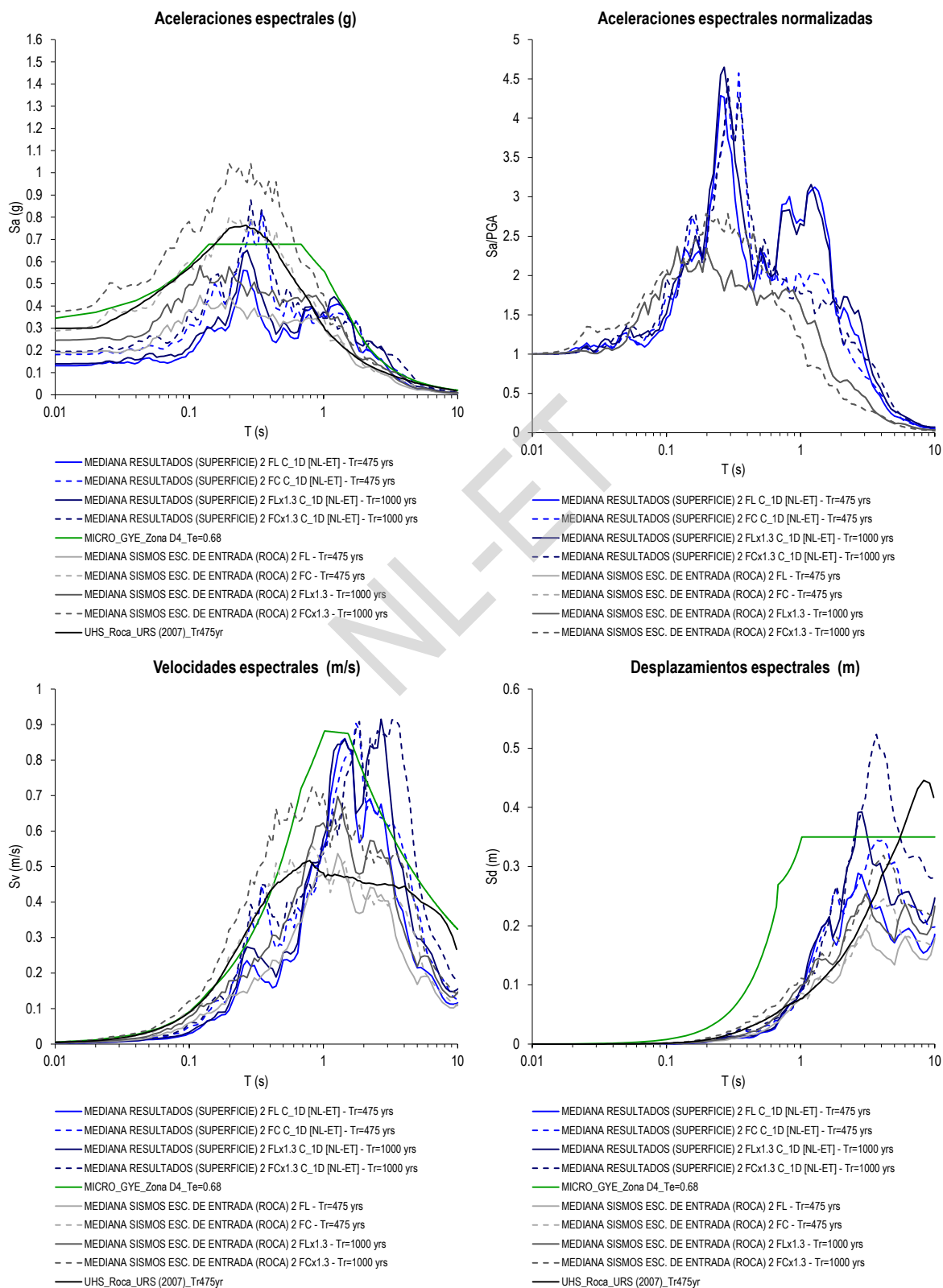
## Método No Lineal – Punto A



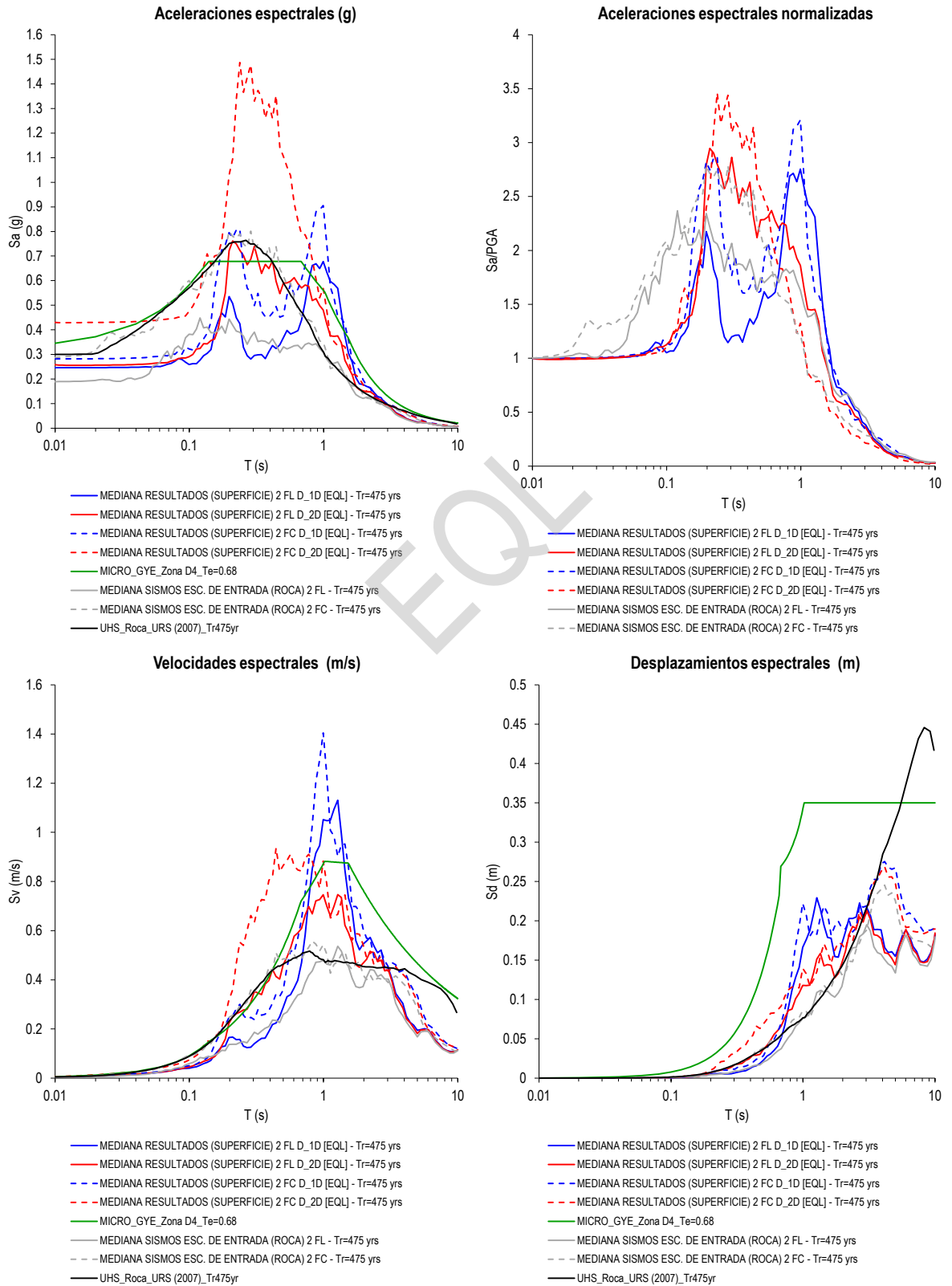
## Método Equivalente Lineal – Punto C



## Método No Lineal – Punto C



## Método Equivalente Lineal – Punto D





## Método No Lineal – Punto D

