

**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TEMA:** METODOLOGIA DE ANALISIS DE RESPUESTA DE SITIO UNIDIMENSIONAL PARA  
DETERMINAR LA DEMANDA SISMICA EN SUPERFICIE DE GUAYAQUIL

Un aporte a la Norma Sísmica de Guayaquil 2019 (NSG-19)

TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR  
AL GRADO DE INGENIERÍA CIVIL

AUTOR: ANDRÉS LÓPEZ BUENAÑO

TUTOR: XAVIER VERA GRUNAUER, PH. D

SAMBORONDÓN, SEPTIEMBRE DE 2019.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Rocío y Raúl, por guiarme y enseñarme el principio del trabajo duro, que todo logro importante requiere de sacrificio; y por su eterna solidaridad con todas mis causas. A mi hermana Patricia, por su incondicional apoyo en todos los aspectos de mi vida. Y a mí mismo, por ser perseverante con mis metas.



## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios, por darme salud y una buena vida. A mi familia, por ser también el mejor equipo de trabajo. A la Universidad de Especialidades Espíritu Santo, en especial a la Escuela de Ingeniería Civil y todos los docentes que fueron parte importante de mi formación académica. Al Ingeniero Urbano Caicedo, director de mi carrera, por encaminarme en la dirección correcta en el momento preciso. Al Doctor Xavier Vera Grunauer, Ingeniero Jorge Ordoñez, Ingeniero Nestor Cahuana y a todo el departamento técnico de Geoestudios SA por su paciencia, apoyo y por el conocimiento brindado para la realización de este proyecto. Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma han aportado a mi crecimiento personal.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE APENDICES.....	xiii
<b>CAPITULO I EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	4
1.2.1. Zonificación sísmica actual del Ecuador .....	4
1.2.2. Desagregación del UHS para la ciudad de Guayaquil por estudios previos: Vera-Grunauer et al. (2016) y URS Corporation (2007).....	6
1.2.3. Nuevo modelo de peligro sísmico para el Ecuador según Beauval et al (2018). .....	8
1.2.4. Microzonificación Sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil (2014). .....	12
1.3. OBJETIVOS .....	18
1.3.1. Objetivo General .....	18
1.3.2. Objetivos Específicos.....	18
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	19
1.6. ALCANCE.....	20
1.7. ÁREA DE ESTUDIO .....	23
<b>CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>25</b>
2.1. MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS .....	25
2.1.1. Métodos de Laboratorio .....	25
2.1.1.1. Ensayos de granulometría y límites .....	25
2.1.1.2. Ensayos triaxiales .....	27
2.1.2. Métodos directos de campo. ....	29
2.1.2.1. Ensayo de Cono Estático CPTu. ....	29
2.1.2.2. Perforación a percusión (Ensayos SPT) .....	32
2.1.3. Métodos indirectos de campo. ....	34
2.1.3.1. Estimación de velocidad de onda de corte usando métodos geofísicos de ondas superficiales.....	34
2.1.3.2. Medición de periodo elástico usando el método de Nakamura.....	36
2.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS .....	38

2.2.1.	Distribución del tamaño de grano.....	38
2.2.2.	Límites de Atterberg.....	40
2.2.3.	Índice de Plasticidad (IP). ....	40
2.2.4.	Clasificación de suelos.....	41
2.2.5.	Peso volumétrico y densidad relativa ( $\rho$ y $D_r$ ) .....	44
2.2.6.	Relación de sobreconsolidación (OCR).....	45
2.2.7.	Resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ).....	46
2.2.7.1.	Tendencia de $S_u$ para suelos finos de Guayaquil .....	49
2.3.	PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS SUELOS .....	50
2.3.1.	Factores que afectan las propiedades dinámicas de los suelos.....	53
2.3.1.1.	Presión de confinamiento ( $\sigma'_c$ ).....	53
2.3.1.2.	Relación de vacíos (e).....	55
2.3.1.3.	Razón de sobreconsolidación (OCR).....	56
2.3.1.4.	Índice de Plasticidad (IP) .....	58
2.3.1.1.	Contenido de finos. ....	58
2.4.	ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO PROBABILÍSTICA Y DEMANDA SÍSMICA EN SUPERFICIE... 60	
2.5.	RESPUESTA SÍSMICA DE LOS SUELOS .....	62
2.5.1.	Efectos de sitio .....	62
2.6.	SELECCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS Y ESCALAMIENTO .....	69
2.6.1.	Dependencia de las magnitudes y distancias a la selección de sismos.....	70
2.6.1.1.	Caracterización de las fuentes sísmicas. ....	71
2.6.1.2.	Geometría y Distancia de “Fuente-Sitio”: .....	71
2.6.2.	Dependencia a las condiciones de sitio.....	72
2.6.3.	Escalamiento de registros de eventos sísmicos .....	74
2.6.3.1.	Escalamiento y/o ajuste espectral de registros sísmicos en el dominio del tiempo con RSPMATCH09 .....	75
2.7.	ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO.....	76
2.7.1.	Procedimiento de análisis de respuesta de sitio .....	77
2.7.2.	Métodos numéricos. ....	80
2.7.2.1.	Métodos de aproximación lineal.....	83
2.7.2.2.	Métodos de aproximación no lineal.....	84
2.7.2.3.	DIFERENCIAS ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANALISIS EQL Y NL	
	87	
2.8.	ESPECTROS DE RESPUESTA .....	89
2.8.1.	Tipos de espectro de respuesta. ....	93

<b>CAPITULO III MARCO METODOLOGICO .....</b>	<b>95</b>
3.1. REVISIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA Y DISEÑO DE BASE DE DATOS UNIFICADA.....	95
3.2. MODELADO DE LAS COLUMNAS DE SUELO .....	98
3.2.1. Procedimientos de ajuste de curvas dinámicas según SUCS. ....	100
3.2.2. Estimación de la resistencia al corte no drenado $S_u$ y del ángulo de fricción $\phi$ a partir de correlaciones .....	100
3.2.3. Estimación de la profundidad y velocidad de onda de corte del estrato rocoso (semi espacio). ....	101
3.2.4. Perfil de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) adoptado para la columna de suelo. ..	103
3.2.5. Cálculo de las curvas de degradación del módulo de corte y la variación de la razón de amortiguamiento. ....	108
3.3. Selección y escalamiento de eventos sísmicos .....	110
3.3.1. Escalamiento de movimientos sísmicos de fuente cercana.....	112
3.3.2. Escalamiento de movimientos sísmicos de subducción de fuente lejana. ....	113
3.4. ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO.....	116
3.4.1. Consideraciones del análisis no lineal .....	120
<b>CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>121</b>
4.1. ESPECTROS ELASTICOS DE RESPUESTA ACELERACIÓN (T vs $PS_a$ ): .....	126
4.2. ESPECTROS DE ACELERACION BINORMALIZADOS (T/ $T_e^*$ vs $PS_a/PGA$ ): .....	127
4.2.1. ESPECTROS DE ACELERACION BINORMALIZADOS POR ZONA .....	128
4.3. ESPECTROS ELASTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (T vs $S_d$ ).....	129
4.4. DIAGRAMAS DE DEFORMACION UNITARIA MAXIMA (%), ESFUERZO CORTANTE (kPa), RAZON DE ESFUERZO CICLICO (CSR), ACELERACION MAXIMA DEL TERRENO (PGA) Y DESPLAZAMIENTO LATERAL (m). ....	130
4.5. COMPARACION CON RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MICROZONIFICACION SISMICA DE GUAYAQUIL 2014 .....	133
<b>CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>140</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>143</b>
<b>APENDICES .....</b>	<b>149</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA CON LA REPRESENTACIÓN HISTÓRICA (1900 – 2013) PARA SISMOS SOMEROS, INTERMEDIOS Y PROFUNDOS EN EL CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO (RESALTADO EN POLÍGONO AMARILLO), CON MAGNITUDES SUPERIORES A $MW=7$ , PUBLICADO POR EL SERVICIO GEOLÓGICO DE ESTADOS UNIDOS. TOMADO Y MODIFICADO DE <a href="https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/byregion/">HTTPS://EARTHQUAKE.USGS.GOV/EARTHQUAKES/BYREGION/</a> .....	2
FIGURA 2. EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS EN LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. TOMADO Y MODIFICADO DE VERA-GRUNAUER ET AL. (2016). .....	3
FIGURA 3. ECUADOR, ZONAS SÍSMICAS DELIMITADAS POR EL FACTOR Z (PGA EN ROCA EN FUNCIÓN DE LA GRAVEDAD). TOMADO Y MODIFICADO DE MIDUVI (2014). .....	5
FIGURA 4. DESAGREGACIÓN DEL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA PERIODOS ESTRUCTURALES $T=PGA$ , $T=0.2$ s, $T=1$ s Y $T=2$ s, CONSIDERANDO UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS SEGÚN VERA-GRUNAUER ET AL. (2016). .....	7
FIGURA 5. DESAGREGACIÓN DEL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA PERIODOS ESTRUCTURALES $T=PGA$ , $T=0.2$ s, $T=1$ s Y $T=2$ s, CONSIDERANDO UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS SEGÚN URS CORPORATION (2007). .....	7
FIGURA 6. MAPA DE PELIGRO SÍSMICO DE PGA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS, EN SUPERFICIE PARA UN ESTRATO ROCOSO. TOMADO Y MODIFICADO DE BEAUVAL ET AL. (2018). .....	8
FIGURA 7. DESAGREGACIÓN DEL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA PGA, USANDO EL MODELO ÁREA + FALLA INCLUYENDO LA TASA DE DESPLAZAMIENTO GEODÉSICA, CONSIDERANDO UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS. TOMADO Y MODIFICADO DE BEAUVAL ET AL. (2018). .....	9
FIGURA 8. DESAGREGACIÓN DEL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA $T=1$ s, USANDO EL MODELO ÁREA + FALLA INCLUYENDO LA TASA DE DESPLAZAMIENTO GEODÉSICA, CONSIDERANDO UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS. TOMADO Y MODIFICADO DE BEAUVAL ET AL. (2018). .....	9
FIGURA 9. DESAGREGACIÓN DEL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA PGA, USANDO EL MODELO ÁREA FUENTE INCLUYENDO LA TASA DE DESPLAZAMIENTO GEODÉSICA, CONSIDERANDO UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS. TOMADO Y MODIFICADO DE BEAUVAL ET AL. (2018). .....	9
FIGURA 10. DESAGREGACIÓN DEL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME PARA $T=1$ s, USANDO EL MODELO ÁREA FUENTE INCLUYENDO LA TASA DE DESPLAZAMIENTO GEODÉSICA, CONSIDERANDO UN PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS. TOMADO Y MODIFICADO DE BEAUVAL ET AL. (2018) .....	10
FIGURA 11. CURVAS DE PELIGRO SÍSMICO PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA UN ESTRATO DE ROCA CON $V_s=760$ m/s. TOMADO Y MODIFICADO DE BEAUVAL ET AL (2018). .....	10
FIGURA 12. COMPARACIÓN DE LOS UHS ESTIPULADOS EN LA NEC-15 Y LOS UHS DE MODELOS PROPUESTOS POR VERA-GRUNAUER (2016) , URS CORPORATION (2007) Y BEAUVAL (2018). .....	11
FIGURA 13. MAPA DE LA ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL. TOMADO Y MODIFICADO DE VERA GRUNAUER ET AL (2014). .....	14
FIGURA 14. MAPA DE LAS ZONAS GEOTÉCNICAS DE GUAYAQUIL DEFINIDO DEL INFORME DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL DE 2014. TOMADO Y MODIFICADO DE VERA-GRUNAUER ET AL. (2014), Y ACTUALIZADO POR GEOESTUDIOS (2019). .....	15
FIGURA 15. MAPA DE ISOPERIODOS ELÁSTICOS DE GUAYAQUIL DEFINIDO DEL INFORME DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL DE 2014. TOMADO Y MODIFICADO DE VERA-GRUNAUER ET AL. (2014), Y ACTUALIZADO POR GEOESTUDIOS (2019). .....	16
FIGURA 16. MAPA DE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE EQUIVALENTE, $V_{s30}$ SEGÚN LOS RANGOS PROPUESTOS POR: A) LA NEC-15, Y B) GEOESTUDIOS (2019), USANDO RANGOS DISCRETIZADOS DE $V_{s30}$ EN m/s. ....	18
FIGURA 17. UBICACIÓN DE SITIOS DE ANÁLISIS REALIZADOS PARA ESTA INVESTIGACIÓN .....	24
FIGURA 18. JUEGO DE TAMICES PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA. ....	26
FIGURA 19. KIT PARA ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO. ....	27
FIGURA 20. CÁMARA PARA ENSAYOS TRIAXIALES. TOMADO Y MODIFICADO DE <a href="http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-3-ensayo-triaxial">HTTP://WWW.ESTUDIOSGEOTECNICOS.INFO /INDEX.PHP/ENSAYOS-DE-LABORATORIO-RESISTENCIA-DE-LOS-SUELOS-3-ENSAYO-TRIAXIAL</a> . ....	28
FIGURA 21. RELACIÓN DE LOS ESFUERZOS NORMALES Y CORTANTES COMO RESULTADO DE UN ENSAYO TRIAXIAL. TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001) .....	28
FIGURA 22. EJECUCIÓN EN CAMPO DE UN ENSAYO CPTU POR EMPRESA GEOESTUDIOS S.A. ....	30
FIGURA 23. FOTOGRAFÍA DE LA EJECUCIÓN EN CAMPO DE LA PERFORACIÓN REALIZADA EN EL ESTADIO DE BEISBOL DE KENNEDY DURANTE EL PROYECTO DE MICROZONIFICACIÓN DE GUAYAQUIL EN 2014 (VERA ET AL 2014). .....	33
FIGURA 24. ESQUEMA DE TRABAJO PARA UN ENSAYO ACTIVO DE ONDAS SUPERFICIALES PARA ESTIMACIÓN DE $V_s$ . TOMADO Y MODIFICADO DE <a href="http://masw.com/DataAcquisition.html">HTTP://MASW.COM/DATAACQUISITION.HTML</a> . ....	35
FIGURA 25. EJEMPLOS DE: A) UNA CURVA DE DISPERSIÓN GLOBAL Y, B) PERFILES DE $V_s$ ESTIMADOS (EN ROJO Y NEGRO MEJORES SOLUCIONES). .....	36

FIGURA 26. EXPLICACIÓN GRÁFICA DE LAS COMPONENTES HORIZONTALES Y VERTICALES DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA $S_{TT}$ , USADA EN EL MÉTODO DE NAKAMURA. ....	37
FIGURA 27. CURVAS TÍPICAS DE RELACIÓN ESPECTRAL H/V, USANDO MÉTODO DE NAKAMURA. ....	37
FIGURA 28. ENSAYO DE MÉTODO DE NAKAMURA, REALIZADO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL POR LA EMPRESA GEOESTUDIOS S.A. ....	38
FIGURA 29. REPRESENTACIÓN DE LOS ESTADOS DE CONSISTENCIA Y LÍMITES DE ATTERBERG, EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA. TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001). ....	40
FIGURA 30. CARTA DE PLASTICIDAD DE SUELOS. TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001). ....	41
FIGURA 31. ENVOLVENTE DE FALLA USANDO EL CRITERIO DE MOHR-COULUMB PARA LA RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS. TOMADO Y MODIFICADO DE AMERATUNGA J. ET AL (2015). ....	47
FIGURA 32. CURVA DE REDUCCIÓN DEL MÓDULO DE CORTE Y VARIACIÓN DE LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO CON RESPECTO AL NIVEL DE DEFORMACIÓN POR CORTANTE. TOMADO Y MODIFICADO DE RODRÍGUEZ (2015). ....	50
FIGURA 33. CICLO DE HISTÉRESIS MOSTRANDO EL MÓDULO DE CORTE SECANTE Y TANGENTE. TOMADO Y MODIFICADO DE KUMAR ET AL (2014). ....	52
FIGURA 34. CURVAS DE DEGRADACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ CON RESPECTO A LA DEFORMACIÓN UNITARIA POR CORTANTE, PARA DISTINTAS PRESIONES DE CONFINAMIENTO, EN SUELOS CON PLASTICIDAD (A) Y SUELOS NO PLÁSTICOS (B). TOMADO Y MODIFICADO DE DARANDELI (2001). ....	54
FIGURA 35. CURVAS DE LA DEGRADACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ Y LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO CON RESPECTO A LA DEFORMACIÓN UNITARIA POR CORTANTE, PARA DISTINTAS PRESIONES DE CONFINAMIENTO, EN SUELOS DE ARENAS LIMOSAS. TOMADO Y MODIFICADO DE DARANDELI (2001). ....	55
FIGURA 36. VARIACIÓN DEL MÓDULO DE CORTE CON RESPECTO A VARIOS VALORES DE RELACIÓN DE VACÍOS. TOMADO Y MODIFICADO DE KUMAR ET AL (2014). ....	56
FIGURA 37. EFECTO DE LA RAZÓN DE SOBRECONSOLIDACIÓN EN SOBRE LAS CURVAS DE LA DEGRADACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ Y RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO. TOMADO Y MODIFICADO DE DARANDELI (2001). ....	57
FIGURA 38. INFLUENCIA DEL PARÁMETRO OCR SOBRE LAS CURVAS DINÁMICAS DE UN MISMO MATERIAL. ....	58
FIGURA 39. CURVAS DE DEGRADACIÓN DEL MÓDULO DE CORTE Y DE LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS. TOMADO Y MODIFICADO DE DARANDELI (2001). ....	59
FIGURA 40. CURVAS DE DEGRADACIÓN DEL MÓDULO DE CORTE, Y RESULTADOS OBTENIDOS POR ENSAYOS CÍCLICO TRIAXIALES PARA ARENAS LIMPIAS Y ARENAS LIMOSAS. TOMADO Y MODIFICADO DE KUMAR ET AL (2014). ....	59
FIGURA 41. CURVAS DE VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO, Y RESULTADOS OBTENIDOS POR ENSAYOS CÍCLICO TRIAXIALES PARA ARENAS LIMPIAS Y ARENAS LIMOSAS. TOMADO Y MODIFICADO DE KUMAR ET AL (2014). ....	60
FIGURA 42. DEPENDENCIA DE LA AMPLIFICACIÓN-AMORTIGUAMIENTO DEL PGA EN SUELOS BLANDOS, SEGÚN EL PGA EN ROCA PARA (IDRISS, 1991) LÍNEA GRIS, (SEED, 1997) LÍNEA VERDE Y (NEC, 2011) CUADROS. TOMADO DE (VERA-GRUNAUER ET AL, 2014). ....	65
FIGURA 43. MAPA DE LA CIUDAD DE MÉXICO MOSTRANDO LA ZONA DE COLINA, LA ZONA DE LAGO Y TRANSICIÓN, JUNTO CON LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS. TOMADO Y MODIFICADO DE RODRÍGUEZ (2015). ....	66
FIGURA 44. EFECTOS DE SITIO SOBRE LAS ONDAS SÍSMICAS REGISTRADOS EN EL SISMO DE MÉXICO, 1985. ADAPTADO DE SEMBLAT (2014). ....	67
FIGURA 45. REGISTROS DE MOVIMIENTOS Y ESPECTROS DE RESPUESTA DEL TERREMOTO DE LOMA PRIETA DE 1989. EL REGISTRO DE TREASURE ISLAND CORRESPONDE A SUELOS BLANDOS, MIENTRAS QUE YERBA BUENA ISLAND CORRESPONDE A UNA ZONA CON AFLORAMIENTOS ROCOSOS. TOMADO Y MODIFICADO DE RODRÍGUEZ (2015). ....	68
FIGURA 46. DEMOSTRACIÓN DE EFECTOS DE SITIO. ESPECTROS DE ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO EN SUPERFICIE RESULTANTES DEL SISMO DE 16 DE ABRIL DE 2016 PARA LAS ESTACIONES ERU (AZUL) Y UCSG (ROJO). 69	69
FIGURA 47. EJEMPLO DE UN GRÁFICO DE DESAGREGACIÓN DEL UHS, PARA UN $T_r=475$ AÑOS Y PERIODO ESTRUCTURAL $T=1$ S. SE PUEDE APRECIAR UN COMPORTAMIENTO BIMODAL ASOCIADO A LA CONTRIBUCIÓN DE FUENTE LEJANA Y CERCANA TOMADO Y MODIFICADO DE SABETTA (2013). ....	71
FIGURA 48. TIPOS DE FUENTES Y DISTANCIAS FUENTE-SITIO: A) FUENTE Y DISTANCIA PUNTUAL, B) FUENTE Y DISTANCIA LINEAL Y C) FUENTE Y DISTANCIA TIPO ÁREA. TOMADO Y MODIFICADO DE VERA-GRUNAUER ET AL. (2016). ....	72
FIGURA 49. SISMOS ESCALADOS CON CORRECCIÓN LINEAL (MEDIA DE SISMOS: AZUL) Y COMPARADOS CON RESPECTO A UN UHS (ROJO). ....	74
FIGURA 50. COMPARACIÓN DE ACELERACIONES, VELOCIDADES Y DESPLAZAMIENTOS, EN FORMA ESPECTRAL Y EN FORMA DE REGISTRO TIEMPO HISTORIA; PARA UN SISMO REGISTRADO (GRIS) VS EL MISMO SISMO ESCALADO (AZUL). ....	75
FIGURA 51. 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. (AL ATIK & ABRAHAMSON, 2010). ....	76
FIGURA 52. FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO (YOSHIDA, 2014). ....	79

FIGURA 53. CURVAS DE REDUCCIÓN DE MÓDULO DE CORTE Y AMORTIGUAMIENTO QUE CARACTERIZAN LA RESPUESTA NO LINEAL DEL SUELO (KOTTKE, 2010).	80
FIGURA 54. RESPUESTA NO LINEAL TÍPICA DE ESFUERZO DE CORTE VS. DEFORMACIÓN DE CORTE DE UN SUELO BAJO CARGAS CÍCLICAS (KOTTKE, 2010).	81
FIGURA 55. DEPENDENCIA DE LOS PERIODOS ESTRUCTURALES Y EL ÍNDICE DE DEFORMACIONES POR CORTANTE MÁXIMAS PARA DETERMINAR EL MODELO DE ANÁLISIS A UTILIZAR. TOMADO Y MODIFICADO DE KAKLAMANOS ET AL (2013).	82
FIGURA 56. DEPENDENCIA DE LOS PERIODOS ESTRUCTURALES Y EL PGA OBSERVADO CON EL FIN DE DETERMINAR EL TIPO DE ANÁLISIS A UTILIZAR. TOMADO Y MODIFICADO DE KAKLAMANOS ET AL (2013).	82
FIGURA 57. SISTEMA DE GRADO MÚLTIPLE DE LIBERTAD CON SISTEMA DE MASA AGRUPADA CORRESPONDIENTE A MUELLE NO LINEAL Y UN AMORTIGUADOR PARA UN AMORTIGUAMIENTO VISCOZO. TOMADO Y MODIFICADO DE HASHASH (2010) ....	84
FIGURA 58. CURVA ESQUELETO MKZ (MATASOVIC & VUCETIC, 1993)	86
FIGURA 59. CICLO DE HISTÉRESIS PEQUEÑO SUPERPUESTO A UN CICLO DE HISTÉRESIS GRANDE. (ASSIMIAKI Y KAUSEL, 2002)	88
FIGURA 60. CORRESPONDENCIA ENTRE EL NIVEL DE FRECUENCIA Y LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA, TANTO PARA ANÁLISIS EQL (LÍNEA ROJA) Y NL (LÍNEA NEGRA)	89
FIGURA 61. MODELO DE UN SISTEMA CON UN GRADO DE LIBERTAD SOMETIDO A UNA EXCITACIÓN SÍSMICA. TOMADO Y MODIFICADO DE ESPINOZA, M. (2015).	90
FIGURA 62. GRÁFICO EXPLICATIVO DE CÓMO SE OBTIENE: A) A PARTIR DE UN REGISTRO DE ACELERACIONES DE CAMPO; B) EL ESPECTRO DE RESPUESTA PARA UN SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD; C) USANDO UN PERIODO NATURAL PARA UN SISTEMA RÍGIDO; Y D) PARA UN SISTEMA FLEXIBLE. TOMADO Y MODIFICADO DE ELNASHAI Y DI SARNO (2015).	91
FIGURA 63. CURVAS DE TENDENCIA ENTRE LA PROFUNDIDAD DEL SEMI-ESPACIO – PERIODO ELÁSTICO (CURVA ROJA) Y LA PROFUNDIDAD DONDE $V_s=300$ m/s – PERIODO ELÁSTICO (CURVA AZUL). TOMADO Y MODIFICADO DE VERA-GRUNAUER ET AL (2014).	102
FIGURA 64. MODELO ADOPTADO A PARTIR DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PARA EL SITIO DE SWISSHOTEL	107
FIGURA 65. CURVAS DINÁMICAS DE LA DEGRADACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ Y DE LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO OBTENIDAS A PARTIR DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LAS ARCILLAS DEL SITIO BSF DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL A UN ESFUERZO CONFINANTE DE 0.62 ATM, Y LA RESPECTIVA CALIBRACIÓN CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE CEMENTACIÓN.	109
FIGURA 66. CURVAS DE LA RESISTENCIA AL CORTE CALIBRADA USANDO LA INFORMACIÓN DE CEMENTACIÓN EN LAS ARCILLAS DE GUAYAQUIL. CALIBRACIÓN SIN AJUSTAR / AJUSTANDO POR RESISTENCIA AL CORTE (AZUL LÍNEA -- Y AZUL OSCURO LÍNEA -- RESPECTIVAMENTE)	109
FIGURA 67. CURVAS DINÁMICAS MODELO SIMSOIL (PESTANA & SALVATI, 2006) CEMENTED CLAYS OBTENIDAS PARA ESFUERZOS $\sigma'_m$ DE 3 Y 5 ATM PRESENTADAS POR VERA-GRUNAUER ET AL. (2014).	110
FIGURA 68. ESPECTROS DE PELIGRO UNIFORME (UHS), PARA PERIODOS DE RETORNO DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. LA REPRESENTACIÓN DE LOS PUNTOS, SON LOS DATOS EXTRAÍDOS DIRECTAMENTE DE LAS CURVAS DE PELIGRO SÍSMICO DE BEAUVAL ET AL (2018), PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL Y LAS CURVAS EL RESULTADO DE LA INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN.	111
FIGURA 69. ESCALAMIENTO REALIZADO EN RSPMATCH PARA UNO DE LOS SISMOS DE FUENTE CERCANA SELECCIONADOS CONSIDERANDO $T_r = 475$ AÑOS.	113
FIGURA 70. ESCALAMIENTO REALIZADO EN RSPMATCH PARA UNO DE LOS SISMOS DE FUENTE LEJANA SELECCIONADOS CONSIDERANDO $T_r = 475$ AÑOS.	115
FIGURA 71. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN (5% DE AMORTIGUAMIENTO ESTRUCTURAL) DE 12 REGISTROS SÍSMICOS ESCALADOS PARA SISMOS CORTICALES (FUENTE CERCANA, FC/NF) [IZQ.] Y DE 22 REGISTROS SÍSMICOS ESCALADOS PARA SISMOS DE SUBDUCCIÓN (FUENTE LEJANA, FL/FF) [DER.] CONSIDERANDO $T_r = 43, 475, 1000$ Y $2500$ AÑOS, DE CARACTERÍSTICAS SISMOLÓGICAS SIMILARES AL ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME UHS ESPERADO. LÍNEA ROJA: MEDIANA DE LOS SISMOS, LÍNEA NEGRA: ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME; LÍNEAS GRISES: AJUSTE INDIVIDUAL DE CADA SISMO.	115
FIGURA 72. INTERFAZ GRÁFICA DE LA SEGUNDA VENTANA DE PROCESAMIENTO DEL DEEPSOIL, MOSTRANDO LA COLUMNA DE SUELO, LA MÁXIMA FRECUENCIA ESPERADA Y LAS PROPIEDADES POR CADA MATERIAL.	117
FIGURA 73. INTERFAZ GRÁFICA DE LA OPCIÓN "MATERIAL PROPERTIES", EN DONDE SE MODIFICAN LAS CURVAS DINÁMICAS: A) DE LA DEGRADACIÓN DEL MÓDULO DE RIGIDEZ, Y B) DE LA RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO.	118
FIGURA 74. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL TERCER PASO DEL PROCESAMIENTO EN DEEPSOIL, PARA REALIZAR LA SELECCIÓN SÍSMICA.	119
FIGURA 75. MAPAS DE ACELERACIÓN PICO DEL TERRENO EN BASE A LOS RESULTADOS EQL PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO	126

FIGURA 76. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO IESS SUR .....	127
FIGURA 77. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS PARA EL SITIO IESS SUR.....	128
FIGURA 78. COMPENDIO DE LOS ESPECTROS BINORMALIZADOS DE ACELERACIÓN VS PERIODO DE VIBRACIÓN ( $S_{a1}/S_a$ vs. $T/TE$ ) DE TODOS LOS SITIOS DE LA ZONA D3. ....	129
FIGURA 79. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN ( $S_d$ ) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO EN EL SITIO IESS SUR. ....	130
FIGURA 80. (A). DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL PARA EL SITIO IESS SUR .....	131
FIGURA 80 (B). DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL PARA EL SITIO IESS SUR .....	130
FIGURA 81 (A). CONGLOMERADO DE ESPECTROS NORMALIZADOS ( $P_{sa}$ EQL/ $P_{sa}$ NL vs T) PARA LA ZONA D5. SUELOS RÍGIDOS ( $275 < V_s < 480$ ) M/S.....	132
FIGURA 81 (B). CONGLOMERADO DE ESPECTROS NORMALIZADOS ( $P_{sa}$ EQL/ $P_{sa}$ NL vs T) PARA LA ZONA D3. SUELOS BLANDOS ( $94 < V_s < 150$ ) M/S.....	132
FIGURA 82. COMPARACIÓN ENTRE UHS PROPUESTO POR BEAUVAL ET AL. (2018) Y URS CORPORATION (2007). LÍNEA NEGRA: BAUVAL; LÍNEA GRIS: URS CORP; DIFERENCIA: ÁREA SOMBREADA.....	134
FIGURA 83. COCIENTE ESPECTRAL OBTENIDO DE LA DIVISIÓN DEL UHS DE BEAUVAL ET AL (2018) PARA EL DE URS CORP (2007).....	135
FIGURA 84. COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE ACELERACIÓN OBTENIDOS DE LOS ARS REALIZADOS EN EL 2014 (LÍNEA ROJA) Y 2019 (LÍNEA AZUL) PARA EL SITIO ERU. $T_r = 475$ AÑOS. ....	135
FIGURA 85. (A) GRAFICA COMPARATIVA DEL PGA EN ROCA Y EN SUPERFICIE PARA LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ANÁLISIS EQL REALIZADOS PARA LA MICRO-GYE 2014 Y LA PRESENTE INVESTIGACIÓN, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. ZONA D1.....	136
FIGURA 85. (B) GRAFICA COMPARATIVA DEL PGA EN ROCA Y EN SUPERFICIE PARA LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ANÁLISIS NL REALIZADOS PARA LA MICRO-GYE 2014 Y LA PRESENTE INVESTIGACIÓN, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. ZONA D1.....	136
FIGURA 86. (A). LÍNEAS DE TENDENCIA DE LOS PGA OBTENIDOS POR MÉTODO EQL PARA LAS ZONAS D1, D2, D3, D4 Y D5 PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. ....	138
FIGURA 86 (B). LÍNEAS DE TENDENCIA DE LOS PGA OBTENIDOS POR MÉTODO NL PARA LAS ZONAS D1, D2, D3, D4 Y D5 PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO.....	137
FIGURA 87. PGA EN ROCA VS PGA EN SUPERFICIE PARA REGISTROS SÍSMICOS REALES DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	139



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VALORES DEL FACTOR Z Y CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN FUNCIÓN DE LA ZONA SÍSMICA ADOPTADA (MIDUVI, 2014).....	5
TABLA 2. ZONAS GEOTÉCNICAS, DESCRIPCIÓN GENERAL: ORIGEN GEOLÓGICO, UBICACIÓN Y TIPOS DE SUELO SEGÚN EN NEC-15.....	17
TABLA 3. SITIOS REFERENCIALES UTILIZADOS PARA LOS ARS DE ESTE ESTUDIO.....	21
TABLA 4. ALCANCE SISMOLÓGICO DE LAS INVESTIGACIÓN.....	23
TABLA 5. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS SEGÚN TAMIZ. ....	25
TABLA 6. CORRELACIONES PARA CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE USANDO PARÁMETROS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS CPTu. TOMADO Y MODIFICADO DE WOOD ET AL (2017).....	31
TABLA 7. CORRELACIONES EMPÍRICAS QUE RELACIONAN LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE CON EL $N_{60}$ SEGÚN VARIOS AUTORES. TOMADO Y MODIFICADO DE WOOD ET AL (2017). ....	34
TABLA 8. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS; SÍMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS TIPO GRAVA. TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001).....	42
TABLA 9. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS; SÍMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS ARENOSOS. TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001).....	43
TABLA 10. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS; SÍMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS FINOS (LIMOSOS, ARCILLOSOS Y ORGÁNICOS). TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001).....	43
TABLA 11. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE DEPÓSITOS DE SUELO GRANULAR A PARTIR DE LA DENSIDAD RELATIVA. TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001).....	45
TABLA 12. RELACIÓN DE VACÍOS, CONTENIDO DE AGUA Y PESO ESPECÍFICO SECO PARA ALGUNOS SUELOS EN ESTADO NATURAL. TOMADO Y MODIFICADO DE DAS (2001). ....	45
TABLA 13. DEFINICIÓN DE LA CONSISTENCIA DE SUELOS FINOS EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL $N_{SPT}$ Y EL QU, A PARTIR DE LOS ESTUDIOS DE TERZAGHI Y PECK EN 1967. TOMADO Y MODIFICADO DE NASSAJI, F. Y KALANTARI, B. (2011). ..	48
TABLA 14. CORRELACIONES ENTRE $S_u$ Y $N$ (SPT) SEGÚN VARIOS AUTORES. TOMADO Y MODIFICADO DE NASSAJI, F. Y KALANTARI, B. (2011).....	49
TABLA 15. ENSAYOS Y MEDICIONES DE CAMPO Y LABORATORIO EMPLEADAS EN LA INVESTIGACIÓN DEL SUELO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS. TOMADO Y MODIFICADO DE KUMAR ET AL (2014).....	51
TABLA 16. DEFINICIÓN DE NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA EN BASE A LA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA Y TIEMPO MEDIO DE RETORNO. TOMADO Y MODIFICADO DE MIDUVI (2014).....	62
TABLA 17. CLASIFICACIÓN SÍSMICA DE SITIO SEGÚN LA NERHP Y NEC-15.....	72
TABLA 18. BASE DE DATOS UNIFICADA, CON LA INFORMACIÓN POR SITIO DE ANÁLISIS. ....	95
TABLA 19. EJEMPLO DEL FORMATO UTILIZADO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS. SITIO SWISSHOTEL.....	98
TABLA 20. PROCEDIMIENTO DE AJUSTE DE CURVA DINÁMICA PARA CADA TIPO DE SUELO SUCS CON PARÁMETROS REQUERIDOS.....	100
TABLA 21. COEFICIENTES PARA LAS CORRELACIONES EMPÍRICAS DE VERA-GRUNAUER ET AL (2014), PARA ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL SEMI ESPACIO.....	103
TABLA 22. ESTABLECIMIENTO DE LA VELOCIDAD DEL SEMI ESPACIO EN BASE A LA PROFUNDIDAD ESTIMADA. CALIBRACIONES DEL SEMIESPACIO A PARTIR DE LOS SITIOS: CAMPOS DE BEISBOL DEL SECTOR KENNEDY, Y DEL ESTADIO RAMÓN UNAMUNO. ....	103
TABLA 23. MEDIA DE LOS PARÁMETROS DE $N_{kc}$ Y B PARA LA ESTIMACIÓN DE $V_s$ DE VERA-GRUNAUER ET AL (2014) USANDO LA TEORÍA DE EXPANSIÓN DE CAVIDADES DE CILINDROS INFINITOS. ....	105
TABLA 24. EJEMPLO DE PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO PARA EL ARS. SITIO SWISSHOTEL ...	105
TABLA 25. CARACTERÍSTICAS SISMOLÓGICAS DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS ESCALADOS PARA EVENTOS DE FUENTE CERCANA. ....	112
TABLA 26. CARACTERÍSTICAS SISMOLÓGICAS DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS ESCALADOS PARA EVENTOS DE FUENTE LEJANA. ....	114
TABLA 27. RESUMEN DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS EN EL PRESENTE DOCUMENTO, EN FUNCIÓN DE LOS PERIODOS DE RETORNO Y EL TIPO DE SISMO EMPLEADO. ....	116
TABLA 28. $PGA(g)$ SUPERFICIALES RESULTANTES DE LOS ARS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF CON PERIODOS DE RETORNO DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS.....	122
TABLA 29. ANÁLISIS DE RESULTADOS. $PGA$ MÁXIMOS Y MÍNIMOS POR ZONA PARA $T_r = 475$ AÑOS. ....	124
TABLA 30. ANÁLISIS DE RESULTADOS. TASA DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA POR ZONAS PARA SISMOS DE NF Y FF .....	125
TABLA 31. ANÁLISIS DE RESULTADOS. RAZÓN DE AMPLIFICACIÓN PARA $PGA_{MAX}$ POR ZONA CON RELACIÓN AL $PGA$ DEL UHS. $T_r = 475$ AÑOS.....	125

TABLA 32. PERIODOS ESTRUCTURALES NORMALIZADOS EN DONDE SE PRESENTAN LAS MAYORES AMPLIFICACIONES SÍSMICAS PRODUCIDAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN LOS SITIOS DE LA ZONA D3.....	129
---	-----

## ÍNDICE DE APENDICES

APÉNDICE 1. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D1-1.....	151
APÉNDICE 2. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D1-1 .....	151
APÉNDICE 3. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D1-1. ....	152
APÉNDICE 4. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D1-1.....	152
APÉNDICE 5. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D1-1 .....	153
APÉNDICE 6. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D1-1 .	153
APÉNDICE 7. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D1-1 .....	154
APÉNDICE 8. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D1-2.....	155
APÉNDICE 9. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D1-2 .....	155
APÉNDICE 10. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D1-2. ....	156
APÉNDICE 11. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D1-2.....	156
APÉNDICE 12. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D1-2 .....	157
APÉNDICE 13. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D1-2	157
APÉNDICE 14. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D1-2 .....	158
APÉNDICE 15. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D1-3 .....	159
APÉNDICE 16. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D1-3 .....	159
APÉNDICE 17. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D1-3. ....	160
APÉNDICE 18. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D1-3.....	160
APÉNDICE 19. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D1-3 .....	161
APÉNDICE 20. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D1-3	161
APÉNDICE 21. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D1-3 .....	162
APÉNDICE 22. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D1-4 .....	163
APÉNDICE 23. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D1-4 .....	163
APÉNDICE 24. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D1-4. ....	164
APÉNDICE 25. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D1-4.....	164
APÉNDICE 26. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D1-4 .....	165
APÉNDICE 27. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D1-4	165
APÉNDICE 28. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D1-4 .....	166
APÉNDICE 29. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D1-5 .....	167
APÉNDICE 30. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D1-5 .....	167
APÉNDICE 31. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D1-5. ....	168
APÉNDICE 32. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D1-5.....	168
APÉNDICE 33. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D1-5 .....	169
APÉNDICE 34. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D1-5	169
APÉNDICE 35. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D1-5 .....	170
APÉNDICE 36. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO EB PRADERA .....	171
APÉNDICE 37. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO EB PRADERA .....	171
APÉNDICE 38. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO EB PRADERA. ....	172

APÉNDICE 39. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO EB PRADERA.....	172
APÉNDICE 40. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO EB PRADERA .....	173
APÉNDICE 41. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO EB PRADERA .....	173
APÉNDICE 42. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO EB PRADERA.....	174
APÉNDICE 43. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO ESCLUSAS .....	175
APÉNDICE 44. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO ESCLUSAS .....	175
APÉNDICE 45. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO ESCLUSAS.....	176
APÉNDICE 46. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO ESCLUSAS. ....	176
APÉNDICE 47. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO ESCLUSAS .....	177
APÉNDICE 48. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO ESCLUSAS .....	177
APÉNDICE 49. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO ESCLUSAS.....	178
APÉNDICE 50. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 1 .....	179
APÉNDICE 51. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 1 .....	179
APÉNDICE 52. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 1.....	180
APÉNDICE 53. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 1..	180
APÉNDICE 54. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 1.....	181
APÉNDICE 55. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 1.....	181
APÉNDICE 56. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 1.....	182
APÉNDICE 57. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 2 .....	183
APÉNDICE 58. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 2 .....	183
APÉNDICE 59. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 2.....	184
APÉNDICE 60. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 2..	184
APÉNDICE 61. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 2.....	185
APÉNDICE 62. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO LINEA DE IMPULSION SUR 2.....	185
APÉNDICE 63. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO LINEA DE IMPULSION 2 .....	186
APÉNDICE 64. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S213.....	187
APÉNDICE 65. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S213.....	187
APÉNDICE 66. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S213. ....	188
APÉNDICE 67. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S213. ....	188
APÉNDICE 68. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S213 .....	189
APÉNDICE 69. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S213 .....	189
APÉNDICE 70. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S213 .....	190
APÉNDICE 71. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S214 .....	191
APÉNDICE 72. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S214 .....	191
APÉNDICE 73. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S214. ....	192

APÉNDICE 74. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S214. ....	192
APÉNDICE 75. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S214 .....	193
APÉNDICE 76. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S214 .....	193
APÉNDICE 77. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S214 .....	194
APÉNDICE 78. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO SWISSOTEL .....	195
APÉNDICE 79. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO SWISSOTEL .....	195
APÉNDICE 80. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO SWISSOTEL.....	196
APÉNDICE 81. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO SWISSOTEL.....	196
APÉNDICE 82. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO SWISSOTEL.....	197
APÉNDICE 83. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO SWISSOTEL.....	197
APÉNDICE 84. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO SWISSOTEL.....	198
APÉNDICE 85. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D2-1 .....	200
APÉNDICE 86. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D2-1 .....	200
APÉNDICE 87. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D2-1.....	201
APÉNDICE 88. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D2-1.....	201
APÉNDICE 89. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D2-1 .....	202
APÉNDICE 90. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D2-1.....	202
APÉNDICE 91. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D2-1 .....	203
APÉNDICE 92. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D2-2 .....	204
APÉNDICE 93. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D2-2 .....	204
APÉNDICE 94. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D2-2.....	205
APÉNDICE 95. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D2-2.....	205
APÉNDICE 96. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D2-2 .....	206
APÉNDICE 97. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D2-2.....	206
APÉNDICE 98. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D2-2 .....	207
APÉNDICE 99. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S212.....	208
APÉNDICE 100. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S212.....	208
APÉNDICE 101. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S212.....	209
APÉNDICE 102. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S212.....	209
APÉNDICE 103. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S212 .....	210
APÉNDICE 104. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S212 .....	210
APÉNDICE 105. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S212 .....	211
APÉNDICE 106. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO ZOFRAGUA .....	212
APÉNDICE 107. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO ZOFRAGUA .....	212
APÉNDICE 108. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO ZOFRAGUA.....	213
APÉNDICE 109. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO ZOFRAGUA.....	213

APÉNDICE 110. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO ZOFRAGUA.....	214
APÉNDICE 111. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO ZOFRAGUA.....	214
APÉNDICE 112. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO ZOFRAGUA.....	215
APÉNDICE 113. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO AEROVIA G1.....	217
APÉNDICE 114. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO AEROVIA G1.....	217
APÉNDICE 115. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO AEROVIA G1.....	218
APÉNDICE 116. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO AEROVIA G1.....	218
APÉNDICE 117. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO AEROVIA G1.....	219
APÉNDICE 118. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO AEROVIA G1.....	219
APÉNDICE 119. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO AEROVIA G1.....	220
APÉNDICE 120. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO CICG.....	221
APÉNDICE 121. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO CICG.....	221
APÉNDICE 122. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO CICG.....	222
APÉNDICE 123. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO CICG.....	222
APÉNDICE 124. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO CICG.....	223
APÉNDICE 125. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO CICG.....	223
APÉNDICE 126. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO CICG.....	224
APÉNDICE 127. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D3A1.....	225
APÉNDICE 128. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D3A1.....	225
APÉNDICE 129. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D3A1.....	226
APÉNDICE 130. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D3A1.....	226
APÉNDICE 131. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D3A1.....	227
APÉNDICE 132. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D3A1.....	227
APÉNDICE 133. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D3A1.....	228
APÉNDICE 134. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D3A2.....	229
APÉNDICE 135. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D3A2.....	229
APÉNDICE 136. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D3A2.....	230
APÉNDICE 137. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D3A2.....	230
APÉNDICE 138. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D3A2.....	231
APÉNDICE 139. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D3A2.....	231
APÉNDICE 140. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D3A2.....	232
APÉNDICE 141. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D3A3.....	233
APÉNDICE 142. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D3A3.....	233
APÉNDICE 143. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D3A3.....	234
APÉNDICE 144. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D3A3.....	234

APÉNDICE 145. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D3A3	235
APÉNDICE 146. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D3A3	235
APÉNDICE 147. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D3A3	236
APÉNDICE 148. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D3A4	237
APÉNDICE 149. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D3A4	237
APÉNDICE 150. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D3A4	238
APÉNDICE 151. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D3A4	238
APÉNDICE 152. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D3A4	239
APÉNDICE 153. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D3A4	239
APÉNDICE 154. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D3A4	240
APÉNDICE 155. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D3B1	241
APÉNDICE 156. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D3B1	241
APÉNDICE 157. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D3B1	242
APÉNDICE 158. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D3B1	242
APÉNDICE 159. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D3B1	243
APÉNDICE 160. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D3B1	243
APÉNDICE 161. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D3B1	244
APÉNDICE 162. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D3B2	245
APÉNDICE 163. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D3B2	245
APÉNDICE 164. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D3B2	246
APÉNDICE 165. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D3B2	246
APÉNDICE 166. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D3B2	247
APÉNDICE 167. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D3B2	247
APÉNDICE 168. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D3B2	248
APÉNDICE 169. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D3B3	249
APÉNDICE 170. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D3B3	249
APÉNDICE 171. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D3B3	250
APÉNDICE 172. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D3B3	250
APÉNDICE 173. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D3B3	251
APÉNDICE 174. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D3B3	251
APÉNDICE 175. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D3B3	252
APÉNDICE 176. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO HOSPITAL ABEL GILBERT	253
APÉNDICE 177. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO HOSPITAL ABEL GILBERT	253
APÉNDICE 178. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO HOSPITAL ABEL GILBERT	254
APÉNDICE 179. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO HOSPITAL ABEL GILBERT	254

APÉNDICE 180. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO HOSPITAL ABEL GILBERT.....	255
APÉNDICE 181. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO HOSPITAL ABEL GILBERT.....	255
APÉNDICE 182. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO HOSPITAL ABEL GILBERT.....	256
APÉNDICE 183. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO IESS SUR.....	257
APÉNDICE 184. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO IESS SUR.....	257
APÉNDICE 185. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO IESS SUR.....	258
APÉNDICE 186. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO IESS SUR.....	258
APÉNDICE 187. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO IESS SUR.....	259
APÉNDICE 188. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO IESS SUR.....	259
APÉNDICE 189. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO IESS SUR.....	260
APÉNDICE 190. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO MURANO.....	261
APÉNDICE 191. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO MURANO.....	261
APÉNDICE 192. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO MURANO.....	262
APÉNDICE 193. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO MURANO.....	262
APÉNDICE 194. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO MURANO.....	263
APÉNDICE 195. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO MURANO.....	263
APÉNDICE 196. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO MURANO.....	264
APÉNDICE 197. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO PANTANO SECO.....	265
APÉNDICE 198. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO PANTANO SECO.....	265
APÉNDICE 199. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO PANTANO SECO.....	266
APÉNDICE 200. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO PANTANO SECO.....	266
APÉNDICE 201. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO PANTANO SECO.....	267
APÉNDICE 202. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO PANTANO SECO.....	267
APÉNDICE 203. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO PANTANO SECO.....	268
APÉNDICE 204. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO PLATGUB.....	269
APÉNDICE 205. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO PLATGUB.....	269
APÉNDICE 206. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO PLATGUB.....	270
APÉNDICE 207. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO PLATGUB.....	270
APÉNDICE 208. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO PLATGUB.....	271
APÉNDICE 209. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO PLATGUB.....	271
APÉNDICE 210. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO PLATGUB.....	272
APÉNDICE 211. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S209.....	273
APÉNDICE 212. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S209.....	273
APÉNDICE 213. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S209.....	274
APÉNDICE 214. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S209.....	274



APÉNDICE 215. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S209	275
APÉNDICE 216. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S209	275
APÉNDICE 217. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S209	276
APÉNDICE 218. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S210-1	277
APÉNDICE 219. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S210-1	277
APÉNDICE 220. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S210-1	278
APÉNDICE 221. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S210-1	278
APÉNDICE 222. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S210-1	279
APÉNDICE 223. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S210-1	279
APÉNDICE 224. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S210-1	280
APÉNDICE 225. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S210-2	281
APÉNDICE 226. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S210-2	281
APÉNDICE 227. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S210-2	282
APÉNDICE 228. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S210-2	282
APÉNDICE 229. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S210-2	283
APÉNDICE 230. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S210-2	283
APÉNDICE 231. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S210-2	284
APÉNDICE 232. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S211	285
APÉNDICE 233. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S211	285
APÉNDICE 234. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S211	286
APÉNDICE 235. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S211	286
APÉNDICE 236. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S211	287
APÉNDICE 237. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S211	287
APÉNDICE 238. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S211	288
APÉNDICE 239. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S216	289
APÉNDICE 240. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S216	289
APÉNDICE 241. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S216	290
APÉNDICE 242. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S216	290
APÉNDICE 243. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S216	291
APÉNDICE 244. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S216	291
APÉNDICE 245. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S216	292
APÉNDICE 246. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S218	293
APÉNDICE 247. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S218	293
APÉNDICE 248. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S218	294
APÉNDICE 249. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S218	294

APÉNDICE 250. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S218	295
APÉNDICE 251. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S218	295
APÉNDICE 252. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S218	296
APÉNDICE 253. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S221	297
APÉNDICE 254. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S221	297
APÉNDICE 255. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S221	298
APÉNDICE 256. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S221	298
APÉNDICE 257. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S221	299
APÉNDICE 258. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S221	299
APÉNDICE 259. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S221	300
APÉNDICE 260. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D4-1	302
APÉNDICE 261. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D4-1	302
APÉNDICE 262. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D4-1	303
APÉNDICE 263. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D4-1	303
APÉNDICE 264. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D4-1	304
APÉNDICE 265. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D4-1	304
APÉNDICE 266. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D4-1	305
APÉNDICE 267. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D4-2	306
APÉNDICE 268. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D4-2	306
APÉNDICE 269. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D4-2	307
APÉNDICE 270. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D4-2	307
APÉNDICE 271. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D4-2	308
APÉNDICE 272. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D4-2	308
APÉNDICE 273. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D4-2	309
APÉNDICE 274. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D4-3	310
APÉNDICE 275. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D4-3	310
APÉNDICE 276. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D4-3	311
APÉNDICE 277. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D4-3	311
APÉNDICE 278. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D4-3	312
APÉNDICE 279. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D4-3	312
APÉNDICE 280. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D4-3	313
APÉNDICE 281. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO INTERCAMBIADOR FDO	314
APÉNDICE 282. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO INTERCAMBIADOR FDO	314
APÉNDICE 283. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO INTERCAMBIADOR FDO	315
APÉNDICE 284. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO INTERCAMBIADOR FDO	315

APÉNDICE 285. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO INTERCAMBIADOR FDO.....	316
APÉNDICE 286. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO INTERCAMBIADOR FDO.....	316
APÉNDICE 287. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO INTERCAMBIADOR FDO.....	317
APÉNDICE 288. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO EB PROGRESO.....	318
APÉNDICE 289. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO EB PROGRESO.....	318
APÉNDICE 290. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO EB PROGRESO.....	319
APÉNDICE 291. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO EB PROGRESO.....	319
APÉNDICE 292. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO EB PROGRESO.....	320
APÉNDICE 293. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO EB PROGRESO.....	320
APÉNDICE 294. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO EB PROGRESO.....	321
APÉNDICE 295. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO PTAR MERINOS.....	322
APÉNDICE 296. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO PTAR MERINOS.....	322
APÉNDICE 297. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO PTAR MERINOS.....	323
APÉNDICE 298. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO PTAR MERINOS.....	323
APÉNDICE 299. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO PTAR MERINOS.....	324
APÉNDICE 300. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO PTAR MERINOS.....	324
APÉNDICE 301. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO PTAR MERINOS.....	325
APÉNDICE 302. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S217.....	326
APÉNDICE 303. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S217.....	326
APÉNDICE 304. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S217.....	327
APÉNDICE 305. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S217.....	327
APÉNDICE 306. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S217.....	328
APÉNDICE 307. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S217.....	328
APÉNDICE 308. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S217.....	329
APÉNDICE 309. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S219.....	330
APÉNDICE 310. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S219.....	330
APÉNDICE 311. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S219.....	331
APÉNDICE 312. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S219.....	331
APÉNDICE 313. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S219.....	332
APÉNDICE 314. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S219.....	332
APÉNDICE 315. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S219.....	333
APÉNDICE 316. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO THE POINT.....	334
APÉNDICE 317. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA Te DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO THE POINT.....	334
APÉNDICE 318. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO THE POINT.....	335
APÉNDICE 319. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO THE POINT.....	335

APÉNDICE 320. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO THE POINT.....	336
APÉNDICE 321. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO THE POINT.....	336
APÉNDICE 322. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO THE POINT.....	337
APÉNDICE 323. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D5-1.....	339
APÉNDICE 324. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D5-1.....	339
APÉNDICE 325. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D5-1.....	340
APÉNDICE 326. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D5-1.....	340
APÉNDICE 327. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D5-1.....	341
APÉNDICE 328. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D5-1.....	341
APÉNDICE 329. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D5-1.....	342
APÉNDICE 330. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D5-2.....	343
APÉNDICE 331. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D5-2.....	343
APÉNDICE 332. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D5-2.....	344
APÉNDICE 333. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D5-2.....	344
APÉNDICE 334. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D5-2.....	345
APÉNDICE 335. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D5-2.....	345
APÉNDICE 336. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D5-2.....	346
APÉNDICE 337. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D5-3.....	347
APÉNDICE 338. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D5-3.....	347
APÉNDICE 339. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D5-3.....	348
APÉNDICE 340. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D5-3.....	348
APÉNDICE 341. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D5-3.....	349
APÉNDICE 342. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D5-3.....	349
APÉNDICE 343. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D5-3.....	350
APÉNDICE 344. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO D5-4.....	351
APÉNDICE 345. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO D5-4.....	351
APÉNDICE 346. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO D5-4.....	352
APÉNDICE 347. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO D5-4.....	352
APÉNDICE 348. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO D5-4.....	353
APÉNDICE 349. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO D5-4.....	353
APÉNDICE 350. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO D5-4.....	354
APÉNDICE 351. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO MONTE SINAI.....	355
APÉNDICE 352. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO MONTE SINAI.....	355
APÉNDICE 353. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO MONTE SINAI.....	356
APÉNDICE 354. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO MONTE SINAI.....	356

APÉNDICE 355. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO MONTE SINAI .....	357
APÉNDICE 356. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO MONTE SINAI .....	357
APÉNDICE 357. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO MONTE SINAI .....	358
APÉNDICE 358. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S220 .....	359
APÉNDICE 359. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S220 .....	359
APÉNDICE 360. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S220 .....	360
APÉNDICE 361. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S220 .....	360
APÉNDICE 362. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S220 .....	361
APÉNDICE 363. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S220 .....	361
APÉNDICE 364. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S220 .....	362
APÉNDICE 365. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S222 .....	363
APÉNDICE 366. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S222 .....	363
APÉNDICE 367. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S222 .....	364
APÉNDICE 368. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S222 .....	364
APÉNDICE 369. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S222 .....	365
APÉNDICE 370. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S222 .....	365
APÉNDICE 371. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S222 .....	366
APÉNDICE 372. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MODELADA DEL SUELO. SITIO S215 .....	368
APÉNDICE 373. ESPECTROS ELÁSTICOS RESULTANTES DE ACELERACIÓN PARA ANÁLISIS EQL Y NL PARA REGISTROS SÍSMICOS DE FF Y NF; PARA TE DE 43, 475, 1000 Y 2500 AÑOS. SITIO S215 .....	368
APÉNDICE 374. ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIÓN BINORMALIZADOS. SITIO S215 .....	369
APÉNDICE 375. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (Sd) VS PERIODO DE VIBRACIÓN (T) DE ANÁLISIS EQL Y NL PARA SISMOS DE FF Y NF, PARA TODOS LOS PERIODOS DE RETORNO. SITIO S215 .....	369
APÉNDICE 376. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS EQL. SITIO S215 .....	370
APÉNDICE 377. DIAGRAMAS DE MAX STRAIN, SHEAR STRESS, CSR, PGA Y LD RESULTANTES DEL ANÁLISIS NL. SITIO S215 .....	370
APÉNDICE 378. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA COLUMNA DE SUELO SITIO S215 .....	371

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Ya sea de manera directa o indirecta, los fenómenos de la naturaleza siempre han tenido una influencia sobre la actividad humana, incidiendo en algunos casos de manera positiva y en otros casos negativa. Desde la antigüedad, sobre todo, aunque actualmente todavía se presenta, en la mayoría de los casos la influencia de los fenómenos de la naturaleza ha tenido un impacto negativo sobre las sociedades, ya que la falta de preparación técnica ante la ocurrencia de los fenómenos ha traído consigo pérdidas humanas y materiales.

Los movimientos telúricos, también conocidos como terremotos, forman parte de ese gran grupo de fenómenos naturales, y junto con el clima son de los que más ocasionan afecciones sobre las poblaciones. Tarbuck y Lutgens (2005), definen los terremotos como vibraciones producidas en la superficie de la Tierra como consecuencia de una liberación de energía acumulada en las rocas, lo cual surge por fricción generada por deslizamiento o desplazamiento relativo que existe a lo largo estructuras de la corteza terrestre que se denominan *fallas geológicas*; algunas de las cuales poseen grandes dimensiones y permiten que ocurran sismos que ocasionen daños considerables. Los terremotos pueden manifestarse sobre la superficie de los continentes, o en la profundidad del océano, de donde se pueden derivar en este último caso maremotos o *Tsunamis*.

Aproximadamente, el 95% de la energía liberada por terremotos se origina en cinturones orogénicos alrededor del mundo. El cinturón sísmico más importante se conoce bajo el nombre de *Cinturón de Fuego del Pacífico* (ver Figura 1), este es un sistema constituido principalmente por arcos volcánicos y cordilleras, las cuales bordean toda la costa del Océano Pacífico (Tarbuck y Lutgens, 2005). La causa principal de que en esta región halla mayor incidencia de eventos sísmicos, se debe a la presencia de bordes convergentes, donde se manifiestan esfuerzos compresivos entre placas tectónicas, esto es parte del proceso de subducción que sufre la placa oceánica del Pacífico al chocar contra las placas continentales de: Eurasia, Australo Índica, Norteamérica y Suramérica.

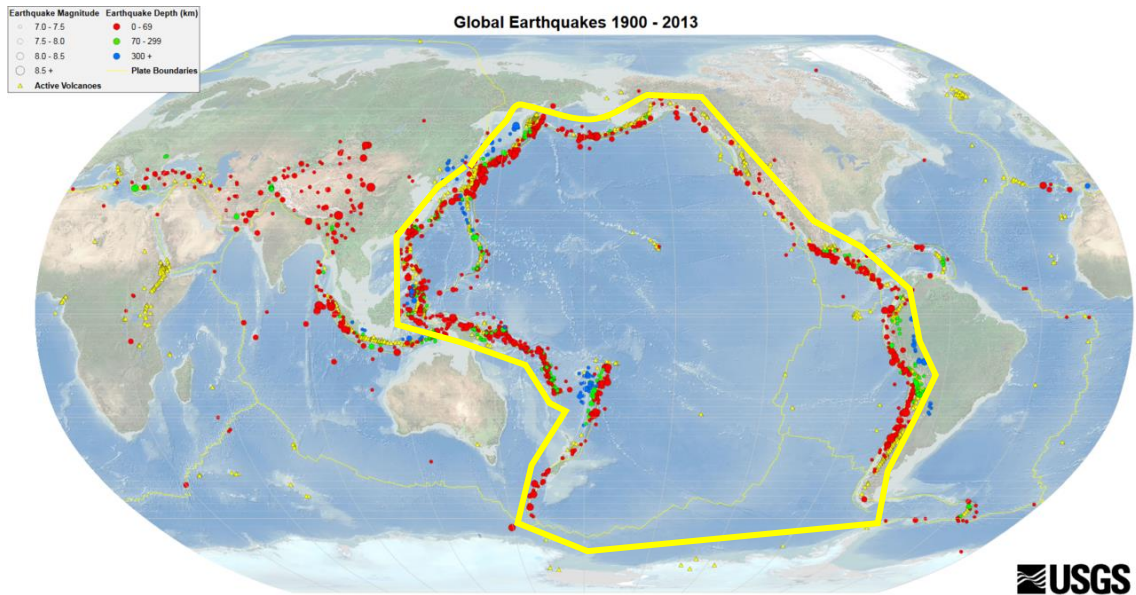


Figura 1. Mapa con la representación histórica (1900 – 2013) para sismos someros, intermedios y profundos en el Cinturón de Fuego del Pacífico (resaltado en polígono amarillo), con magnitudes superiores a  $M_w=7$ , publicado por el Servicio Geológico de Estados Unidos. Tomado y modificado de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/byregion/>.

Dentro del contexto que involucra el margen convergente de la costa Pacífica, se haya el territorio de Ecuador, el cual a lo largo de su historia ha registrado varios eventos sísmicos importantes con magnitudes de momento mayores a 6, en donde se han visto comprometidas las estructuras civiles de ciudades principales, entre los cuales se pueden mencionar los terremotos de:

- Riobamba, 4 de febrero de 1797, con  $M_s=8.3$  (Silgado, 1985; Perrey, 1847).
- Carchi, 15 de agosto de 1868, con  $M_s=8.0$  (Giesecke et al., 2004).
- Esmeraldas, 31 de enero de 1906, con  $M_w=8.8$  (Mendoza y Dewey, 1984).
- Ambato, 5 de agosto de 1949, con  $M_w=6.8$  (Bath, 1973; Rothe, 1953).
- Muisne, 16 de abril de 2016, con  $M_w=7.6$ , (Nikolaou et al., 2016).
- Macas (22 de febrero de 2019) con  $M_w=7.8$ .

Del listado de sismos mencionados previamente, los últimos dos sismos mencionados, han sido reportados por los siguientes institutos sismológicos: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGN) y el Centro de Monitoreo Sísmico de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (CEMSIS).



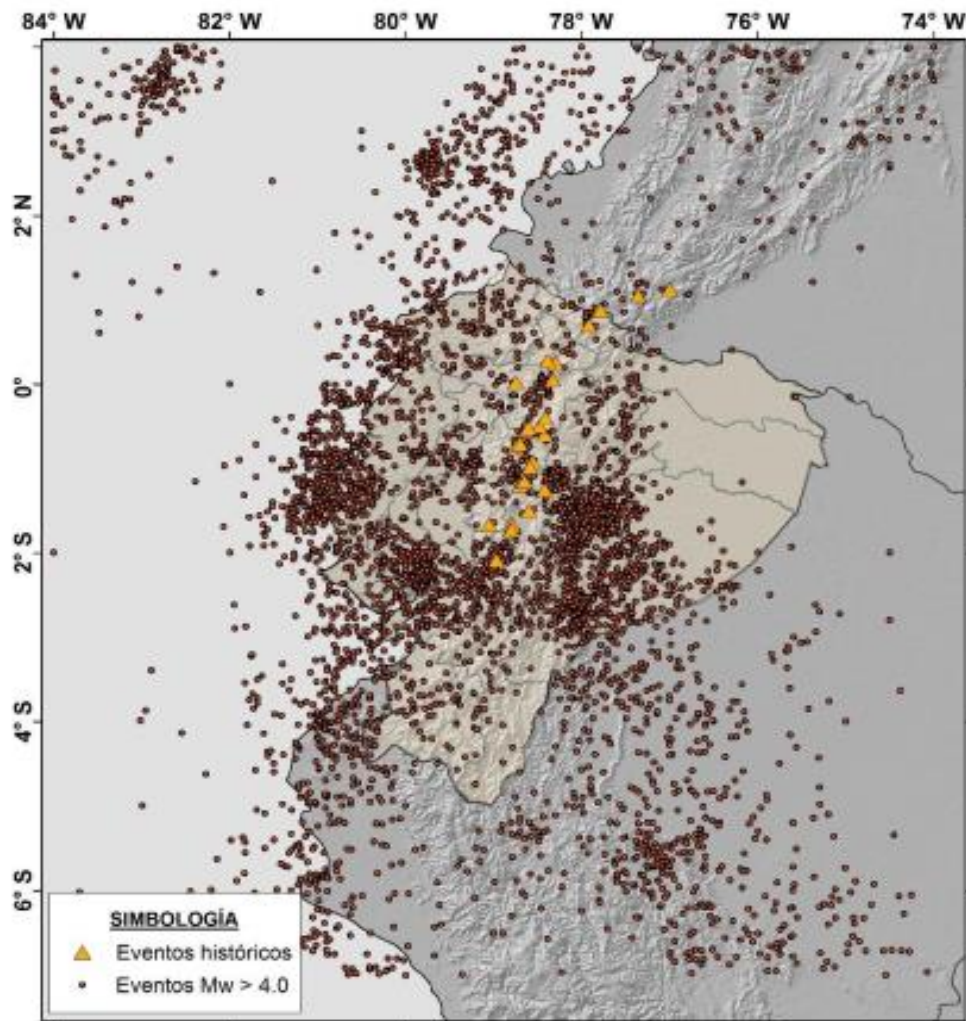


Figura 2. Eventos sísmicos registrados en la República del Ecuador. Tomado y modificado de Vera-Grunauer et al. (2016).

La amenaza sísmica que involucra el territorio ecuatoriano se presenta con un mayor nivel de peligrosidad en la región de la cordillera y de la costa, en donde existen condiciones geológicas que permiten que se generen sismos con alta frecuencia. Particularmente, dentro de la región costa, la ciudad de Guayaquil, es un lugar vulnerable a los efectos de sitio provocados por ciertas condiciones geotécnicas especiales como suelos blandos de gran potencia y cementación en las arcillas que provocan una disminución en el amortiguamiento de las ondas sísmicas.

A pesar de que existen normativas de construcción para el Ecuador, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015 (NEC-15), en base a estudios recientes se ha podido comprobar que es necesario actualizar los procesos de investigación para análisis de la respuesta dinámica. El presente estudio está orientado al desarrollo de una secuencia de trabajo que permite definir la respuesta dinámica de sitio, con el fin de poder establecer cuáles son los parámetros de diseño necesarios para las construcciones civiles, basándose en los modelos más recientes de peligro sísmico de Ecuador y en el estado arte.



## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. Zonificación sísmica actual del Ecuador**

Debido a la subducción de la placa tectónica de Nazca con la placa Sudamericana, el Ecuador se cataloga como un país de alta sismicidad (Parra, 2016). Por consiguiente, la regulación de los requerimientos de diseño estructural sísmo resistente se incorpora como uno de los objetivos principales en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC); con el propósito de legislar sobre los requisitos mínimos de diseño necesarios para asegurar el correcto desempeño de la estructura bajo un evento sísmico.

El primer Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC) se publicó en 1952 después del terremoto de Mw 6.4 de 1949 que dejó alrededor de seis mil bajas humanas; este código estaba enfocado en la restauración estructural de los edificios, mas no a definir requerimientos de diseño sísmo resistente. Se hicieron adhesiones importantes al código en 1976 basadas en el California Uniform Building Code, después del sismo interplaca de Esmeraldas (Mw 6.6) el mismo año (Beauval, y otros, 2018). Algunos análisis de peligro sísmico probabilista (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) se hicieron por primera vez en el Ecuador en la década de los '90. Es importante mencionar que esta es la metodología utilizada en la actualidad. Dichos análisis llevaron a la actualización del CEC en el 2001, en donde se definía los requerimientos de diseño para edificaciones sismorresistente basándose en el mapa de zonificación sísmica elaborado en su momento, que contemplaba 4 niveles de amenaza (INEN, 2001). Incrementos en el conocimiento del comportamiento dinámico del subsuelo del Ecuador, producto de los estudios geológicos y geotécnicos de las fuentes sismogénicas, se presentó una actualización de la zonificación sísmica del Ecuador por parte del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) en el 2014, siendo esta última incorporada a la NEC-15 vigente en la actualidad.

En la Figura 3 se muestra la última actualización de la zonificación sísmica del Ecuador estipulada en la NEC-15 en el capítulo PELIGRO SISMICO NEC-SE-DS. Dicha zonificación se caracteriza por la macro zonificación del Ecuador en 6 zonas sísmicas. La delimitación de las zonas corresponde a una escala de valor establecida para el factor de aceleración máxima esperada en roca ( $Z$ ) para dicha zona, en función de la gravedad. En la Tabla 1 se representa la relación existente entre el factor  $Z$  definido para cada zona sísmica y la caracterización del peligro sísmico correspondiente a dicho factor (MIDUVI, 2014).

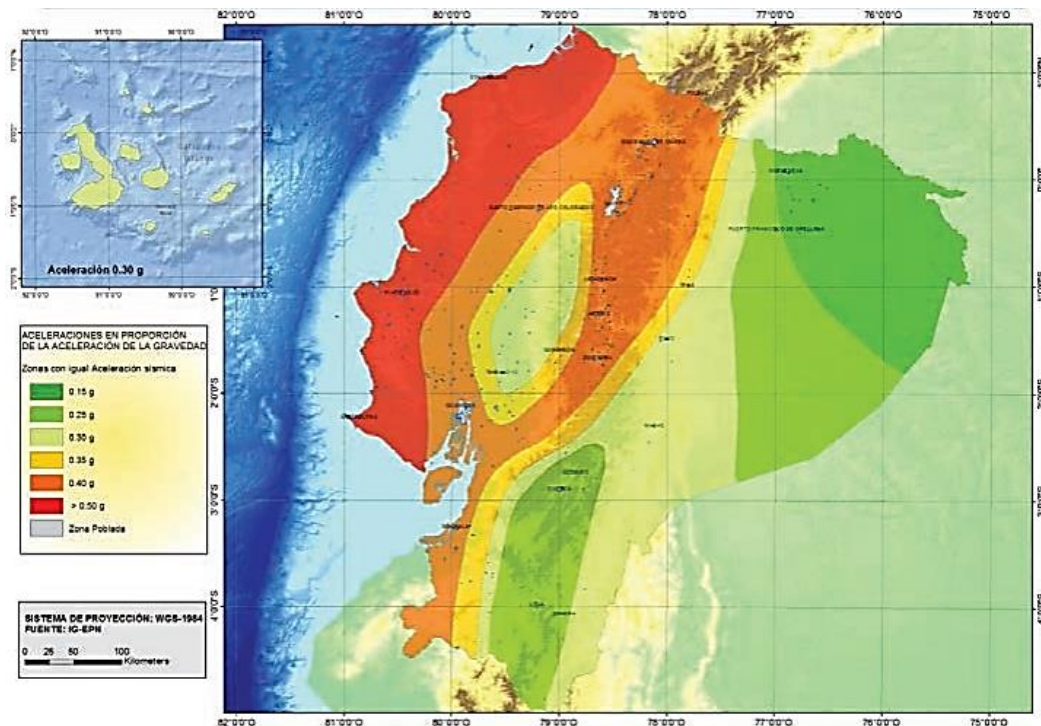


Figura 3. Ecuador, zonas sísmicas delimitadas por el factor Z (PGA en roca en función de la gravedad). Tomado y modificado de MIDUVI (2014).

Tabla 1. Valores del factor Z y caracterización del peligro sísmico en función de la zona sísmica adoptada (MIDUVI, 2014)

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor de factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	>0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Además del mapa de zonificación, la NEC-15 estipula factores de amplificación del suelo con el fin de determinar la demanda sísmica en superficie. Estos factores están en función del tipo de suelo y son los siguientes:

- Fa: Factor de amplificación del suelo para aceleración
- Fd: Factor de amplificación del suelo para desplazamiento
- Fs: Factor de amplificación del suelo en base al comportamiento no lineal del suelo

La NEC define los tipos de suelo en A, B, C, D, E y F según la rigidez promedio de los primeros 30 metros del suelo. Para determinar esta rigidez promedio se utilizan 3 parámetros principalmente:  $V_s$  (velocidad de onda cortante),  $S_u$  (resistencia al corte) y  $N$  (número de golpes con el SPT). Para los suelos tipo E y F se utiliza además %w (contenido de humedad) e IP (índice plástico) (MIDUVI, 2014). Si bien la tipología del suelo estipulada en la NEC proporciona a los ingenieros una idea general de la rigidez del suelo, esta no caracteriza completamente el comportamiento dinámico de los suelos; es decir, dos suelos tipo E no necesariamente reaccionan de la misma manera ante un sismo.

### **1.2.2. Desagregación del UHS para la ciudad de Guayaquil por estudios previos: Vera-Grunauer et al. (2016) y URS Corporation (2007).**

La desagregación del espectro de peligro uniforme, o UHS por sus siglas en inglés (Uniform Hazard Spectrum), consiste en descomponer, para cada periodo espectral, los sismos que contribuyen al valor presentado para un mismo periodo de retorno. Además de lo estipulado en la NEC-15 existen varios planteamientos para la desagregación del UHS en Guayaquil, entre los más destacados están los realizados por Vera-Grunauer et al. (2016) y URS Corporation (2007) en donde se evaluó la amenaza sísmica para la ciudad de Guayaquil. Para estos dos análisis se observa un comportamiento bimodal, consistente para ambos casos, en donde se evidencia que para Guayaquil existe una contribución de sismos de fuente cercana ( $R < 50$  km), asociado a eventos sísmicos con magnitudes  $M_w$  comprendidas desde 4.4 a 6.2; por otro lado, para distancias de ruptura superiores a 60 km, se encontró que hay incidencia de eventos con magnitudes  $M_w$  superiores a los 6 (teniéndose mayor contribución entre magnitudes  $M_w$  de aproximadamente 7 a 8.5). La representación gráfica de la desagregación del UHS, calculado para varios periodos estructurales, según los análisis de Vera-Grunauer et al. (2016) y URS Corporation (2007), pueden observarse en las Figura 4 y Figura 5.

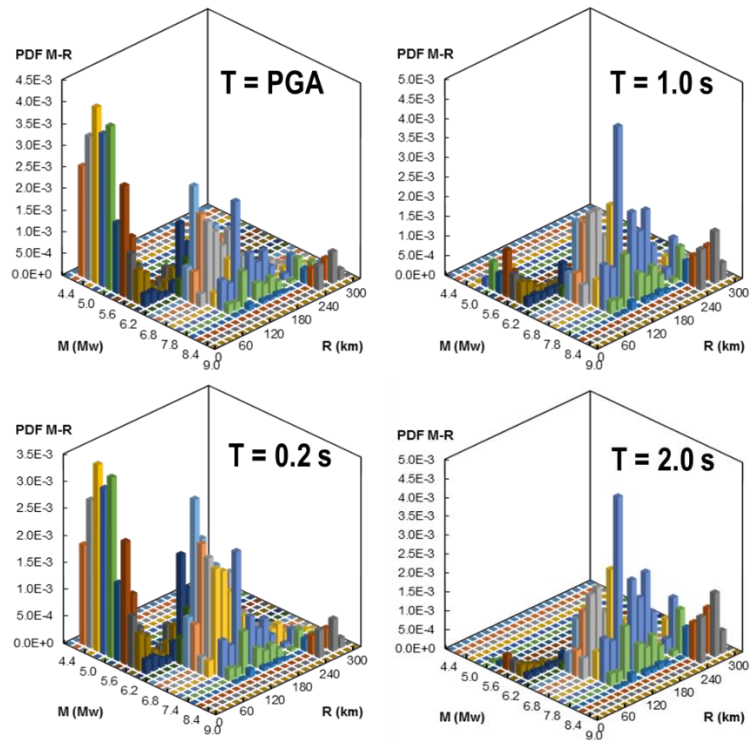


Figura 4. Desagregación del espectro de peligro uniforme para periodos estructurales  $T = \text{PGA}$ ,  $T = 0.2 \text{ s}$ ,  $T = 1 \text{ s}$  y  $T = 2 \text{ s}$ , considerando un periodo de retorno de 475 años según Vera-Grunauer et al. (2016).

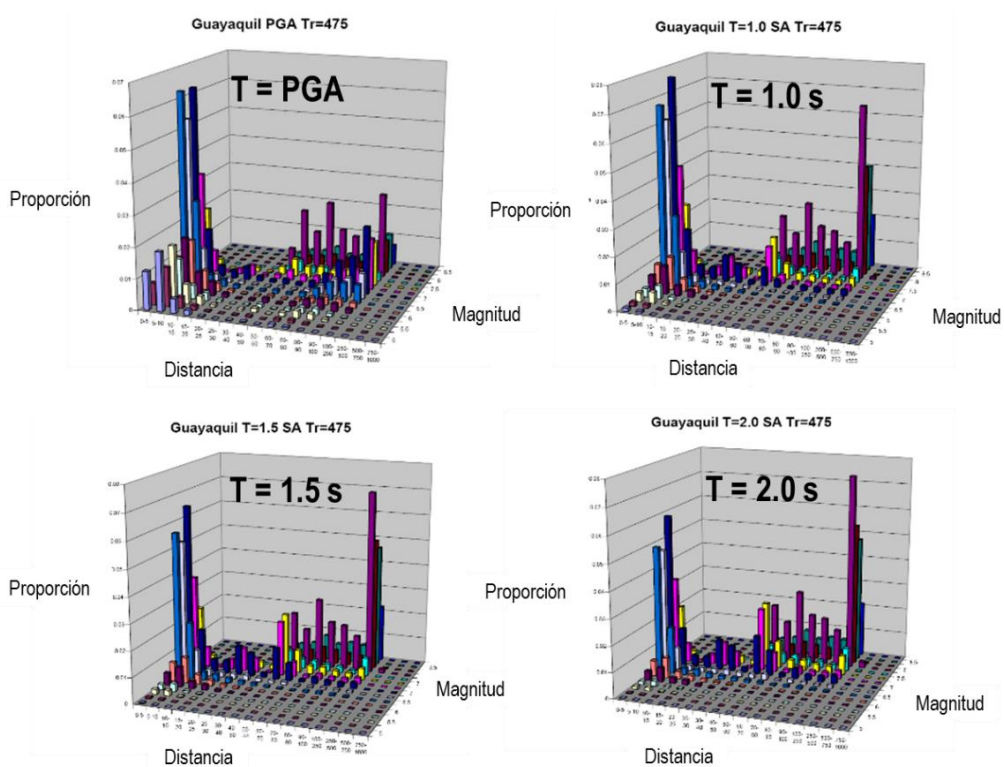


Figura 5. Desagregación del espectro de peligro uniforme para periodos estructurales  $T = \text{PGA}$ ,  $T = 0.2 \text{ s}$ ,  $T = 1 \text{ s}$  y  $T = 2 \text{ s}$ , considerando un periodo de retorno de 475 años según URS Corporation (2007).

### 1.2.3. Nuevo modelo de peligro sísmico para el Ecuador según Beauval et al (2018).

En cuanto a las propuestas más recientes de desagregación del UHS, y de peligro sísmico para el territorio ecuatoriano, se destaca el de Beauval et al. (2018). En dicha publicación se plantean dos modelos de desagregación en función de las magnitudes y distancias de ruptura en donde: el primer modelo está basado en el cálculo de *Área - Falla que incluye la tasa de desplazamiento geodésica*, y el segundo modelo de desagregación considera para el cálculo de la demanda espectral el sistema de *Área – fuente*. Cabe destacar que ambos modelos consideran el catálogo sísmico BSSA2013.

En la Figura 6, se puede apreciar los modelos de peligro sísmico de la respuesta de PGA en superficie para un estrato rocoso, para un periodo de retorno de 475 años; siendo a) modelo para la tasa de deslizamiento geodésica sin reptación, b) la tasa de deslizamiento geodésica con el 50% de reptación y c) la tasa de deslizamiento geológica. Todos los modelos asociados al territorio ecuatoriano y empleados por Beauval et al. (2018).

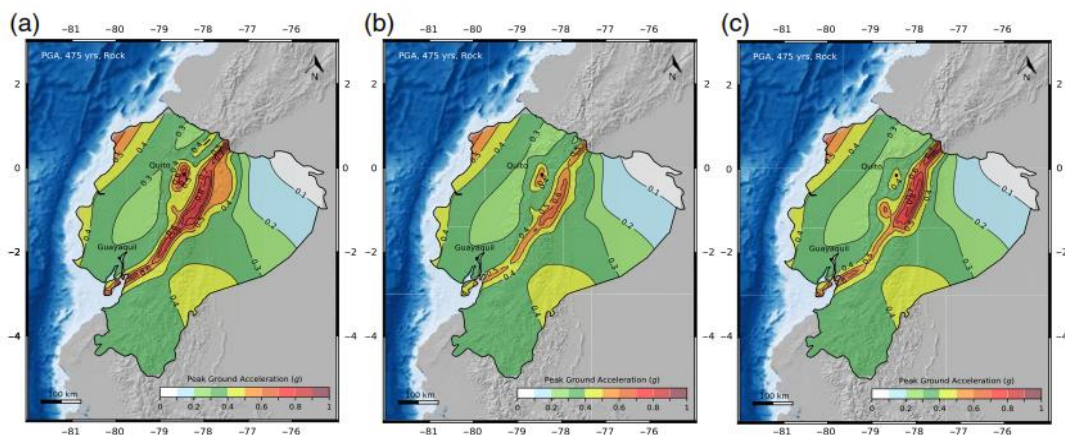


Figura 6. Mapa de peligro sísmico de PGA para un periodo de retorno de 475 años, en superficie para un estrato rocoso. Tomado y modificado de Beauval et al. (2018).

En los modelos de desagregación que se observan en la Figura 7, Figura 8, Figura 9 y Figura 10, puede notarse que los mayores valores de relación de excedencia anual está asociada a sismos cuya distancia de ruptura es superior de 100 Km, mientras que en eventos sísmicos cuyas distancias son menores de 100 km la contribución es mucho menor, en base esto se consideraría que existe influencia principalmente de sismos de fuente lejana.

A pesar de que probabilísticamente, los modelos de desagregación mantienen un comportamiento similar reflejando un mayor dominio de sismos de fuente lejana, se puede destacar que en el caso del modelo *Área + Falla* para un valor de periodo estructural  $T=1s$ , se manifiesta influencia de sismos de campo cercano (aproximadamente 50 km) y con magnitudes  $M_w$  entre 5 y 6. Ya en el caso del modelo *Área – Fuente*, no se percibe evidencia de que haya una influencia representativa

para los eventos sísmicos con una distancia de ruptura menor de 100 km, en estos casos, se ve mayor influencia por parte de los sismos con magnitudes  $M_w$  entre 7.5 y 8.

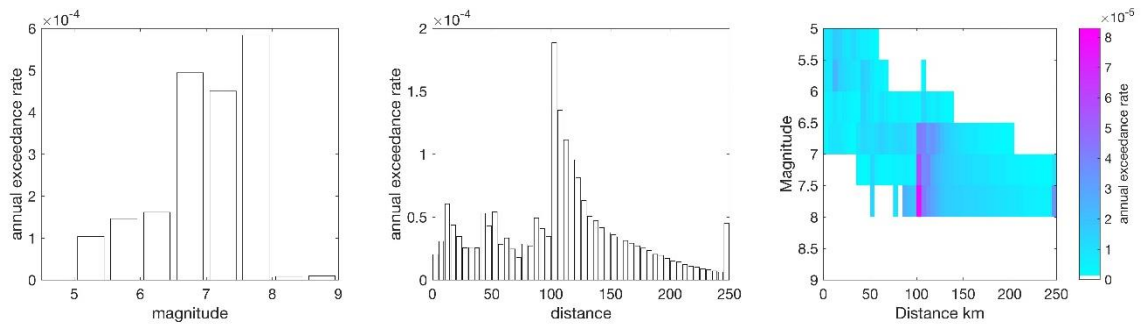


Figura 7. Desagregación del espectro de peligro uniforme para PGA, usando el modelo Área + Falla incluyendo la tasa de desplazamiento geodésica, considerando un periodo de retorno de 475 años. Tomado y modificado de Beauval et al. (2018).

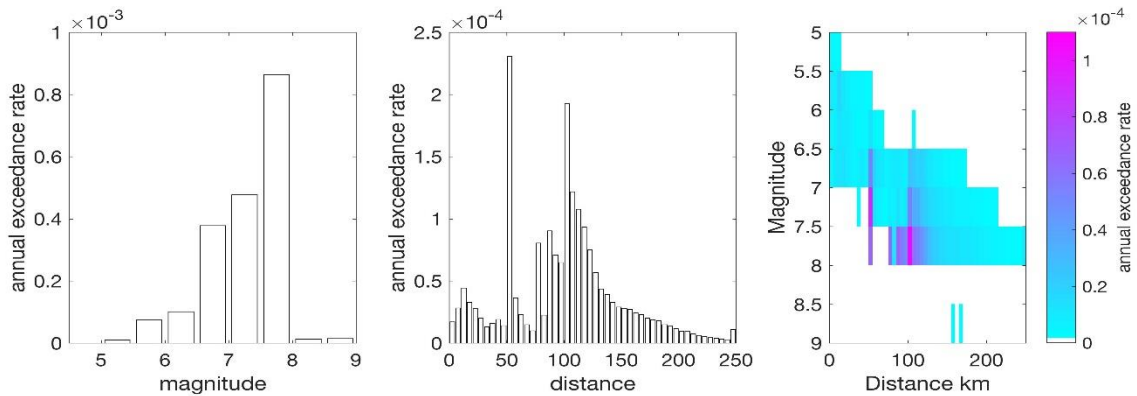


Figura 8. Desagregación del espectro de peligro uniforme para  $T=1$  s, usando el modelo Área + Falla incluyendo la tasa de desplazamiento geodésica, considerando un periodo de retorno de 475 años. Tomado y modificado de Beauval et al. (2018).

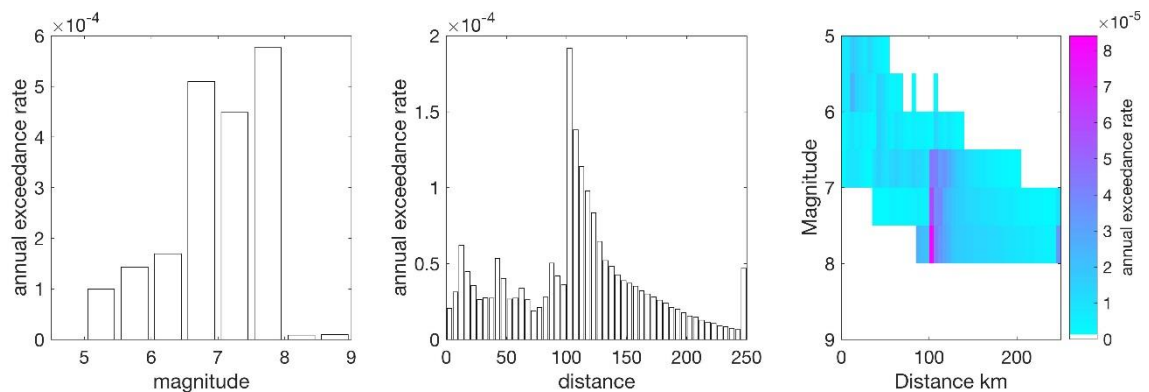


Figura 9. Desagregación del espectro de peligro uniforme para PGA, usando el modelo Área Fuente incluyendo la tasa de desplazamiento geodésica, considerando un periodo de retorno de 475 años. Tomado y modificado de Beauval et al. (2018).



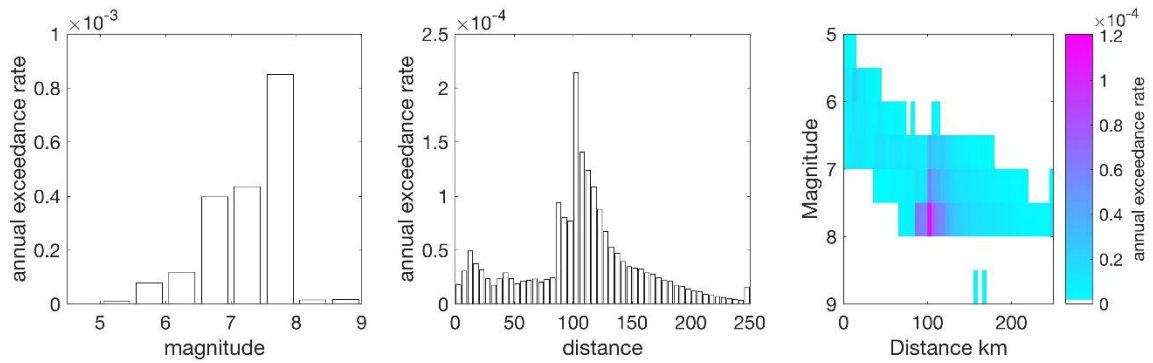


Figura 10. Desagregación del espectro de peligro uniforme para  $T=1s$ , usando el modelo Área Fuente incluyendo la tasa de desplazamiento geodésica, considerando un periodo de retorno de 475 años. Tomado y modificado de Beauval et al. (2018)

El Instituto Geofísico Nacional (IGN), ha definido a partir de las contribuciones de Beauval et al (2018), las curvas de peligro sísmico asociadas a la ciudad de Guayaquil, para un estrato de roca con una velocidad de onda de corte de 760 m/s, las cuales se pueden observar en la Figura 11. Describiendo los ejes de la figura, en el eje de las ordenadas se presenta el valor de la tasa anual de excedencia, la cual es inversamente proporcional al periodo de retorno, y en el eje de las abscisas las aceleraciones espectrales.

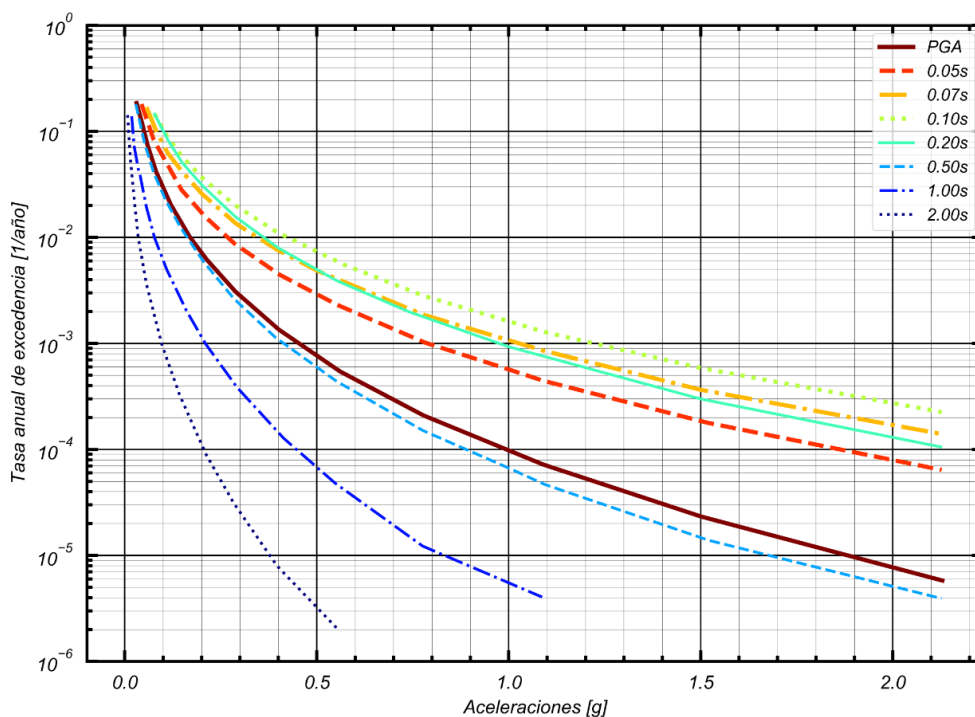


Figura 11. Curvas de peligro sísmico para la ciudad de Guayaquil para un estrato de roca con  $V_s=760m/s$ . Tomado y modificado de Beauval et al (2018).

La Figura 12 presenta una comparación entre los espectros de peligro uniforme (UHS, en inglés: Uniform Hazard Spectrum) estipulados en la NEC-15 y los dos estudios antes mencionados

para un periodo de retorno de 475 años. A partir de dicha comparación, se encontró que la estimación conseguida por Vera-Grunauer et al. (2016), tiene una mejor correspondencia con el UHS presentado por Beauval et al. (2018), en donde se observa que ambos modelos tienen un valor de PGA alrededor de 0.32g con respecto al de la NEC-15, que se ubica en la cifra de 0.4g. La menor correspondencia tanto para el modelo presentado por NEC-15 y Vera-Grunauer et al. (2016) se presenta en torno al rango de periodos estructurales que van de 0.07s hasta 0.2s, en donde el UHS propuesto por Beauval et al. (2018) posee una mayor demanda sísmica, ubicándose su valor alrededor de 0.85g.

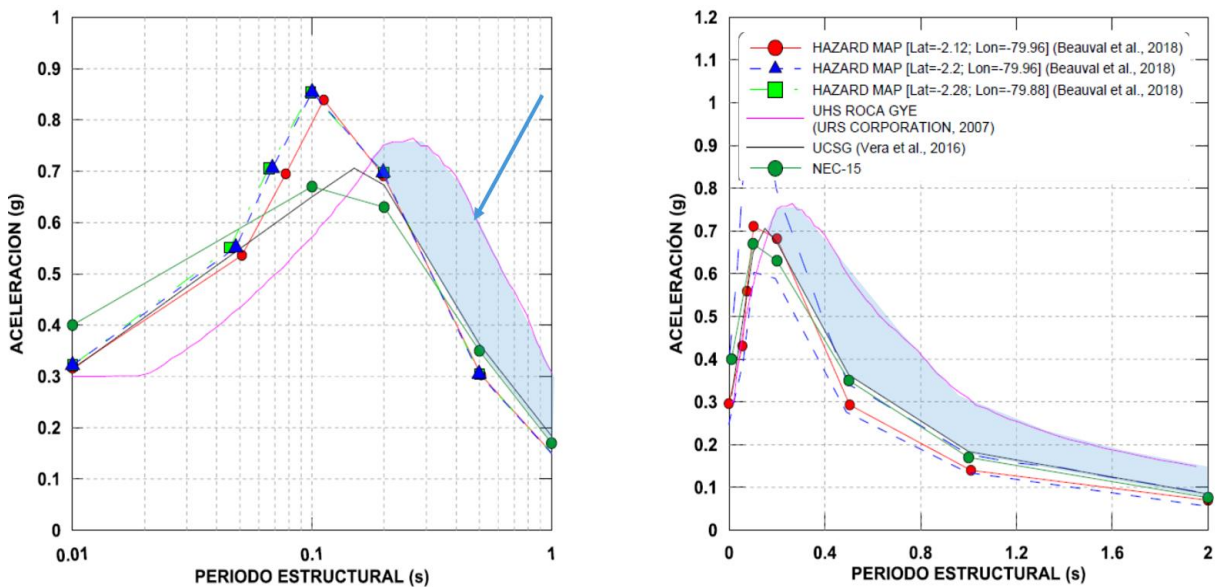


Figura 12. Comparación de los UHS estipulados en la NEC-15 y los UHS de modelos propuestos por Vera-Grunauer (2016) , URS Corporation (2007) y Beauval (2018).

Para este estudio, se consideró más apropiado utilizar el UHS aportado por la publicación de Beauval et al. (2018), debido a que este considera estimaciones más actualizadas para la zona de estudio y que como bien se observó en la Figura 12, coincide en el valor de PGA con otros estudios recientes como el de Vera-Grunauer et al. (2016) y el de URS Corporation (2007).

Debido a la diferencia entre los modelos de desagregación del espectro de peligro uniforme de Beauval et al. (2018) en donde prevalece el efecto de los sismos de fuente lejana, con respecto a los resultados de Vera-Grunauer et al. (2016) y URS Corporation (2007), se decidió utilizar una selección sísmica que incluyera sismos de fuente lejana y cercana, con el fin de disminuir la incertidumbre y proponer una estimación de la respuesta dinámica de sitio lo más rigurosa posible.



#### **1.2.4. Microzonificación Sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil (2014).**

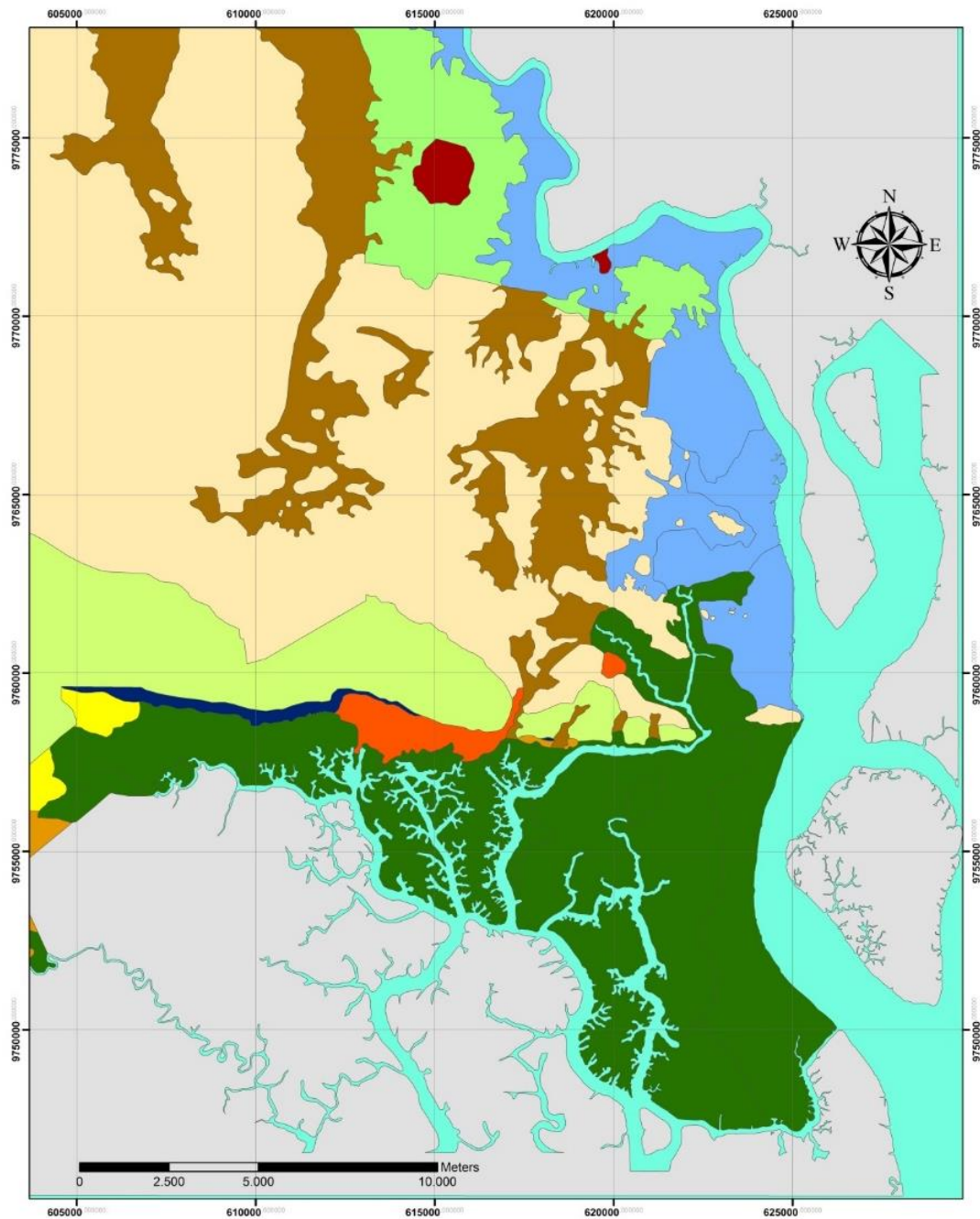
El documento bajo el título de “Elaboración del documento de la microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011”, elaborado por Vera-Grunauer et al (2014), presentaba la actualización a la investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo, teniendo como productos entregables: un estudio geológico y geotécnico, y el proceso metodológico para obtener la respuesta dinámica de sitios seleccionados en la ciudad de Guayaquil. Es importante mencionar que para ese estudio se utilizó el espectro de diseño en roca propuesto por URS Corporation (2007) para la ciudad de Guayaquil (0,3 g).

Según Vera-Grunauer et al (2014), dicho proyecto de ingeniería, el estudio geológico y geotécnico estuvo orientado al estudio de las 7 zonas geotécnicas depósitos, y se hizo especial énfasis en los afloramientos de roca asociados con las formaciones geológicas Cayo y Guayaquil. En la sección correspondiente al marco geológico, se describe el contexto geológico de la ciudad de Guayaquil, el cual está conformado por 3 dominios geológicos principales, cada uno con características geomorfológicas diferentes, los cuales se conocen como: la *llanura aluvial* de los ríos Daule y Babahoyo, el *complejo deltaico-estuarino* de la ría Guayas, y las *colinas de la cordillera Chongón-Colonche*. Esta combinación de dominios geológicos da origen a una diversidad de suelos que se clasifican en suelos residuales, transportados, coluviales, coluviales-aluviales, aluviales y deltaicos (véase Figura 13).

Con respecto al mapa geotécnico, este pudo ser actualizado basándose en la zonificación geológica realizada por Benítez et al (2005), e incorporando un total de 15 registros de mediciones de velocidad de onda cortante ( $V_s$ ), usando métodos geofísicos de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW); así mismo se utilizaron Hojas Topográficas de Guayaquil Norte (NV-A1c, 3687-IV-SW) y Monte Sinaí (MV-B2d, 3587 I SE) a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM). En la Figura 14, se muestra el mapa geotécnico de la ciudad de Guayaquil, obtenido por la campaña de microzonificación de 2014, en donde se detallan 7 zonas (D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7). Los resultados obtenidos a partir de los ensayos MASW sirvieron para modificar los límites de la zona D5 debido al contraste de impedancia que existe entre el suelo blando y el pie de los cerros (extrusión de roca). Adicionalmente, a partir de la interpolación de resultados de 445 mediciones de vibración ambiental por el método de Nakamura, se elaboró el mapa de isoperiodos, en el cual se zonifica los suelos de Guayaquil según sus diferentes periodos de vibración fundamentales (Figura 15) por Vera-Grunauer et al (2005). Dicho mapa fue utilizado para dividir la zona D3 en donde: D3a se refiere a una zona donde prevalecen periodos de vibración inferiores

a 1.6 segundos; y la zona D3b, la cual es una zona representativa de periodos mayores a 1.6 segundos (Vera-Grunauer et al, 2014).

En cuanto a los aspectos de respuesta dinámica en el documento presentado por Vera-Grunauer et al. (2014), se consideraron los efectos de la estructura del suelo y la cementación de los depósitos de arcilla blanda (cementación por pirita), en donde se pudieron detectar comportamientos no lineales del suelo. Finalmente, se estableció para los depósitos blandos deltaicos estuarinos profundos, como depósitos de tipo F, según NEC-15 (2011) y ASCE-7-10, recomendando ese estudio como una referencia para otros lugares del mundo donde se presentan condiciones geotécnicas similares, como en la Bahía de Ariake en Japón.



Leyenda		D7 Formación Rocosa	
Zona	Descripción		
Ca	Depósitos Aluviales	Ea	G. Ancón
Ce	Depósitos Estuarinos	Ese	Fm. San Eduardo
Cal	Depósitos Aluvio - Lacustres	PMg	Fm. Guayaquil
Ca	Depósitos Coluviales	Kc	Fm. Cayo
		Kg	Rocas Graníticas Indiferenciadas
		Kp	Fm. Pifón
		Pa	G. Azúcar

Figura 13. Mapa de la zonificación geológica de la ciudad de Guayaquil. Tomado y modificado de VeraGrunauer et al (2014).

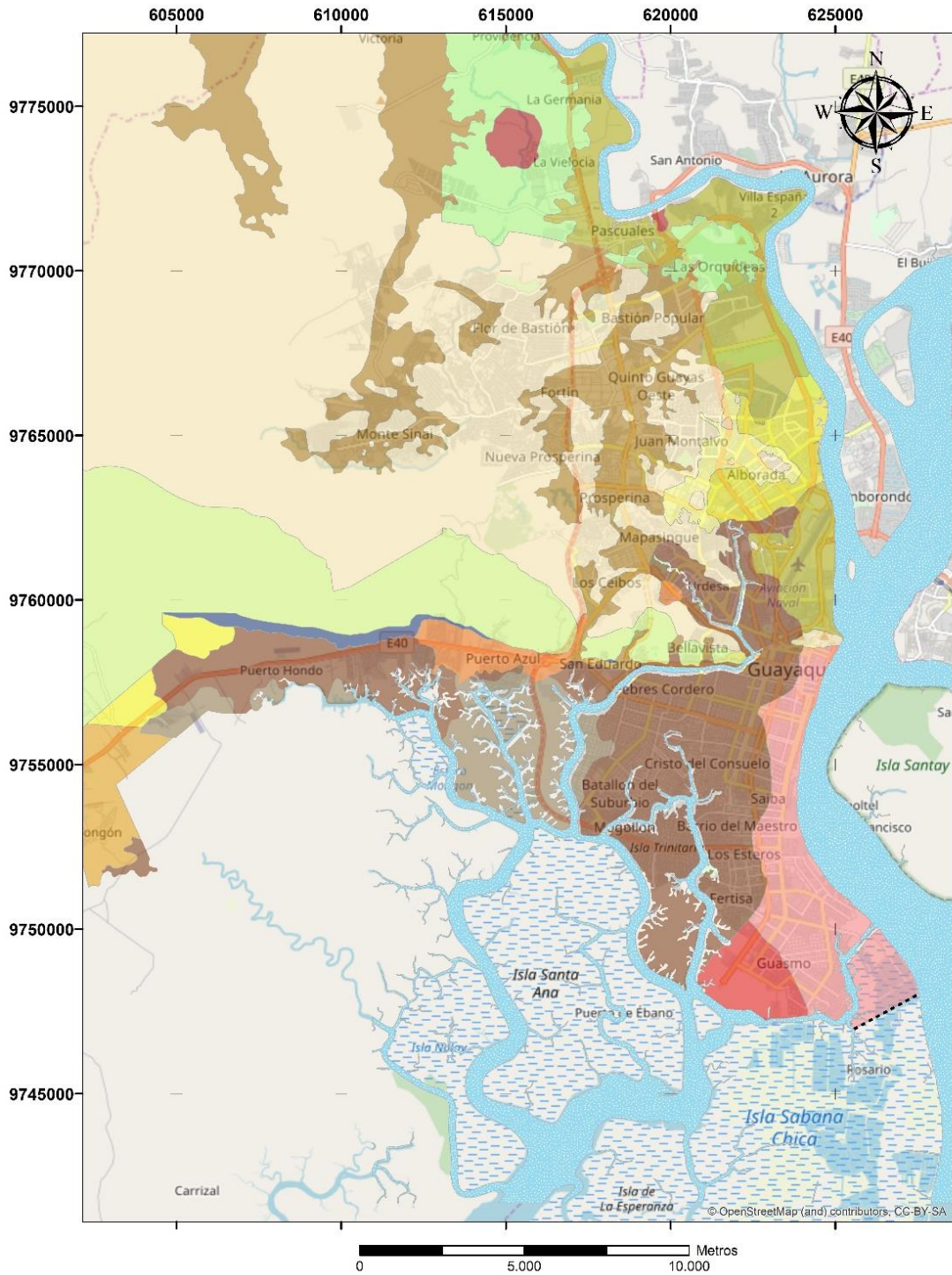


Figura 14. Mapa de las zonas geotécnicas de Guayaquil definido del Informe de Zonificación Sísmica de la ciudad de Guayaquil de 2014. Tomado y modificado de Vera-Grunauer et al. (2014), y actualizado por Geoestudios (2019).



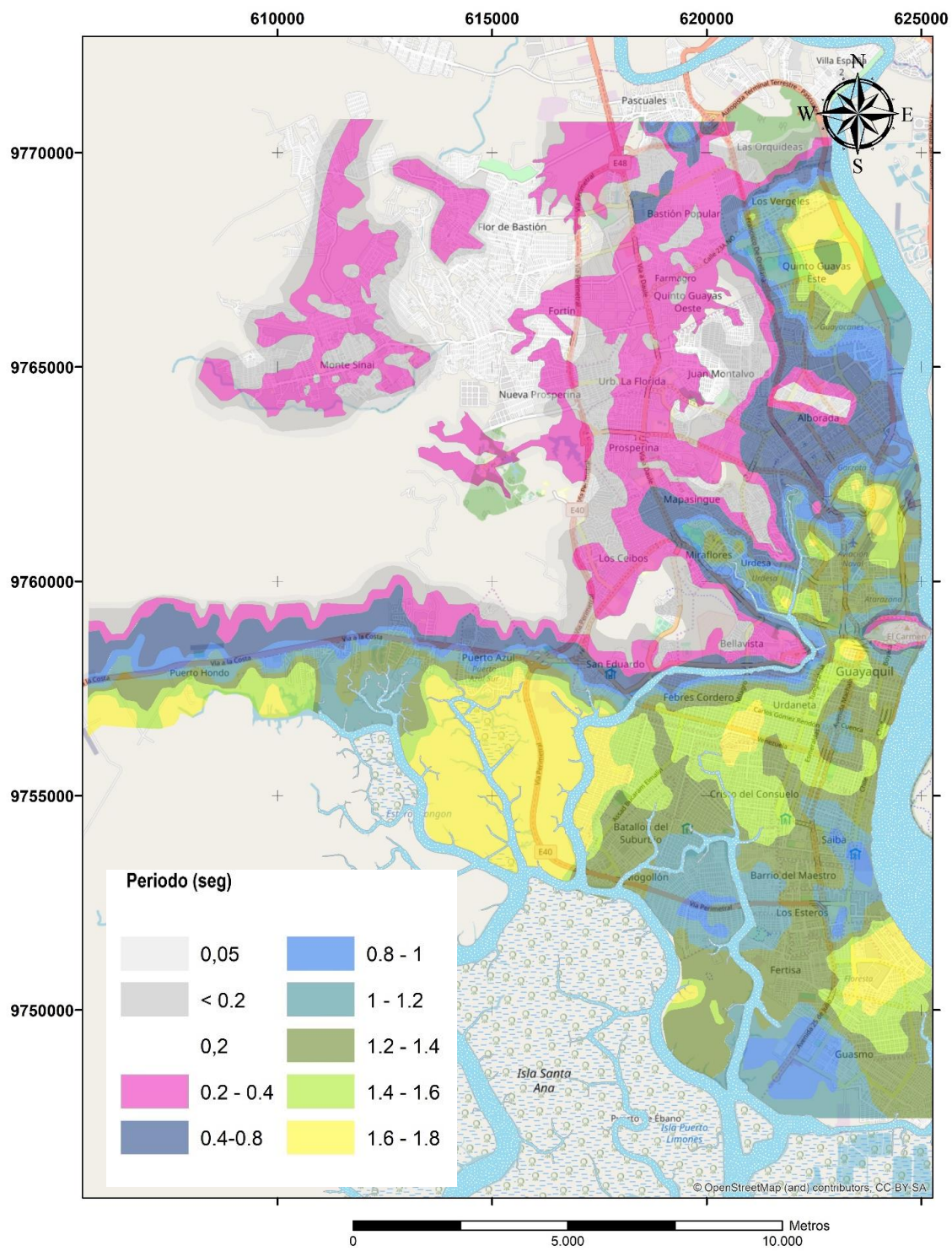


Figura 15. Mapa de isoperiodos elásticos de Guayaquil definido del Informe de Zonificación Sísmica de la ciudad de Guayaquil de 2014. Tomado y modificado de Vera-Grunauer et al. (2014), y actualizado por Geoestudios (2019).

La Tabla 2 presenta de forma general las 7 zonas geotécnicas de Guayaquil basándose en su origen, ubicación y equivalencia con la NEC-15 en cuanto a tipos de suelo.

Tabla 2. Zonas geotécnicas, descripción general: origen geológico, ubicación y tipos de suelo según en NEC-15.

Zona	Origen	Ubicación	Tipo de suelo NEC
D1	Deltaico-estuarino	Este-centro	E/F
D2	Deltaico-estuarino	Sur	F
D3	Deltaico-estuarino	Oeste-Norte	F
D4	Aluvial	Oeste-centro	E
D5	Aluvión-lacustre	Pie de cerros	D
D6	Coluvial	Oeste	C
D7	Formaciones rocosas	Oeste	B

El parámetro de Vs30 es aquel mediante el cual se puede caracterizar los primeros 30 metros de suelo, a partir de ensayos directos o indirectos, y de donde se puede clasificar los sitios. Para el caso de la ciudad de Guayaquil, a lo largo de los últimos 20 años se han realizado una serie de ensayos geofísicos usando las metodologías de SASW, MASW, MAM y ReMI, a partir del cual se logrado obtener una expresión regional del valor de Vs30. En la Figura 16, se presentan 2 mapas de Vs30 obtenidos para la ciudad de Guayaquil, en donde la primera propuesta es de la NEC-15, y la segunda es planteada por Geoestudios (2019). A grandes rasgos los mapas manifiestan un comportamiento similar, consiguiéndose valores de suelos rígidos con mayor dominancia en el sector Noroeste de la ciudad, partiendo desde la provincia geológica conformada por cerros (Cerro del Carmen), los cuales son una extensión fisiográfica de la cordillera Chongón-Colonche, en dicha zona se aprecia que los valores de Vs30 son superiores a 300 m/s lo cual los identifica como suelos C o B; por otro lado, en el sector Norte pero cercano a la ribera del río Daule se identifican valores de Vs30 que se encuentran en el rango de 130 a 180 m/s, asociados a los sedimentos aluviales, y que se identifican como suelos tipo E; y finalmente, al sur de los cerros, donde los valores de Vs30 son inferiores a 180 m/s (característicos de suelos tipos E), y que están relacionados con la presencia de depósitos estuarinos deltaicos. No obstante, en la propuesta planteada por Geoestudios (2019), se observa que hacía el sector sur de la ciudad, se presenta una anomalía con una dirección preferencial Este-Oeste, enmarcada aproximadamente entre las latitudes UTM 9756000 S y 9753000 S, en donde los valores de Vs30 medidos son menores a 110 m/s.

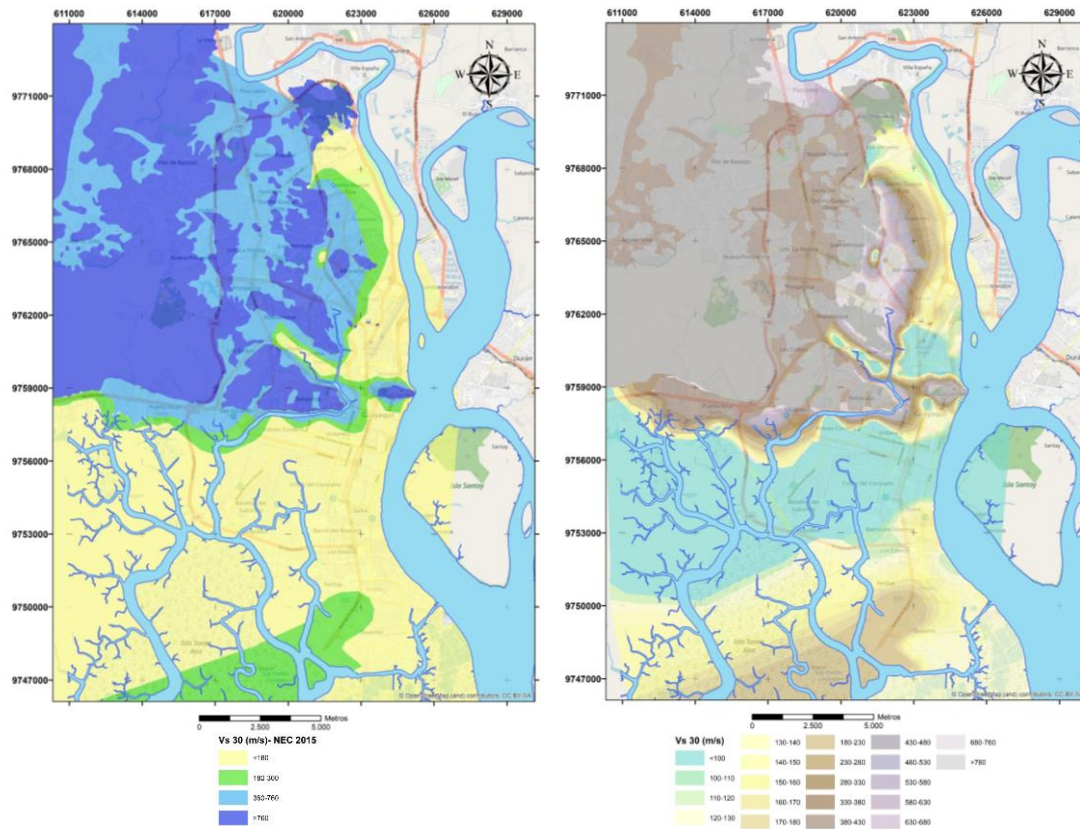


Figura 16. Mapa de la variación de la velocidad de onda de corte equivalente,  $V_{s30}$  según los rangos propuestos por: a) la NEC-15, y b) Geostudios (2019), usando rangos discretizados de  $V_{s30}$  en m/s.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

Determinar los espectros de respuesta dinámica en superficie de 53 sitios en la ciudad de Guayaquil por medio de análisis de respuesta de sitio, para evitar imprecisiones en la estimación de los requerimientos de diseño sismo resistente.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar una base de datos única que contenga información procedente de estudios de perforación preexistentes y que permita caracterizar las tipologías de suelos mediante parámetros geotécnicos.
- Modelar las columnas de suelo para cada uno de los sitios de estudio.

- Realizar la selección y escalamiento de los registros sísmicos de entrada que sean compatibles con las características geológicas y tectónicas del litoral ecuatoriano usando el software RSPMatch09
- Ejecutar el análisis de respuesta de sitio de 53 sitios de la ciudad de Guayaquil, simulando la propagación de 34 registros sísmicos seleccionados sobre los modelos de columnas de suelo definidos.
- Interpretar los espectros de aceleración y desplazamientos resultantes de los análisis de respuesta de sitio.

#### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Partiendo de que:

- La NEC estipula una zonificación sísmica según la cual Guayaquil tiene un PGA en roca de 0,4 g. y factores de amplificación basados solamente en el tipo de suelo
- Existe un nuevo modelo para el peligro sísmico en el Ecuador propuesto por Beauval et al (2018), en donde se define un PGA en roca de 0,32 g. para Guayaquil
- Que en Guayaquil existen siete zonas bien diferenciadas entre sí por sus características geológicas y geotécnicas definidas en la Microzonificación de Guayaquil de 2014.

¿Cómo se puede determinar la demanda sísmica en superficie para distintos suelos de la ciudad de Guayaquil, considerando la actualización más reciente del espectro de peligro uniforme propuesta, para evitar la incertidumbre producida al determinar los requerimientos de diseño sismorresistente con la metodología actual?

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN**

Considerando el efecto dinámico de los eventos sísmicos sobre las estructuras, la sobrestimación de la demanda sísmica en superficie resulta en un incremento en el costo de las edificaciones; al contrario, la subestimación de la misma puede conllevar al daño estructural e inclusive, en el peor de los casos, al colapso de las estructuras.

Al recalcular la demanda sísmica en superficie para distintos puntos de Guayaquil, usando el nuevo modelo de peligro sísmico postulado por Beauval et al. (2018), se evitará la incertidumbre



producida al utilizar los factores de amplificación del suelo estipulados en la NEC, que dependen netamente del tipo de suelo, la cual es una característica que sólo define parcialmente el comportamiento dinámico de los suelos. Cabe destacar, que los nuevos resultados de respuesta dinámica en superficie servirán como información de referencia para las personas naturales y/o compañías que deseen ejecutar un proyecto de construcción en algún punto cercano a los 53 sitios presentados en este estudio, y podría evitar la necesidad de realizar estudios de suelo independientes.

Finalmente, es importante mencionar que, el presente estudio es un aporte al proyecto “Norma Sísmica de Guayaquil 2019 (NSG19)”, y planteará una metodología de trabajo que será un ejemplo para el modelado de columnas de suelo, selección y escalamiento de registros sísmicos de entrada y el procedimiento del análisis de respuesta de sitio para encontrar la demanda sísmica en superficie. Además, este modelo puede ser aplicable a otras ciudades en las cuales se desee realizar microzonificación sísmica, o para cualquier caso en donde se desee obtener la demanda sísmica en superficie.

## **1.6. ALCANCE**

Tomando como limitante la información proveniente de perforaciones realizadas en toda la extensión de la ciudad de Guayaquil, se han definido un total de 53 sitios referenciales para la ejecución de Análisis de Respuesta de Sitio (ARS). En resumen, la información de perforaciones empleada en esta investigación proviene de la recopilación de tres bases de datos diferentes:

- La base de datos histórica, perforaciones recopiladas que datan desde 1974 hasta el 2005, y que corresponde a un total de 22 sitios.
- La campaña de exploración llevada a cabo en 2005-2006, que consta de 14 sitios.
- Finalmente, la campaña de exploración llevada a cabo por Geoestudios S.A. desde el 2014, que agrega información 17 sitios adicionales.

Se consideró como base para la definición de la ubicación de los 53 sitios de análisis, el documento de la Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Guayaquil (Vera-Grunauer et al., 2014), tomando como referencias las distintas zonas geotécnicas que fueron definidas en dicho documento. La Tabla 3detalla los 53 sitios con sus respectivas coordenadas geográficas (UTM), así comotambién, la campaña de exploración a la que pertenece cada sitio.

Para el análisis de todos los sitios se tomaron en cuenta 4 niveles de amenaza sísmica correspondientes a los periodos de retorno de 43 (50 % probabilidad de excedencia en 30 años), 475 (10% probabilidad de excedencia en 50 años), 1000 (10% probabilidad de excedencia en 100 años) y 2500 años (2% probabilidad de excedencia en 50 años). Para todos los periodos de retorno se consideraron sismos de fuente lejana (FF) y fuente cercana (NF), excepto para el periodo de retorno de 43 años para el cual se considero solamente sismos de FF, ya que los NF no representaban mayor influencia. Para todos los casos se realizaron dos tipos de análisis, el de equivalente lineal (EQL) y el no lineal (NL). La tabla 4 presenta un resumen del alcance de esta investigación en cuando a análisis simológicos empleados.

Tabla 3. Sitios referenciales utilizados para los ARS de este estudio.

Zona Geotécnica	Sitio	Coordenadas (UTM 17S – WGS84)		Fecha de Campaña de Exploración
		UTM Este	UTM Sur	
D1	SITE D1-1	623531	9757813	Previo a 2005
	SITE D1-2	624451	9757902	Previo a 2005
	SITE D1-3	624071	9757345	Previo a 2005
	SITE D1-4	624052	9747366	Previo a 2005
	SITE D1-5	624191	9747371	Previo a 2005
	SITE 214ECU	622446	9752546	2005 – 2006
	SITE 213ECU	623422	9751961	2005 – 2006
	SwissotelDowntown	624656	9757957	2014
	Planta de Tratamiento Esclusas	626270	9748713	2014
	Línea Imp. Sur 1	624746	9751155	2014
	Línea Imp. Sur 2	625331	9749909	2014
Estación Bomb. Pradera	623970	9752282	2014	
D2	SITE D2-1	622072	9747600	Previo 2005
	SITE D2-2	622353	9747635	Previo 2005
	SITE 212ECU	622525	9749122	2005 - 2006
	Zofragua	622855	9748310	2014
D3	SITE D3a-1	620525	9760314	Previo 2005
	SITE D3a-2	622326	9760067	Previo 2005
	SITE D3a-3	622436	9759775	Previo 2005
	SITE D3a-4	622420	9759807	Previo 2005
	SITE D3b-1	619589	9750966	Previo 2005
	SITE D3b-2	615039	9757235	Previo 2005
	SITE D3b-3	615031	9757315	Previo 2005
SITE 209ECU	622344	9759538	2005 – 2006	

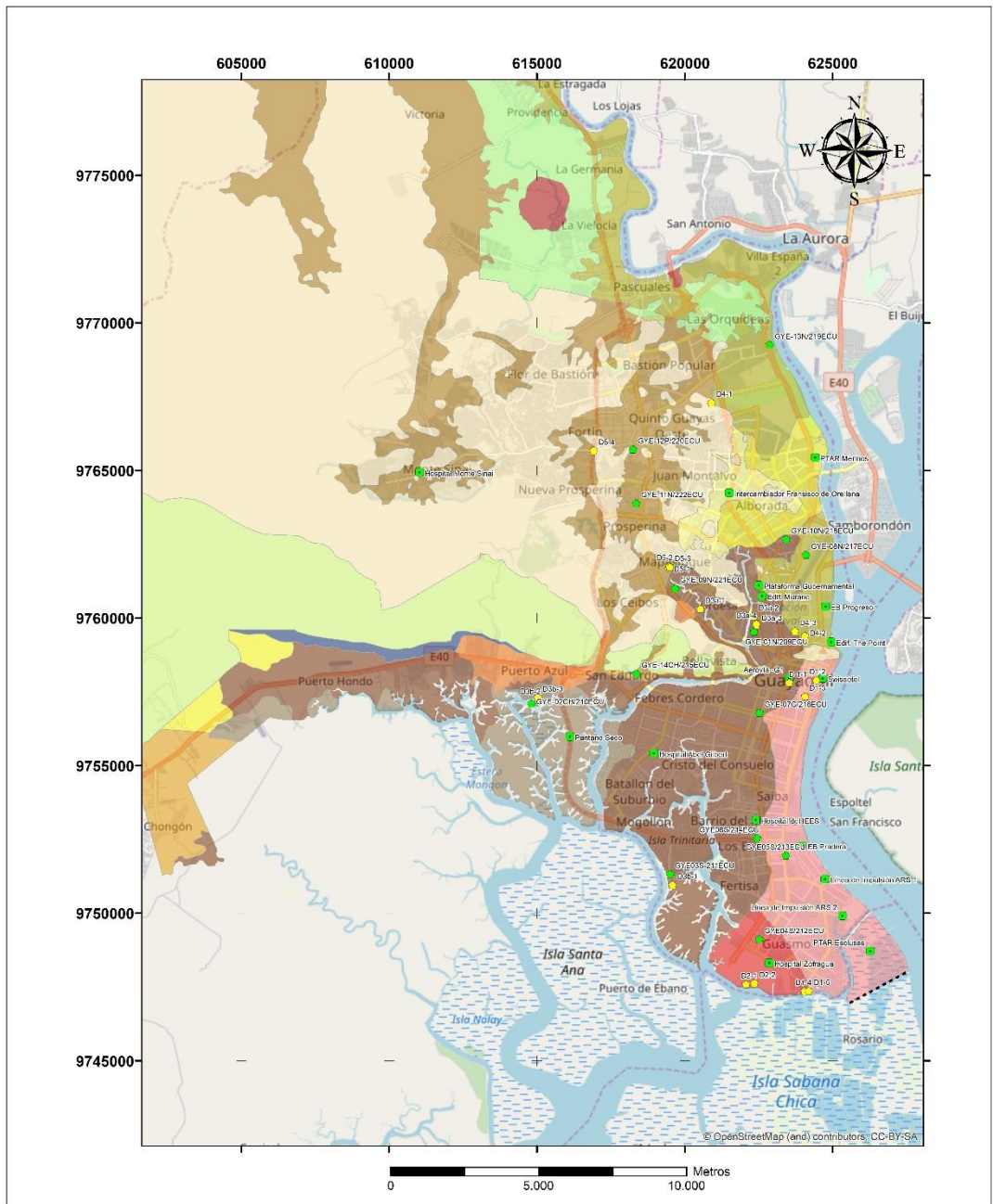
Zona Geotécnica	Sitio	Coordenadas (UTM 17S – WGS84)		Fecha de Campaña de Exploración
		UTM Este	UTM Sur	
D3	SITE 218ECU	623428	9752677	2005 – 2006
	SITE 221ECU	619673	9761009	2005 – 2006
	SITE 210ECU	614812	9757106	2005 – 2006
	SITE 216ECU	622524	9756795	2005 – 2006
	SITE 211ECU	619499	9751333	2005 – 2006
	Edif. Murano	622615	9760745	2018
	Edif. Gub. Fco. Orellana	622501	9761104	2014
	Hospital Abel Gilbert	618955	9755413	2014
	Pantano Seco - Interagua	616114	9755980	2014
	Estación CICG	622559	9762432	2017
	Hospital IESS Sur	622469	9753277	2014
Aerovía sitio G1	623531	9757958	2014	
D4	SITE D4-1	620902	9767305	Previo 2005
	SITE D4-2	624059	9759400	Previo 2005
	SITE D4-3	623728	9759556	Previo 2005
	SITE 219ECU	622872	9769264	2005 – 2006
	SITE 217ECU	624101	9762145	2005 – 2006
	Paso Elevado Fco. Orellana	621498	9764235	2018
	Estación Bomb. Progreso	624760	9760389	2017
	Edif. The Point	624944	9759184	2014
Estación Tratamiento Merinos	624410	9765440	2017	
D5	SITE D5-1	619461	9761712	Previo 2005
	SITE D5-2	619475	9761761	Previo 2005
	SITE D5-3	619497	9761734	Previo 2005
	SITE D5-4	616919	9765682	Previo 2005
	SITE 220ECU	618246	9765721	2005 – 2006
	SITE 222ECU	618361	9763895	2005 – 2006
	Monte Sináí	611029	9764933	2014
D6	SITE 215ECU	618367	9758127	2005 – 2006

Tabla 4. Alcance Sismológico de las Investigación.

Tr (años)	Sismos considerados		Tipo de analisis	
	NF	FF	EQL	NL
43				
475				
1000				
2500				

### 1.7. ÁREA DE ESTUDIO

La región geográfica dentro de la cual se realizaron los análisis (53 sitios) se encuentra dentro del cantón Guayaquil, de la Provincia del Guayas en el país de Ecuador, enmarcada principalmente por el área urbana de la ciudad de Guayaquil. La zona de interés se encuentra delimitada por el norte y el sur en las latitudes 9770442m y 9746518m, y por este y oeste las coordenadas 627338m y 609755m de longitud, las coordenadas mencionadas están referidas a la zona UTM 17S en el sistema WGS84. Agregando a lo anterior, cabe destacar que el área de estudio comprende un área total de 178.84 Km<sup>2</sup>. En la Figura 17, se puede observar la implantación de los sitios de análisis y el periodo de años del que proviene la información geotécnica (perforaciones, geofísica, etc.)



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	Fm. Guayaquil
D3B	Te < 1.6   Depósitos Deltaico - Estuarino	G. Azúcar
D4A	H < 10 m	Fm. Cayo
D4 B	10 m < H < 20 m	Rocas Graníticas Indiferenciadas
D4C	H > 20 m	Fm. Piñón
D5	Depósitos Aluvio - Lacustres	
D6	Depósitos Coluviales	

NORMA SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL 2019 (NSG-19)	
NORMA SÍSMICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL	CONTIENE MAPA GEOTÉCNICO
Marzo-2019	
ESCALA	FECHA
1: 120 000	Editado
Vera-Grunauer X.	Marzo 2019

Figura 17. Ubicación de sitios de análisis realizados para esta investigación

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

##### 2.1.1. Métodos de Laboratorio

Se han realizado un conjunto de ensayos de laboratorio para determinar la clasificación de los geomateriales según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y conocer las propiedades mecánicas físicas de los mismos.

##### 2.1.1.1. Ensayos de granulometría y límites

El ensayo de granulometría, se realiza en todas las muestras alteradas obtenidas con la cuchara partida del ensayo SPT. El ensayo de granulometría está regido por la normativa del ASTM D422-63, y permite cuantificar la curva granulométrica de suelo. Las muestras son analizadas mediante un proceso de tamizado, el cual consiste en pasar una muestra de suelo seca por una serie de tamices de mallas de diferentes diámetros que van desde la malla 3" (75 mm.) hasta la malla N°200 (0.075 mm.) y llega a un tamiz fondo donde quedan las partículas que pasan el tamiz N°200, ver Figura 18. Todas las partículas retenidas en los diferentes tamices son pesadas, información con la cual se elabora la curva de distribución granulométrica. La Tabla 5, mostrada a continuación, presenta la clasificación de partículas en base al tamaño. Para partículas menores a 0.075 mm se determina por el ensayo de Hidrómetro.

Tabla 5. Tamaño de las Partículas según tamiz.

Tipo de suelo	Tamiz pasante	Tamiz retiene
Grava	3" (75 mm.)	N°4 (4.75 mm.)
Arena Gruesa	N°4 (4.75 mm.)	N°10 (2.00 mm.)
Arena Media	N°10 (2.00 mm.)	N°40 (0.425 mm.)
Arena Fina	N°40 (0.425 mm.)	N°200 (0.075 mm.)
Finos (arcillas o limos)	N°200 (0.075 mm.)	-



Figura 18. Juego de tamices para realizar los ensayos de granulometría.

Los procedimientos necesarios para el ensayo de límites de Atterberg están establecidos en la normativa ASTM D4318-05. Los utensilios necesarios para obtener los límites se encuentran en la Figura 19, Copa de Casagrande (a), Espátula (b), Capsula de porcelana (c), Ranurador (d), Recipiente para muestras (e), Vidrio esmerilado (f). El límite líquido consiste en una mezcla homogénea de suelo y agua que se coloca en la copa metálica, se realiza un surco por el centro y se empieza hacer golpear la copa contra la base del aparato mediante un sistema mecánico hasta que este surco se cierre. Se define al límite líquido cuando el cierre ocurre a los 25 golpes. Generalmente se realiza varios puntos de cierre a diferentes números de golpes para mediante una gráfica determinar el límite líquido.

El límite plástico consiste en someter una pequeña muestra de suelo plástico a un amasado para modelar un cilindro de aproximadamente 3 mm de diámetro, reduciendo su contenido de agua hasta el límite plástico, lo cual ocurre cuando el cilindro se desmigaja.

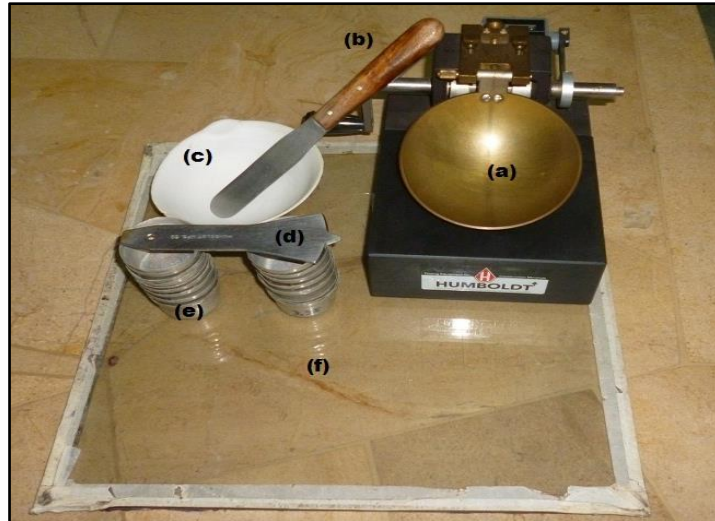


Figura 19. Kit para ensayo de límite líquido y plástico.

A partir de los ensayos de los ensayos de Límites de Atterberg es posible determinar Índice de Plasticidad (IP), Índice de Liquidez (IL) y Actividad Relativa (Ra).

#### 2.1.1.2. Ensayos triaxiales

Das (2001), menciona que, la prueba triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de resistencia cortante. El autor agrega que, entre las bondades de este tipo de ensayo se pueden mencionar:

- a) Proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación unitaria del suelo (lo cual no se puede obtener mediante pruebas de corte directo).
- b) Proporciona condiciones más uniformes de esfuerzo que la prueba de corte directo, respecto a las concentraciones de esfuerzos en el plano de falla.
- c) Es más flexible en cuanto a la trayectoria de la carga.

Continuando con la descripción del método, Das (2001), describe que, el método se usa generalmente para muestras de suelo con medidas de 36 mm de diámetro y 76 de longitud; la muestra es encapsulada en una membrana de hule y se coloca en una cámara cilíndrica de plástico que se llena con glicerina o agua. Posteriormente, se aplica una presión de confinamiento en la cámara empleando a veces el aire como fluido de compresión. Finalmente, para inducir la falla cortante en el espécimen, se aplica un esfuerzo axial a través de un émbolo vertical de carga, que también puede conocerse como esfuerzo desviador (ver Figura 20 y Figura 21).





Figura 20. Cámara para ensayos triaxiales. Tomado y modificado de <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-3-ensayo-triaxial>.

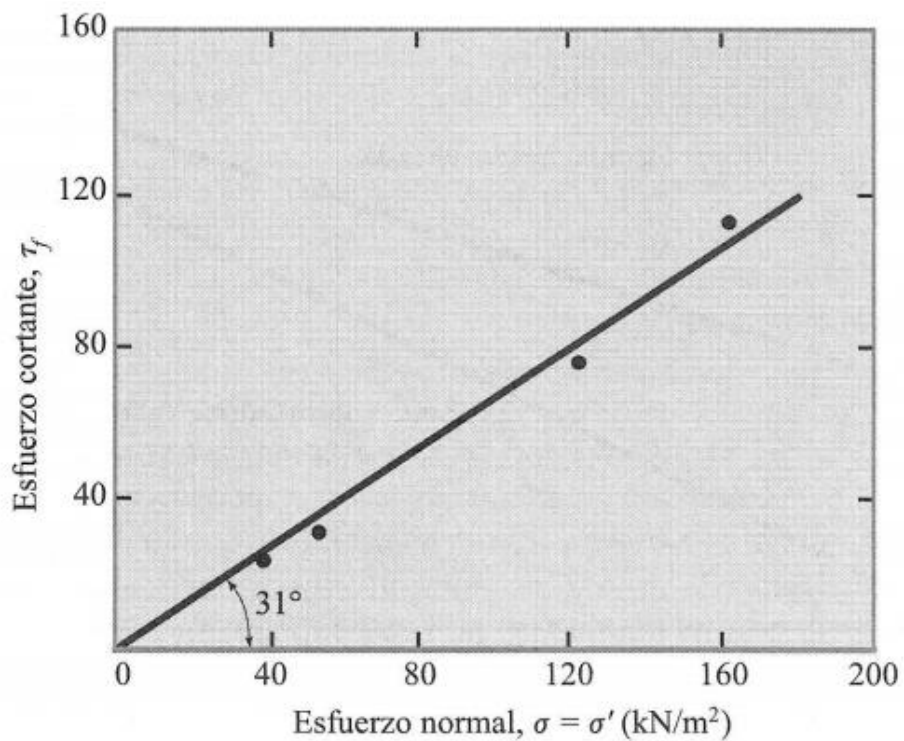


Figura 21. Relación de los esfuerzos normales y cortantes como resultado de un ensayo triaxial. Tomado y modificado de Das (2001).

Respecto a los ensayos triaxiales, Juárez y Rico (2005), describen que, las pruebas triaxiales pueden clasificarse en dos grandes grupos: las pruebas de compresión y de extensión; y, Das (2001), indica que, que los ensayos triaxiales pueden ejecutarse mediante las siguientes pruebas:

- a) Prueba consolidada – drenada o prueba drenada (CD).
- b) Prueba consolidada – no drenada (CU).
- c) Prueba no consolidada no drenada (UU).

Así mismo, algunos autores como, Ceballos et al (2011) y Kokusho (1980), describe el proceso de las pruebas triaxiales cíclicas, mediante el cual se aplican las cargas de confinamiento y axiales sobre la muestra de suelo de forma cíclica, tratando de simular una frecuencia y magnitud de cargas similares a la que está expuesto un suelo durante un evento sísmico u otro tipo de vibración. A pesar de las ventajas que ofrece este tipo de ensayos para estudiar el comportamiento del suelo se presentan algunos inconvenientes, ya que durante las pruebas debe aplicarse una presión de confinamiento que varíe con el esfuerzo desviador; sin embargo, es complicado realizar esta simulación en laboratorio, ya que la presión de confinamiento se mantiene constante y el esfuerzo desviador es el que se aplica de forma repetida (Garnica et al, 2002). El proceso detallado de cómo se debe realizar el ensayo está regido por la normativa de ASTM D5311.

### **2.1.2. Métodos directos de campo.**

Las técnicas de exploración directa nos permiten la observación, acceso y/u obtención de muestras de los diferentes estratos del subsuelo, a su vez permiten la realización de otros ensayos *in situ*.

#### **2.1.2.1. Ensayo de Cono Estático CPTu.**

Las pruebas de CPTu se deben llevar a cabo siguiendo la norma ASTM D5778. El cono avanza a una velocidad de 2.0 cm/s registrando de manera digital y continuamente cada 10 mm 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, es posible estimar el nivel freático al detener el avance de la punta del cono en un estrato arenoso permitiendo que el cono realice la función de un 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. En la Figura 222, se muestra la ejecución en campo de un ensayo CPTu.



Figura 22. Ejecución en campo de un ensayo CPTu por empresa Geoestudios S.A.

Es fundamental evaluar el efecto de la anisotropía en el suelo arcilloso y esta información permitirá conocer la variación y magnitud del coeficiente de consolidación horizontal de campo. Esta variable será utilizada en los modelos de calibración geotécnicos, se establecerán los parámetros de diseño para los análisis y estimaciones del tiempo remanente de los asentamientos y la magnitud de estos.

La Resistencia de cono  $q_c$  se calcula dividiendo la fuerza que actúa sobre el cono  $Q_c$ , por el área proyectada del cono  $A_c$ .

$$q_c = \frac{Q_c}{A_c}$$

Esta resistencia del cono debe ser corregida por los efectos de la presión de poros ( $u_2$ ) mediante la siguiente ecuación obteniendo la resistencia del cono corregida  $q_t$ .

$$q_t = q_c + u_2(1 - a)$$

En donde,

a: es la relación de área neta determinada mediante la calibración en laboratorio con un valor típico entre 0.70 y 0.85

$u_2$ : es la presión de agua en la base del mango.

El coeficiente de fricción ( $R_f$ ) es la fricción de la funda cilíndrica ( $f_s$ ) expresada como un porcentaje de la resistencia de cono ( $q_c$ ), ambos medidos a la misma profundidad.

$$R_f = \left( \frac{f_s}{q_c} \right) * 100\%$$

Cabe destacar, que muchos de parámetros geotécnicos obtenidos a partir del ensayo CPTu, están basados en correlaciones que han sido postuladas por diferentes autores. Para fines de esta investigación resulta de interés, las correlaciones mediante las cuales se puede obtener una estimación de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ). A continuación, en la Tabla 6, se presentan las expresiones que permiten obtener una estimación de  $V_s$  usando la información proveniente del ensayo CPT.

Tabla 6. Correlaciones para cálculo de la velocidad de onda de corte usando parámetros geotécnicos obtenidos mediante ensayos CPTu. Tomado y modificado de Wood et al (2017).

Autores	Expresiones empíricas
Andrus et al. (2007)*	$V_s = 2.27q_t^{0.412} I_c^{0.989} z^{0.033}$
Hegazy y Mayne (2006)*	$V_s = 0.0831q_{c1N} e^{(1.7861+I_c)(\sigma'_{vo}/P_a)^{0.25}}$
Robertson (2009)*	$V_s = \{10^{0.55I_c+1.68} [(q_t - \sigma_{vo})/P_a]\}^{0.5}$
Vera-Grunauer et al (2014)	$V_s = [\eta q_c e^\alpha]^{0.5}$ (Para arcillas de Guayaquil) $\alpha = \frac{3N_{kc} - 4}{4} - \frac{1}{2\beta} \eta = \frac{3g}{2N_{kc}\gamma_s(1 + \nu)}$

En donde,

$V_s$ : es la velocidad de onda cortante (m/s).

$q_t$ : es la resistencia en punta corregida por la presión de poros (MPa).

$I_c$ : Índice de tipo de comportamiento de suelo.

$z$ : es la profundidad de la medición en metros.

$P_a$ : es la presión atmosférica.

$Q_{c1N}$ : resistencia en punta normalizada.

$\sigma'_{vo}$ : es el esfuerzo vertical total.

$g$ : es la aceleración de gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

$q_c$ : es la resistencia a la punta del cono.

$N_{kc}$  y  $\beta$ : son valores calibrados que dependen de cada una de las zonas geotécnicas de la ciudad de Guayaquil.

$\gamma_s$ : es el peso volumétrico unitario del suelo ( $\text{kN/m}^3$ ).

$\nu$ : es la relación de Poisson.

### 2.1.2.2. Perforación a percusión (Ensayos SPT)

El ensayo de penetración estándar (SPT) es quizá el ensayo más utilizado en la caracterización geotécnica, debido a la información que proporciona de las capas del subsuelo, permite conocer la compacidad de los depósitos de suelos granulares y la consistencia de los suelos cohesivos rígidos, en las cuales la penetración del tubo Shelby se vuelve complicada. La normativa relacionada con el procedimiento de los ensayos SPT está regulado por la ASTM D1586-11.

La prueba consiste en dejar caer de forma repetida un martillo de 63.5 kg (140 lbs) de una altura de 76 cm (30"), las fuerzas aplicadas en el martillo son transferidas al muestreador tipo cuchara partida que se encuentra en el extremo inferior de una serie de barras metálicas que se han hincando en el suelo. En cada caída del martillo se transfiere una cantidad de energía potencial ( $E^*$ ) para el peso, teóricamente equivalente a 475J (350 lbf/pie).

Se debe realizar la hinca de la cuchara en un intervalo de 45 cm, contabilizando el número de golpes por cada 15 centímetros que se realiza la hinca, el número de golpes que se necesita dar con el martillo para penetrar los últimos 30cm es conocido como el NSPT. La Figura 23 muestra la ejecución del ensayo SPT en campo.

Se daba por finalizada la perforación con metodología a percusión (SPT) cuando se presentaba uno de los siguientes tres casos:

- a) Cuando se alcanza la profundidad proyectada para el sondeo
- b) En el caso de obtener 50 golpes en los primeros 15 cm de penetración de la cuchara, o
- c) Cuando se presentaban 100 golpes en los últimos 30 cm de penetración de la cuchara, entendiéndose esto como rechazo. El número de golpes fue registrado en cada tramo de los sondeos ejecutados.



Figura 23. Fotografía de la ejecución en campo de la perforación realizada en el Estadio de Beisbol de Kennedy durante el Proyecto de Microzonificación de Guayaquil en 2014 (Vera et al 2014).

El valor obtenido de  $N_{60}$  en un ensayo de penetración es inversamente proporcional a la energía transferida al muestreador (Schmertmann y Palacios, 1979). Como parte de la energía se pierde en diferentes componentes mecánicos en el conjunto de barras, la medida de la energía aplicada sobre las barras y el muestreador es muy importante. A fin de que la cantidad de golpes medidos en fuente sea utilizada en aplicaciones de la ingeniería geotécnica, éstos deben ser ajustados por los efectos de la energía del martillo, esfuerzo de sobrecarga y, en algunos casos, otros factores que influyen en los resultados (McGregor y Duncan, 1998).

La medida del número de golpes puede ser normalizada a  $N_{60}$  ó  $N_{1,60}$ ; donde  $N_{60}$  es la medida del número de golpes corregido al 60% de la energía teórica de la caída libre del martillo y  $N_{1,60}$  necesita una corrección adicional de 1 tsf. (100 kPa.) de esfuerzo de sobrecarga efectivo.

$$N_{60} = N_{campo} C_e (C_r C_b C_s) \text{ McGregor y Duncan (1998)}$$

$$N_{1,60} = N_{campo} C_e C_n (C_r C_b C_s)$$

En donde,

$N_{campo}$ : es la medida del número de golpes en la fuente.

$C_N$ : es el factor de corrección de sobrecarga.

$C_E$ : es el factor de corrección de energía.

$C_R$ : es el factor de corrección de la longitud de la barra.

$C_B$ : es el factor de corrección del diámetro de la perforación.

$C_s$ : es el factor de corrección de línea.

Cabe destacar, que todos los resultados o parámetros geotécnicos obtenidos a partir del ensayo SPT, están basados en correlaciones postuladas por diferentes autores. Entre las correlaciones importantes que se puede calcular con el  $N_{60}$ , es una estimación de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) a partir de correlaciones empíricas. A continuación, en la Tabla 7, se presentan las expresiones que permiten obtener una estimación de  $V_s$  usando el  $N_{60}$ .

Tabla 7. Correlaciones empíricas que relacionan la velocidad de onda de corte con el  $N_{60}$  según varios autores. Tomado y modificado de Wood et al (2017).

Autores	Expresiones empíricas
Imai y Yoshimura (1975)	$V_s = 76N^{0.33}$
Ohta y Goto (1978)	$V_s = 85.34N^{0.348}$
Ohba y Toriuma (1970)	$V_s = 84N^{0.31}$
Vera-Grunauer et al (2014)	$V_s = 96N^{0.28}$ (Para arenas de Guayaquil) $V_s = 150N^{0.1}$ (Para arcillas de Guayaquil)

En donde,

$V_s$ : es la velocidad de onda cortante

$N$ : es el número de golpes de corregido por el 60% de energía.

### 2.1.3. Métodos indirectos de campo.

#### 2.1.3.1. Estimación de velocidad de onda de corte usando métodos geofísicos de ondas superficiales.

La investigación del subsuelo con relación a la medición de la velocidad de onda de corte, es de vital importancia a nivel geotécnico, ya que por medio del conocimiento de la velocidad de propagación de dicha 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 el mejor diseño para las construcciones civiles.

Debido a la compleja naturaleza de propagación de la onda de cizalla, por lo general realizar mediciones directas en las muestras de suelo para obtener el valor de velocidad de onda de corte no es un procedimiento sencillo; sin embargo, se han desarrollado metodologías de prospección geofísica mediante las cuales se puede obtener un valor estimado de dicha velocidad, a través de la curva de dispersión de ondas superficiales.

Las técnicas de adquisición sísmica que se emplean actualmente para la prospección de Vs son muy variadas, pudiéndose hacer mención principalmente de adquisición de onda convertida y estudios de ondas superficiales, siendo este último el de mayor uso a nivel mundial ya que los arreglos de receptores y el procesamiento e interpretación son relativamente más sencillos. Aunque en muchos de los métodos sísmicos a las ondas superficiales y más específicamente la onda Rayleigh (Ground Roll) se le considera ruido, puede realizar grandes aportes en cuanto a la estimación de Vs.

La profundidad de prospección de Vs, 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 dicha aclaración, dentro de los métodos sísmicos se usan métodos de fuente pasiva como el Análisis de Microtrepidaciones de Arreglo Multicanal (MAM) o la Refracción de Microtremores (ReMi) que registran sismicidad natural, y los de fuente activa o artificial tales como Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW) y el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) siendo este último de mayor uso. (Figura 24)

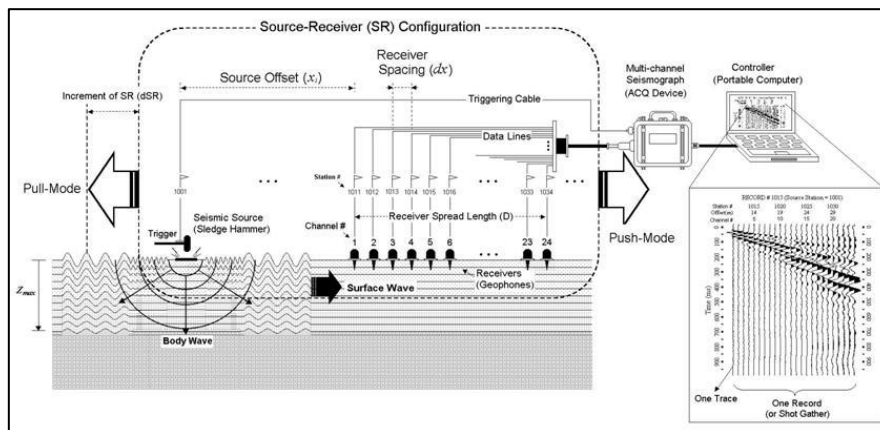


Figura 24. Esquema de trabajo para un ensayo activo de ondas superficiales para estimación de Vs. Tomado y modificado de <http://masw.com/DataAcquisition.html>.

Aunque mediante estos métodos no se capturan directamente ondas de corte, de forma teórica y experimental se ha podido comprobar que la propagación de las ondas superficiales está regida principalmente por la velocidad de onda de corte del subsuelo. Los resultados obtenidos de los datos de campo sirven para determinar el espesor de los estratos (siendo posible alcanzar el estrato rocoso si este se encuentra somero o si se utiliza un arreglo sísmico lo suficientemente grande), la interpretación final consiste en un perfil unidimensional de Vs (b), obtenido a partir de



un proceso de inversión matemática de la curva de dispersión de ondas superficiales (a). (Figura 25)

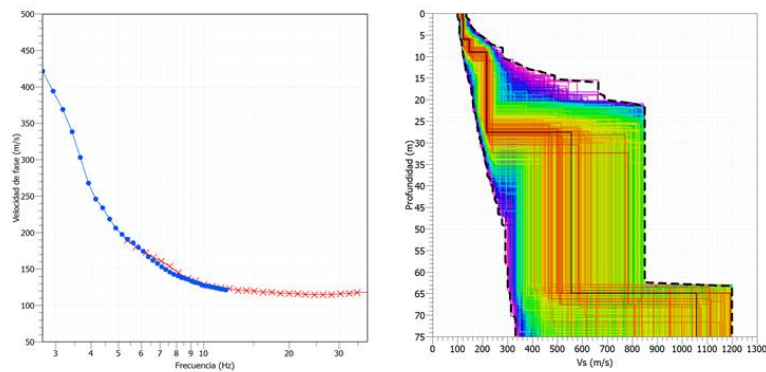


Figura 25. Ejemplos de: (a) una curva de dispersión global y, (b) perfiles de Vs estimados (en rojo y negro mejores soluciones).

### 2.1.3.2. Medición de periodo elástico usando el método de Nakamura.

Es una técnica que fue aplicada por primera vez en el año 1970 por Nogoshi e Igarashi y popularizada por Nakamura en el año 1989 luego de su publicación. La misma consiste en estimar el efecto de sitio en base al periodo elástico, usando la relación espectral de la componente horizontal y vertical de microtremores registrados en superficie con un sensor de tres componentes.

Según Nakamura (1989), el método que actualmente lleva su nombre se basa en que los microtremores poseen dos componentes (horizontal y vertical) tanto en superficie como en la base de la capa sedimentaria. (Figura 26)

Asimismo, la frecuencia de vibración del suelo sufre fluctuaciones que varían de acuerdo al origen de las vibraciones que se generen alrededor del punto de medición. En otras palabras, las vibraciones provenientes de fuentes artificiales pueden ser consideradas como ruido desde el punto de vista de estimar las características dinámicas de las capas superficiales a partir de microtremores, ya que en su mayoría poseen movimiento en dirección vertical y tienden a inducir ondas Rayleigh (Nakamura, 1989).

La expresión que rige al método de Nakamura viene dada por la función de transferencia que se describe a continuación:

$$S_{tt} = \frac{SH_s}{SV_s}$$

En donde,

$S_{TT}$ : Función de transferencia del método de Nakamura.

$S_{HS}$ : Componente horizontal del tremor en la superficie.

$S_{VS}$ : Componente vertical del tremor en la superficie.

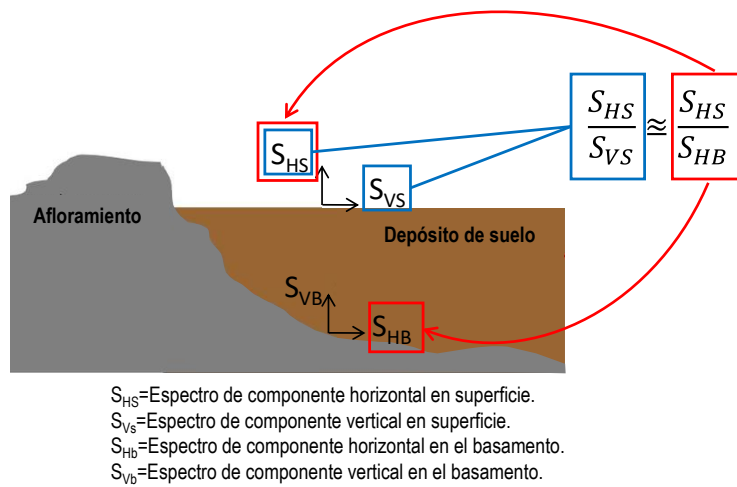


Figura 26. Explicación gráfica de las componentes horizontales y verticales de la función de transferencia  $S_{TT}$ , usada en el método de Nakamura.

A partir de la función de transferencia H/V (componente horizontal dividido entre la componente vertical), se obtendrá un gráfico espectral de H/V vs. Frecuencia, en donde uno o varios picos del espectro están asociados a la frecuencia predominante del suelo y/o a frecuencias de vibración asociadas a contrastes de impedancia que se encuentran dentro de los sedimentos (ver Figura 26), cuando la frecuencia predominante obtenida por el método de Nakamura coincide con la de toda la cubierta sedimentaria puede considerarse como la frecuencia fundamental.

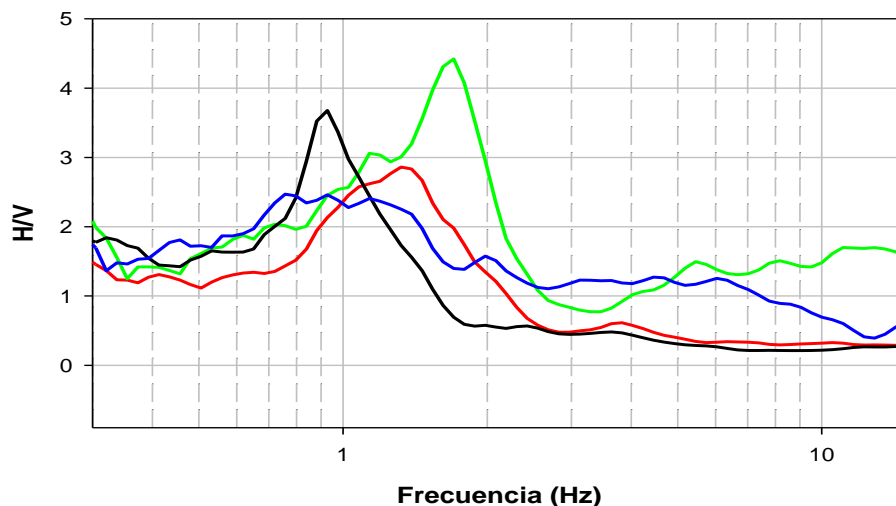


Figura 27. Curvas típicas de relación espectral H/V, usando método de Nakamura.



Figura 28. Ensayo de Método de Nakamura, realizado en la ciudad de Guayaquil por la empresa Geoestudios S.A.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS

Se considera “suelo” a todo material dispuesto sobre la superficie de la Tierra, de aspecto terroso, y que se acumula principalmente en depresiones de la superficie de la corteza terrestre (cuencas sedimentarias). Aunque dentro de algunas áreas de la ingeniería el *suelo* es definido como todos aquellos materiales provenientes de la meteorización de las rocas por efecto de agentes naturales (el sol, lluvia, viento, etc), también *suelo* es todo aquel material que ha sido transportado y depositado; conllevando a la formación aglomerados de partículas que tienen una organización definida y que varían vectorialmente, preferiblemente en sentido vertical más que horizontal. Un factor que influye de manera notable y que condiciona la definición de suelo, es el contenido de agua en los intersticios del material, ya que la humedad juega un rol importante en el comportamiento geomecánico de los suelos.

A continuación, se señalan los parámetros geotécnicos que permiten describir el tipo de material e implícitamente su comportamiento mecánico.

### 2.2.1. Distribución del tamaño de grano

La distribución del tamaño de grano, juega un rol importante en cómo se comportan los suelos (Ameratunga et al, 2015). Principalmente, los suelos con granulometría de tipo arenas o gravas,

son a los que se les puede predecir su comportamiento en base al tamaño del grano, mientras que para el caso de las arcillas su comportamiento está regido por la mineralogía y por los límites de Atterberg (los cuales serán descritos en la siguiente sección). Para determinar la distribución granulométrica de un suelo, se hace pasar la muestra a través de un conjunto de tamices, diseñados para que los distintos granos del suelo se acumulen a diferentes niveles, cada nivel de un tamiz está asociado a un tamaño específico de grano. Finalmente, los suelos que llegan al fondo de los tamices (considerados como suelos finos), se les determina el tamaño de grano usando hidrómetro.

A partir de los resultados de tamaño de grano, se grafican los porcentajes de suelo pasante con respecto al tamaño de grano, con el fin de conformar una *curva de granulometría*. Dentro de la gráfica, hay algunos diámetros comunes para determinar la clasificación del suelo, algunos de esos diámetros son  $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{60}$ ,  $D_{85}$ . Estos diámetros, poniendo por ejemplo el  $D_{15}$ , representa que el 15% de los granos de la muestra de suelo son menores que el diámetro asociado a ese porcentaje; algunos diámetros específicos como el  $D_{10}$  y el  $D_{50}$  son conocidos como el *tamaño efectivo de grano* (debido a que se considera que este diámetro refleja indirectamente el tamaño de los poros del suelo que pueden encontrar saturados), y el *tamaño medio de grano*; los cuales representan que el 10% y 50% de material pasante respectivamente.

Según Ameratunga et al (2015), la extensión del tamaño de los granos puede expresarse mediante una magnitud que se conoce como *coeficiente de uniformidad* ( $C_u$ ), el cual viene dado por la siguiente fórmula:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

En donde,

$C_u$ : es el coeficiente de uniformidad.

$D_{60}$ : es el diámetro asociado al 60% de material pasante dentro de la curva granulométrica.

$D_{10}$ : es el diámetro asociado al 10% de material pasante dentro de la curva granulométrica.

Generalmente, el parámetro  $C_u$  arroja valores que son mayores a la unidad ( $C_u \cong 1$ ), sin embargo, un valor cercano a 1 indica que los granos del suelo son aproximadamente del mismo tamaño, es decir, hay un buen escogimiento.

### 2.2.2. Límites de Atterberg

Según Juárez y Rico (2005), la plasticidad de los suelos es la propiedad mediante la cual un suelo es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin sufrir rebote elástico, variación volumétrica y sin desmoronarse o agrietarse. Cabe destacar que, las propiedades relacionadas con la plasticidad están circunscritas principalmente a los suelos arcillosos.

Según el contenido de humedad, un suelo susceptible a la plasticidad puede estar en cualquiera de los estados de consistencia definidos por Atterberg (Juan E. y Rico A., 2005). Los estados de consistencia de los suelos son los siguientes:

- a) Estado líquido, el material presenta las propiedades y apariencia de una suspensión.
- b) Estado plástico, los materiales se comportan plásticamente.
- c) Estado semisólido, el suelo mantiene apariencia sólida pero aún sufre cambios en su volumen al aplicársele secado.
- d) Estado sólido, el material no sufre cambios de volumen con el secado.

Entre cada estado del suelo, se presentan límites de estado, los cuales se conocen como *límites de Atterberg* (ver Figura 29).

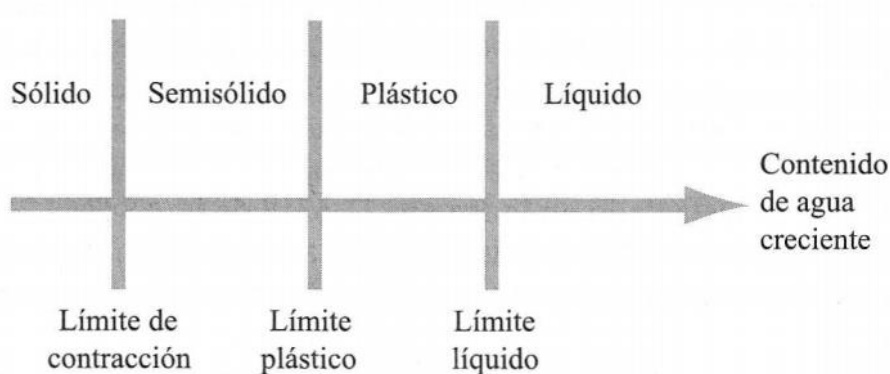


Figura 29. Representación de los estados de consistencia y límites de Atterberg, en función del contenido de agua. Tomado y modificado de Das (2001).

### 2.2.3. Índice de Plasticidad (IP).

Para la caracterización de los suelos, los límites de Atterberg más empleado son: el *límite plástico* (LP) y el *límite líquido* (LL). Das (2001), señala que, el límite plástico se define como el contenido de agua, en forma de porcentaje; y el *Índice de Plasticidad* (PI) del suelo, se denota como la diferencia de los límites líquido y plástico.

$$IP = LL - LP$$

En donde,

IP: es el índice de plasticidad (%).

LL: es el límite líquido (%).

LP: es el límite plástico (%).

Das (2001), menciona que, Casagrande en 1932 estudió la relación entre el índice de plasticidad respecto al límite líquido de varios tipos de suelos. En base a sus resultados y observaciones se propuso una carta de plasticidad la cual se puede observar en la Figura 30.

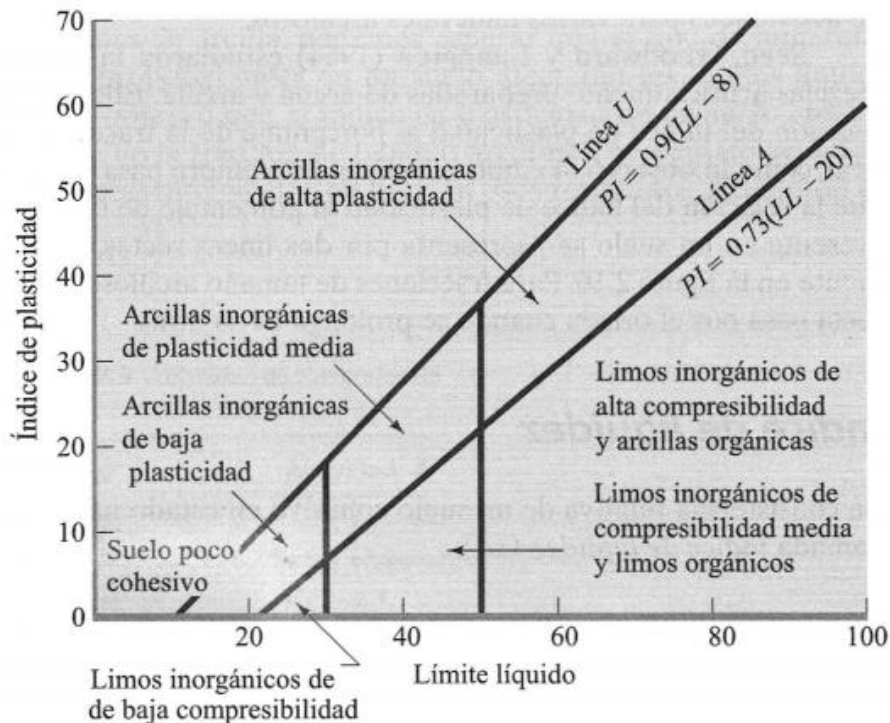


Figura 30. Carta de plasticidad de suelos. Tomado y modificado de Das (2001).

#### 2.2.4. Clasificación de suelos.

Juárez y Rico (2005), describen que, debido a la gran variabilidad con que los suelos se presentan en la naturaleza, fue necesario implementar sistemas de clasificación que cubriera las necesidades relacionadas con el comportamiento mecánico de los suelos y su aplicación al medio ingenieril, y que al mismo tiempo permitiera describir cualitativamente las muestras de suelo. Actualmente, existen dos sistemas de clasificación de suelos, los cuales son mencionados por Das (2001), los cuales son: el sistema AASHTO, el cual se usa principalmente para el diseño de pavimentos o

carreteras; y el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el cual es el que usualmente prefieren emplear los ingenieros geotécnicos.

La forma original del SUCS fue propuesto por el Dr. A Casagrande de la Universidad de Harvard en 1942, con el fin de tener un sistema unificado para la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial, este sistema fue revisado posteriormente en 1952 en conjunto con la Oficina de Restauración de Estados Unidos (Das, 2001). En la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 se presentan los símbolos de grupo empleados para suelos granulares (gravas y arenas) y suelos finos (arcillas y limos).

Tabla 8. Sistema Unificado de Clasificación de suelos; símbolos de grupo para suelos tipo grava. Tomado y modificado de Das (2001).

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla N°200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$ entre 1 y 3.
GP	Menos de 5% pasa la malla N°200; no cumple ambos criterios para GW.
GM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Figura 30) o el índice de plasticidad menor que 4.
GC	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Figura 30); índice de plasticidad mayor que 7.
GC-GM	Más de 12% pasa la malla de N°200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada de "suelo poco cohesivo" (Figura 30).
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM.
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC.
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM.
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC.

Tabla 9. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos; símbolos de grupo para suelos arenosos. Tomado y modificado de Das (2001).

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla N°200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor o igual que 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$ entre 1 y 3.
SP	Menos de 5% pasa la malla N°200; no cumple ambos criterios para SW.
SM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Figura 30) o el índice de plasticidad menor que 4.
SC	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Figura 30); índice de plasticidad mayor que 7.
SC-SM	Más de 12% pasa la malla de N°200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada de "suelo poco cohesivo" (Figura 30).
SW-SM	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM.
SW-SC	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC.
SP-SM	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM.
SP-SC	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC.

Tabla 10. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos; símbolos de grupo para suelos finos (limosos, arcillosos y orgánicos). Tomado y modificado de Das (2001).

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 7$ ; se grafica sobre o arriba de la línea A (zona CL en Figura 30).
ML	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 4$ ; se grafica debajo de la línea A (zona ML en Figura 30).
OL	Orgánico; $(LL \geq \text{seco en horno} / LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL < 50$ (véase zona OL en la Figura 30).
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CH en la Figura 30).
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la Figura 30).
OH	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / LL - \text{sin secar} < 0.75$ ; $LL \geq 50$ (véase la zona OH en la Figura 30).
CL - ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada de la Figura 30.
PT	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos.



### 2.2.5. Peso volumétrico y densidad relativa ( $\rho$ y $D_r$ )

El peso volumétrico es la relación entre el peso total y el volumen total de suelo (Rodríguez, 2015), el cual puede ser denotado mediante la siguiente expresión matemática:

$$\rho = \frac{W_t}{V_t}$$

En donde,

$\rho$ : el peso específico natural de los suelos ( $\text{kN/m}^3$ ).

$W_t$ : es el peso total del suelo ( $\text{kN}$ ).

$V_t$ : es el volumen total del suelo ( $\text{m}^3$ ).

Por otra parte, la densidad relativa del suelo, está relacionada directamente con la relación de vacíos, o bien con los intersticios del suelo (saturados o no saturados) con respecto al volumen total de sólidos del suelo.

La relación de vacíos está definida por la siguiente expresión:

$$e = \frac{V_p}{V_s}$$

En donde,

$e$ : es la relación de vacíos.

$V_p$ : es el volumen de poros del suelo.

$V_s$ : es el volumen de sólidos del suelo.

A partir de la relación de vacíos o poros, se puede definir la compacidad o densidad relativa, y sus valores se pueden expresar mediante porcentajes, los cuales varían desde un mínimo de 0 para un suelo muy suelto a un máximo de 100 para un suelo muy denso (Das, 2001). La compacidad relativa es un parámetro que se usa para indicar el grado de compacidad de los suelos granulares, (Tabla 11) y se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$D_r(\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} * 100$$

En donde,

$D_r$ : es la densidad relativa.

$e$ : relación de vacíos *in situ* del suelo.

$e_{max}$ : es la relación de vacíos del suelo en la condición más suelta.

$e_{min}$ : es la relación de vacíos del suelo en la condición más densa.

Tabla 11. Descripción cualitativa de depósitos de suelo granular a partir de la densidad relativa. Tomado y modificado de Das (2001).

Compacidad relativa	Descripción de depósitos de suelo
0 – 15	Muy suelto
15 – 50	Suelto
50 – 70	Medio
70 – 85	Denso
85 – 100	Muy denso

A continuación, en la Tabla 12, se presentan algunos valores típicos planteados por Das (2001), para los parámetros de la relación de vacíos, contenido de agua en condición saturada y del peso específico seco.

Tabla 12. Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco para algunos suelos en estado natural. Tomado y modificado de Das (2001).

Tipo de suelo	Relación de vacíos (e)	Contenido natural de agua en estado saturado (%)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
Arena suelta uniforme	0.8	30	14.5
Arena densa uniforme	0.45	16	18
Arena limosa suelta de grano angular	0.65	25	16
Arena limosa densa de grano angular	0.4	15	19
Arcilla firme	0.6	21	17
Arcilla suave	0.9 – 1.4	30 – 50	11.5 – 14.5
Loess	0.9	25	13.5
Arcilla orgánica suave	2.5 – 3.2	90 – 120	6 – 8
Tilita glacial	0.3	10	21

### 2.2.6. Relación de sobreconsolidación (OCR).

Los materiales del suelo, en condiciones naturales, por fenómenos geológicos van sufriendo soterramiento, y con el paso del tiempo geológico va incrementándose la profundidad en el subsuelo, del suelo que previamente se hallaba en la superficie. Como consecuencia del soterramiento, Das (2001), indica que, un suelo en el campo a una cierta profundidad ha estado sometido a una cierta presión efectiva máxima en el pasado de su historia geológica. Esta presión

máxima pasada puede ser igual o mayor que la presión de sobrecarga existente en el tiempo en que es tomada la muestra. En caso de presentarse una reducción de la presión vertical de confinamiento en el campo, se atribuye a que es causada por fenómenos geológicos (erosión) o por procesos humanos. Existen otros factores que pueden influir en la sobreconsolidación de los suelos, como son la cementación producto de minerales existentes en el suelo, y el proceso de envejecimiento de los suelos (creep). El término creep en suelos corresponde a deformaciones volumétricas producidas por el comportamiento visco-elástico de la estructura del suelo bajo esfuerzos constantes durante el tiempo. La microestructura de un suelo que ha experimentado envejecimiento por creep es diferente a la microestructura producida por un incremento en el esfuerzo vertical.

La historia del esfuerzo que se ha aplicado sobre un suelo arcilloso, permite obtener 2 definiciones básicas de las arcillas:

- a) Normalmente consolidada: en donde la presión de sobrecarga efectiva es la presión máxima a la que el suelo fue sometido en el pasado.
- b) Sobreconsolidada: la presión de sobrecarga efectiva presente es menor que la que el suelo experimentó en el pasado. La presión máxima en el pasado se denomina como *esfuerzo de preconsolidación*.

La relación de sobre consolidación (OCR) para un suelo podemos definirla como:

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'}$$

En donde,

$\sigma'_c$ : es la presión de preconsolidación máxima de una muestra de suelo.

$\sigma'$ : es la presión vertical efectiva actual.

### **2.2.7. Resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ).**

Ameratunga J. et al (2015), menciona que los suelos generalmente fallan en el corte, en donde los granos del suelo se deslizan unos sobre otros a largo de la superficie de falla, y no por aplastamiento de los granos. La resistencia al corte de los suelos, denotada como  $\tau$ , puede ser descrita mediante el criterio de Mohr-Coulomb, la cual relaciona el esfuerzo de corte sobre el plano de falla (resistencia al corte  $\tau$ ), con el esfuerzo normal ( $\sigma$ ) en el mismo plano de falla y con dos

parámetros de suelo: el ángulo de fricción ( $\Phi$ ) y la cohesión ( $c$ ). En la Figura 31, se puede observar la representación gráfica de la resistencia al corte según el criterio de Mohr-Coulomb.

El criterio de Mohr-Coulomb viene dado por la expresión matemática, en términos de esfuerzos efectivos, que se muestra a continuación:

$$\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$$

En donde,

$\tau_f$ : es la resistencia al corte.

$\sigma$ : es el esfuerzo efectivo en dirección normal al plano de falla.

$\Phi$ : es el ángulo de fricción en términos de esfuerzos efectivos.

$c$ : es la cohesión efectiva.

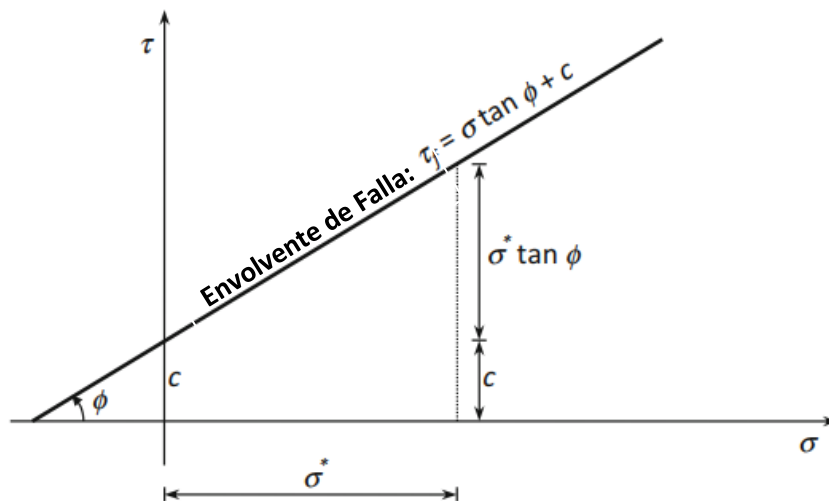


Figura 31. Envolvente de falla usando el criterio de Mohr-Coulomb para la resistencia al corte de suelos. Tomado y modificado de Ameratunga J. et al (2015).

Mediante ensayos de compresión simple, Vera-Grunauer et al (2014), plantea que, se puede estimar (para muestras inalteradas) la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) y de manera indirecta obtener la resistencia al corte sin drenaje ( $S_u$ ), siendo esta aproximadamente la mitad de la resistencia a la compresión, y que por lo tanto se mantienen condiciones no drenadas en la muestra. La expresión matemática que permite calcular la *resistencia al corte sin drenada* a partir de ensayos de compresión simple es la siguiente:

$$S_u = \frac{q_u}{2}$$

En donde,

$S_u$ : es la resistencia al corte sin drenaje.

$q_u$ : es la resistencia a la compresión no confinada.

Existen otros métodos mediante los cuales es posible calcular el  $S_u$ , entre los cuales se puede mencionar: prueba de veleta de laboratorio o de campo, ensayo de penetrómetro de bolsillo, el ensayo Torvane, y a partir del N de los ensayos SPT; de este último se han realizados múltiples investigaciones de donde se han establecido correlaciones directas entre el número de golpes (N60) y el  $q_u$  y por defecto el  $S_u$ .

Los primeros análisis relacionados con la relación que existe entre el  $q_u$  y el número de golpes obtenidos por ensayos SPT ( $N_{spt}$ ), fueron realizados en 1967 por Terzaghi y Peck, en donde estudiaron una gran variedad de suelos de grano fino y compararon los valores de  $q_u$  con respecto al  $N_{spt}$  (ver Tabla 13). Posteriormente, para el año de 1972, Sanglerat fue el primer investigador en proponer correlaciones de acuerdo al tipo de suelo entre el  $N_{spt}$  y el  $q_u$ . (Nassaji, F. y Kalantari, B., 2011).

Nassaji, F. y Kalantari, B. (2011), describen que, además de los estudios mencionados anteriormente, otros autores han determinado correlaciones matemáticas que relacionan el N60 con la resistencia al corte sin drenaje, las cuales pueden observar de manera detallada en la Tabla 14.

Tabla 13. Definición de la consistencia de suelos finos en función de la relación entre el  $N_{spt}$  y el  $q_u$ , a partir de los estudios de Terzaghi y Peck en 1967. Tomado y modificado de Nassaji, F. y Kalantari, B. (2011).

Consistencia	SPT-N	$q_u$ (kPa)
Muy suave	< 2	< 25
Suave	2 – 4	25 – 50
Mediana	4 – 8	50 – 100
Rígida	8 – 15	100 – 200
Muy rígida	15 – 30	200 – 400
Dura	> 30	> 400

Tabla 14. Correlaciones entre  $S_u$  y  $N$  (SPT) según varios autores. Tomado y modificado de Nassaji, F. y Kalantari, B. (2011).

Autor	Tipo de Material	$S_u$ (kPa)
Sanglerat (1972)	Arcilla	12.5N
	Arcilla limosa	10N
Terzaghi y Peck (1967)	Suelos de grano fino	6.25N
Hara et al (1974)	Suelos de grano fino	29N <sup>0.72</sup>
Sowers (1979)	Suelos altamente plásticos	12.5N
	Suelos medianamente plásticos	7.5N
	Suelos de baja plasticidad	3.75N
Nixon (1982)	Arcilla	12N
Sivrikaya y Togrol (2002)	Suelos altamente plásticos	4.85N <sub>field</sub> , 6.82N <sub>60</sub>
	Suelos de baja plasticidad	3.35N <sub>field</sub> , 4.93N <sub>60</sub>
	Suelos de grano fino	4.32 N <sub>field</sub> , 6.18N <sub>60</sub>
Stroud (1974)	PI < 20	(6-7)N
	20 < PI < 30	(4-5)N
	PI > 30	4.2N
Décourt (1990)	Arcilla	12.5N, 15N <sub>60</sub>
Ajayi y Balogun (1988)	Suelos de grano fino	1.39N+74.2
Hettiarachchi y Brown (2009)	Suelos de grano fino	4.1N <sub>60</sub>
Vera-Grunauer (2014)	Suelos de grano fino	8 N <sub>60</sub>

Con el propósito de identificar una tendencia en la resistencia al corte  $S_u$ , se utilizó para el presente estudio la correlación empírica propuesta por Vera-Grunauer et al. (2014) que corresponde a  $8 \cdot N_{60}$ .

### 2.2.7.1. Tendencia de $S_u$ para suelos finos de Guayaquil

A partir de ensayos de corte simple realizados para las arcillas de guayaquil por Vera-Grunauer et al (2014) con un OCR de 1.7 a 2.1 con el método de consolidación por re-compresión, se obtuvo una tendencia a la resistencia al corte dada por la siguiente expresión:

$$S_u = 0.38\sigma'_v$$

En donde,

$S_u$ : es la resistencia al corte no drenado de los suelos.

$\sigma'_v$ : es el confinamiento vertical efectivo.

Dicha formula se contrasto con la expresión de Robertson (2009) para estimar la tendencia del Su a partir de ensayos de CPTu, obteniéndose resultados similares.

$$Su = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

### 2.3. PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS SUELOS

La respuesta dinámica obtenida en superficie a causa de un evento sísmico, cuando está sometida a una carga dinámica se verá regida por las propiedades dinámicas del suelo (Kumar et al 2014). Por otro lado, Rodríguez (2015), señala que, las propiedades dinámicas más relevantes para un estudio de análisis de respuesta de sitio (ARS) son: la rigidez del suelo y el amortiguamiento; respecto a la primera, está se puede aproximar a partir del módulo de corte y se puede calcular usando propagación de ondas sísmicas, y el amortiguamiento refleja la capacidad del material para disipar o atenuar la energía sísmica. También se pueden señalar como algunas propiedades que influyen en menor grado a la densidad ( $\rho$ ) y el coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Respecto a las propiedades dinámicas de los suelos, Kumar et al (2014), señala que, uno de los aspectos comúnmente estudiados, es el comportamiento de los suelos sometidos a una carga cíclica bajo diferentes niveles de deformación; esto se debe principalmente, a que se ha comprobado en niveles de pequeñas deformaciones ( $< 0.001\%$ ), los suelos portan mayor rigidez y un bajo amortiguamiento, mientras que en caso contrario, cuando se presentan niveles elevados de deformación por cortante, se muestran efectos de no linealidad lo que ocasiona un alto amortiguamiento. Debido a esto, es común representar el módulo de corte normalizado con respecto al módulo de corte máximo ( $G_{max}$ ), conformando una gráfica que se conoce bajo el nombre de *curva de reducción del módulo de corte*. (Figura 32)

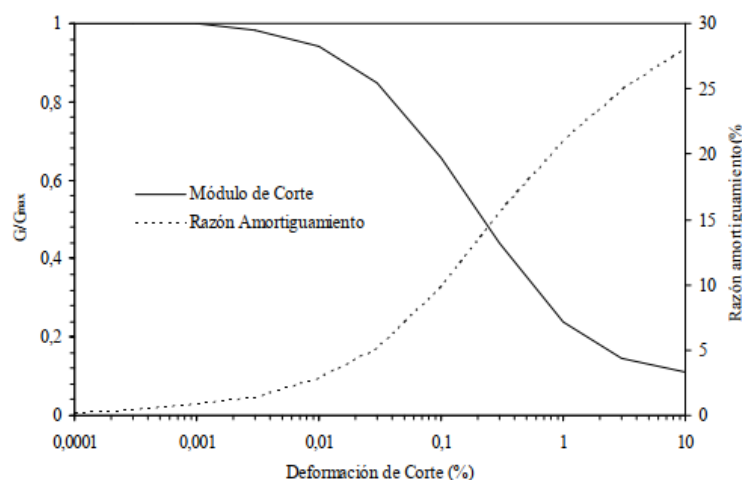


Figura 32. Curva de reducción del módulo de corte y variación de la razón de amortiguamiento con respecto al nivel de deformación por cortante. Tomado y modificado de Rodríguez (2015).

Para evaluar las propiedades dinámicas de los suelos existen diferentes métodos de campo y laboratorio que permiten estimar el comportamiento del suelo en función de niveles bajos o elevados de deformación por cortante, tal como se puede ver en la Tabla 15.

Tabla 15. Ensayos y mediciones de campo y laboratorio empleadas en la investigación del suelo para determinar las propiedades dinámicas. Tomado y modificado de Kumar et al (2014).

Pruebas de campo		Pruebas de laboratorio	
Bajas deformaciones (<0.001%)	Altas deformaciones (>0.01%)	Bajas deformaciones (<0.001%)	Altas deformaciones (>0.01%)
Reflexión sísmica	Ensayos SPT	Prueba de columna resonante	Ensayo cíclico triaxial
Refracción sísmica	Prueba de Penetración de cono (CPT)	Prueba de pulso ultrasónico	Ensayo cíclico de corte directo
Vibración de estado estacionario	Prueba de dilatómetro (DMT)	Prueba de elemento de doblador piezoeléctrico	Ensayo cíclico de corte por torsión
Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)	Prueba de presurímetro (PMT)		
Sísmica de pozos (Cross-hole, Down-hole y Up-hole).			
Pruebas de cono sísmico			

En presencia de un terremoto o vibración, la respuesta del suelo ante un proceso de carga y descarga puede ser estudiado mediante un ciclo de histéresis, del cual menciona Kumar et al (2014), dicho ciclo puede ser descrito en función de la ruta del ciclo mismo, o por dos parámetros basados en la forma del ciclo, los cuales aportan información respecto al módulo de corte secante ( $G_{sec}$ ) y del amortiguamiento del suelo, en cuyo caso vienen representados por la pendiente del ciclo y del ancho o amplitud del ciclo respectivamente (ver Figura 33). Principalmente, el comportamiento histerético del suelo es un fenómeno, cuyo análisis es importante cuando se presentan deformaciones por cortante importantes, que se revelan comúnmente cuando ocurren eventos de magnitudes importantes ( $M_w \approx 6$ ), lo cual conlleva a un comportamiento no lineal del suelo, en donde dicho comportamiento no lineal se ve manifestado por la degradación del módulo de corte y variaciones en el amortiguamiento (ver Figura 32).



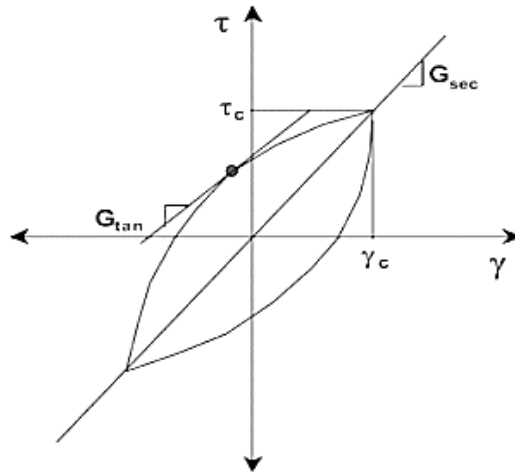


Figura 33. Ciclo de histéresis mostrando el módulo de corte secante y tangente. Tomado y modificado de Kumar et al (2014).

El módulo de corte ( $G$ ), según describe Rodríguez (2015), está relacionado con el módulo de elasticidad o Young y con el coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

En donde,

$G$ : es el módulo de corte.

$E$ : es el módulo de Young o elasticidad.

$\nu$ : es el coeficiente de Poisson.

Otra expresión que permite obtener el módulo de corte, está relacionada con la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) y la densidad, cuando se manejan niveles bajos de deformación:

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

En donde,

$G_{max}$ : es el módulo de corte máximo.

$\rho$ : es la densidad del material.

$V_s$ : es la velocidad de onda de corte.

Es común obtener estimaciones del  $G_{max}$  usando mediciones in situ, a partir de ensayos geofísicos tales como refracción de onda S, o ensayos de ondas superficiales como el MASW, ReMi y MAM, de los cuales ya se habló en las secciones previas.

Por otro lado, con respecto a la razón de amortiguamiento, el autor Rodríguez (2015), plantea que esta puede ser calculada por medio de la expresión matemática que se muestra a continuación:

$$\xi = \frac{W_D}{4\pi W_s} = \frac{1}{2\pi} \frac{A_{ciclo}}{G_{sec} \gamma_c^2}$$

En donde,

$\xi$ : es la razón de amortiguamiento interna del suelo.

$W_D$ : es la energía disipada.

$W_s$ : es la energía de deformación máxima.

$A_{ciclo}$ : es el área del ciclo de histéresis.

$G_{sec}$ : es el módulo de corte secante.

$\gamma_c$ : es la deformación angular.

### **2.3.1. Factores que afectan las propiedades dinámicas de los suelos**

Existen factores críticos que influyen sobre la magnitud de las propiedades dinámicas de los suelos, algunos de estos están relacionados con el procedimiento de manipulación y obtención de la muestra, y otros están intrínsecamente relacionados con la naturaleza de los materiales.

Para fines de esta investigación se mencionarán algunos de los factores, los cuales han sido descritos por Kumar et al (2014):

#### **2.3.1.1. Presión de confinamiento ( $\sigma'_c$ ).**

Propiedades dinámicas del suelo tales como el módulo de rigidez y el amortiguamiento, junto con algunos efectos inducidos como la licuefacción, son afectadas de manera significativa por la presión de confinamiento. A medida que la presión de confinamiento se incrementa (lo cual significa que un suelo se encuentra a mayor profundidad), el módulo de corte se incrementa como consecuencia de la densificación del material (disminución en la relación de vacíos); para el caso del amortiguamiento, la densificación ocasiona una disminución en su magnitud (ver Figura 34 y

Figura 35. La densificación al incidir sobre la densidad relativa de los suelos, resulta en un incremento del número de ciclos de carga y descarga para iniciar la licuefacción. Al normalizar la curva de degradación de modulo para el módulo máximo se puede observar que a mayor profundidad existe una menor degradación del módulo de corte, producto del incremento en el esfuerzo de confinamiento. Es decir, para obtener una misma deformación en un mismo suelo, es necesario un esfuerzo mayor a medida que aumenta la profundidad.

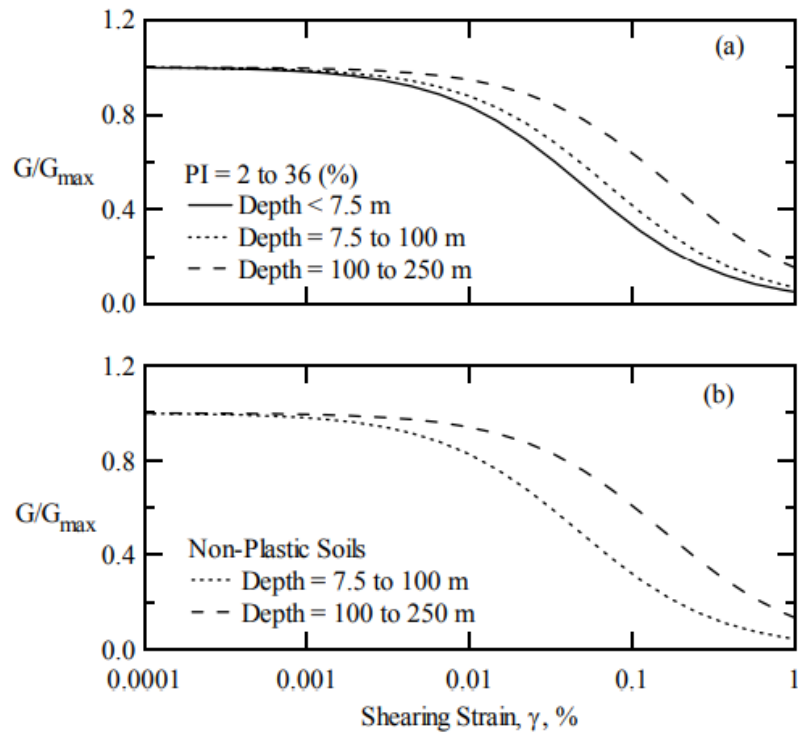


Figura 34. Curvas de degradación del modulo de rigidez con respecto a la deformación unitaria por cortante, para distintas presiones de confinamiento, en suelos con plasticidad (a) y suelos no plásticos (b). Tomado y modificado de Darandeli (2001).

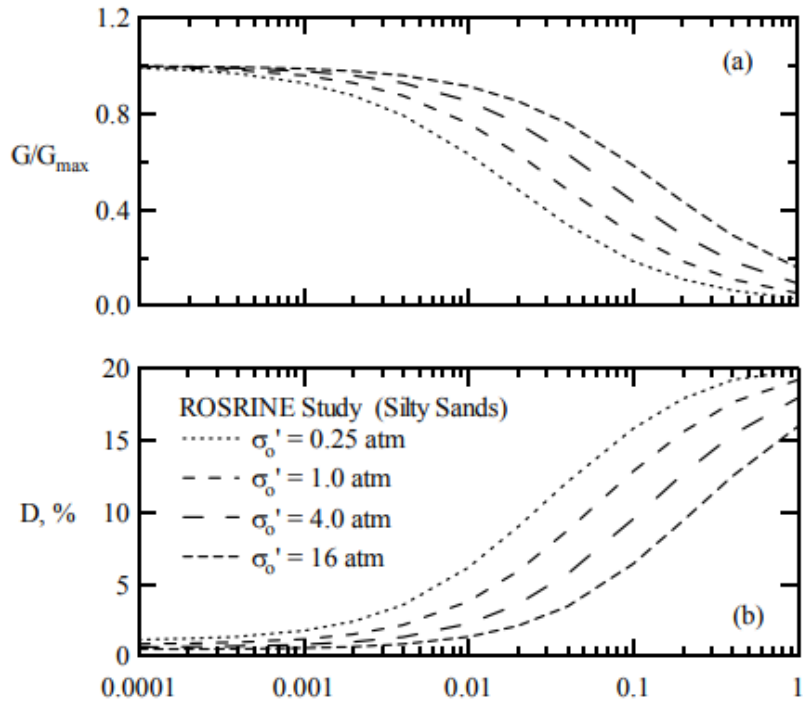


Figura 35. Curvas de la degradación del módulo de rigidez y la razón de amortiguamiento con respecto a la deformación unitaria por cortante, para distintas presiones de confinamiento, en suelos de arenas limosas. Tomado y modificado de Darandeli (2001).

### 2.3.1.2. Relación de vacíos (e).

Dentro de las propiedades mecánicas de los suelos, una de las que es más influenciada por acciones cíclicas de carga y descarga es la relación de vacíos. Debido a que durante la aplicación repetida de carga las partículas o granos tienden a acercarse, la relación de vacíos disminuye resultando en una densificación de los materiales. Algunos estudios como los de Kokusho en 1980, demuestran que existe una dependencia entre la relación de vacíos con el módulo de corte y el amortiguamiento, en donde se pudo apreciar que ocurre un decremento del módulo  $G$  cuando ocurre un incremento de la relación de vacíos (ver Figura 36).

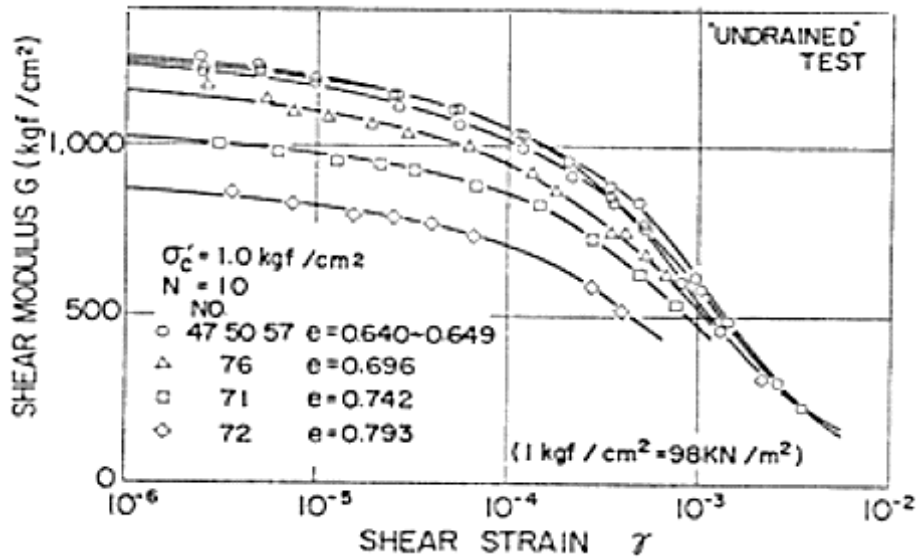


Figura 36. Variación del módulo de corte con respecto a varios valores de relación de vacíos. Tomado y modificado de Kumar et al (2014).

### 2.3.1.3. Razón de sobreconsolidación (OCR).

La razón de sobreconsolidación es un parámetro geotécnico, el cual representa la historia del estado de esfuerzos verticales en el subsuelo. En cuanto a suelos finos se refiere, el OCR es uno de los factores más dominante para establecer cuál es el comportamiento dinámico de los materiales. De modo complementario, Rodríguez (2015) establece que, para suelos ligeramente consolidados ( $OCR > 1$ ) con alto índice de plasticidad, se aprecia un aumento en  $G_{max}$ ; por otro lado, en suelos normalmente consolidados ( $OCR = 1$ ), si el índice de plasticidad aumenta, se va a observar un comportamiento relativamente constante del módulo de corte ( $G_{max}$ ). Retomando la descripción de Kumar et al (2014), Ishihara y otros autores, en el año de 1978, presentaron los resultados obtenidos a partir de ensayos cíclicos triaxiales (ver Figura 37), sobre muestras de suelo que poseían distintas proporciones de contenido de finos, de donde pudieron observar que, con el incremento del contenido de finos o disminución del tamaño medio de grano, se obtenía una mayor ganancia de razón de sobreconsolidación (OCR).

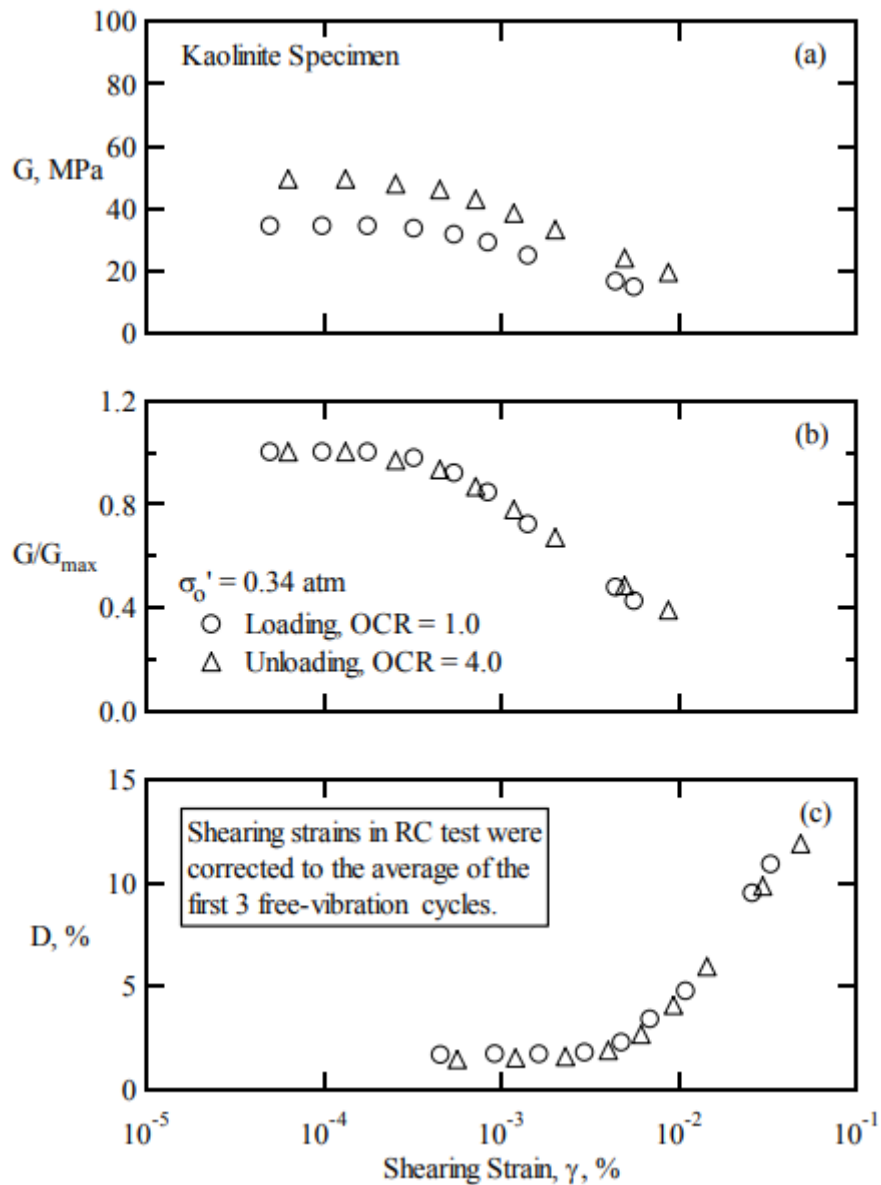


Figura 37. Efecto de la razón de sobreconsolidación sobre las curvas de la degradación del módulo de rigidez y razón de amortiguamiento. Tomado y modificado de Darandeli (2001).

En la Figura 38 se puede observar las curvas dinámicas generadas a partir de la calibración de Darandeli para una misma muestra sometida a una misma presión de confinamiento. En esta figura se ve claramente como al variar el OCR de una muestra normalmente consolidada (línea sólida) a un OCR = 2 (línea discontinua) y un OCR = 3 (línea punteada), varían considerablemente el comportamiento de las curvas dinámicas. Se observa que, a mayor OCR, mayor resistencia al corte y menor amortiguamiento por parte de los suelos.

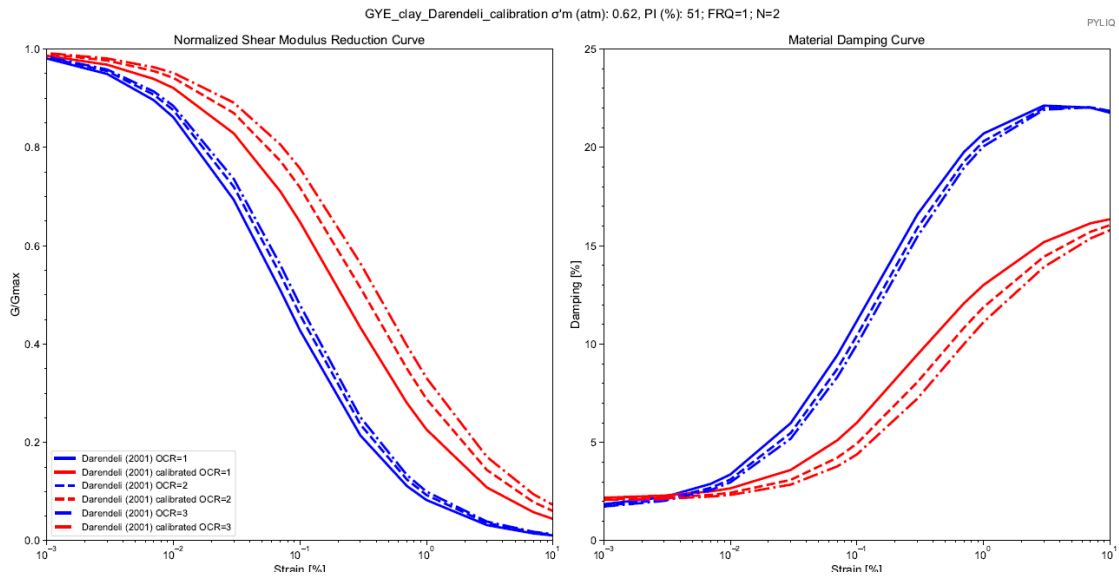


Figura 38. Influencia del parámetro OCR sobre las curvas dinámicas de un mismo material

#### 2.3.1.4. Índice de Plasticidad (IP)

A partir de cuantiosos estudios, basados en los resultados de ensayos cíclicos triaxiales, se ha podido comprobar que, los suelos de alta plasticidad con respecto a los de baja plasticidad, se degradan mucho menos en niveles de grandes deformaciones por cortante (ver Figura 39); por su parte, el amortiguamiento, es mucho menor en grandes deformaciones para suelos cuyo IP es alto.

##### 2.3.1.1. Contenido de finos.

Agregando a lo anterior, a partir de ensayos cíclicos triaxiales realizados sobre muestras de arenas limpias y arenas limosas, se ha podido comprobar que las curvas de degradación del módulo de corte se ven afectadas de manera poco significativa, mientras que cuando se incrementa el contenido de finos la razón de amortiguamiento decrece sustancialmente para las arenas y para arenas limosas (ver Figura 40 y Figura 41).

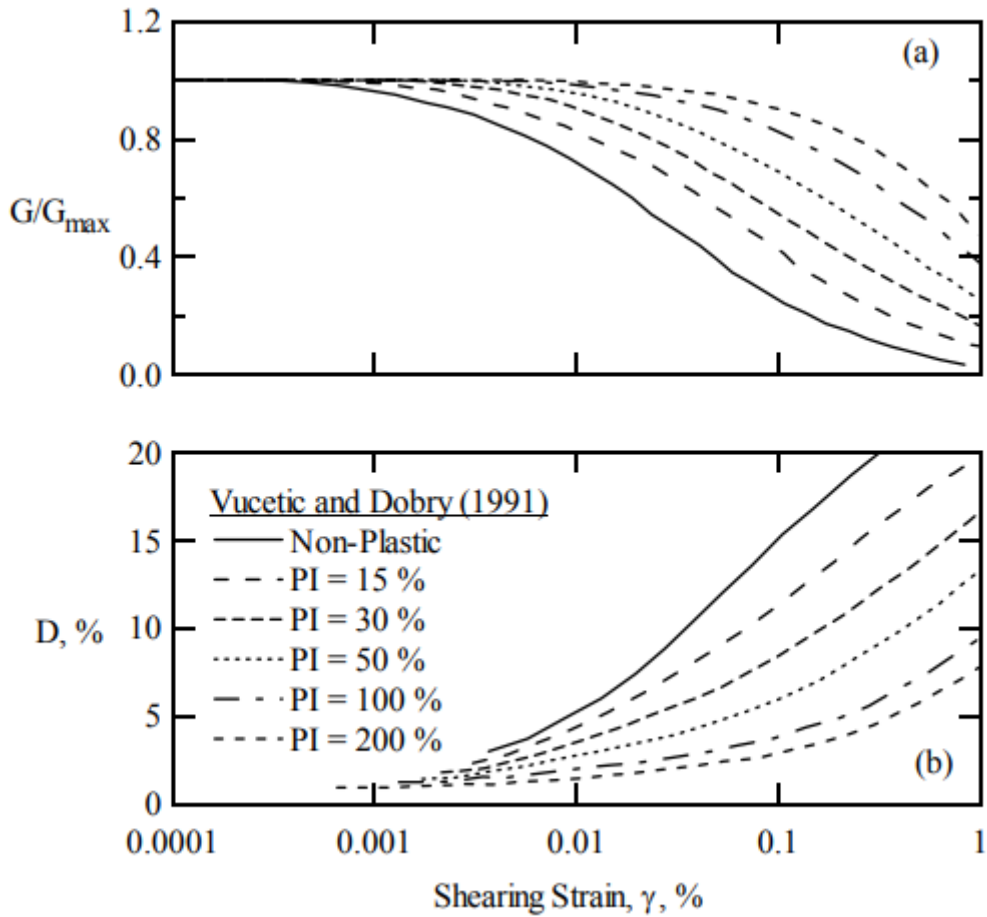


Figura 39. Curvas de degradación del módulo de corte y de la razón de amortiguamiento en función del índice de plasticidad de los suelos. Tomado y modificado de Darandeli (2001).

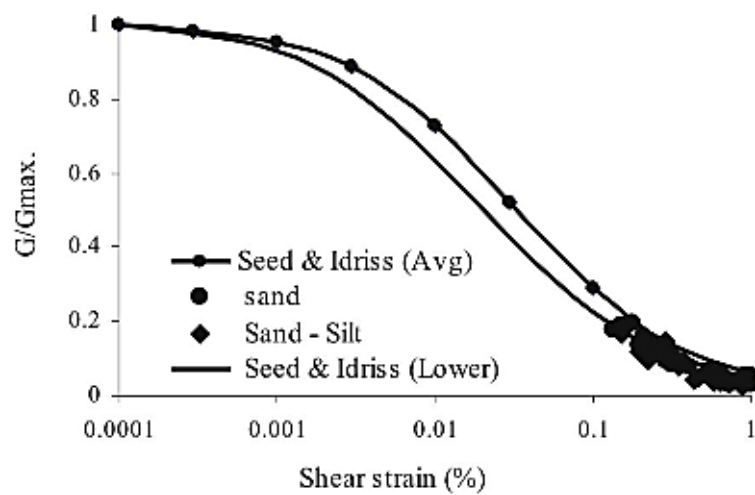


Figura 40. Curvas de degradación del módulo de corte, y resultados obtenidos por ensayos cíclico triaxiales para arenas limpias y arenas limosas. Tomado y modificado de Kumar et al (2014).



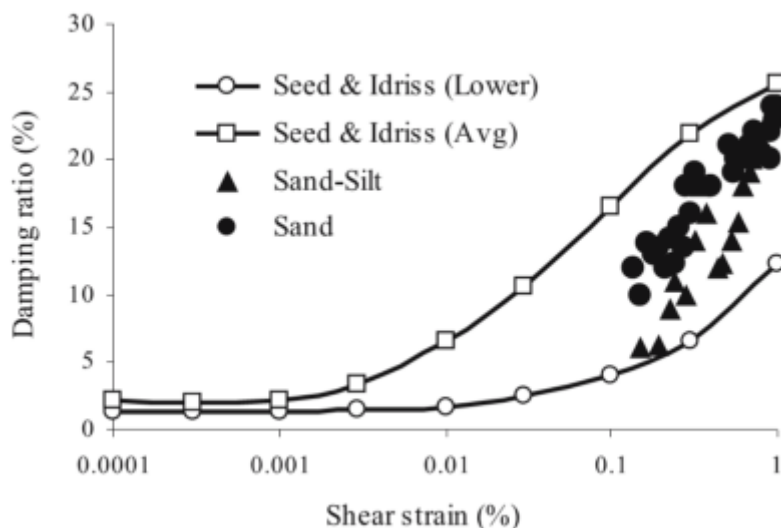


Figura 41. Curvas de variación del amortiguamiento, y resultados obtenidos por ensayos cíclico triaxiales para arenas limpias y arenas limosas. Tomado y modificado de Kumar et al (2014).

#### 2.4. ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO PROBABILÍSTICO Y DEMANDA SÍSMICA EN SUPERFICIE

Se podría definir al peligro o amenaza sísmica como la probabilidad de que un sitio de interés se exceda de ciertos valores de intensidad en un lapso dado, es decir, se busca conocer o establecer las características de los movimientos sísmicos (amplitud, duración y frecuencia) y su severidad o efecto sobre las estructuras (ej. Fuerzas, deformaciones).

El cálculo de peligro sísmico probabilístico (PSHA) de una determinada zona, no es específico ni exacto, ya que entre otras cosas maneja varias incertidumbres. El catálogo sísmico con el que se realizan los cálculos no es lo suficientemente extenso y completo como para predecir con precisión la ocurrencia de un evento sísmico con cierta magnitud, y las ecuaciones de predicción del movimiento del terreno no son exactas y también contemplan cierto grado de incertidumbre en su elaboración.

Este método de estudio sismológico fue introducido por primera vez por (Cornell, 1968), proporcionando un método para representar cuantitativamente la relación entre las fuentes sísmicas potenciales, los parámetros asociados al movimiento del suelo y las respectivas probabilidades de ocurrencia. Previo a la creación del PSHA, la mayoría de las evaluaciones de peligro sísmicos se realizaban usando un enfoque determinista, considerando escenarios individuales de magnitud y ubicación para cada fuente, a menudo con el escenario del "peor de los casos", o la mayor magnitud / distancia más cercana entre fuente-sitio usada para evaluar el

sismo de diseño (Bommer & Scherbaum, 2008). El método de PSHA puede llevarse a cabo evaluando un número semi - infinito de análisis de peligros deterministas, con el peligro sísmico siendo integrado sobre todas las posibles fuentes de sismos para todos los posibles escenarios de magnitud y distancia.

Además, al asignar distribuciones de probabilidad a las características de la fuente y del movimiento del suelo, se puede elegir, en algún nivel aceptado de probabilidad de ocurrencia, un sismo de diseño razonable para el sitio de interés. Esto permite un diseño más "racional" en comparación con el enfoque determinista de escenario de "peor caso".

Para llevar a cabo el PSHA se requiere contar con información de todas las fuentes sísmicas que contribuyen a la amenaza sísmica del sitio en estudio, en términos de su geometría, sismicidad y modelos de atenuación. Los pasos a seguir para llevar a cabo el PSHA son las siguientes:

Caracterización de las fuentes generadoras de terremotos con influencia en el sitio de análisis, en términos de su geometría y distribución de probabilidad de puntos de inicio de la ruptura en el área de falla definida. Es usual asumir una distribución de probabilidad uniforme, lo cual implica que la ocurrencia de sismos se espera con igual probabilidad en cualquier lugar de la geometría de fuente definida.

Determinación de la sismicidad de las fuentes consideradas, a partir del registro histórico de eventos ocurridos sobre la geometría anteriormente definida (catálogo sísmico) e información sobre estudios de neo-tectónica y paleo-sismología de la fuente. La sismicidad se establece por medio de una curva de recurrencia de magnitudes, la cual es una relación específica para cada fuente, que indica cual es la tasa de excedencia de una magnitud sísmica particular.

Selección de los modelos de atenuación que permitan caracterizar completamente el peligro en el sitio. Según el alcance del análisis se requerirán funciones de atenuación de aceleración, velocidad, desplazamiento, componentes espectrales de los anteriores parámetros, duración, etc. Debe involucrarse la incertidumbre asociada a la estimación de los parámetros, generalmente indicada en cada modelo de atenuación.

Finalmente se combinan las incertidumbres asociadas a localización, tamaño y atenuación y se obtiene una curva de peligro, la cual indica la probabilidad que una intensidad específica sea igualada o excedida en un periodo de tiempo determinado.

En contraparte, con respecto al peligro sísmico, la demanda sísmica corresponde a la magnitud con la que un sismo se manifiesta al llegar a la superficie, después de haber considerado los

efectos de amplificación o desamplificación de las ondas sísmicas como consecuencia de la interacción dinámica de los estratos del subsuelo local Panjamani et al (2018). La sobreestimación de la demanda sísmica, representa mayores niveles de aceleraciones, lo cual resulta en incrementos importantes en el costo de las estructuras, mientras que la subestimación de la demanda sísmica puede resultar en el colapso de edificaciones (Montalva, Soto , & Rodríguez-Marek, 2012).

El desempeño esperado por las estructuras civiles (demanda sísmica) está íntimamente ligado a la definición de los niveles de amenaza sísmica. Generalmente, dichos niveles se definen en términos de parámetros ingenieriles para fines de diseño, tales como: intensidad macro sísmica, aceleraciones pico y espectros de respuesta de aceleración o desplazamiento, que están relacionados con lo que se denomina como el periodo medio de retorno. El periodo medio de retorno ( $T_r$ ) es una expresión del período de tiempo medio, en años, entre la ocurrencia de sismos que producen efectos del mismo orden de severidad. Al mismo tiempo el periodo de retorno es inversamente proporcional a la probabilidad de excedencia, la cual es una representación estadística de la posibilidad de que un sismo exceda de un nivel de efectos determinados en un tiempo específico de exposición (en años). (Tabla 16)

Tabla 16. Definición de niveles de amenaza sísmica en base a la probabilidad de excedencia y tiempo medio de retorno. Tomado y modificado de MIDUVI (2014)

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno $T_r$ (años)	Tasa de excedencia $1/T_r$ (años)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0,01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0,00444
3	Raro (severo)	10%	475	0,00211
4	Muy raro (extremo)	2%	2500	0,0004

## 2.5. RESPUESTA SÍSMICA DE LOS SUELOS

### 2.5.1.Efectos de sitio

El comportamiento que manifiesta un terreno ante una perturbación sísmica, depende de varios parámetros asociados a la fuente generadora del evento sísmico y de la atenuación de la energía en la medida que está se propaga desde su punto de origen hasta el sitio de interés o estudio. Con el fin de poder predecir lo mejor posible un movimiento sísmico se deben utilizar las ecuaciones de predicción de movimiento del terreno (leyes de atenuación), en los estudios de riesgo sísmico

se le conoce como movimiento de referencia, o movimiento estimado para un sitio de roca dura. La amplificación de las ondas sísmicas como consecuencia de condiciones geométricas, geológicas o geotécnicas en los estratos del suelo, es el fenómeno que se conoce como efectos de sitio (Chávez-García y Montalva, 2014).

Para el análisis de los efectos de sitio es común utilizar las componentes horizontales de los registros de un evento sísmico; esto se debe a que cuando una onda sísmica se propaga hacia la superficie, según la ley de Snell, la trayectoria de la onda se acerca a la vertical. Debido a que la dirección de incidencia de las ondas es casi vertical, la componente vertical de los registros estará vinculada principal a la propagación de la onda P, la cual es poco sensible a los cambios de impedancia de los materiales superficiales, en contraste con la onda S (asociadas al movimiento horizontal), en donde la velocidad de esta está directamente relacionada con la rigidez de los materiales.

Los efectos locales están causados principalmente por la interacción entre el campo de propagación de las ondas sísmicas y las irregularidades del terreno o de los estratos, estas irregularidades pueden ser: superficiales o subsuperficiales. Las primeras están relacionadas con la topografía e incluye los efectos provocados por taludes, valles o montañas; en segundo lugar, las irregularidades subsuperficiales tienen que ver con la presencia de discontinuidades estratigráficas, fallas geológicas y la morfología del basamento rocoso.

Los efectos topográficos han sido verificados teórica y experimentalmente mediante instrumentos ubicados en laderas, evidenciándose que las estructuras ubicadas en parte superior de las montañas sufren mayores daños que los que se encuentran situados hacia la parte inferior de las pendientes. Sin embargo, los efectos de amplificación o desamplificación a causa de la topografía dependen del ángulo de incidencia de las ondas sísmicas, y de la superposición destructiva y no destructiva de las ondas sísmicas que se presentan en los acuñamientos o filos del relieve.

Continuando con el orden de ideas, los efectos por irregularidades subsuperficiales, conocidos también *efectos del suelo*, manifiestan dos tipos de amplificaciones: amplificación geométrica y amplificación dinámica. La amplificación geométrica corresponde a los efectos de amplificación debidos al contraste de impedancia entre dos medios en contacto. Para el caso de los sedimentos se usa la siguiente expresión:

$$I_c = \frac{\rho_b \cdot V_b}{\rho_s \cdot V_s} ; V_b > V_s$$

En donde,

$\rho_b$ : es la densidad de la roca base o semiespacio.

$\rho_s$ : es la densidad del suelo.

$V_b$ : es la velocidad de onda cortante de corte de la roca base.

$V_s$ : es la velocidad de onda cortante del suelo.

En la NEC se habla del factor  $\alpha$  que corresponde a  $\frac{1}{I_c}$  y se lo denomina relación de impedancia.

Según Rodríguez (2015), el contraste de impedancia es mayor en materiales joven y menos consolidados y esto genera un incremento sustancial en la amplificación de la señal sísmica; particularmente, esto sucede cuando se consiguen depósitos jóvenes sobre un sustrato rocoso con alta competencia.

La amplificación dinámica, también se conoce como efecto de resonancia, el cual permite comparar la frecuencia de las ondas sísmicas con la frecuencia natural o fundamenta del depósito sedimentario. Si la frecuencia de la onda sísmica es aproximadamente igual a la frecuencia natural del depósito se produce amplificación incrementándose la amplitud del movimiento del suelo significativamente.

El efecto de resonancia puede ser determinado empleando la expresión matemática que se muestra a continuación:

$$f_n = \frac{V_s}{4H}$$

En donde,

$f_n$ : es la frecuencia del sitio.

$V_s$ : velocidad de onda de corte de la columna de suelo desde superficie a roca.

$H$ : profundidad del estrato rocoso o espesor de suelo.

Otro aspecto interesante respecto a los efectos de sitio es descrito por Idriss (1991), el cual indica que, para aceleraciones que en roca sean menores a 0.4 g se produce una mayor amplificación del PGA en la superficie para suelos blandos. De manera opuesta, para aceleraciones que en roca sean mayores a 0.4 g existe un mayor amortiguamiento por parte de los suelos blandos. Esta es una demostración clarísima del comportamiento no lineal de los suelos. En la Figura 42, se puede apreciar el efecto antes mencionado para el sismo de Loma Prieta 1989, con un PGA en roca

menor a 0.4 g (en donde existe una amplificación en los espectros superficiales para suelos blandos), además de un rango de respuestas calculado para aceleraciones en roca mayores a 0.4 g en donde se observa un PGA superficial similar al PGA en roca causado por amortiguamiento producido en suelos blandos.

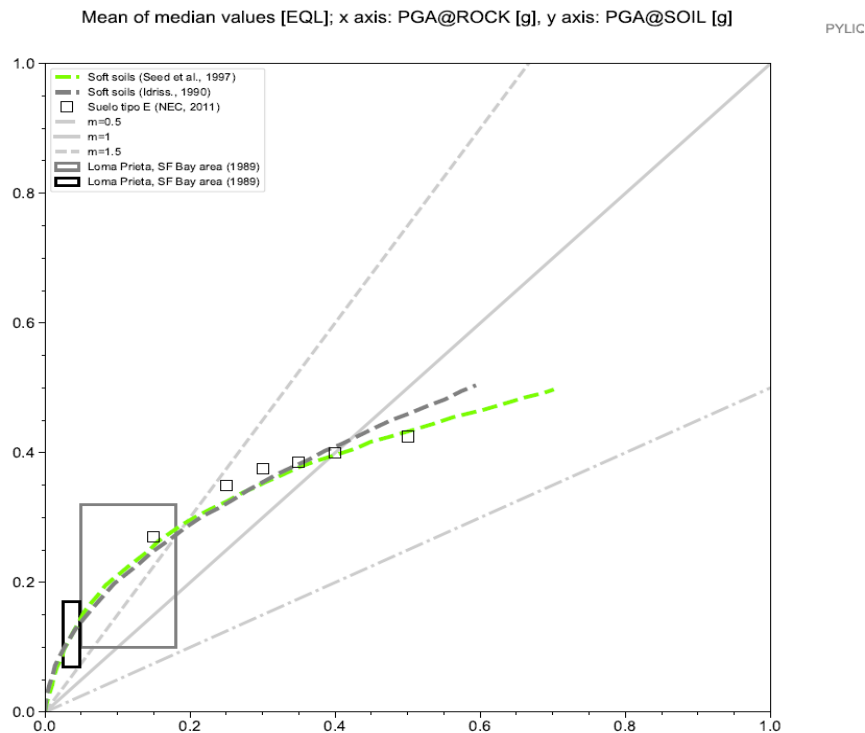


Figura 42. Dependencia de la amplificación-amortiguamiento del PGA en suelos blandos, según el PGA en roca para (Idriss, 1991) línea gris, (Seed, 1997) línea verde y (NEC, 2011) cuadros. Tomado de (Vera-Grunauer et al, 2014)

A continuación, se mencionan algunos casos históricos de evidencias de efectos de sitio:

a) Ciudad de México, Terremoto de México de 1985:

Uno de los ejemplos más icónicos de los efectos de sitio se produjo durante el terremoto de México de 1985, cuya magnitud fue de 8.1. El sismo provocó daños severos en edificios altos y a una distancia epicentral considerablemente grande ( $R \approx 300$  Km). Algunas de las características más trascendentes son: amplificación en largo periodos, larga duración y periodos predominantes bien definidos (Rodríguez, 2015).

Rodríguez (2015), describe que, la ciudad de México está situada en el valle de México, el cual posee un ancho de 20 Km y una profundidad de 1.5 Km. La cuenca del valle está constituida principalmente por rocas sedimentarias y volcánicas, pero predominan los

depósitos lacustres y aluviales recientes, en donde se puede identificar un estrato arcilloso muy blando que tiene una potencia que oscila entre los 30 y 70 m. Básicamente se puede identificar en base a la información geológica 3 zonas principales: la zona de colina, la zona del lago y la zona de transición; en donde la zona del lago está conformada por las arcillas blandas, y la zona de colina por las rocas volcánicas (Figura 43).

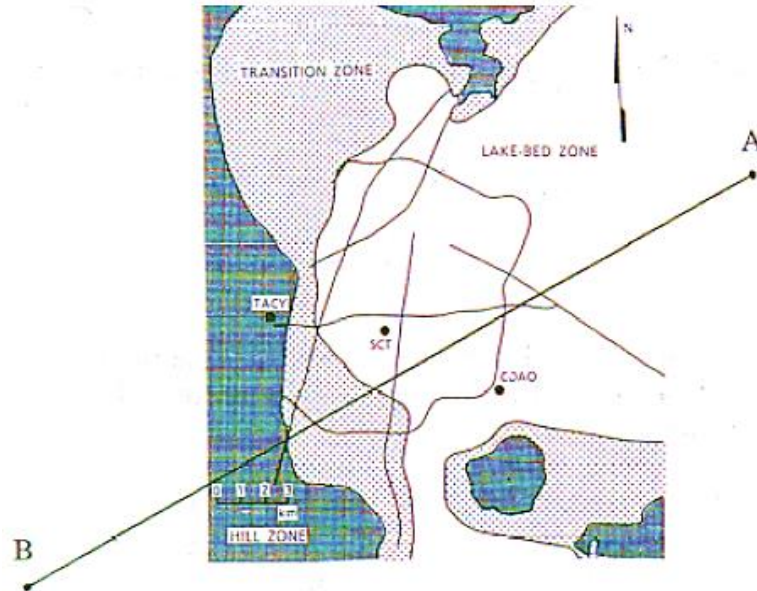


Figura 43. Mapa de la ciudad de México mostrando la zona de colina, la zona de lago y transición, junto con la ubicación de las estaciones sismológicas. Tomado y modificado de Rodríguez (2015).

Durante dicho evento sísmico se pudo observar como la frecuencia de las ondas sísmicas registradas en la estación Teacalco (TACY) se vieron atenuadas inicialmente, a causa de la distancia epicentral, con respecto al registro de la estación Campos la cual se hallaba muy cercana al epicentro; y posteriormente se amplificaron de manera crítica al llegar al depósito aluvial y lacustre (suelo blando) sobre los cuales se sitúa la ciudad de México y en donde estaban ubicadas las estaciones SCT y CDAO (ver Figura 44).

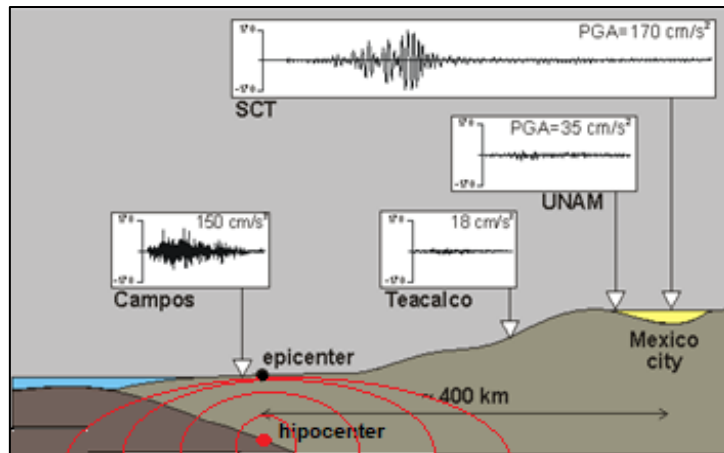


Figura 44. Efectos de sitio sobre las ondas sísmicas registradas en el sismo de México, 1985. Adaptado de Semblat (2014).

Rodríguez (2015), agrega que las causas principales de los efectos producidos por el evento sísmico son las siguientes: a) Las ondas superficiales que se generaron en los valles aluviales o cuencas sedimentarias se caracterizan por un contenido de periodos altos (bajas frecuencias), debido a que las contribución de periodos cortos (altas frecuencias) se ven atenuadas en los estratos superficiales al tener que atravesar grandes distancias; b) Se observó que los modos fundamentales de las ondas superficiales se excitan cuando las ondas inciden con un ángulo distinto a la vertical, esto está relacionado con la morfología del basamento de la cuenca sedimentaria de la ciudad de México; c) La amplificación de las ondas corpóreas P y S, manifiestan periodos predominantes bien definidos, lo cual es una manifestación física de cuando existe contrastes de impedancia fuertes entre los materiales recientes (suelos blandos) y la roca subyacente.

En base a las experiencias observadas durante dicho evento sísmico, se demostró que las ondas superficiales varían tridimensionalmente a lo largo de la cuenca, y por lo tanto es necesario realizar análisis minuciosos para el estudio de cuencas someras y profundas.

b) San Francisco, Terremoto de Loma Prieta de 1989:

A principios de del siglo XX, se llevaron a cabo estudios en la ciudad de San Francisco, en donde se dedujo que la cantidad de daños producidos por terremotos estaba relacionada directamente con la geología del sitio, presentándose mayores daños en zonas donde había suelos blandos y menos daños en donde había afloramientos de roca o suelos muy rígidos.



Gracias a los estudios realizados por Borchardt et al (1975), los cuales se basaron en el análisis de las ondas sísmicas producidas por explosiones nucleares y registros de ruido y datos de los terremotos de California de 1906 y San Francisco de 1957, se demostró que era posible aislar o separar, empleando análisis adecuados, los efectos sísmicos provocados manifestados en las unidades geológicas de los provocados por: la fuente sísmica, los generados por la trayectoria de las ondas y los efectos debidos al instrumento de registro.

Con los estudios realizados se comprobó también que se presentaban variaciones en las curvas de amplificación espectral para diferentes lugares en la misma unidad geológica y que eran ocasionadas por cambios en los espesores de los estratos del subsuelo, como también debido a variaciones en la consolidación. Posteriormente, durante el terremoto de Loma Prieta de 1989, se observaron daños estructurales en zonas donde los suelos eran blandos y conformados por materiales arcillosos, mientras que donde predominaban los suelos firmes los daños eran menores y se manifestaban menores amplificaciones sísmicas (ver Figura 45).

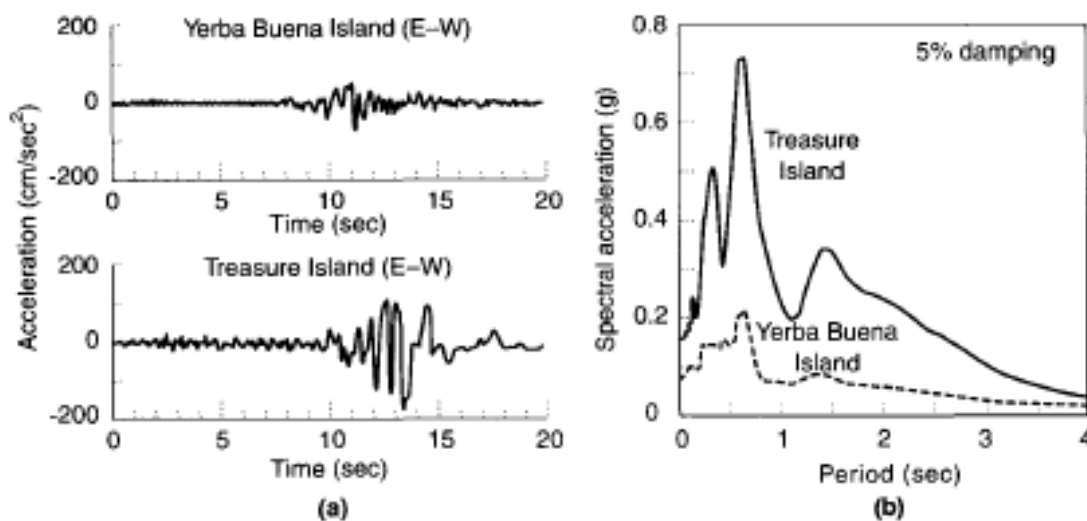


Figura 45. Registros de movimientos y espectros de respuesta del terremoto de Loma Prieta de 1989. El registro de Treasure Island corresponde a suelos blandos, mientras que Yerba Buena Island corresponde a una zona con afloramientos rocosos. Tomado y modificado de Rodríguez (2015).

Cabe destacar, que los efectos de sitio no son fenómenos históricos o aislados, sino que se han podido observar en otros lugares en donde existen cuencas de pequeña y gran escala, tales como: Ohgara-mura en Japón, Leninakan en Armenia, la cuenca de Kyoto, y la ciudad de Guayaquil durante el terremoto de 1942 y 2016.

En la Figura 46 se presentan los espectros obtenidos en superficie en dos estaciones, Estadio Ramon Unamundo (ERU) y Universidad Católica de Guayaquil (UCSG), para el sismo (Mw = 7.8) del 16 de abril del 2016 ocurrido en Ecuador. Ambos sitios son muy diferentes entre si ya que ERU presenta un suelo blando ( $T_e^* = 1.52$  s;  $V_{s30} = 114$  m/s), mientras que UCSG corresponde a un afloramiento rocoso ( $T_e^* = 0.1$  s;  $V_{s30} = 976$  m/s). La amplificación sísmica producida por los suelos blandos de ERU es mucho mayor a la producida en el afloramiento rocoso de UCSG, demostrando fácilmente la influencia de los efectos de sitio en cuanto a la respuesta sísmica en superficie.

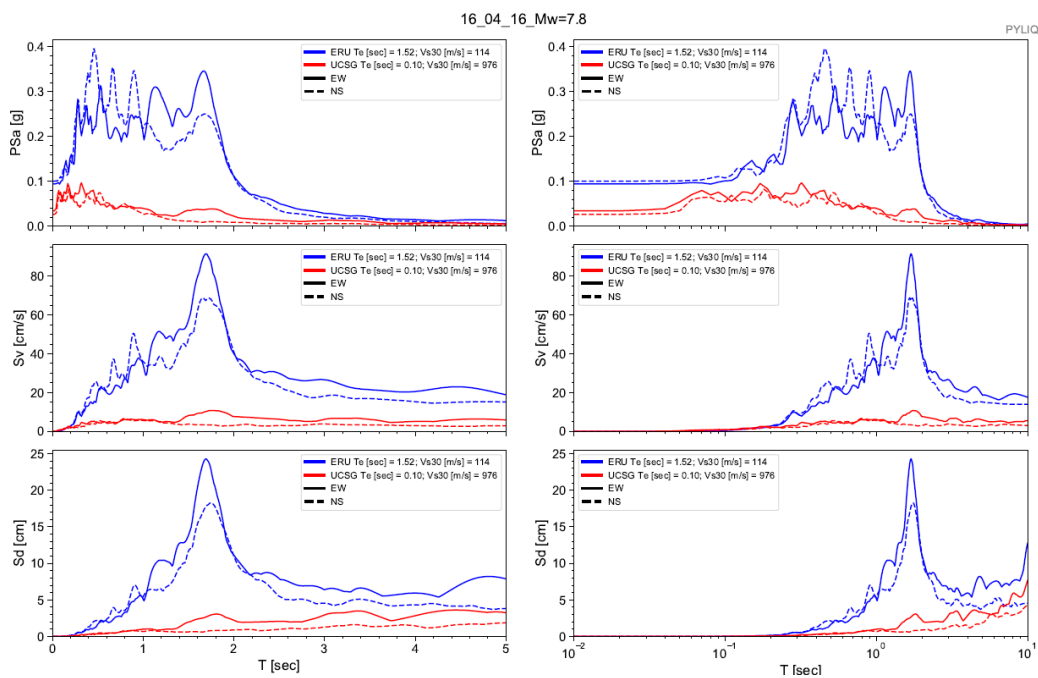


Figura 46. Demostración de efectos de sitio. Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento en superficie resultantes del sismo de 16 de abril de 2016 para las estaciones ERU (azul) y UCSG (rojo).

## 2.6. SELECCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS Y ESCALAMIENTO

Para llevar a cabo un estudio de respuesta dinámica, se deben escoger los eventos sísmicos que permitan estimar de manera rigurosa y apropiada las condiciones para el diseño de estructuras civiles. Kalkan y Chopra (2010), proponen que, para obtener un análisis de respuesta dinámica el proceso de selección y escalamiento son iguales en importancia; al mismo tiempo, indican que, antes de realizar el escalamiento de los registros tiempo historia es necesario definir las condiciones de riesgo asociadas al sitio de estudio, ya sea mediante un análisis determinístico o un análisis probabilístico (PSHA), y seguidamente, evaluar algunos parámetros que pueden influir sobre la forma espectral del evento sísmico.

Algunos de los parámetros mencionados por Kalkan y Chopra (2010), que puede afectar la respuesta espectral de los eventos sísmicos son los siguientes:

- Rangos de magnitudes sísmicas esperadas.
- Distancia desde fallas activas sísmicamente hasta el sitio de estudio.
- Condiciones de sitio (caracterización mediante métodos geofísicos de parámetro  $V_{s30}$  y  $T_e$ ).
- Efectos de cuenca sedimentaria.
- Efectos de directividad.

De los parámetros mencionados los 3 primeros tienen mayor importancia, por lo tanto, se debe seleccionar los sismos en base a: a) que las magnitudes de sismos seleccionados similares a las que se esperan para el sitio de análisis, b) las distancias epicentrales, las cuales deben estar relacionadas con la desagregación del espectro de peligro uniforme (UHS), lo cual será explicado en esta sección, y c) las condiciones de sitio, se refiere principalmente a las condiciones geológicas tales como niveles de meteorización o tipo de roca. A continuación, se describen los parámetros mencionados previamente y su influencia sobre la selección sísmica.

### **2.6.1. Dependencia de las magnitudes y distancias a la selección de sismos.**

La estimación de las magnitudes y distancias para la selección sísmica van íntimamente relacionadas al estudio del Espectro de Peligro Uniforme (UHS), el cual se obtiene a partir de un Análisis Probabilístico de Peligro Sísmico (PSHA). Con un PSHA se ponderan todos los posibles escenarios de terremotos de contribución de fallas o mecanismos de liberación de energía cerca de un sitio para estimar la probabilidad de un movimiento superior a intensidades espectrales dadas.

El UHS es posible obtenerlo de forma automática o semiautomática a partir de las curvas de peligro sísmico; el espectro UHS representa en sí mismo, la probabilidad de obtener cierta respuesta sísmica en superficie para un estrato de roca, y esto al mismo tiempo involucra los movimientos del terreno asociados a diversas fuentes sísmicas. No obstante, con el fin de definir los escenarios que controlan los terremotos se debe estudiar la desagregación del UHS (ver Figura 47), para distintos períodos estructurales y períodos de retorno seleccionados previamente.

Cualitativamente, se debe identificar si existe en el gráfico de desagregación, un comportamiento modal o bimodal en las fuentes sísmicas de campo lejano ( $R_{rup} > 50\text{Km}$ ) y de campo cercano

( $R_{rup} < 50 \text{ km}$ ); y se observa cuáles son las magnitudes que contribuyen con una mayor ocurrencia. En la siguiente figura se puede ver a manera de ejemplo una desagregación del UHS, en donde se observa una mayor contribución por parte de sismos de fuente cercana.

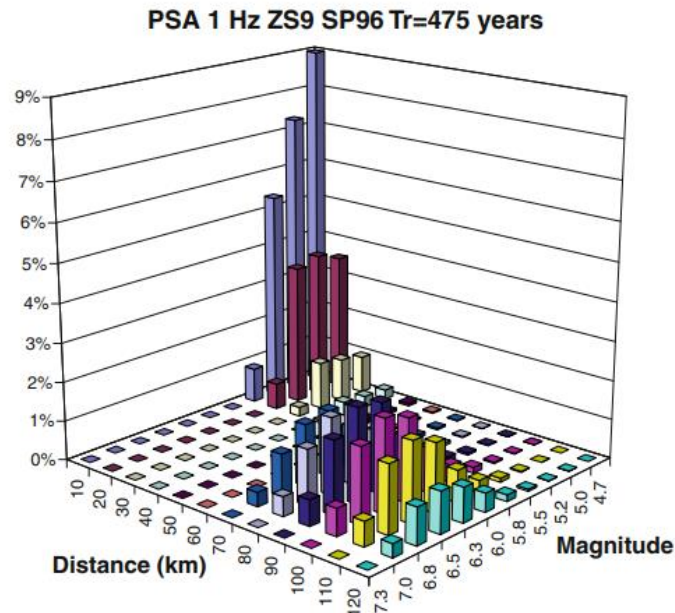


Figura 47. Ejemplo de un gráfico de desagregación del UHS, para un  $T_r=475$  años y periodo estructural  $T=1$  s. Se puede apreciar un comportamiento bimodal asociado a la contribución de fuente lejana y cercana Tomado y modificado de Sabetta (2013).

#### 2.6.1.1. Caracterización de las fuentes sísmicas.

Dentro de un PSHA, el primer paso a seguir, es determinar las características de las fuentes o zonas en donde se generan los sismos. A estas zonas comúnmente se les denomina provincias tectónicas o regiones sismogénicas, las cuales son delimitadas por polígonos en cuyo interior se asume la ocurrencia de sismos con una tasa uniforme por unidad de tiempo y volumen. La caracterización de las fuentes sísmicas requiere considerar: la geometría de las fuentes, la distribución de los sismos dentro de las fuentes y, la distribución del tamaño y ocurrencia de sismos con el tiempo.

#### 2.6.1.2. Geometría y Distancia de “Fuente-Sitio”:

Una clasificación de la geometría de las fuentes fue elaborada por Cornell (1968), quien idealizó tres tipos de fuentes sísmicas, las cuales se modelan como:

- a) Fuentes Puntuales: cuando la relación entre la distancia de la fuente al sitio, comparada con las dimensiones de la falla es muy grande, o bien cuando se tiene una alta concentración de sismos en un área pequeña.

- a) Fuentes lineales: cuando la profundidad en un plano de falla es suficientemente pequeña de tal manera que la profundidad a la que ocurren los sismos dentro de la falla tiene poca influencia sobre la distancia hipocentral. Según Kramer (1996), en tal caso, el plano de falla puede ser simplificado con una mínima pérdida de precisión en el PSHA mediante la aproximación de la fuente plana como una de fuente lineal.
- a) Fuentes de área: cuando los datos disponibles no permiten determinar con precisión la geometría real de la fuente y además se observa una gran dispersión de epicentros sísmicos (originados con características similares, como mecanismos focales y patrones de fallamiento) en una determinada zona.

La distancia que existe desde la fuente al sitio de interés se encuentra asociada al tipo de fuente definido previamente, pudiendo ser puntual, lineal o de tipo área. En la Figura 48, se pueden observar las características de los diferentes tipos de distancias.

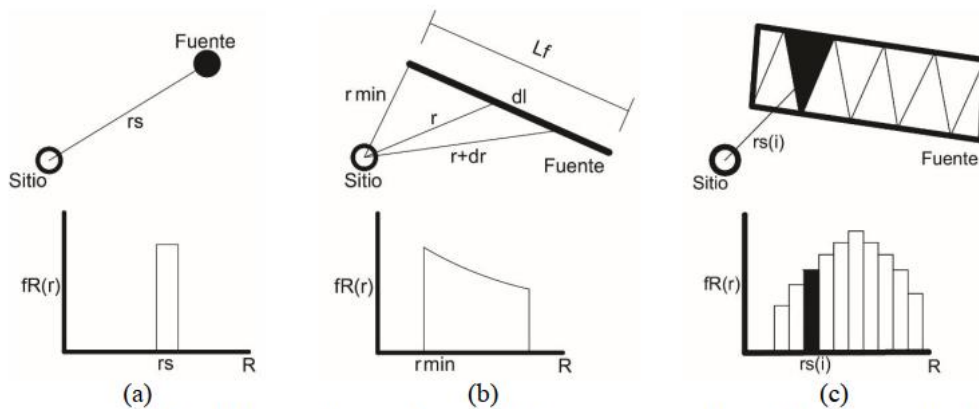


Figura 48. Tipos de fuentes y distancias fuente-sitio: a) Fuente y distancia puntual, b) Fuente y distancia lineal y c) Fuente y distancia tipo área. Tomado y modificado de Vera-Grunauer et al. (2016).

### 2.6.2. Dependencia a las condiciones de sitio.

Las condiciones de sitio son un factor dominante, ya que deben seleccionarse sismos que, aunque provengan de otros lugares del mundo, tengan características similares a las del semi espacio del área de estudio (basamento rocoso). Preferiblemente, deben escogerse sitios cuya clasificación sísmica de sitio coincida con la medida en afloramientos en las cercanías al área de estudio, y que tengan características de ser estrato rocoso ( $V_{s30} > 760$  m/s). La clasificación sísmica de sitio, según algunas normas de construcción, puede observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Clasificación sísmica de sitio según la NERHP y NEC-15.

Tipo de Sitio	Descripción	Velocidad de onda de corte (Vs30)
A	Roca competente	Vs30 > 1500 m/s
B	Roca de rigidez media	760 m/s < Vs30 < 1500 m/s
C	Suelo muy rígido o roca meteorizada	360 m/s < Vs30 < 760 m/s
D	Suelo rígido	180 m/s < Vs30 < 360 m/s
E	Suelo blando	Vs30 < 180 m/s
F	Suelos especiales	Requieren de otras evaluaciones

Con el fin de conseguir que los registros sísmicos a ser seleccionados tengan un buen contenido de frecuencias, es decir, manifiesten frecuencias que no han sufrido atenuación por efectos de sitio, es recomendable utilizar los sitios que sean tipo A o B. En base a ensayos geofísicos, se clasifica sísmicamente usando el parámetro de Vs30, el cual se refiere a la velocidad de promedio ponderado de los primeros 30 metros del suelo. La expresión matemática que permite calcular el parámetro de Vs<sub>30</sub> es la siguiente:

$$V_{S_{30}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

En donde,

Vs<sub>30</sub>: es la velocidad de onda de corte promedio de los primeros 30 metros.

d<sub>i</sub>: es el espesor de cada capa, desde superficie hasta los 30 metros de profundidad.

v<sub>si</sub>: es la velocidad de onda de corte de cada capa.

A pesar, de que los métodos geofísicos son un buen medio para clasificar un sitio, las normas de construcción emplean también otros parámetros para realizar la clasificación, tales como: el número de golpes promedio de los ensayos SPT hasta los 30 metros ( $\bar{N}$ ), el número de golpes promedio de ensayos SPT para suelos cohesivos incluidos en los primeros 30 metros ( $\bar{N}_{ch}$ ), y la resistencia al corte sin drenaje para los suelos cohesivos incluidos en los primeros 30 metros ( $\bar{S}_u$ ). En algunos países, como en Japón, se acostumbra a clasificar sísmicamente no mediante los métodos geofísicos que caractericen sólo los primeros 30 metros, sino en base al periodo elástico del sitio.

### 2.6.3. Escalamiento de registros de eventos sísmicos

Posterior al paso de selección de los registros sísmicos, se procede a realizar el escalamiento respectivo de cada registro sísmico; este proceso puede ser llevado a cabo de manera que se mantengan las características no estacionarias del registro sísmico. Un paso inicial para el escalamiento de registros, es el de poner cada uno de los registros seleccionados en el dominio del tiempo, para poder comparar la respuesta espectral de cada uno de ellos con respecto al UHS.

El escalamiento puede realizarse corrigiendo la amplitud del registro multiplicando por un factor de escala, lo cual sería una especie de corrección lineal. Este método es admisible de aplicar cuando se obtiene un buen ajuste, al comparar la media o mediana de los espectros de aceleraciones de cada sismo seleccionado con respecto al UHS. A continuación se puede ver a modo de ejemplo una gráfica de lo antes mencionado (véase Figura 49).

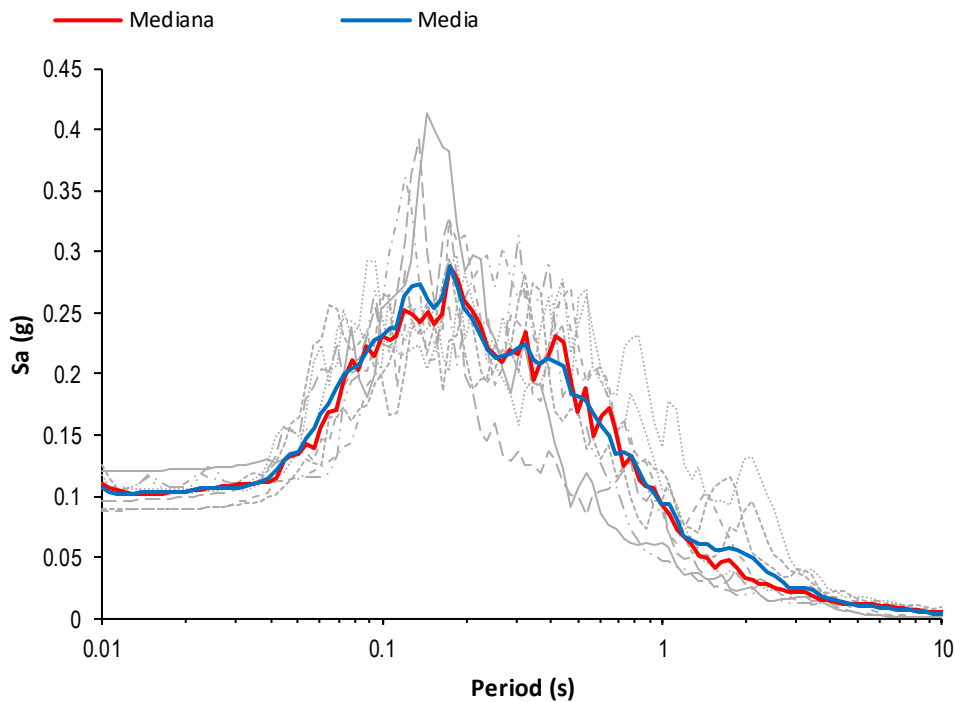


Figura 49. Sismos escalados con corrección lineal (Media de sismos: azul) y comparados con respecto a un UHS (rojo).

Sin embargo, la corrección lineal tiene la dificultad de que no siempre los espectros de aceleración de los sismos tendrán las mismas tendencias que el UHS, es decir, puede que en la respuesta de aceleración espectral haya algún comportamiento anómalo que lo haga diferir al sismo del UHS de forma sustancial, lo cual puede alterar la estimación de la media o mediana, de modo que el ajuste no sea apropiado.

En dado caso, para poder obtener un escalamiento apropiado en donde se ajuste de manera óptima el espectro del sismo con el UHS, es recomendable utilizar algoritmos computacionales que estén diseñados para esta labor. El resultado del escalamiento automático o semi -automático permite obtener niveles de error bastante bajos, teniéndose un excelente ajuste con el UHS. Posterior, al proceso de escalamiento se debe realizar la comparación entre los sismos escalados y originales, evaluando el comportamiento de: los registros tiempo-historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, intensidad, y valores del PGA (ver Figura 50).

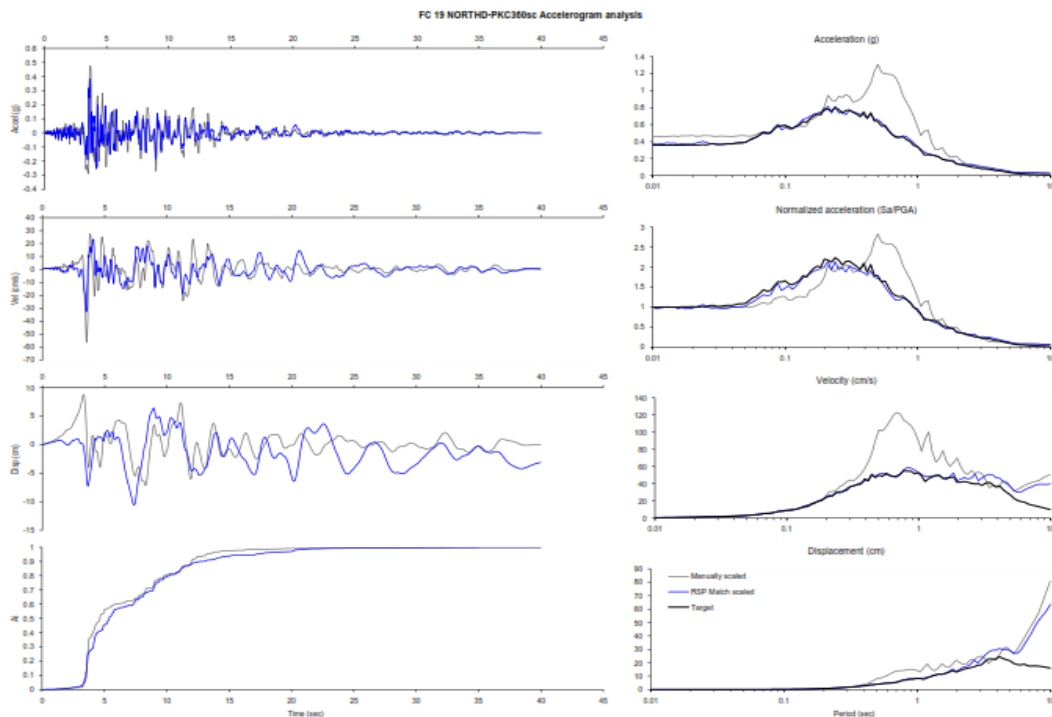


Figura 50. Comparación de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, en forma espectral y en forma de registro tiempo historia; para un sismo registrado (gris) vs el mismo sismo escalado (azul).

De entre los softwares utilizados para el escalamiento de sismos, se destaca el programa RSPMATCH09, del cual se dará una breve descripción a continuación.

### 2.6.3.1. Escalamiento y/o ajuste espectral de registros sísmicos en el dominio del tiempo 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 (Al Atik & Abrahamson, 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 51 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.

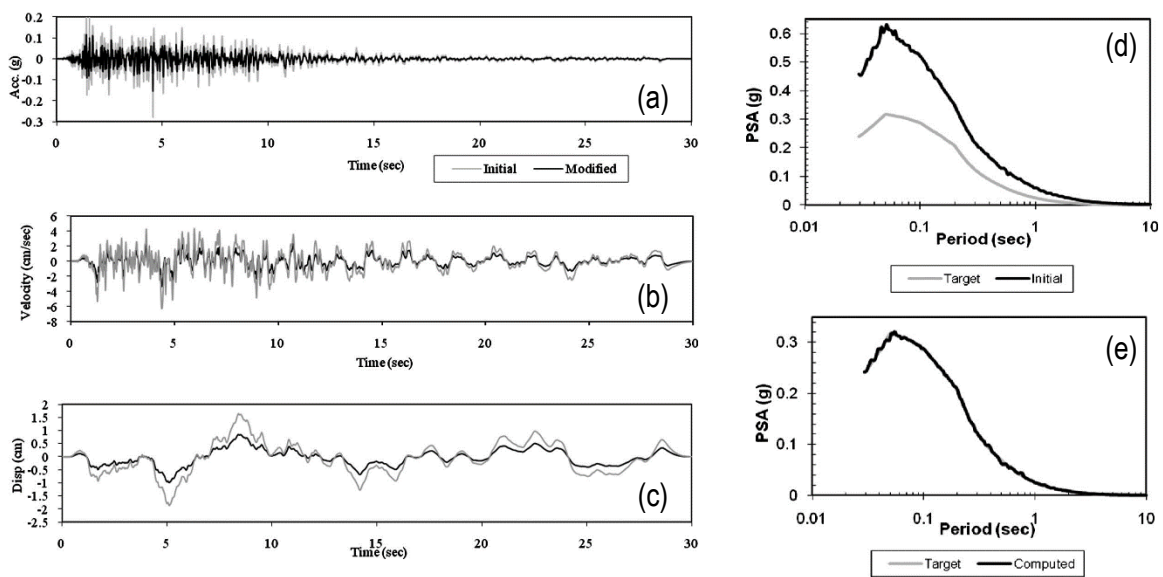


Figura 51. Ajuste con RSPMatch09 para un registro sísmico: registros iniciales vs modificados de: (a) aceleración, (b) velocidad, (c) desplazamiento. Comparación de espectros de aceleración: (d) inicial vs objetivo y (e) calculado vs objetivo. (Al Atik & Abrahamson, 2010)

## 2.7. ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO

La metodología conocida como Análisis de Respuesta de Sitio (ARS) se utiliza con el fin de estimar de manera cuantitativa los efectos de sitio para un emplazamiento determinado, y el mismo consiste en el proceso de llevar a cabo la simulación de la propagación de ondas sísmicas (a partir de registros de eventos sísmicos que hayan ocurrido), a través del modelo de una columna de suelo para el sitio de estudio y de esta forma calcular la demanda sísmica en superficie. De manera

más detallada, la columna de suelo por donde se simulará la propagación de ondas, debe ser modelada desde los materiales superficiales (más blandos), hasta los más profundos (más rígidos), en donde el límite inferior de la columna se conoce generalmente como estrato o basamento rocoso, y también como semiespacio ( $V_s \geq 760\text{m/s}$ ). Es importante señalar, que la definición de la rigidez y profundidad del semiespacio son parámetros necesarios para realizar el ARS y que afectan directamente la respuesta sísmica en superficie, así también como que desde dicho estrato se debe proceder a realizar la propagación de ondas hacia la superficie.

A partir de un ARS se obtiene como resultado los espectros de respuesta sísmica (espectros de aceleración, espectros de velocidad y espectros de desplazamiento), y adicionalmente, registros de aceleración – tiempo (tiempo historia), y factores de amplificación espectral basados en la respuesta dinámica de las condiciones locales del subsuelo.

Los espectros de respuesta caracterizan el comportamiento del suelo ante un sismo y sus efectos máximos sobre las estructuras. Un espectro de respuesta debe abarcar un amplio rango de periodos de vibración para que pueda determinar la respuesta máxima de todas las estructuras posibles. Los espectros de respuesta son utilizados para el diseño de estructuras sísmo resistentes y para la creación de códigos de construcción ya que de estos se pueden determinar los requisitos de fuerza lateral (Chopra, 2014).

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.

### **2.7.1. Procedimiento de análisis de respuesta de sitio**

Los pasos necesarios, para llevar a cabo una secuencia básica de un ARS, son los siguientes: (1) recopilar datos, (2) modelarlos para programas informáticos, (3) ejecutar programas informáticos y (4) interpretar los resultados. En cuanto a la información requerida para llevar a cabo el proceso, se requieren de varios datos de entrada, los cuales se clasifican en las siguientes cuatro categorías:

1. Configuración geológica o topológica, tales como perfiles de suelo

2. Propiedades dinámicas del suelo
3. Movimiento sísmico de entrada
4. Parámetros para controlar el flujo del programa informático o el método de análisis

En la Figura 52 se muestra el flujograma correspondiente al procedimiento generalizado del análisis de respuesta de sitio:

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). El modelamiento de la columna de suelo 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 la misma clasificación SUCS pueden no tener las mismas propiedades mecánicas debido a que dichas 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  $N_{60}$  obtenido del ensayo SPT varía incluso en capas con similares características; por lo tanto, se requieren medios para calcular el promedio. Debido a que estas operaciones afectan los resultados del análisis de respuesta sísmica de sitio, el ingeniero que llevará a cabo el análisis deberá tener antecedentes teóricos y / o experiencia suficiente.

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  $N_{60}$  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).

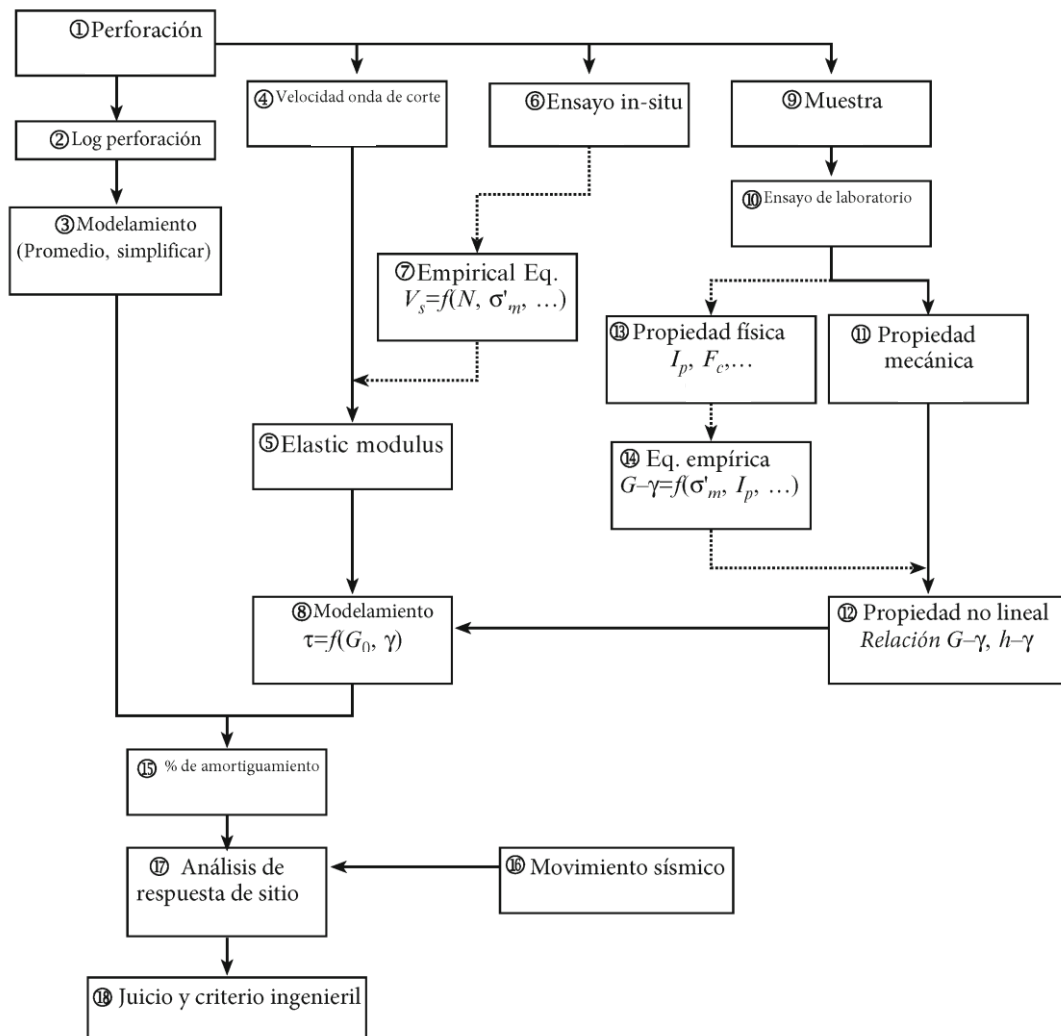


Figura 52. Flujograma del procedimiento del análisis de respuesta de sitio (Yoshida, 2014).

### 2.7.2. Métodos numéricos.

El proceso de obtención de la respuesta dinámica del suelo en superficie, requiere de dos metodologías principales a partir de las cuales se puede predecir la acción de un movimiento sísmico, y son: los modelos o métodos de aproximación lineal y de aproximación no lineal. Básicamente, la aplicación ingenieril de cada modelo depende principalmente de cuáles son las deformaciones por cortantes esperadas, en cuyo caso, si el rango de las deformaciones estimadas a evaluar es de bajo nivel, será suficiente con un análisis de tipo lineal, ya que, en ese caso, el comportamiento del suelo es elástico; mientras que cuando se esperan alcanzar altos niveles de deformación por cortante es necesario ejecutar un análisis de respuesta no lineal del suelo, lo cual implica que se estará en un régimen de esfuerzos de deformación inelástico, conllevando de este modo a una degradación del módulo de rigidez (véase Figura 53). La no linealidad entre los esfuerzos y deformaciones por cortantes, pueden apreciarse en la Figura 54, donde se aprecia un ciclo histerético en función de la carga y descarga del suelo.

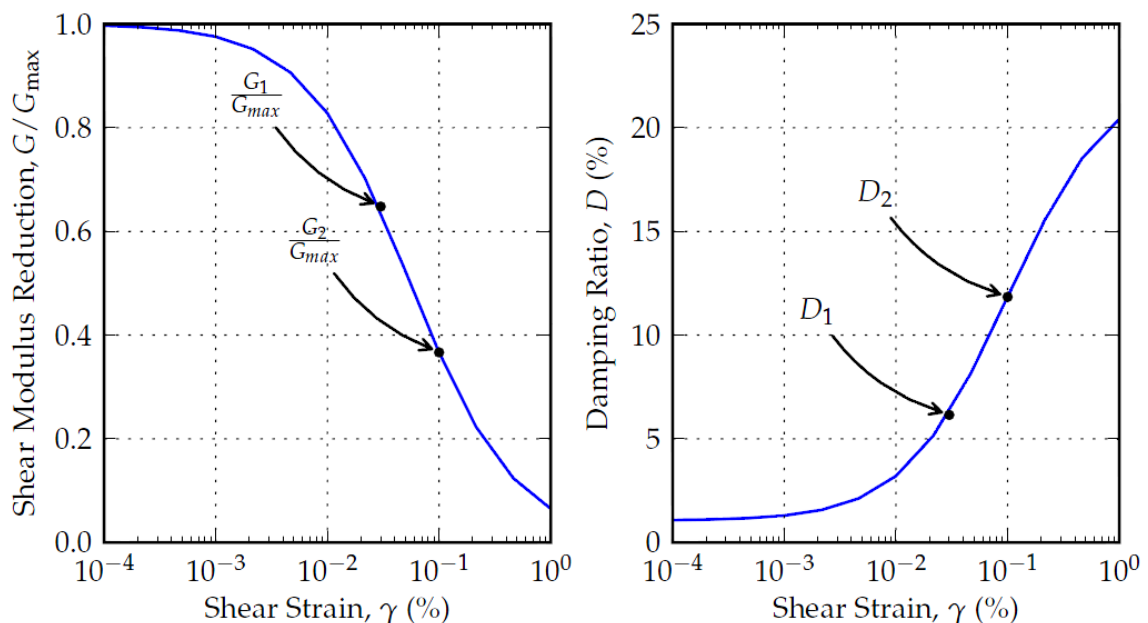


Figura 53. Curvas de reducción de módulo de corte y amortiguamiento que caracterizan la respuesta no lineal del suelo (Kottke, 2010).

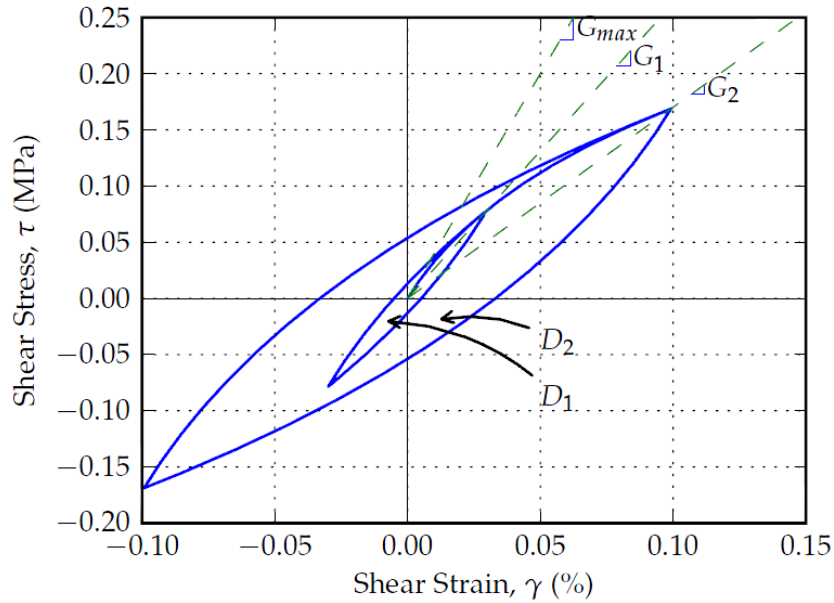
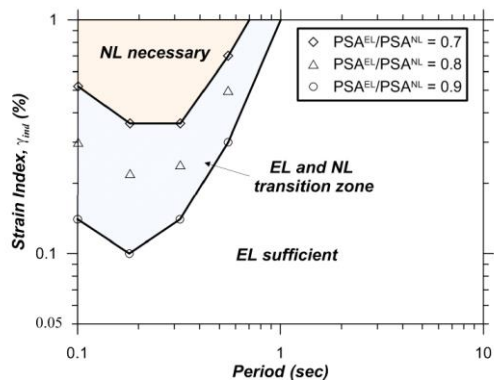


Figura 54. Respuesta no lineal típica de esfuerzo de corte vs. deformación de corte de un suelo bajo cargas cíclicas (Kottke, 2010).

Existe una metodología, planteada por Kaklamanos et al (2013), según la cual es posible definir de manera anticipada cuales son los tipos de análisis requeridos para obtener la respuesta dinámica de sitio, basándose en las máximas deformaciones por cortantes esperadas y los periodos de interés. En la Figura 55, se aprecia el planteamiento de Kaklamanos et al (2013), referente a los tipos de análisis necesarios para obtener la respuesta dinámica de sitio.



$$\gamma_{ind} = \frac{PGV^r}{V_{S30}}$$

Cuando usar análisis Lineales Equivalentes Vs Nolineales

Kaklamanos et al (2013)

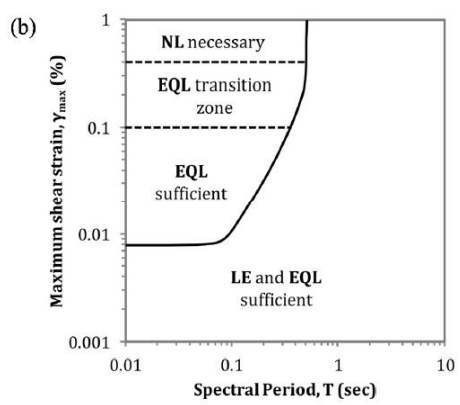
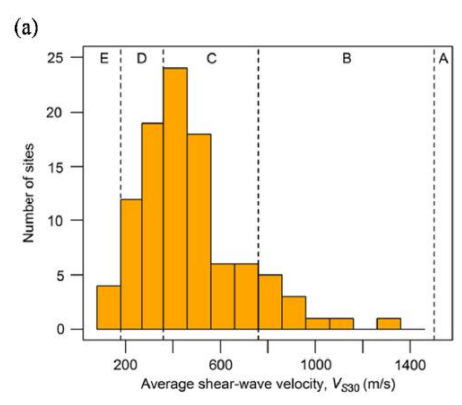


Figura 55. Dependencia de los periodos estructurales y el índice de deformaciones por cortante máximas para determinar el modelo de análisis a utilizar. Tomado y modificado de Kaklamanos et al (2013).

Asi mismo, Kaklamanos tambien propuso una relacion entre el PGA registrado y el periodo espectral, para determinar el tipo de analisis que debe ser aplicado. (Figura 56)

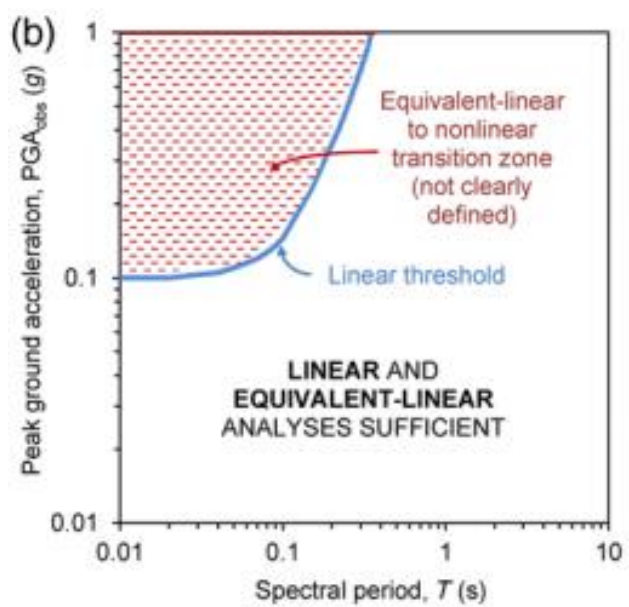


Figura 56. Dependencia de los periodos estructurales y el PGA observado con el fin de determinar el tipo de análisis a utilizar. Tomado y Modificado de Kaklamanos et al (2013).

### 2.7.2.1. Métodos de aproximación lineal

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.

Uno de los modelos equivalentes lineales más conocidos y calibrados (análisis en esfuerzos totales) se implementa en el programa SHAKE (Schnabel et al., 1972), que calcula la respuesta de un sistema de capas homogéneas, viscoelásticas de un límite horizontal infinito, sometidos a un movimiento de la onda de corte viajando verticalmente. SHAKE se basa en la solución continua a la ecuación de onda (Kanai, 1951), adaptada para su uso con movimientos transitorios a través del algoritmo de Transformada Rápida de Fourier (FFT). Si bien SHAKE es el más utilizado, en la actualidad existen otros softwares para el análisis de respuesta EQL, como EERA y DEEPSOIL (siendo este último el utilizado para la presente investigación).

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 nuevas deformaciones se calculan en base a las propiedades actualizadas. Estas iteraciones continúan hasta que las propiedades asignadas a cada capa en los análisis de propagación de onda sean consistentes con las deformaciones generadas en cada capa. El nivel de deformación utilizado para seleccionar las propiedades compatibles con la deformación no es la deformación por corte máxima en el dominio de tiempo, sino más bien una deformación de corte efectiva ( $\gamma_{\text{eff}}$ ) que típicamente es aproximadamente el 65% del valor pico. Una vez seleccionadas las propiedades (G y D) el método EQL las mantiene constantes en el dominio del tiempo.

En suelos estratificados se presentan fronteras (debido al cambio de rigidez y amortiguamiento de los estratos) en las cuales las ondas sísmicas pueden ser transmitidas y/o reflejadas; para cuantificar la cantidad de la frecuencia ha sido transferida al siguiente estrato se utiliza las funciones de transferencia (Olivares Hernandez & Quintana Mendoza, 2014). Otro aspecto importante del análisis de respuesta de sitio EQL es que se realiza en el dominio de la frecuencia usando funciones de transferencia. El dominio del 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.



Posteriormente, se obtiene los espectros en el dominio del tiempo en la superficie del terreno mediante la aplicación de una FFT inversa.

### 2.7.2.2. Métodos de aproximación 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 (ver Figura 57).

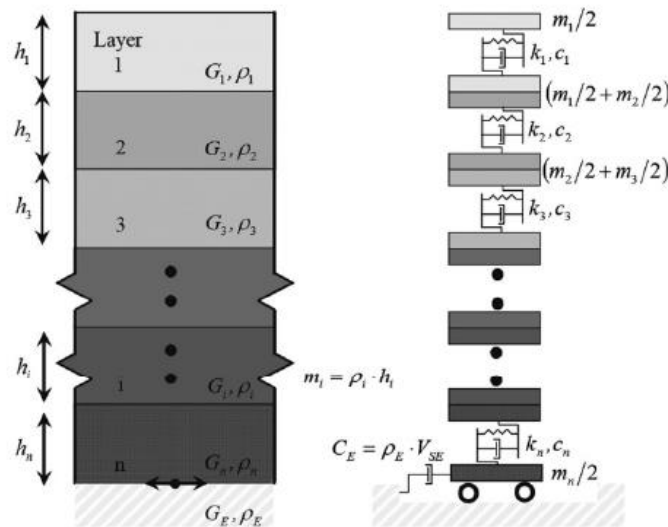


Figura 57. Sistema de grado múltiple de libertad con sistema de masa agrupada correspondiente a Muelle no lineal y un amortiguador para un amortiguamiento viscoso. Tomado y modificado de Hashash (2010)

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 histerética del suelo bajo carga cíclica. Una curva esqueleto común (Figura 58) es la del modelo MKZ (Matasovic & Vucetic, 1993), que es una hipérbola modificada definida como:

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

En donde,

$\tau$ : esfuerzo de corte

$G_{max}$ : módulo de corte máximo.

$\gamma$ : deformación por cortante.

$\gamma_r$ : deformación por cortante de referencia

$\alpha$ : factor adimensional.

$s$ : exponente adimensional

Park y Hashash (2004), con el fin de representar la dependencia del módulo en función de la presión de confinamiento, propusieron la siguiente expresión para  $\gamma_r$ :

$$\gamma_r = a \left( \frac{\sigma'}{\sigma_{ref}} \right)^c$$

En donde,

$a$  y  $c$ : son escalares que dependen del tipo de suelo en base a determinaciones de laboratorio.

$\sigma'$ : es el esfuerzo vertical efectivo.

$\sigma_{ref}$ : es el esfuerzo de referencia.

Esta curva requiere tres parámetros de ajuste:  $\alpha$ ,  $\gamma_r$  y  $s$  en adición de  $G_{max}$  (que se define para cada capa basándose en la velocidad de onda de corte). Las reglas 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.

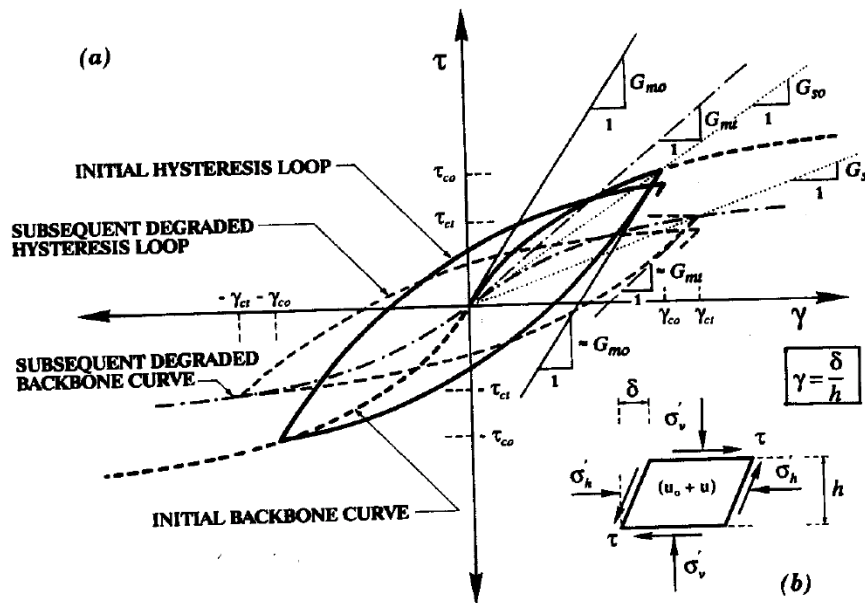


Figura 58. Curva esqueleto MKZ (Matasovic & Vucetic, 1993)

Los modelos que se adhieren totalmente a las reglas 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 (Darendeli, 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).

En general existen tres posibles alternativas para generar lo anterior:

- Ajuste MR: Se logra un ajuste adecuado entre la curva de rigidez utilizada y la curva objetivo, sin embargo, no se logra un ajuste adecuado en la curva de amortiguamiento, lo anterior debido a una limitación inherente al criterio Masing.
- Ajuste MRD: Se obtiene un ajuste balanceado entre las curvas de rigidez como amortiguamiento.
- Ajuste DC: Se obtiene un ajuste adecuado entre la curva de amortiguamiento utilizada y la curva objetivo, pero no se logra lo mismo para la curva de rigidez.

Darendeli (2001), propuso un procedimiento empírico mediante el cual se obtiene un mejor ajuste de las curvas de rigidez y amortiguamiento (modificando las reglas Masing) en los rangos de altas deformaciones, dicho procedimiento se basa en los resultados obtenidos a partir de cerca de 200 pruebas dinámicas. La solución propuesta por Darendeli reduce el amortiguamiento histerético en

un 40% para pequeñas deformaciones y en un 70% para deformaciones mayores, lo que ocasiona que se obtengan magnitudes de amortiguamiento cercanas a las generadas en laboratorio, sin embargo, para grandes deformaciones se obtiene valores inconsistentes.

Finalmente, con el objetivo de mejorar el ajuste, Phillips (2013), generó una expresión basándose en la metodología planteada por Darendeli (2001), teniéndose que la forma funcional de tal factor de reducción del amortiguamiento es:

$$F(\gamma_m) = p_1 - p_2 \left(1 - \frac{G_{\gamma_m}}{G_0}\right)^{p_3}$$

En donde,

$P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$ : son parámetros adimensionales seleccionados para obtener el mejor ajuste posible con la curva de amortiguamiento objetivo.

$G_{\gamma_m}$ : es el módulo de corte secante correspondiente al máximo nivel de deformación por cortante ( $\gamma_m$ ).

$G_0$ : es el módulo de corte máximo.

El procedimiento antes descrito se encuentra implementado en el software DEEPSOIL y el procedimiento en general se denomina MRDF y dependiendo de la solución elegida, en su nomenclatura MRDF-UIUC para la solución de Phillips y MRDF Darendeli para la solución originalmente propuesta por Darendeli (2001).

### **2.7.2.3. DIFERENCIAS ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS EQL Y NL**

En los análisis EQL, la función de transferencia utiliza mayores valores de  $G$  y menores amortiguamientos en deformaciones pequeñas ( $< 0.6 \gamma_{max}$ ) para alcanzar la deformación efectiva objetivo, sobreestimando así la respuesta sísmica. Rathje y Kottke (2011) realizaron comparaciones de análisis no lineales (NL) y lineales equivalentes (EQL) encontrando lo siguiente:

- Para  $T < 0.04$  s, los análisis NL resultan en aceleraciones espectrales menores en comparación con los EQL.
- Para periodos entre 0.04 s y 0.2 s, los análisis NL predicen mayores amplificaciones que los análisis EQL, debido al cambio instantáneo de rigidez que produce una inversión de esfuerzos y un sobre amortiguamiento en el análisis EQL (Assimiaki y Kausel, 2002). Es decir, las

aceleraciones de altas frecuencias en el movimiento no pueden ser transmitidas en el modelo EQL debido a que el mismo converge en bajos valores de G y altos amortiguamientos. (Figura 59)

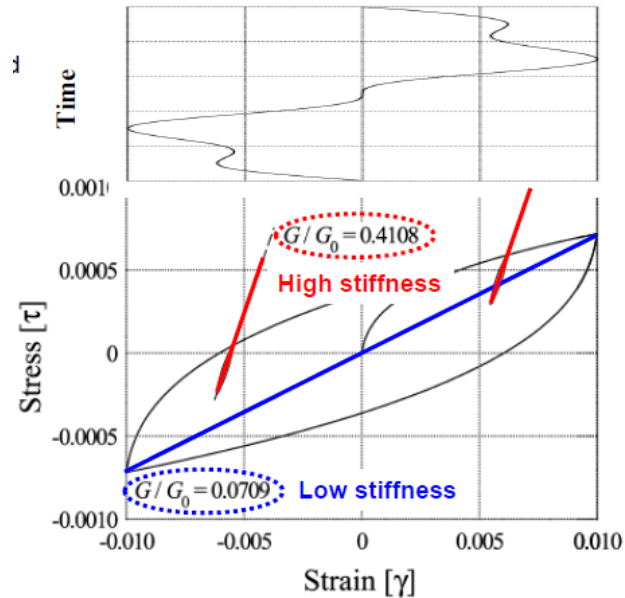


Figura 59. Ciclo de histéresis pequeño superpuesto a un ciclo de histéresis grande. (Assimiaki y Kausel, 2002)

- Para periodos cercanos al periodo natural del sitio, se obtuvo menor amplificación sísmica en el modelo NL, ya que la rigidez y por consiguiente el periodo natural del sitio está cambiando continuamente (al mantener constante dichos parámetros, el modelo EQL resulta en una sobrestimación).

Kaklamanos et al. (2013) y Kim et al. (2013), estudiaron sitios con periodos cortos y  $V_{s30} > 180$  m/s, y encontraron que no existen diferencias significativas entre ambos modelos de análisis para periodos  $T > 1$  s, para los niveles de deformación inducidos en dicho estudio. Por otro lado, Carlton y Tokimatsu (2016) indican que para sitios con depósitos profundos y blandos (altos valores de  $T_e$ ), como es el caso de las zonas D1, D2, D3 y D4 en la ciudad de Guayaquil, se puede observar comportamientos no lineales en periodos largos, especialmente para movimientos de entrada que inducen a deformaciones máximas por corte.

La Figura 60. Muestra los métodos de análisis EQL (línea roja) y NL (línea negra) en el dominio de la frecuencia. En esta figura se puede observar cómo ambos métodos varían con respecto a los distintos niveles de frecuencia. El modelo EQL registra una subestimación debido al aumento en

el amortiguamiento producto de aceleraciones de frecuencias altas. En cambio, la linealidad constante del modelo EQL resulta en una sobrestimación de la demanda sísmica en la proporción más fuerte del movimiento. Cabe recalcar que el PGA obtenido (correspondiente al pico más alto en la frecuencia) es mayor para el modelo EQL que para el NL.

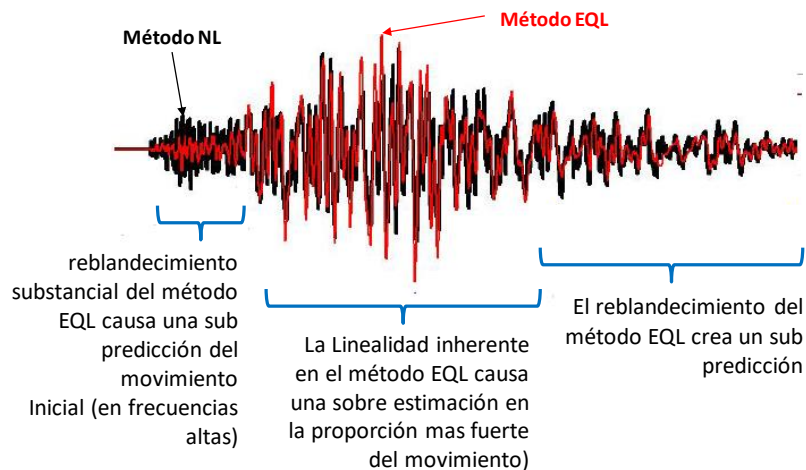


Figura 60. Correspondencia entre el nivel de frecuencia y la estimación de la demanda sísmica, tanto para análisis EQL (línea roja) y NL (línea negra)

## 2.8. ESPECTROS DE RESPUESTA

Elnashai y Di Sarno (2015), definen los espectros de respuesta como la expresión gráfica de la respuesta máxima de la aceleración, velocidad y desplazamiento de un *sistema de un grado de libertad* (SDOF), como una función de varios periodos naturales o estructurales ( $T_n$ ), generados por la dinámica de un evento sísmico. Dicha representación gráfica, usualmente, es una familia de curvas calculada para una excitación sísmica específica, en la cual se ve involucrado el factor del amortiguamiento estructural (Elnashai y Di Sarno, 2015), mediante los cuales se puede conocer la historia dinámica provocada por un registro de movimientos fuertes del suelo (Hernández, 2013); además Espinoza, M. (2015), agrega que algunos parámetros que pueden estar involucrados con el desarrollo del espectro de respuesta son: la frecuencia circular ( $\omega_n$ ), y la frecuencia cíclica ( $f_n$ ). Espinoza, M. (2015), menciona que, los espectros de respuesta deben graficarse usando distintos valores de fracción de amortiguamiento ( $\xi$ ) establecidos a fin de cubrir el intervalo de valores de amortiguamiento en las estructuras reales. (Figura 61)

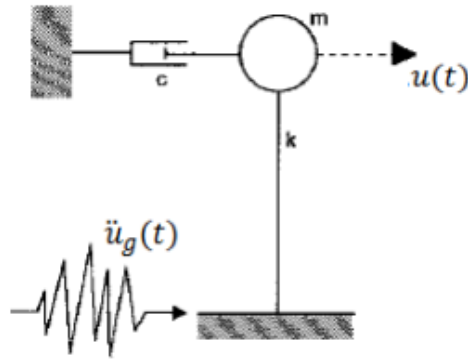


Figura 61. Modelo de un sistema con un grado de libertad sometido a una excitación sísmica. Tomado y modificado de Espinoza, M. (2015).

Para la construcción de un espectro de respuesta, Espinoza, M. (2015), plantea los siguientes pasos a seguir:

- 1) Establecimiento del intervalo de muestreo constante, para facilitar el proceso de computo.
- 2) Selección de un periodo natural ( $T_n$ ), de acuerdo al intervalo de muestreo, y un valor de razón de amortiguamiento ( $\xi$ ), para un sistema de un grado de libertad.
- 3) Obtener mediante método numéricos la respuesta de desplazamiento debido a una aceleración. Entre metodologías comunes para dicho cálculo se pueden mencionar: el método de las ocho constantes, la integral de Duhamel, etc.
- 4) Se determina el valor máximo de la respuesta. El valor puede estar en función de desplazamiento, pseudovelocidad o pseudoaceleraciones.
- 5) Repetición del proceso para los consecutivos periodos naturales o de interés.

Elnashai y Di Sarno (2015), plantean que, el valor de la ordenada en el espectro cuando las cifras de periodo natural son iguales a cero, se denomina PGA (*PeakGroundAcceleration*, en inglés), para el espectro de aceleración ( $S_a$ ); PGV para el espectro de velocidad ( $S_v$ ); y PGD para el espectro de desplazamiento ( $S_d$ ). Para valores de periodos cercanos o inferiores a 0.5 segundos (periodos cortos), se determina la respuesta espectral para estructuras rígidas; mientras que para valores iguales o mayores a 1 segundo (periodos largos), se determina la respuesta espectral para estructuras flexibles, encontrándose que para periodos altos el comportamiento de la respuesta espectral en cuanto a aceleraciones, tiende a cero. En la Figura 62, se muestra una representación gráfica de la obtención de las aceleraciones espectrales para un sistema rígido y flexible.

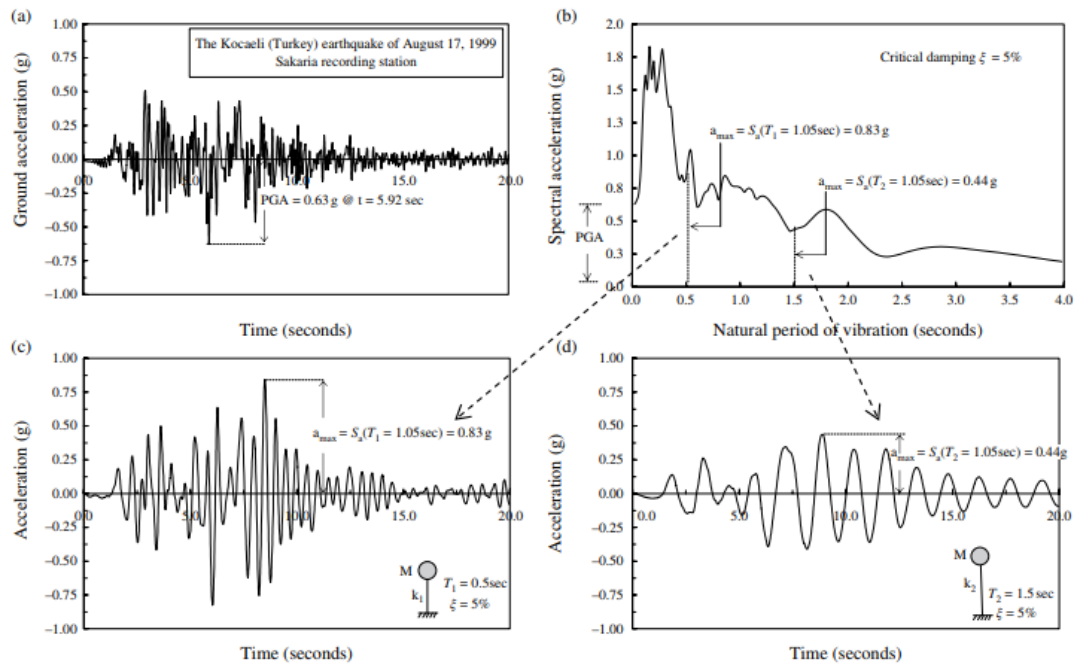


Figura 62. Gráfico explicativo de cómo se obtiene: a) a partir de un registro de aceleraciones de campo; b) el espectro de respuesta para un sistema de un grado de libertad; c) usando un periodo natural para un sistema rígido; y d) para un sistema flexible. Tomado y modificado de Elnashai y Di Sarno (2015).

En cuanto al cálculo de un espectro de respuesta, Ballester (2009), menciona que, se puede resolver considerando las ecuaciones del movimiento de un oscilador simple bajo un *sistema de un grado de libertad*, a partir de dos metodologías: a) la resolución de ecuaciones en el dominio del tiempo, y b) en el dominio de la frecuencia. Para fines de esta investigación nos referiremos a la resolución de las ecuaciones usando el método del dominio del tiempo.

Ballester (2009), describe la ecuación del movimiento de un sistema dinámico lineal de un grado de libertad con amortiguamiento viscoso, excitado por una fuerza variable en el tiempo mediante la siguiente expresión matemática:

$$m\ddot{d}(t) + c\dot{d}(t) + kd(t) = F(t)$$

En donde,

m: es la masa del sistema.

c: es el coeficiente de amortiguamiento.

k: es la rigidez del sistema.

$\ddot{d}(t)$ : segunda derivada de la función desplazamiento (aceleración del sistema).

$\dot{d}(t)$ : primera derivada de la función desplazamiento (velocidad del sistema).

$d(t)$ : función desplazamiento (desplazamiento del sistema).



En el caso de los estudios de ingeniería sísmológica, el sistema dinámico es excitado por una aceleración sísmica en la base ( $a_g(t)$ ), de modo que la expresión se modificaría de la siguiente manera:

$$m[\ddot{d}(t) + a_g(t)] + c\dot{d}(t) + kd(t) = 0$$

Resolviendo queda,

$$m\ddot{d}(t) + c\dot{d}(t) + kd(t) = -ma_g(t)$$

Según la expresión anterior, la fuerza  $F(t)$ , vendría siendo la fuerza inercial inducida por la aceleración sísmica. Sin embargo, la forma final de la ecuación, tal y como se plantea en estudios de ingeniería sísmica sería de la siguiente manera:

$$\ddot{d}(t) + 2\xi(2\pi f_n)\dot{d}(t) + d(t) = -ma_g(t)$$

En donde,

$f_n$ : es la frecuencia natural del sistema.

$\xi$ : es el factor de amortiguamiento.

Los factores antes mencionados se pueden estimar según las siguientes expresiones matemáticas:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Y,

$$\xi = \frac{c}{c_c}$$

En donde,

$c_c$ : es el coeficiente del amortiguamiento por encima del cual el sistema está críticamente amortiguado, y se define según la expresión que se muestra a continuación.

$$c_c = 2m2\pi f_n$$

Para estudios de ingeniería sísmica es común utilizar valores del factor de amortiguamiento ( $\xi$ ), que estén por debajo de 0.2, los cuales generalmente vienen expresados como porcentaje de amortiguamiento. Algunos porcentajes típicos de amortiguamiento son: 1%, 5%, 10% y 20%.

Dado que el espectro de respuesta será calculado, considerando un sistema de oscilador simple de comportamiento lineal, se puede estudiar el sistema considerando una excitación sísmica tipo impulso, en donde la aceleración sísmica vendría siendo una sucesión de impulsos. La respuesta del sistema para cada uno de los impulsos puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$d(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} -a_g(\tau) h_{ag,d}(t - \tau) d\tau$$

En donde,  $h_{ag,d}(t)$  es la función de respuesta a un impulso, y se define a partir de la siguiente expresión:

$$h_{ag,d}(t) = \frac{1}{2\pi f_d} e^{[-\xi 2\pi f_n t] \sin 2\pi f_d t}$$

Siendo,  $f_d$  es la frecuencia amortiguada, la cual se define mediante la siguiente fórmula matemática:

$$f_d = f_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

Finalmente usando la integral de impulso, se tiene que las expresiones para definir los espectros de desplazamiento, velocidad y aceleración son los siguientes:

$$d(t) = \frac{1}{2\pi f_d} \int_0^t a_g(\tau) \sin(2\pi f_d(t - \tau)) e^{-\xi 2\pi f_n(t-\tau)} d\tau$$

$$v(t) = \dot{d}(t) = \left\{ \int_0^t a_g(\tau) \cos(2\pi f_d(t - \tau)) e^{-\xi 2\pi f_n(t-\tau)} d\tau \right\} - \xi 2\pi f_n d(t)$$

$$\begin{aligned} a(t) &= \ddot{d}(t) + a_g(t) \Rightarrow (2\pi f_n)^2 (2\xi^2 - 1) d(t) \\ &- 2(2\pi f_n) \xi \int_0^t a_g(\tau) \cos(2\pi f_d(t - \tau)) e^{-\xi 2\pi f_n(t-\tau)} d\tau \end{aligned}$$

### 2.8.1. Tipos de espectro de respuesta.

Espinoza, M. (2015), menciona que los tipos de espectros de respuesta son los siguientes:

- a) Espectros de respuesta elástica. Permiten representar los parámetros de respuesta máximos para un evento sísmico específico y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se usan con el fin de analizar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. La estructura irregular dentro de las curvas de los espectros de respuesta, en donde se manifiestan picos y valles bruscos, resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto.
  
- b) Espectros de respuesta inelástica. Tienen semejanza con los espectros de respuesta elástica, considerando que el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no-lineal; es decir, que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico debido a la acción del terremoto o sismo. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sismorresistente, dado que su análisis implica razones prácticas y económicas para la mayoría de las construcciones que están diseñadas bajo la hipótesis que incursionarán en el campo plástico. Para los análisis de respuesta inelástica, se construyen espectros de aceleración, desplazamiento de fluencia o desplazamiento último de sistemas inelásticos, en donde se consideran distintos niveles de ductilidad o distintos tipos de comportamiento histerético de la estructura.

Para fines de la presente investigación, se desarrollarán los resultados, en torno a la teoría relacionada con los espectros de respuesta elástica del suelo.

## CAPITULO III

### MARCO METODOLOGICO

#### 3.1. REVISIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA Y DISEÑO DE BASE DE DATOS UNIFICADA.

Previo al procesamiento de los datos se hizo una recopilación de todos los registros de perforaciones y ensayos realizados para los distintos sitios seleccionados. Los datos provenían de ensayos de laboratorio, ensayos geofísicos de campo, perforaciones usando la metodología del SPT, perforaciones de tipo CPTu, etc.

La información geotécnica de cada sitio se obtuvo de la base de datos de la empresa Geoestudios S.A., la cual a su vez es un compendio de datos proveniente de otras empresas y de campañas realizadas en la ciudad de Guayaquil en los siguientes periodos: Previo al 2005, del 2005 al 2006, durante la campaña de zonificación sísmica de Guayaquil en 2014 y 2015, y de campañas más recientes del 2015.

Con el fin de tener datos indexados y organizados por sitios, se procedió a crear una base de datos unificada, en donde se incluyera toda la información extraída de los reportes. Esta base de datos permitió la caracterización geotécnica de todos los sitios de interés manteniendo un formato uniforme. Cada sitio fue caracterizado en base a SUCS, N60, Su, %w, LL, IP, Cu, D50.

En la Tabla 18, se presenta el esquema de los datos recopilados para cada sitio, mencionando la empresa que ejecutó el estudio, y las propiedades geotécnicas que se determinaron.

Tabla 18. Base de datos unificada, con la información por sitio de análisis.

Sitio	Perforaciones	Año	Empresa	Propiedades geotécnicas	Vs	CPTu
SITE D1-1	A&E12 / GYE05S	Previo a 2005		w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, E, N, $\gamma$ .	Sí	-
SITE D1-2	A&E18 / GYE06S	Previo a 2005		w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, E, N, Su $\gamma$ .	Sí	-
SITE D1-3	A&E22 / GYE07C	Previo a 2005		w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, E, N, $\gamma$ .	Sí	-
SITE D1-4	La Playita PA-3	Previo a 2005	Cevaconsult	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, E, N, $\gamma$ .		
SITE D1-5	La Playita PT-1	Previo a 2005	Cevaconsult	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, E, N, $\gamma$ .		
SITE 214ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-
SITE 213ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-

Sitio	Perforaciones	Año	Empresa	Propiedades geotécnicas	Vs	CPTu
SwissotelDowntown	GEO-01	2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.	Sí	Sí
Planta de Tratamiento Esclusas		2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.	Sí	
Línea Imp. Sur 1		2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos (%), OCR, Su, N, Cu, D50.	Sí	Sí
Línea Imp. Sur 2		2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos (%), OCR, Su, N, Cu, D50.	Sí	Sí
Estación Bomb. Pradera	P-1, P-2, P-3	2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.	Sí	
SITE D2-1	SPT14M / P-5	Previo 2005	Nylic / Cevaconsult	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE D2-2	SPT19M / P-5	Previo 2005	Nylic / Cevaconsult	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE 212ECU	-	2005 - 2006		-	Sí	-
Zofragua	P-1, P-2	2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, OCR, N, Cu, D50.	Sí	Sí
SITE D3a-1	AET32	Previo 2005	AET	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE D3a-2	AET64	Previo 2005	AET	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE D3a-3	CKP-1	Previo 2005	AET / Cevaconsult	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE D3a-4	CKP-2	Previo 2005	AET / Cevaconsult	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE D3b-1	AET104	Previo 2005	AET	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE D3b-2	P-1-1, P-1-2	Previo 2005				
SITE D3b-3	P-1	Previo 2005	Cevaconsult	w, LL, LP, IP, Finos (%), Su, N, γ.		
SITE 209ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-
SITE 218ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-
SITE 221ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-
SITE 210ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-
SITE 216ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-
SITE 211ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-
Edif. Murano	P-1, P-2	2018	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.	Sí	Sí
Edif. Gub. Fco. Orellana	GEO-1... GEO-7, P-1... P-7	2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), Su, OCR, N, Cu, D50.	Sí	Sí
Hospital Abel Gilbert	P-2	2014	Geoestudios / Tecnac	w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.		Sí

Sitio	Perforaciones	Año	Empresa	Propiedades geotécnicas	Vs	CPTu
Pantano Seco - Interagua		2014	Geoestudios / Tecnac	W, LL, LP, Su, OCR,	Sí	Sí
Estación CICG	-	2017	Geoestudios	-	Sí	-
Hospital IESS Sur	P-1, P-2	2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.	Sí	-
Aerovía sitio G1	Geo-01_G1	2014	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.	Sí	Sí
SITE D4-1	GYE-08N	Previo 2005			Sí	
SITE D4-2	GYE-13N	Previo 2005			Sí	
SITE D4-3		Previo 2005				
SITE 219ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	
SITE 217ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	
Paso Elevado Fco. Orellana		2018			Sí	-
Estación Bomb. Progreso	P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-06	2017	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), OCR, Su, N, Cu, D50.	Sí	Sí
Edif. The Point	Geo-1, Geo-2, Geo-3, Geo-4 y Geo-5	2014	Geoestudios		Sí	
Estación Tratamiento Merinos		2017	Geoestudios	w, LL, LP, IP, Finos(%), Su, OCR, N, Cu, D50.	Sí	Sí
SITE D5-1		Previo 2005				
SITE D5-2	GYE-12P	Previo 2005				
SITE D5-3	GYE-11N	Previo 2005				
SITE D5-4		Previo 2005				
SITE 220ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	
SITE 222ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	
Monte Sinaí	P-1, P-2, P-3, P-4	2014		w, LL, LP, IP, Finos(%), N, Cu, D50.	Sí	-
SITE 215ECU	-	2005 – 2006		-	Sí	-

La Tabla 19 presenta un ejemplo del formato utilizado para la caracterización de la perforación GEO-1 del sitio SWISSHOTEL. El formato de izquierda a derecha Sample (muestra), Depth (profundidad), NSPT, FC%, Unit Weight (peso específico), Cu, D50, wc%, LL%, LP%, IP%. Dicho formato se mantuvo para todas las perforaciones consideradas para los sitios de estudio. Además de las perforaciones, la base de datos cuenta con una hoja de resumen en donde se muestran las coordenadas UTM de dichas perforaciones, las coordenadas UTM de ensayos CPTu y mediciones de Vs, en caso de ser existentes estas dos últimas. Es importante mencionar que para simplificar

el proceso de caracterización se estipularon los pesos específicos en 16 kN/m<sup>3</sup> para los suelos finos, 17 kN/m<sup>3</sup> para arenas y 18 kN/m<sup>3</sup> para las gravas; en todos los sitios de estudio.

Tabla 19. Ejemplo del formato utilizado para la caracterización de los sitios. Sitio SWISSHOTEL GEO-1

Sample	Depth (m)	Soil type (USCS)	NSPT	FC (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cu	D50 (mm)	wc (%)	LL (%)	PI (%)
1	0,2	PAV								
2	3	RELLENO								
3	4	CH	6	73,83016	16			54,50607	59	34,87689
4	5	CH	2	84,6622	16			75,4717	65	33,73462
5	6	CH		99,47917	16			76,42361	71	39,5085
6	7	CH	2	99,18033	16			74,83607	53	28,03582
7	9	ML		99,1453	16			63,71406	46	16,20817
9	10	ML	3	57,7747	16			57,94421	42	15,28241
10	11	CH	4	85,12931	16			86,42241	78	49,40092
11	12	CH		84,20192	16			88,10605	84	50,42192
12	13	SM	14	21,76964	17	4,39	0,17	47,95652		
13	14	SM	11	15,81852	17	2,42	0,15	37,89086		
14	15	CH		84,01867	16			73,2627	65	36,32588
15	16	CH	3	81,6568	16			83,78698	68	36,28354
16	17	SM	20	17,08666	17	6,62	0,23	36,07867		
17	18	SM	20	17,7305	17	7,53	0,23	34,04255		
18	19	SP-SM	29	9,674611	17	4,48	0,29	27,36968		
19	20	SM	14	19,06401	17	4,38	0,19	47,00619		
20	21	SM	28	19,16928	17	3,51	0,17	39,07067		
21	22	SM	14	16,18866	17	3,4	0,18	46,01657		
22	23	SM	33	17,06161	17	3,24	0,17	71,16329		
23	24	SP-SM	34	11,4873	17	2,27	0,15	43,65175		
24	25	SM	35	19,07935	17	2,49	0,14	40,39976		
25	26	SM	33	18,41716	17	2,54	0,14	44,08284		
26	27	SM	15	16,89106	17	2,63	0,15	34,08813		
27	28	ML	11	80,82104	16			39,44836	46	18,16986
28	29	SM	49	14,29623	17	5,58	0,28	25,60597	65	37,18066
29	30	SM	26	13,61798	17	11,76	0,33	19,19101	70	40,84884
30	31	ML	21	88,52357	16			42,05955	48	18,95068
31	32	CH		96,36776	16			38,93303	75	43
32	33	CH	54	85,29272	16			80,18684	65	34,92054
33	34	MH	77	93,22328	16			41,26846	77	38,2786
34	34,3	SP-SM	100	10,5156	17	5,76	0,36	24,69471		
35	35	SP	100	2,753873	17	3,7	0,51	25,34423		
36	36	SP-SM	100	5,563094	17	3,76	0,46	24,64948		

### 3.2. MODELADO DE LAS COLUMNAS DE SUELO

El proceso de modelamiento de las columnas de suelo, consistió en realizar de manera adecuada la distribución de las propiedades geomecánicas para cada uno de los estratos, empezando desde los más superficiales hasta los más profundos, para cada uno de los sitios de interés.

Para obtener la respuesta dinámica del suelo, la asignación de las propiedades del suelo debe realizarse a través de estratos con un espesor predefinido; dicho espesor debe establecerse ya sea de manera directa a partir de la información de perforaciones existentes, o para cumplir con

el criterio de la resolución vertical de los estratos, la cual depende de la velocidad de onda de corte y de la frecuencia. La expresión que regula la resolución vertical de los estratos, viene dada por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{V_s}{4F} \leftrightarrow H = \frac{V_s}{4F} \Rightarrow F = \frac{V_s}{4H}$$

En donde,

$\lambda$ : es la longitud de onda, para resolución vertical de los estratos.

$V_s$ : es la velocidad de onda de corte.

$F$ : es la frecuencia del estrato.

$H$ : es el espesor del estrato.

El espesor de los estratos, calculado mediante la expresión que se presentó previamente, debe cumplir con la restricción postulada por Hashash et al. (2015) según la cual se recomienda un valor mínimo de  $f_{max}=30$  Hz, de manera que se pueda garantizar que durante el proceso de análisis para cada estrato se puedan simular frecuencias de al menos 30Hz.

Seguidamente, luego de haber garantizado el espesor correcto de las capas, se procedió a diferenciar los materiales del subsuelo, entre suelos granulares y suelos finos. Cabe destacar que, las columnas se construyeron de tal modo que son una descripción simplificada del suelo presente en cada lugar de análisis, en donde las propiedades geomecánicas se asignaron a los paquetes de suelo considerando las tendencias en magnitudes de cada parámetro geotécnico (**Error! Reference source not found.**).

Es necesario resaltar que, durante esta etapa de procesamiento, se realizó una depuración de la información proveniente de los registros de campo, ya que muchos de los ensayos o perforaciones tienen más de 15 años de haber sido ejecutados. Además, se buscó comparar los datos de las perforaciones más antiguas, provenientes de las campañas previas al 2005, con respecto a información que ha sido adquirida más recientemente. De esta manera se pudo conformar modelos litológicos más consistentes con la geología y las condiciones geotécnicas de cada sitio.

A continuación, se describen los procedimientos asociados a la generación de los modelos.



### 3.2.1. Procedimientos de ajuste de curvas dinámicas según SUCS.

La creación de la base de datos unificada permitió la caracterización de cada sitio en base a ocho parámetros geotécnicos (SUCS,  $N_{60}$ ,  $S_u$ , %w, LL, IP, Cu, D50). Sin embargo, con el propósito de simplificar el procesamiento de datos, para el modelado de las columnas de suelo de cada sitio se reemplazó la denominación SUCS con el procedimiento de ajuste de curvas dinámicas a llevarse a cabo, correspondiente con cada tipo de suelo. Dichos procedimientos de ajuste llevan el nombre de sus autores y son Menq, Darandeli, Darandeli\_BSF (calibración de Darandeli para las arcillas cementantes de Guayaquil) y Pestana (para arcillas profundas). (Tabla 20) Cada procedimiento de ajuste considera ciertos parámetros más que otros y serán descritos adelante en este capítulo.

Tabla 20 Procedimiento de ajuste de curva dinámica para cada tipo de suelo SUCS con parámetros requeridos

SUCS	Procedimiento	Parámetros requeridos para modelado
SC, SM, SP, SW, GM, GP, GW, GC	Menq	Cu, D50, $\phi$
ML	Darandeli	IP, OCR
CL, OL, MH, CH, OH, PT	Darandeli_BSF	
CL, OL, MH, CH, OH, PT (>2.5 atm)	Pestana	

Como se puede observar en la tabla 20, todos los suelos granulares se los modelo como Menq, mientras que todos los suelos finos se modelaron como Darandeli\_BSF y Pestana (según su presión de confinamiento vertical, siendo Pestana utilizado para  $\sigma > 2.5$  atm) a excepción de los limos de baja plasticidad (ML) a los cuales se los modelo como Darandeli normal por no poseer las características cementantes de los demás suelos finos de Guayaquil.

### 3.2.2. Estimación de la resistencia al corte no drenado $S_u$ y del ángulo de fricción $\phi$ a partir de correlaciones

Resultó relevante además correlacionar, para la definición de algunos parámetros geotécnicos de los cuales no se contaba con información en algunos sitios, como es el caso de la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) y el ángulo de fricción  $\phi$ . Para el primero, se obtuvo una tendencia lineal del valor de  $S_u$ , para suelos finos, esto con el fin de realizar el ajuste de la resistencia al corte con el modelo de GQ/H en función del esfuerzo de confinamiento efectivo. La tendencia referente al  $S_u$ , que como se mencionó en el capítulo II de esta investigación se determinó en base a los resultados

obtenidos de los ensayos de corte simple realizados para los suelos finos de Guayaquil, corresponde a la siguiente expresión:

$$\tau = S_u = 0.38\sigma'_v$$

En donde,

$\tau$ : es la resistencia al corte de los suelos.

$S_u$ : es la resistencia al corte no drenado de los suelos.

$\sigma'_v$ : es el confinamiento vertical efectivo.

Se demostró que, la tendencia resulta satisfactoria y se ajusta bastante bien a las estimaciones de  $S_u$  con el sondeo CPTu y a correlaciones en base al N60 (ver figura 64). Sin embargo, en algunas capas (las superficiales y las más profundas, por ejemplo) se debió modificar el valor de  $S_u$  a valores mas altos para asegurar un correcto ajuste de las curvas dinámicas.

Por otro lado, para el caso de los materiales friccionantes, la resistencia al corte se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\tau = \sigma'_v \tan \varphi'$$

En donde,

$\tau$ : es la resistencia al corte de los suelos granulares.

$\sigma'_v$ : es el confinamiento vertical efectivo.

$\varphi'$ : es el ángulo de fricción efectivo.

Para estimar el ángulo de fricción de los materiales, se usó la expresión postulada por Schnaid et al. (2009), la cual se presenta a continuación:

$$\varphi' = 18N_{1,60}^{0.234}$$

En donde,

$\varphi'$ : es el ángulo de fricción efectivo.

$N_{1,60}$ : número de golpes de los ensayos SPT, normalizados y reducidos por el 60% de energía.

### **3.2.3. Estimación de la profundidad y velocidad de onda de corte del estrato rocoso (semiespacio).**

Ya que la respuesta dinámica de la superficie es sensible a las variaciones en la profundidad y rigidez del estrato rocoso, fue necesario definir la profundidad del semiespacio a partir de los resultados de los ensayos de medición de periodos elásticos (método de Nakamura) y

estimaciones de la velocidad de onda de corte del semi espacio en base a mediciones *in situ* como los métodos de sismica activa y pasiva (MASW, SASW, MAM, ReMi), así mismo se tomó en consideración la información aportada por el mapa de isoperiodos de la ciudad de Guayaquil incluido en el documento de la Microzonificación Sísmica de Guayaquil presentado por Vera-Grunauer et al (2014), del cual ya se hizo mención en el *CAPITULO I* de esta investigación.

El primer parámetro a definir fue la profundidad del semi espacio, el cual se estableció a partir de curvas y expresiones empíricas que relacionan el periodo elástico del sitio con la profundidad del semiespacio (

Figura 63). Las correlaciones empíricas usada para esta investigación con el fin de ubicar la profundidad del estrato competente y el estrato rocoso son las postulada por Vera-Grunauer et al (2014), las cuales obedecen a una ley parabólica de la forma  $Z(m) = y_0 + aT_e + bT_e^2$ ; y que se conformaron a partir de información proveniente de sondeos o ensayos geofísicos con los que se logró detectar el substrato rocoso y de los periodos elásticos calculados usando la relación de las componentes horizontales con la componente vertical (HVSR) de datos derivados de mediciones con el método de Nakamura o de las estaciones sismológicas aplicando el análisis sobre la onda de coda de sismos recientes.

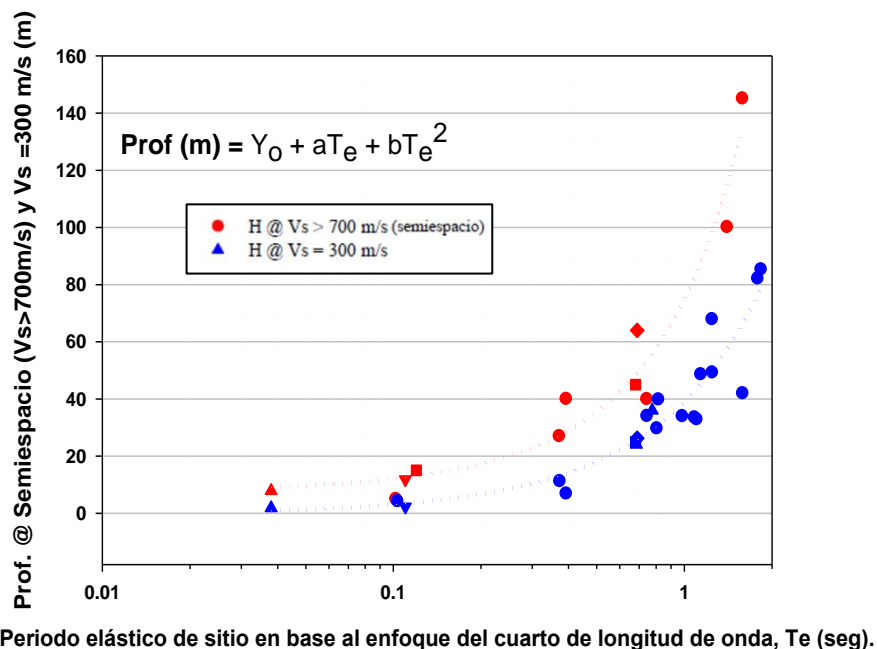


Figura 63. Curvas de tendencia entre la profundidad del semi-espacio – periodo elástico (curva roja) y la profundidad donde  $V_s=300$  m/s – periodo elástico (curva azul). Tomado y modificado de Vera-Grunauer et al (2014).

Los coeficientes relacionados con las correlaciones planteadas por Vera-Grunauer et al (2014), se pueden observar en la Tabla 21, junto con el ajuste  $R^2$  de los datos utilizados.

Tabla 21. Coeficientes para las correlaciones empíricas de Vera-Grunauer et al (2014), para estimación de la profundidad del semi espacio

Estrato	$Y_0$	a	b	$R^2$
$V_s \approx 300$ m/s	-0.44	34.87	4.54	0.8713
$V_s > 700$ m/s	7.349	45.23	22.28	0.9518

Posteriormente, la selección de las velocidades del semiespacio, se basó siguiendo las consideraciones establecidas por Vera-Grunauer et al (2014), quienes plantearon a partir de la estimación del periodo elástico del subsuelo y otros aspectos de índole geotécnica y geológica definir la profundidad y la velocidad de onda de corte adoptada para el semiespacio utilizando la regla general plasmada en la Tabla 22.

Tabla 22. Establecimiento de la velocidad del semi espacio en base a la profundidad estimada. Calibraciones del semiespacio a partir de los sitios: Campos de Beisbol del sector Kennedy, y del Estadio Ramón Unamuno.

H (m)	Minimum halfspace $V_s$ (m/s)	Basado en
$\leq 70$	700	-
70 - 90	800	-
90 - 130	1000	BSF2 calibrated site
> 130	2000 - 2800	ERU calibrated site

Finalmente, en cuanto a la caracterización del semi espacio se refiere, se comprobó que, en base a la información geológica de la columna de suelo, el contraste de impedancia entre el suelo y el semi espacio fuese inferior a 0.05.

#### 3.2.4. Perfil de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) adoptado para la columna de suelo.

El establecimiento del perfil definitivo de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ), de toda la columna de suelo, desde superficie hasta el estrato más profundo (excepto el semiespacio), se obtuvo mediante las estimaciones de los ensayos geofísicos hasta la profundidad admisible por la longitud del arreglo, y correlaciones de los ensayos CPTu y SPT; por lo tanto, en términos generales, se obtuvo una estimación de la  $V_s$  hasta los 35 a 45 metros de profundidad usando esos ensayos.

Sin embargo, dado que no todos los ensayos mencionados detectan el semi espacio, se usaron como referencia las correlaciones de la  $V_s$  para de arcillas blandas, duras y arenas densas presentadas por Lin et al (2014), con el fin de extender la estimación de la  $V_s$  hasta la profundidad establecida para el estrato rocoso, tomando en cuenta los modelos estratigráficos que involucran a cada sitio de análisis. A continuación, se presentan las expresiones matemáticas utilizadas para estimar la velocidad de onda de corte hasta la profundidad del semi espacio.

a) Para arcillas blandas estuarino deltaicas:

$$V_s = 120 \left( \sigma'_m / P_a \right)^{0.273}$$

b) Para arcillas duras estuarino deltaicas:

$$V_s = 230 \left( \sigma'_m / P_a \right)^{0.261}$$

c) Para arenas densas:

$$V_s = 280 \left( \sigma'_m / P_a \right)^{0.261}$$

En donde,

$V_s$ : es la velocidad de onda de corte (m/s).

$\sigma'_m$ : es el esfuerzo medio de confinamiento.

$P_a$ : es la presión atmosférica, asumiendo 1 atm = 101 kPa.

Agregando a lo anterior, cabe destacar que, las estimaciones de  $V_s$  que se emplearon a partir de las mediciones de sondeos CPTu, no consideraron la estimación de  $V_s$  propuesta por Robertson para las capas con  $I_c > 2.6$  (limos variados, arcillas y suelos), y en su lugar las estimaciones de  $V_s$  a partir de los datos de cono estático, provienen del planteamiento propuesto por Vera-Grunauer et al. (2014), el cual parte de la teoría de la expansión de la cavidad de cilindros infinitos y cuya formulación es la siguiente:

$$V_s = \sqrt{\frac{3gq_c}{2N_{kc}\gamma(1+\nu)} e^{\frac{3N_{kc}-4}{4} \frac{1}{2\beta}}}$$

En donde,

G: es igual a 9.81 m/s<sup>2</sup>.

$q_c$ : es la resistencia a la punta del cono (kPa).

$\gamma$ : es el peso volumétrico unitario del suelo ( $\text{kN/m}^3$ ).

$\nu$ : el coeficiente de Poisson.

$N_{kc}$  y  $\beta$ : son valores calibrados dependientes de las zonas geotécnicas de la ciudad de Guayaquil.

A continuación, en la Tabla 23, se presentan los valores establecidos para la estimación de  $V_s$  a partir de la información del cono estático, para cada una de las zonas geotécnicas de la ciudad de Guayaquil:

Tabla 23. Media de los parámetros de  $N_{kc}$  y  $\beta$  para la estimación de  $V_s$  de Vera-Grunauer et al (2014) usando la teoría de expansión de cavidades de cilindros infinitos.

Zona Geotécnica	Media $N_{kc}$	$\beta$
D1, Estuarino Deltaico	11	0.30
D2, Estuarino Deltaico	13	0.25
D3, Estuarino Deltaico	12	0.22
D4, Llanura Aluvial	11	0.26

Los parámetros de entrada necesarios para realizar el ARS (véase **Error! Reference source not found.**), son los siguientes: espesor de las capas, peso volumétrico, coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ),  $D_{50}$ , la resistencia al corte para suelos granulares usando el ángulo de fricción, la resistencia al corte para suelos finos usando el  $S_u$ , y la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ).

En la Figura 64 se puede observar un compendio de todo lo antes mencionado. Esta figura corresponde al modelo gráfico de la columna de suelo y los parámetros geotécnicos de interés para el sitio SWISSHOTEL; el mismo modelo será presentado para los 53 sitios de estudio en el anexo de este trabajo de titulación. De izquierda a derecha se muestra el  $N_{60}$ , los valores medidos de  $S_u$  y los estimados a partir de la correlación empírica ( $S_u = 8N_{60}$ ) de Vera-Grunauer et al.; se puede apreciar también que la línea de tendencia obtenida a partir de la correlación  $S_u = 0.38 \sigma'_v$  se ajusta con los valores estimados. Así mismo, en la columna de  $V_s$  se pueden observar las líneas de tendencia para arcillas blandas, arcillas duras y arenas densas que parten de las correlaciones de  $V_s$  presentadas previamente en este capítulo.

Tabla 24. Ejemplo de parámetros de entrada para una columna de suelo para el ARS. Sitio SWISSHOTEL

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		Cu	D50 (mm)	φ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )								
MAT1	Menq	3,00	17,00	50,00	8,00	35,00	#N/D	#N/D	Menq		
MAT2	Darandeli_BSF	7,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF		
MAT3	Darandeli	10,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	16,00	1,00	Darandeli		
MAT4	Darandeli_BSF	12,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF		
MAT5	Menq	14,00	17,00	3,40	0,16	33,00	#N/D	#N/D	Menq		
MAT6	Darandeli_BSF	16,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF		
MAT7	Menq	29,00	17,00	4,00	0,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq		
MAT8	Menq	30,00	17,00	11,76	0,33	35,00	#N/D	#N/D	Menq		
MAT9	Darandeli_BSF	34,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF		
MAT10	Menq	38,00	17,00	4,00	0,46	38,00	#N/D	#N/D	Menq		
MAT11	Darandeli_BSF	51,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF		
MAT12	Menq	70,00	17,00	4,60	0,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq		
SEMIESPACIO			21,00							800	

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
3,0	200,0
7,0	80,0
10,0	110,0
12,0	120,0
14,0	200,0
16,0	120,0
25,0	250,0
30,0	300,0
34,0	260,0
38,0	320,0
51,0	270,0
70,0	360,0

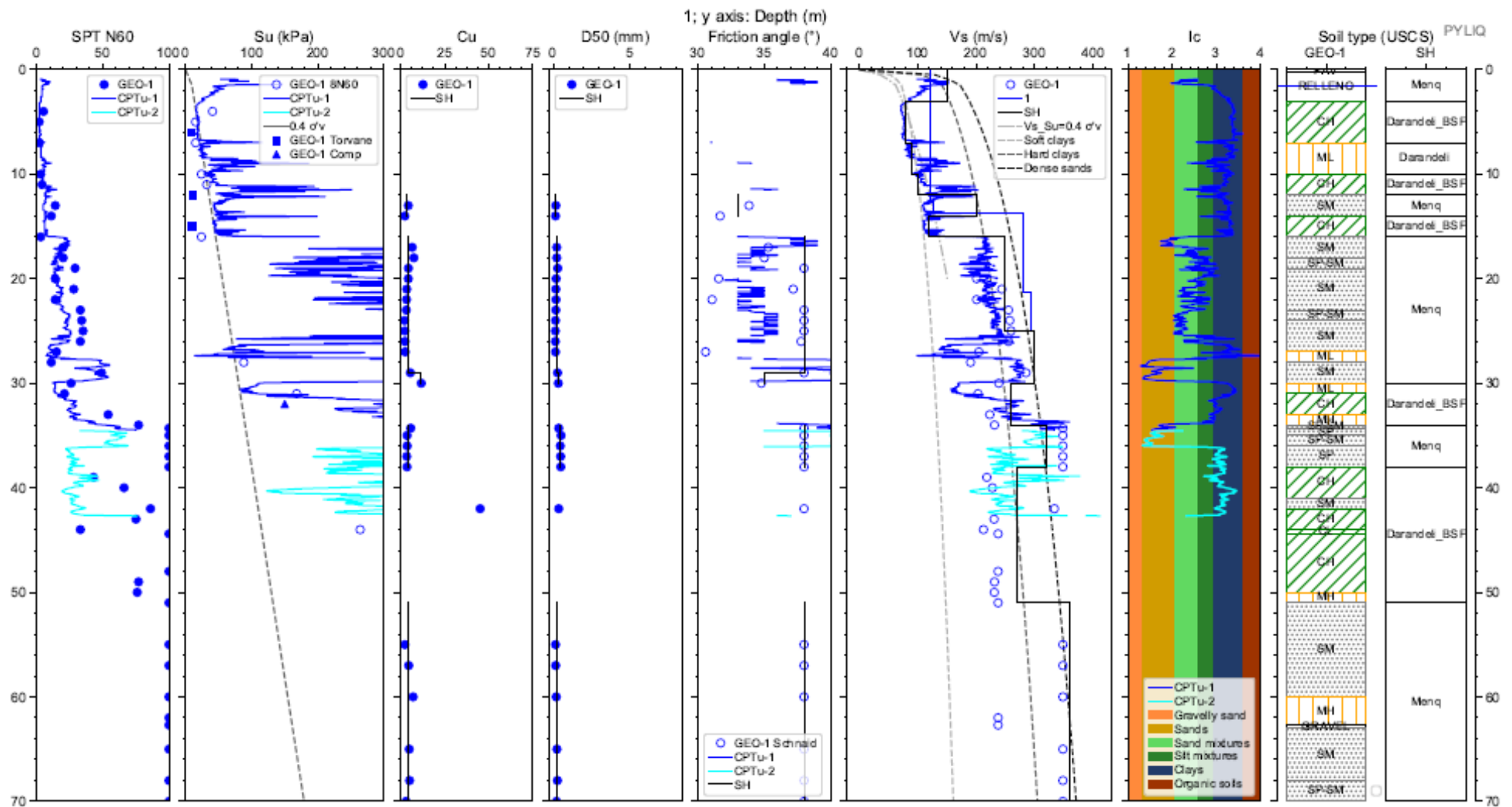


Figura 64. Modelo adoptado a partir de parámetros geotécnicos para el sitio de SWISSHOTEL.



### **3.2.5. Cálculo de las curvas de degradación del módulo de corte y la variación de la razón de amortiguamiento.**

El siguiente paso luego de definir la columna de suelo y el perfil de  $V_s$  adoptado, consiste en generar las curvas dinámicas de los materiales del subsuelo, las cuales corresponden a las curvas de degradación del módulo de rigidez y de la razón de amortiguamiento con respecto a las deformaciones unitarias cortantes, tanto para los suelos granulares (arenas y gravas) como también para los suelos finos (limos y arcillas).

Siguiendo el mismo orden de ideas, para las curvas dinámicas de los materiales friccionantes se generaron a partir del modelo de Menq (2003), el cual requiere como parámetros de entrada el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ), el coeficiente de presión lateral ( $K_0$ ), el número de ciclos de carga ( $N$ ) y el diámetro de partícula 50% pasante ( $D_{50}$ ); mientras que 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 ( $F$ ).

Debido a los aportes provenientes de los resultados del informe de Microzonificación de Guayaquil, presentados por Vera-Grunauer et al (2014), en donde se comprobó que existe una relación entre la cementación por pirita presente en las arcillas de Guayaquil con la respuesta dinámica de superficie (ya que dicha cementación hace que la razón de amortiguamiento disminuya), se ha considerado dicho comportamiento no lineal para realizar un ajuste paramétrico en la formulación del modelo propuesto por Darandeli (2001), mediante el cual se pueda simular de manera adecuada el efecto por cementación por pirita. Sin embargo, es necesario mencionar que esta calibración sólo se aplicó a modelos de suelos en donde se consiguieran materiales arcillosos y limosos de alta plasticidad.

Se realizó una calibración del modelo de Darandeli (2001) como se puede observar en la Figura 65, a partir de las curvas dinámicas obtenidas de ensayos de laboratorio para sitios de Guayaquil, en los cuales los materiales arcillosos presentaron cementación por pirita manteniendo la microestructura original de la arcilla, y sin mantener la microestructura original de la arcilla; dichos ensayos fueron realizados bajo un esfuerzo confinante de 0.62 atm y un  $IP$  de 51.

Describiendo con más detalle, el proceso de calibración y comparación, en la Figura 65 y Figura 66, está representado con una línea de color rojo la curva estimada por Darendeli (2001) sin realizar al ajuste paramétrico, sin tomar en cuenta los efectos de cementación; seguidamente, en color azul se muestra la curva del modelo propuesto por Darendeli (2001) luego de aplicar la

calibración que permite simular cementación, pero sin ajustar por resistencia al corte; y posteriormente, con una línea de color azul oscuro se muestra la curva estimada por Darendeli (2001), incluyendo la calibración por cementación de pirita y con el ajuste por resistencia al corte con el modelo GQ/H.

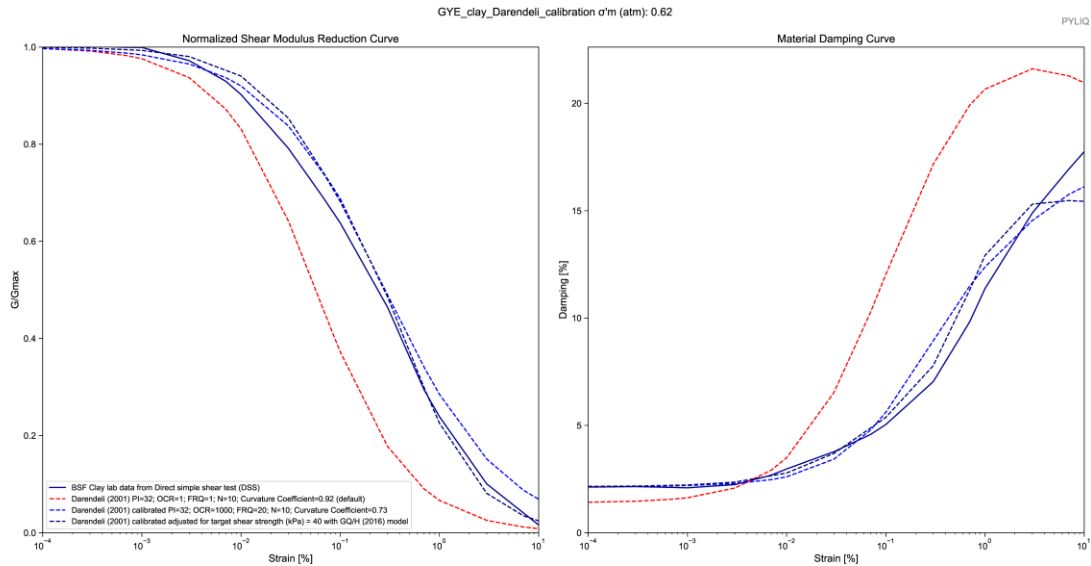


Figura 65. Curvas dinámicas de la degradación del módulo de rigidez y de la razón de amortiguamiento obtenidas a partir de ensayos de laboratorio para las arcillas del sitio BSF de la ciudad de Guayaquil a un esfuerzo confinante de 0.62 atm, y la respectiva calibración considerando los efectos de cementación.

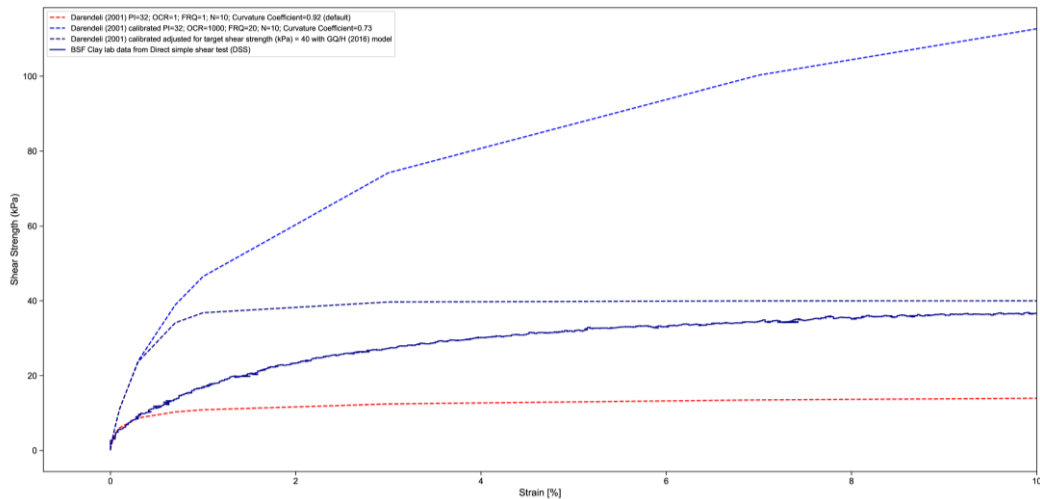


Figura 66. Curvas de la resistencia al corte calibrada usando la información de cementación en las arcillas de Guayaquil. Calibración sin ajustar / ajustando por resistencia al corte (azul línea -- y azul oscuro línea -- respectivamente).

En cuanto a la generación de las curvas dinámicas de los materiales finos presentes en las columnas de suelo, en donde se consiguieran esfuerzos de confinamiento ( $\sigma'_m$ ) entre 3 a 5 atm, se calibraron las curvas comparándolas con el modelo propuesto por Pestana y Salvati (2006), que se conoce bajo el nombre de *SimSoilCementedClays*; el cual, asimismo, fue utilizado por Vera-Grunauer et al. (2014) y cuyas curvas dinámicas pueden apreciarse en la Figura 67

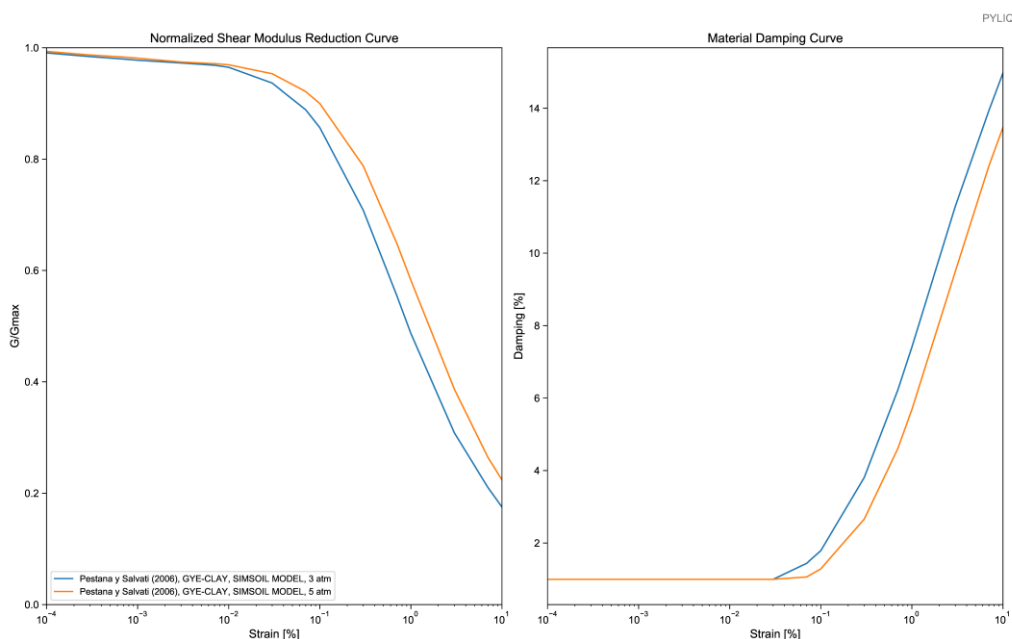


Figura 67. Curvas dinámicas modelo SimSoil cemented clays (Pestana & Salvati, 2006) obtenidas para esfuerzos  $\sigma'_m$  de 3 y 5 atm presentadas por Vera-Grunauer et al. (2014).

### 3.3. Selección y escalamiento de eventos sísmicos

El escalamiento de los sismos se llevó a cabo teniendo presente las normativas locales como la NEC-15, según la cual se establece que para un análisis de respuesta de sitio deben usarse al menos 7 registros. Los sismos fueron escalados a los espectros de peligro uniforme extraídos de la publicación de Beauval et al (2018) para tiempos de retorno de 43 años, 475 años, 1000 años y 2500 años (ver Figura 71).

La forma suavizada y continua de cada UHS, se obtuvo mediante un proceso de interpolación y extrapolación cuadrática. A partir de las curvas de peligro sísmico planteadas por Beauval et al (2018) que se presentaron en la Figura 11 plasmada en el *CAPITULO I*, se obtuvieron los valores de cada espectro de manera discreta, para valores de periodos estructurales como: PGA, 0.1 s, 0.2 s, 1 s y 2 s (véase Figura 68). En primer lugar, se interpoló mediante un algoritmo la curva de cada UHS, verificando un buen ajuste entre cada uno de los puntos extraídos de las curvas de peligro sísmico, y para periodos estructurales mayores de 2 s se hizo una extrapolación

comparando con los UHS calculados por Vera-Grunauer et al (2016), de modo que el comportamiento fuera similar.

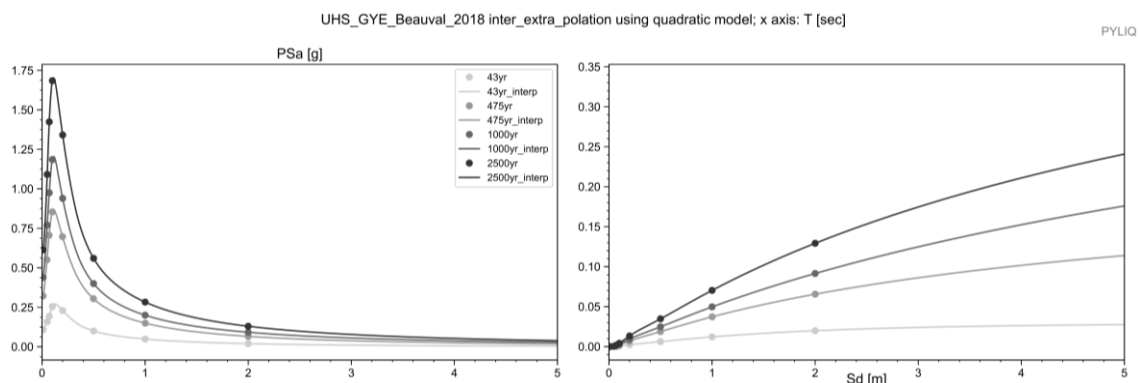


Figura 68. Espectros de Peligro Uniforme (UHS), para periodos de retorno de 43, 475, 1000 y 2500 años. La representación de los puntos, son los datos extraídos directamente de las curvas de peligro sísmico de Beauval et al (2018), para la ciudad de Guayaquil y las curvas el resultado de la interpolación y extrapolación.

Se conformo un conjunto de registros, de sismos provenientes de distintas partes del mundo, tales como: California, Taiwán, México, Japón, Chile, etc. Se consideró que el marco geológico del origen de aquellos sismos coincidiera con las condiciones que involucra la región costera del Ecuador, en donde asimismo se haya emplazada la ciudad de Guayaquil. En los correspondiente a los sismos de fuente lejana se verificó que su génesis estuviese emparentada con la zona de “Megathrust”, en donde se seleccionaron y escalaron un total de 22 registros sísmicos (pares de componentes horizontales de 11 eventos sísmicos). Cabe destacar, que dentro de los 22 registros tiempo historia, figura el sismo del 16 de abril de 2016 cuyo epicentro fue en Muisne, y que ha tenido un impacto sobre los estudios sismológicos en Ecuador.

Por otro lado, aunque el análisis de desagregación del UHS elaborado por Beauval et al (2018) considera que la mayor contribución de sismos para la ciudad de Guayaquil, es de fuente lejana, otros análisis como el de Vera-Grunauer et al (2016), manifiestan que existe un comportamiento bimodal en la desagregación del UHS, y que existe una contribución significativa para sismos de fuente cercana, por lo tanto se incluyó el análisis de 12 registros tiempo historia de sismos con una distancia epicentral inferior a 50 Km (pares de componentes horizontales de 6 sismos); teniendo en cuenta que los sismos de fuente cercana tuvieran características pulsátiles. En cuanto a los sismos de fuente cercana, actualmente no se cuentan con registros eventos pulsátiles que hayan ocurrido en territorio ecuatoriano, por lo cual todos los sismos de fuente cercana son de otros lugares.

Es importante mencionar que en el caso del periodo de retorno de 43 años no se consideró los sismos de fuente cercana, por lo tanto, sólo se realizó el escalamiento de sismos de fuente lejana para dicho periodo de retorno.

### 3.3.1. Escalamiento de movimientos sísmicos de fuente cercana.

El conjunto de sismos de fuente cercana, está conformada por un total de 12 registros de aceleraciones, agrupados de a pares, que corresponden a 6 eventos sísmicos, cuya distancia de ruptura es menor de 20 Km, y con un rango de magnitudes de momento que oscilan desde 5.7 hasta 7.6 grados.

La selección de los sismos, se vio condicionada por aquellos que fueran sismológicamente compatibles con el movimiento sísmico de control de entrada, en los periodos cortos del UHS. Seguidamente, se realizó el escalamiento de los 12 registros, usando el software RSPMATCH09, obteniéndose el mejor ajuste con el UHS, en los periodos estructurales que van desde 0.02s hasta 5 s.

La Tabla 25 muestra las características sismológicas de los 12 registros sísmicos escalados de fallas activas cercanas para eventos de fuente cercana, previo al procesamiento de las señales sísmicas usando el software RSPMATCH09.

Tabla 25. Características sismológicas de los movimientos sísmicos escalados para eventos de fuente cercana.

#	Nombre del Archivo	Datos sísmicos				Base de Datos	Estación sismológica		
		Evento, Momento	$T_{puls}$ (seg)	Mecanismo	Epicentro y Profundidad		Nombre	Sitio NEHRP	$R_{rup}$ (Km)
1	RSN33_PARKF_TMB205	1966							
2	RSN33_PARKF_TMB295	Parfield, California. Mw=6.2	-	Strike slip	Lat:36.0, Long:-120.5, Prof: 10Km		Temblo pre-1969	C	15.96
3	RSN150_COYOTELK_G06230	1979							
4	RSN150_COYOTELK_G06320	Coyote Lake, California. Mw=5.7	1.232	Strike slip	Lat:37.08, Long:-121.5, Prof:9.6Km		Gilroy Array #6	C	3.11
5	RSN763_LOMAP_GIL067	1989 Loma Prieta, California. Mw=6.9	-	Reverse oblique	Lat: 37.04, Long:-121.88, Prof:17.5Km	PEER NGA- West2 Ground Motion Database <a href="https://ngawest2.berkeley.edu/">https://ngawest2.berkeley.edu/</a>	Gilroy – Gavilán Coll	B	9.96
6	RSN765_LOMAP_G01000						Gilroy Array #1	B	9.64
7	RSN765_LOMAP_G01090								
8	RSN879_LANDERS_LCN260	1992							
9	RSN879_LANDERS_LCN345	Landers, California. Mw=7.3	5.124	Strike slip	Lat: 34.2, Long:-116.44, Prof:7.0Km		Lucerne	B	2.19
10	RSN1521_CHICHI_TCU089-E	1999 Chi-Chi, Taiwan. Mw=7.6	-	Reverse oblique	Lat:23.86, Long:120.8, Prof:6.8Km		TCU089	C	9.00
11	RSN1521_CHICHI_TCU089-N								
12									

Se muestra en la figura a continuación una muestra del escalamiento espectral realizado en RSPMATCH para uno de los sismos seleccionados considerando  $T_r = 475$  años. (Figura 70)

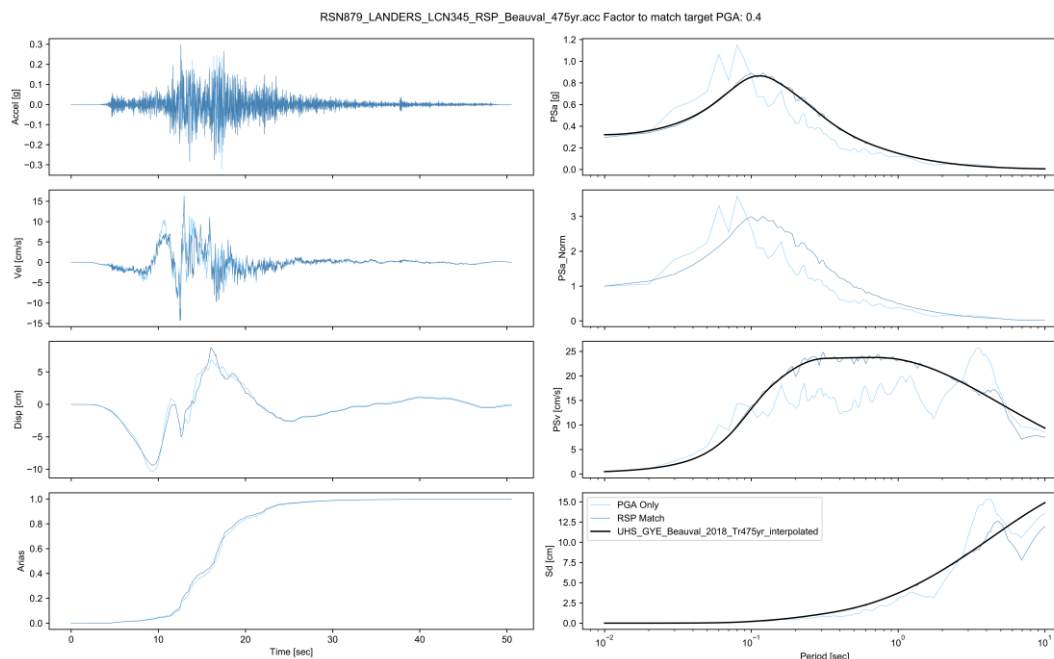


Figura 69. Escalamiento realizado en RSPMATCH para uno de los sismos de fuente cercana seleccionados considerando  $T_r = 475$  años.

### 3.3.2. Escalamiento de movimientos sísmicos de subducción de fuente lejana.

En cuanto a los sismos de fuente lejana, se incluyeron en la base de datos, aquellos que tuvieran un origen por el proceso de subducción, asociados a la zona de megathrust. El set de registros sísmicos proviene de un total de 11 eventos sísmicos, teniéndose 11 pares de componentes horizontales (22 registros tiempo historia). Las distancias epicentrales son mayores a 80 Km (oscilan de 82 a 300 Km), y sus respectivas magnitudes de momento se ubican en torno a los 7.8 a 9.0 grados, siendo el sismo de 7.8 el ocurrido el 16 de abril de 2016 en Muisne.

Respecto al registro asociado con el sismo de Muisne, el registro procede de la base de datos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN), correspondiendo en específico a la estación AGYE, ubicada en la Transeléctrica Pascuales, donde se emplaza la formación geológica de origen ígneo *Piñon*. Ya que el basamento rocoso de la ciudad de Guayaquil es la Formación Cayo, se hizo un escalamiento con método lineales para simular las condiciones de la formación sedimentaria, teniéndose un registro escalado como si hubiese sido registrado en la estación UCSG, también este procedimiento se llevó a cabo debido a que durante el sismo del 16 de abril de 2016, el acelerógrafo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil no pudo obtener el registro del evento sísmico completo, sino de manera parcial, debido a un desperfecto en el suministro eléctrico. Es así que en base al registro parcial de la estación UCSG se realizó

elestalamiento en el registro de la estación AGYE obteniendo un espectro modificado representativo de la Formación Cayo.

La Tabla 26 muestra las características sismológicas de los 22 registros sísmicos escalados de fallas activas lejanas para eventos de fuente lejana, previo al procesamiento de las señales sísmicas usando el software RSPMATCH09.

Tabla 26. Características sismológicas de los movimientos sísmicos escalados para eventos de fuente lejana.

#	Nombre del Archivo	Datos sísmicos		Base de Datos / Red	Estación sismológica		
		Evento, Momento	Epicentro y Profundidad		Nombre	Sitio NEHRP	R <sub>rup</sub> (Km)
1	20140401-234645-MNMCX-HLE				MNMCX	A o B	146.2
2	20140401-234645-MNMCX-HLN						
3	20140401-234645-PB08-HLE	2014		Centro	PB08	A o B	194.2
4	20140401-234645-PB08-HLN	Iquique,	Lat: 19.57, Long: -	Sismológico			
5	20140401-234645-PB12-HLE	Chile.	70.91, Prof: 38.9 Km	Nacional	PB12	A o B	122.3
6	20140401-234645-PB12-HLN	Mw=8.2		(CSN).			
7	20140401-234645-PSGCX-HLE			Universidad de	PSGCX	A	82.4
8	20140401-234645-PSGCX-HLN			Chile.			
9	20150916-225428-MT01-HNE	2015		<a href="http://www.csn.chile.cl/">http://www.csn.chile.cl/</a>	MT01	B	266.5
10	20150916-225428-MT01-HNN	Illapel,	Lat: -31.55, Long: -				
		Chile.	71.85, Prof: 11.0 Km				
		Mw=8.3					
11	MEX1985PAPN8509_H1			Red	PAPN	A o B	218.0
12	MEX1985PAPN8509_H2	1985		acelerográfica			
13	MEX1985PARS8509_H1	Ciudad de	Lat: 18.08, Long: -	del IINGEN de			
		México,	102.94, Prof: 15.0 Km	la UNAM.			
14	MEX1985PARS8509_H2	México.		<a href="http://aplicaciones.iingen.unam.mx">http://aplicaciones.iingen.unam.mx</a>	PARS	A o B	300.0
		Mw=8.0					
15	MY0031103111446_EW			Network Center	MYG003	A	152.0
16	MY0031103111446_NS	2011		for Earthquake,			
17	MY0041103111446_EW	Tóhoku,	Lat: 38.1, Long:	Tsunami and	MYG004	A	175.0
18	MY0041103111446_NS	Japón.	142.86, Prof: 24.0 Km	Volcano, NIED.			
19	MY0111103111446_EW	Mw=9.0		<a href="http://www.kyoshin.bosai.go.jp">http://www.kyoshin.bosai.go.jp</a>	MYG011	A	121.0
20	MY0111103111446_NS						
21	UCSG_16_04_16_Mw=7.8_EW	2016			UCSG	B	283.9
	_FF	Muisne,	Lat: 0.38, Long: -				
22	UCSG_16_04_16_Mw=7.8_NS	Ecuador.	79.92, Prof: 20.6 Km	-			
	FF	Mw=7.8					

Se muestra en la figura 70 un ejemplo del escalamiento espectral realizado en RSPMATCH para uno de los sismos seleccionados considerando  $T_r = 475$  años. Siguiendo el orden de ideas, en la figura 71 se puede apreciar las medianas de los registros sísmicos de NF y FF escalados para

cada periodo de retorno. Se puede observar que las medianas se ajustan perfectamente a sus respectivos UHS.

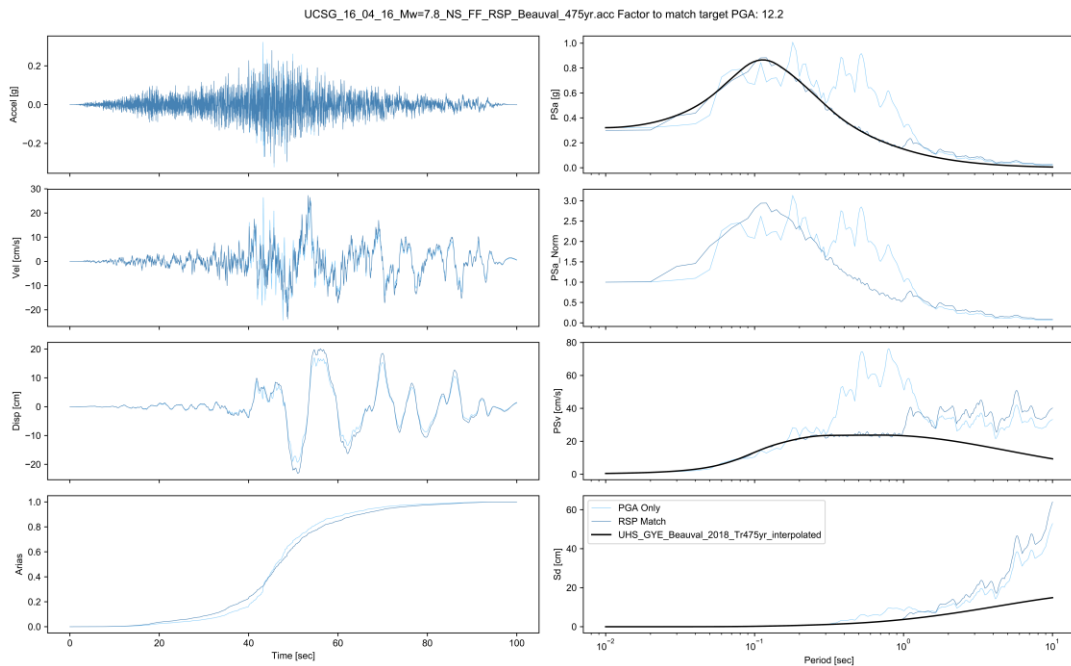


Figura 70. Escalamiento realizado en RSPMATCH para uno de los sismos de fuente lejana seleccionados considerando  $T_r = 475$  años.

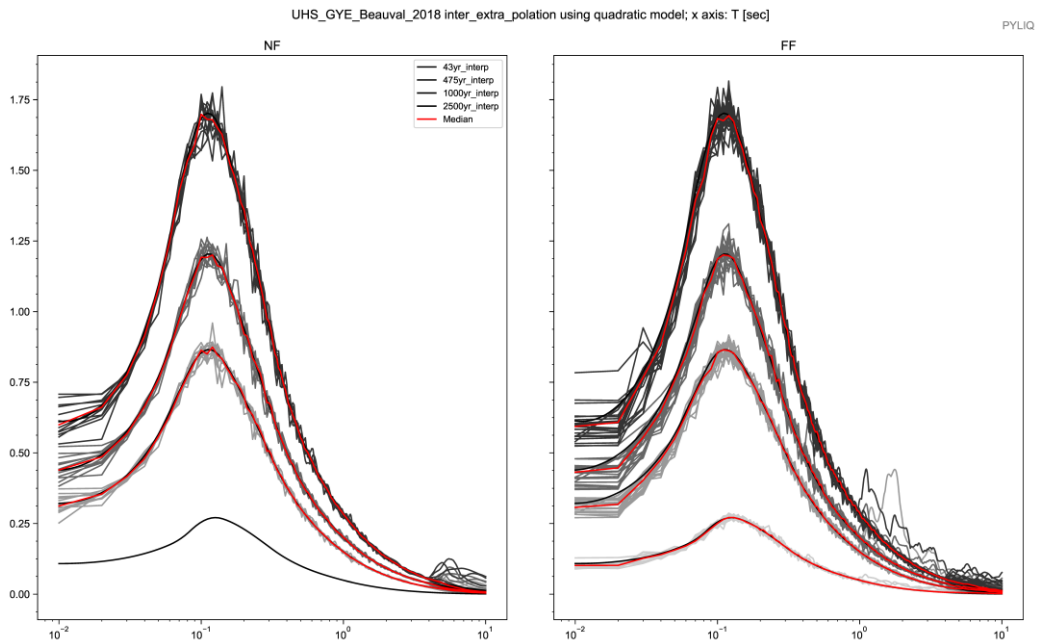


Figura 71. Espectros de respuesta de aceleración (5% de amortiguamiento estructural) de 12 registros sísmicos escalados para sismos corticales (fuente cercana, FC/NF) [izq.] y de 22 registros sísmicos escalados para sismos de subducción (fuente lejana, FL/FF) [der.] considerando  $T_r = 43, 475, 1000$  y  $2500$  años, de características sismológicas similares al espectro de peligro uniforme UHS esperado.

**Línea roja:** mediana de los sismos, **línea negra:** espectro de peligro uniforme; **líneas grises:** ajuste individual de cada sismo.



### 3.4. ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO

Posterior al proceso de modelamiento del subsuelo, la definición de las curvas dinámicas de cada material y luego de haber realizado el escalamiento de los sismos para los UHS para cada periodo de retorno, se procedió a obtener la respuesta dinámica mediante un software.

El flujo de trabajo, para obtener la respuesta dinámica, se llevó a cabo mediante el programa llamado Deepsoil, el cual fue desarrollado a través Visual Basic, este software permite el cálculo de efectos de sitio para modelo unidimensionales. Agregando a lo anterior, dicho programa, el cual fue desarrollado por Youssef, Hashash y Duhee Park en la Universidad de Illinois (Urbana-Champaign) presenta una interfaz gráfica en la cual se puede realizar el ingreso de la columna de suelo, y ajustes pre procesamiento; así como también, establecer el tipo de análisis deseado, es decir, permite escoger si se desea estudiar el comportamiento lineal o no lineal del suelo para obtener los resultados de la respuesta dinámica.

En el caso de la presente investigación, se realizaron análisis equivalente lineal (EQL) y análisis no lineal en esfuerzos totales (NL-ET), manejando información de los sismos de fuente lejana (FL) y fuente cercana (FC), para cada uno de los periodos de retorno usados en el estudio. Cabe destacar que, para el análisis del periodo de retorno de 43 años, solo se estudió el análisis EQL y NL-ET empleando los sismos de fuente lejana. A continuación, en la Tabla 27 se presenta un resumen de los análisis realizados en la investigación.

Tabla 27. Resumen de los análisis realizados en el presente documento, en función de los periodos de retorno y el tipo de sismo empleado.

<b>Periodos de retorno</b>				
<b>Análisis</b>	<b>Tr=43yrs</b>	<b>Tr=475yrs</b>	<b>Tr=1000</b>	<b>Tr=2500yrs</b>
<b>EQL</b>	FL	FL-FC	FL-FC	FL-FC
<b>NL-ET</b>	FL	FL-FC	FL-FC	FL-FC

El flujo de trabajo realizado para esta investigación, usando la interfaz gráfica de Deepsoil se llevó a cabo mediante un esquema o pasos, a través de los cuales se deben ingresar o establecer parámetros de procesamiento, presentándose en el siguiente orden:

a) Paso 1:

- 1) Tipo de análisis: EQL o NL-ET, con procesamiento en el dominio temporal o de la frecuencia.
- 2) Definición de la rigidez: usando velocidad de onda de corte o el módulo de corte.



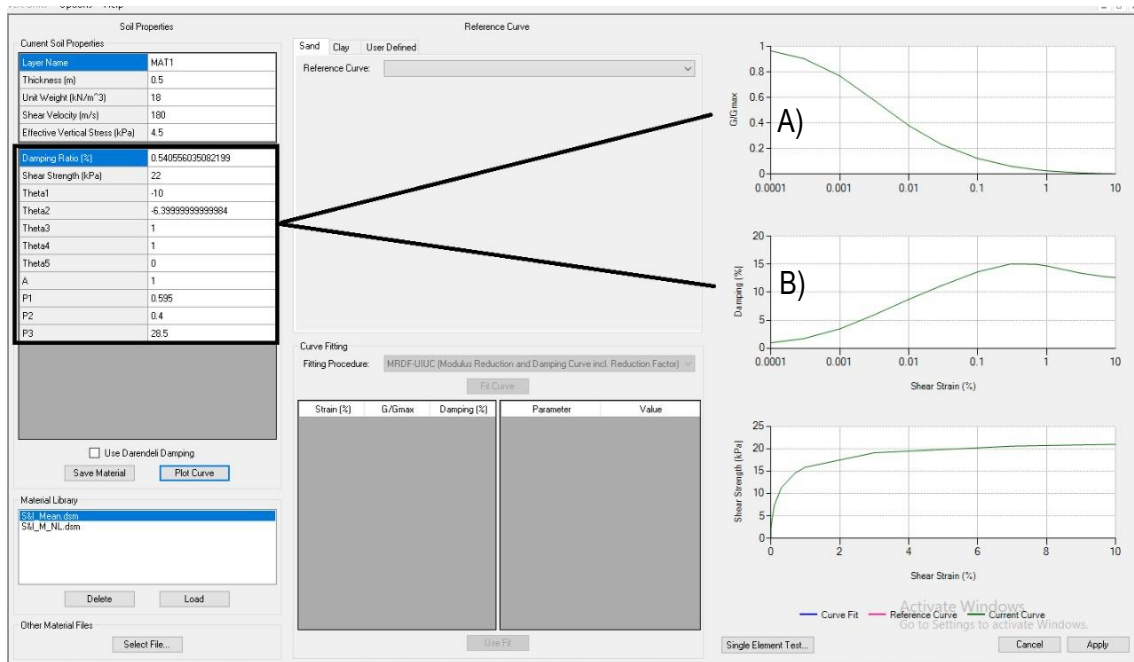


Figura 73. Interfaz gráfica de la opción “Material properties”, en donde se modifican las curvas dinámicas: a) de la degradación del módulo de rigidez, y b) de la razón de amortiguamiento.

En el paso 2a es posible introducir las capas de la columna de suelo y sus propiedades, de manera manual o cargando un archivo en donde estén precargadas las propiedades de las capas.

c) Paso 2b:

- 1) Ventana resumen en forma de perfiles, en donde se observan propiedades del suelo.

d) Paso 2c:

- 1) Definición del semiespacio: rígido o elástico. La selección del tipo de semiespacio está relacionado con el tipo de registro sísmico de entrada. Para este estudio se utilizó un semiespacio elástico para todos los casos. Cuando se utiliza semiespacio flexible se debe especificar su  $V_s$ , peso específico y razón de amortiguamiento.

e) Paso 3:

- 1) Selección de los registros tiempo historia. Y de las capas de la columna en donde se desea calcular la respuesta dinámica del suelo (ver Figura 74).

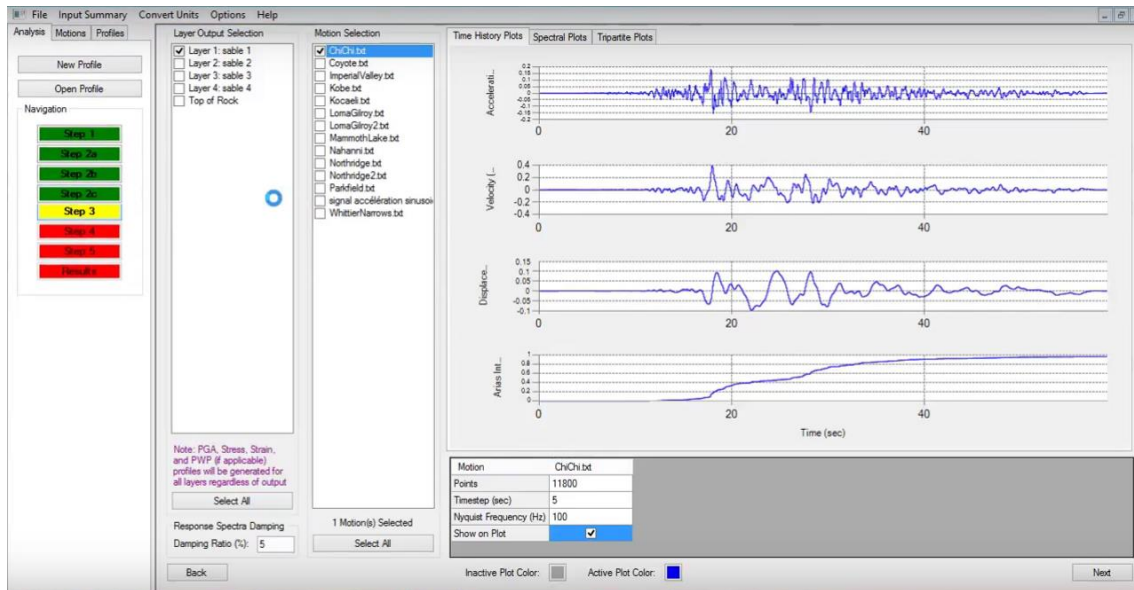


Figura 74. Representación gráfica del tercer paso del procesamiento en Deepsoil, para realizar la selección sísmica.

Durante este paso es posible evaluar las características de los sismos, como sus espectros de Fourier, los registros de aceleración, velocidad y desplazamientos y el gráfico de Intensidad Arias.

f) Paso 4:

- 1) Análisis de control: para selección del tipo de formulación de análisis para la obtención del módulo de corte complejo y el número de iteraciones.

g) Paso 5:

- 1) Selección del directorio de salida de los datos.
- 2) Ejecución del algoritmo para calcular la respuesta dinámica.

Finalmente, a partir del procesamiento de los datos usando Deepsoil, se pudieron obtener los siguientes resultados:

- 1) Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento en superficie
- 2) Registros tiempo historia de aceleración, velocidad y desplazamiento en superficie.

- 3) Valores máximos de los parámetros de: deformación unitaria por corte máxima ( $\gamma_{max}$ ), esfuerzo de corte máximo ( $\tau_{max}$ ), razón de esfuerzo cíclico (CSR), aceleración máxima en el terreno (PGA) y desplazamiento lateral máximo (LDI).

#### **3.4.1. Consideraciones del análisis no lineal**

Entre algunos aspectos específicos del análisis no lineal, se debe mencionar que, 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; este procedimiento se encuentra implementado en el software DEEPSOIL y el procedimiento en general se denomina MRDF-UIUC para la solución de Phillips. Además, para los análisis de tipo NL se consideró el modelo constitutivo General Cuadrático (GQ/H) propuesto por Groholski et al. (2016), con el fin de poder definir la curva esqueleto esfuerzo-deformación inicial, la cual se reconoce en inglés como *backbone curve*.

Debido a que el análisis de propagación de la onda sísmica, para los análisis no lineales, se realiza de manera unidimensional, la propiedad dinámica como la razón de amortiguamiento (amortiguamiento histerético), se basa en una nueva formulación con la cual es posible tener en cuenta modos de vibración superiores al primer modo de vibración del depósito.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado de los análisis lineales y no lineales de respuesta de sitio realizados se obtuvieron los espectros elásticos superficiales de aceleración y deformación para cada uno de los 53 sitios de estudio, tanto para los registros sísmicos de fuente cercana como para los de fuente lejana, para los periodos de retorno de 43, 475, 1000 y 2500 años. Además de los espectros de respuesta, se obtuvieron el perfil de deformación unitaria máxima por corte ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ), esfuerzo de corte máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ), razón de esfuerzo cíclico (CSR), aceleración máxima en el terreno (PGA), desplazamiento lateral máximo (LD). Junto con los parámetros antes mencionados se muestra la columna estratigráfica modelada del suelo con su respectivo perfil de Vs adoptado para cada uno de los sitios.

Siguiendo el mismo orden de ideas, la Tabla 28 presenta un compendio de las aceleraciones pico del terreno (demanda en superficie) obtenidas para cada sitio, para los periodos de retornos antes mencionados. En esta tabla resumen se puede observar bajo el encabezado de color azul los PGA resultantes para los análisis de equivalente lineal mientras que bajo el encabezado amarillo se presentan los PGA resultantes de los análisis no lineales. El análisis no lineal es un procedimiento más sofisticado en el cual, al considerar deformaciones en el movimiento histórico del suelo, se producen resultados más realistas. Sin embargo, al basarse todos los análisis en modelos de suelo y Vs adoptados, se acostumbra a utilizar los resultados de los análisis EQL ya que se observó que estos son más conservadores para las condiciones de suelo de Guayaquil. Además de los valores antes mencionados, la Tabla 28 presenta el periodo de vibración fundamental adoptado ( $T_e^*$ ) para cada sitio, sus respectivos Vs30 y coordenadas UTM.

Tabla 28. PGA(g) superficiales resultantes de los ARS EQL y NL para sismos de FF y NF con periodos de retorno de 43, 475, 1000 y 2500 años.

Zona	Sitio ID	Te* [sec]	Vs30 [m/s]	PGA_43yr	PGA_475yr	PGA_475yr	PGA_1000y	PGA_1000y	PGA_2500y	PGA_2500y	PGA_43yr	PGA_475yr	PGA_475yr	PGA_1000y	PGA_1000y	PGA_2500y	PGA_2500y	UTM_E	UTM_N	
D1	D1-1	1,52	123	0,19	0,39	0,37	0,46	0,41	0,44	0,47	0,15	0,26	0,25	0,27	0,28	0,32	0,30	623531	9757813	
	D1-2	1,06	155	0,16	0,36	0,35	0,46	0,44	0,54	0,52	0,13	0,26	0,26	0,29	0,30	0,35	0,35	624451	9757902	
	D1-3	1,30	147	0,16	0,37	0,37	0,48	0,44	0,54	0,53	0,12	0,27	0,26	0,30	0,31	0,36	0,37	624071	9757345	
	D1-4	1,11	139	0,15	0,35	0,33	0,42	0,41	0,47	0,49	0,12	0,26	0,24	0,28	0,28	0,33	0,33	624052	9747366	
	D1-5	1,09	135	0,15	0,32	0,32	0,39	0,36	0,43	0,44	0,12	0,24	0,23	0,27	0,25	0,29	0,30	624191	9747371	
	214ECU	1,33	134	0,15	0,38	0,35	0,46	0,42	0,51	0,51	0,12	0,27	0,26	0,29	0,30	0,34	0,34	622446	9752546	
	213ECU	1,14	155	0,15	0,33	0,34	0,38	0,39	0,43	0,45	0,12	0,26	0,25	0,29	0,27	0,31	0,31	623422	9751961	
	Swissotel Downtown	1,06	159	0,12	0,24	0,25	0,30	0,29	0,32	0,32	0,10	0,19	0,18	0,20	0,20	0,22	0,21	624656	9757957	
	Planta tratamiento Esclusas	1,43	133	0,15	0,36	0,33	0,42	0,39	0,47	0,48	0,11	0,25	0,22	0,27	0,26	0,30	0,31	626270	9748713	
	Linea Imp. Sur 1	1,00	142	0,16	0,36	0,34	0,43	0,40	0,49	0,50	0,13	0,26	0,25	0,30	0,29	0,33	0,33	624746	9751155	
	Linea Imp. Sur 2	2,00	152	0,13	0,34	0,32	0,42	0,37	0,49	0,48	0,11	0,26	0,24	0,28	0,28	0,32	0,33	625331	9749909	
	Estación bomb. Pradera	1,31	150	0,15	0,34	0,33	0,40	0,38	0,45	0,45	0,13	0,24	0,24	0,28	0,27	0,31	0,32	623970	9752282	
	D2	D2-1	1,03	200	0,14	0,31	0,29	0,39	0,36	0,46	0,43	0,12	0,24	0,24	0,26	0,27	0,29	0,31	622072	9747600
		D2-2	1,11	149	0,16	0,38	0,36	0,46	0,43	0,52	0,52	0,12	0,25	0,24	0,28	0,29	0,32	0,33	622353	9747635
212ECU		0,81	151	0,14	0,31	0,30	0,39	0,38	0,46	0,46	0,11	0,25	0,24	0,29	0,28	0,32	0,33	622525	9749122	
Zofragua		0,88	136	0,13	0,30	0,29	0,37	0,37	0,47	0,45	0,11	0,24	0,23	0,28	0,28	0,32	0,34	622855	9748310	
D3	D3a-1	0,98	133	0,11	0,24	0,23	0,30	0,27	0,32	0,32	0,09	0,16	0,16	0,18	0,19	0,21	0,21	620525	9760314	
	D3a-2	1,01	123	0,13	0,30	0,28	0,36	0,33	0,36	0,39	0,10	0,20	0,20	0,22	0,22	0,24	0,25	622326	9760067	
	D3a-3	1,38	142	0,15	0,38	0,37	0,45	0,44	0,47	0,50	0,12	0,28	0,28	0,32	0,31	0,35	0,35	622436	9759775	
	D3a-4	1,40	143	0,15	0,38	0,38	0,45	0,44	0,50	0,53	0,12	0,28	0,28	0,31	0,31	0,34	0,35	622420	9759807	
	D3b-1	1,44	154	0,13	0,33	0,30	0,41	0,37	0,45	0,45	0,11	0,24	0,24	0,27	0,28	0,32	0,33	619589	9750966	
	D3b-2	1,69	169	0,13	0,30	0,29	0,35	0,35	0,39	0,43	0,11	0,23	0,23	0,26	0,26	0,29	0,29	615039	9757235	
	D3b-3	1,79	96	0,09	0,21	0,18	0,27	0,22	0,31	0,28	0,07	0,14	0,14	0,16	0,16	0,19	0,19	615031	9757315	
	209ECU	1,40	113	0,16	0,35	0,34	0,40	0,40	0,45	0,46	0,12	0,25	0,23	0,27	0,27	0,31	0,31	622344	9759538	
	218ECU	1,00	152	0,15	0,37	0,34	0,44	0,42	0,51	0,51	0,12	0,25	0,25	0,28	0,30	0,34	0,34	623428	9762677	
	221ECU	0,69	151	0,15	0,37	0,33	0,44	0,43	0,52	0,53	0,12	0,29	0,27	0,31	0,32	0,36	0,37	619673	9761009	
	210ECU_ARS1	1,78	105	0,12	0,21	0,22	0,25	0,24	0,27	0,27	0,10	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	614812	9757106	
	210ECU_ARS2	1,84	105	0,13	0,21	0,22	0,24	0,22	0,27	0,24	0,10	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	614812	9757106
	216ECU	1,51	115	0,19	0,41	0,40	0,46	0,48	0,56	0,55	0,14	0,29	0,28	0,31	0,33	0,36	0,37	622524	9756795	
	211ECU	1,67	146	0,14	0,31	0,31	0,36	0,38	0,40	0,46	0,12	0,22	0,23	0,26	0,26	0,28	0,29	619499	9751333	
	Edif. Murano	1,33	106	0,17	0,39	0,36	0,44	0,42	0,48	0,50	0,12	0,25	0,24	0,27	0,27	0,30	0,29	622615	9760745	
	Edif. Gub. Fco. Orellana	0,72	117	0,13	0,34	0,34	0,42	0,41	0,48	0,46	0,12	0,26	0,25	0,28	0,29	0,31	0,33	622501	9761104	
	Hospital Abel Gilbert	1,55	94	0,15	0,35	0,32	0,39	0,39	0,44	0,45	0,11	0,23	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	618955	9755413	
	Pantano Seco	1,53	94	0,18	0,39	0,35	0,41	0,38	0,37	0,39	0,12	0,23	0,23	0,23	0,24	0,27	0,25	616114	9755980	
	Hospital IEES Sur	1,32	136	0,14	0,34	0,32	0,41	0,38	0,43	0,46	0,11	0,24	0,24	0,27	0,27	0,30	0,30	622469	9753277	
	Aerovia sitio G1	1,47	131	0,17	0,45	0,41	0,52	0,54	0,62	0,64	0,15	0,33	0,33	0,37	0,38	0,42	0,43	623531	9757958	
	D4	D4-1	0,52	177	0,17	0,42	0,41	0,51	0,51	0,63	0,59	0,14	0,33	0,31	0,37	0,37	0,42	0,42	620902	9767305
D4-2		1,20	148	0,13	0,33	0,31	0,41	0,38	0,49	0,48	0,11	0,26	0,25	0,30	0,30	0,36	0,36	624059	9759400	
D4-3		1,29	122	0,12	0,32	0,30	0,41	0,38	0,49	0,47	0,10	0,25	0,22	0,28	0,27	0,33	0,34	623728	9759556	
219ECU		1,19	149	0,16	0,31	0,31	0,37	0,36	0,41	0,42	0,13	0,25	0,25	0,29	0,28	0,31	0,31	622872	9769264	
217ECU		1,60	171	0,16	0,40	0,38	0,50	0,46	0,60	0,58	0,13	0,28	0,27	0,32	0,32	0,39	0,39	624101	9762145	
Paso Elevado Fco. Orellana		0,61	141	0,11	0,30	0,29	0,37	0,38	0,50	0,48	0,10	0,25	0,24	0,28	0,29	0,35	0,36	621498	9764235	
Estación bomb. Progreso		1,34	128	0,10	0,27	0,24	0,34	0,30	0,39	0,38	0,08	0,19	0,18	0,22	0,22	0,26	0,27	624760	9760389	
Edificio The Point		0,90	149	0,14	0,33	0,31	0,43	0,36	0,50	0,46	0,11	0,22	0,23	0,23	0,26	0,30	0,30	624944	9759184	
Planta tratamiento Merinos		0,84	146	0,14	0,33	0,33	0,41	0,40	0,52	0,49	0,12	0,25	0,24	0,28	0,28	0,32	0,34	624410	9765440	
Estación CICG		0,34	425	0,19	0,50	0,48	0,59	0,59	0,71	0,74	0,18	0,44	0,45	0,54	0,54	0,62	0,63	622559	9762432	
D5		D5-1	0,33	290	0,24	0,60	0,58	0,78	0,77	0,99	0,97	0,21	0,49	0,50	0,58	0,59	0,69	0,68	619461	9761712
	D5-2	0,34	296	0,19	0,50	0,48	0,62	0,60	0,77	0,74	0,16	0,38	0,37	0,44	0,44	0,50	0,52	619475	9761761	
	D5-3	0,37	278	0,20	0,56	0,53	0,70	0,69	0,88	0,89	0,19	0,48	0,48	0,59	0,57	0,69	0,68	619497	9761734	
	D5-4	0,32	311	0,19	0,50	0,48	0,63	0,64	0,86	0,85	0,18	0,43	0,43	0,52	0,53	0,62	0,64	616919	9765682	
	220ECU	0,45	288	0,23	0,48	0,49	0,57	0,60	0,71	0,69	0,19	0,37	0,39	0,43	0,44	0,46	0,48	618246	9765721	
	222ECU	0,27	586	0,19	0,63	0,58	0,79	0,73	0,99	0,92	0,18	0,53	0,54	0,67	0,66	0,77	0,80	618361	9763895	
MonteSinai	0,23	345	0,22	0,57	0,55	0,63	0,68	0,94	0,84	0,20	0,44	0,45	0,50	0,52	0,59	0,60	611029	9764933		
D6	215ECU	0,40	362	0,14	0,33	0,35	0,45	0,45	0,55	0,51	0,12	0,28	0,28	0,32	0,34	0,37	0,39	618367	9758127	

Considerando solamente los resultados del análisis EQL tanto como para los sismos de fuente cercana NF como para los sismos de fuente lejana FF para un periodo de retorno de 475 años (sismo de diseño según la NEC), y teniendo en cuenta que el modelo de peligro sísmico utilizado en esta investigación estipula un PGA en roca de 0,32 g. para el mismo periodo de retorno, de la Tabla 28 podemos destacar que:

- La aceleración pico del terreno máxima entre todos los sitios analizados es de 0,63 g. y corresponde al sitio 222 ECU (La Prosperina, zona D5) para un sismo de fuente cercana.
- La aceleración pico del terreno mínima entre todos los sitios analizados es de 0,18 g. y corresponde al sitio D3b3 para un sismo de fuente lejana.
- Para sismos de fuente cercana, entre los sitios analizados se registraron 15 atenuaciones y 39 amplificaciones en la demanda sísmica en superficie, con relación al PGA en roca (0,32 g.)
- Para sismos de fuente lejana, entre los sitios analizados se registraron 20 atenuaciones y 33 amplificaciones en la demanda sísmica en superficie, con relación al PGA en roca (0,32 g.)
- El sitio D1-5 mantuvo la misma demanda sísmica en roca y en superficie (0,32 g.) para los sismos de fuente lejana.

Ahondando en lo anterior, por zonas:

#### Zona D1:

- PGA máximo obtenido: Sitio D1-1 (0,39 g.) NF
- PGA mínimo obtenido: SwisshotelDowntown (0,24 g.) NF
- Para sismos de fuente cercana: 10 amplificaciones, una atenuación (SwisshotelDowntown) y el sitio D1-5 se mantuvo el PGA (0,32 g.)
- Para sismos de fuente lejana: 9 amplificaciones, una atenuación (SwisshotelDowntown) y se mantuvo el PGA (0,32 g.) en los sitios D1-5 y Línea de Impulsión Sur.

#### Zona D2:

- PGA máximo obtenido: Sitio D2-2 (0,38 g.) NF
- PGA mínimo obtenido: Zofragua (0,29 g.) FF
- Para sismos de fuente cercana: Una amplificación (Sitio D2-2) y tres atenuaciones
- Para sismos de fuente lejana: Una amplificación (Sitio D2-2) y tres atenuaciones

#### Zona D3:

- PGA máximo obtenido: Aerovía G1 (0,45 g.) NF
- PGA mínimo obtenido: D3b3 (0,18 g.) FF
- Para sismos de fuente cercana: 13 amplificaciones y siete atenuaciones



- Para sismos de fuente lejana: 11 amplificaciones y ocho atenuaciones. El sitio Hospital Abel Gilbert mantuvo el PGA (0,32 g.)

Zona D4:

- PGA máximo obtenido: Estación CICG (0,5 g.) NF
- PGA mínimo obtenido: Estación de Bombeo Progreso (0,24 g.) FF
- Para sismos de fuente cercana: seis amplificaciones y cuatro atenuaciones
- Para sismos de fuente lejana: cuatro amplificaciones y seis atenuaciones

Zona D5:

- PGA máximo obtenido: Sitio 222ECU (0,63 g.) NF
- PGA mínimo obtenido: Sitio 220ECU (0,48 g.) NF
- Para sismos de fuente cercana: siete amplificaciones y cero atenuaciones
- Para sismos de fuente lejana: siete amplificaciones y cero atenuaciones

Zona D6:

- PGA máximo obtenido: Sitio 215ECU (0,35 g.) FF
- PGA mínimo obtenido: Sitio 215ECU (0,33 g.) NF
- Para sismos de fuente cercana: una amplificación y cero atenuaciones
- Para sismos de fuente lejana: una amplificación y cero atenuaciones

La Tabla 29 presenta un resumen de los PGA's máximos y mínimos obtenidos en cada zona geotécnica, especificando el sitio, el PGA y que tipo de sismo produjo esa respuesta (NF o FF).

Tabla 29. Análisis de resultados. PGA máximos y mínimos por zona para  $T_r = 475$  años.

Zona	PGA max			PGA min		
	Sitio	PGA (g)	NF/FF	Sitio	PGA (g)	NF/FF
D1	D1-1	0,39	NF	Swisshotel	0,24	NF
D2	D2-2	0,38	NF	Zofragua	0,29	FF
D3	Aerovia G1	0,45	NF	D3b3	0,18	FF
D4	CICG	0,5	NF	Progreso	0,24	FF
D5	222ECU	0,63	NF	220ECU	0,48	NF
D6	215ECU	0,35	FF	215ECU	0,33	NF

Por otro lado, la Tabla 30 presenta un resumen de las atenuaciones y amplificaciones obtenidas en superficie, con relación al PGA en roca (0,32 g.) propuesto por el modelo de UHS utilizado para los análisis. Además, se detalla el total de sitios y la tasa de amplificación por zona tanto para sismos de fuente cercana como para sismos de fuente lejana.

Tabla 30. Análisis de resultados. Tasa de amplificación sísmica por zonas para sismos de NF y FF

Zona	Total Sitios	Amplificados		Atenuados		Tasa de amplificación (%)	
		NF	FF	NF	FF	NF	FF
D1	12	10	9	1	1	83%	75%
D2	4	1	1	3	3	25%	25%
D3	20	13	11	7	8	65%	55%
D4	10	6	4	4	6	60%	40%
D5	7	7	7	0	0	100%	100%
D6	1	1	1	0	0	100%	100%

Como se puede observar en la tabla 30, basándose en los sitios analizados, la tasa de amplificación es mayor para los sismos de fuente cercana en todas las zonas, lo cual indica mayor influencia sobre los efectos de sitio por parte de los sismos de NF (pulsátiles). Asimismo, se puede observar que la tasa de amplificación sísmica es mayor en las zonas D1 (83%), D5 (100%) y D6 (100%); las zonas D3 y D4 presentaron amplificación sísmica en aproximadamente 60% de los casos; y para la mayoría de los sitios analizados en la zona D2 se produjo una atenuación sísmica, siendo la tasa de amplificación del 25%.

Por otro lado, la Tabla 31 indica la razón de amplificación sísmica de los sitios que presentaron la aceleración pico de terreno máxima en cada zona, en relación con la aceleración pico del basamento rocoso definida por el UHS de Beauval en 0,32 g. La mayor amplificación ocurrió en la zona D5, en donde el PGA max registrado es 97% superior al PGA en roca. Las zonas D4, D3, D1 y D2 le siguen con un aumento de 56%, 41%, 22% y 19% respectivamente en la demanda sísmica en superficie. Finalmente, la amplificación sísmica menor se dio en la zona D6, con un aumento en superficie de solamente el 9% más del registrado en el basamento rocoso.

Tabla 31. Análisis de resultados. Razón de amplificación para PGA max por zona con relación al PGA del UHS. Tr = 475 años.

Zona	PGA max		PGA Roca (Tr=475)	PGA max / PGA Roca	
	EQL	NL-ET		EQL	NL-ET
D1	0,39	0,27	0,32	1,22	0,84
D2	0,38	0,25		1,19	0,78
D3	0,45	0,33		1,41	1,03
D4	0,5	0,45		1,56	1,41
D5	0,63	0,54		1,97	1,69
D6	0,35	0,28		1,09	0,88

Adicionalmente, a través de la interpolación de los resultados máximos de los análisis EQL para sismos de fuente cercana y lejana, se elaboraron mapas de aceleración pico en superficie para todos los periodos de retorno (Figura 75)

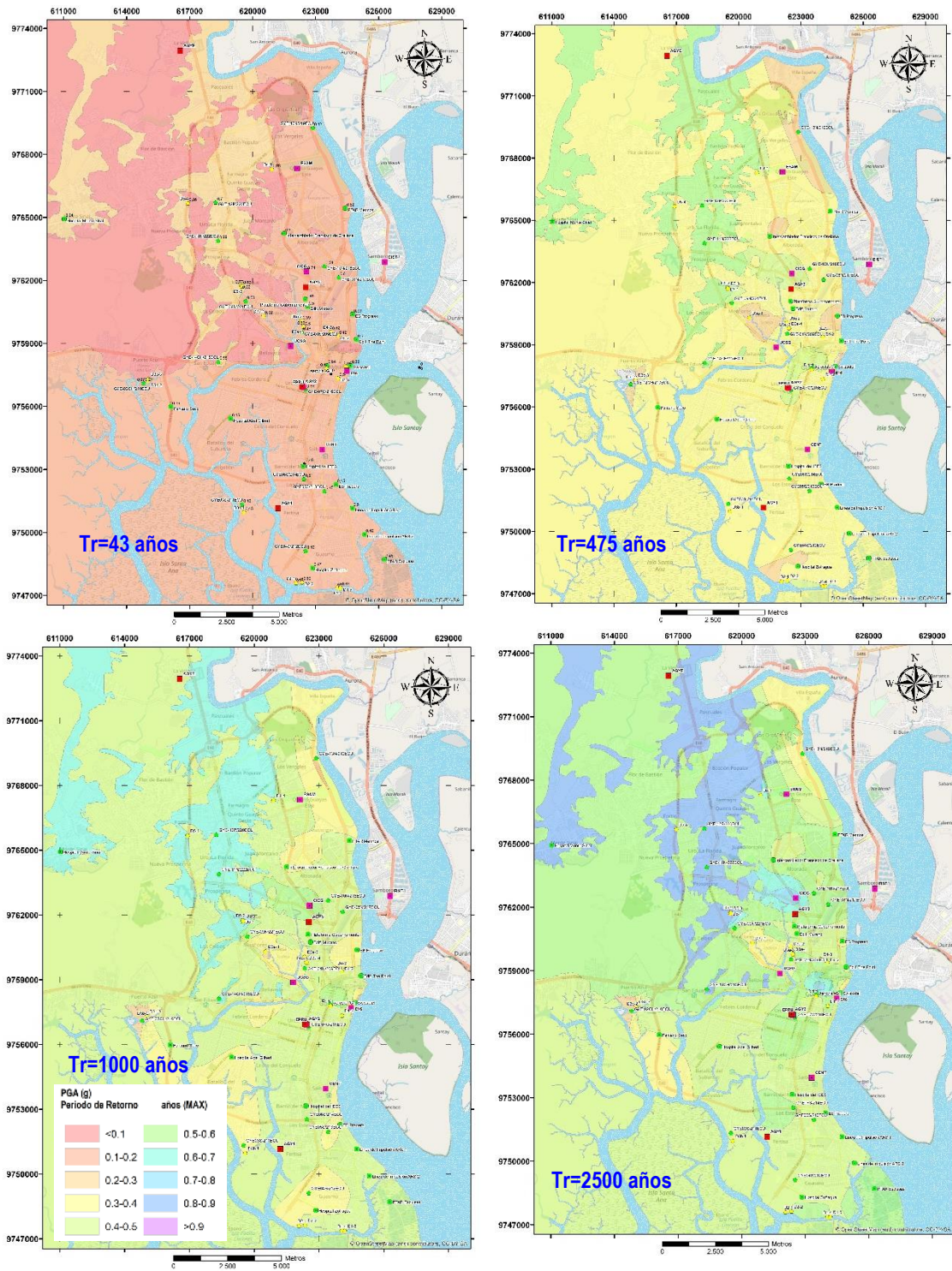


Figura 75. Mapas de aceleración pico del terreno en base a los resultados EQL para todos los periodos de retorno

#### 4.1. ESPECTROS ELÁSTICOS DE RESPUESTA ACELERACIÓN (T vs PSa):

Los espectros de aceleración (T vs PSa) obtenidos representan la demanda sísmica en superficie del sitio, y abarcan un amplio rango de periodos de vibración (de 0,02 s. a 5 s.) para ser aplicable a todas las estructuras posibles. Los espectros elásticos de aceleración presentados a continuación (Figura 76) corresponden al sitio IESS SUR, y de la misma manera se presentarán

los espectros resultantes para los demás sitios en estudio en los anexos. En azul claro se presentan los resultados obtenidos por el análisis EQL mientras que en azul oscuro se presentan los resultados obtenidos por el análisis NL-ET. De igual manera, la línea discontinua corresponde a los registros sísmicos de fuente lejana mientras que la línea continua corresponde a los registros de fuente cercana. La línea vertical de color gris claro que se presenta paralela al eje de las ordenadas demarca el periodo de vibración fundamental ( $T_e^*$ ) estimado para el subsuelo de cada sitio; en el caso de IESS SUR el periodo de vibración adoptado para el suelo es de 1.35 s.

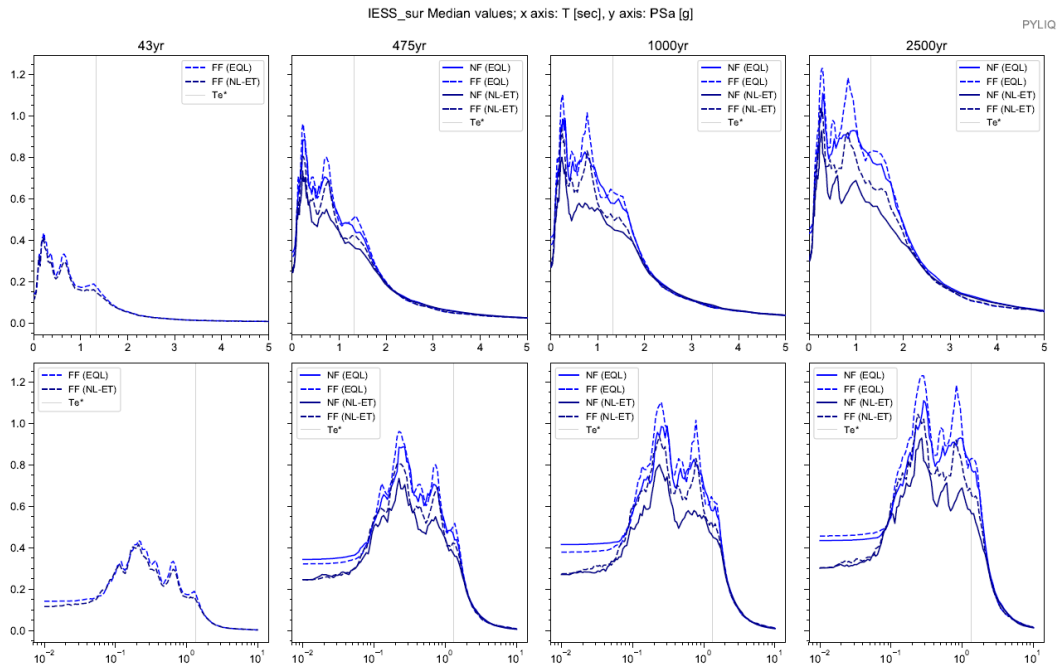


Figura 76. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para  $T_e$  de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio IESS SUR

#### 4.2. ESPECTROS DE ACELERACION BINORMALIZADOS ( $T/T_e^*$ vs $PSa/PGA$ ):

La normalización consiste en dividir ambos ejes de los espectros de respuesta, es decir el eje de las ordenadas que corresponde a las aceleraciones de diseño para los diferentes periodos de vibración estructural ( $PSa$ ) se lo normalizo dividiéndolo para el  $PGA$  (aceleración pico del terreno para periodo de vibración = 0 s.); por otro lado, el eje de las abscisas que corresponde a los periodos de vibración de la estructura ( $T$ ) se lo normalizo dividiéndolo para el periodo de vibración fundamental adoptado para la columna de suelo ( $T_e^*$ ). El propósito de los espectros binormalizados es crear un espectro “tipo” que sea aplicable a puntos cercanos al sitio donde fueron obtenidos. Teóricamente, al multiplicar el espectro normalizado por un  $PGA$  y un  $T_e^*$  estimados para un sitio cercano, se obtiene automáticamente un espectro de respuesta estimado para dicho sitio.



La Figura 77 muestra los espectros binormalizados de aceleración resultantes de los análisis EQL y NL para el sitio IESS SUR, para todos los periodos de retorno, tanto para sismos de fuente lejana y cercana.

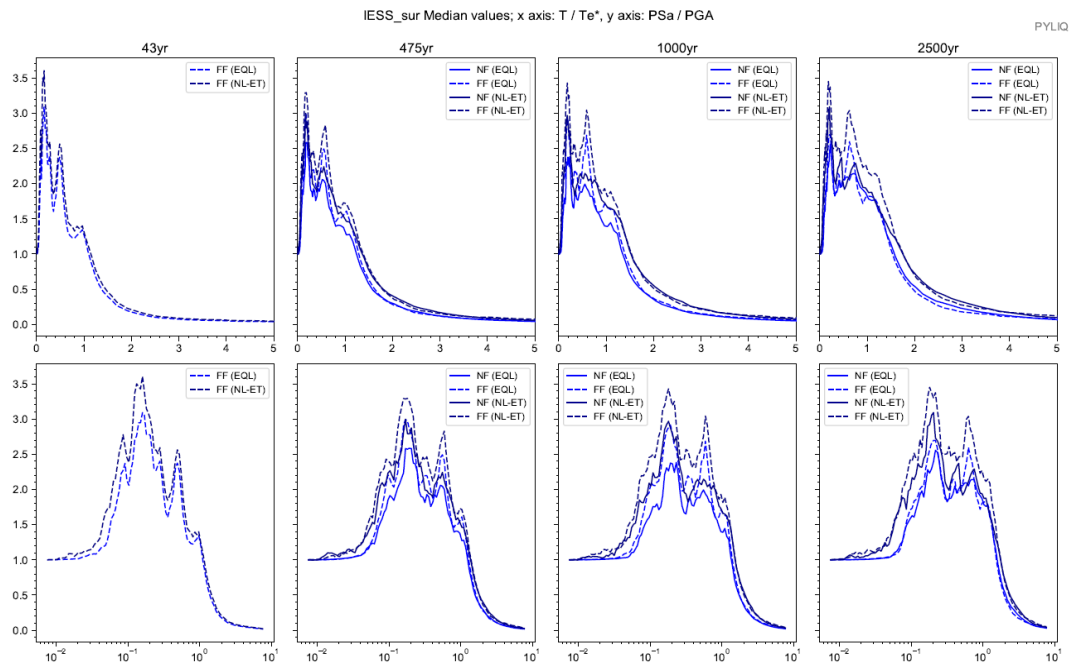


Figura 77. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados para el sitio IESS SUR.

#### 4.2.1. ESPECTROS DE ACELERACION BINORMALIZADOS POR ZONA

Con el propósito de determinar si existe o no un comportamiento lineal de los suelos, se procedió a agrupar todos los espectros binormalizados de los sitios por zonas. Cada uno de los espectros en superficie ( $S_{ai}$ ) se normalizo con el espectro obtenido en el afloramiento rocoso de la estación UCSG ( $S_a$ ) y su respectivo  $T_{e^*}$ . La Figura 78 muestra el compendio de los espectros binormalizados para todos los sitios de la zona D3. Se puede observar que a pesar de que todos los espectros se encuentran normalizados y pertenecen a la misma zona geotécnica, existe un desfase de las curvas hacia la derecha a medida que el  $T_r$  aumenta. Se puede observar que la mayor amplificación sísmica se produce en  $T/T_{e^*} = 1$  s. (es decir cuando el periodo de vibración es igual al periodo fundamental adoptado para el sitio) para un  $T_r = 43$  años; pero, a medida que el periodo de retorno aumenta, la amplificación sísmica máxima se produce en periodos más largos, lo cual indica una vez más la no linealidad del comportamiento de los suelos, a pesar de que estos compartan características geotécnicas similares. Por lo tanto, es importante no solamente evaluar el periodo elástico del sitio, sino también el periodo inelástico del mismo, ya que sismos de mayor aceleración en roca

generaran mayor deformación por cortante, incrementando así el periodo de amplificación espectral máxima en el sitio. Sin embargo, debido al amortiguamiento generado en el suelo, la demanda espectral disminuye con el incremento de la aceleración en roca, como se observa en la figura 78.

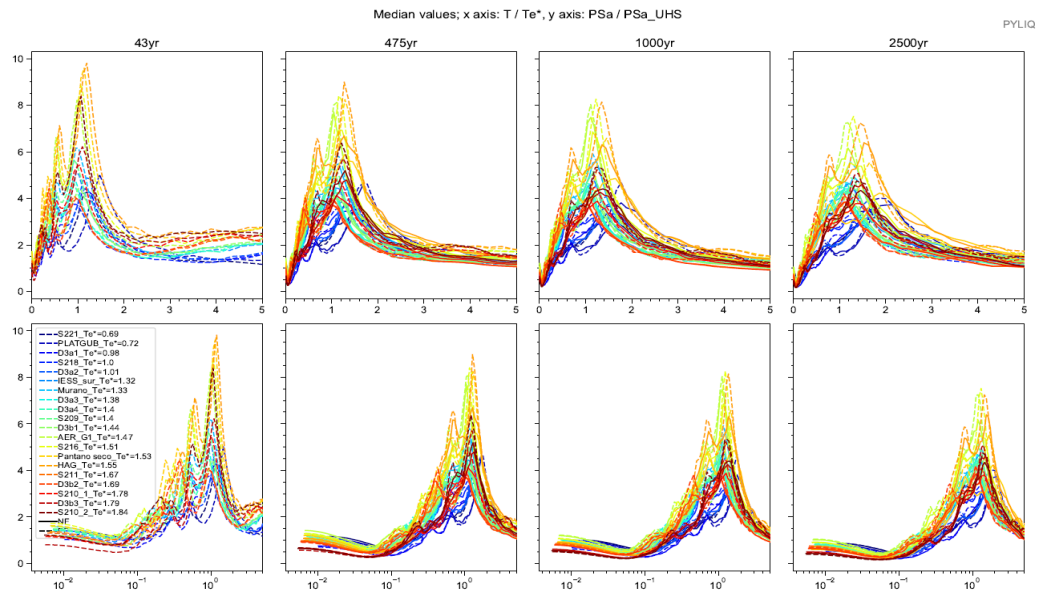


Figura 78. Compendio de los espectros binormalizados de aceleración vs periodo de vibración ( $S_{ai}/S_a$  vs.  $T/T_e$ ) de todos los sitios de la zona D3.

La Tabla 32 presenta el periodo en el cual se produce la amplificación sísmica máxima para los diferentes periodos de retorno para todos los sitios de la zona D3.

Tabla 32. Periodos estructurales normalizados en donde se presentan las mayores amplificaciones sísmicas producidas para diferentes periodos de retorno en los sitios de la zona D3.

	Tr (años)			
	43 (PGA= 0,108 g)	475 (PGA= 0,32 g)	1000 (PGA= 0,439)	2500 (PGA= 0,613)
T/Te (amplificación max)	1	1.2	1.3	1.6

### 4.3. ESPECTROS ELASTICOS DE RESPUESTA DE DEFORMACIÓN (T vs Sd).

Al igual que los espectros de aceleración, los de deformación también abarcan un amplio rango de periodos de vibración estructural (0,02 s. a 5 s.) para ser aplicables a todas las estructuras posibles. Los espectros de respuesta de deformación presentados a continuación (Figura 79) corresponden a las curvas resultantes de los análisis EQL (azul claro) y NL (azul oscuro) para sismos de fuente lejana (línea discontinua) y fuente cercana (línea continua) en

el sitio IESS SUR. Además, se demarca con una línea vertical color gris al periodo de vibración fundamental adoptado para dicho sitio.

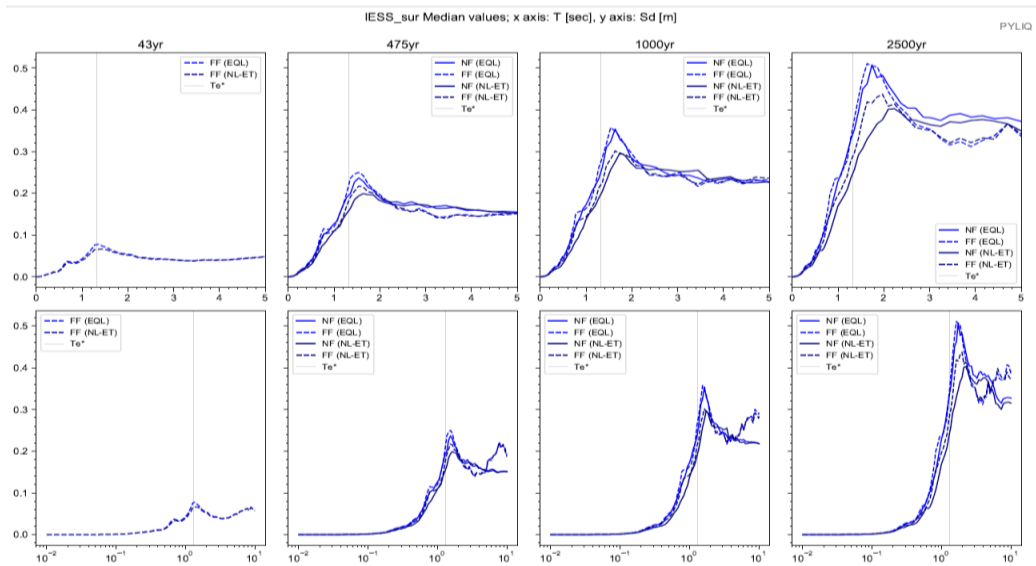


Figura 79. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno en el sitio IESS SUR.

#### 4.4. DIAGRAMAS DE DEFORMACION UNITARIA MAXIMA (%), ESFUERZO CORTANTE (kPa), RAZON DE ESFUERZO CICLICO (CSR), ACELERACION MAXIMA DEL TERRENO (PGA) Y DESPLAZAMIENTO LATERAL (m).

Además de los espectros resultantes de aceleración y deformación, los análisis realizados proporcionaron diagramas de otros parámetros importantes. Estos son de izquierda a derecha:

- Deformación unitaria máxima (Shearstrain, %)
- Esfuerzo máximo por cortante (Shear stress, kPa)
- Razón de esfuerzo cíclico (Cyclic Stress Ratio, CSR) que corresponde a  $CSR = 0,65 \frac{T_{max}}{\sigma'V}$
- Aceleración máxima del terreno (PGA, g)
- Desplazamiento máximo lateral (Lateral displacement, m)

La Figura 80 (a) y (b) presentan todos los parámetros antes mencionados para el sitio IESS SUR, graficados en función de la profundidad. Adicionalmente se graficó adyacente a dichos diagramas el modelo adoptado de la columna de suelo y el perfil de Vs adoptado. De esta misma manera se presentarán los diagramas para todos los sitios de estudio en los anexos de esta investigación.

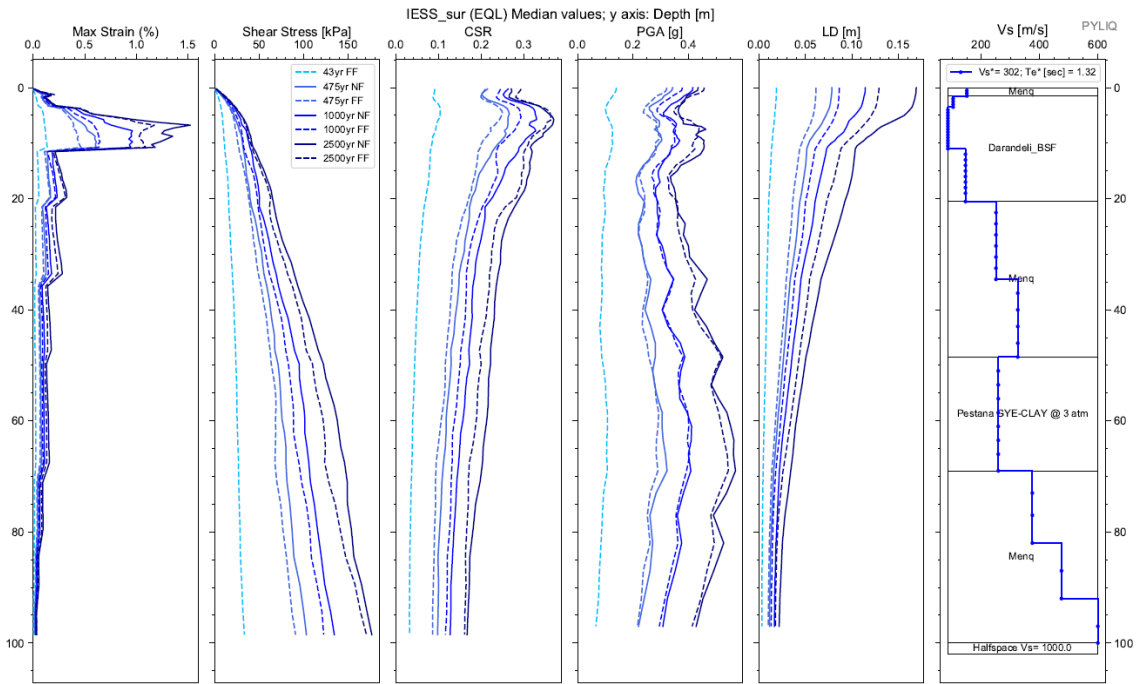


Figura 80. (a). Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL para el sitio IESS SUR

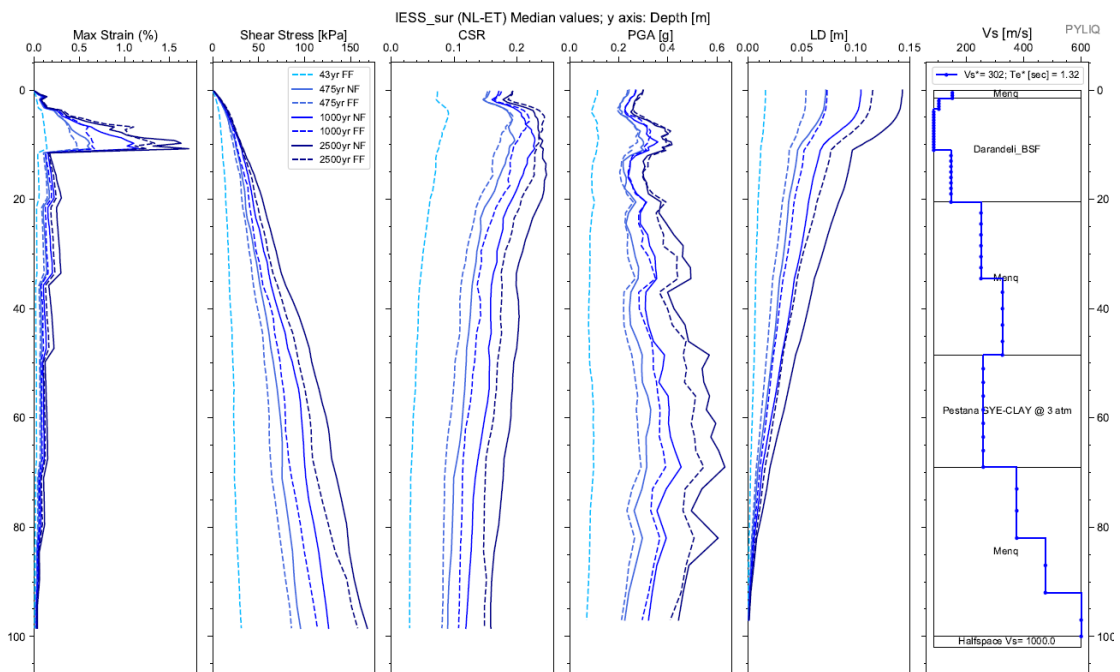


Figura 80(b). Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL para el sitio IESS SUR

Por otra parte, en los resultados obtenidos de este estudio se puede observar el fenómeno descrito por Carlton y Tokimatsu (2016), quienes determinaron que para depósitos de suelos blandos y profundos (zonas de la D1 a la D4 en Guayaquil), los cuales presentan altos periodos de vibración fundamentales, se presentan efectos no lineales especialmente en movimientos de entrada fuertes que producen grandes deformaciones máximas por cortante. Las Figuras 81 (a) y 81 (b) presentan



un conglomerado de los espectros de aceleración normalizados (Psa EQL/ Psa NL) obtenidos para las zonas D5 (81-a) y D3 (81-b). Los sitios de la zona D5 representan un ejemplo de suelos rígidos ( $275 < V_{s30} < 480$ ) m/s y ( $0.2 < T_e < 0.4$ ) s. Para estos sitios se observa que para periodos largos ( $T > 1$  s.) el análisis EQL genera demandas similares al NL, sin embargo, para periodos  $T < 0,1$  s se observa que los análisis NL estiman mayores demandas, concordando con lo estipulado por Kaklamanos et al. (2013).

En contraparte, los sitios de la zona D3 representan un ejemplo de suelos blandos y profundos ( $94 < V_{s30} < 150$ ) m/s y ( $1.4 < T_e < 1.6$ ) s. Para estos sitios no se observó similitud en los resultados de los modelos EQL y NL, siendo los resultados del EQL mucho mayores a los del NL, especialmente para sitios con  $T_e > 1,4$  s. en periodos estructurales largos. Para los sitios con  $T_e < 1$  s. se observó cierta similitud entre los análisis EQL y NL para periodos de vibración estructural  $> 2.5$  s. Adicionalmente, se puede observar que, la dispersión aumenta con el incremento de la demanda sísmica (Tr).

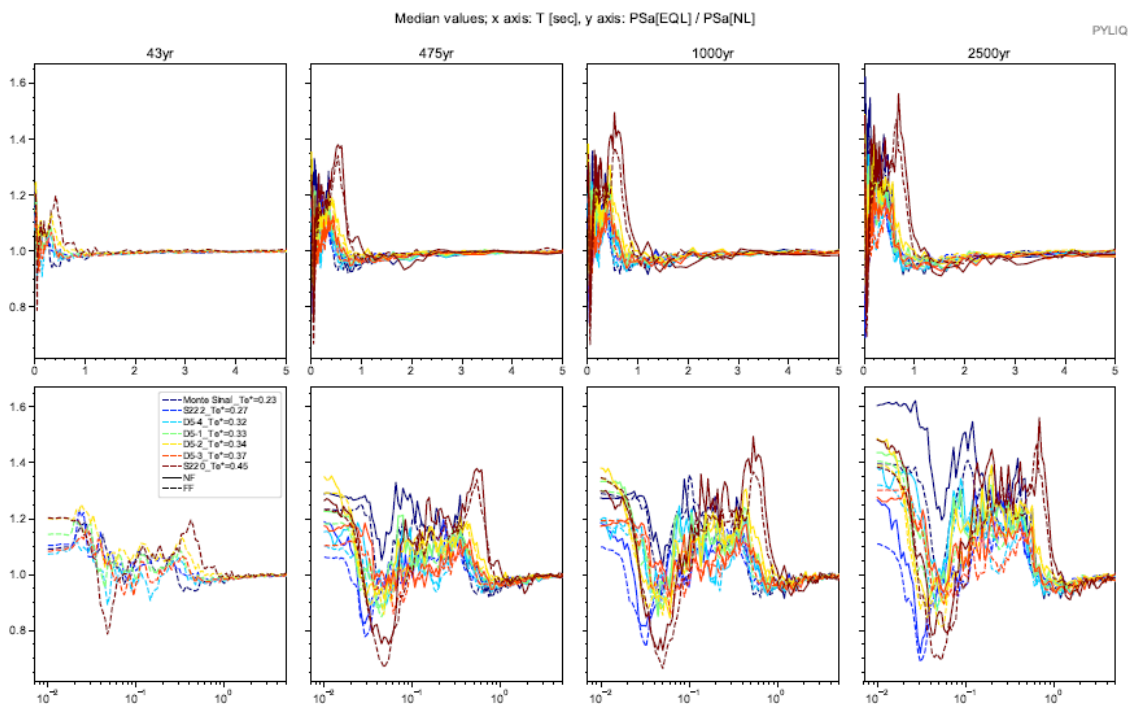


Figura 81(a). Conglomerado de espectros normalizados (Psa EQL/Psa NL vs T) para la zona D5. Suelos rígidos ( $275 < V_{s30} < 480$ ) m/s.

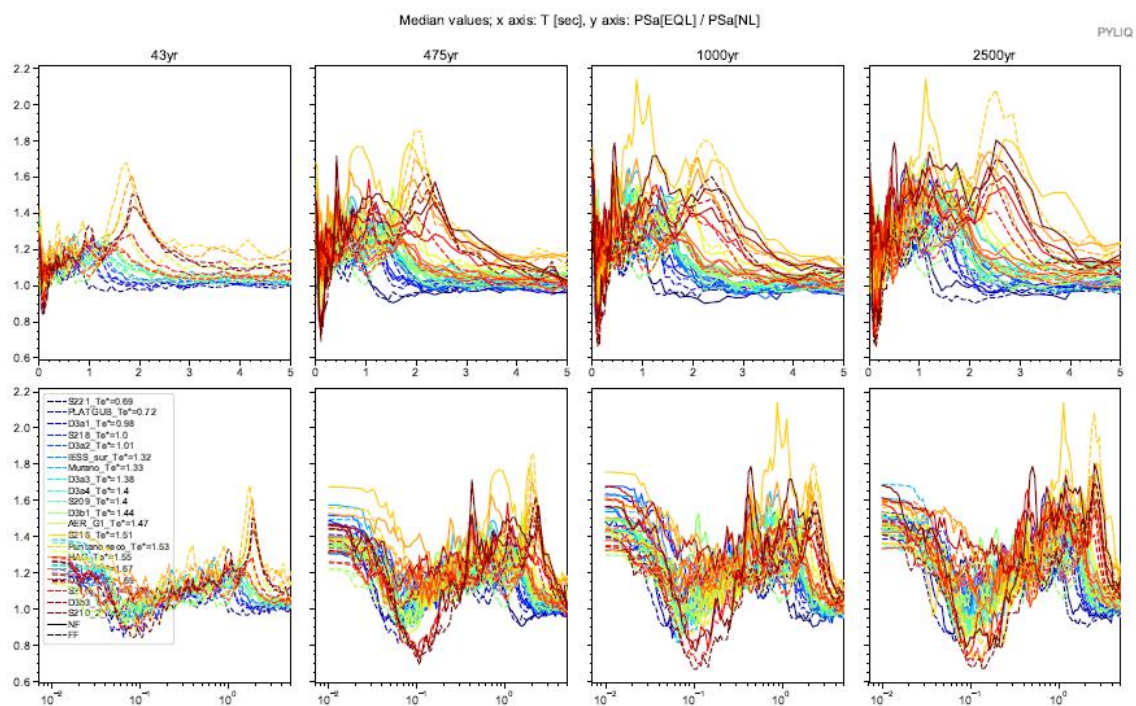


Figura 81 (b). Conglomerado de espectros normalizados (Psa EQL/Psa NL vs T) para la zona D3. Suelos blandos (94/Vs30/150) m/s.

#### 4.5. COMPARACION CON RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MICROZONIFICACION SISMICA DE GUAYAQUIL 2014

Como se presentó en los antecedentes de esta investigación, en el año 2014 Vera-Grunauer et al. elaboraron una microzonificación sísmica en base a los resultados obtenidos de los análisis de respuesta ARS de 35 sitios en la ciudad de Guayaquil. Para dicho estudio se utilizó el modelo de peligro sísmico propuesto por el URS Corporation (2007), que estipulaba un PGA en roca de 0,3 g. para la zona de estudio. La Figura 82 muestra una comparación de los UHS utilizados en el 2014 (URS Corporation, 2007) y en el 2019 (Beauval, 2018), ambos para un periodo de retorno  $T_r = 475$  años. Si bien el PGA en roca (0,32 g.) considerado para este estudio (Beauval) es similar al utilizado en el 2014 (URS Corp), se ve una diferencia considerable en el Psa para periodos largos, siendo los de URS Corporation mayores a los de Beauval. (Figura 82)

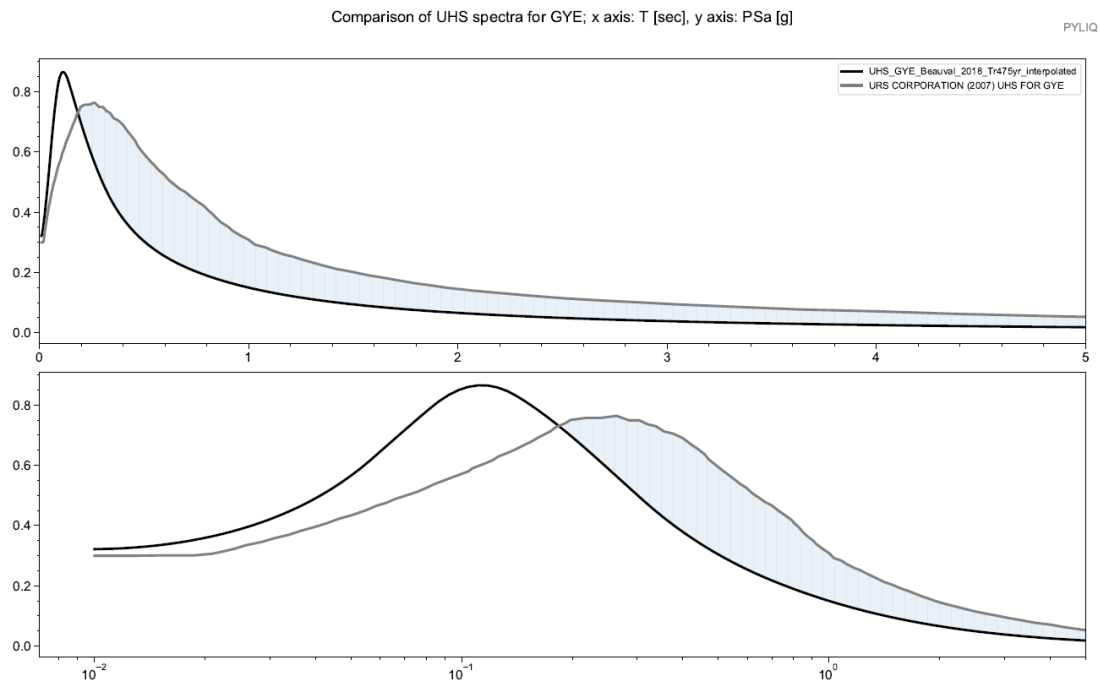


Figura 82. Comparación entre UHS propuesto por Beauval et al. (2018) y URS Corporation (2007). Línea negra: Bauval; línea gris: URS Corp; diferencia: área sombreada.

En la Figura 83 se muestra que a partir de periodos de vibración  $\geq 0,2$  s hay una reducción del 10% al 68% de la demanda espectral en roca para el UHS de Beauval con respecto al de URS Corporation, por lo tanto, en los sitios de periodos elásticos altos, se esperaría una menor demanda espectral en superficie con respecto a los estudios del 2014. A manera de ejemplo, la Figura 84. presenta los espectros de aceleración para el sitio Estadio Ramon Unamundo, tanto el obtenido en la Microzonificación Sísmica de Guayaquil 2014 (línea roja), como el obtenido en el presente estudio (línea azul) para un periodo de retorno de 475 años. Se puede observar que, efectivamente, se obtuvieron el PGA y las aceleraciones espectrales menores en el estudio más reciente.

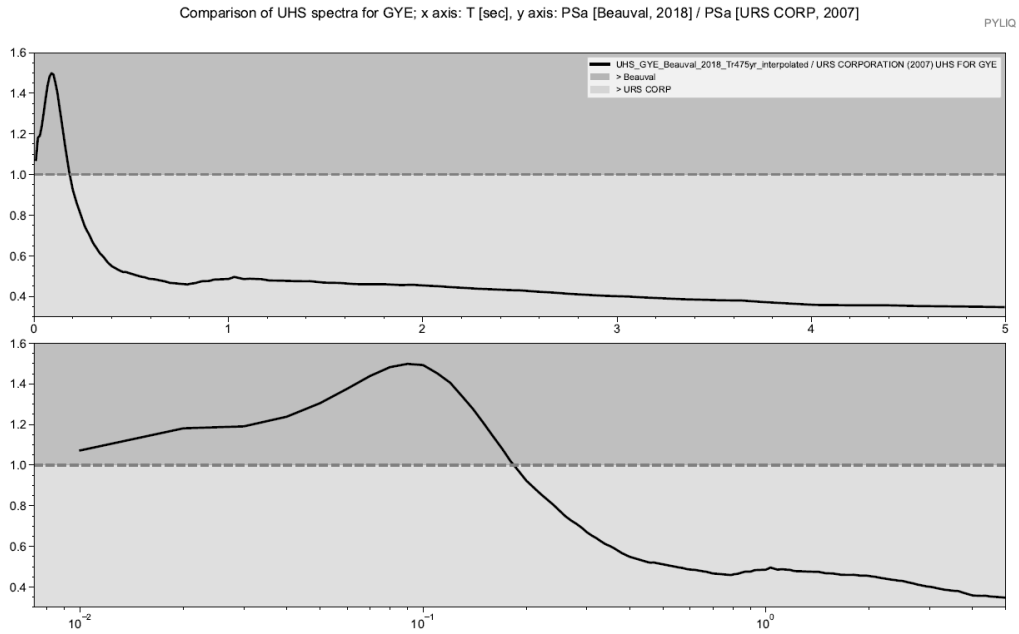


Figura 83. Cociente espectral obtenido de la división del UHS de Beauval et al (2018) para el de URS Corp (2007).

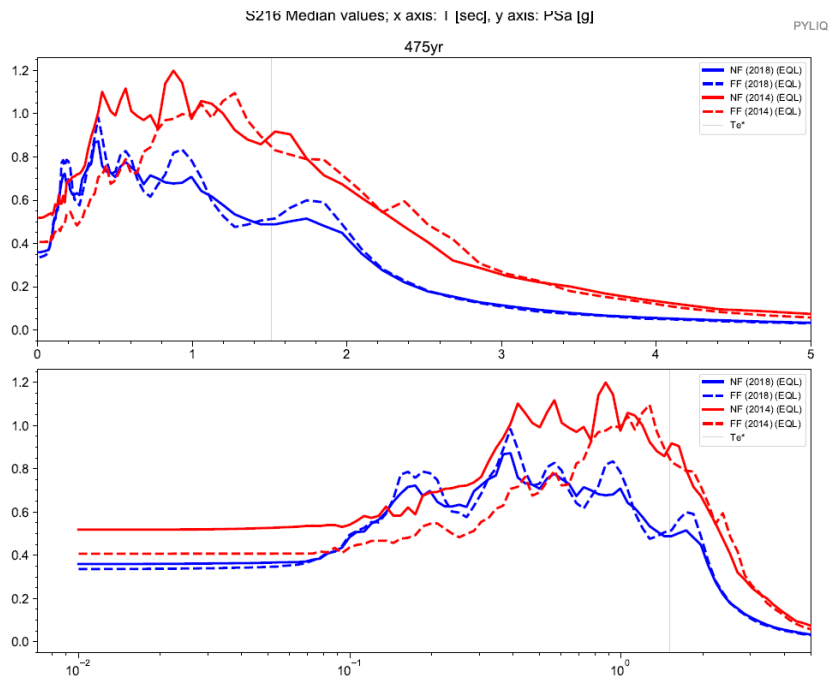


Figura 84. Comparación de los espectros de aceleración obtenidos de los ARS realizados en el 2014 (línea roja) y 2019 (línea azul) para el sitio ERU.  $T_r = 475$  años.

Además de lo antes mencionado, la presente investigación se diferencia de la realizada en el 2014 ya que:

- Se utilizaron diferentes registros sísmicos de entrada para los análisis. En el 2014 se utilizaron 25 sismos de fuente cercana y 25 de fuente lejana, y fueron escalados para ajustarse al

espectro en roca del UHS Corp. Por otro lado, en la presente investigación se consideraron 12 registros sísmicos de fuente cercana y 22 de fuente lejana, escalados al UHS de Beauval.

- El proceso de modelado de las columnas de suelo utilizado en la presente investigación fue más sofisticado y actual, y se tomaron en cuenta una mayor cantidad de parámetros para la caracterización sísmica de los sitios.
- El software utilizado en el 2014 fue DMOD mientras que en este trabajo se utilizó Deepsoil.

Se creyó conveniente comparar ambos estudios en base a las aceleraciones pico en roca y en superficie para cada uno de los sitios agrupados por zonas geotécnicas, ya que de esta manera se puede observar la amplificación sísmica producida por los efectos de sitio en ambos casos. En la Figura 85 (a) y (b) se puede observar una gráfica de aceleración pico en roca (PGA rock) vs la aceleración pico registrada en superficie (PGA soil) para los sitios analizados en la zona D1. Los triángulos invertidos y el área gris sombreada corresponden a los resultados obtenidos en la microzonificación sísmica del 2014, mientras que los puntos y las rayas corresponden a los resultados obtenidos por el presente estudio para los periodos de retorno de 43, 475, 1000 y 2500 años.

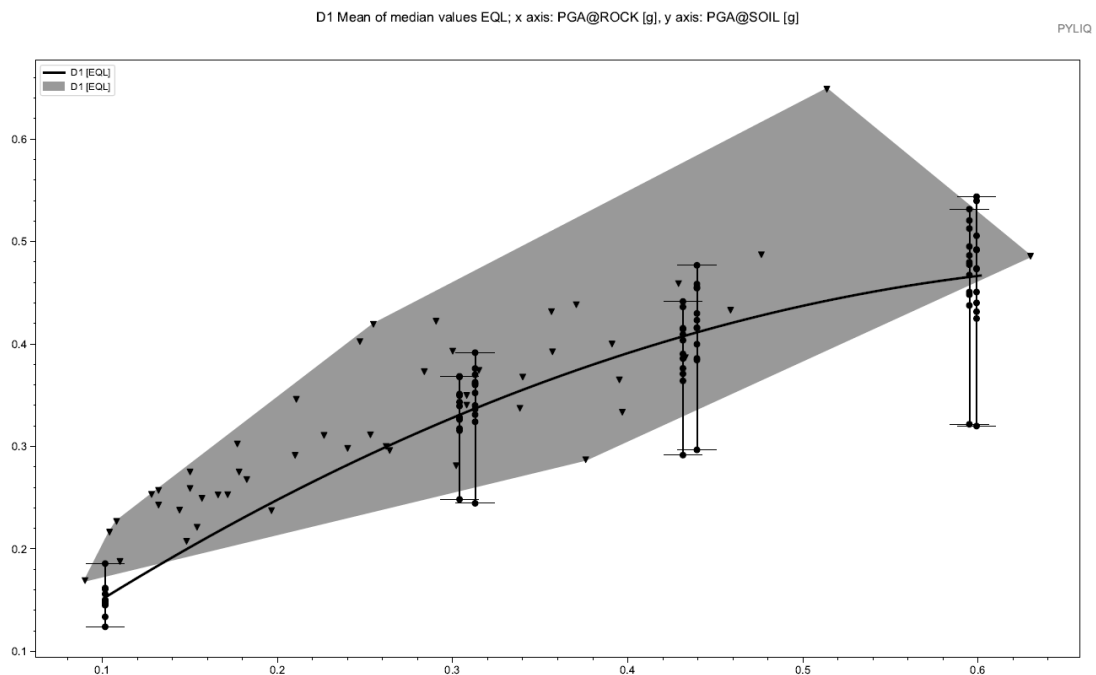


Figura 85. (a) Grafica comparativa del PGA en roca y en superficie para los resultados obtenidos en los análisis EQL realizados para la MICRO-GYE 2014 y la presente investigación, para todos los periodos de retorno. Zona D1.

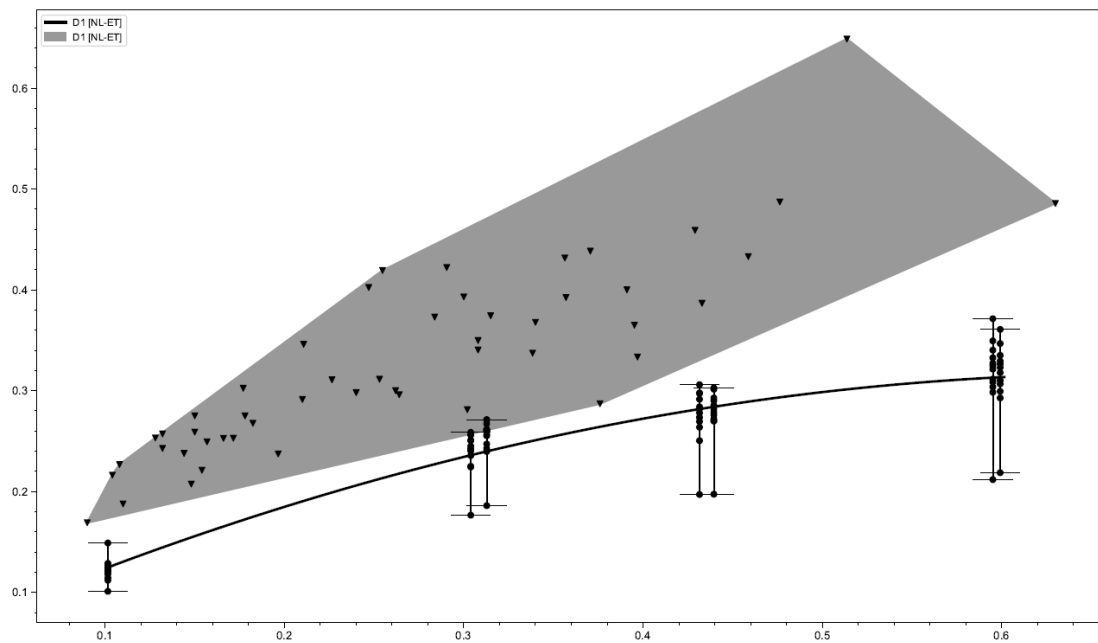


Figura 85. (b) Gráfica comparativa del PGA en roca y en superficie para los resultados obtenidos en los análisis NL realizados para la MICRO-GYE 2014 y la presente investigación, para todos los periodos de retorno. Zona D1.

Se puede observar una dispersión en la data obtenida en el estudio del 2014. Por otro lado, la data obtenida en el presente estudio coincide con lo planteado por Idriss (1991) quien determino que para aceleraciones en roca menores a 0,4 g. existe una amplificación del efecto sísmico en la superficie para suelos blandos, mientras que para aceleraciones pico en roca mayores a 0,4 g. el efecto es el contrario, produciéndose una atenuación en la demanda sísmica en superficie para los suelos blandos (Figura 86 a y b). En esta figura se puede observar las líneas de tendencia de los PGA resultantes de los análisis; siendo: rosa para D1, rojo para D2, café para D3, amarillo para D4 y marrón para D5.

La tendencia de Idriss se ve claramente para las zonas D1, D2 y D3, que corresponden a depósitos deltaico-estuarinos; para la zona D4 se mantiene esta tendencia, pero un poco menos pronunciada, debido a que corresponde a depósitos aluviales (un poco más rígidos). Por otro lado, la tendencia de PGA para la zona D5 no cumple con esta tendencia; en cambio, esta presenta una amplificación constante, debida principalmente a los efectos de sitio topográficos, ya que, al estar ubicada al pie de los cerros, se produce una amplificación por enfoque y refracción de las ondas sísmicas. Tanto para el análisis de equivalente lineal (a) como para el no lineal (b) se cumple esta tendencia, sin embargo, para los resultados del análisis EQL dicha tendencia es más pronunciada ya que se registran aceleraciones PGA mayores.

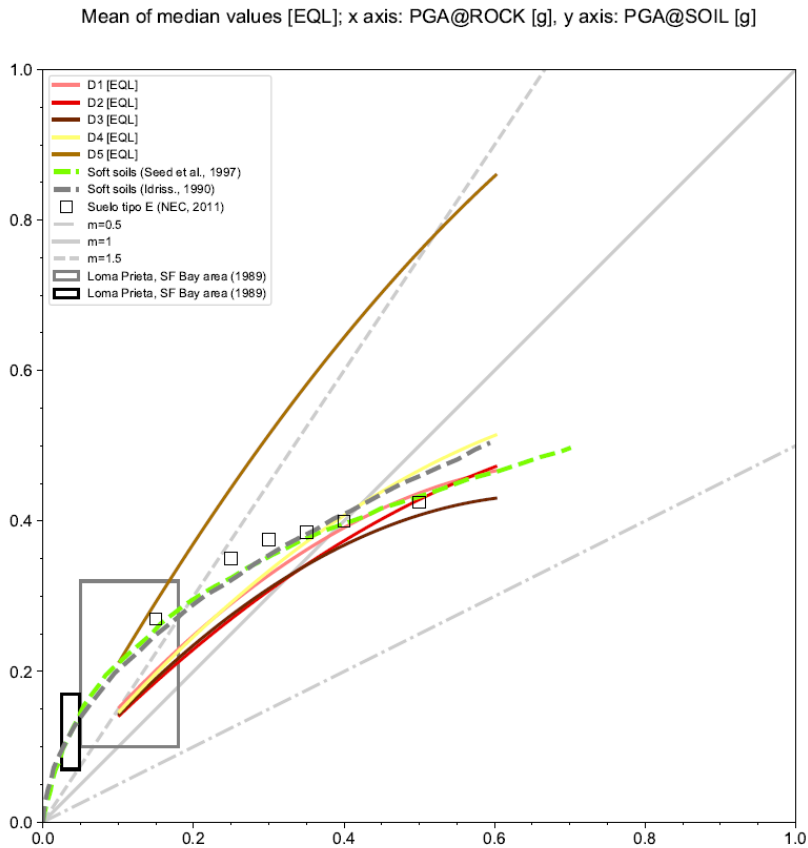


Figura 86. (a). Líneas de tendencia de los PGA obtenidos por método EQL para las zonas D1, D2, D3, D4 y D5 para todos los periodos de retorno.

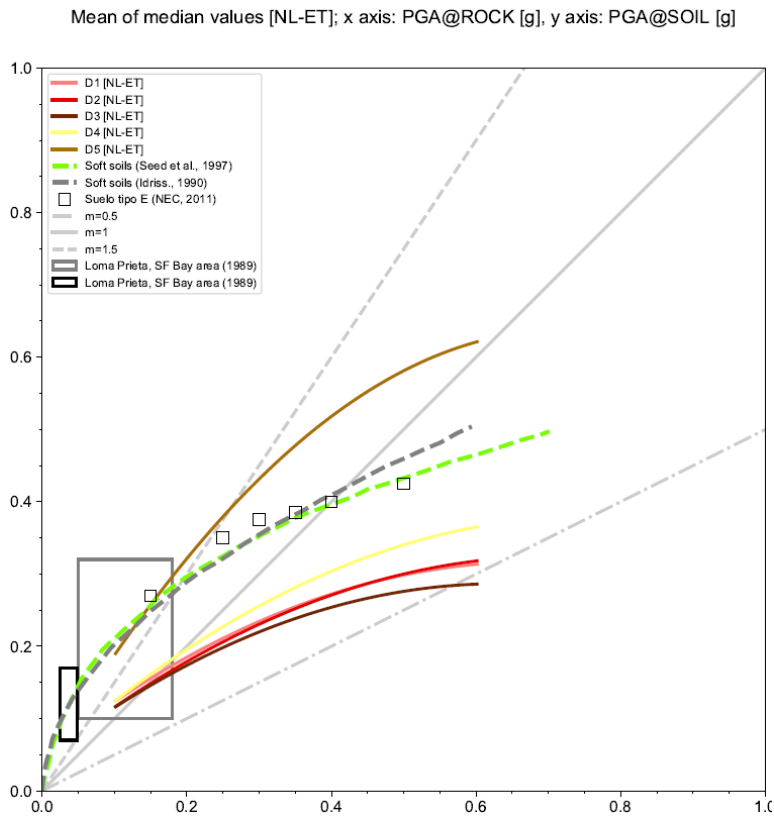


Figura 86(b). Líneas de tendencia de los PGA obtenidos por método NL para las zonas D1, D2, D3, D4 y D5 para todos los periodos de retorno.

Finalmente, se decidió comparar los registros sísmicos reales obtenidos en la estación UCSG (afloramiento rocoso) como representación del PGA en roca, con los mismos registros sísmicos obtenidos en estaciones cercanas como representación de PGA en superficie (Figura 87). Lo anterior con el fin de comprobar si se cumplen las tendencias de amplificación presentadas anteriormente para suelos blandos. Los registros utilizados corresponden a sismos leves, con PGA en roca  $< 0,07$  g. La tendencia obtenida esta expresada con la línea roja entrecortada, la cual presenta una pendiente empinada, es decir, para pequeños PGA en roca se obtuvieron amplificaciones en superficie de 1,2 a 2,6 veces el valor registrado en roca.

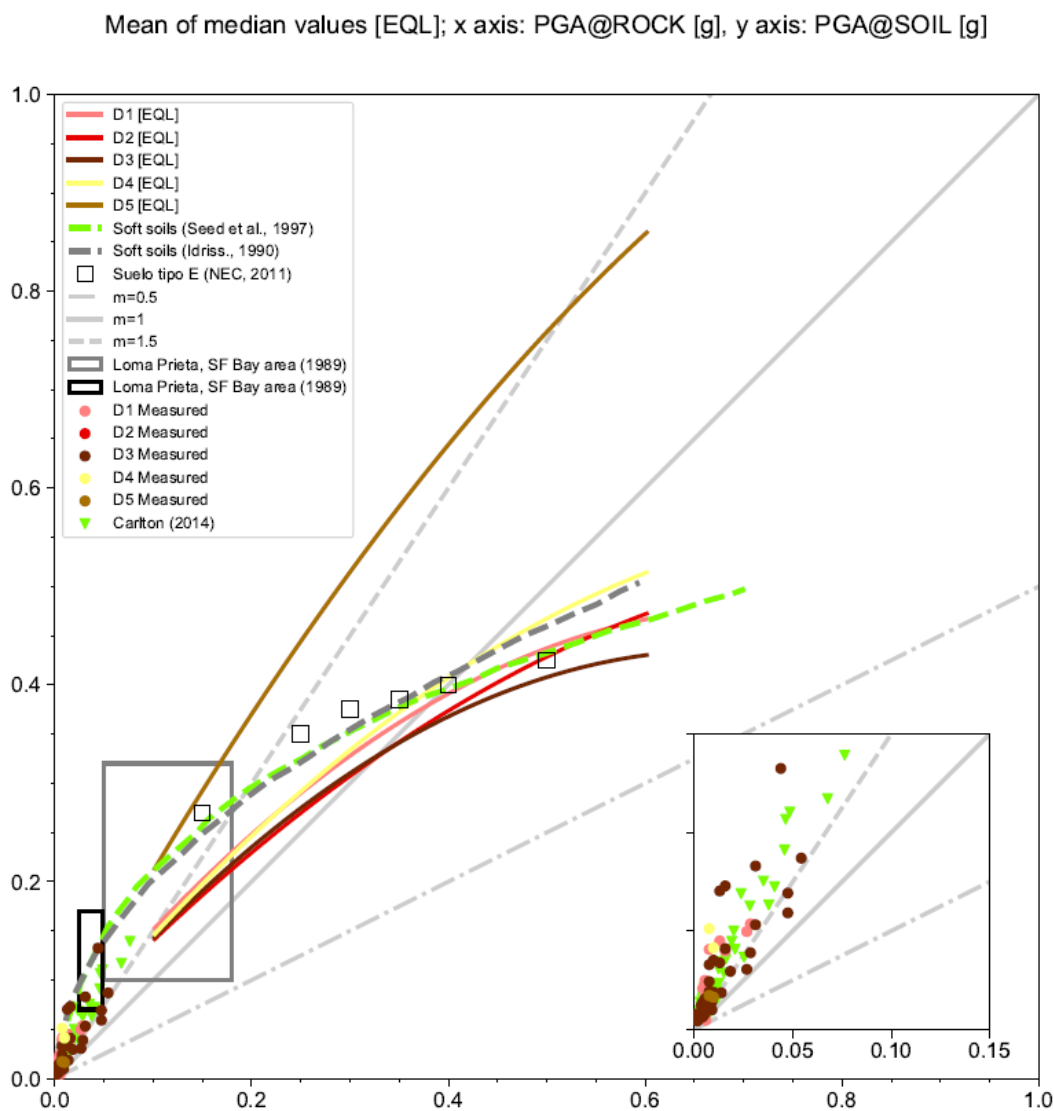


Figura 87. PGA en roca vs PGA en superficie para registros sísmicos reales de la ciudad de Guayaquil.



## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el Ecuador, como en los demás países que por sus características geológicas y geográficas se consideran de sismicidad alta, los niveles de amenaza sísmica vienen determinados por un estudio de peligro sísmico probabilista (PSHA) del área de estudio. Como resultado de los PSHA se obtienen los espectros de peligro uniforme (UHS). El UHS puede ser desagregado para definir qué tipo de eventos sísmicos tiene mayor influencia sobre el área de estudio y de que tipo son las fuentes sismo-genéticas principales (sismos de fuente cercana NF o de fuente lejana FF). Si bien el UHS puede determinar con cierta precisión el comportamiento sísmico del basamento rocoso, no representa en absoluto la demanda sísmica en superficie.

La actual Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) define 6 niveles de amenaza sísmica para todo el territorio ecuatoriano; Posteriormente estos UHS se multiplican por factores de amplificación (definidos en la NEC en base al tipo de suelo) para encontrar la demanda sísmica en superficie. Sin embargo, incrementos en el conocimiento acerca de los efectos de sitio y del comportamiento no lineal de los suelos han llevado a los investigadores a creer que los factores de amplificación utilizados en la actualidad podrían conllevar, en algunos casos, a imprecisiones (sobrestimación y subestimación) de la demanda sísmica en superficie. Por esta razón, los estudios de microzonificación sísmica, los cuales definen los requerimientos de diseño directamente en superficie para zonas específicas, se han popularizado en los últimos años.

Para realizar una microzonificación sísmica se utiliza el método de Análisis de Respuesta de Sitio (ARS). Los ARS unidimensionales consisten en simular la propagación vertical de ondas cortantes a través de una columna de suelo, desde el basamento rocoso hasta la superficie. Los estudios de microzonificación no son algo nuevo en el contexto de Guayaquil. En el 2014 se llevó a cabo el proyecto “Microzonificación Sísmica de Guayaquil” por parte de Vera-Grunauer et al. (2014). Para dicha investigación se analizaron 35 sitios utilizando 25 registros sísmicos de NF y FF escalados al UHS propuesto por URS Corporation (2007), el mismo que se asimila al espectro de diseño en roca de la NEC para Guayaquil.

Para la presente investigación se llevaron a cabo 13 392 análisis de respuesta de sitio desde diciembre del 2018 hasta abril 2019. Dichos análisis corresponden a la propagación de 34 registros sísmicos (12 de NF y 22 de FF) a través de 54 modelos de columnas de suelo adoptados para 53 sitios, utilizando tanto el método de equivalente lineal (EQL) como el no lineal (NL), para los periodos de retorno de 43, 475, 1000 y 2500 años. Cabe recalcar que se utilizaron más parámetros

para la caracterización sísmica de todos los sitios, lo cual resultó en modelos de columna de suelo más concisos. Así mismo, con la recopilación de información más reciente y la utilización de correlaciones empíricas obtenidas del estudio del subsuelo de Guayaquil, se pudo estimar perfiles de Vs y profundidades de semiespacio de una forma más precisa que en estudios similares previos. Adicionalmente, para este estudio se utilizaron los UHS definidos por Beauval et al. (2018), siendo este el más actual existente para la zona de estudio.

Como resultado de los ARS se obtuvo la demanda sísmica en superficie (espectros de aceleración, desplazamiento) para todos los sitios analizados. Además de otros factores de interés como la deformación unitaria máxima, esfuerzos cortantes máximos, razón de esfuerzos cíclicos (CSR), entre otros. De los resultados se puede destacar lo siguiente:

- La aceleración pico del terreno (PGA) máxima obtenida en superficie entre todos los sitios analizados es de 0,63 g, correspondiente al Sitio 222ECU de la zona D5 (depósitos aluvio-lacustres) suelo tipo F.
- Tanto las aceleraciones pico de terreno como las aceleraciones espectrales que se obtuvieron de los análisis de este estudio, fueron menores a las obtenidas en la microzonificación sísmica 2014, especialmente en periodos espectrales largos (entre 0,2 a 1,5 s.)
- No se encontró linealidad en el comportamiento sísmico del suelo, a pesar de haber binormalizado y agrupado los espectros resultantes por zonas geotécnicas
- En todos los casos, el PGA obtenido por el método EQL fue mayor al PGA obtenido por el método NL. Sin embargo, se observó que los análisis NL tienen mayor efectividad para sitios con periodos fundamentales altos y aceleraciones altas que producen deformaciones por cortante máximas, concordando con lo establecido por Rathje y Kottke (2011), Kaklamanos et al. (2013) y Kim et al. (2013).

El presente estudio será un aporte a la Norma Sísmica de Guayaquil 2019, desarrollada por el Subcomité de Peligro Sísmico, quienes buscan integrar los resultados obtenidos en esta investigación en una plataforma digital de la cual se podría obtener los espectros de aceleración y deformación de manera directa. La idea consiste en desarrollar una página web en donde se ingrese las coordenadas UTM del sitio de interés y el periodo de retorno para el cual se requiere diseñar (43, 475, 1000 o 2500 años), y la plataforma define el periodo fundamental del sitio ( $T_e$ ), la zona geotécnica a la que pertenece y el PGA automáticamente; todo lo anterior basándose en el mapa geotécnico de Guayaquil, el mapa de isoperiodos de vibración y los espectros (obtenidos

por ARS) existentes en puntos cercanos. Se planea permitir la actualización de esta plataforma para que, a medida que aumenten los puntos analizados, la información estimada sea más precisa.

Adicionalmente, a pesar de que la presente investigación representa el estudio más completo y sofisticado realizado hasta el momento para la ciudad de Guayaquil, se recomienda realizar análisis de respuesta de sitio previo al desarrollo de proyectos que contengan estructuras esenciales y especiales (hospitales, centrales eléctricas, telefónicas, cuarteles de bomberos, policías, etc.). Adicionalmente, se espera que este estudio sirva como base para futuros estudios relacionados, como, por ejemplo, análisis de licuefacción (fenómeno que no ha sido considerado en esta investigación y es de mucha importancia en zonas cercanas al río) y análisis de respuesta de sitio bidimensionales en las zonas cercanas a los cerros.

Finalmente, de acuerdo con las recomendaciones de la ONU, se busca que las ciudades sean resilientes ante amenazas naturales, entre estas, los sismos. Se conoce que el riesgo sísmico en una ciudad está asociado a la vulnerabilidad de las estructuras para una demanda sísmica determinada. Al actualizar la demanda sísmica a través del presente estudio, se podría realizar un análisis de riesgo sísmico con el cual se podría estimar las pérdidas humanas y económicas para los diferentes escenarios sísmicos estudiados en esta tesis; y este serviría para un plan de reducción de riesgo llevando a Guayaquil a ser una ciudad sísmicamente resiliente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahamson, N.A. (1992). Non-stationary spectral matching. *Seismological Research Letters*, 63(1), 30.
- Al Atik, L. y Abrahamson, N. (2010). An improved Method for Non-stationary Spectral Matching. *Earthquake Spectra*, 26(3), 601-617. <https://doi.org/10.1193/1.3459159>.
- Ameratunga, J., Sivakugan, N. y Das, Braja M. (2016). Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering. DOI: 10.1007/978-81-322-2629-1.
- Ansal, A. (2004). Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/1-4020-2528-9>
- ASTM D1586-11, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D422-63, Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D4318-05, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D5311-13, Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D5778-12, Standard Test Methods for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- Ballester, I. (2009). Simulación estocástica de espectros sísmicos de respuesta cinemática a partir de modelos sísmológicos no estacionarios (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Barclay, F., & et al. (2008). Inversión sísmica: Lectura entre líneas. *Oilfield Review*, 51.
- Bath, M. (1973). *Introduction to Seismology*. Halsted Press.
- Beauval, C., Marinier, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, J., Alvarado, A., . . . Jomard, H. (2018). A New Seismic Hazard Model for Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2.
- Benitez, S., Vera Grunauer, X. y Alvarez, V. (2005). Estudio geológico de la ciudad de Guayaquil. Informe final de investigación y Estudio de comportamiento dinámico del subsuelo y Microzonificación de la ciudad de Guayaquil. IIFIUC, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: M.I. Municipio de la ciudad de Guayaquil.

- Bommer, J. J., y Scherbaum, F. (2008). The Use and Misuse of Logic Trees in Probabilistic Seismic Hazard Analysis. *Earthquake Spectra*, 24(4), 997-1009. <https://doi.org/10.1193/1.2977755>.
- Borcherdt, R. D., J. F. Gibbs, and K. R. Lajoie. Prediction of maximum earthquake intensities in the San Francisco Bay region for large earthquakes on the San Andreas and Hayward faults, U. S. Geol. Surv. Misc. Field Studies Map 709, 1975.
- Braja M., D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. 1a edición. México: International Thompson.
- Ceballos, Y., Lara, J. y Castro, F. (2011). Ensayo triaxial cíclico para suelos grueso granulares y fino granulares. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. Recuperado en: <https://es.scribd.com/doc/64402979/Ensayo-Triaxial-Ciclico-Para-Suelos-Granulares-y-Finos-Granulares>.
- Chávez-García, F. y Montalva, G. (2014). Efectos de sitio para Ingenieros Geotécnicos, estudio del valle Parkway. *Obras y Proyectos* 16, 6-30
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras*. México: Pearson Educación.
- Cisneros-Heredia, D. (21 de 01 de 2011). Nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2011 incluirá propuesta USFQ. Obtenido de <https://noticias.usfq.edu.ec/2011/01/nuevo-codigo-ecuatoriano-de-la.html>
- Cornell CA. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 58:1583-606.
- Darendeli, M. (2001). Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves.
- Elnashai, Amr & Di Sarno, Luigi. (2015). *Fundamentals of Earthquake Engineering, From Source to Fragility*. Segunda Edición. Reino Unido: Editorial John Wiley & Sons, Ltd.
- Espinoza, J. (2015). Cocientes entre espectros y pseudoespectros de aceleración y de velocidad correspondientes a distintas zonas del Valle de México (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Espinosa, M. (2017). Análisis de la demanda sísmica de diferentes tipos de sismos chilenos en base a la atenuación de alta frecuencia (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Estudios Geotecnicos (2013). Ensayos de laboratorio – resistencia de los suelos (3): ensayo triaxial. Recuperado en: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-3-ensayo-triaxial/>.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Building*, Rep. FEMA 273, Washington, DC.

- Giesecke, A.; Capera A.A.G.; Leschiutta I.; Migliorini E.; Valverde L.R. (2004). *The CERESIS earthquake catalogue and database of the Andean Region: background, characteristics and examples of use*. *Annals of Geophysics* 47 (2/3): 421-435.
- Hashash, Y. M. A., Musgrove, M. I., Harmon, J. A., Groholski, D. R., Phillips, C. A., & Park, D. (2015). DEEPSOIL 6.1, user manual. Urbana: Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hernández, O. (2013). Consideración del efecto de la componente vertical sísmica en el diseño de concreto reforzado (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
- Idriss, I. (1991). Earthquake ground motions at soft soil sites. Second International Conference on Recent Advance in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics.
- Imai, T. y Yoshimura, Y. (1975). The relation of mechanical properties of soils to P and S-wave velocities for ground in Japan. Technical Note OYO Corporation.
- INEN. (2001). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO. En INEN, CÓDIGO DE PRACTICA ECUATORIANO (pág. 22). Quito.
- Juárez, E. y Rodríguez A. (2005). Mecánica de Suelos Tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos. Ciudad de México, México: Editorial Limusa.
- Kaklamanos, J., B. A. Bradley, E. M. Thompson and L. G. Baise (2013). "Critical parameters affecting bias and variability in site response analyses using KiK-net downhole array data." *Bulletin of the Seismological Society of America* 103(3).
- Kalkan E. y Chopra A.K. (2010). Practical Guidelines to Select and Scale Earthquake Records for Nonlinear Response History Analysis of Structures: U.S. Geological Survey. Open-File Report 2010.
- Kumar, Shiv & Murali Krishna, A & Dey, Arindam. (2014). Parameters Influencing Dynamic Soil Properties: A Review Treatise. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*. 3. 47-60.
- Kokusho, T. (1980). Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range. *Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 20(2), 45-60.
- Kottke, A. R. (2010). A comparison of seismic site response methods. University of Texas, Austin.
- Kottke, A. R., & Rathje, E. M. (2008). Technical manual for Strata. University of California, Berkeley.
- Kramer, S. (1996). *Seismic Hazard Analysis*. Geotech. Earthq. Eng., Prentice Hall.

- Multichannel Analysis of Surfaces Waves (2019) Data Acquisition, General procedure (Step by Step summary). Connecticut, USA. Recuperado en: <http://masw.com/DataAcquisition.html>.
- Matasovic, N., & Vucetic, M. (1993). Cyclic characterization of liquefiable sands. *Journal of Geotechnical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s12104-010-9280-3>.
- McGregor, J. y Duncan, J.M. (1998). Performance and use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice. Report of a study performed by the Virginia Tech Center for Geotechnical Practice and Research. The Charles E. Via, Jr. Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Mendoza, C.; Dewey J.W. (1984). *Seismicity associated with the great Colombia-Ecuador earthquakes of 1942, 1958, and 1979: Implications for barrier models of earthquake rupture*. *Bulletin of the Seismological Society of America* 74 (2): 577-593.
- Menq, F. (2003). Dynamic Properties of Sandy and Gravelly Soils. *Philosophy*.
- MIDUVI. (2014). PELIGRO SÍSMICO. Diseño Sismo Resistente. En M. d. Vivienda, Norma Ecuatoriana de la Construcción (págs. 27-28). Quito: Dirección de comunicación social MIDUVI.
- Montalva, G., Soto, F., y Rodríguez-Marek, A. (2012). PROPUESTA DE DEMANDA SÍSMICA CONTINUA PARA CÓDIGOS: ALEJÁNDONOS DE VS301. Fuente: *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 85.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report Railway Technology Research Institute*. 30 (1), 25-30.
- Nassaji, Farzad & Kalantari, Behzad. (2011). SPT capability to estimate undrained shear strength of fine-grained soils of Tehran, Iran. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*.
- Nikolaou, Sissy & Vera-Grunauer, Xavier & Gilsanz, Ramon. (2016). GEER-ATC Earthquake Reconnaissance 2016 Muisne, Ecuador Earthquake GEER Report-049. 10.5072/FK2833T22B.
- Ohba, S. y Toriuma, I. (1970). Dynamic response characteristics of Osaka Plain. *Proc. Ann. Meeting AIJ* (en japonés).
- Ohta, Y. and Goto, N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 6, 167-87.
- Panjamani, A., Katukuri, A. K., Reddy, G., Sayed, M., & Al-Arifi, N. (2018). Seismic site classification and amplification. *PLOS one*, 1.

- Parra, H. (2016). Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador continental y estudio del riesgo sísmico en la ciudad de Quito. Universidad Politécnica De Madrid, 4.
- Perrey, A.M. (1847). Sur les tremblements de terreaux Antilles. Memoires de L'Academie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Dijon, Annees 1845-1846, p. 325-392.
- Pestana, J. M., y Salvati, L. A. (2006). Small-strain behavior of granular soils. I: Model for cemented and uncemented sands and gravels. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(8), 1071–1081.
- Phillips, C. (2013). Dynamic soil modeling in site response and soil-large pile interaction analysis (Tesis doctoral). University of Illinois at Urbana-Champaign. Urbana, USA.
- Plan Arquitecto. (30 de 10 de 2018). NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción. Obtenido de <http://www.planarquitecto.com/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Rodríguez, M. (2015). Caracterización de la Respuesta Sísmica de los Suelos (Tesis de maestría). Aplicación a la ciudad de Barcelona. Unversitat politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Rothe, J.P. (1953). Tableau de la seismicite du globe pendant les annees 1949-1950, Bureau International De Seismologie, Strasbourg.
- Sabetta, F. (2013). Seismic hazard and design earthquakes for the central archaeological area of Rome. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 12. 10.1007/s10518-013-9427-6.
- SEAOC Vision 2000 Committe. (1995). Performance based seismic engineering. Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.
- Semblat, J.-F. (4 de marzo de 2014). Site effects in Mexico City: recordings from the 1985 earthquake.
- Schmertmann, J.H. y Palacios, A. (1979). Energy dynamics of SPT. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 105, 909-926.
- Schnabel, P. B., Lysmer, J., & Seed, H. B. (1972). SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Earthquake Engineering Research Center. <https://doi.org/UCB/EERC-72/12>
- Schnaid, F., Odebrecht, E., Rocha, M. M., & de Paula Bernardes, G. (2009). Prediction of soil properties from the concepts of energy transfer in dynamic penetration tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(8), 1092–1100.
- Silgado, F.E. (1985). Destructive Earthquakes of South America 1530-1894, vol. 10, Centro Regional de Sismología para America del Sur, Lima, Peru.



- Tarback, E.J. y Lutgens, F.K. (2005): Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología física. 8ª ed. 710 pp. Pearson Prentice Hall.
- URS Corporation. (2007). Seismic hazard evaluation of a tank farm in Guayaquil, Ecuador. Oakland, CA.
- Vera-Grunauer, X., Benítez, S., Hermenejildo, A., López, K., Ramírez J., Ochoa, I., ... González, O. (2014). Elaboración de documento de la microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la norma ecuatoriana de la construcción 2011. Guayaquil.
- Vera-Grunauer, X., Kayen, R., Tandazo Ortega, E., Ramírez Calderón, J., y Vera Grunauer, J., (2005). Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. Estudio Geotécnico Fase I y II. Guayaquil: M.I. Municipalidad de Guayaquil, versión final.
- Vera-Grunauer, X., Quinde Martínez, P., Suárez, M. L., y Mera Ortiz, W. (2016). Propuesta de actualización de la NEC-15 para el peligro sísmico probabilista en roca en el Ecuador. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Wood, C.M., McGann, C.R., Bradley, B.A., Cubrinovski, M., Cox, B.R., Green R.A., Wotherspoon, L.M. (2017). "A comparison of CPT-Vs correlations using liquefaction case history database from 2010-2011 Canterbury earthquake sequence." Proc., Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, PBD-III Vancouver, M. Taiebat et al., eds ISSMGE Technical Committee TC203, paper 297.
- Yoshida, N. (2014). Introduction of Seismic Ground Response Analysis. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9460-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9460-2_2)

## APENDICES

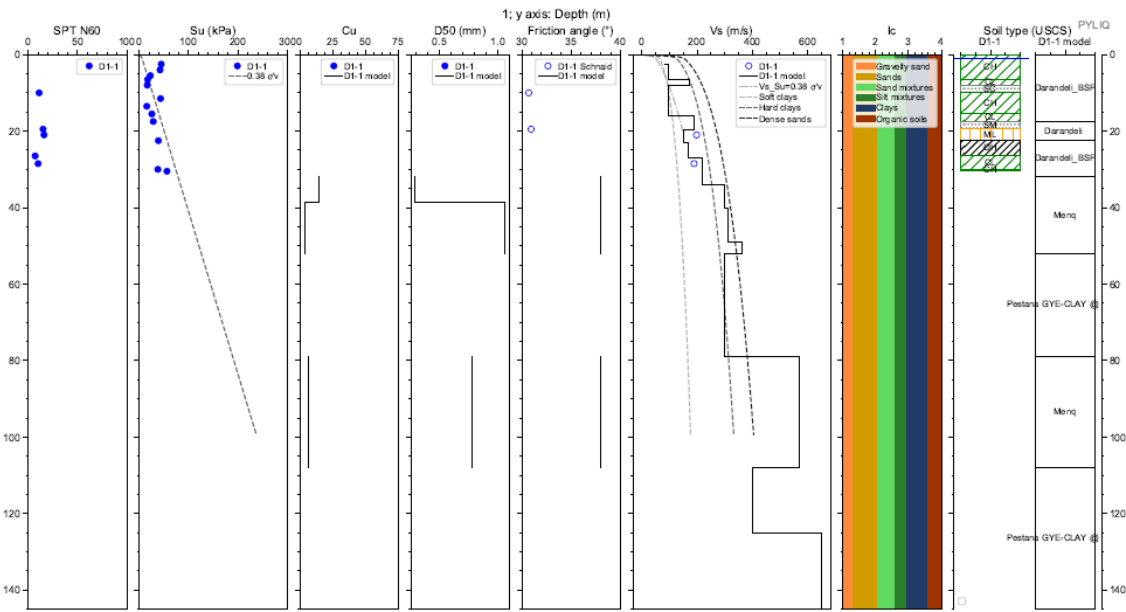
- Zona D1
- Zona D2
- Zona D3
- Zona D4
- Zona D5
- Zona D6

## **Zona D1**

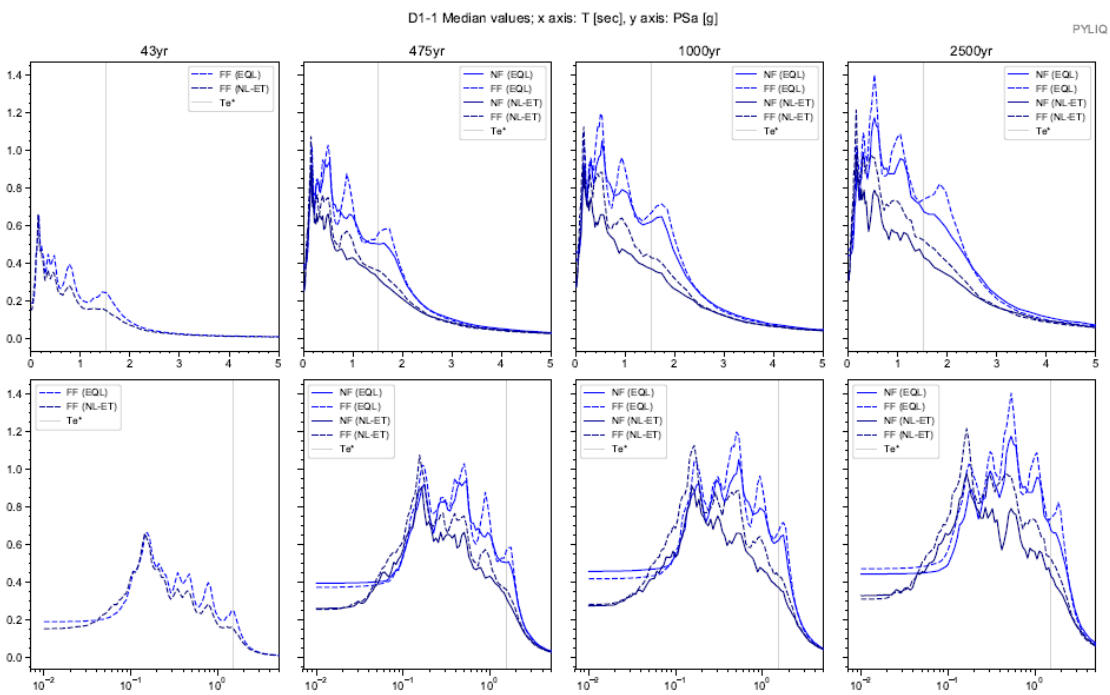
### **Incluye los Sitios:**

- **SITE D1-1**
- **SITE D1-2**
- **SITE D1-3**
- **SITE D1-4**
- **SITE D1-5**
- **SITE 214ECU**
- **SITE 213ECU**
- **SwissotelDowntown**
- **Planta de Tratamiento Esclusas**
- **Línea Imp. Sur 1**
- **Línea Imp. Sur 2**
- **Estación Bomb. Pradera**

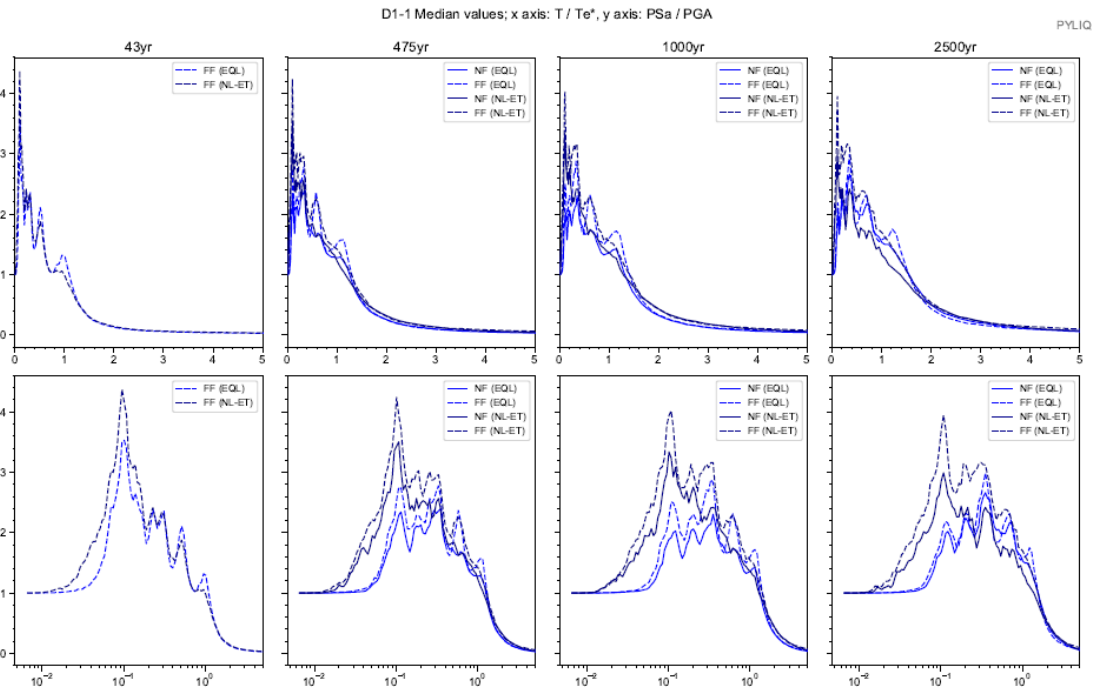
# Sitio D1-1



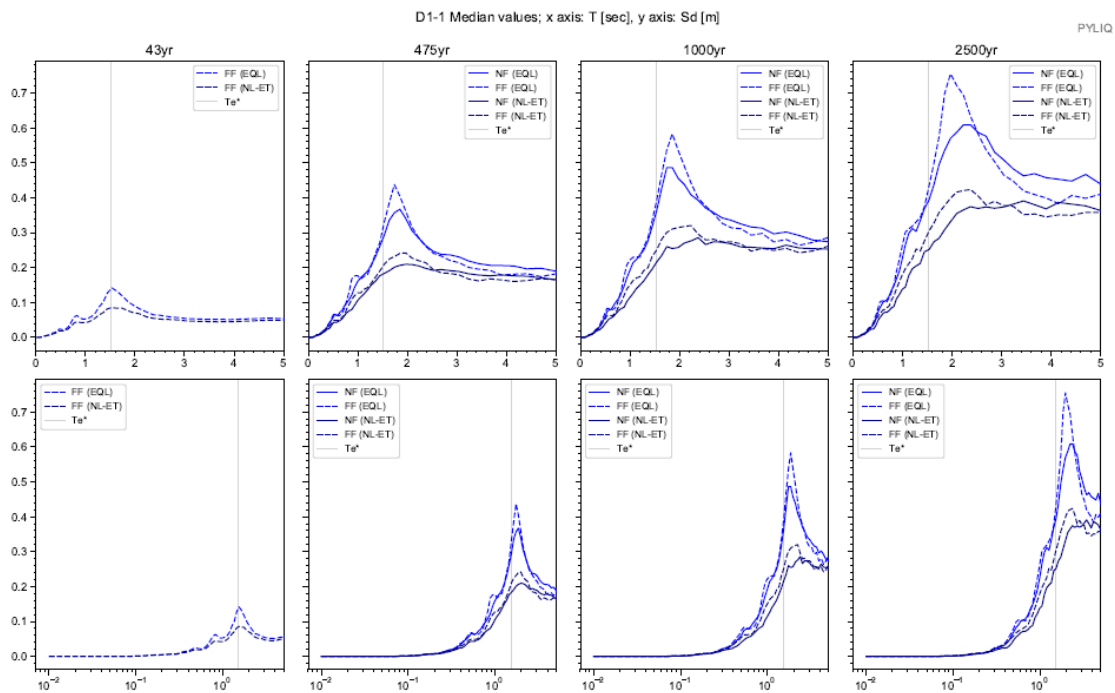
Apéndice 1. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D1-1



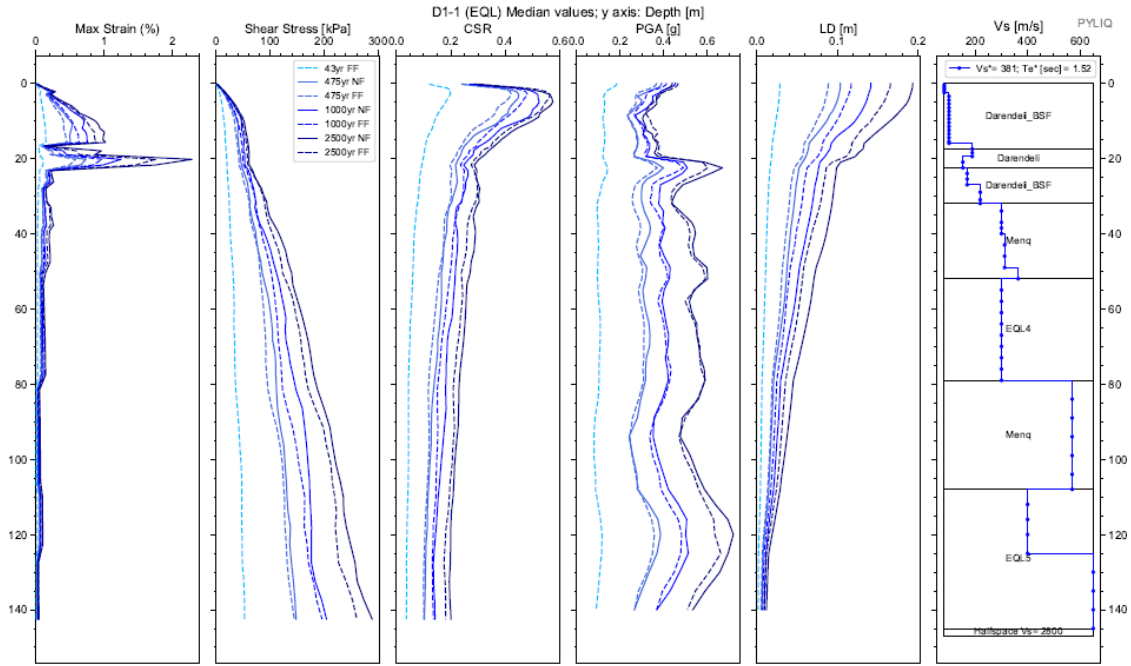
Apéndice 2. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D1-1



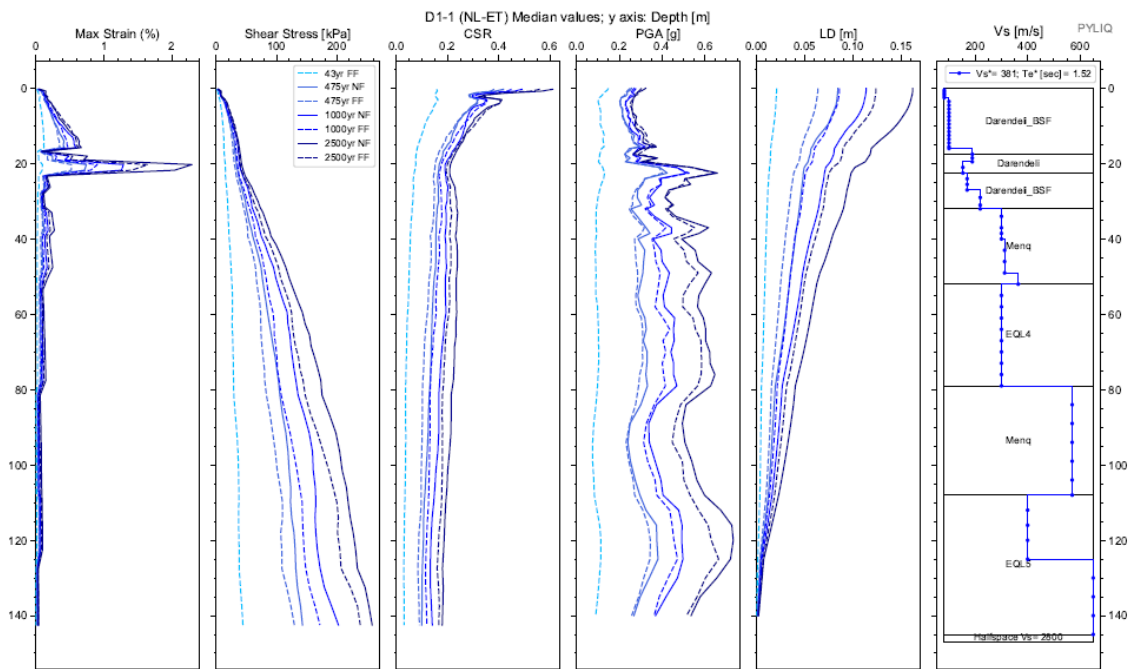
Apéndice 3. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D1-1.



Apéndice 4. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D1-1.



Apéndice 5. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D1-1



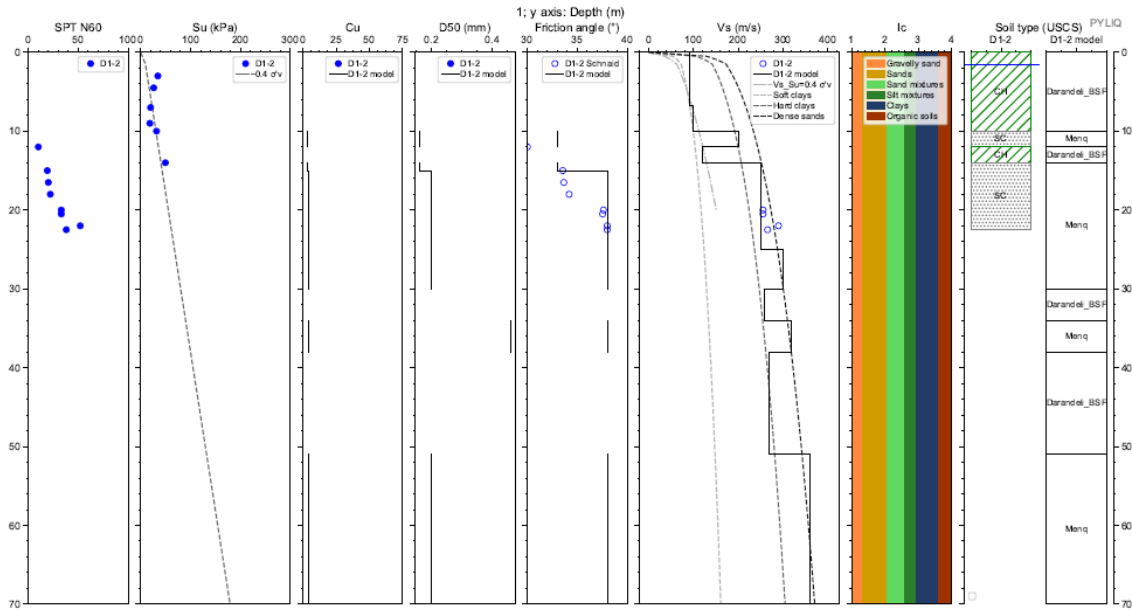
Apéndice 6. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D1-1

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	φ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darandeli_BSF	17,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Darandeli	22,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	28,25	1,00	Darendeli	
MAT3	Darandeli_BSF	32,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	38,50	17,00	10,00	0,29	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	52,00	17,00	4,17	1,06	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	a GYE-CLAY @	79,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT7	Menq	108,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	a GYE-CLAY @	145,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00							2800

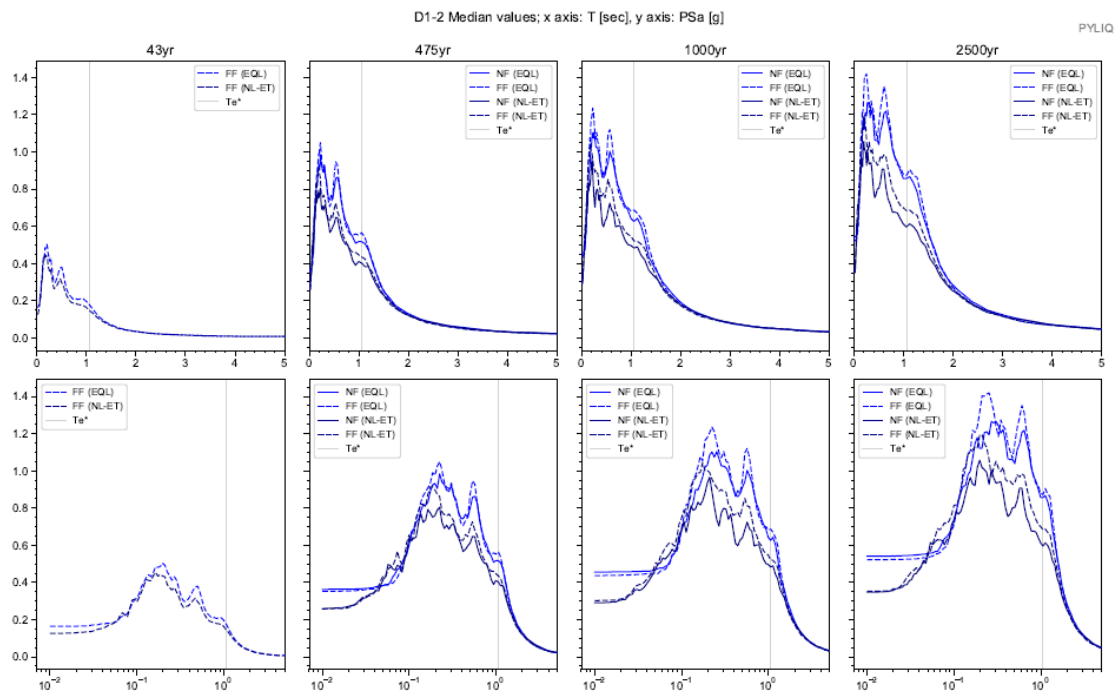
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	82,0
2,5	82,0
16,0	100,0
19,5	189,0
22,5	153,0
27,0	169,0
32,0	219,0
40,0	300,0
49,0	312,0
52,0	364,0
79,0	300,0
108,0	570,0
125,0	400,0
145,0	650,0

Apéndice 7. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D1-1

## Sitio D1-2

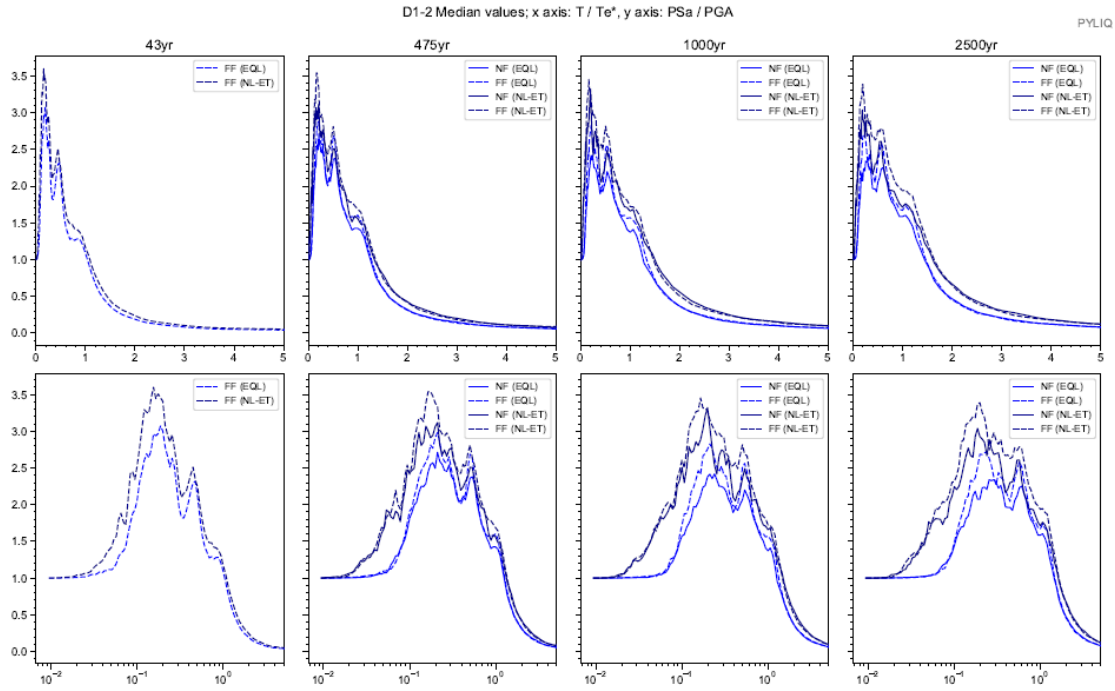


Apéndice 8. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D1-2

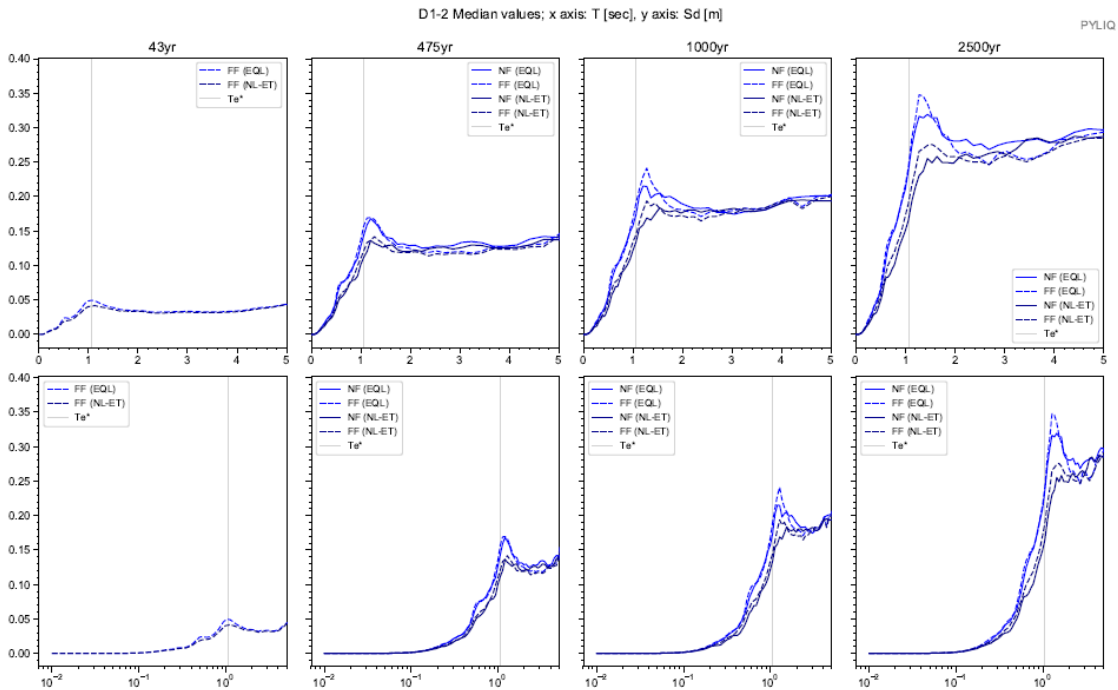


Apéndice 9. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D1-2

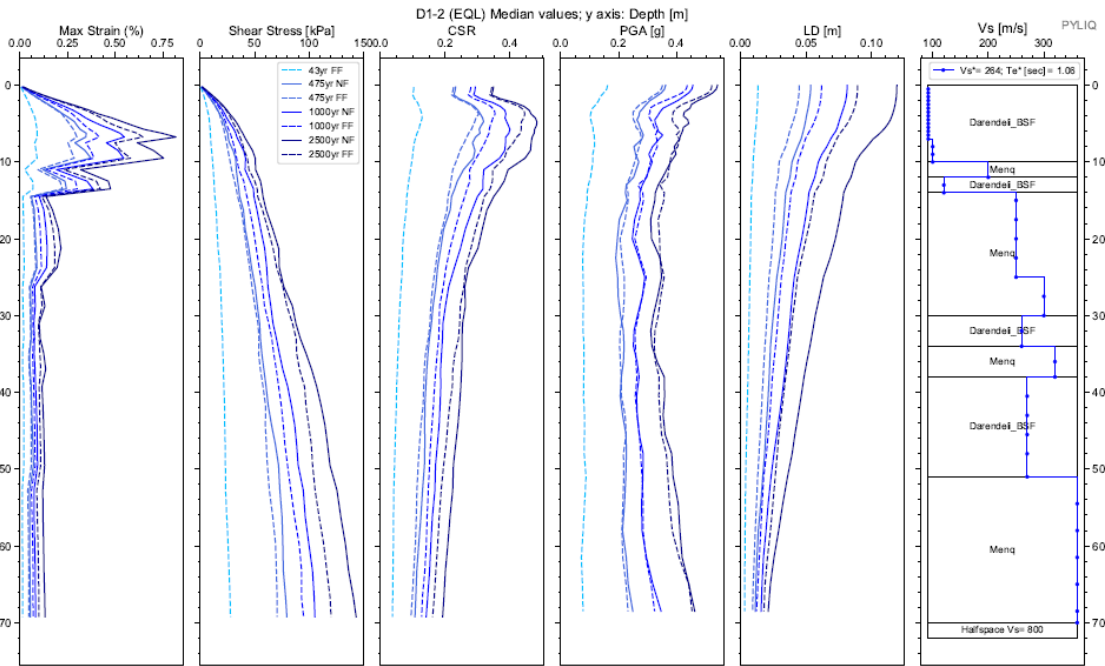




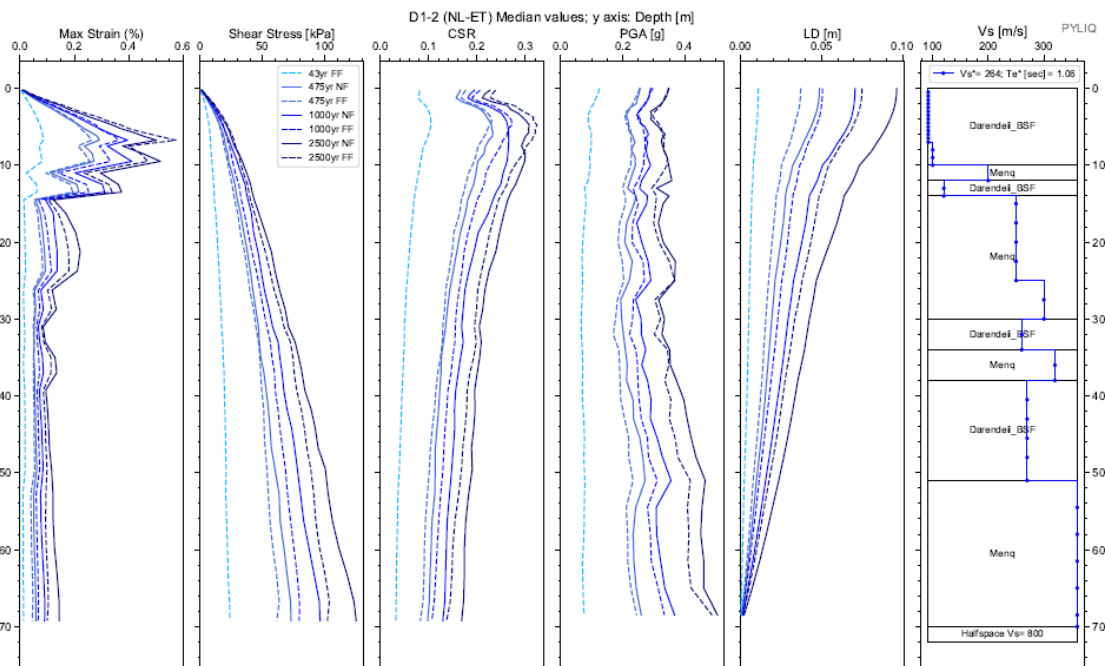
Apéndice 10. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D1-2.



Apéndice 11. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D1-2.



Apéndice 12. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D1-2



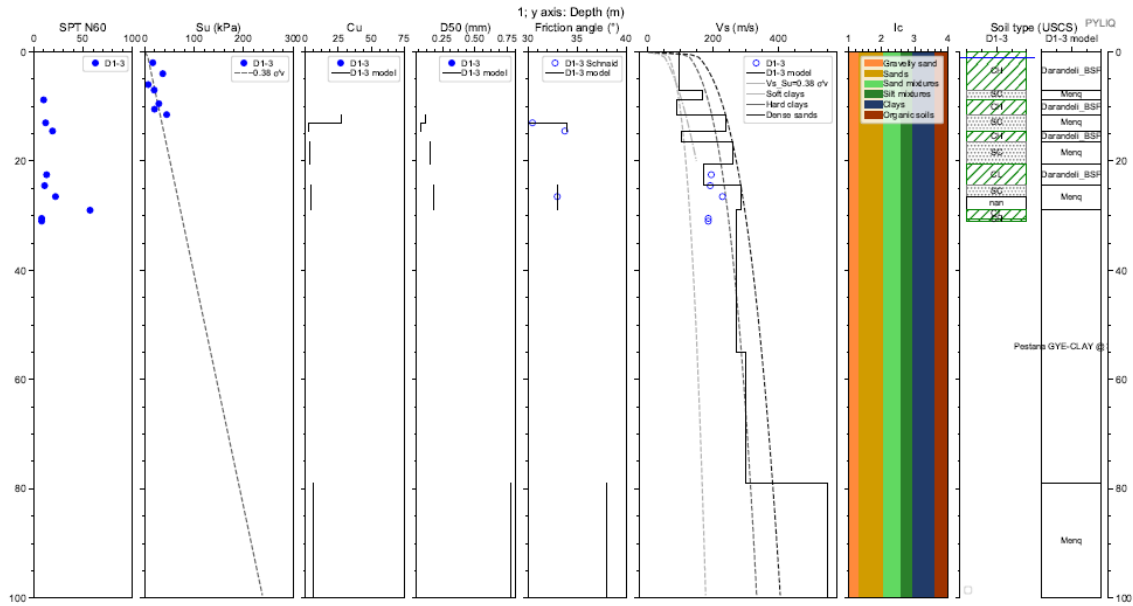
Apéndice 13. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D1-2

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darandeli_BSF	10,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	12,00	17,00	3,40	0,16	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darandeli_BSF	14,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	15,00	17,00	3,40	0,16	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	30,00	17,00	4,00	0,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darandeli_BSF	34,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	38,00	17,00	4,00	0,46	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Darandeli_BSF	51,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT9	Menq	70,00	17,00	4,60	0,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

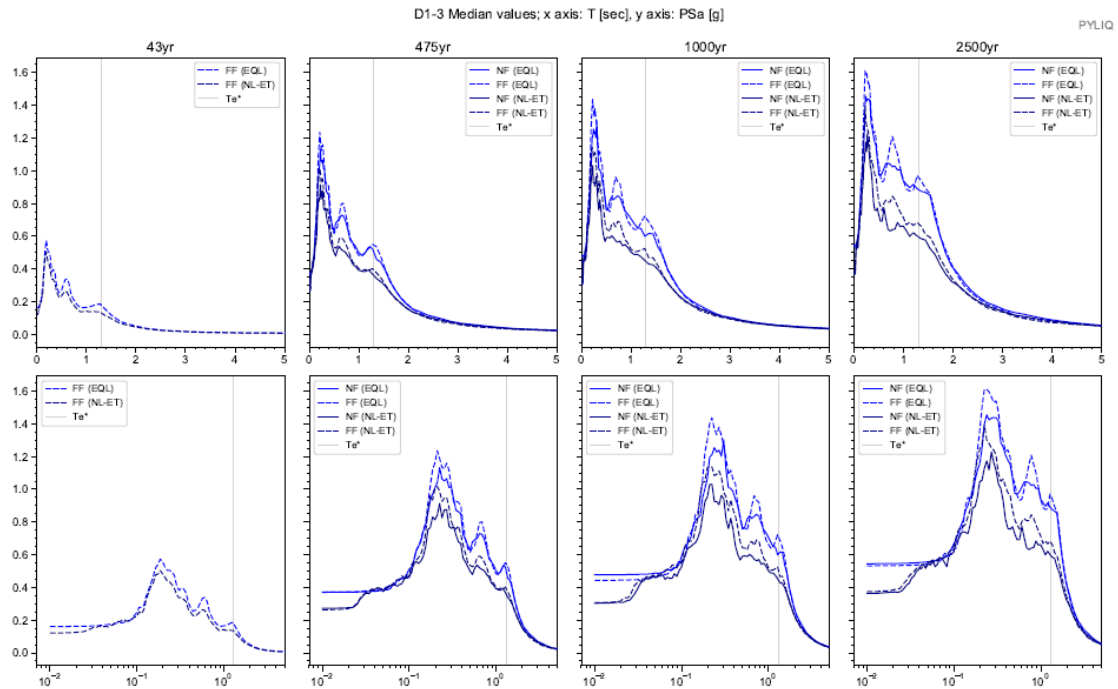
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	92,0
7,0	92,0
10,0	100,0
12,0	200,0
14,0	120,0
25,0	250,0
30,0	300,0
34,0	260,0
38,0	320,0
51,0	270,0
70,0	360,0

Apéndice 14. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D1-2

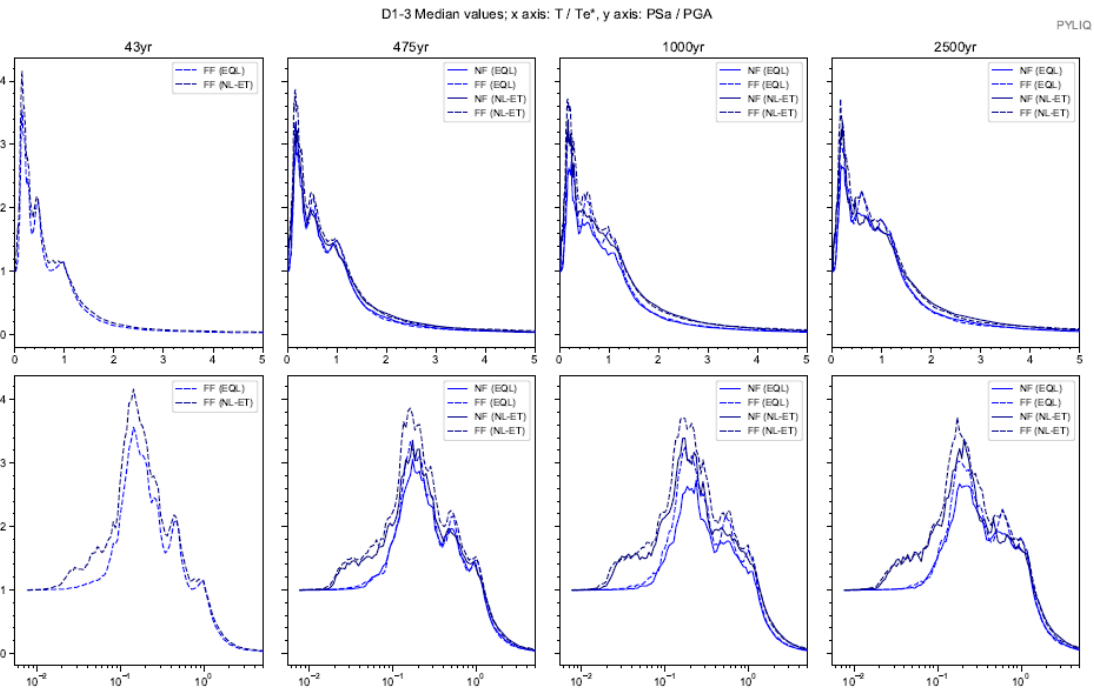
Sitio D1-3



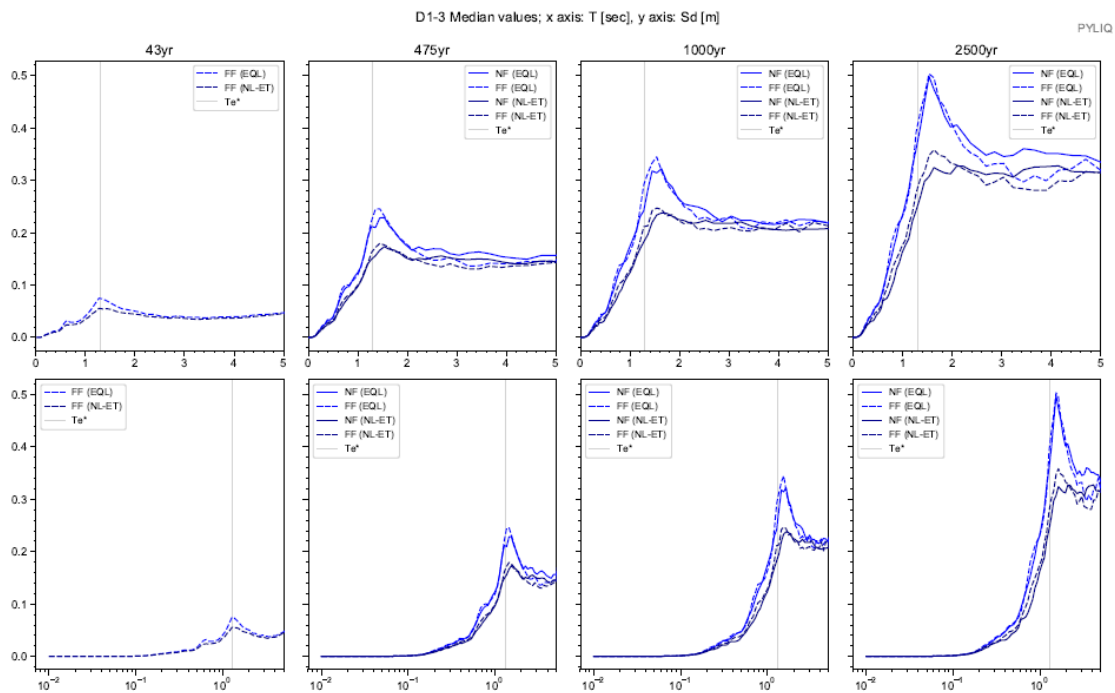
Apéndice 15. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D1-3



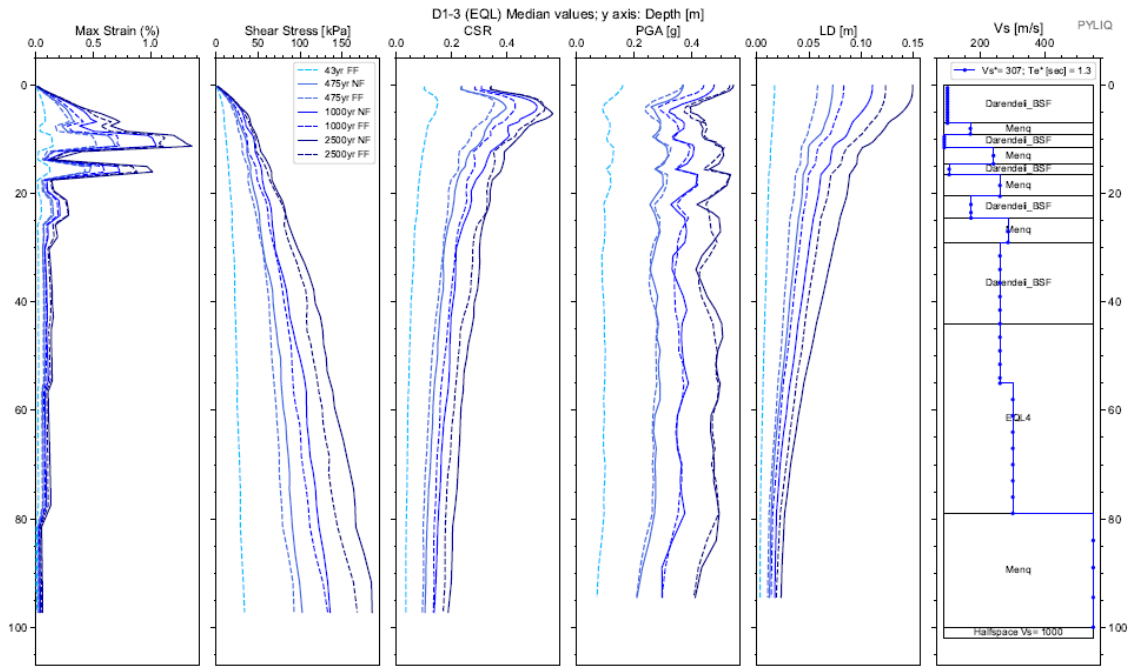
Apéndice 16. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D1-3



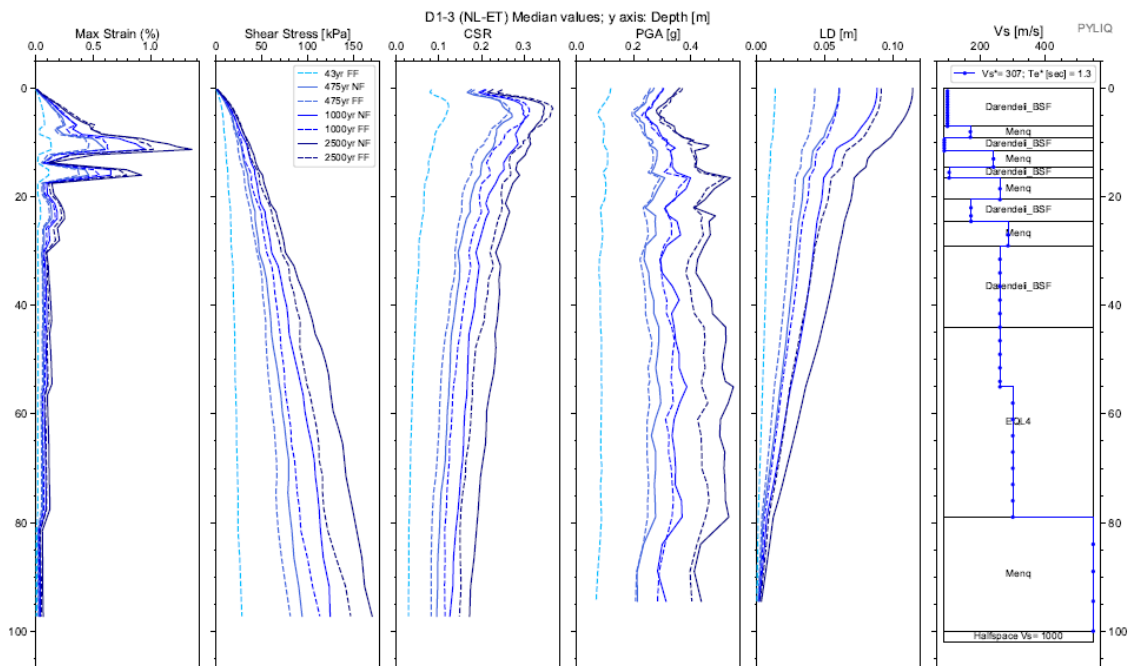
Apéndice 17. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D1-3.



Apéndice 18. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D1-3.



Apéndice 19. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D1-3



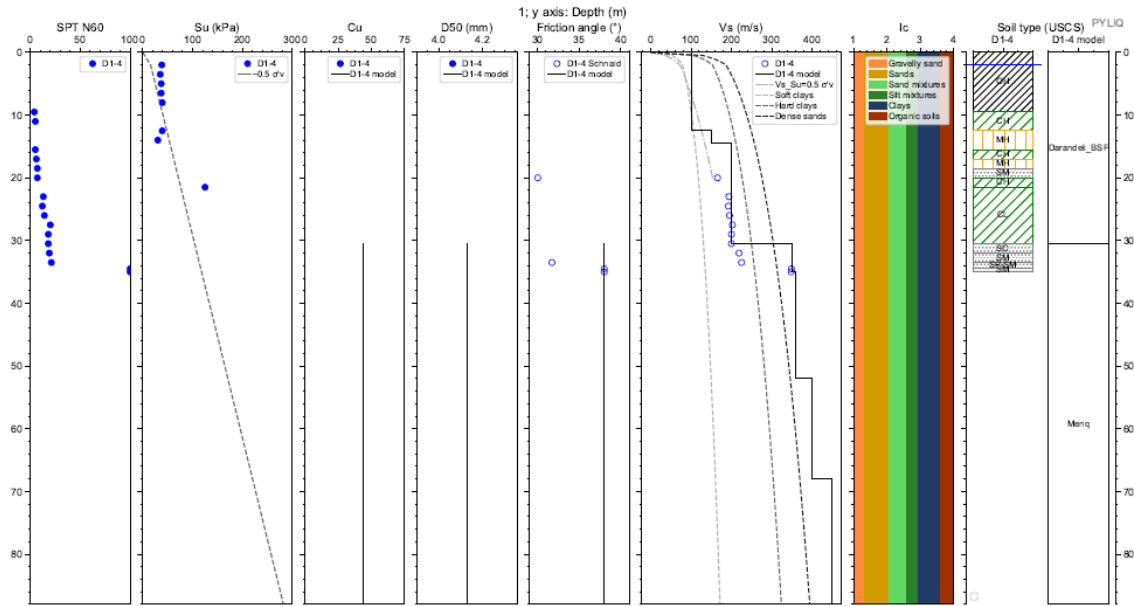
Apéndice 20. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D1-3

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darandeli_BSF	7,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	9,00	17,00	3,40	0,16	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darandeli_BSF	11,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	13,00	17,00	10,00	0,12	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	14,50	17,00	2,35	0,09	34,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darandeli_BSF	16,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	20,50	17,00	3,07	0,15	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Darandeli_BSF	24,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT9	Menq	29,00	17,00	4,05	0,18	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT10	Darandeli_BSF	44,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT11	a GYE-CLAY @	79,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT12	Menq	100,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

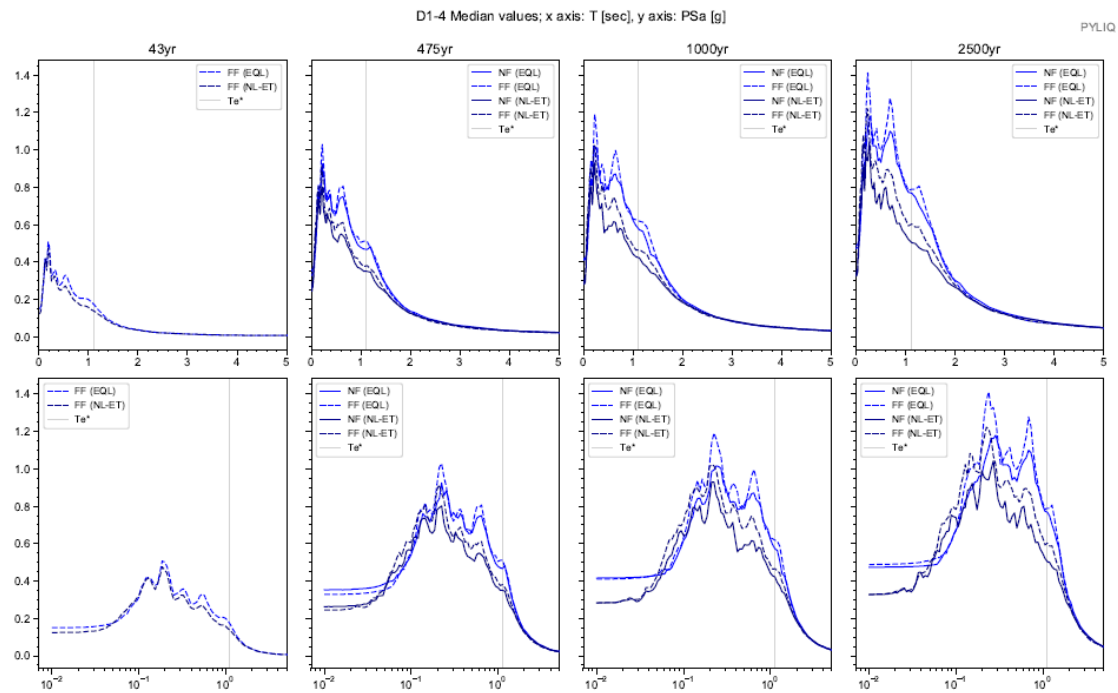
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	97,0
7,0	97,0
9,0	168,0
11,5	87,0
14,5	240,0
16,5	102,0
20,5	260,0
24,5	170,0
29,0	285,0
55,0	260,0
79,0	300,0
100,0	550,0

Apéndice 21. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D1-3

## Sitio D1-4

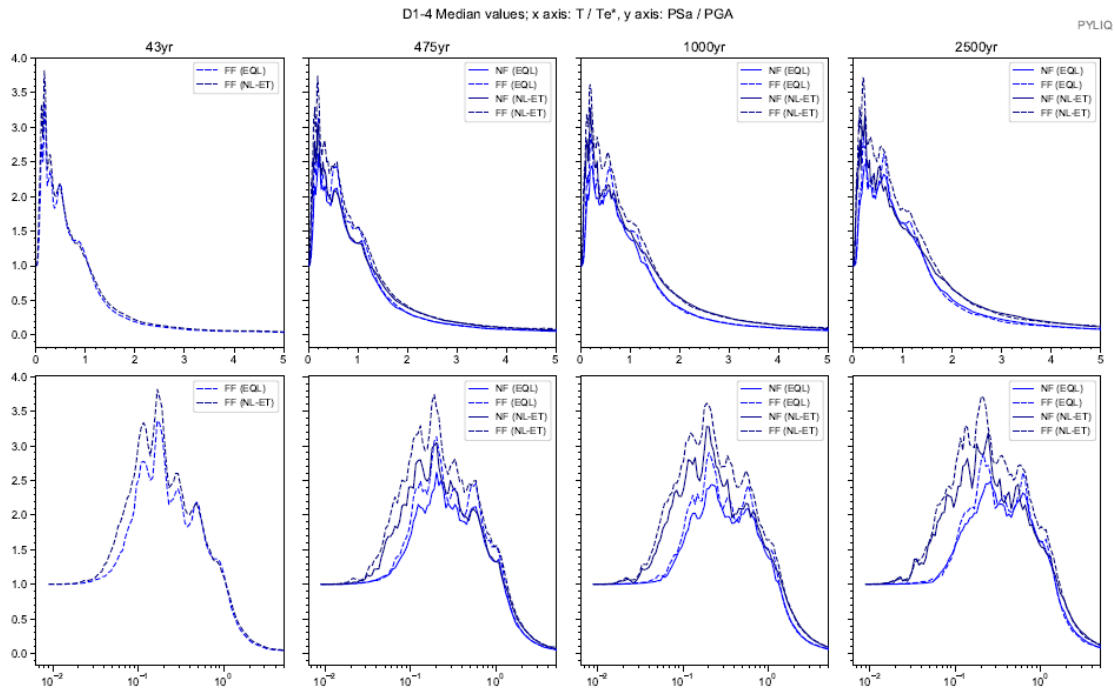


Apéndice 22. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D1-4

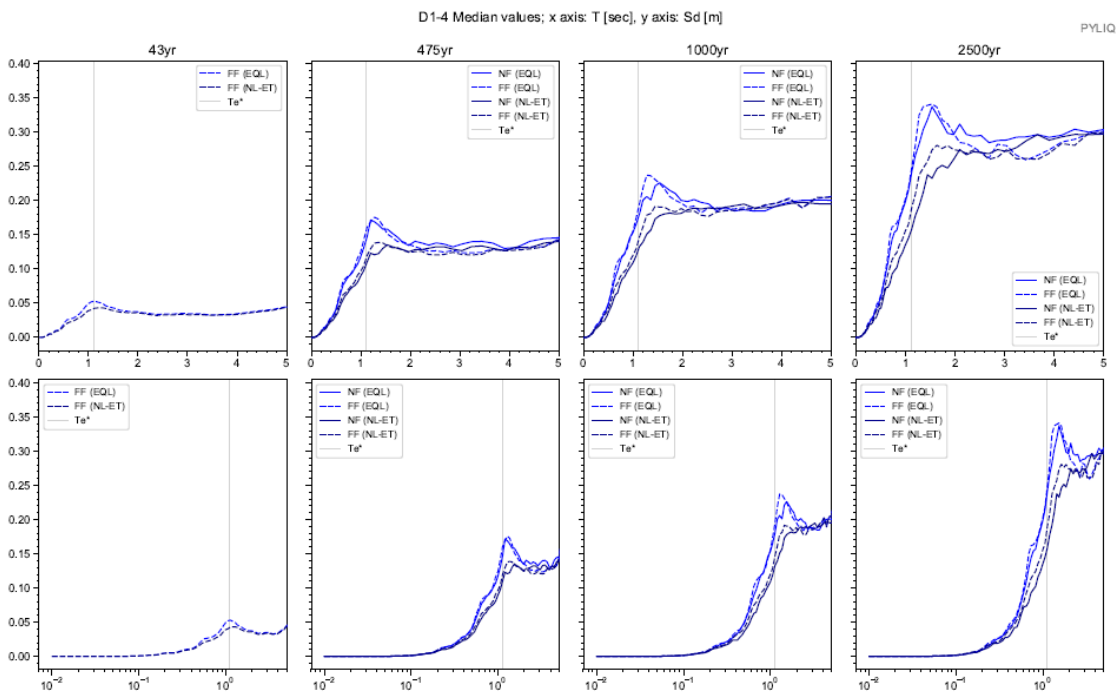


Apéndice 23. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D1-4

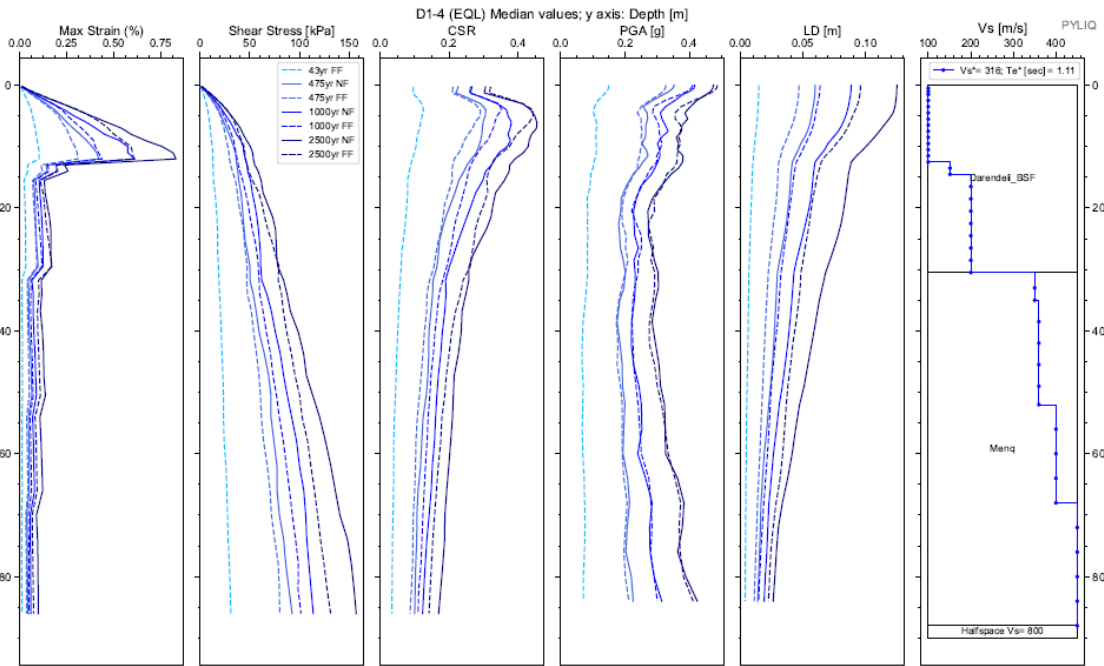




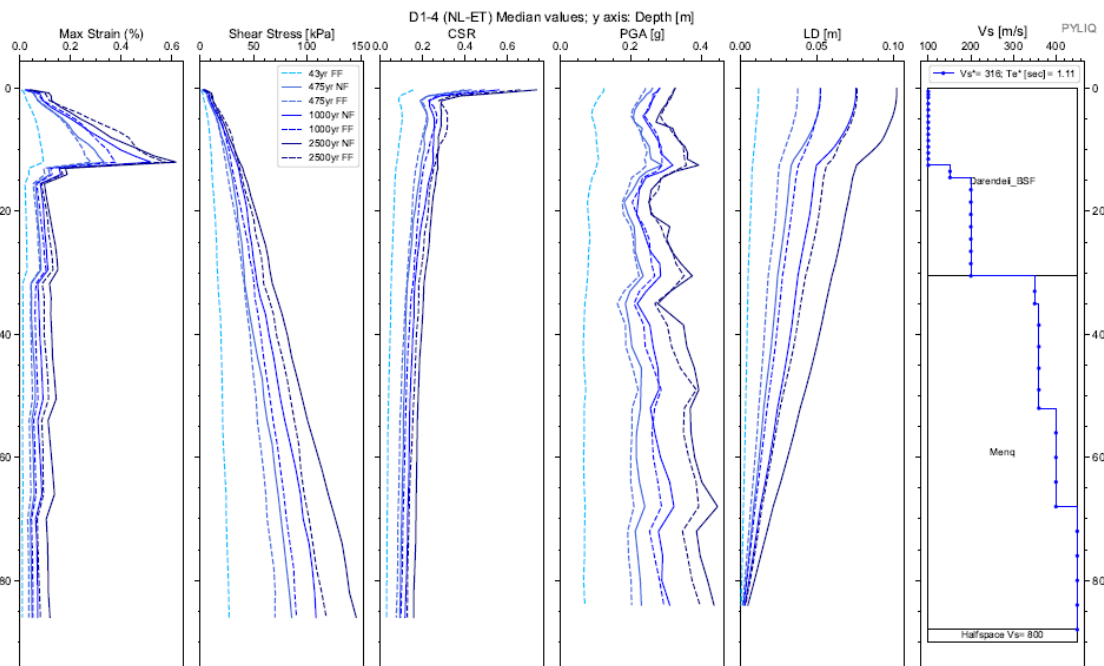
Apéndice 24. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D1-4.



Apéndice 25. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D1-4.



Apéndice 26. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D1-4



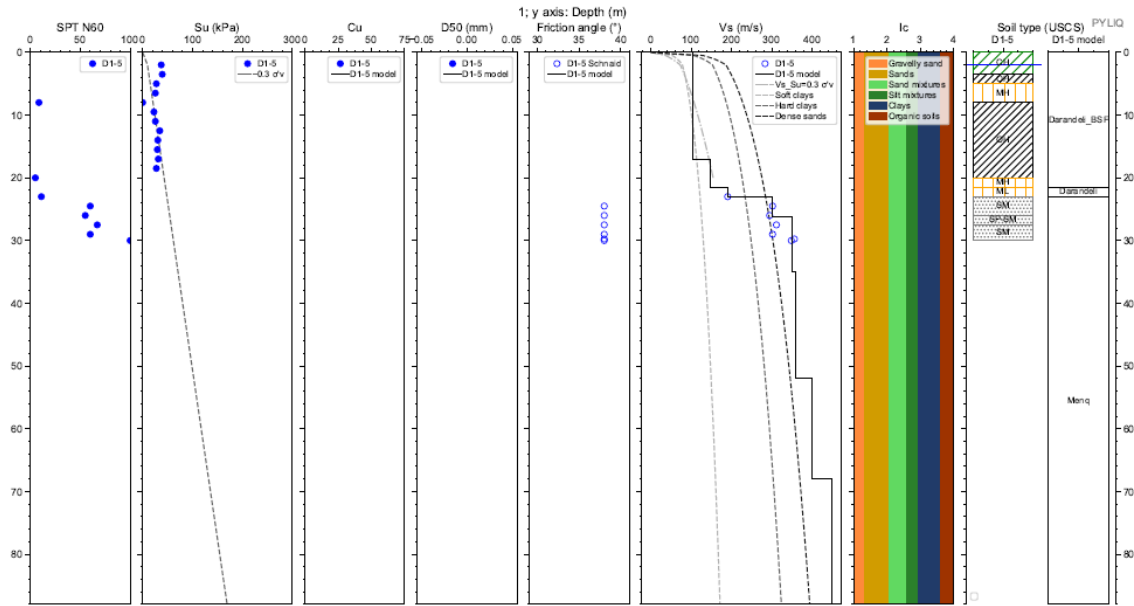
Apéndice 27. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D1-4

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	30,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	88,00	17,00	10,00	4,13	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

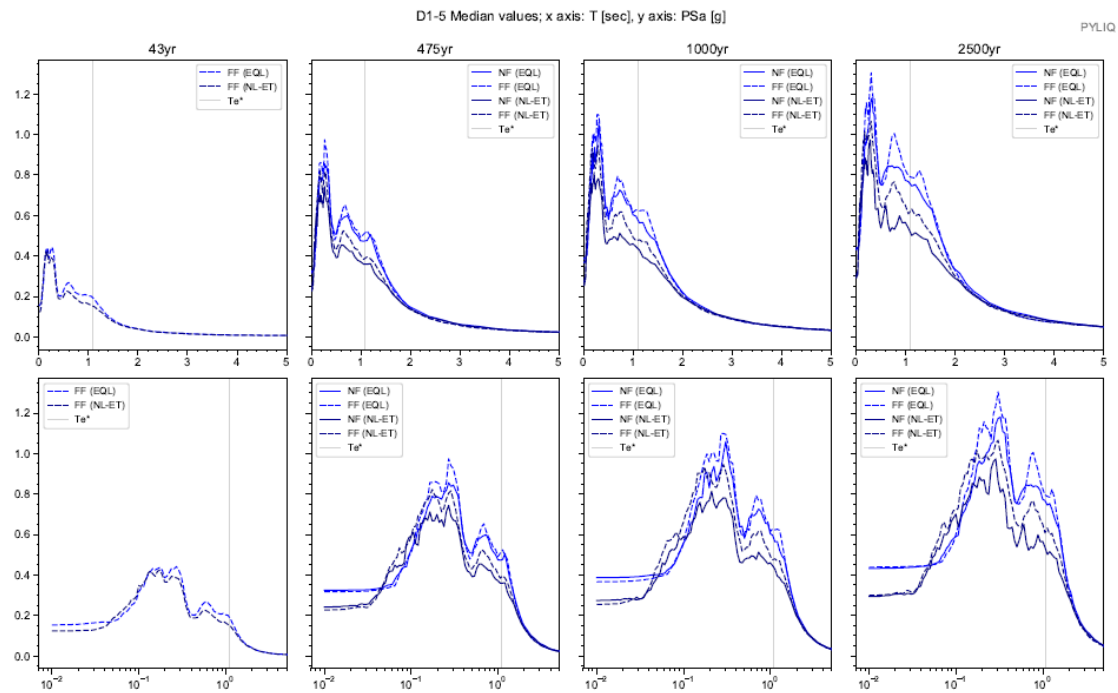
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	100,0
12,5	100,0
14,5	151,0
30,5	200,0
35,0	350,0
52,0	360,0
68,0	400,0
88,0	450,0

Apéndice 28. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D1-4

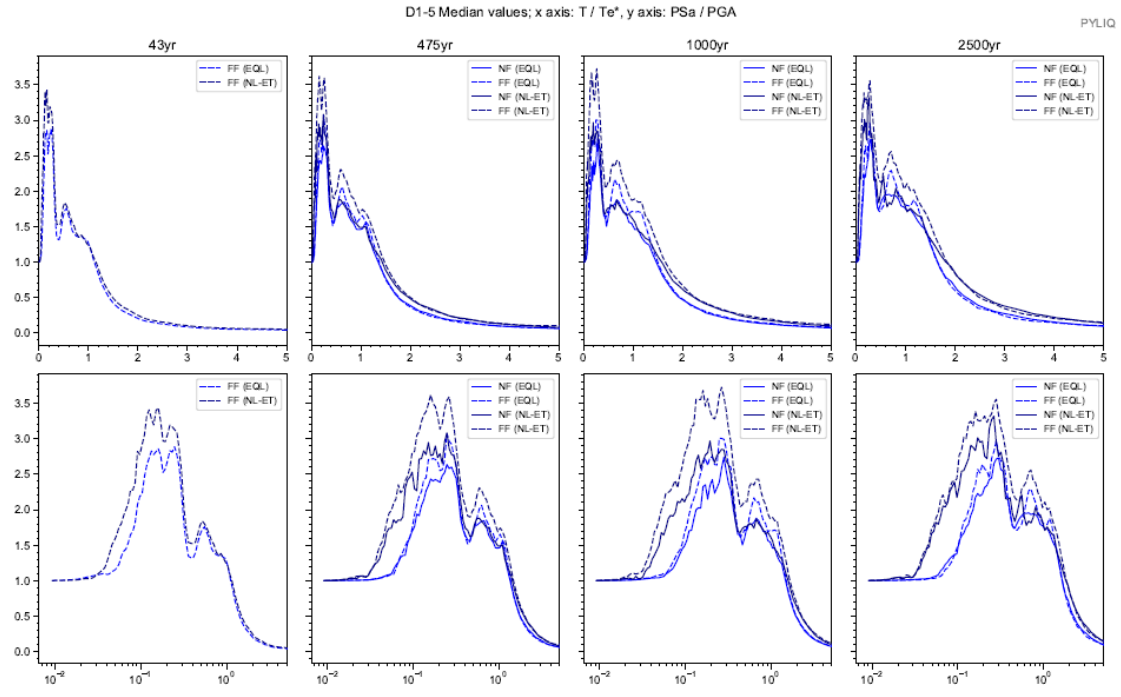
### Sitio D1-5



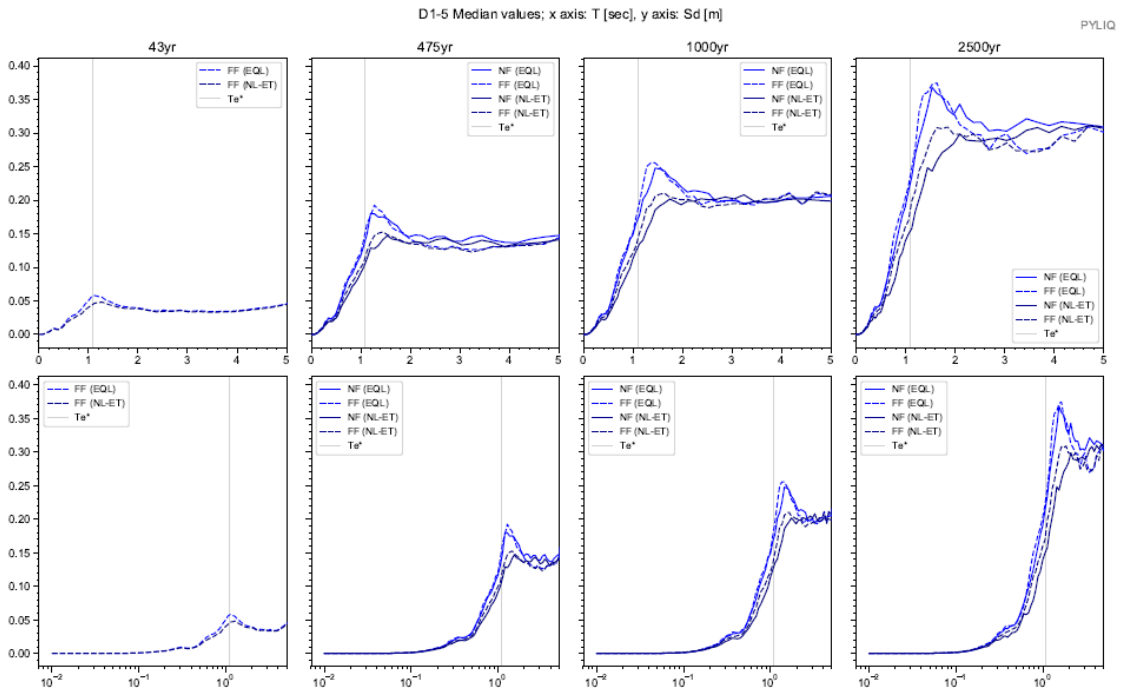
Apéndice 29. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D1-5



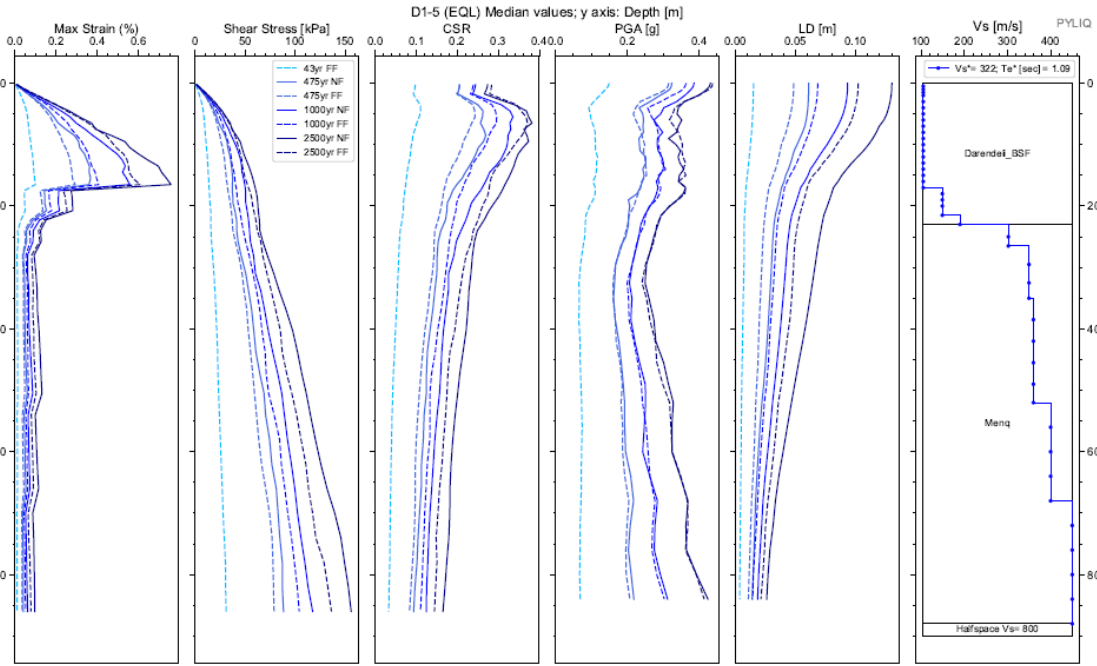
Apéndice 30. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D1-5



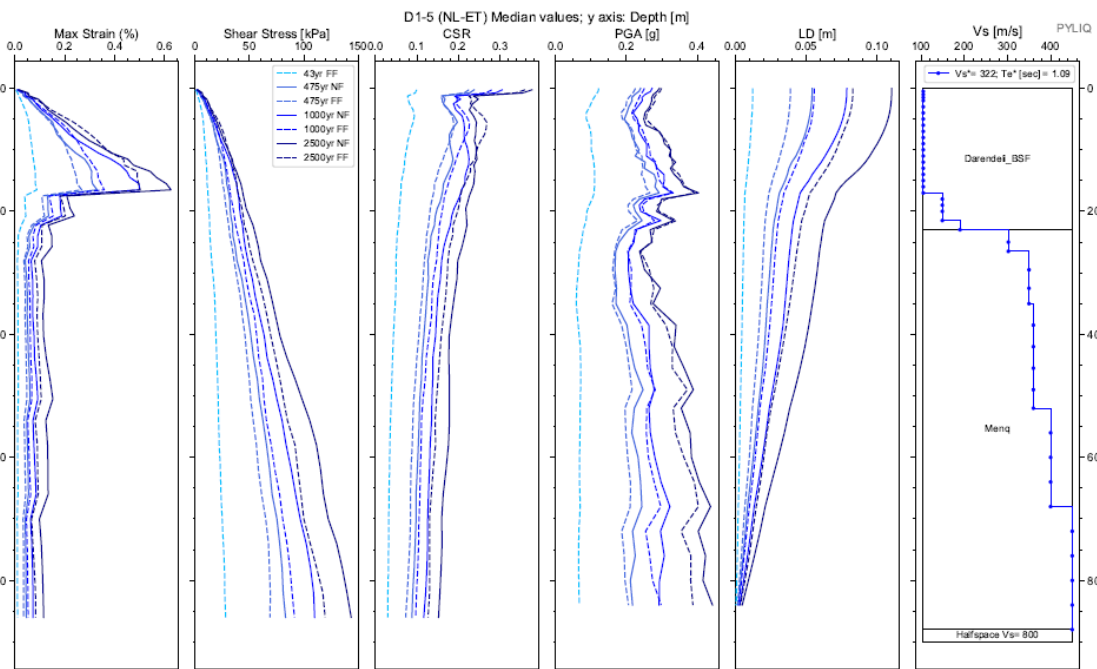
Apéndice 31. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D1-5.



Apéndice 32. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D1-5.



Apéndice 33. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D1-5



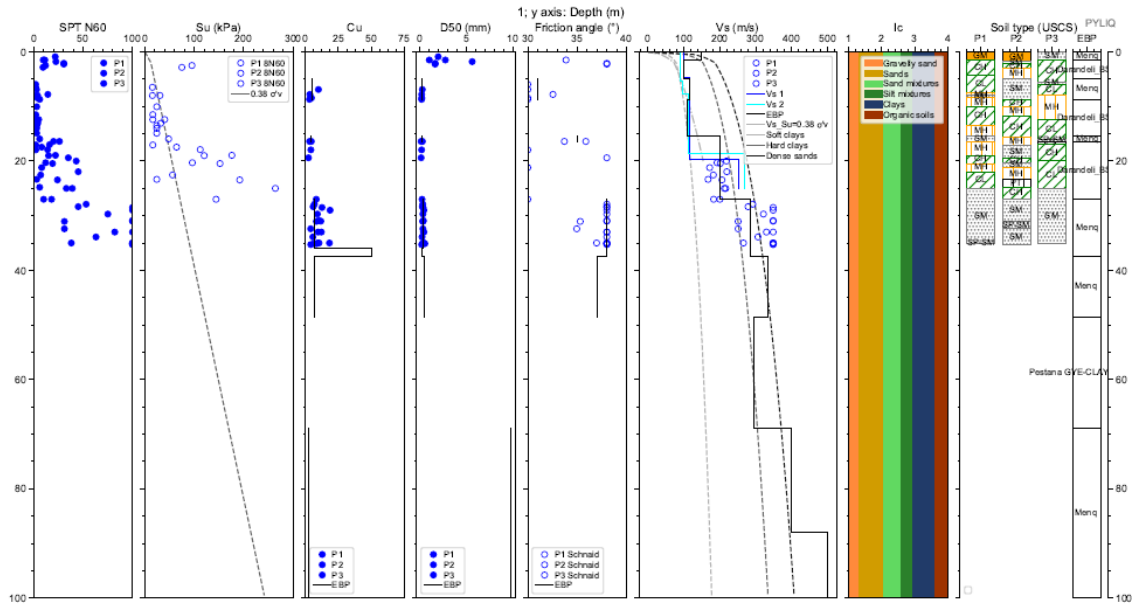
Apéndice 34. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D1-5

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	23,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	88,00	17,00	10,00	4,13	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

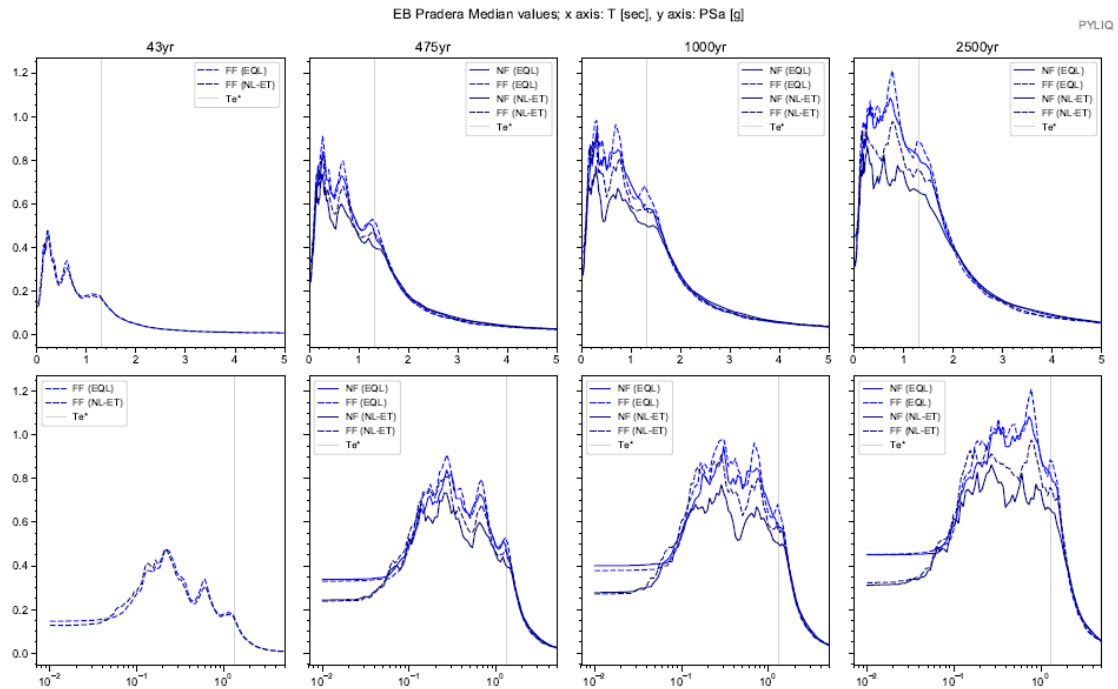
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	105,0
17,0	105,0
21,5	149,0
23,0	190,0
26,5	302,0
35,0	350,0
52,0	360,0
68,0	400,0
88,0	450,0

Apéndice 35. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D1-5

# Sitio EB PRADERA

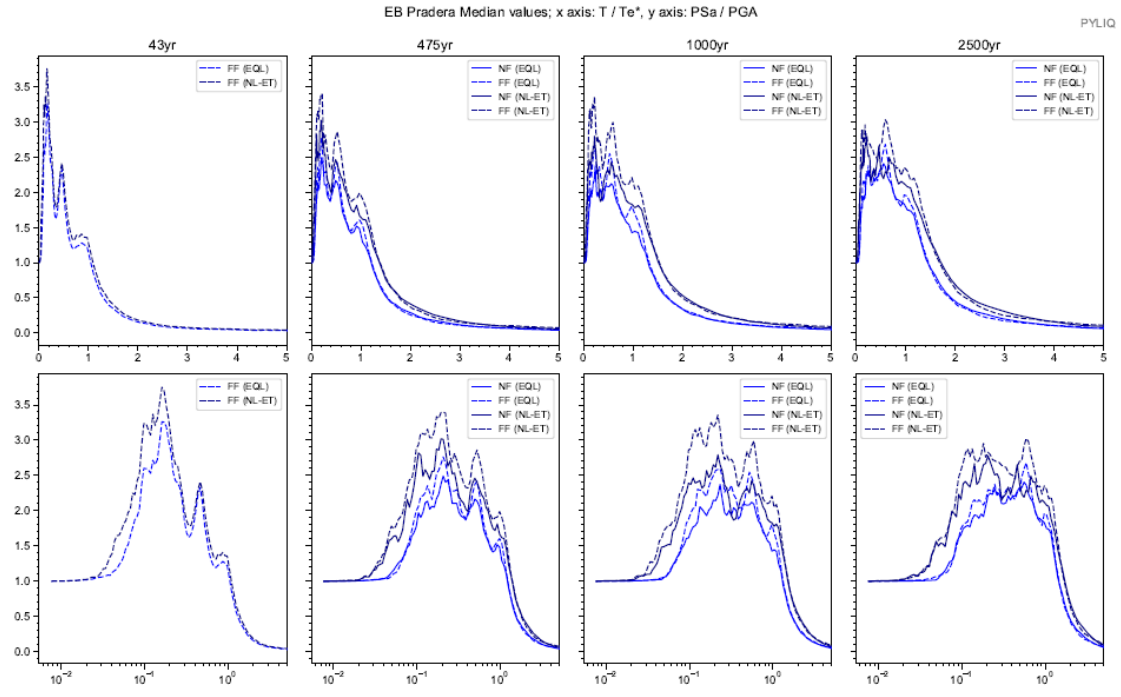


Apéndice 36. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio EB PRADERA

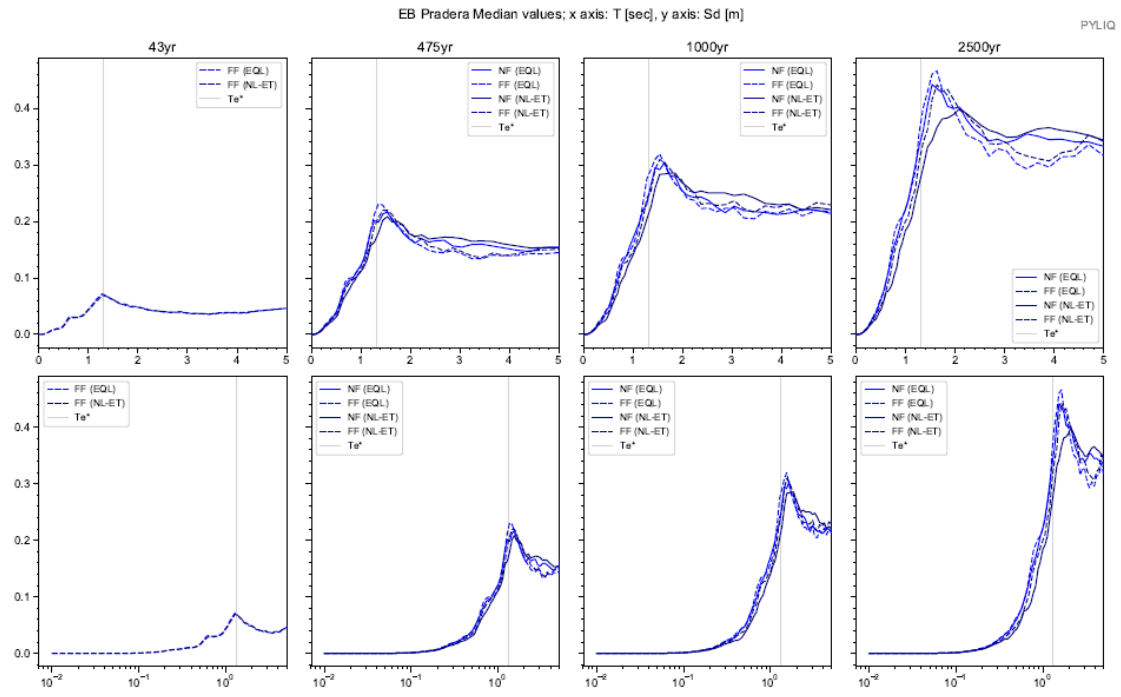


Apéndice 37. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio EB PRADERA

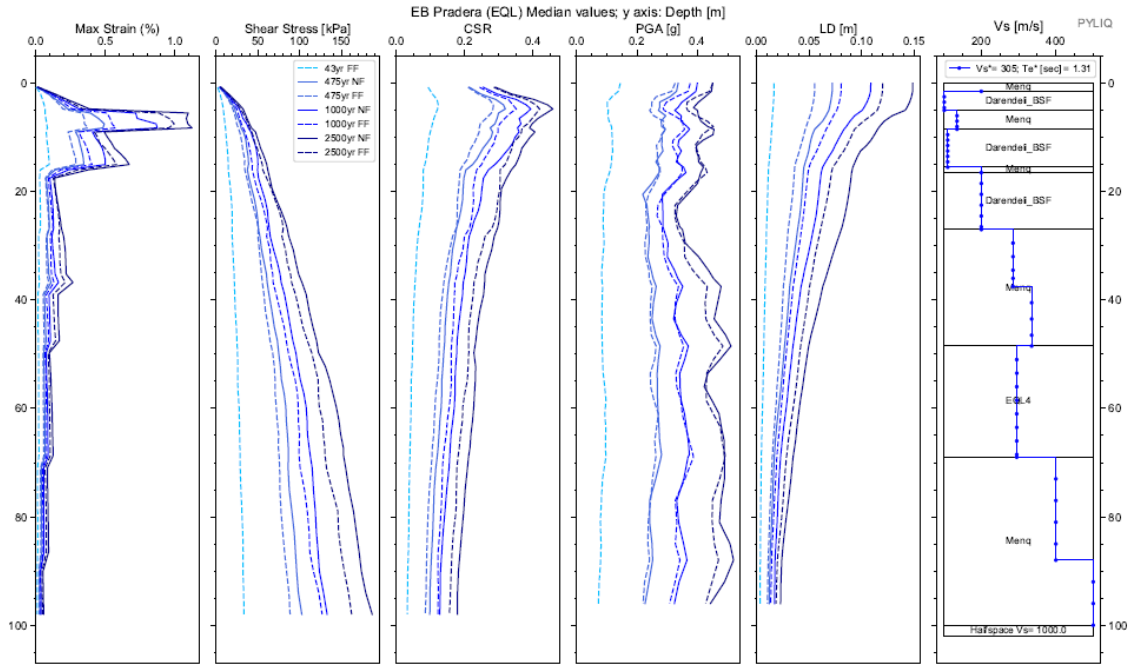




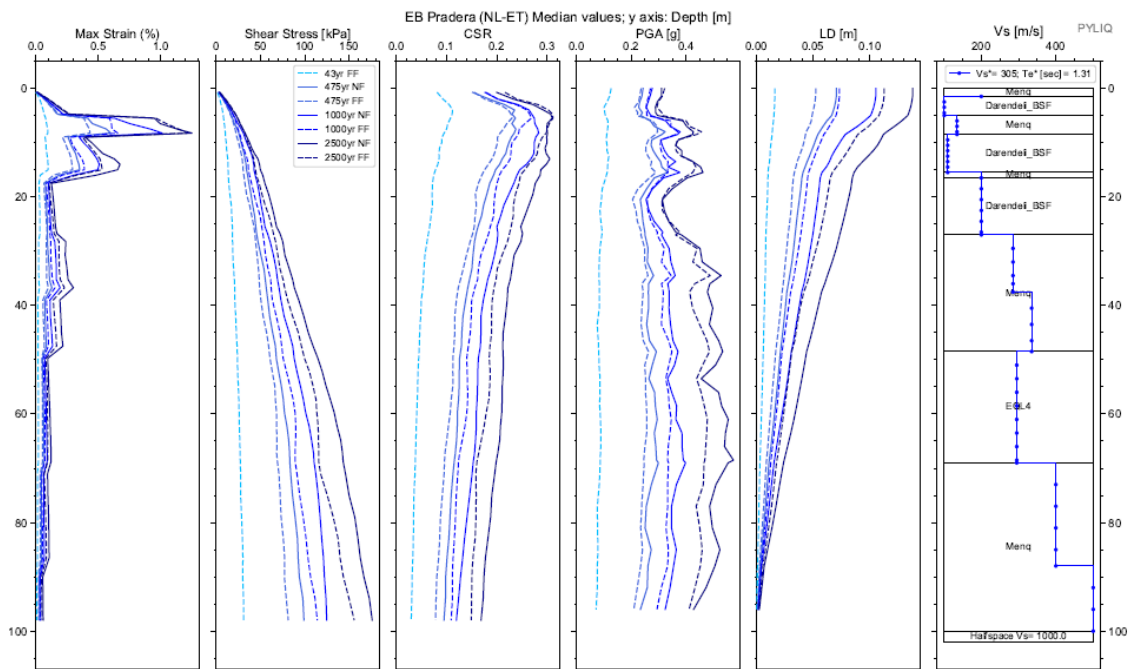
Apéndice 38. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio EB PRADERA.



Apéndice 39. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio EB PRADERA.



Apéndice 40. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio EB PRADERA



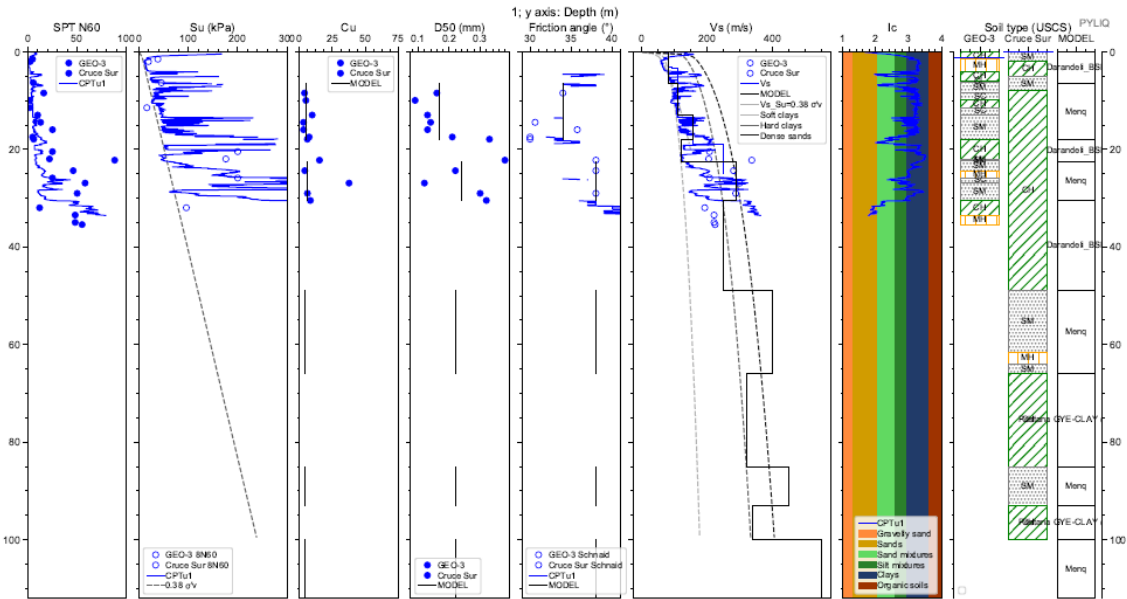
Apéndice 41. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio EB PRADERA

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,50	17,00	10,00	2,87	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	5,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	8,50	17,00	5,40	0,21	31,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Darandeli_BSF	15,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	16,50	17,00	3,79	0,20	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darandeli_BSF	27,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	36,00	17,00	6,60	0,29	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Menq	37,50	17,00	10,00	0,19	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT9	Menq	48,50	17,00	6,90	0,42	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT10	a GYE-CLAY @	69,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT11	Menq	100,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

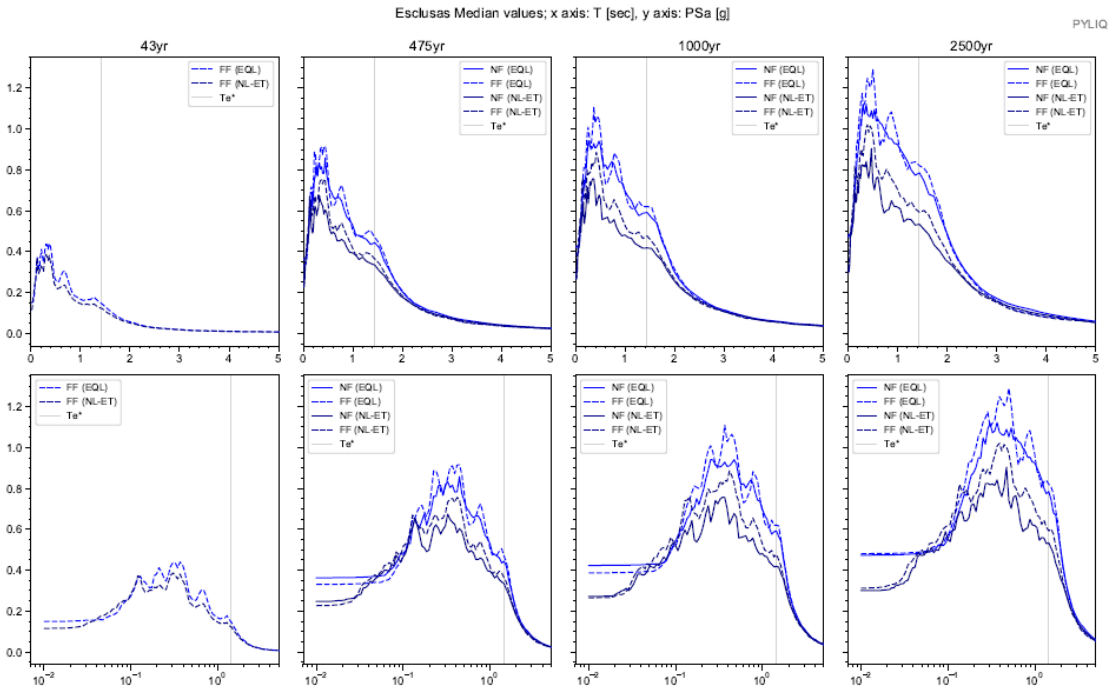
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
1,5	200,0
5,0	100,8
8,5	135,0
15,5	110,0
27,0	200,0
37,5	285,0
48,5	335,0
69,0	295,0
88,0	400,0
100,0	500,0

Apéndice 42. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio EB PRADERA

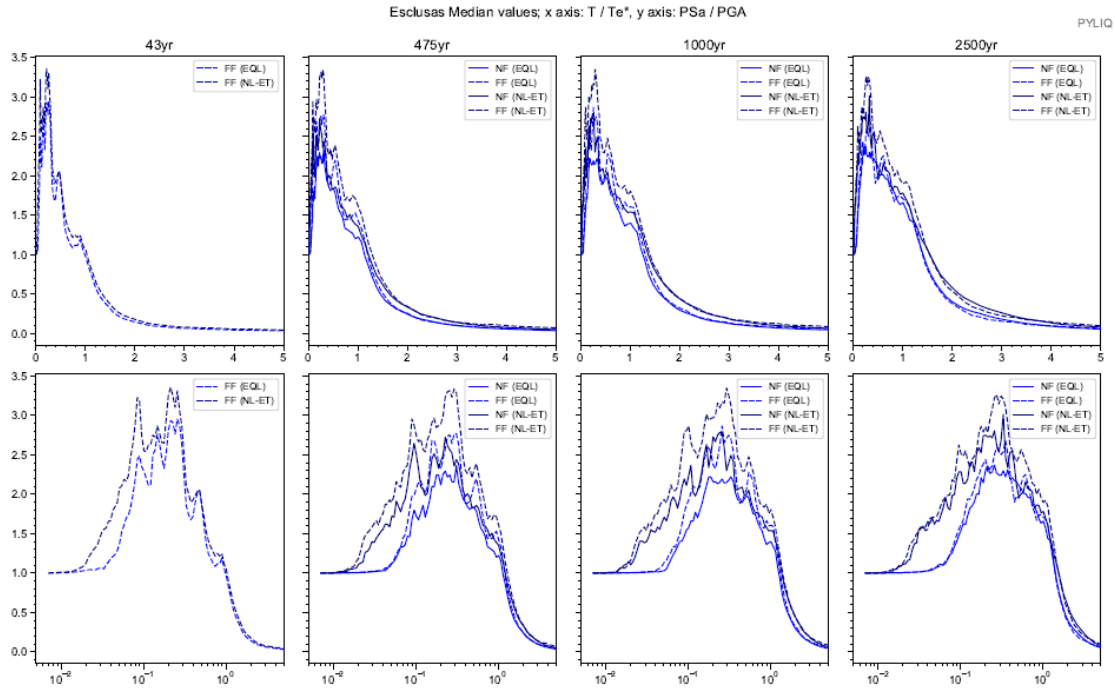
# Sitio ESCLUSAS



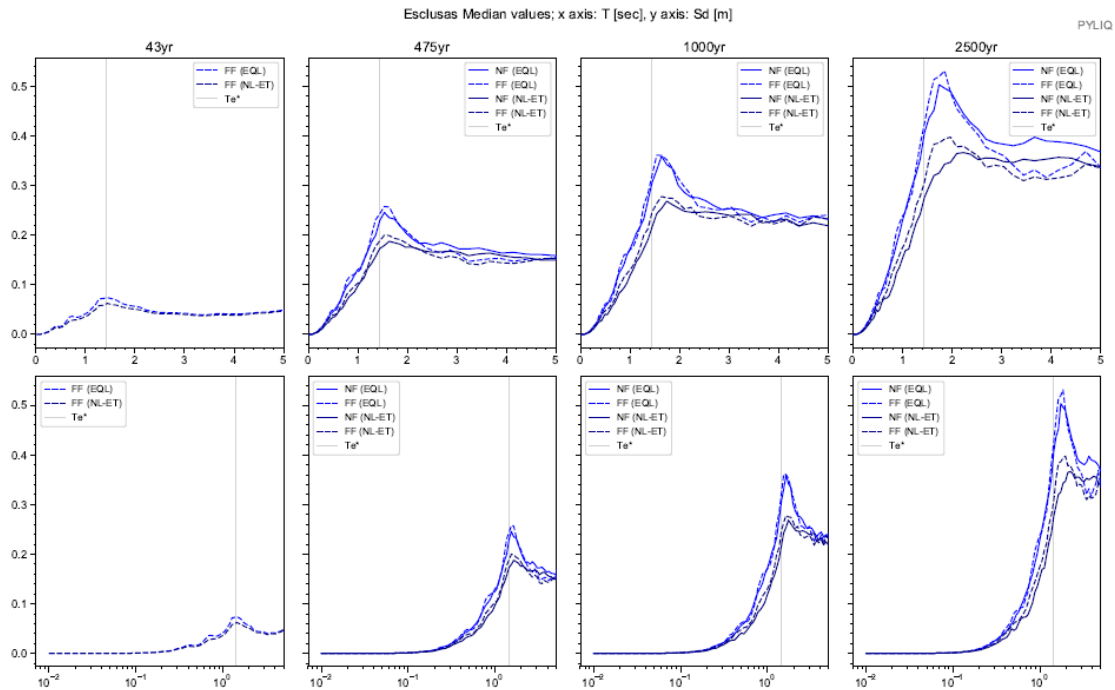
Apéndice 43. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio ESCLUSAS



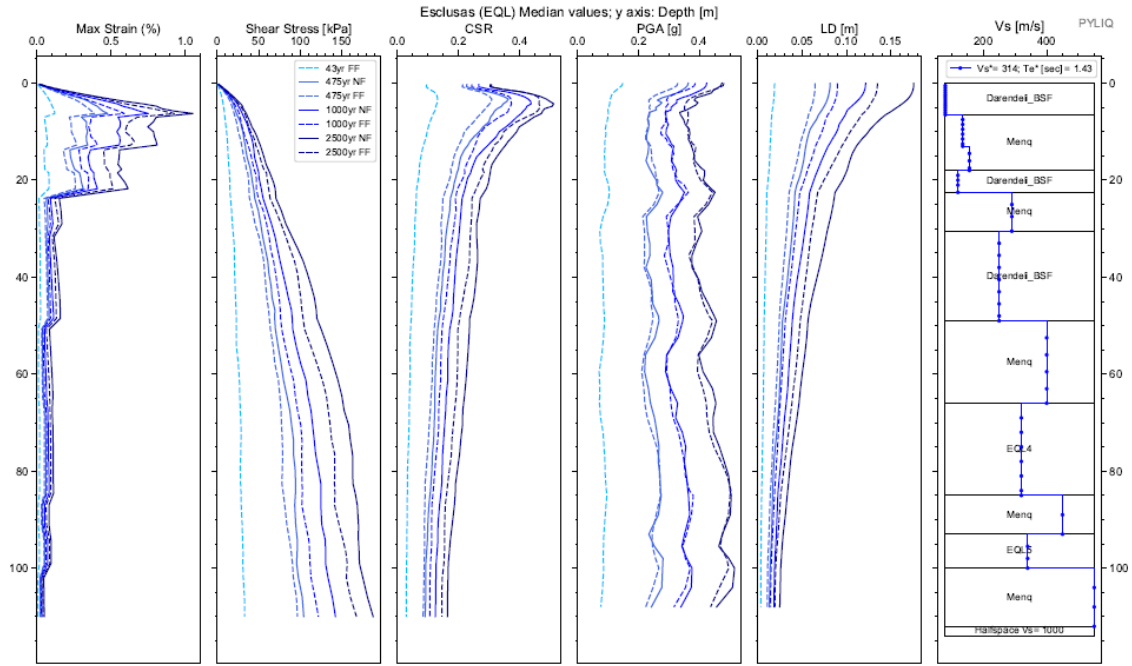
Apéndice 44. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio ESCLUSAS



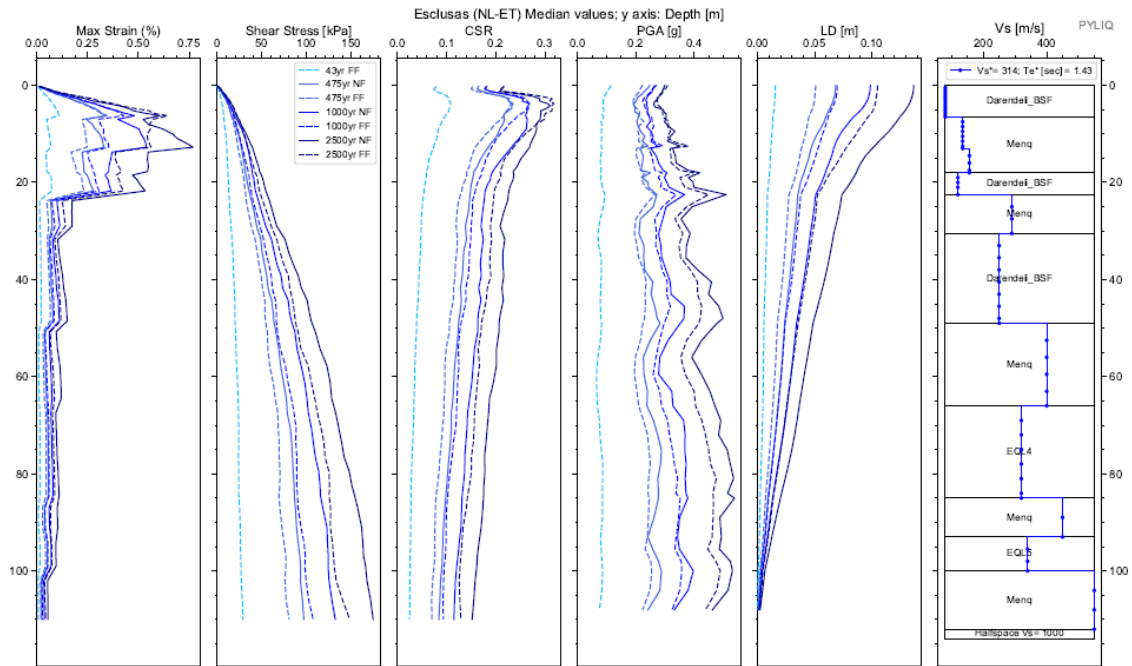
Apéndice 45. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio ESCLUSAS.



Apéndice 46. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio ESCLUSAS.



Apéndice 47. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio ESCLUSAS



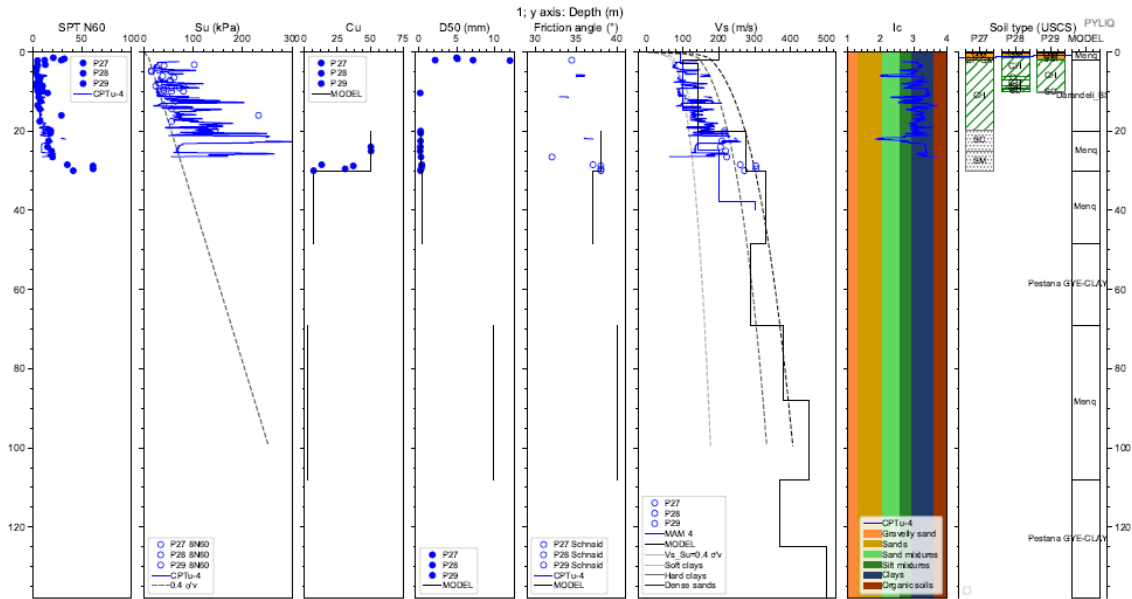
Apéndice 48. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio ESCLUSAS

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	φ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darandeli_BSF	6,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	18,00	17,00	2,00	0,17	34,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darandeli_BSF	22,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	30,50	17,00	6,10	0,24	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Darandeli_BSF	49,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT6	Menq	66,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	a GYE-CLAY @	85,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT8	Menq	93,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT9	a GYE-CLAY @	100,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
MAT10	Menq	112,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

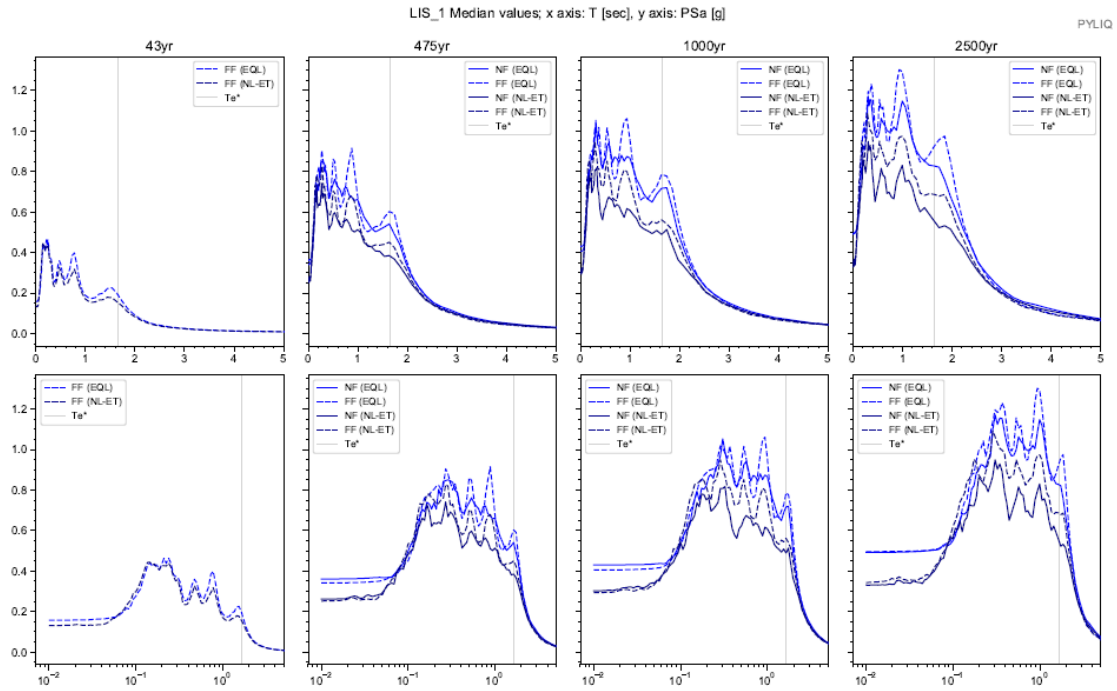
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	80,0
6,5	80,0
13,0	135,0
18,0	156,0
22,5	120,0
30,5	290,0
49,0	250,0
66,0	400,0
85,0	320,0
93,0	450,0
100,0	340,0
112,0	550,0

Apéndice 49. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio ESCLUSAS

# Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1

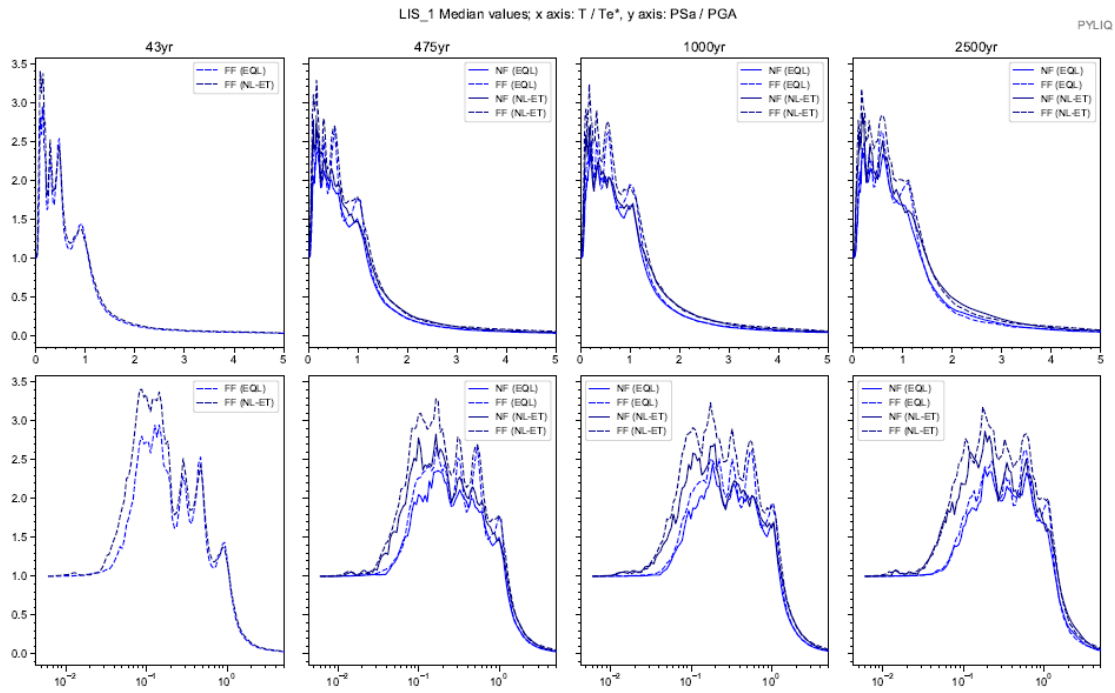


Apéndice 50. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1

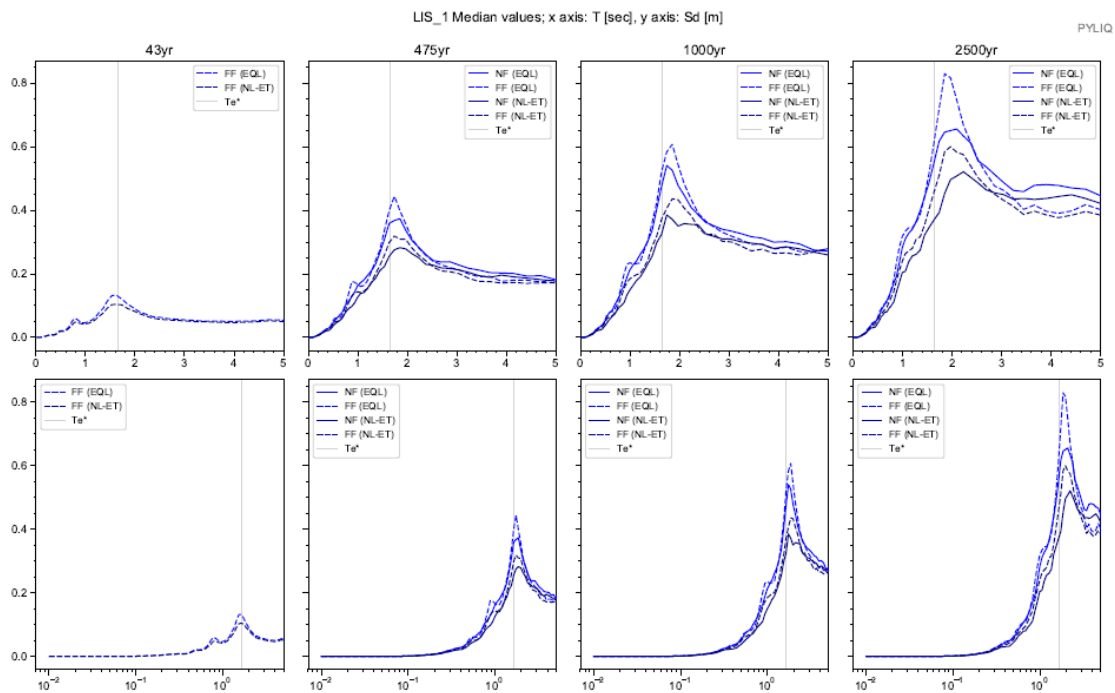


Apéndice 51. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1

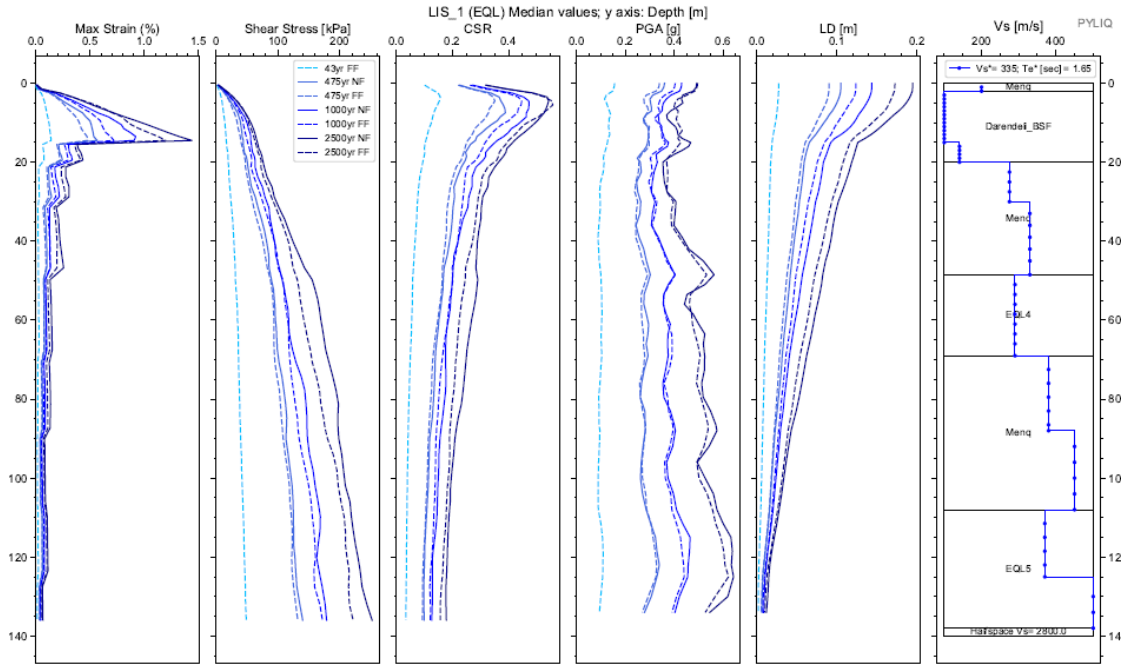




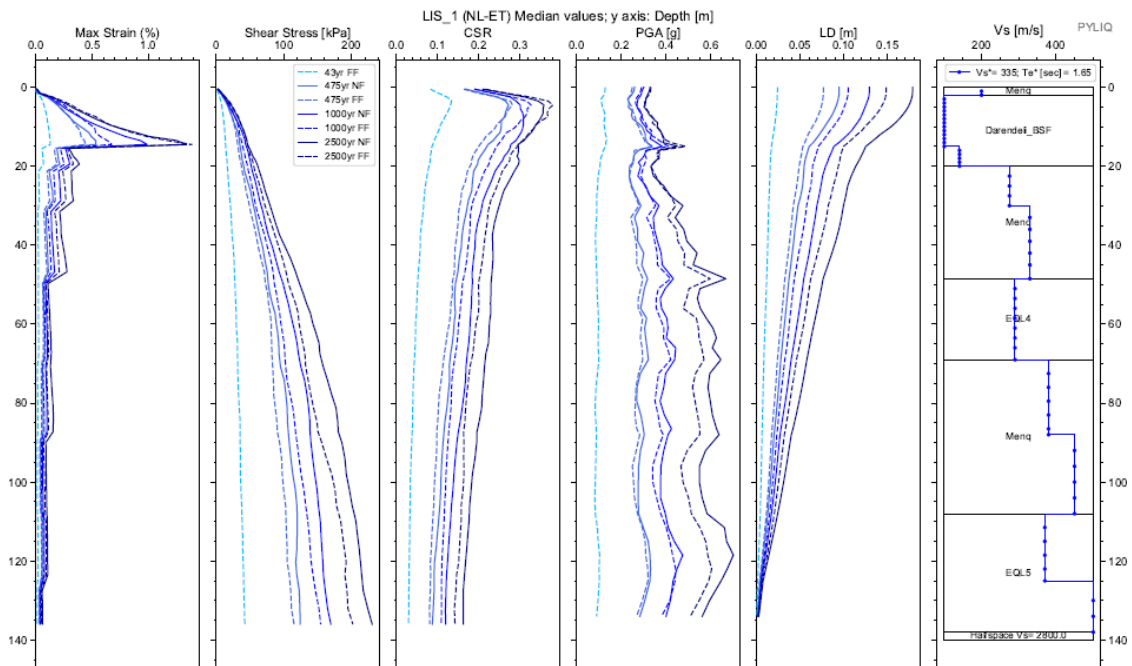
Apéndice 52. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1.



Apéndice 53. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1.



Apéndice 54. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1



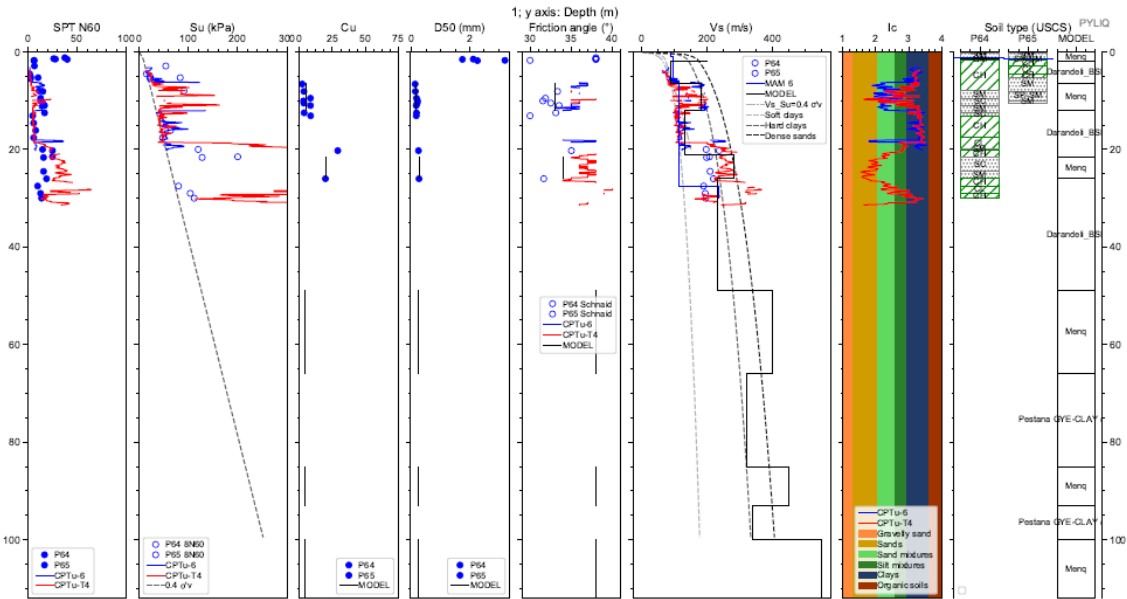
Apéndice 55. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	2,00	17,00	10,00	5,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	20,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	30,00	17,00	10,00	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	48,50	17,00	6,90	0,42	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	a GYE-CLAY @	69,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT6	Menq	108,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	a GYE-CLAY @	138,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00							2800

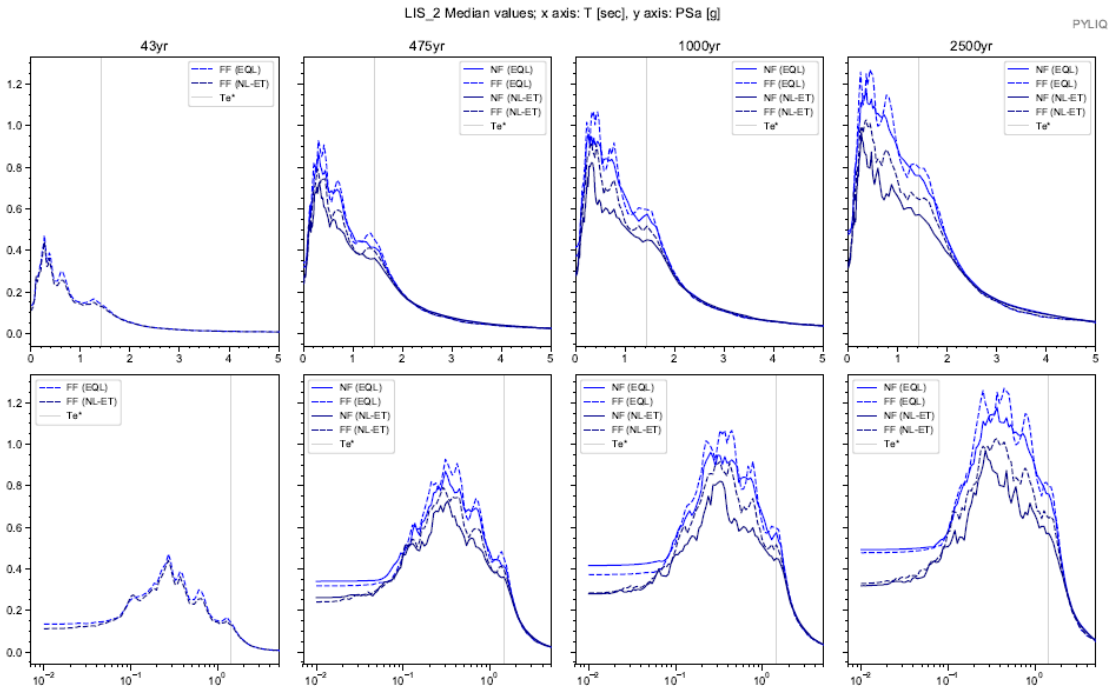
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,0	200,0
15,0	100,0
20,0	141,0
30,0	275,0
48,5	330,0
69,0	290,0
88,0	380,0
108,0	450,0
125,0	370,0
138,0	500,0

Apéndice 56. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 1

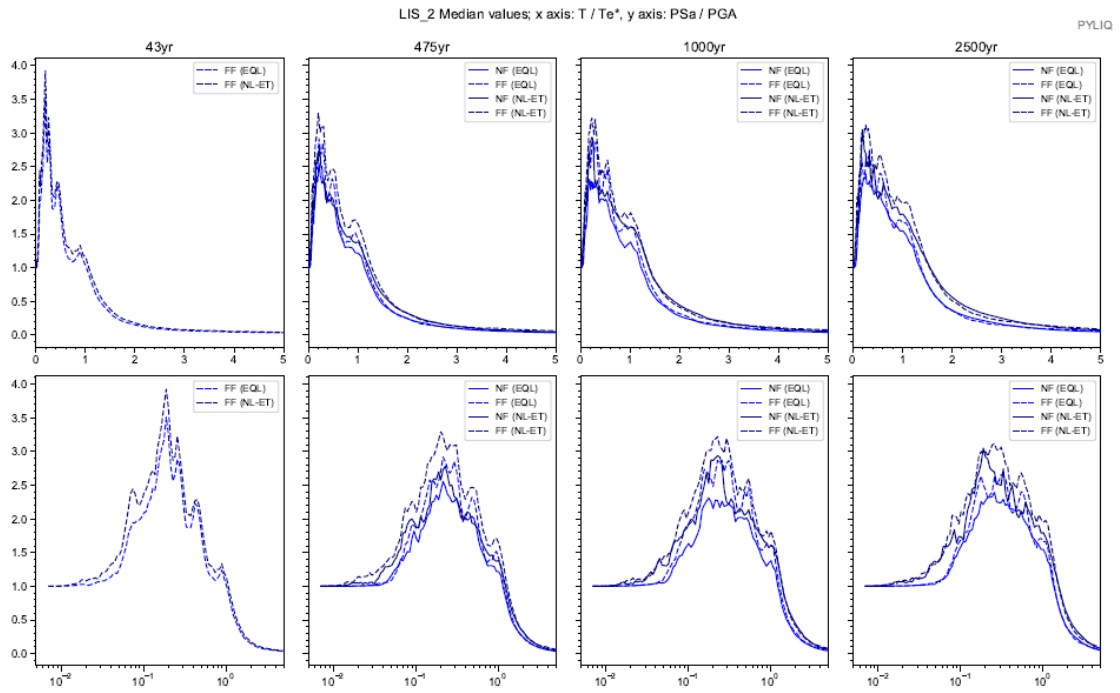
### Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 2



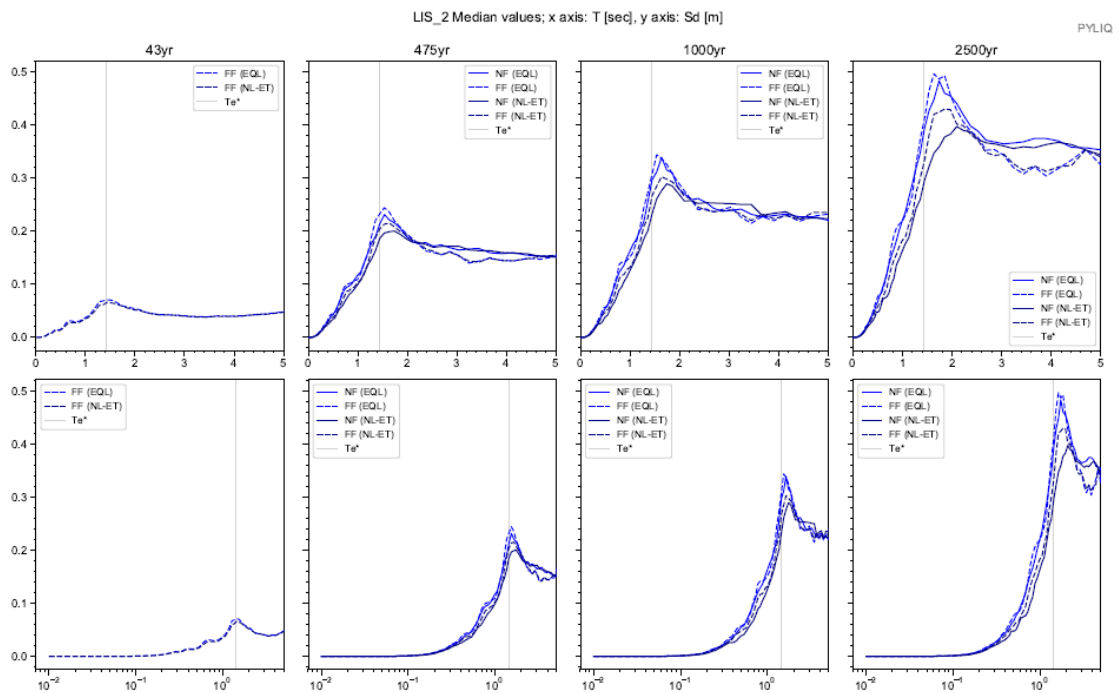
Apéndice 57. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 2



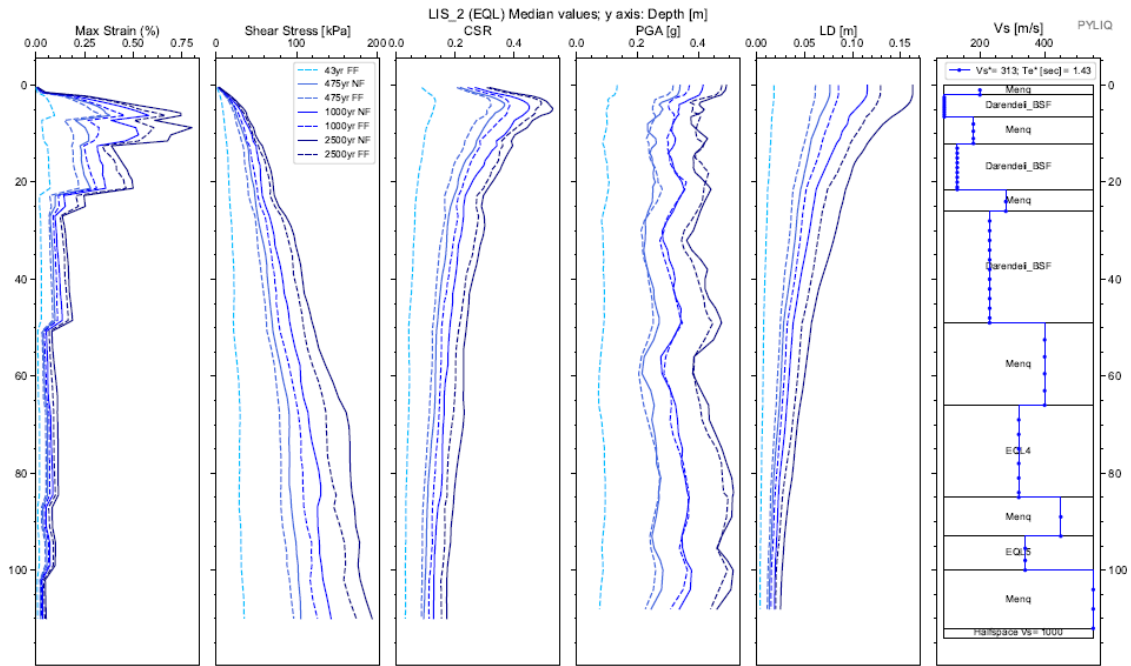
Apéndice 58. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 2



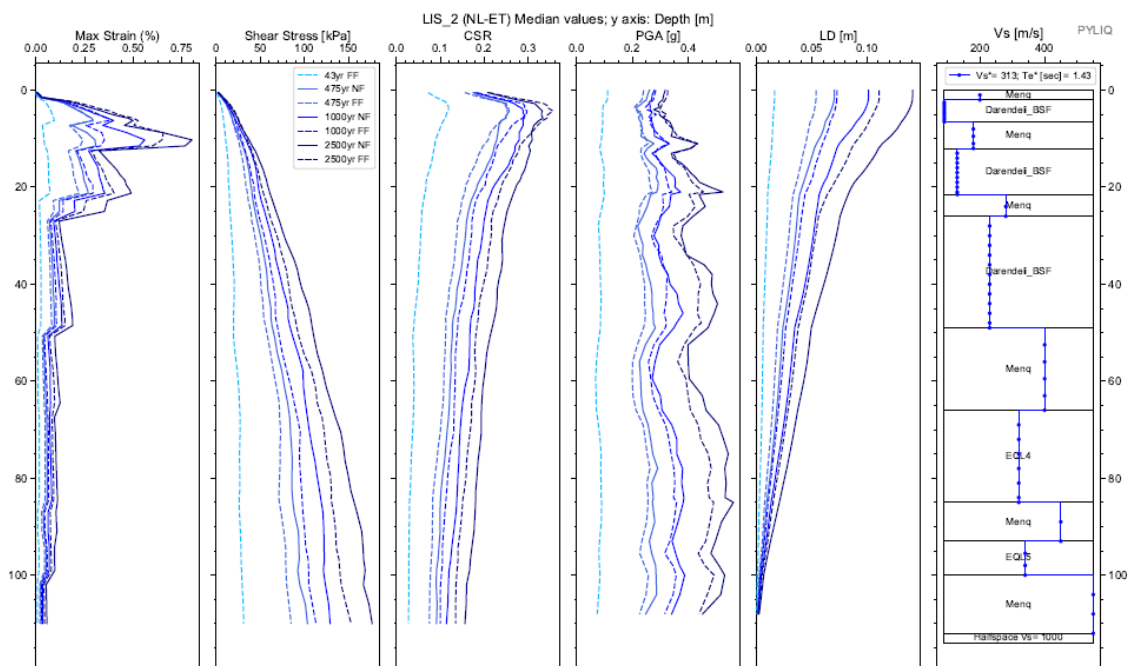
Apéndice 59. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 2.



Apéndice 60. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 2.



Apéndice 61. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 2



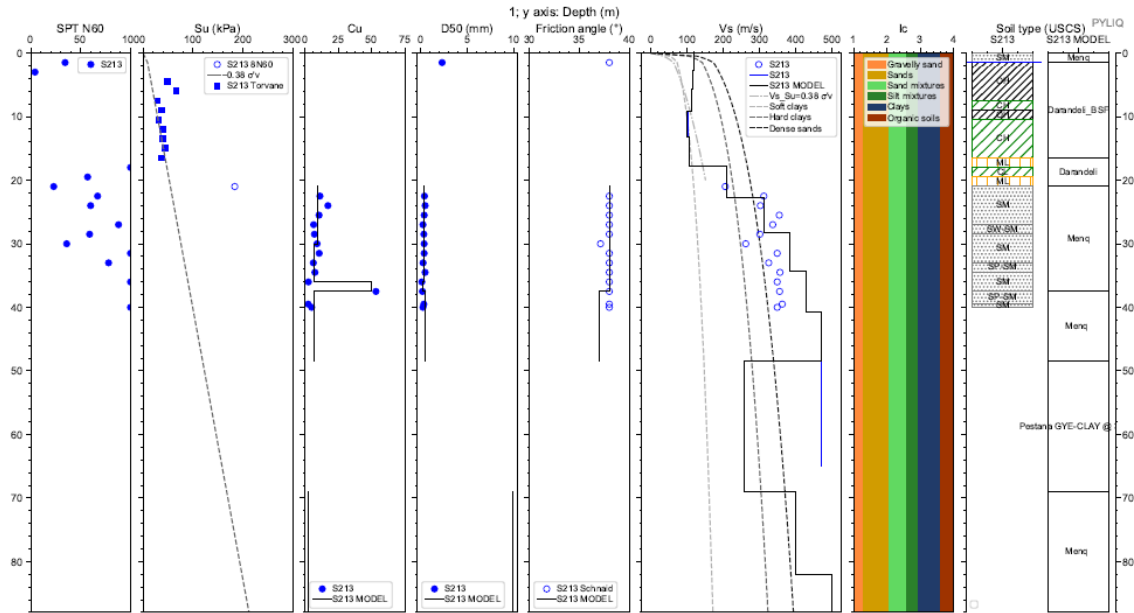
Apéndice 62. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio LINEA DE IMPULSION SUR 2

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	2,00	17,00	10,00	2,30	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	6,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	12,00	17,00	5,00	0,16	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Darandeli_BSF	21,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	26,00	17,00	10,00	0,25	34,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darandeli_BSF	49,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	66,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	a GYE-CLAY @	85,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT9	Menq	93,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT10	a GYE-CLAY @	100,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
MAT11	Menq	112,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

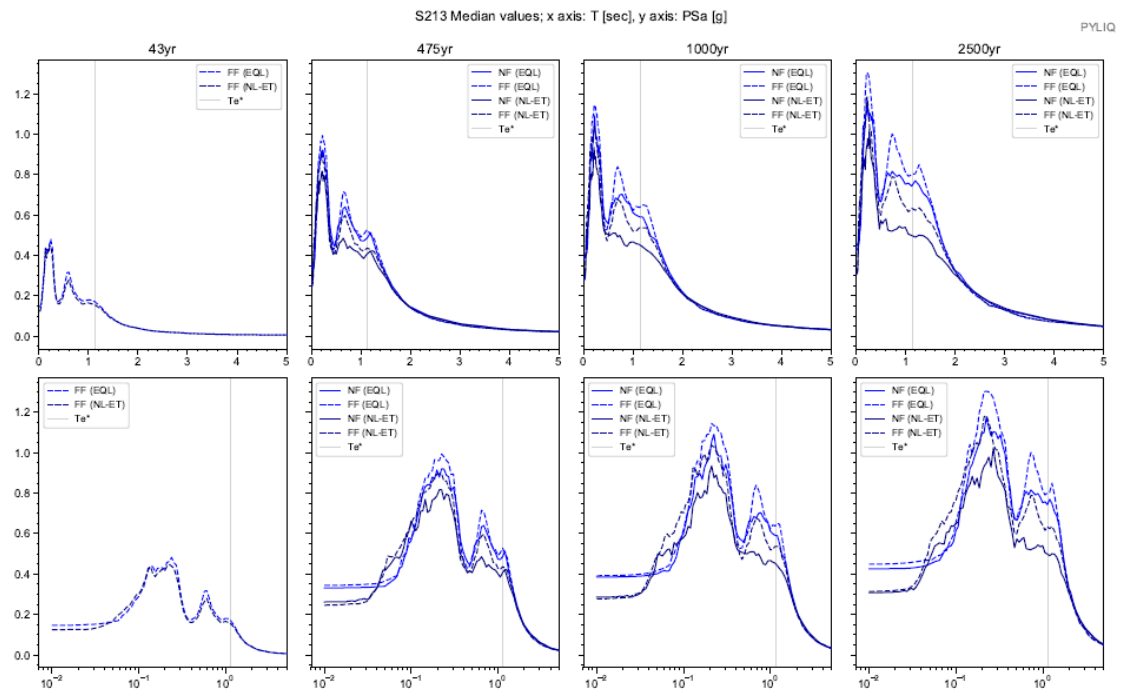
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,0	200,0
6,5	90,0
12,0	180,0
21,5	130,0
26,0	280,0
49,0	230,0
66,0	400,0
85,0	320,0
93,0	450,0
100,0	340,0
112,0	550,0

Apéndice 63. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio LINEA DE IMPULSION 2

## Sitio S213

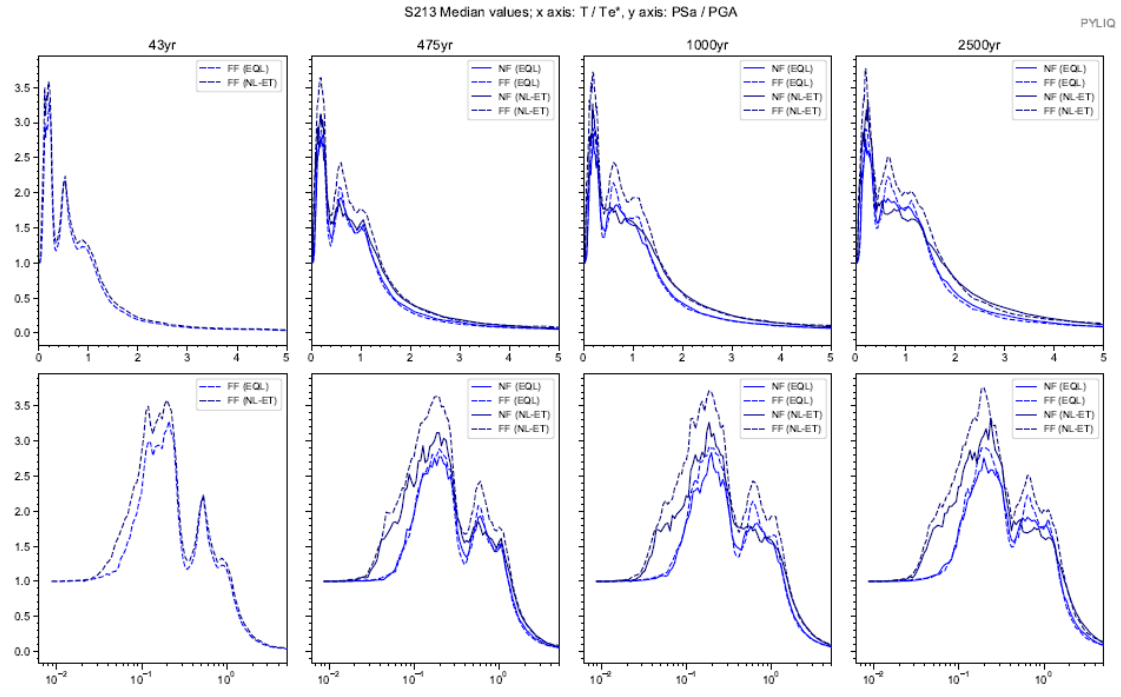


Apéndice 64. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S213

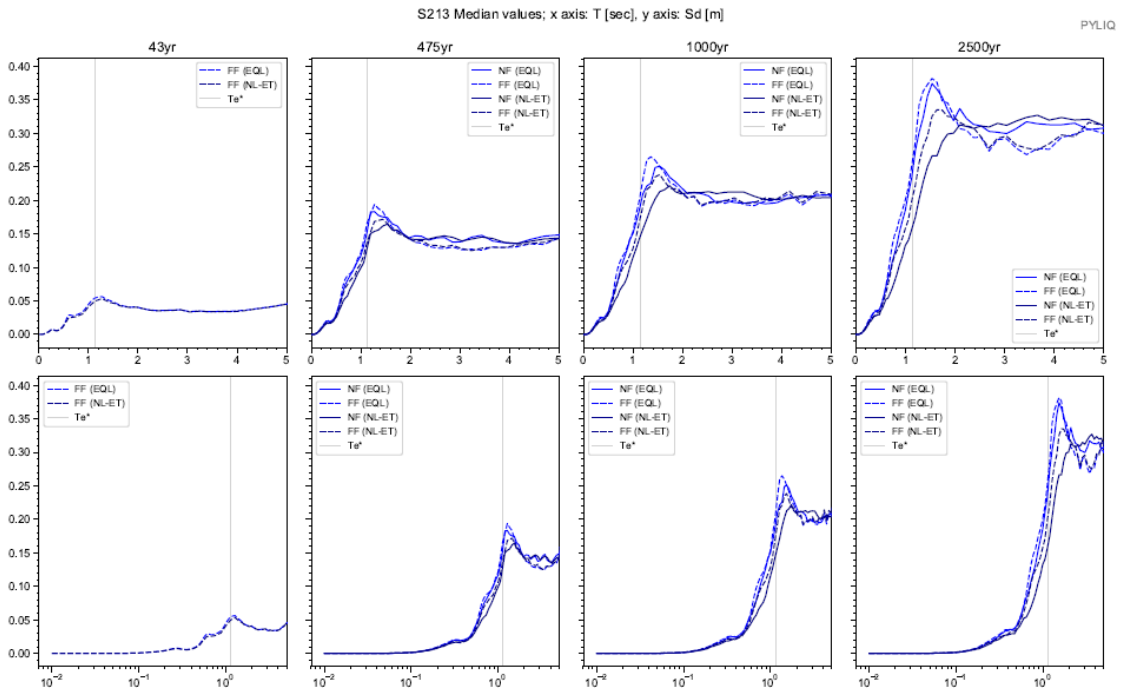


Apéndice 65. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S213

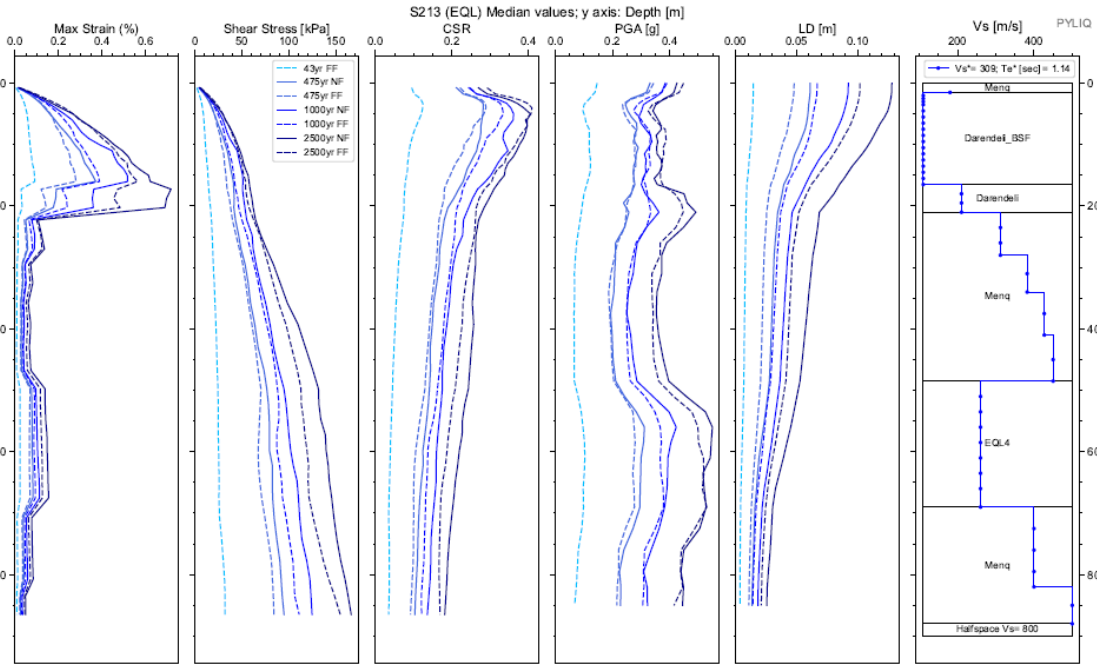




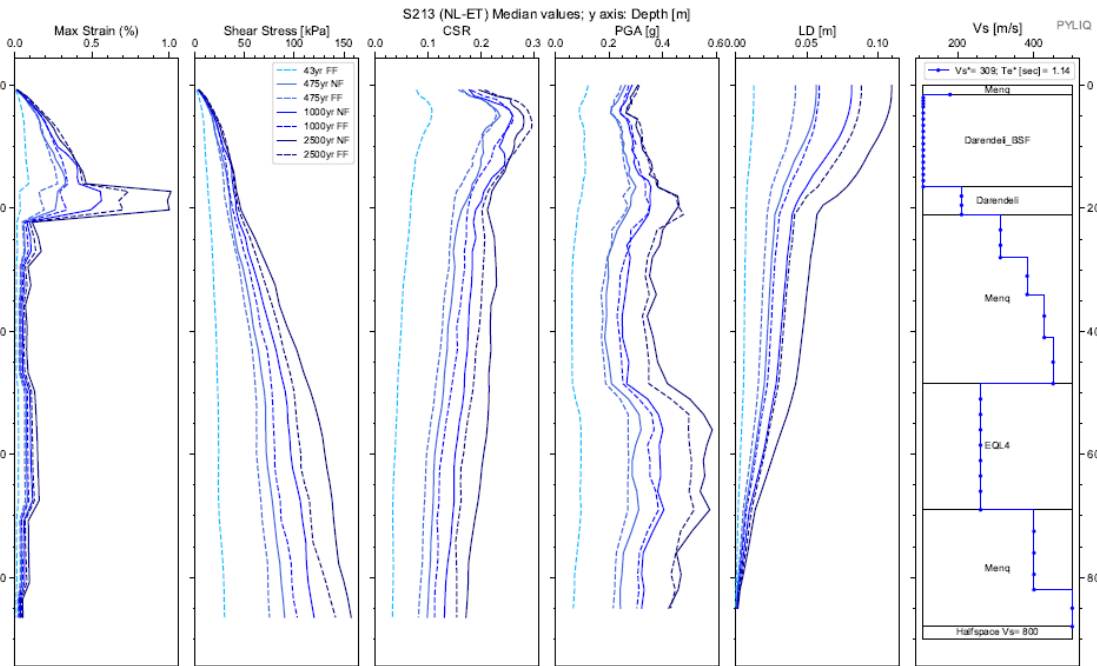
Apéndice 66. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S213.



Apéndice 67. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S213.



Apéndice 68. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S213



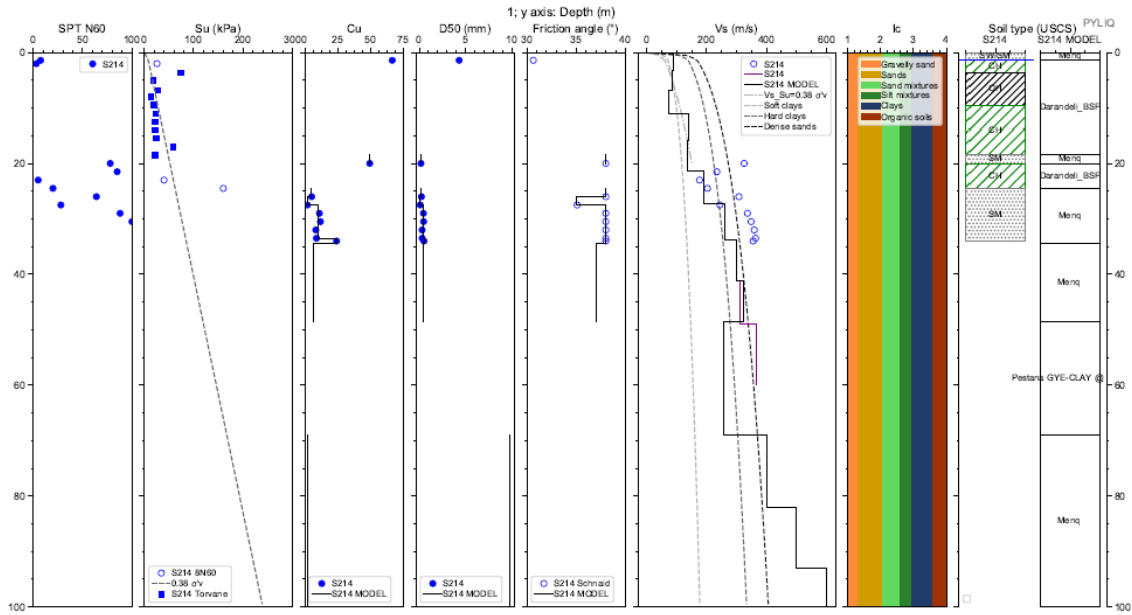
Apéndice 69. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S213

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,50	17,00	10,00	2,29	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	16,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Darandeli	21,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	13,00	1,00	Darendeli	
MAT4	Menq	48,50	17,00	7,56	0,38	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	a GYE-CLAY @	69,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT6	Menq	88,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

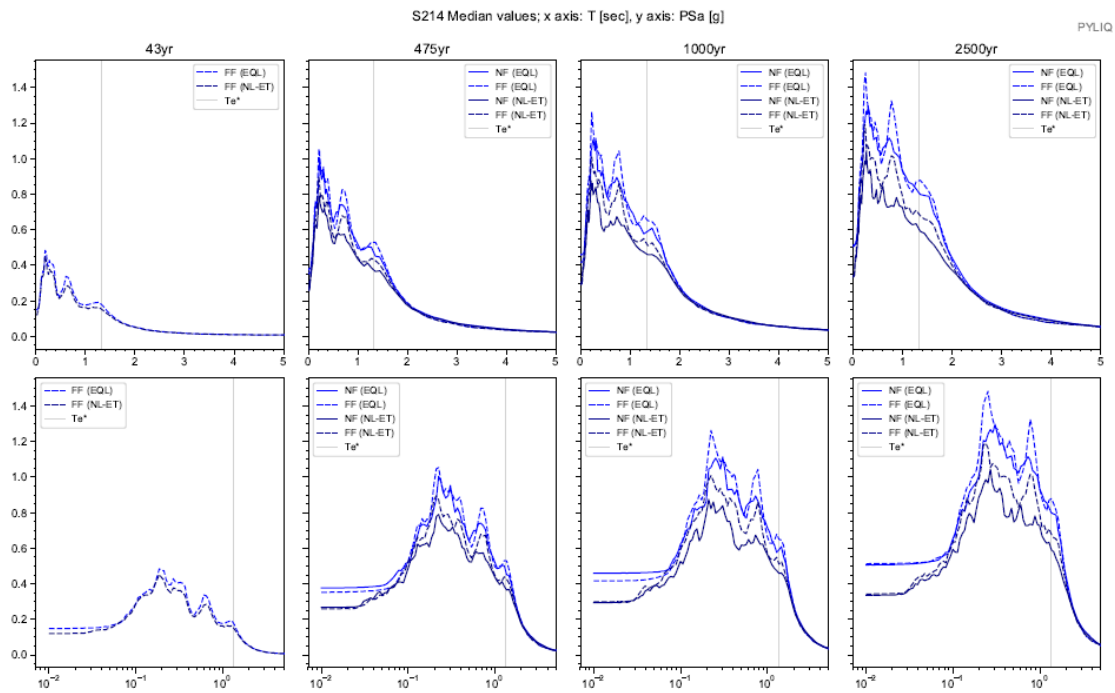
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	180,0
1,5	180,0
16,5	110,0
21,0	210,0
28,0	312,0
34,0	382,0
41,0	427,0
48,5	450,0
69,0	260,0
82,0	400,0
88,0	500,0

Apéndice 70. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S213

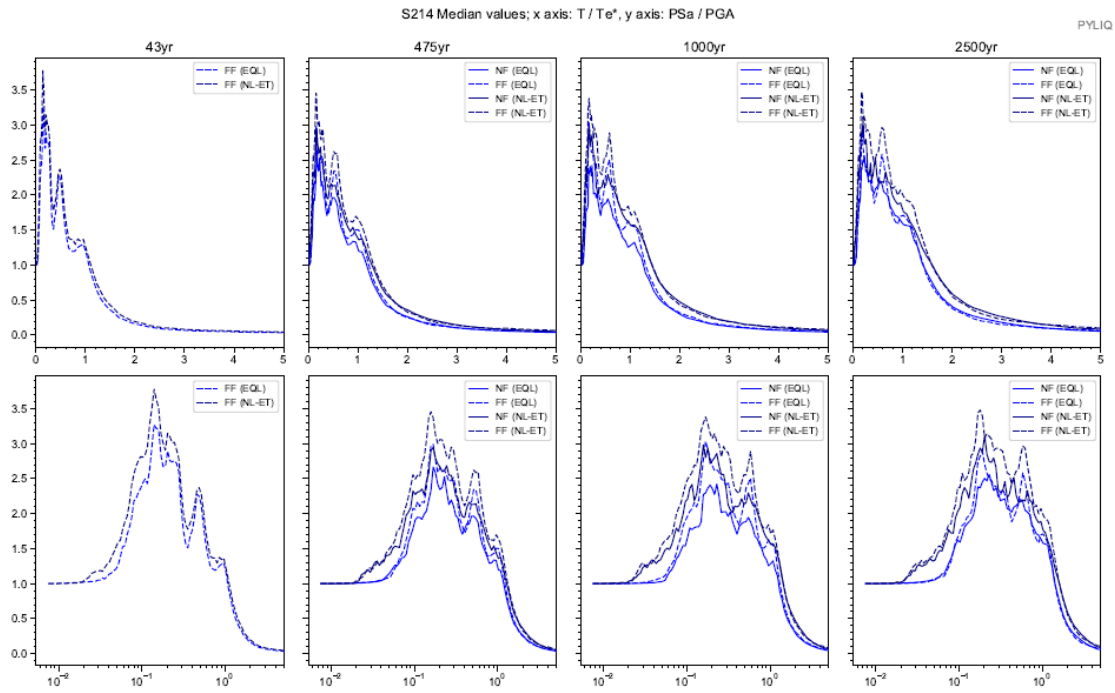
# Sitio S214



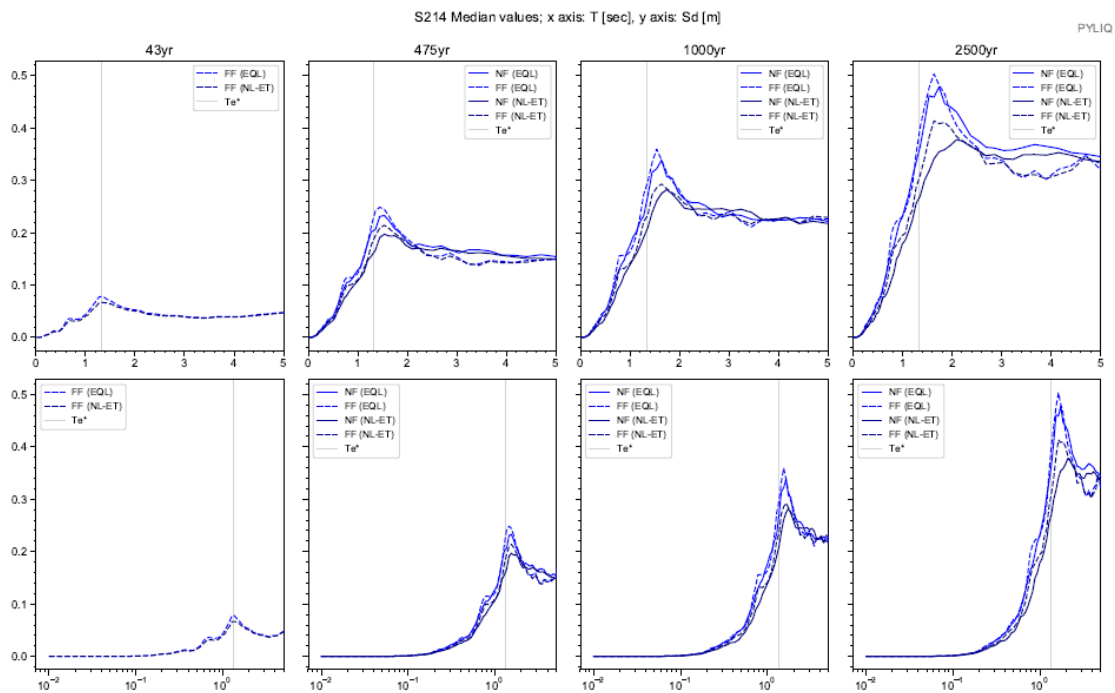
Apéndice 71. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S214



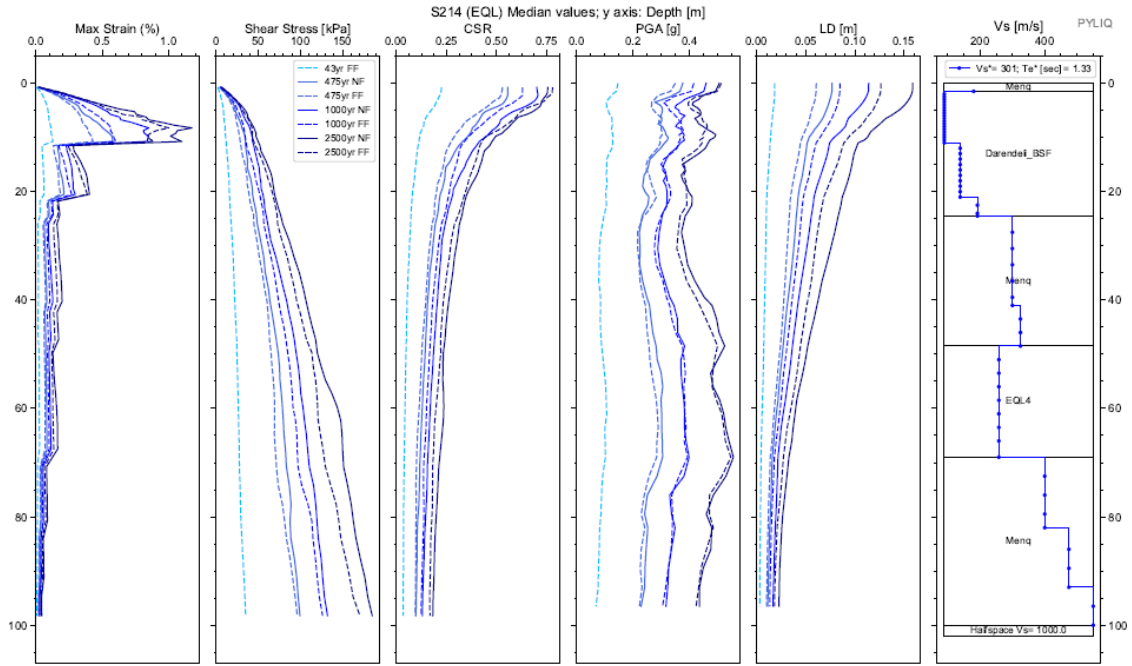
Apéndice 72. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S214



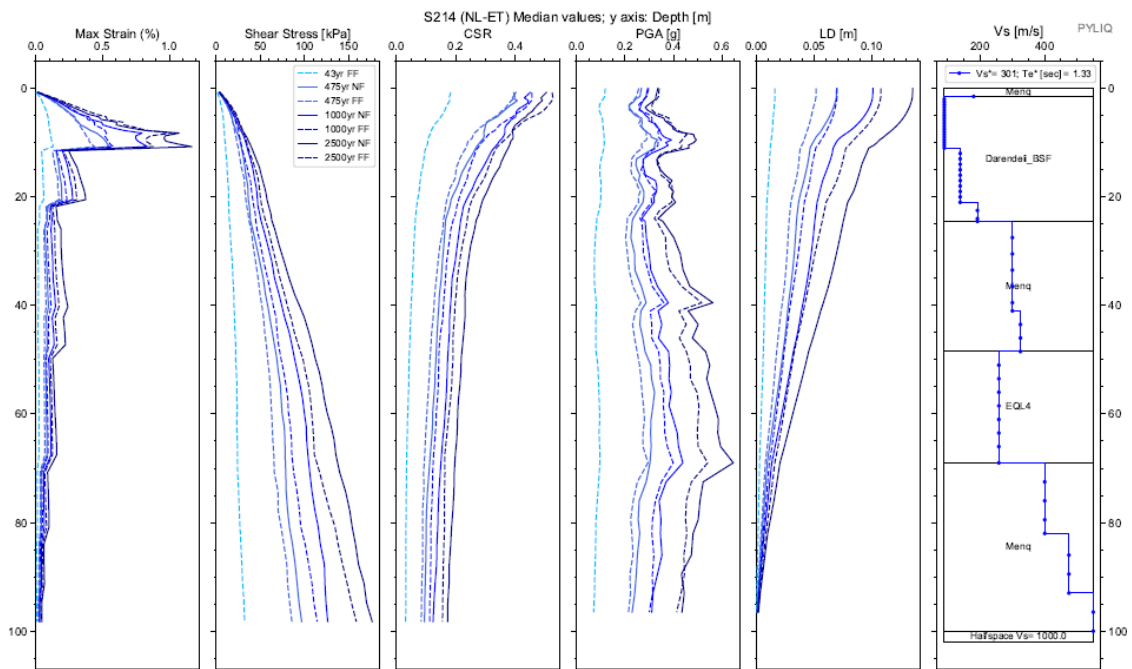
Apéndice 73. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S214.



Apéndice 74. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S214.



Apéndice 75. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S214



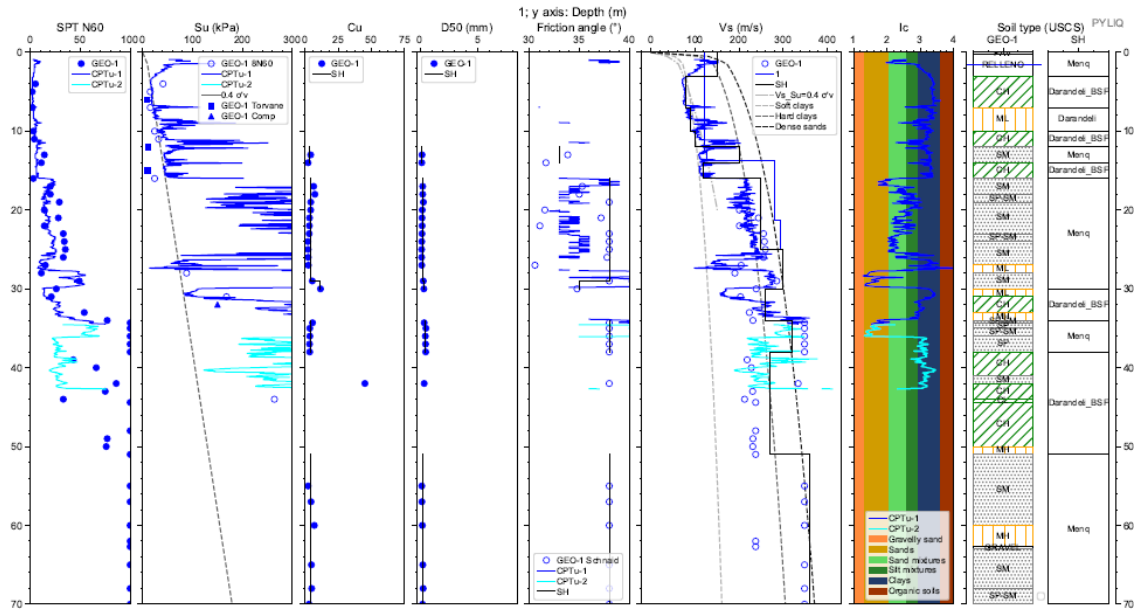
Apéndice 76. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S214

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,50	17,00	10,00	4,31	31,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	24,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	48,50	17,00	6,00	0,30	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	a GYE-CLAY @	69,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT5	Menq	100,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

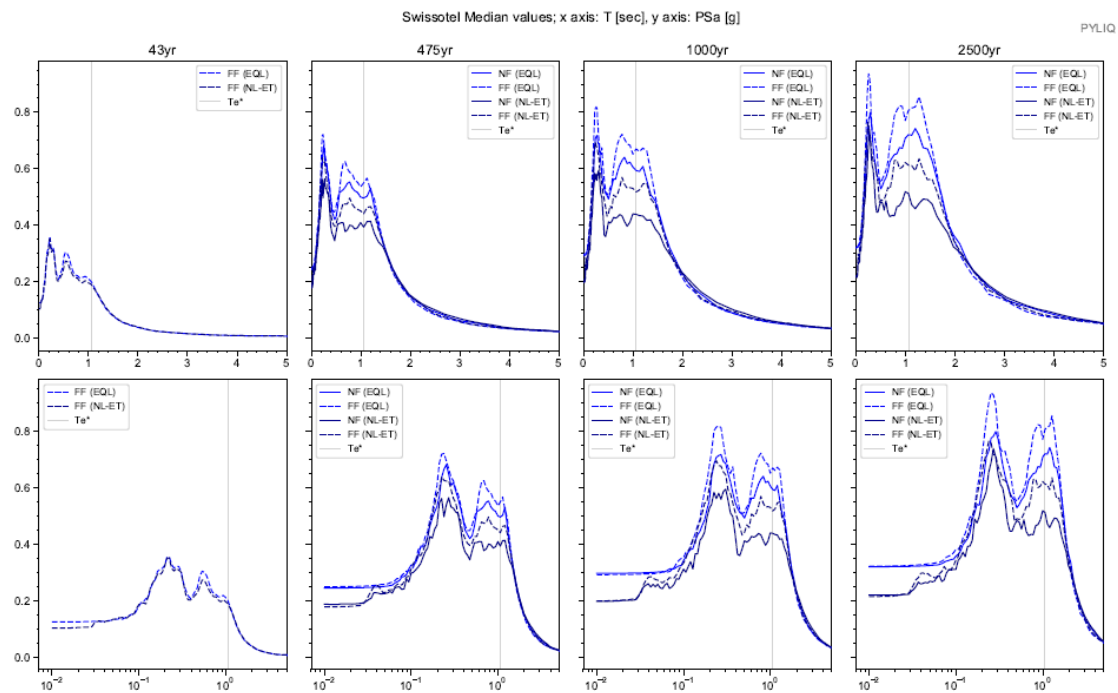
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	180,0
1,5	180,0
11,0	89,3
21,0	138,3
24,5	191,6
41,0	300,1
48,5	325,0
69,0	258,0
82,0	400,0
93,0	475,0
100,0	550,0

Apéndice 77. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S214

# Sitio SWISSOTEL

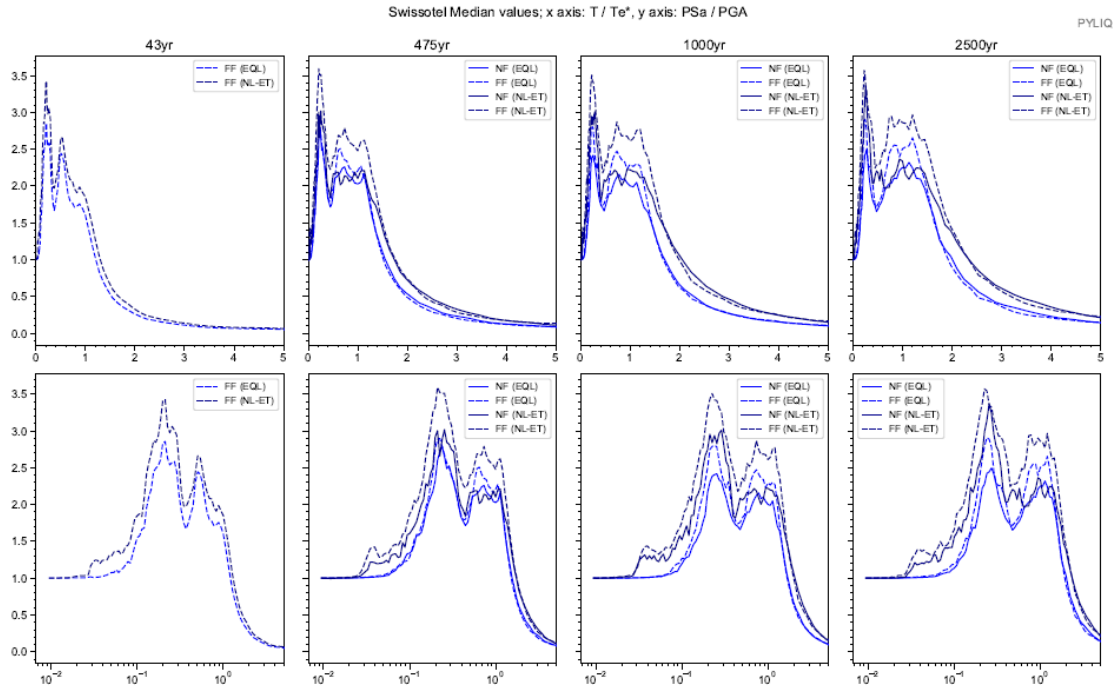


Apéndice 78. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio SWISSOTEL

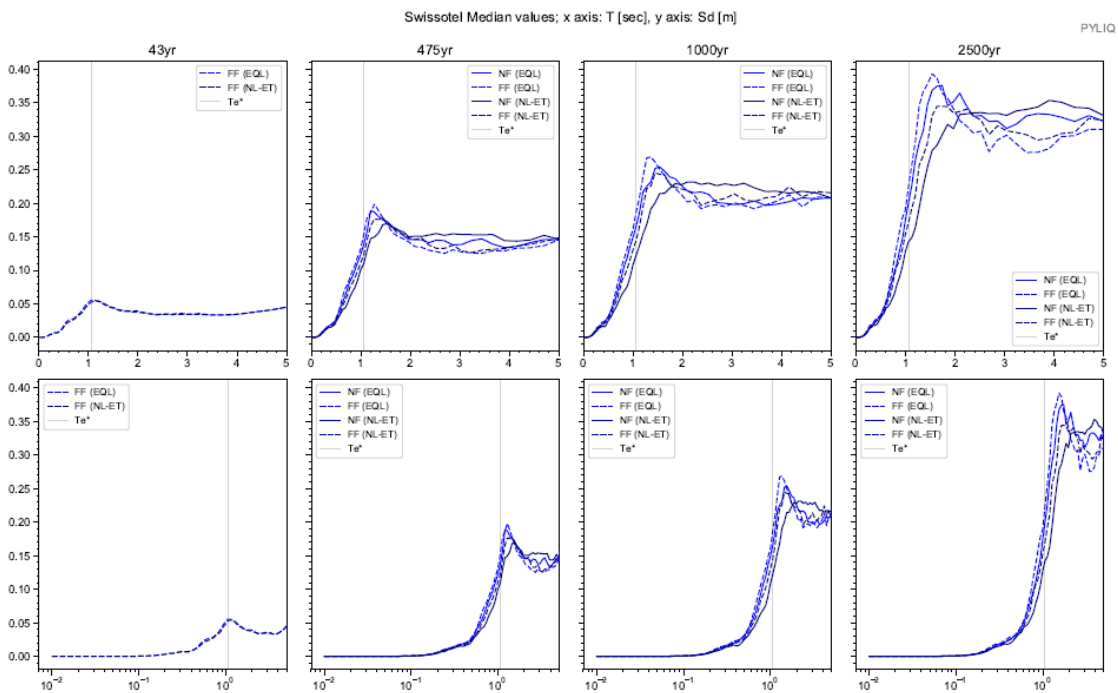


Apéndice 79. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio SWISSOTEL

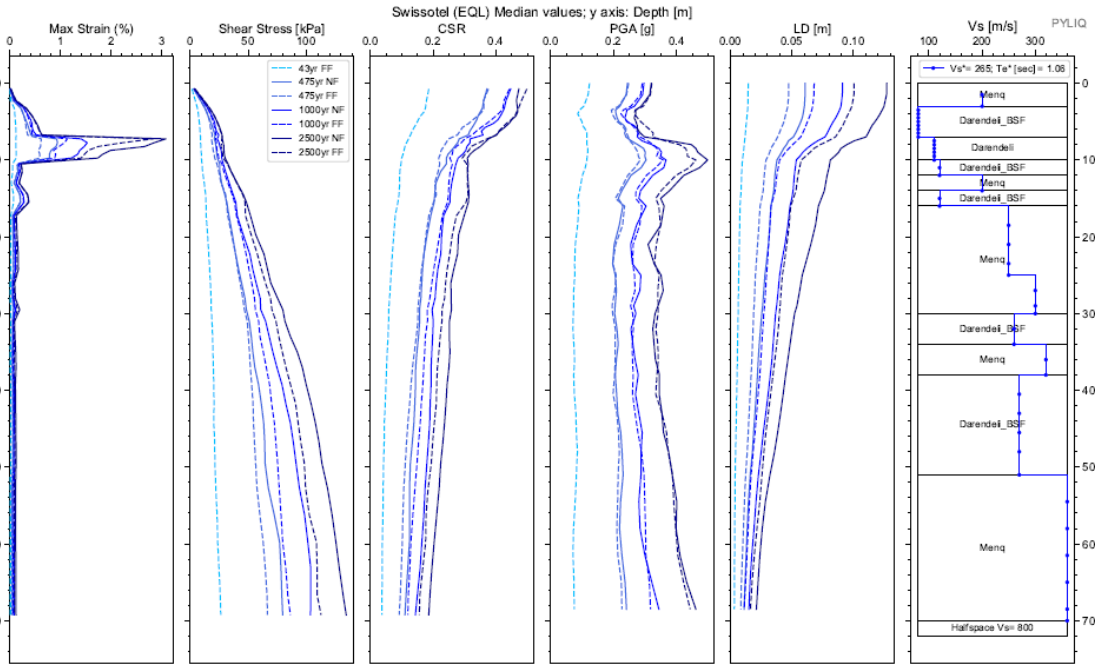




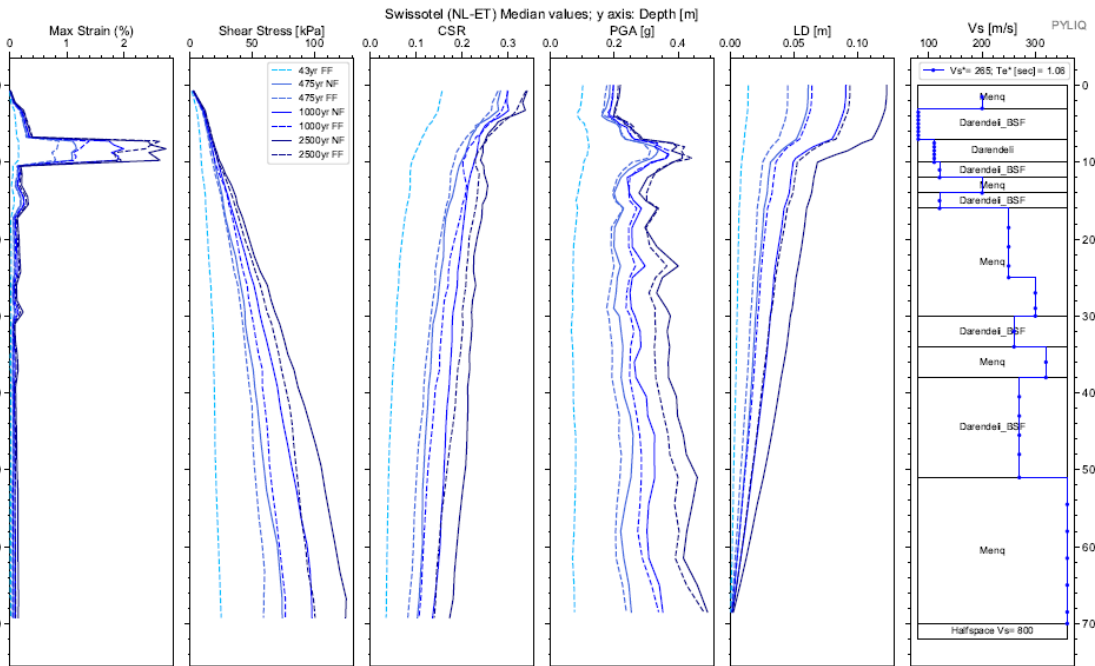
Apéndice 80. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio SWISSOTEL.



Apéndice 81. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio SWISSOTEL.



Apéndice 82. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio SWISSOTEL



Apéndice 83. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio SWISSOTEL

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	3,00	17,00	50,00	8,00	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	7,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Darandeli	10,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	16,00	1,00	Darendeli	
MAT4	Darandeli_BSF	12,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	14,00	17,00	3,40	0,16	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darandeli_BSF	16,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	29,00	17,00	4,00	0,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Menq	30,00	17,00	11,76	0,33	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT9	Darandeli_BSF	34,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT10	Menq	38,00	17,00	4,00	0,46	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT11	Darandeli_BSF	51,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT12	Menq	70,00	17,00	4,60	0,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
3,0	200,0
7,0	80,0
10,0	110,0
12,0	120,0
14,0	200,0
16,0	120,0
25,0	250,0
30,0	300,0
34,0	260,0
38,0	320,0
51,0	270,0
70,0	360,0

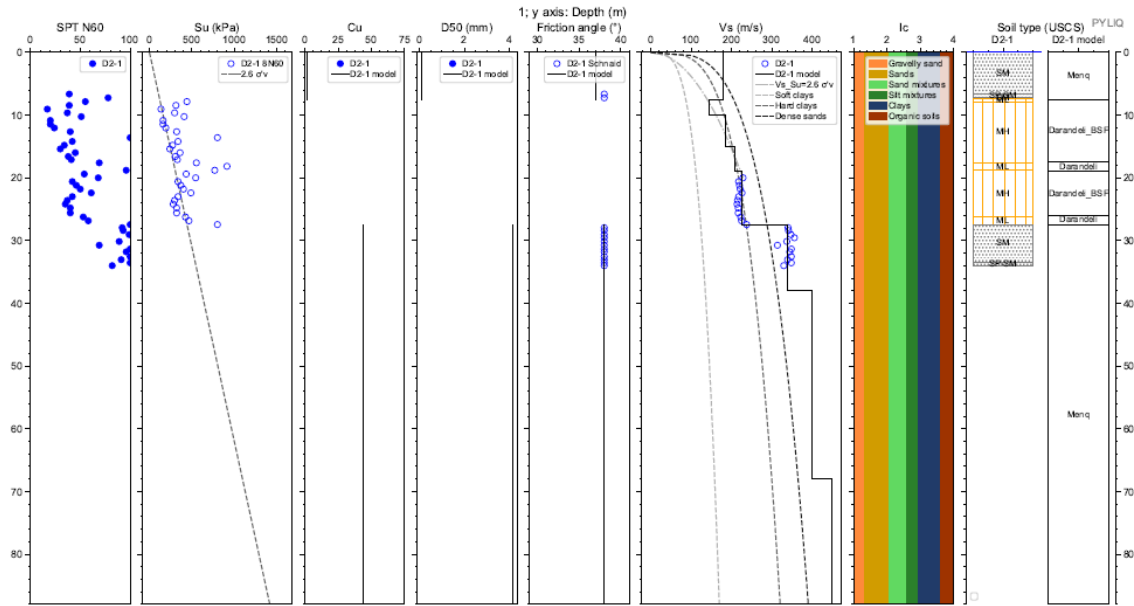
Apéndice 84. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio SWISSOTEL

## **Zona D2**

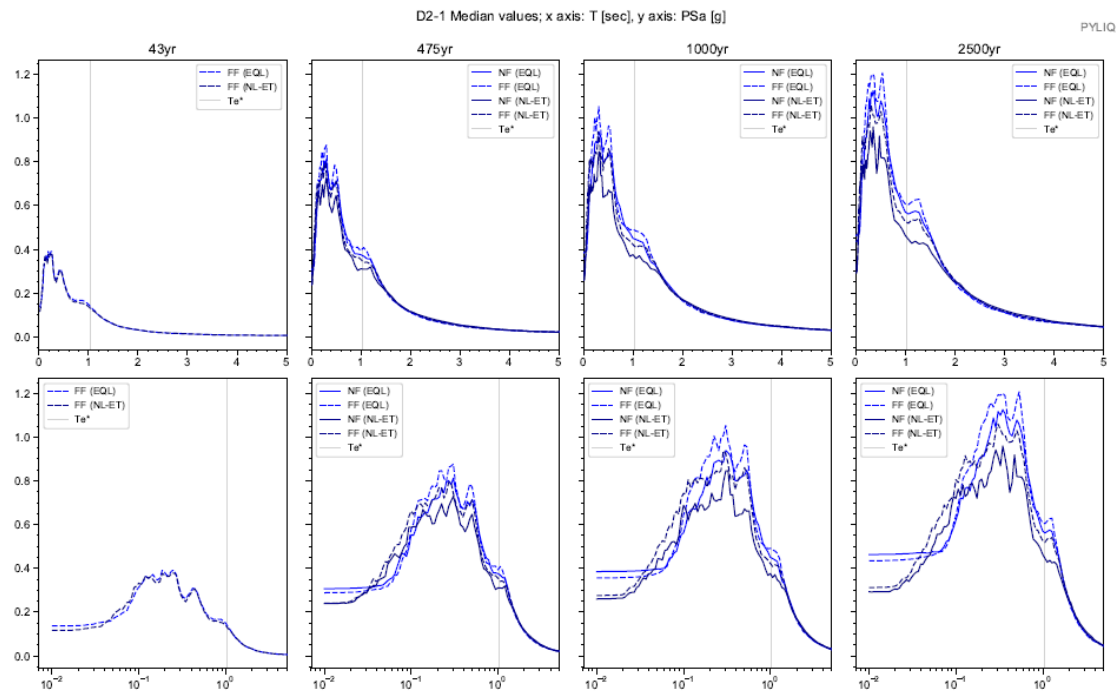
### **Incluye los Sitios:**

- **SITE D2-1**
- **SITE D2-2**
- **SITE 212ECU**
- **Zofragua**

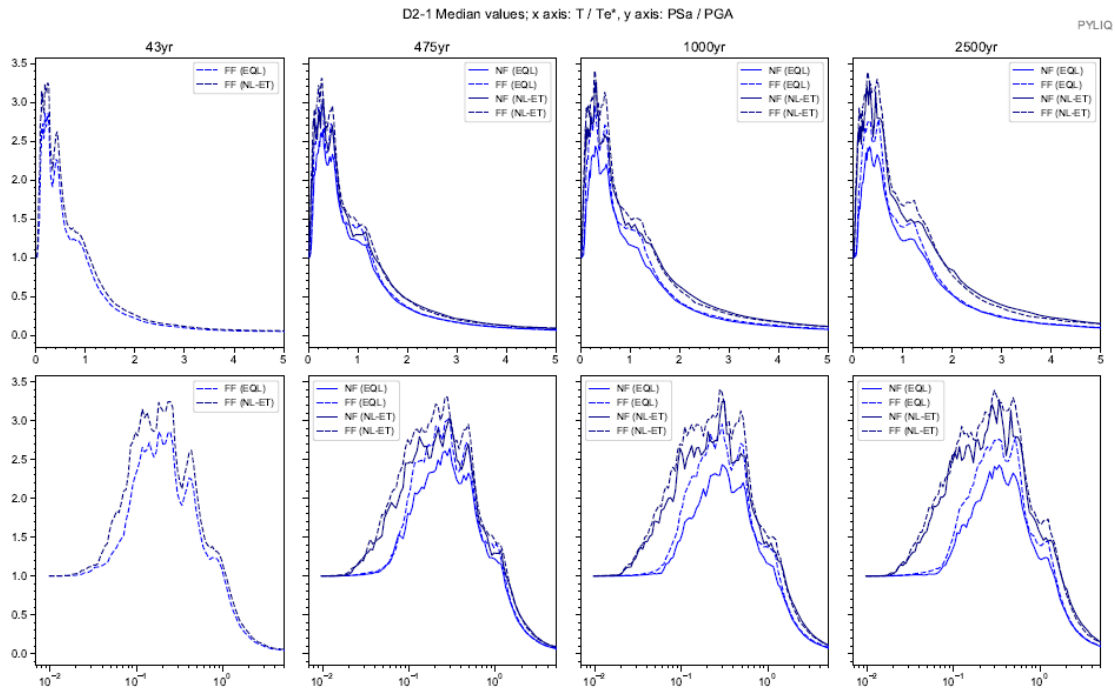
### Sitio D2-1



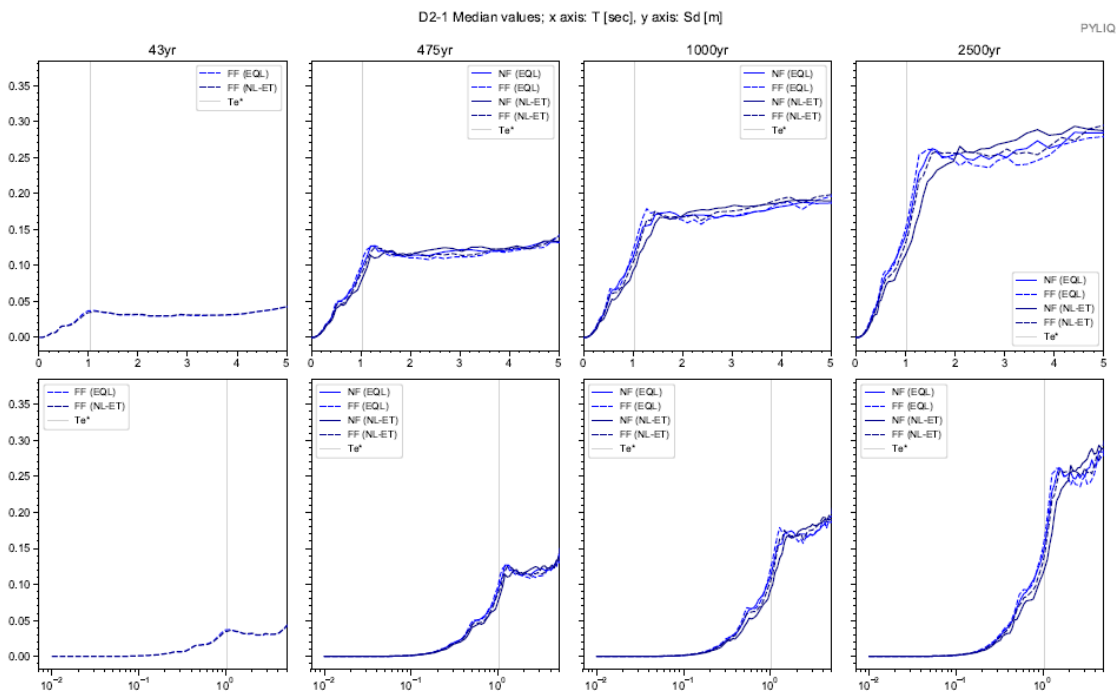
Apéndice 85. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D2-1



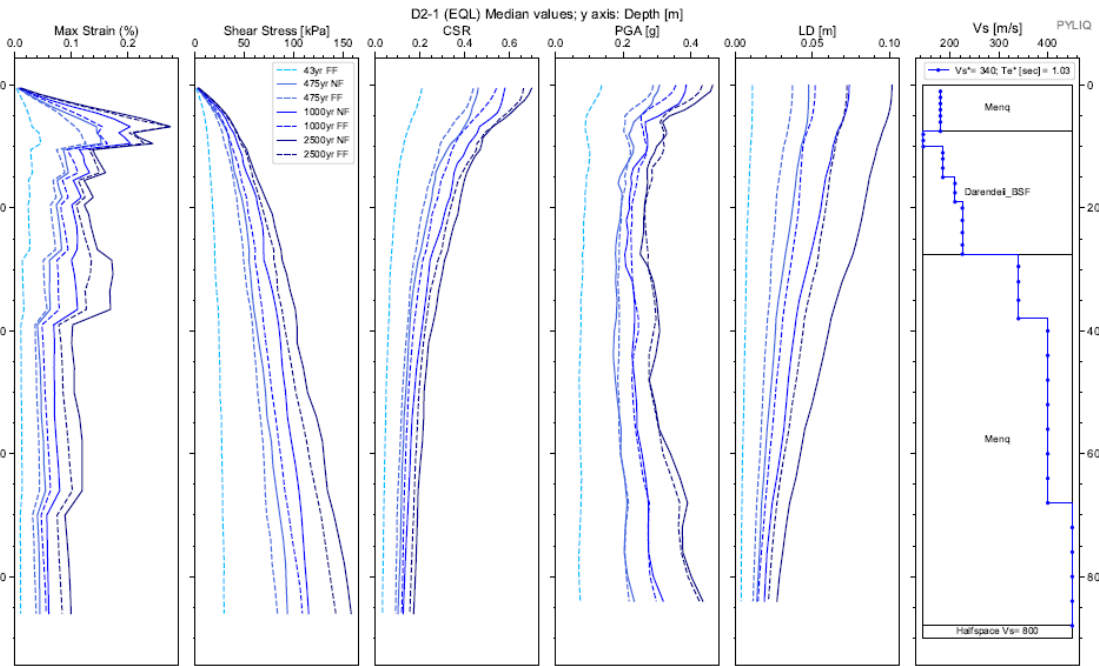
Apéndice 86. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D2-1



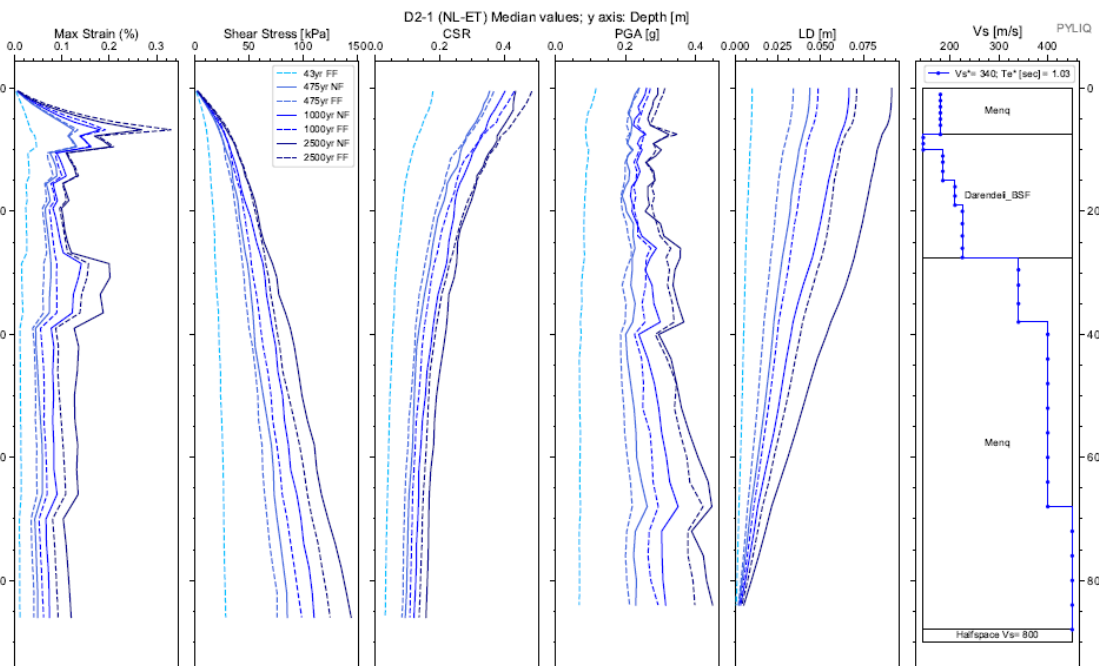
Apéndice 87. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D2-1.



Apéndice 88. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D2-1.



Apéndice 89. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D2-1



Apéndice 90. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D2-1

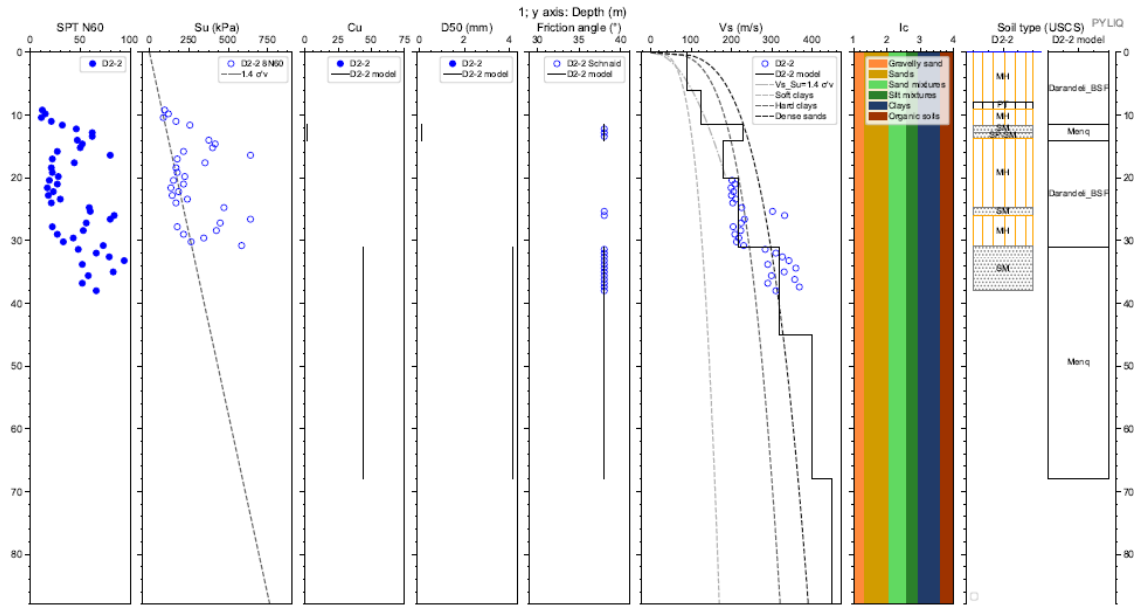
Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	7,50	17,00	1,89	0,10	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	27,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	88,00	17,00	10,00	4,13	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	180,0
7,5	180,0
10,0	145,0
15,0	185,0
19,0	210,0
27,5	225,0
38,0	340,0
68,0	400,0
88,0	450,0

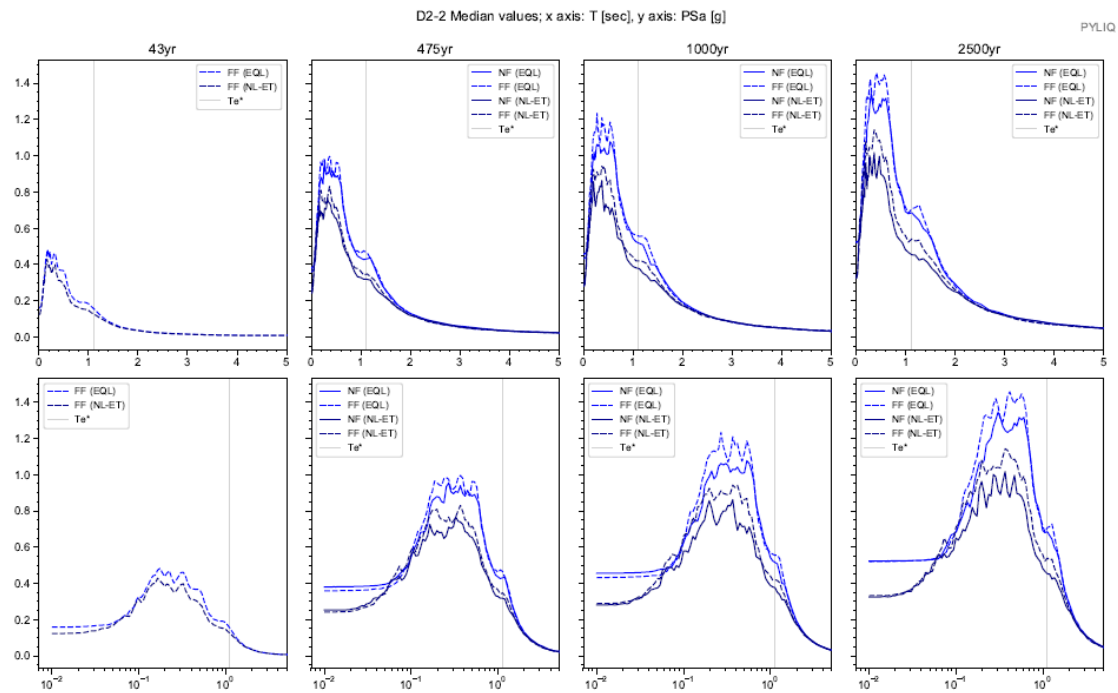
Apéndice 91. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D2-1



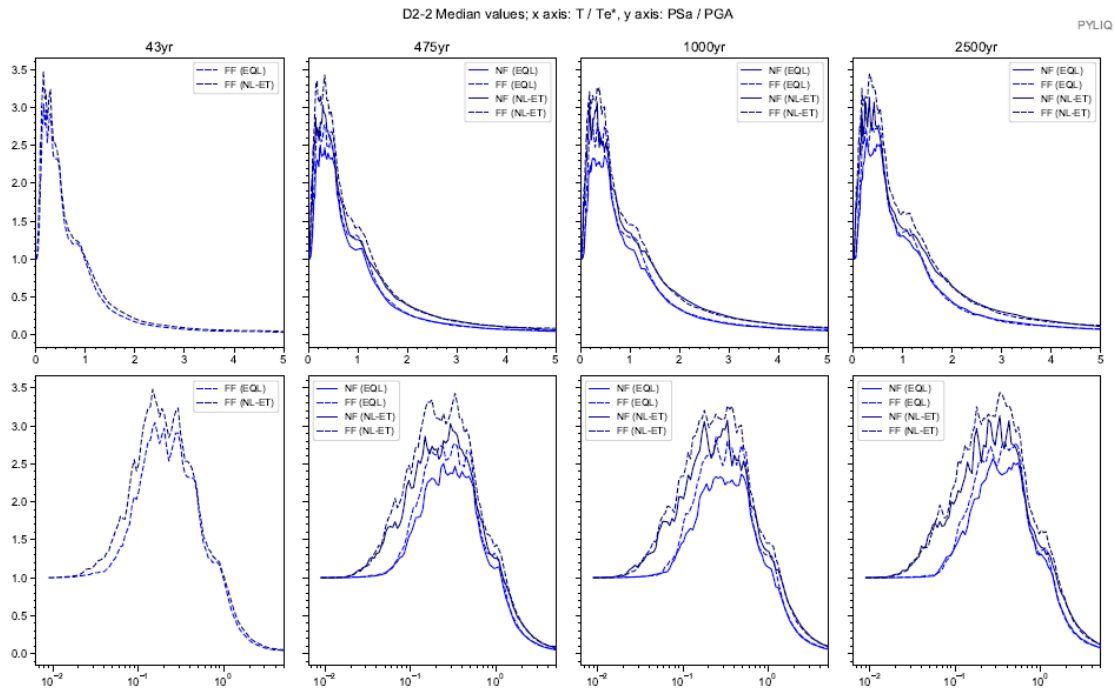
## Sitio D2-2



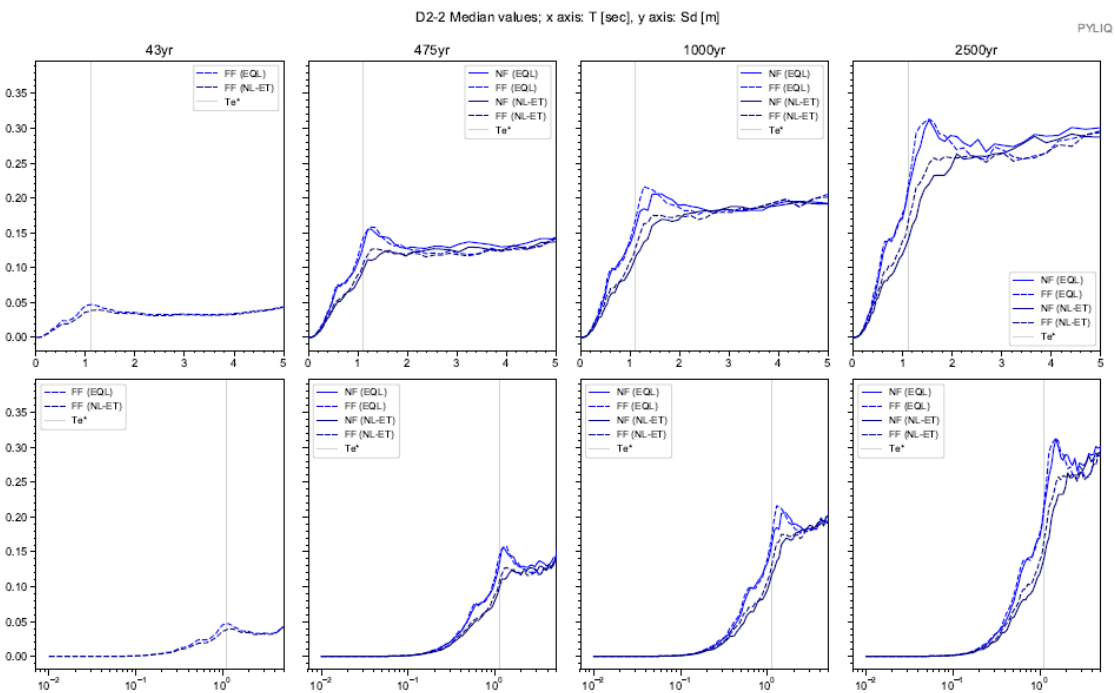
Apéndice 92. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D2-2



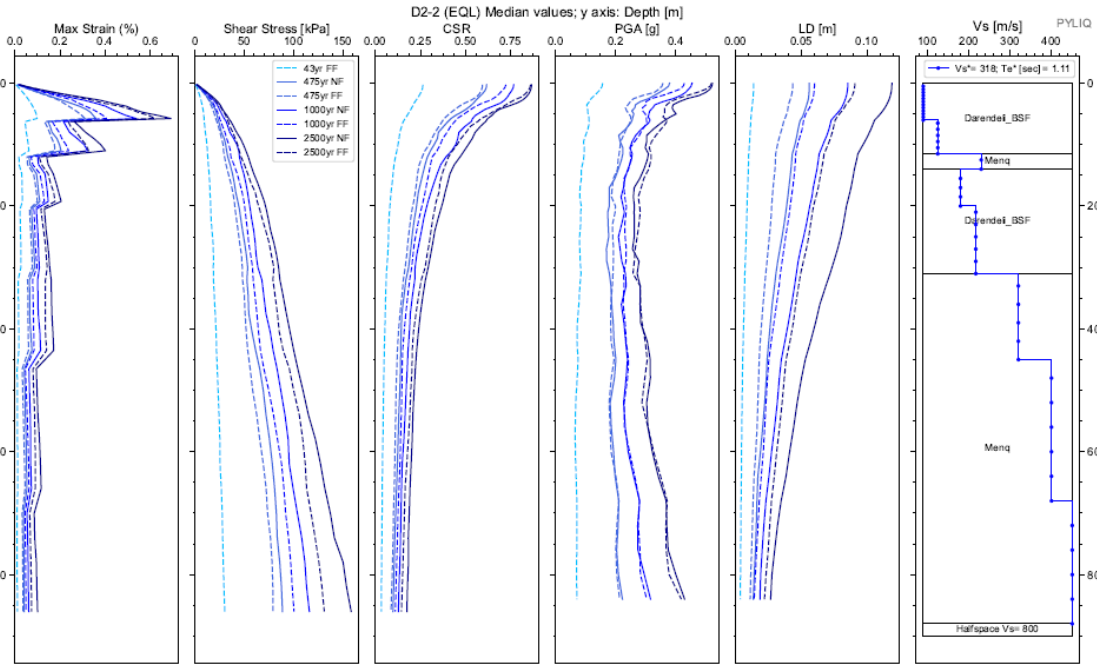
Apéndice 93. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D2-2



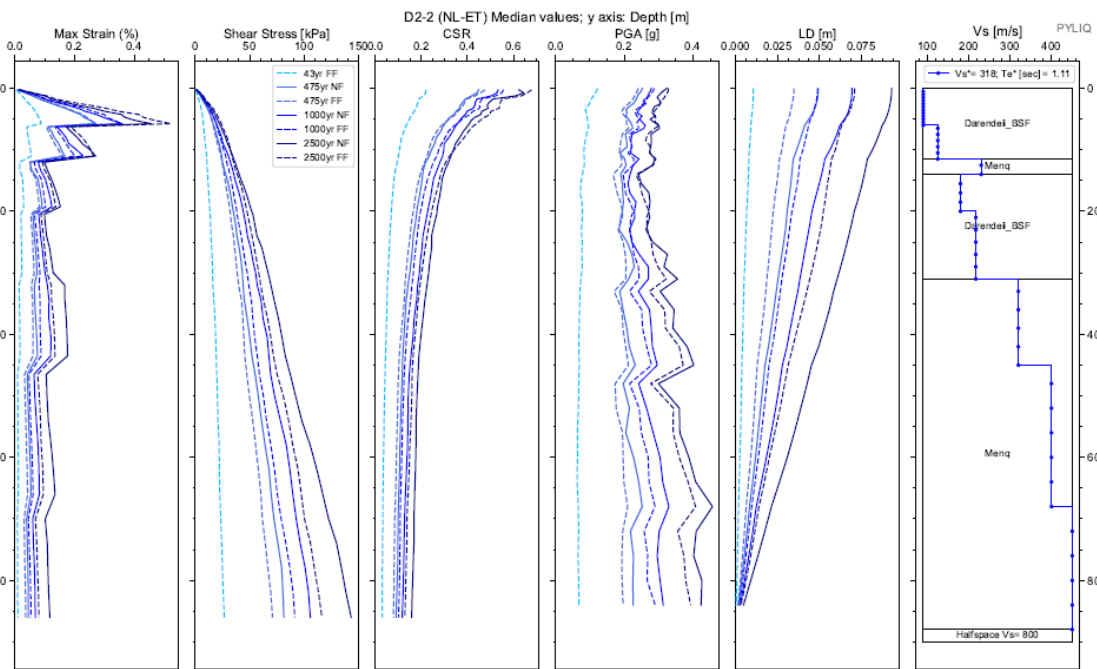
Apéndice 94. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D2-2.



Apéndice 95. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D2-2.



Apéndice 96. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D2-2



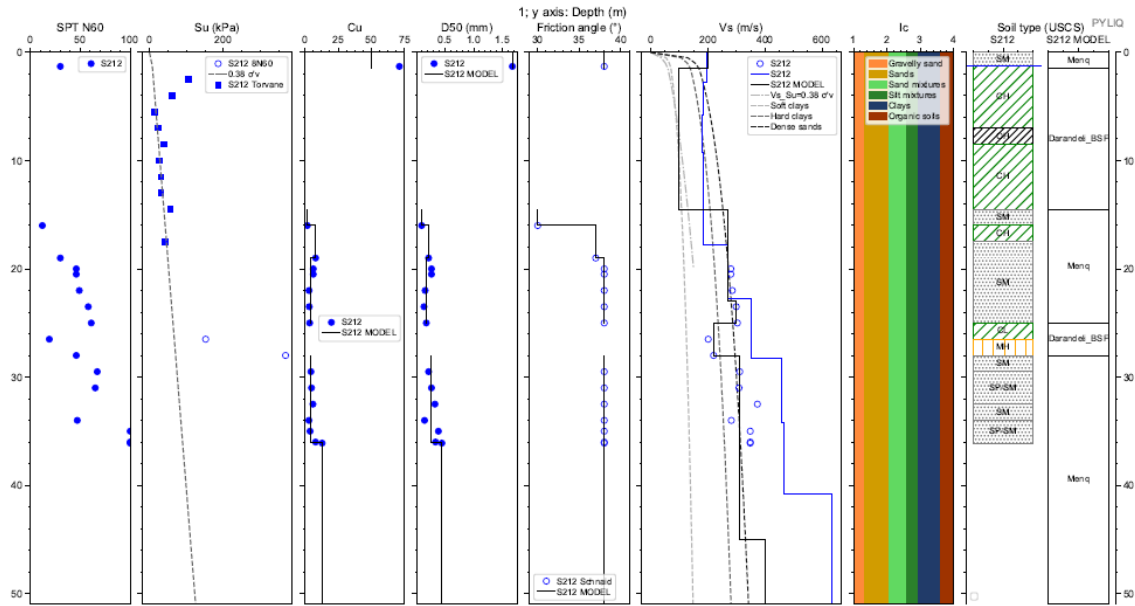
Apéndice 97. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D2-2

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	11,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	14,00	17,00	1,89	0,10	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darendeli_BSF	31,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	88,00	17,00	10,00	4,13	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

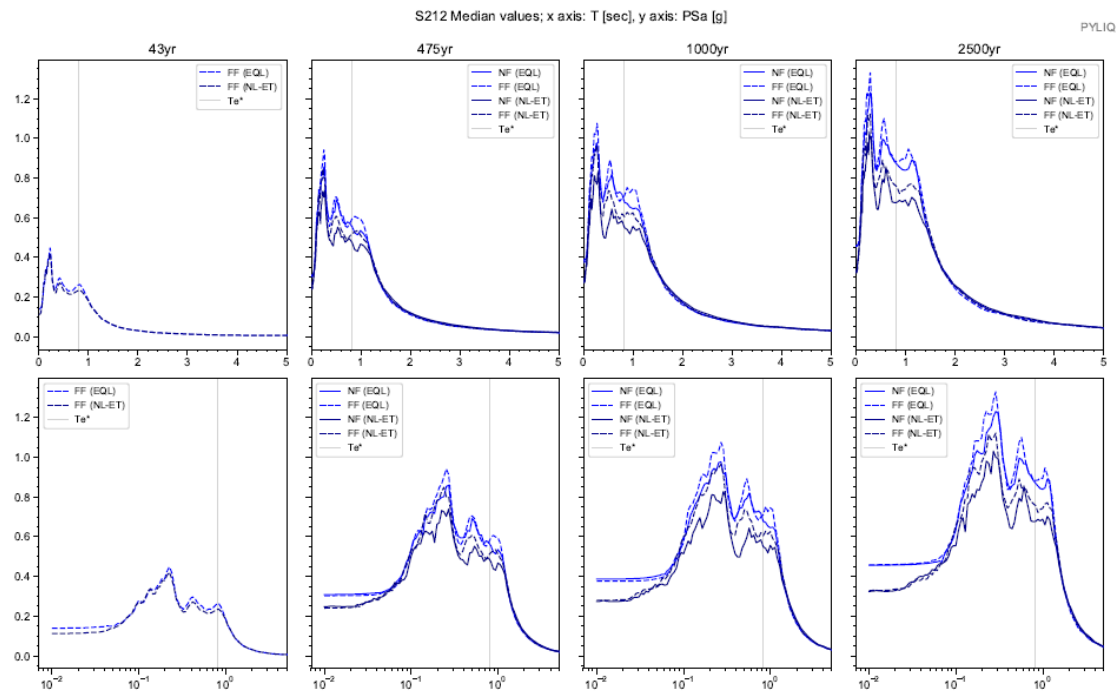
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	90,0
6,0	90,0
11,5	125,0
14,0	230,0
20,0	180,0
31,0	217,0
45,0	320,0
68,0	400,0
88,0	450,0

Apéndice 98. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D2-2

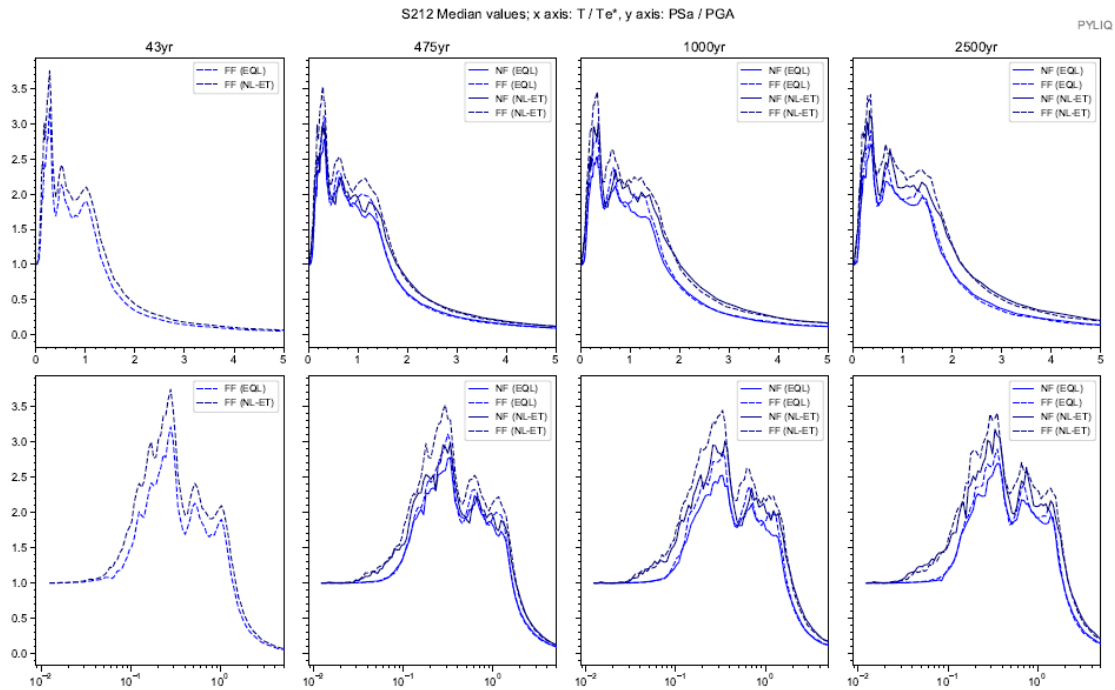
# Sitio S212



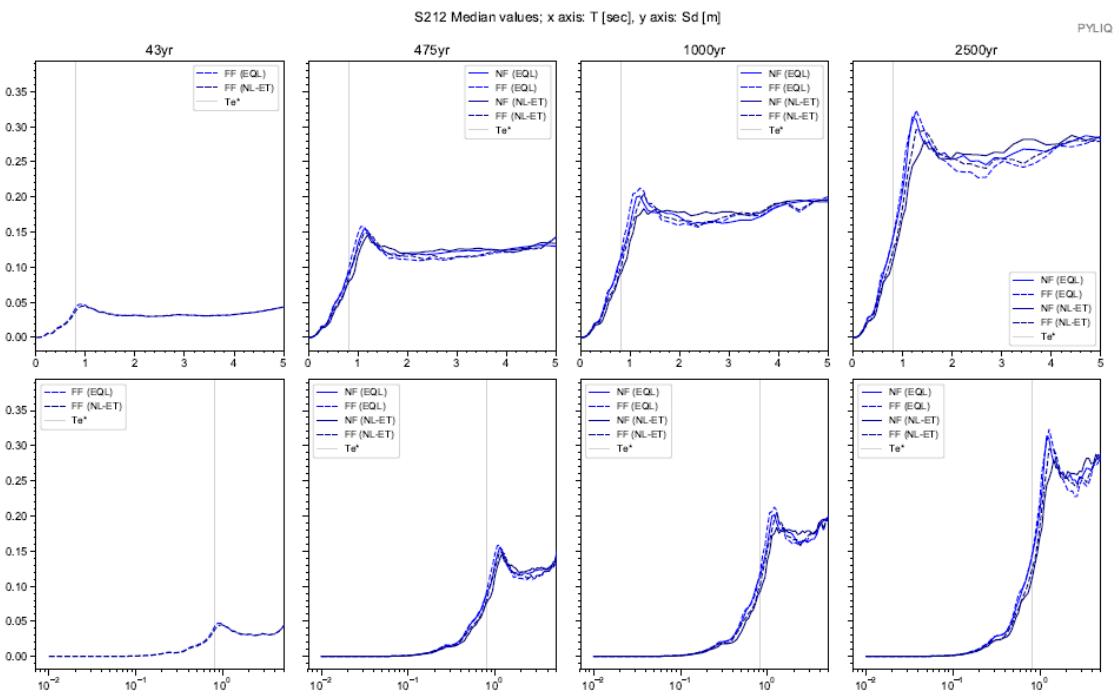
Apéndice 99. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S212



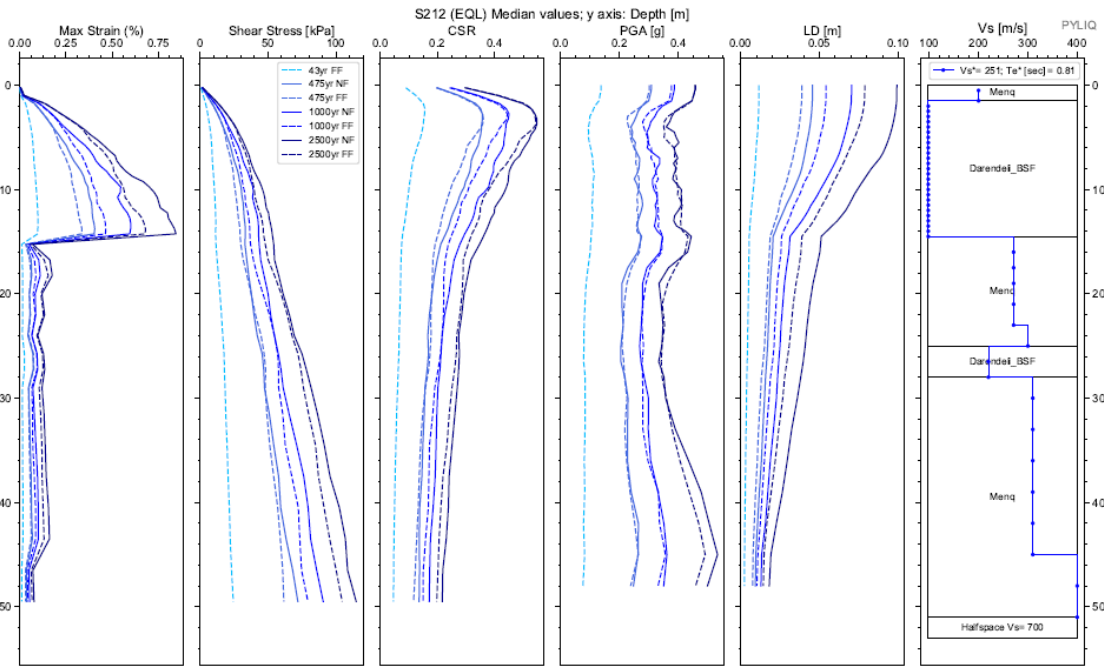
Apéndice 100. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S212



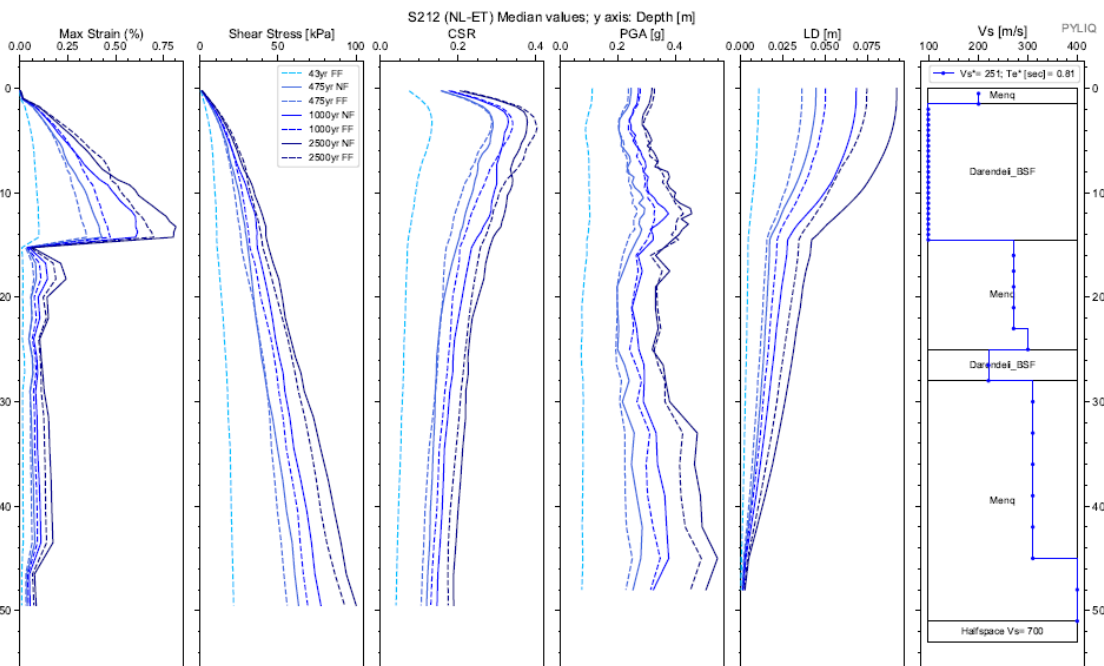
Apéndice 101. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S212.



Apéndice 102. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S212.



Apéndice 103. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S212



Apéndice 104. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S212

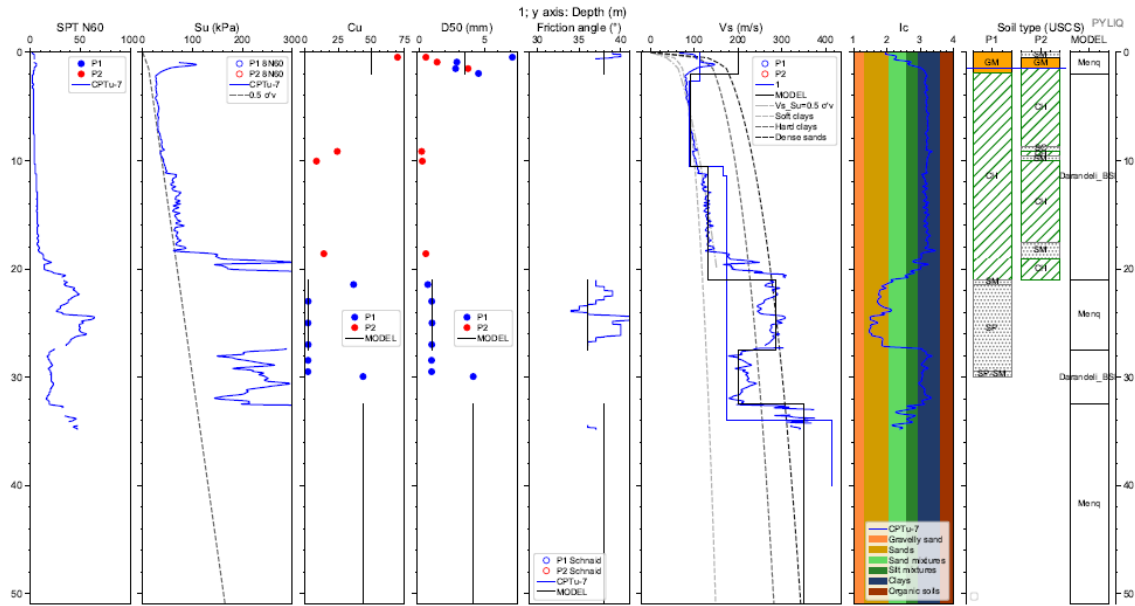
Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,50	17,00	10,00	1,67	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	14,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	16,00	17,00	1,89	0,10	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	19,00	17,00	8,11	0,22	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	25,00	17,00	4,12	0,19	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darandeli_BSF	28,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT7	Menq	36,00	17,00	4,76	0,26	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Menq	51,00	17,00	5,00	0,45	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
1,5	200,0
14,5	98,0
23,0	271,0
25,0	300,0
28,0	220,0
45,0	310,0
51,0	400,0

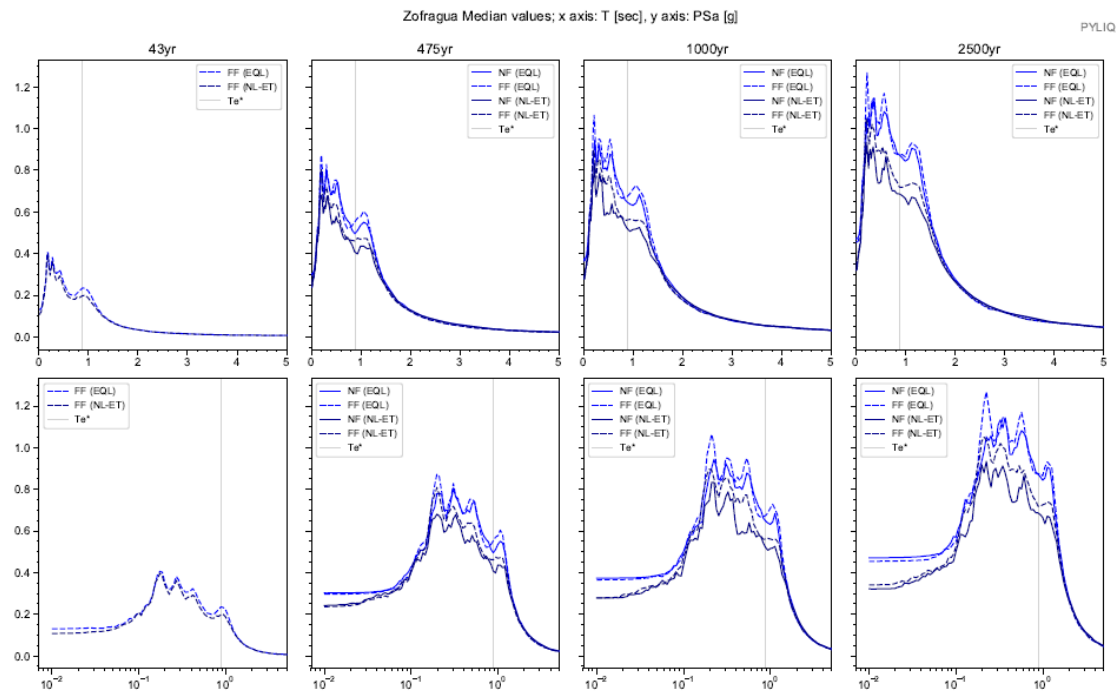
Apéndice 105. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S212



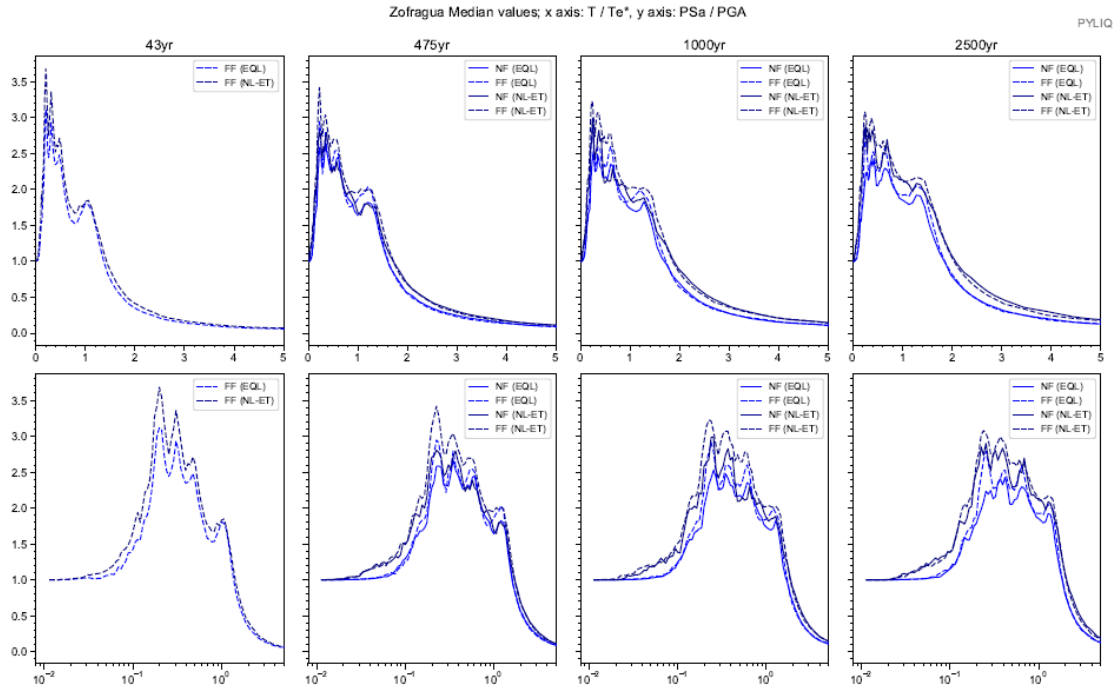
# Sitio ZOFRAGUA



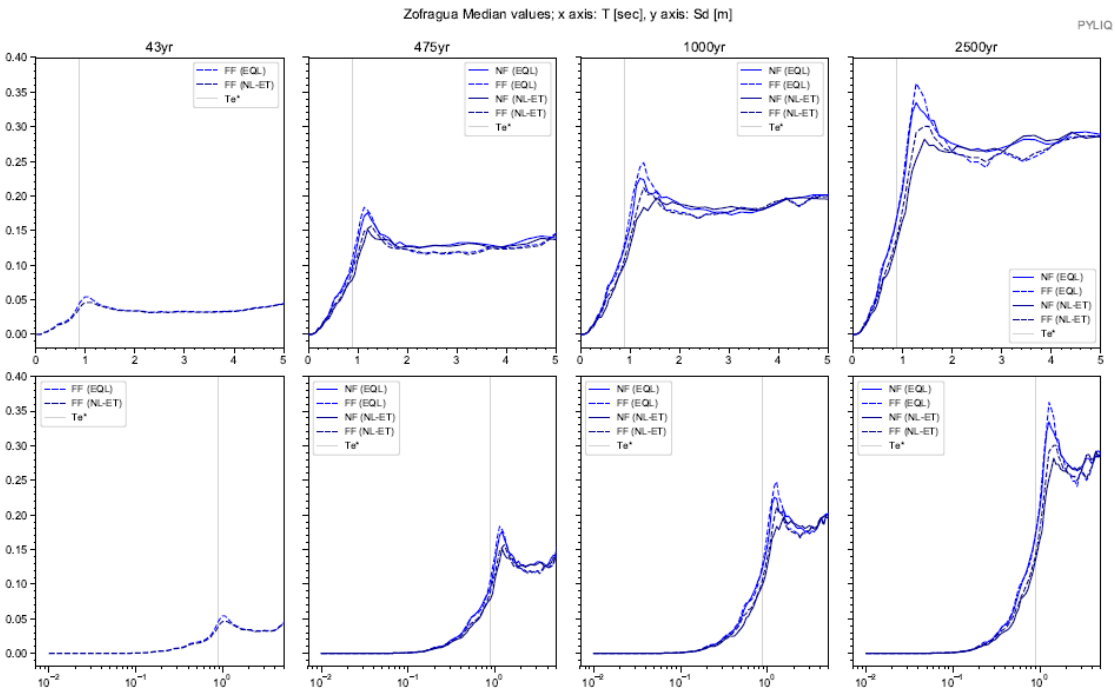
Apéndice 106. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio ZOFRAGUA



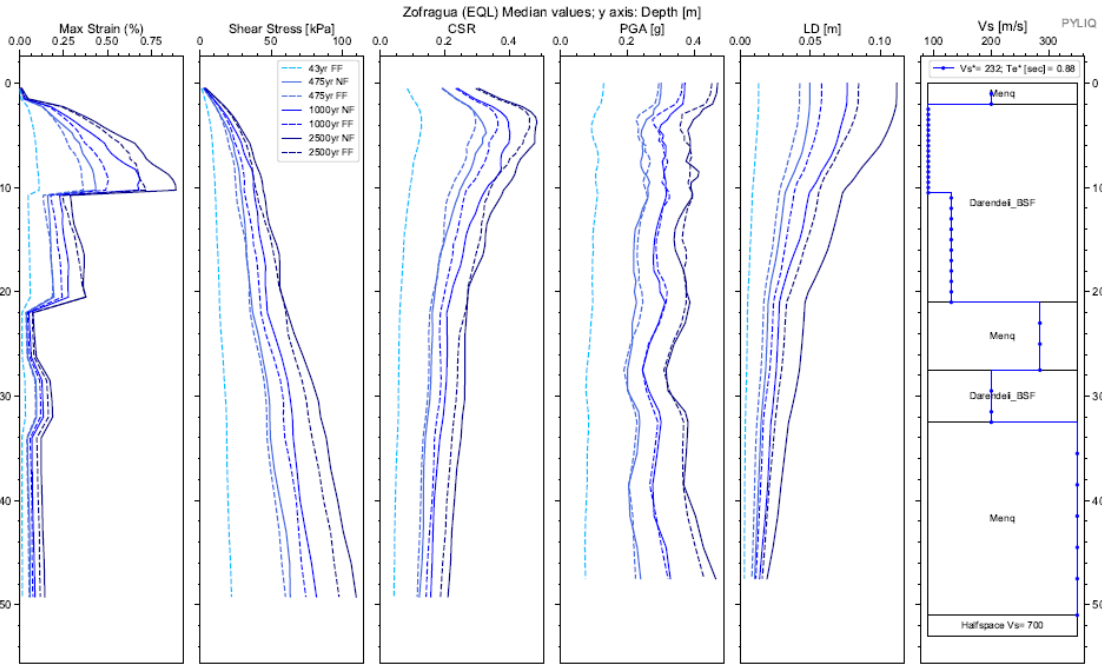
Apéndice 107. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio ZOFRAGUA



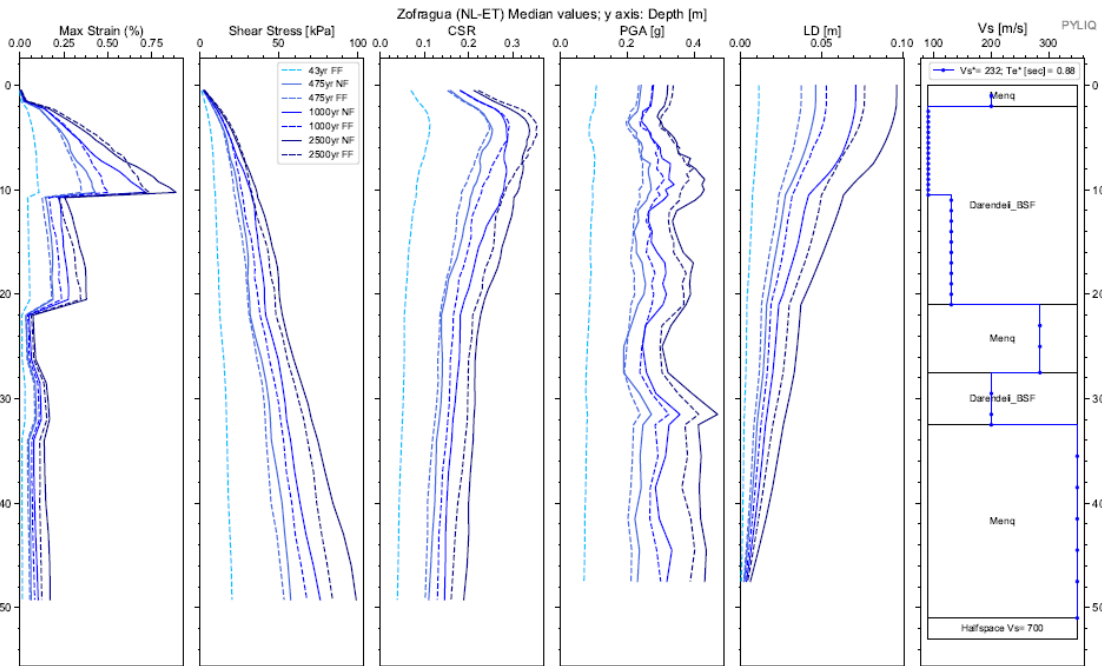
Apéndice 108. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio ZOFRAGUA.



Apéndice 109. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio ZOFRAGUA.



Apéndice 110. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio ZOFRAGUA



Apéndice 111. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio ZOFRAGUA

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	2,00	17,00	10,00	3,50	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	21,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	27,50	17,00	2,40	0,93	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Darendeli_BSF	32,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	51,00	17,00	10,00	4,13	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,0	200,0
10,5	90,0
21,0	130,0
27,5	285,0
32,5	200,0
51,0	350,0

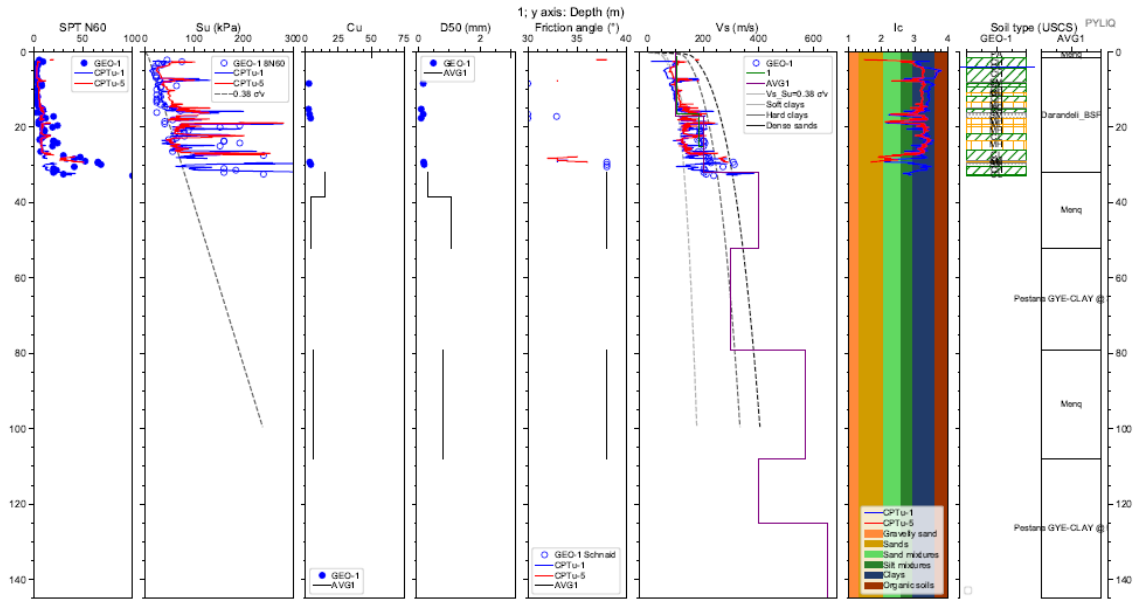
Apéndice 112. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio ZOFRAGUA

### Zona D3

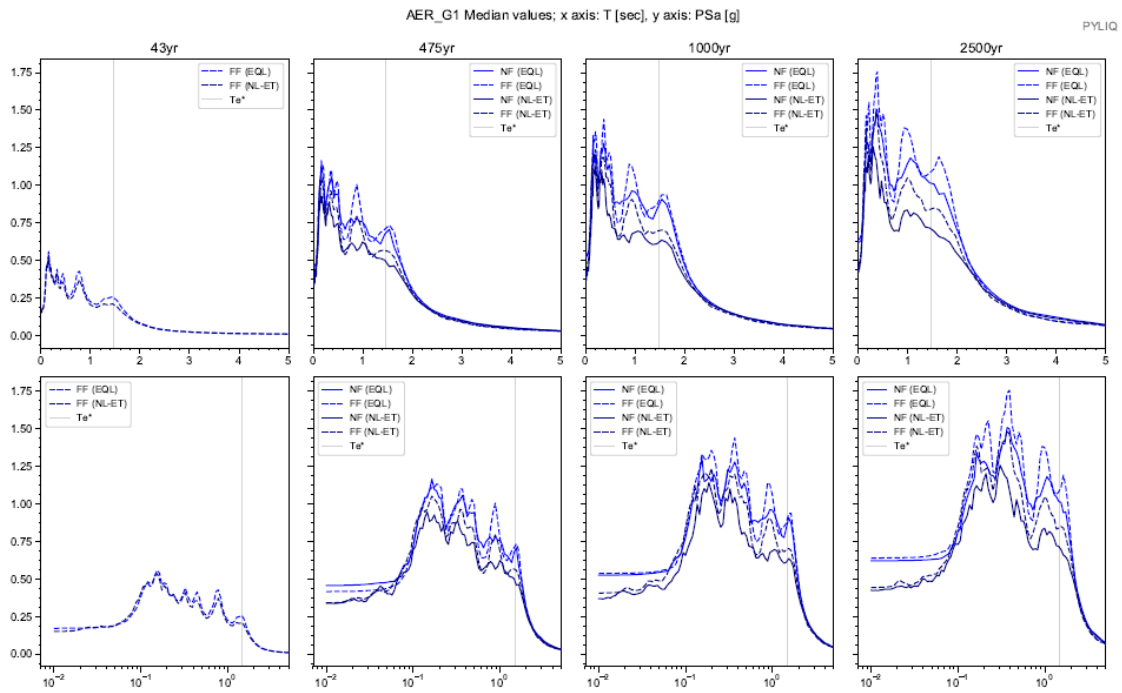
#### Incluye los Sitios:

- SITE D2-1
- SITE D3a-1
- SITE D3a-2
- SITE D3a-3
- SITE D3a-4
- SITE D3b-1
- SITE D3b-2
- SITE D3b-3
- SITE 209ECU
- SITE 218ECU
- SITE 221ECU
- SITE 210ECU
- SITE 216ECU
- SITE 211ECU
- Edif. Murano
- Edif. Gub. Fco. Orellana
- Hospital Abel Gilbert
- Pantano Seco - Interagua
- Estación CICG
- Hospital IESS Sur
- Aerovía sitio G1

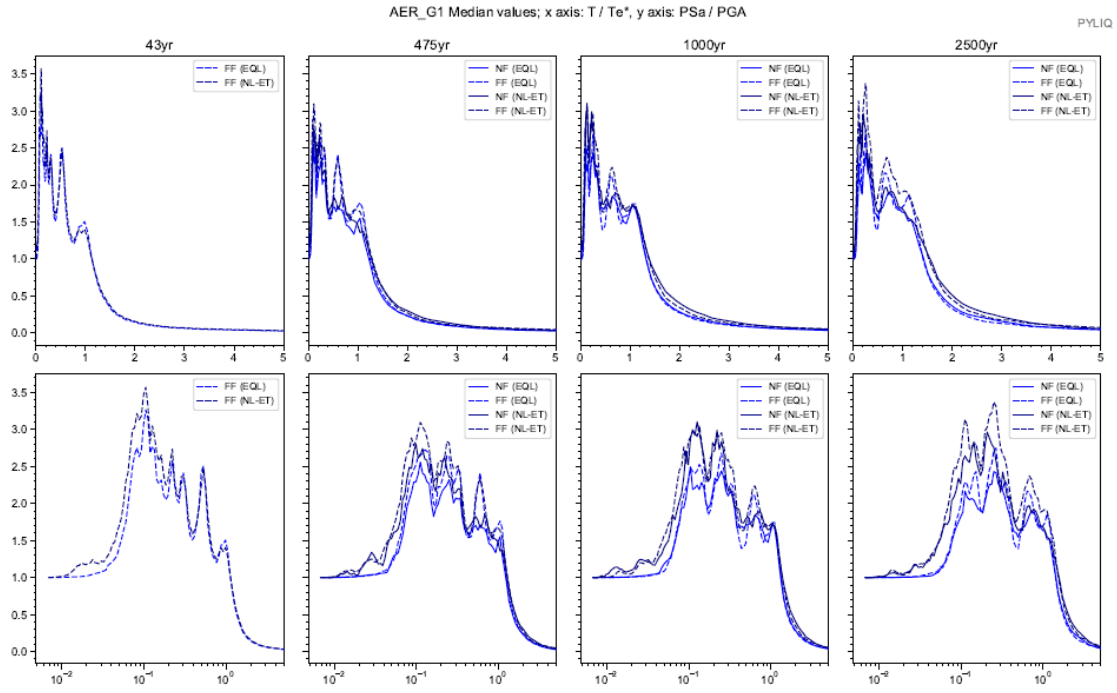
Sitio AEROVIA G1



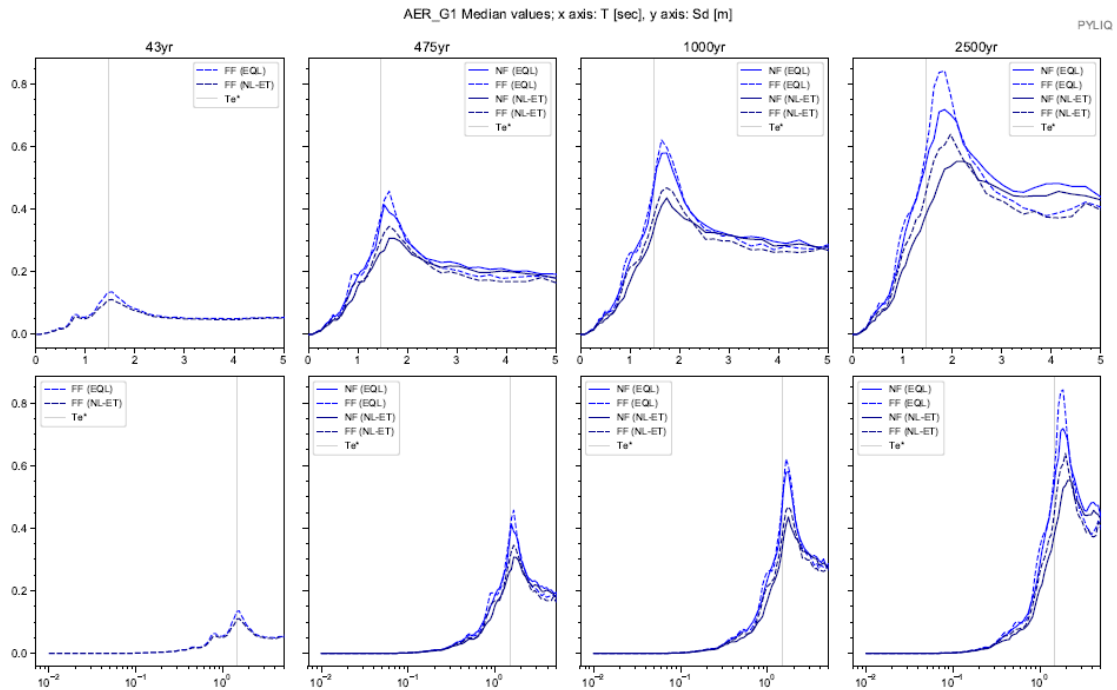
Apéndice 113. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio AEROVIA G1



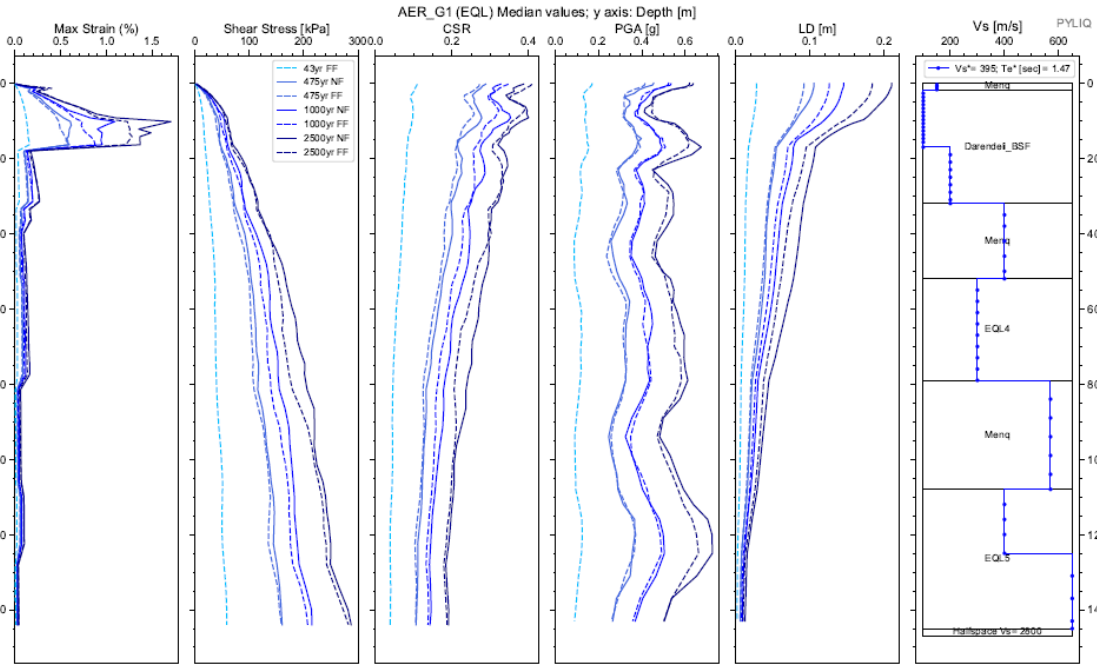
Apéndice 114. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio AEROVIA G1



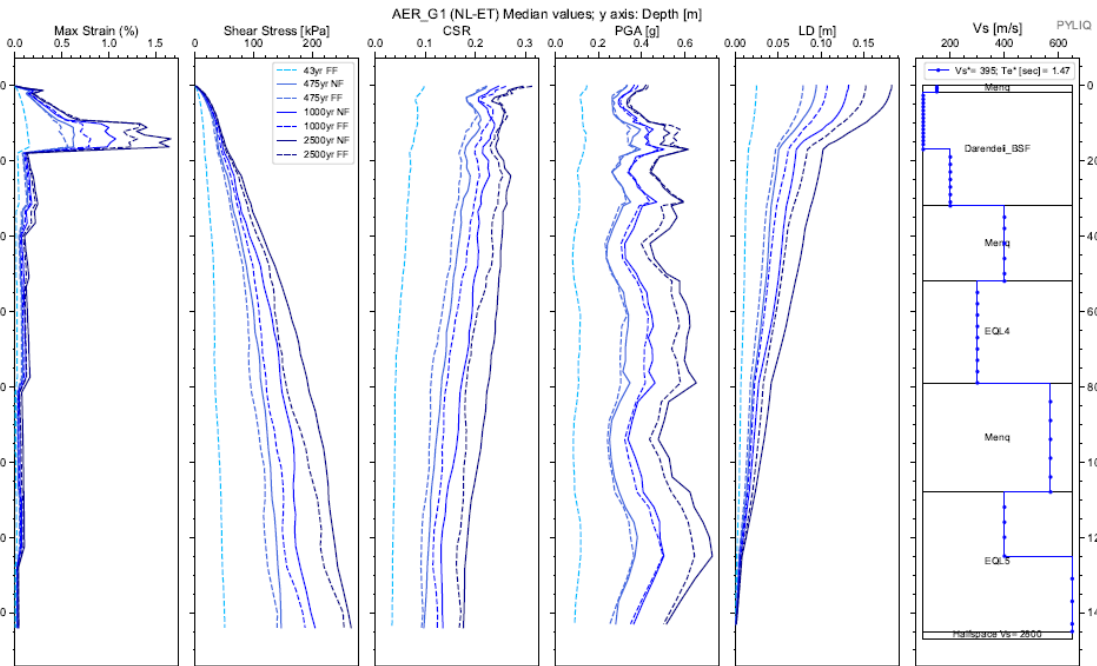
Apéndice 115. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio AEROVIA G1.



Apéndice 116. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio AEROVIA G1.



Apéndice 117. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio AEROVIA G1



Apéndice 118. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio AEROVIA G1

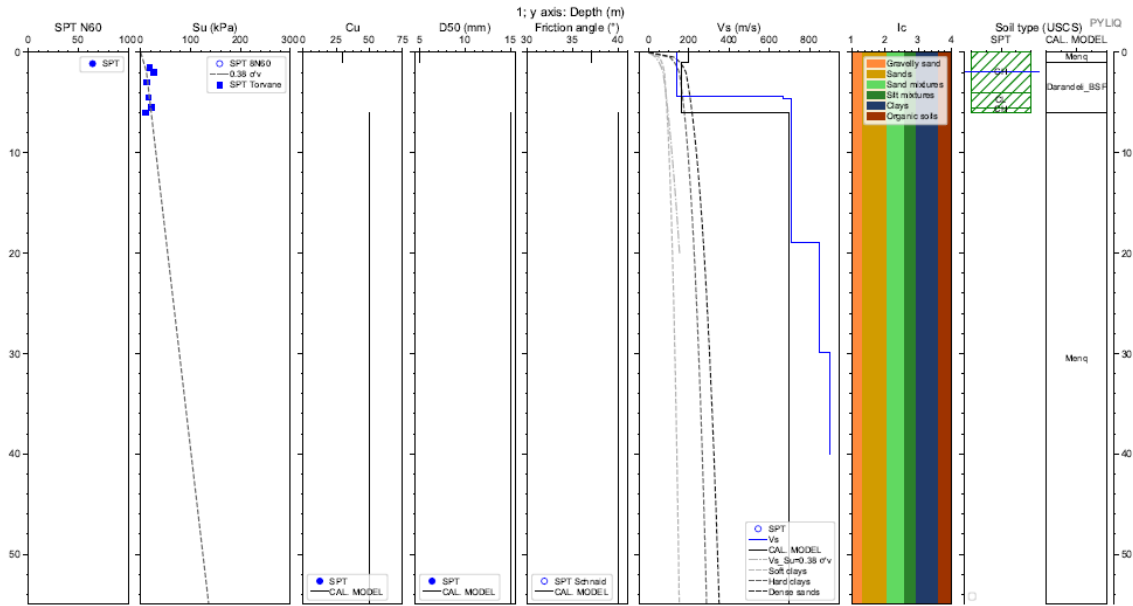


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,70	18,00	50,00	3,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	32,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	38,50	17,00	14,59	0,29	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	52,00	17,00	4,17	1,06	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	a GYE-CLAY @	79,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT6	Menq	108,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	a GYE-CLAY @	145,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00							2800

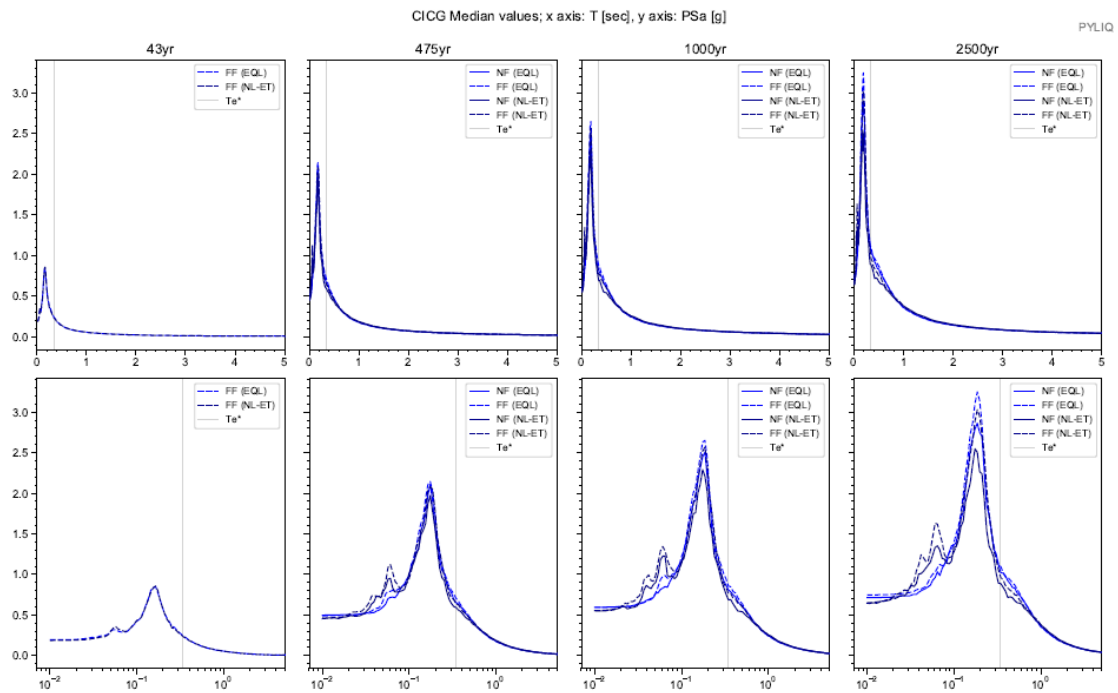
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	150,0
1,7	150,0
17,0	100,0
32,0	200,0
52,0	400,0
79,0	300,0
108,0	570,0
125,0	400,0
145,0	650,0

Apéndice 119. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio AEROVIA G1

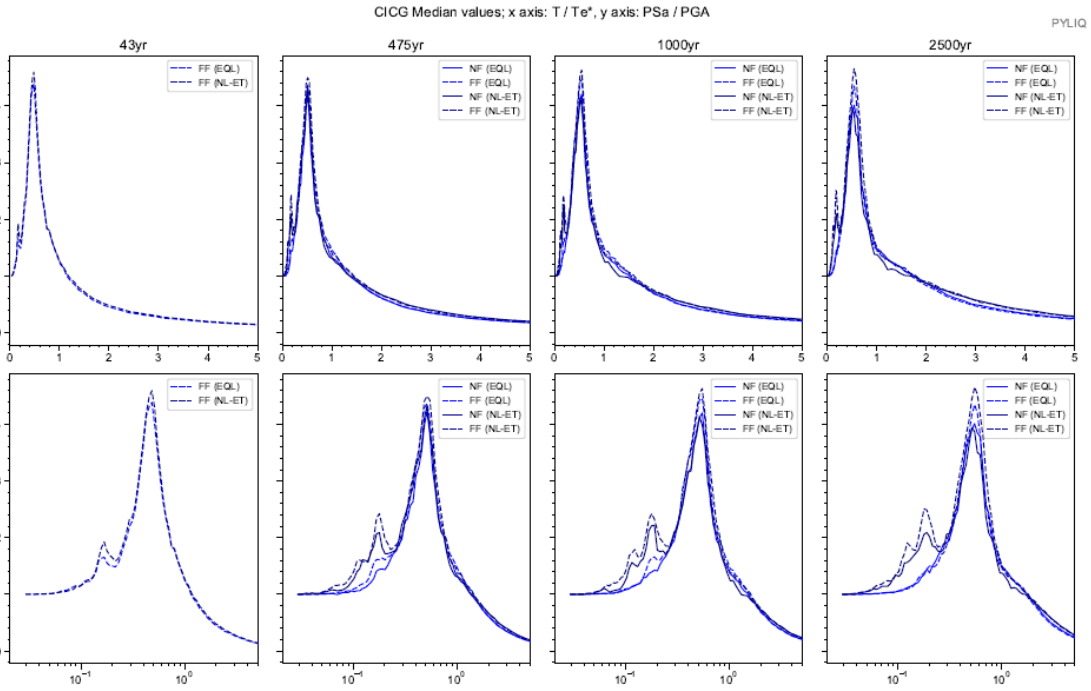
# Sitio CIGG



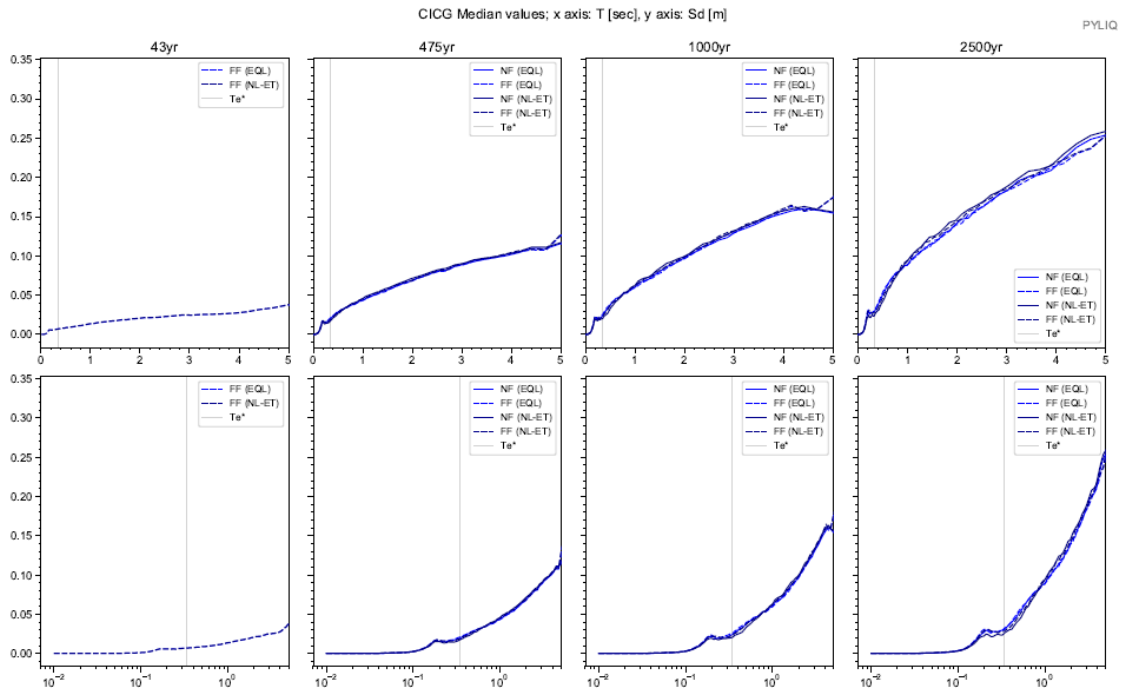
Apéndice 120. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio CIGG



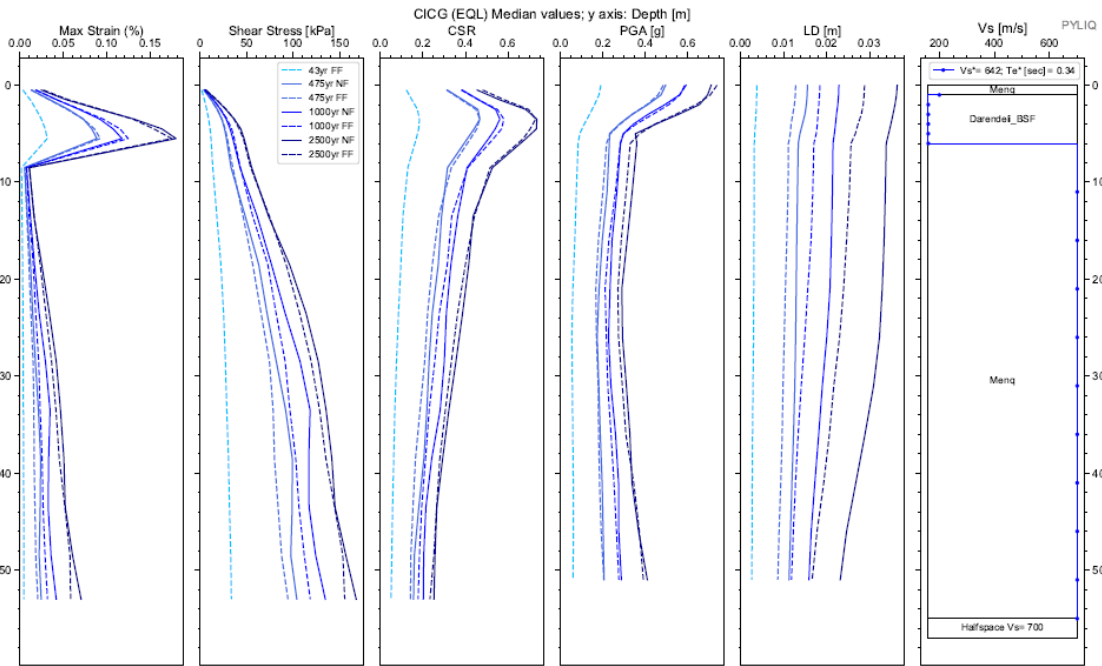
Apéndice 121. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio CIGG



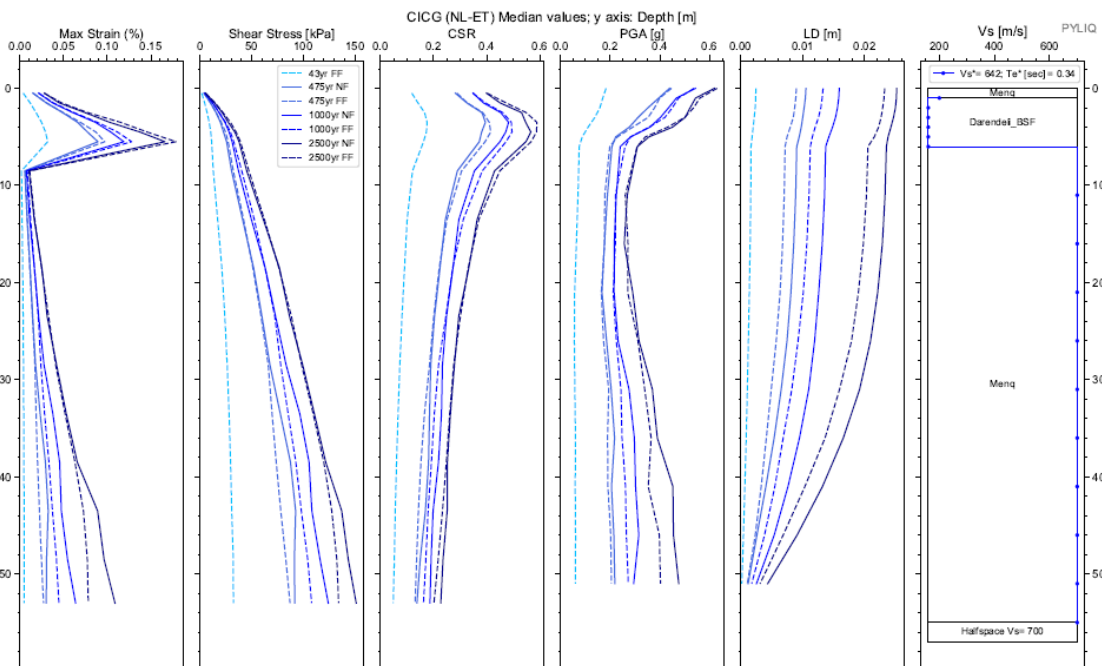
Apéndice 122. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio CICG.



Apéndice 123. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio CICG.



Apéndice 124. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio CICG



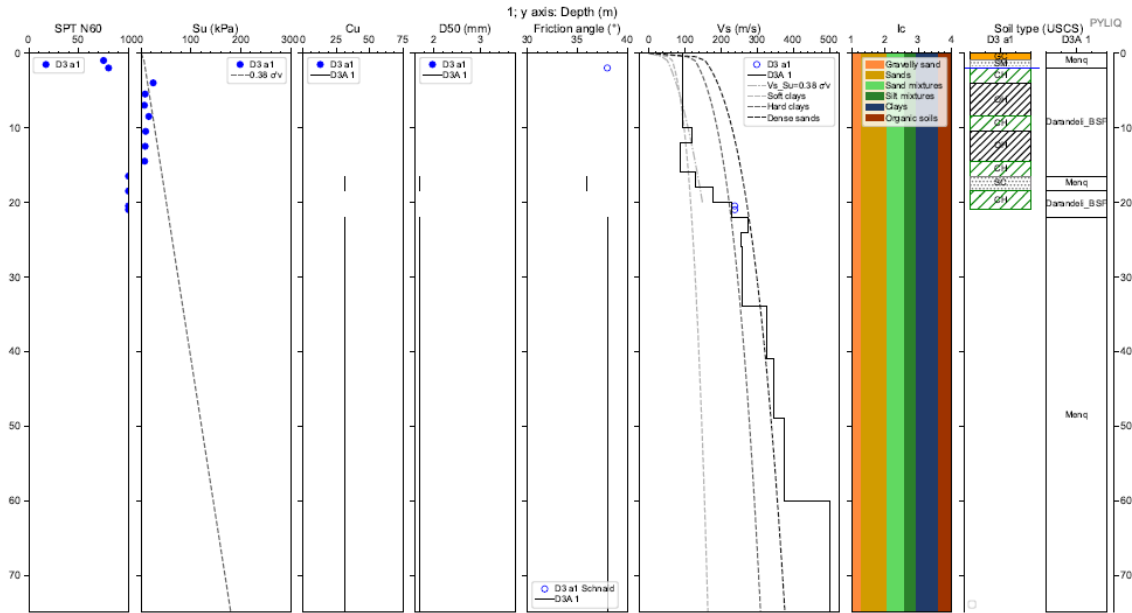
Apéndice 125. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio CICG

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,00	17,00	30,00	5,00	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	6,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	55,00	18,00	50,00	15,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

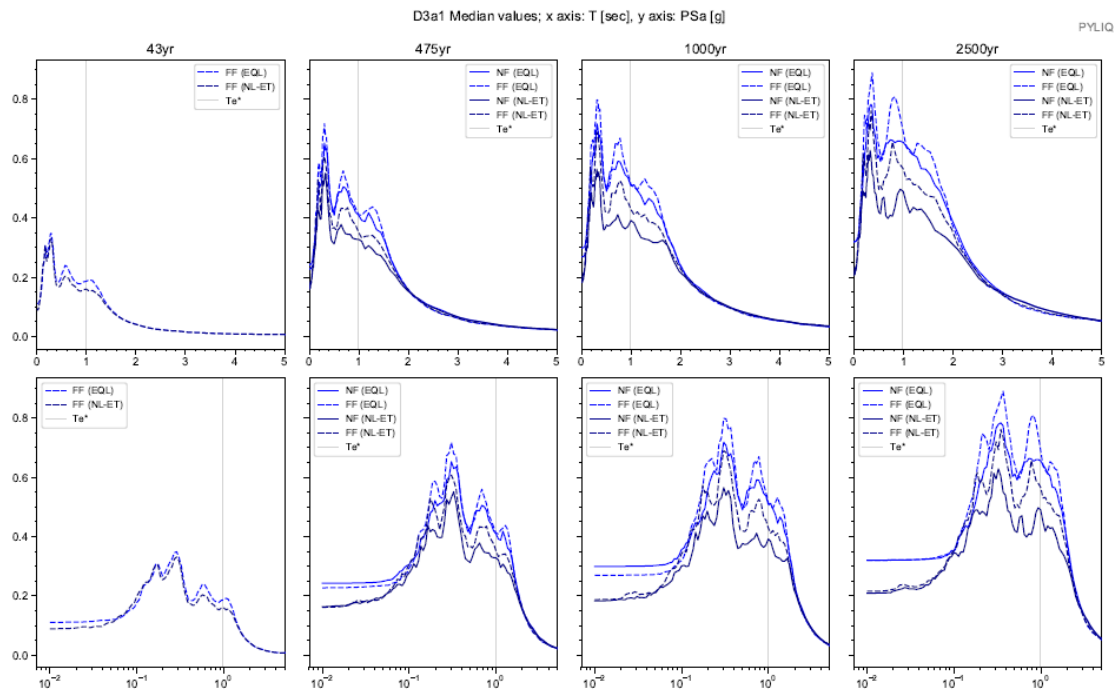
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
1,0	200,0
6,0	160,0
55,0	700,0

Apéndice 126. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio CIGG

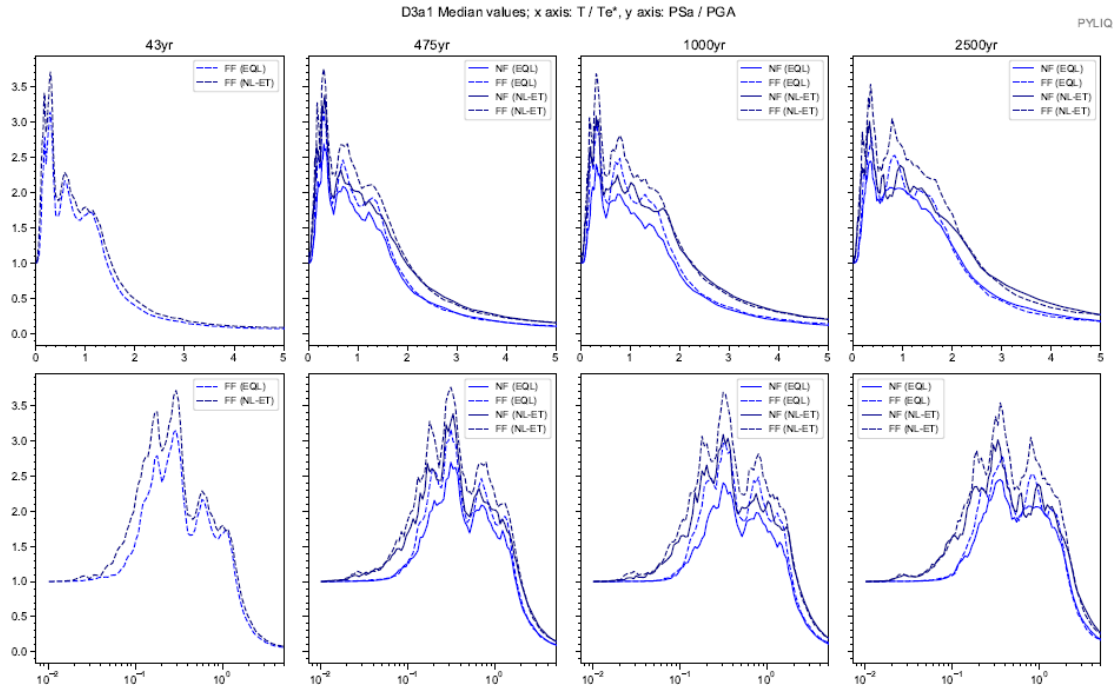
# Sitio D3A1



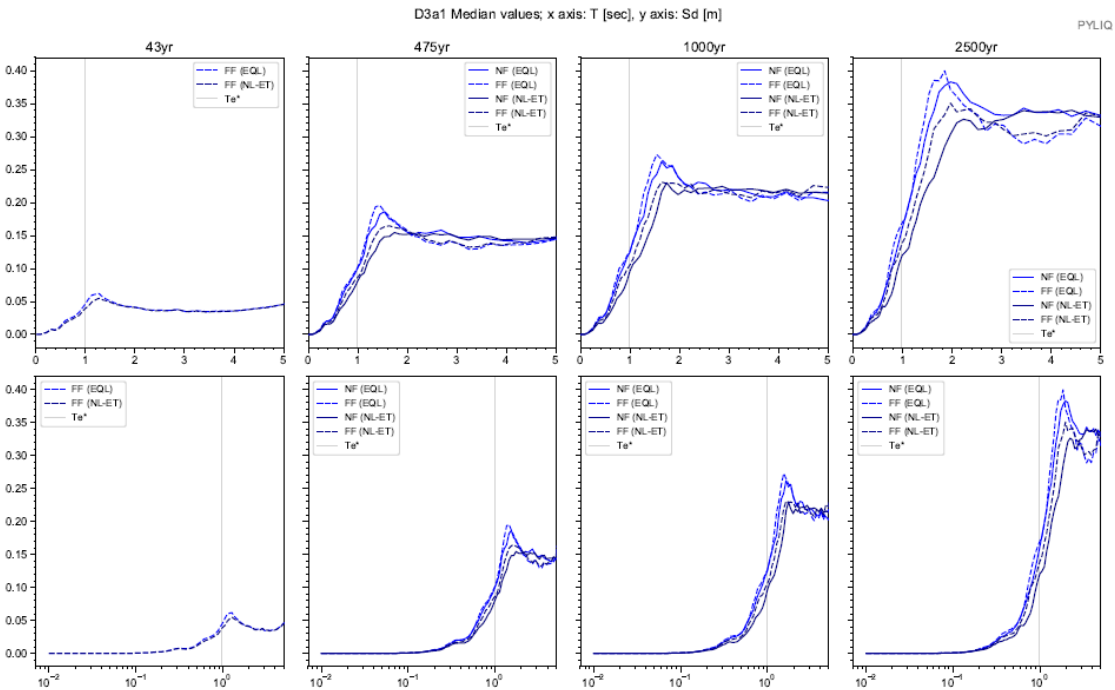
Apéndice 127. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D3A1



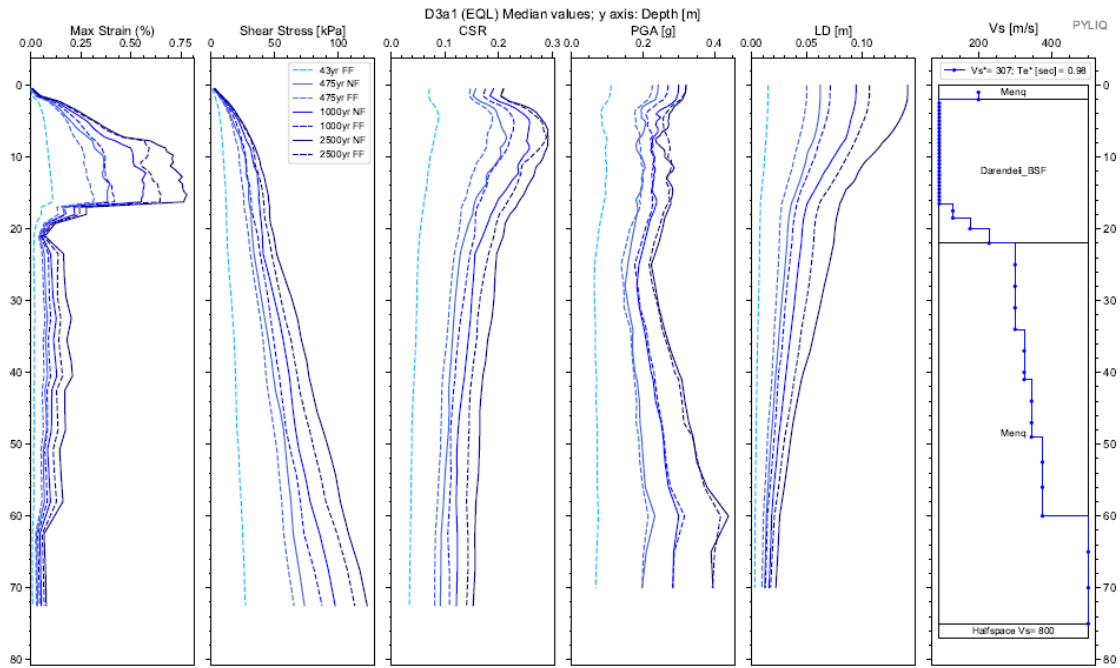
Apéndice 128. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D3A1



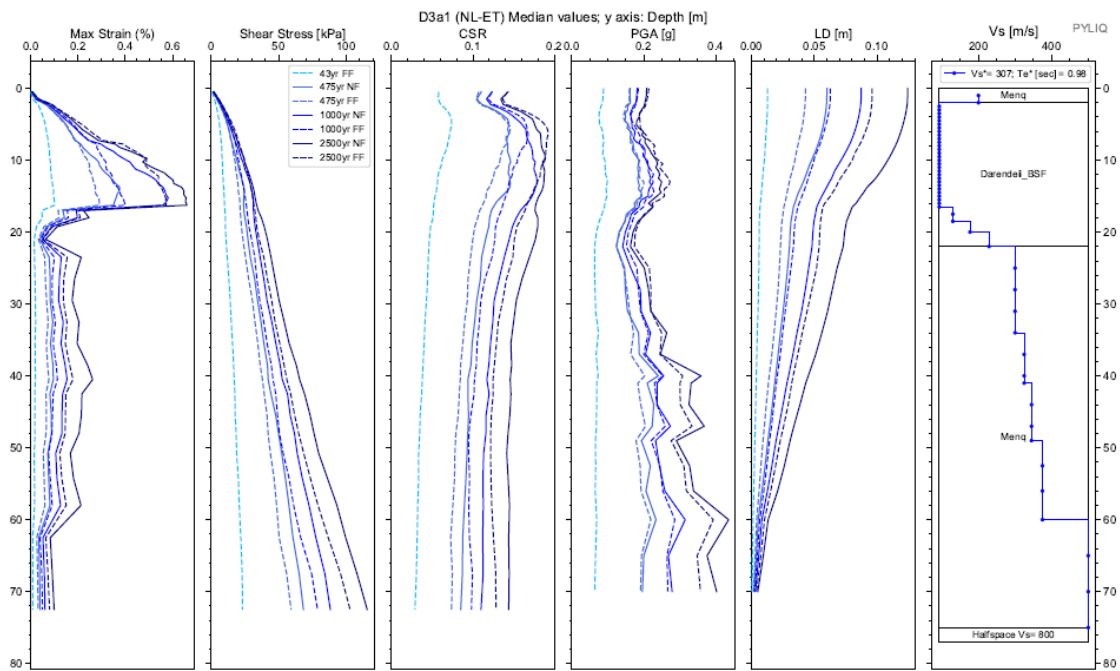
Apéndice 129. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D3A1.



Apéndice 130. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D3A1.



Apéndice 131. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D3A1



Apéndice 132. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D3A1

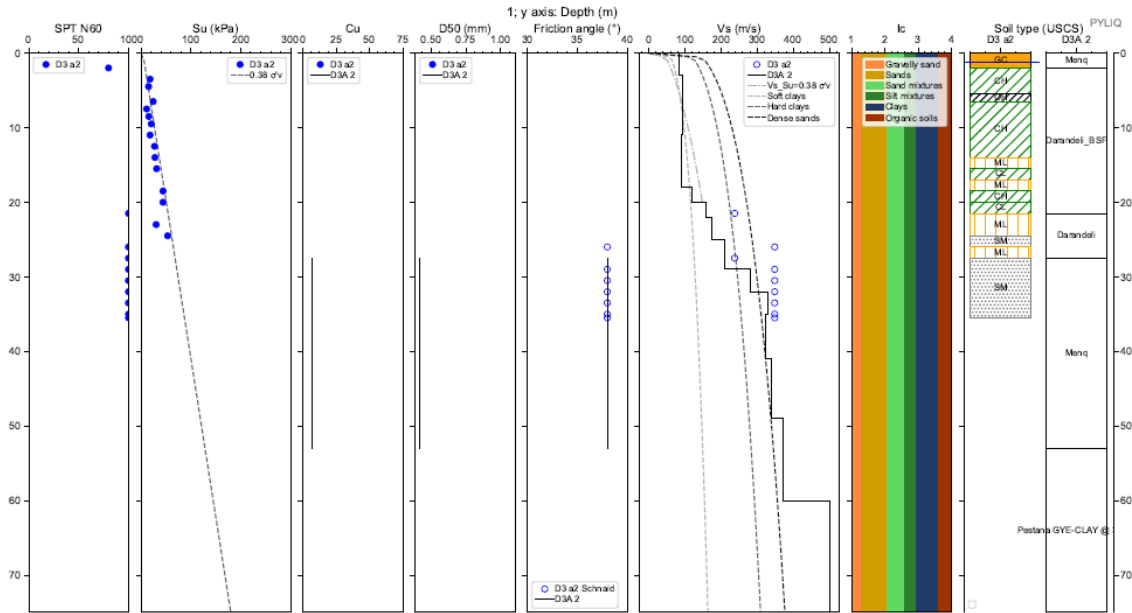


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	2,00	18,00	50,00	3,64	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	22,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	75,00	17,00	31,07	1,70	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

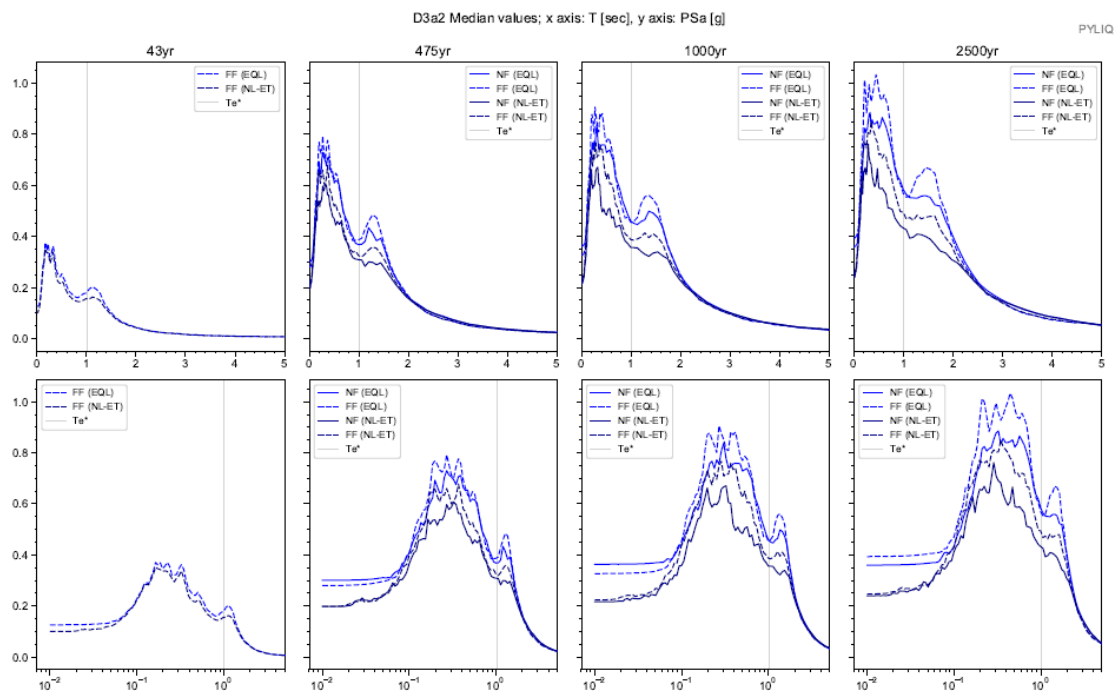
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,0	200,0
16,5	93,0
18,5	130,0
20,0	177,0
22,0	229,0
34,0	300,0
41,0	325,0
49,0	345,0
60,0	375,0
75,0	500,0

Apéndice 133. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D3A1

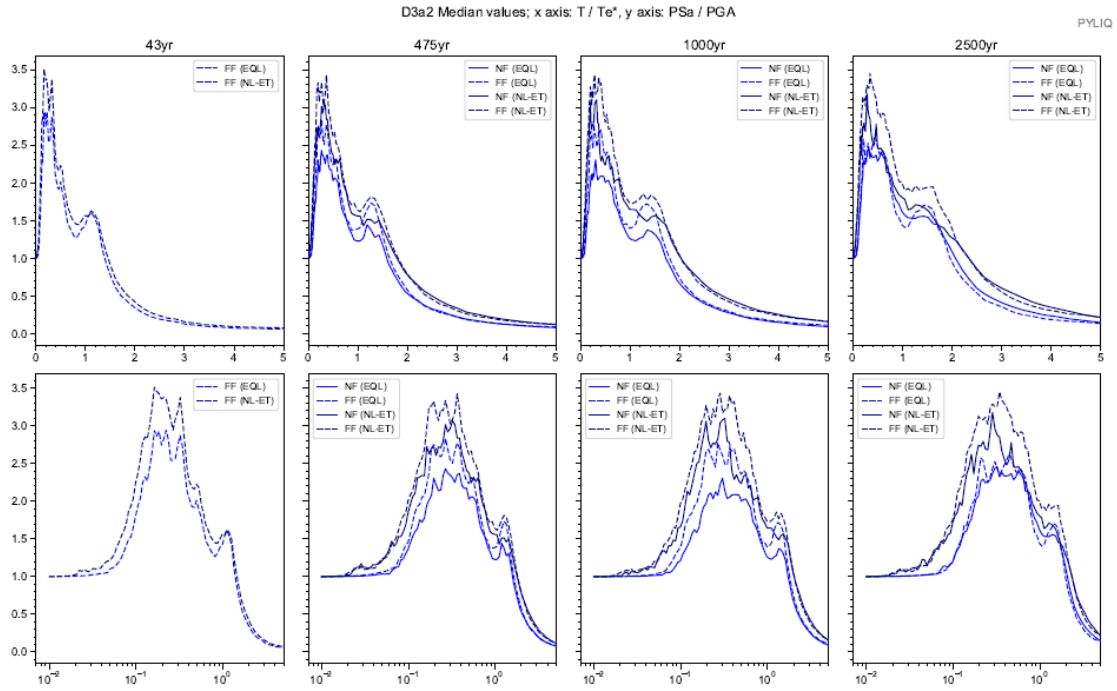
# Sitio D3A2



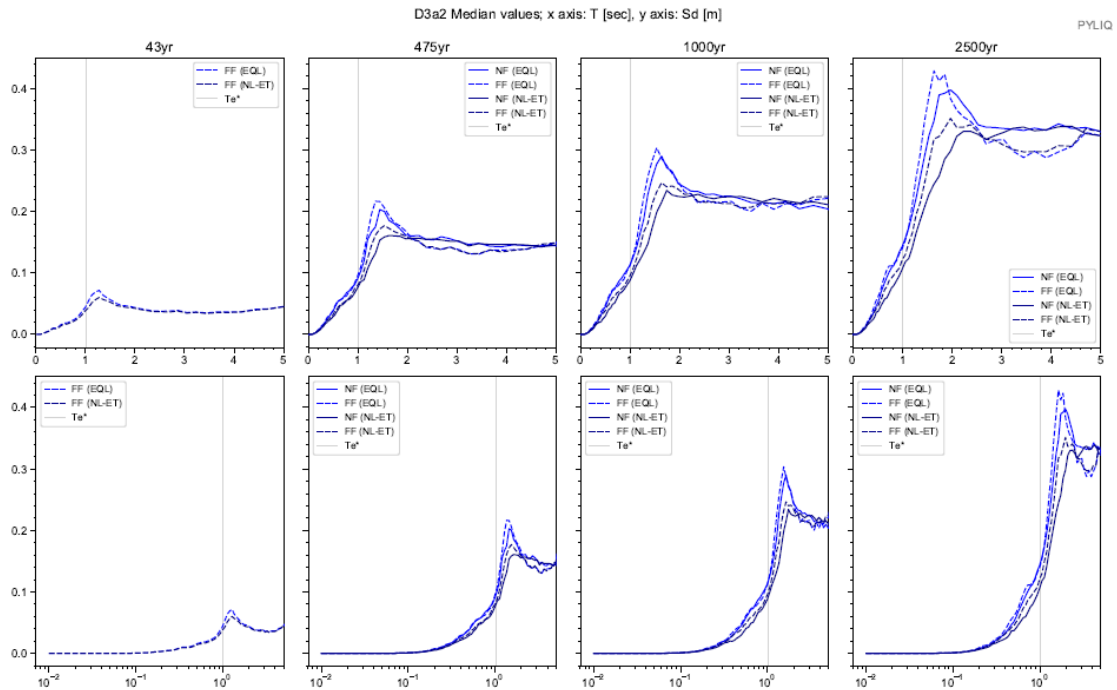
Apéndice 134. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D3A2



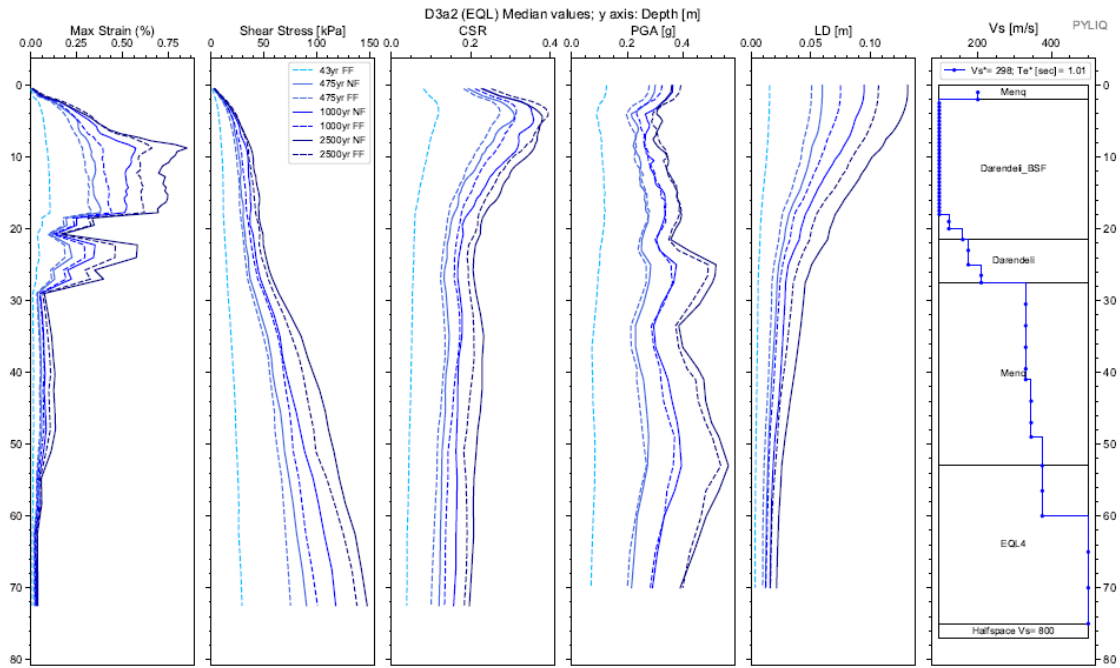
Apéndice 135. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D3A2



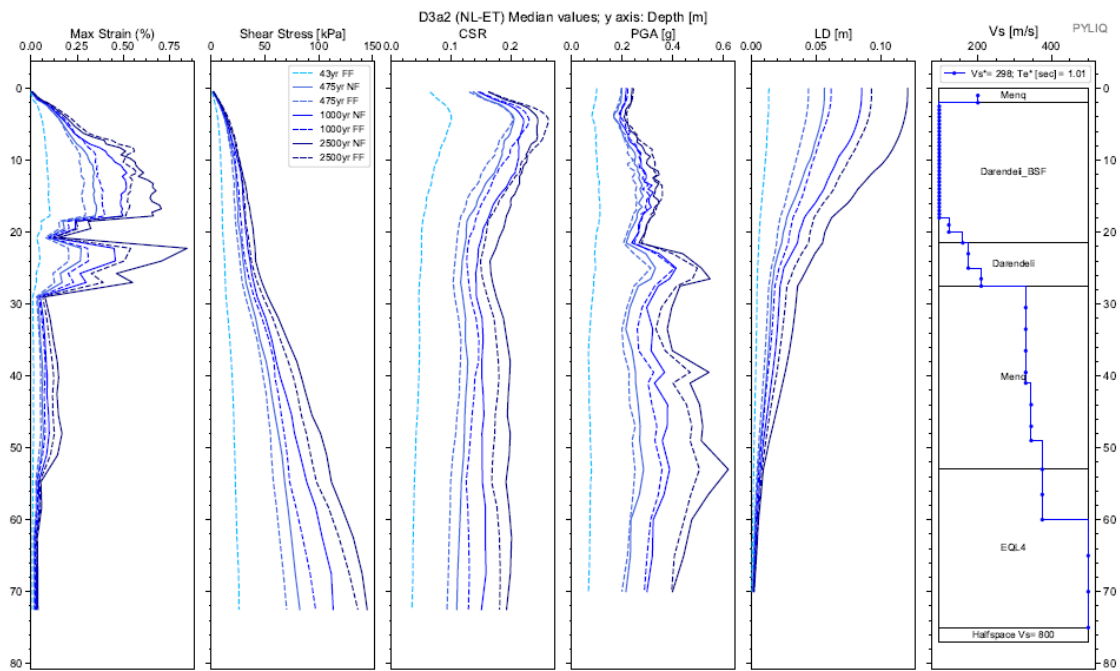
Apéndice 136. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D3A2.



Apéndice 137. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D3A2.



Apéndice 138. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D3A2



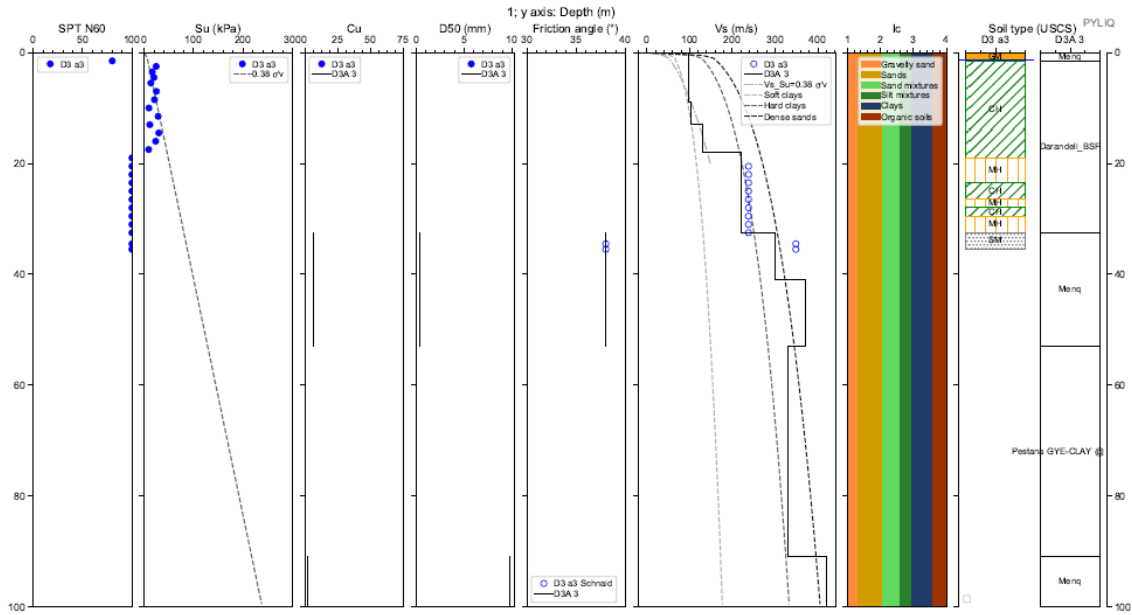
Apéndice 139. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D3A2

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	2,00	18,00	50,00	1,07	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	21,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Darandeli	27,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	16,00	1,00	Darandeli	
MAT4	Menq	53,00	17,00	6,90	0,42	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	a GYE-CLAY @	75,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
SEMIESPACIO			21,00							800

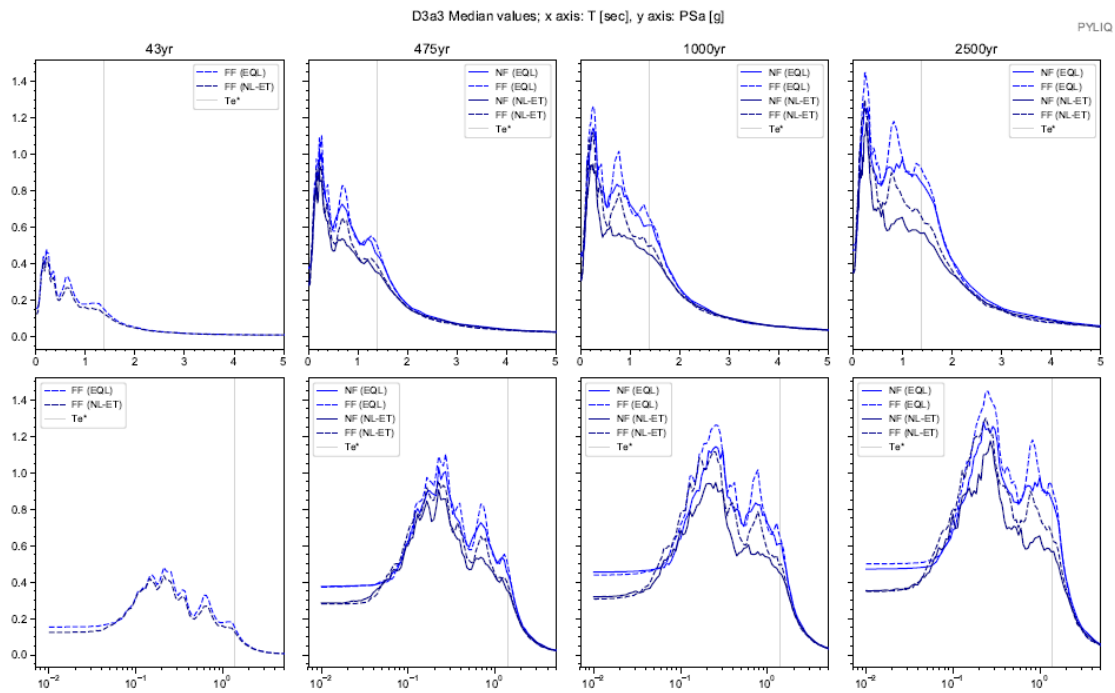
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,0	200,0
18,0	95,0
20,0	121,0
21,5	159,0
25,0	174,0
27,5	209,0
41,0	330,0
49,0	345,0
60,0	375,0
75,0	500,0

Apéndice 140. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D3A2

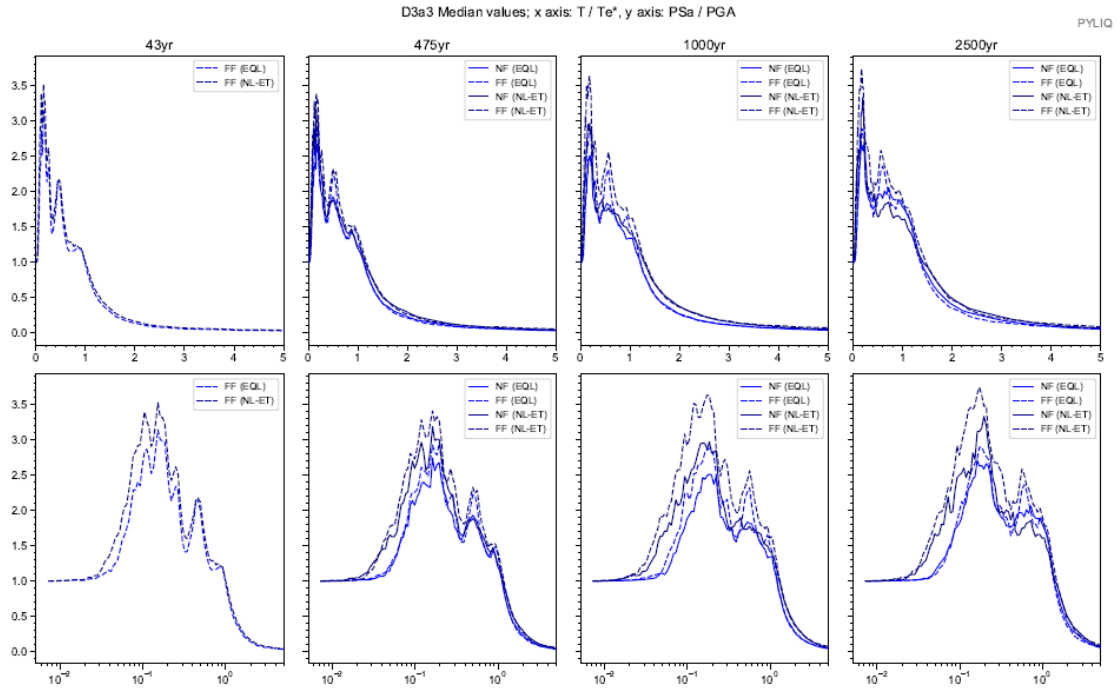
# Sitio D3A3



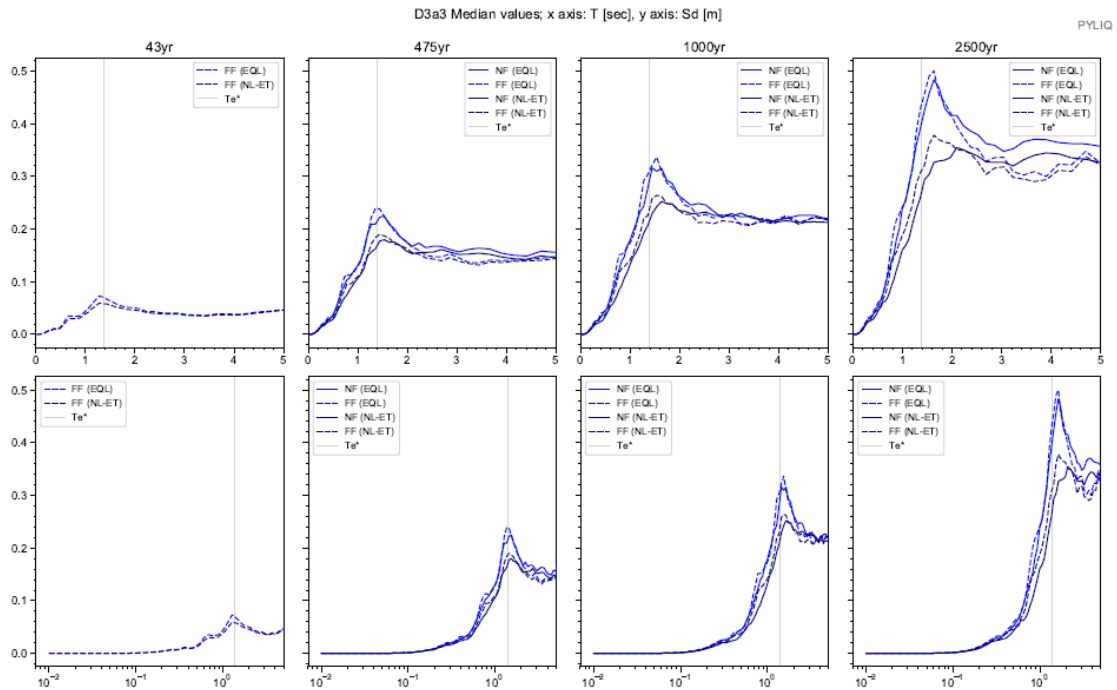
Apéndice 141. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D3A3



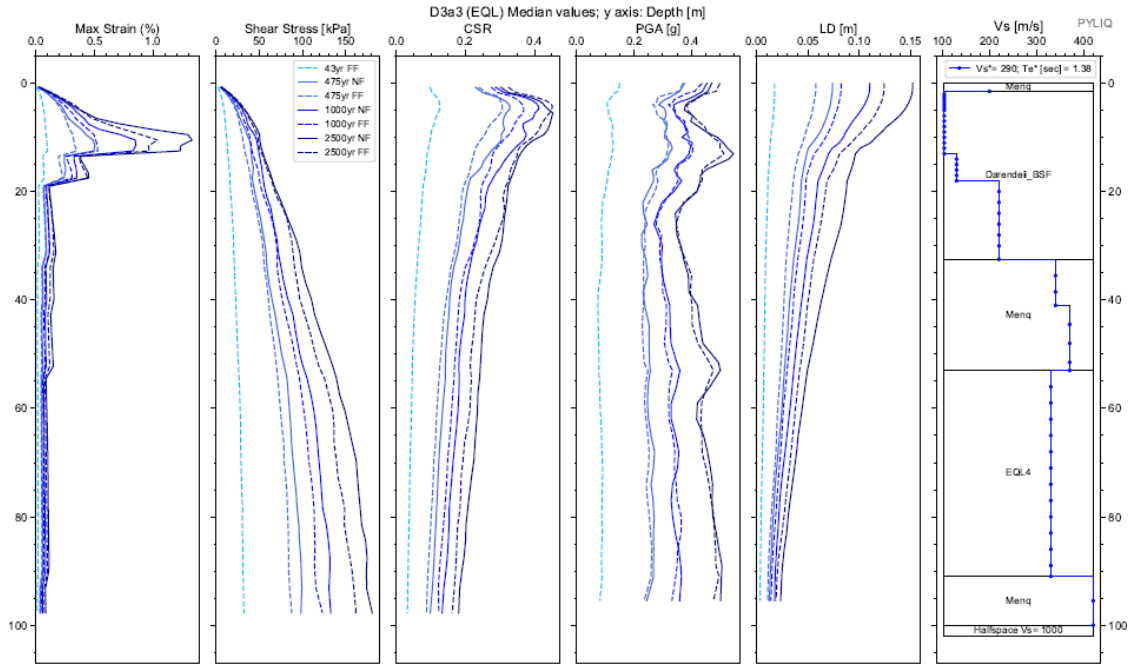
Apéndice 142. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D3A3



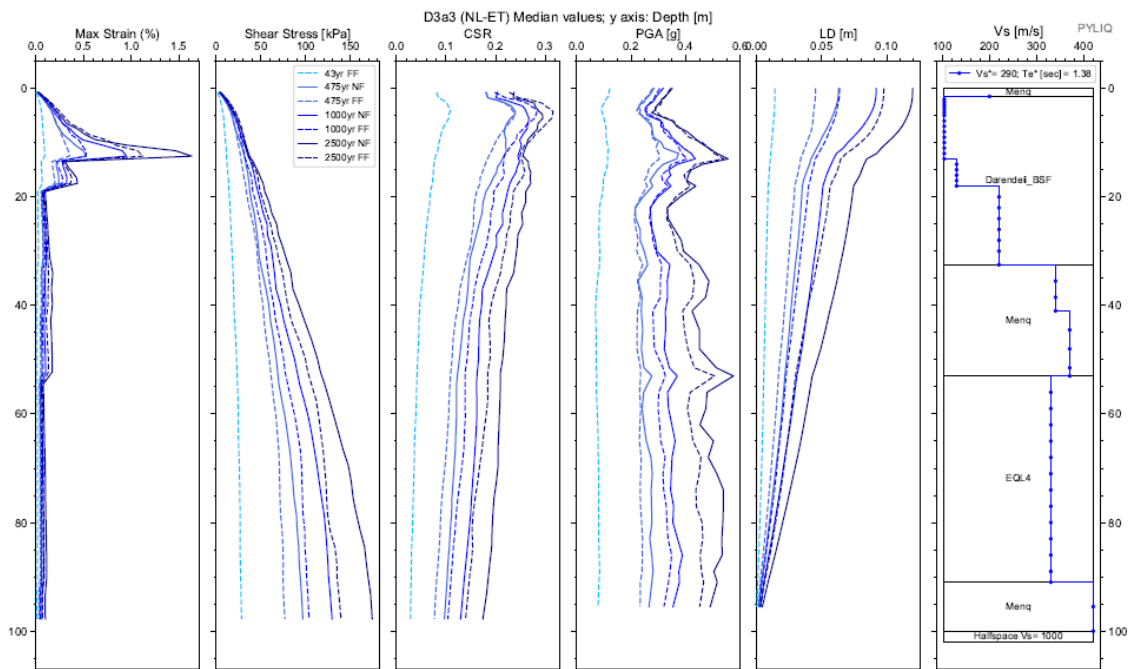
Apéndice 143. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D3A3.



Apéndice 144. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D3A3.



Apéndice 145. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D3A3



Apéndice 146. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D3A3

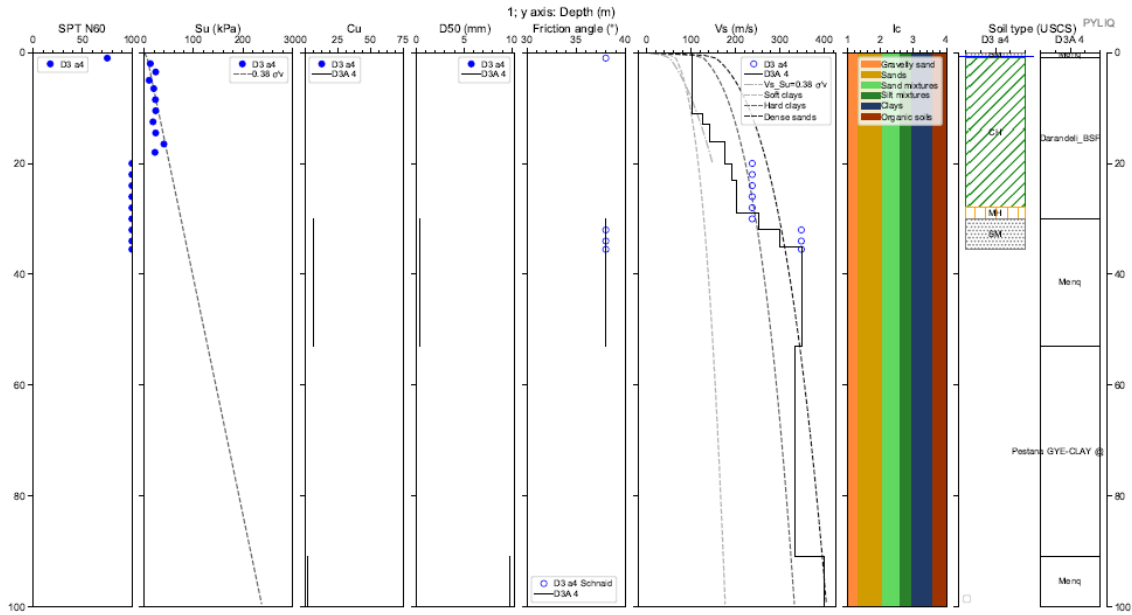


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,50	18,00	50,00	1,07	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	32,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	53,00	17,00	6,90	0,42	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	a GYE-CLAY @	91,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT5	Menq	100,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

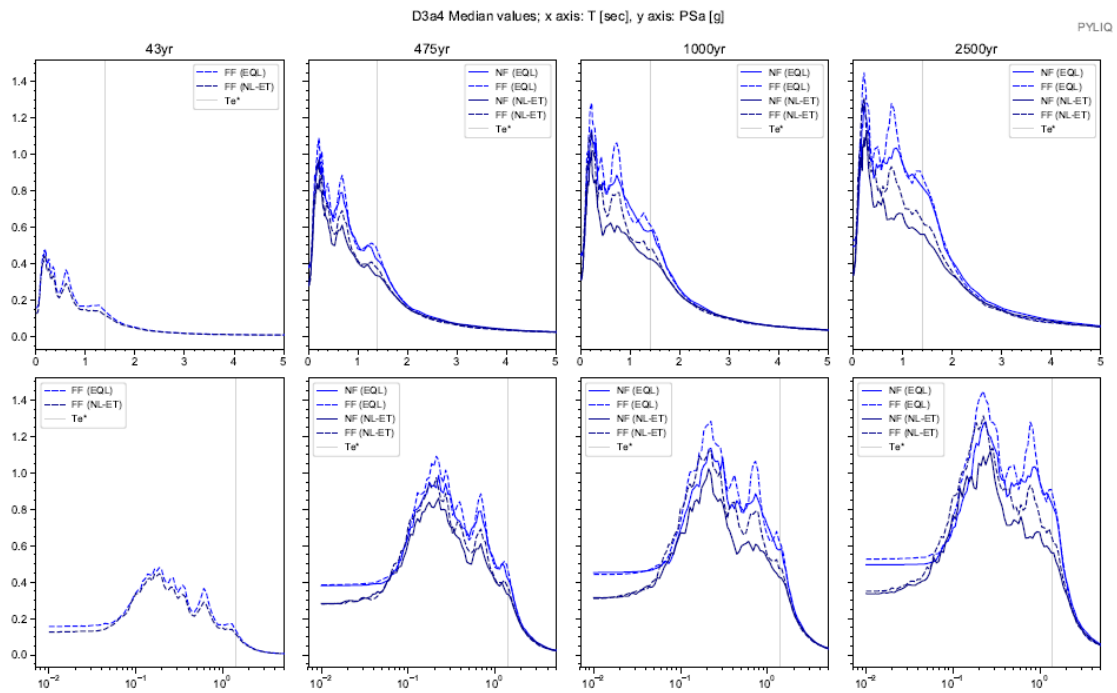
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
1,5	200,0
13,0	104,0
18,0	130,0
32,5	220,0
41,0	340,0
53,0	370,0
91,0	330,0
100,0	420,0

Apéndice 147. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D3A3

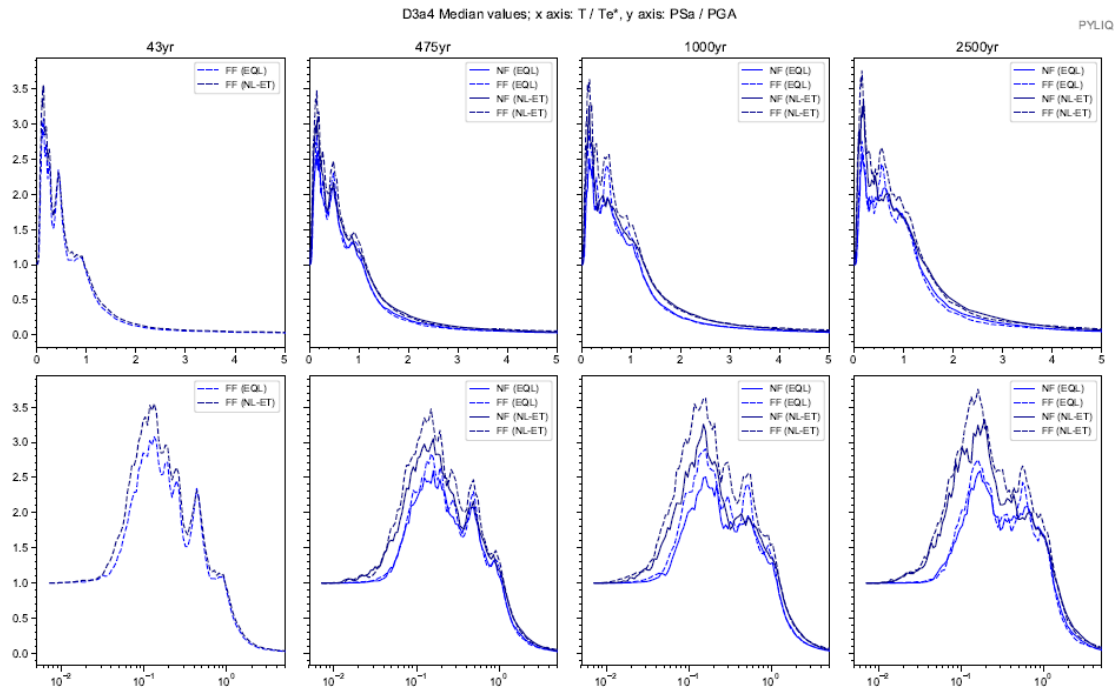
# Sitio D3A4



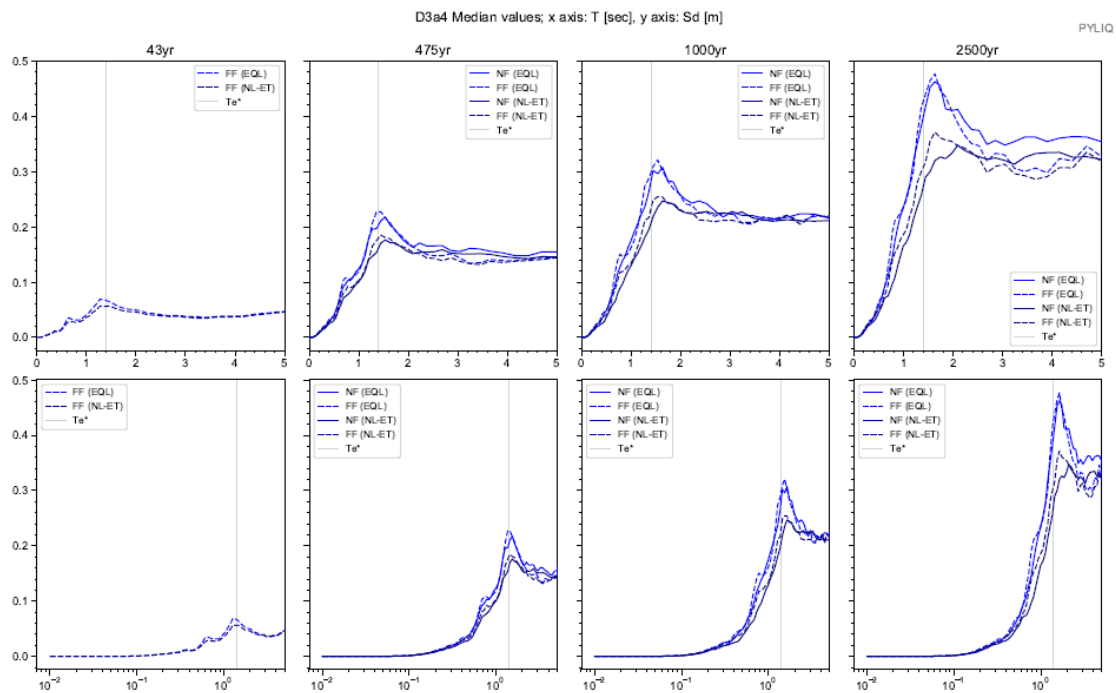
Apéndice 148. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D3A4



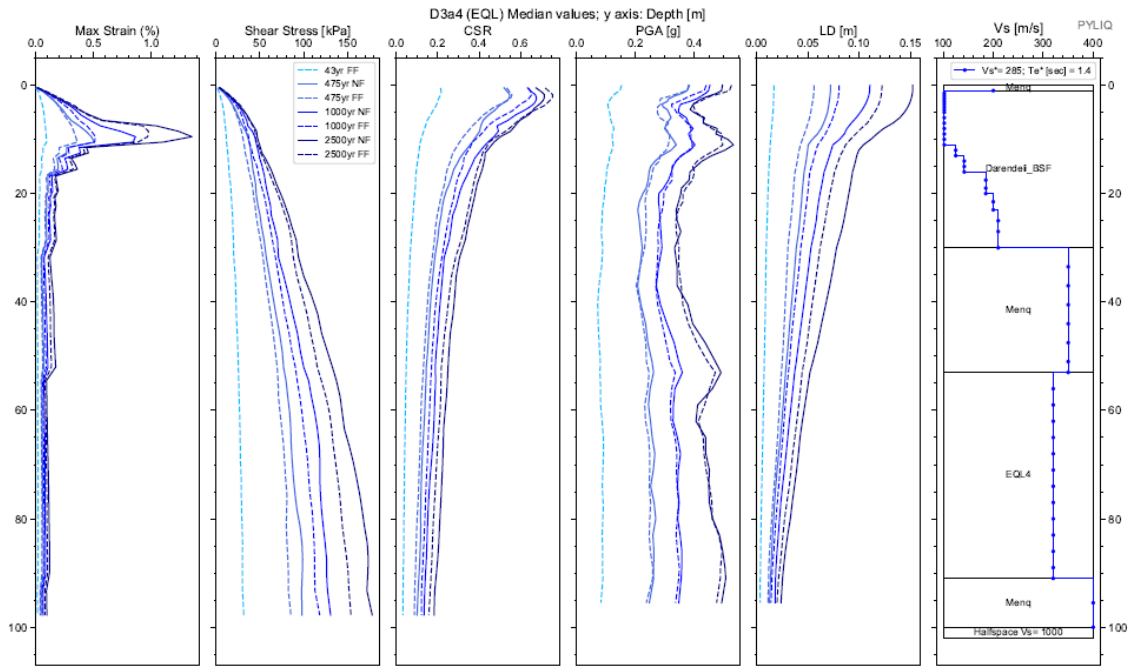
Apéndice 149. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D3A4



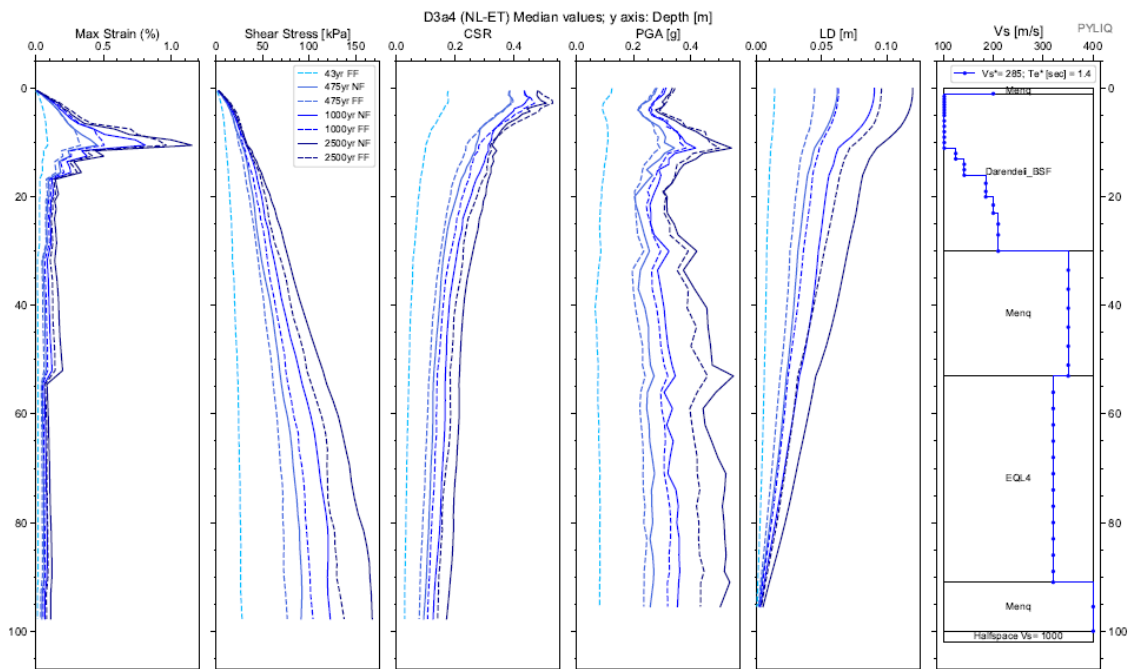
Apéndice 150. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D3A4.



Apéndice 151. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D3A4.



Apéndice 152. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D3A4



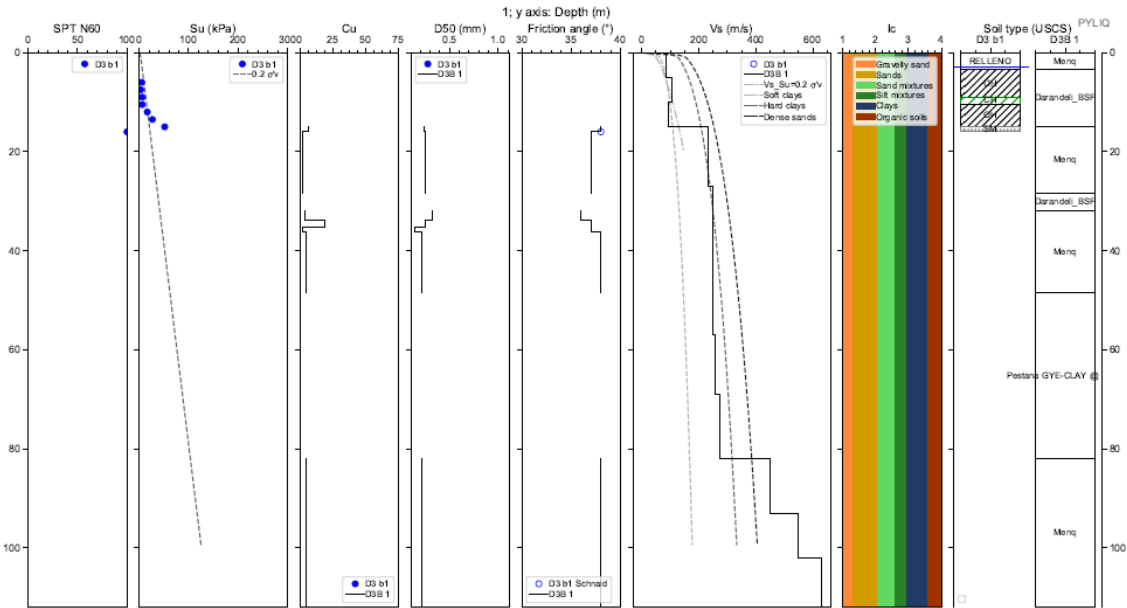
Apéndice 153. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D3A4

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,00	18,00	50,00	0,47	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	30,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	53,00	17,00	6,90	0,42	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	a GYE-CLAY @	91,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT5	Menq	100,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

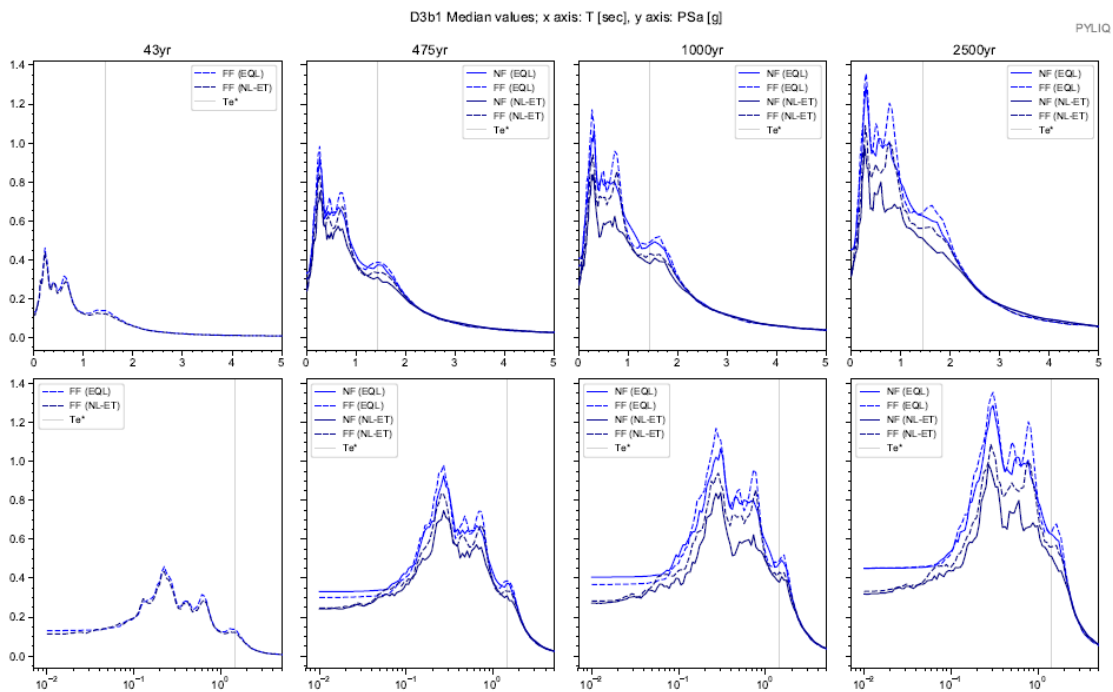
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
1,0	200,0
11,0	102,0
13,0	125,0
16,0	142,0
20,0	185,0
23,0	200,0
30,0	210,0
53,0	350,0
91,0	320,0
100,0	400,0

Apéndice 154. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D3A4

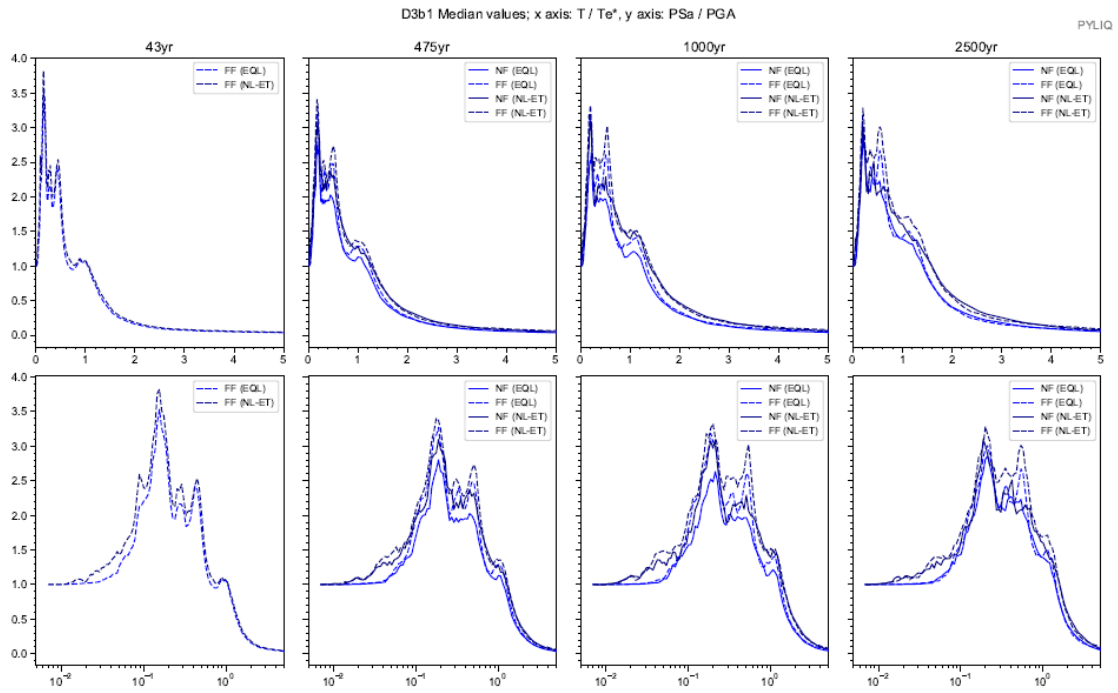
### Sitio D3B1



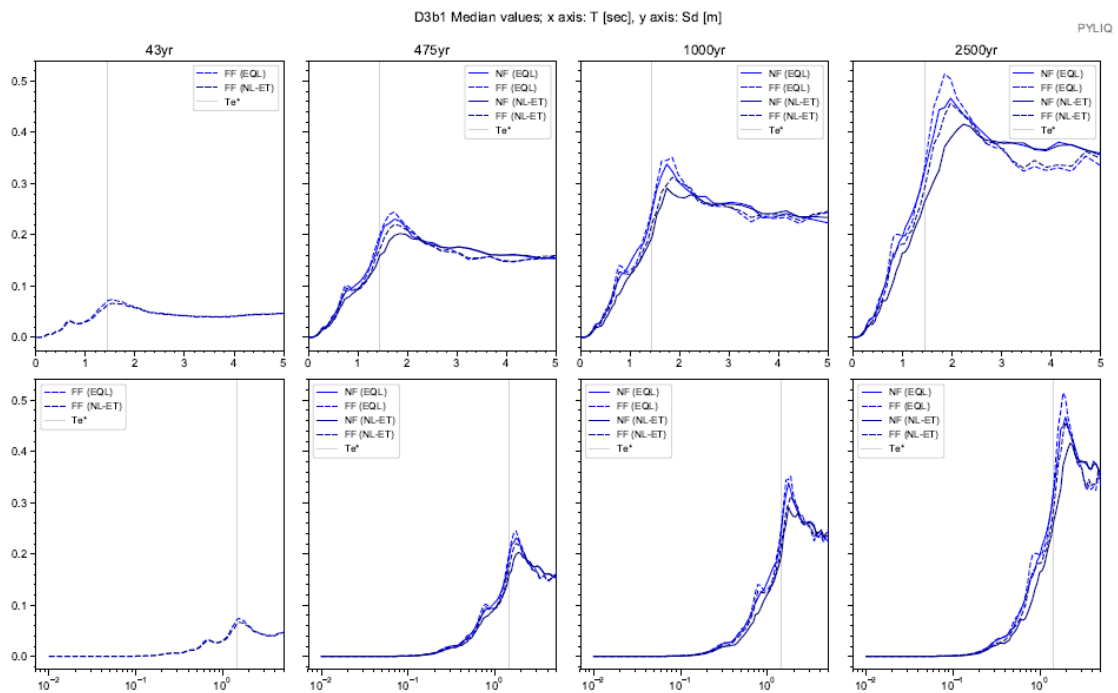
Apéndice 155. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D3B1



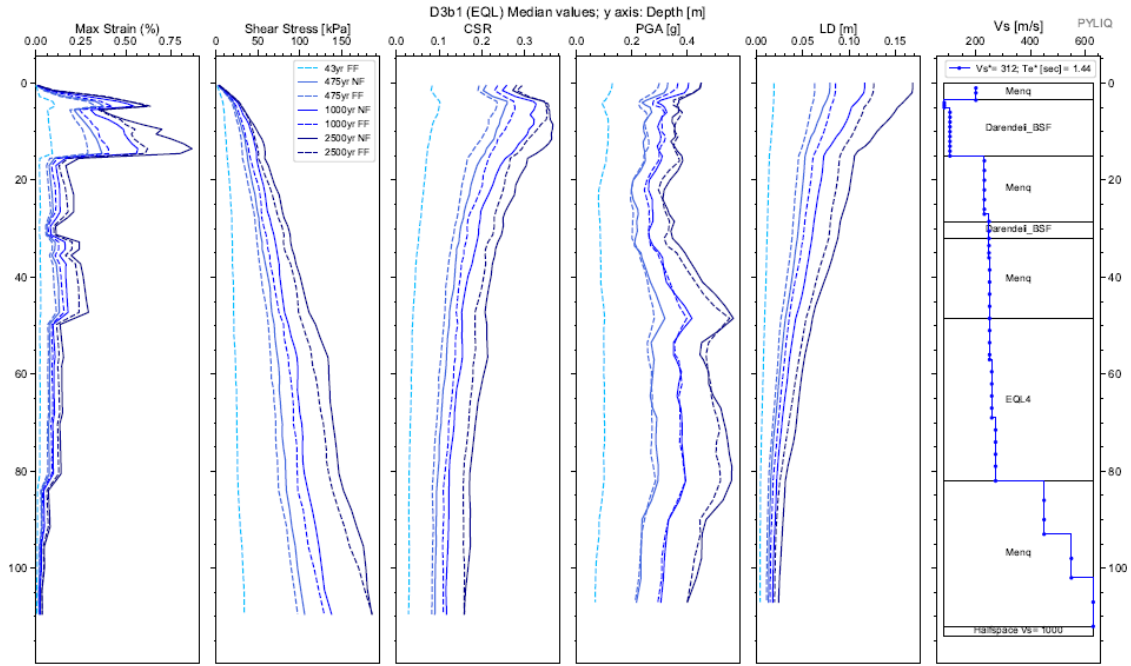
Apéndice 156. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D3B1



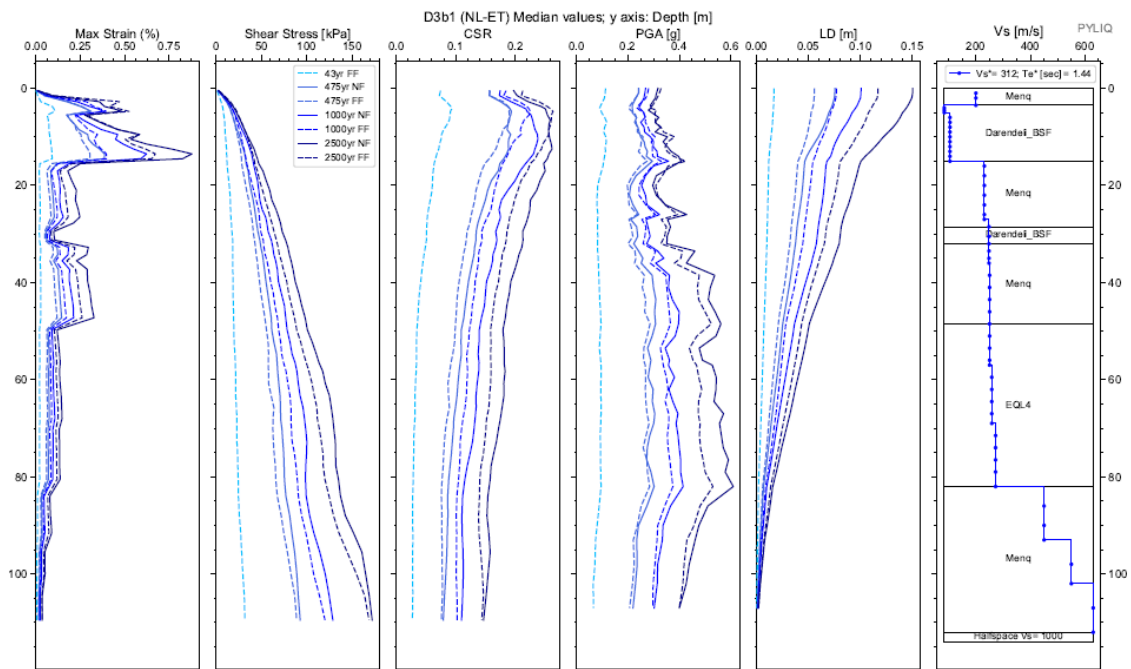
Apéndice 157. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D3B1.



Apéndice 158. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D3B1.



Apéndice 159. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D3B1



Apéndice 160. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D3B1

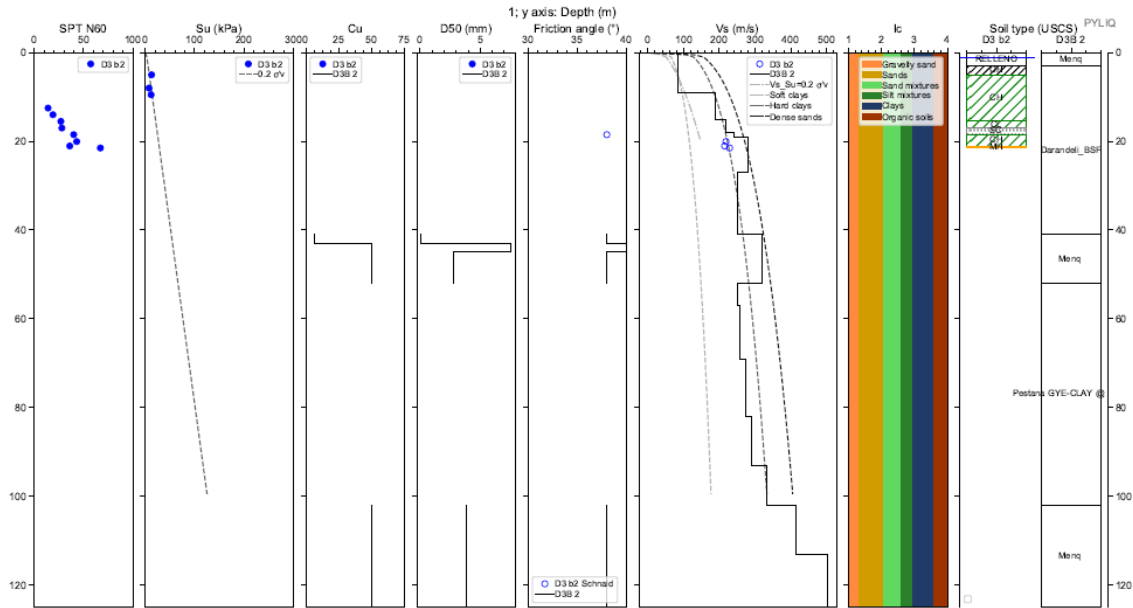


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	3,50	18,00	50,00	1,07	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	15,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	16,00	17,00	6,82	0,24	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	28,50	17,00	2,30	0,25	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Darandeli_BSF	32,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT6	Menq	35,00	17,00	4,42	0,32	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	36,00	17,00	2,28	0,15	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Menq	48,50	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT9	a GYE-CLAY @	82,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT10	Menq	112,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

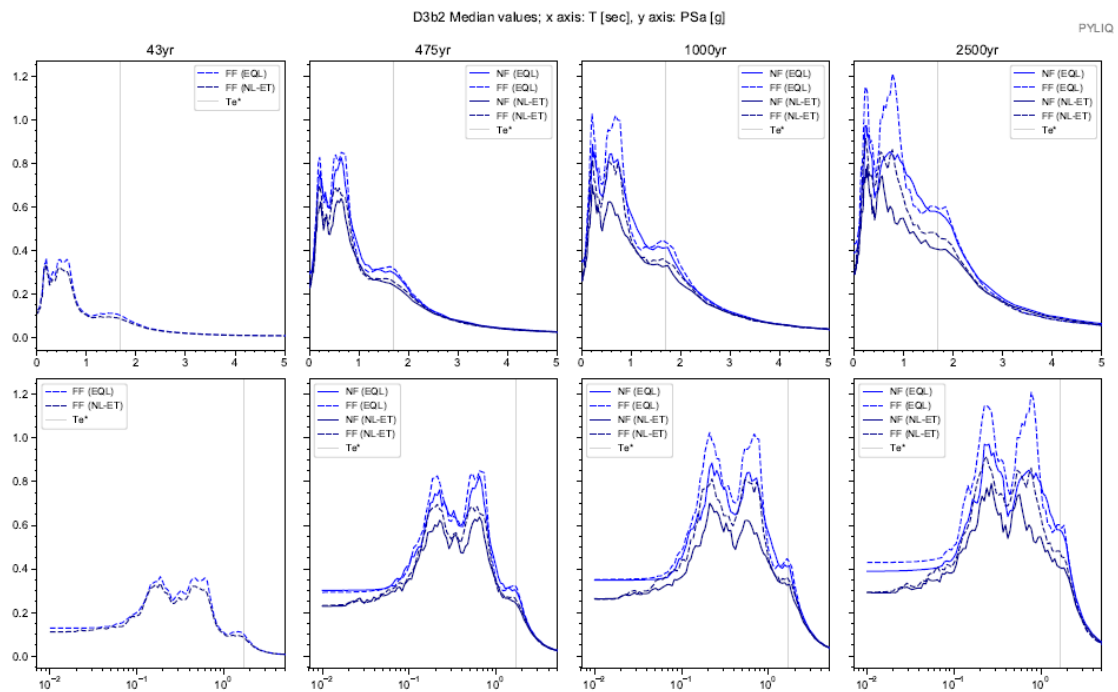
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
3,5	200,0
5,0	84,0
15,0	105,0
27,0	231,0
36,0	248,0
57,0	250,0
69,0	258,0
82,0	272,0
93,0	450,0
102,0	550,0
112,0	630,0

Apéndice 161. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D3B1

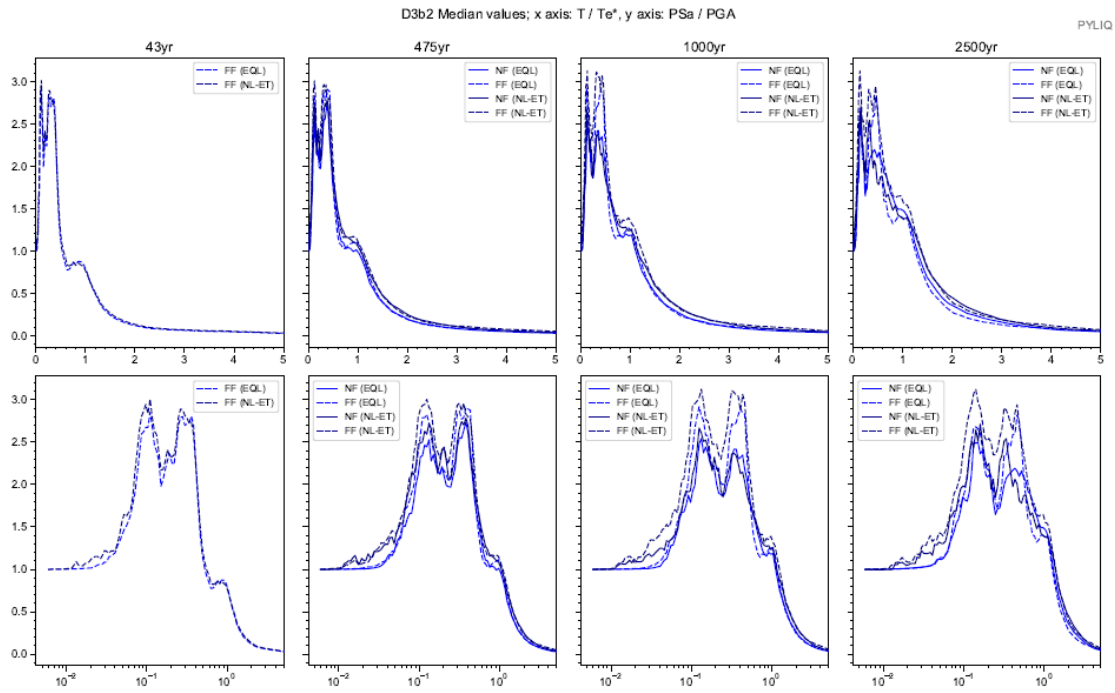
# Sitio D3B2



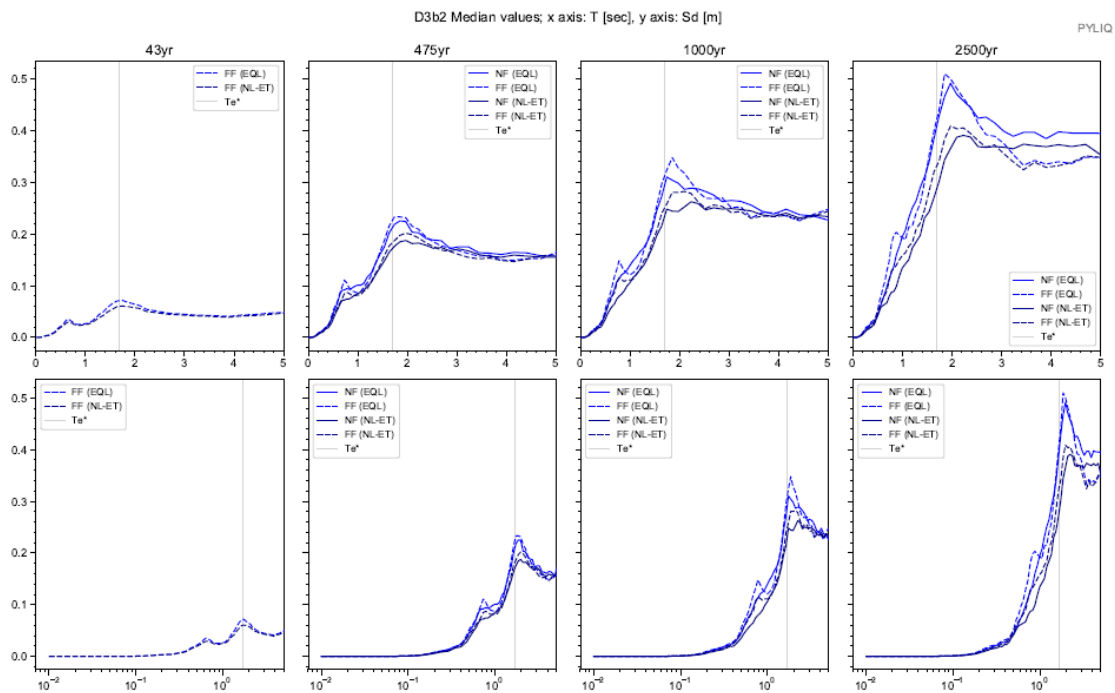
Apéndice 162. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D3B2



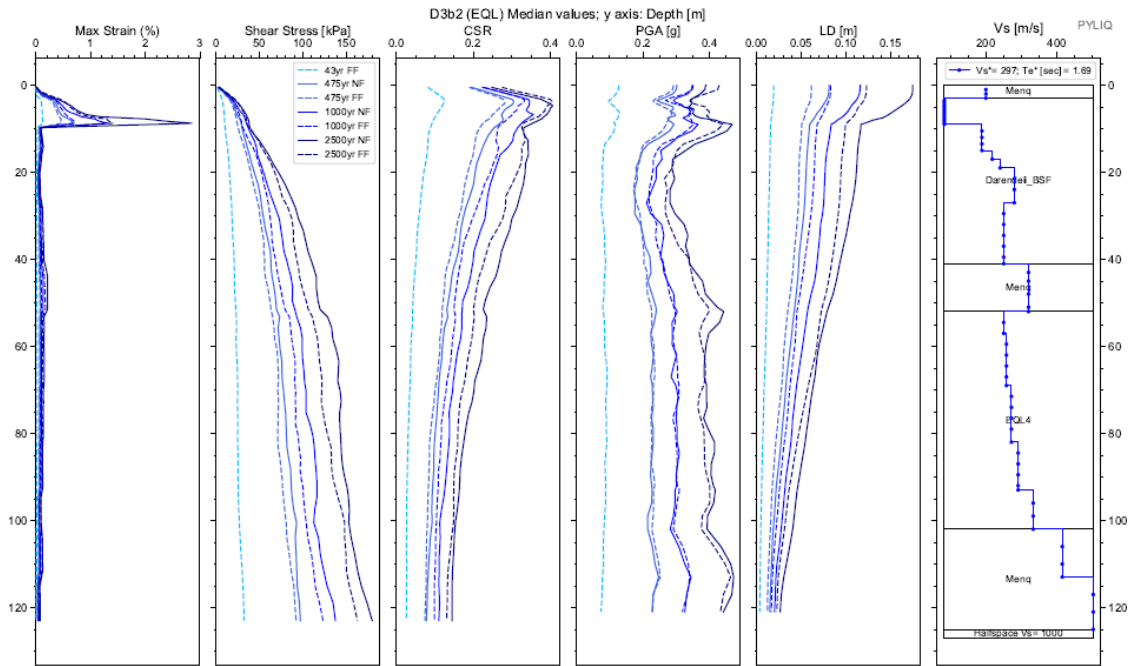
Apéndice 163. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D3B2



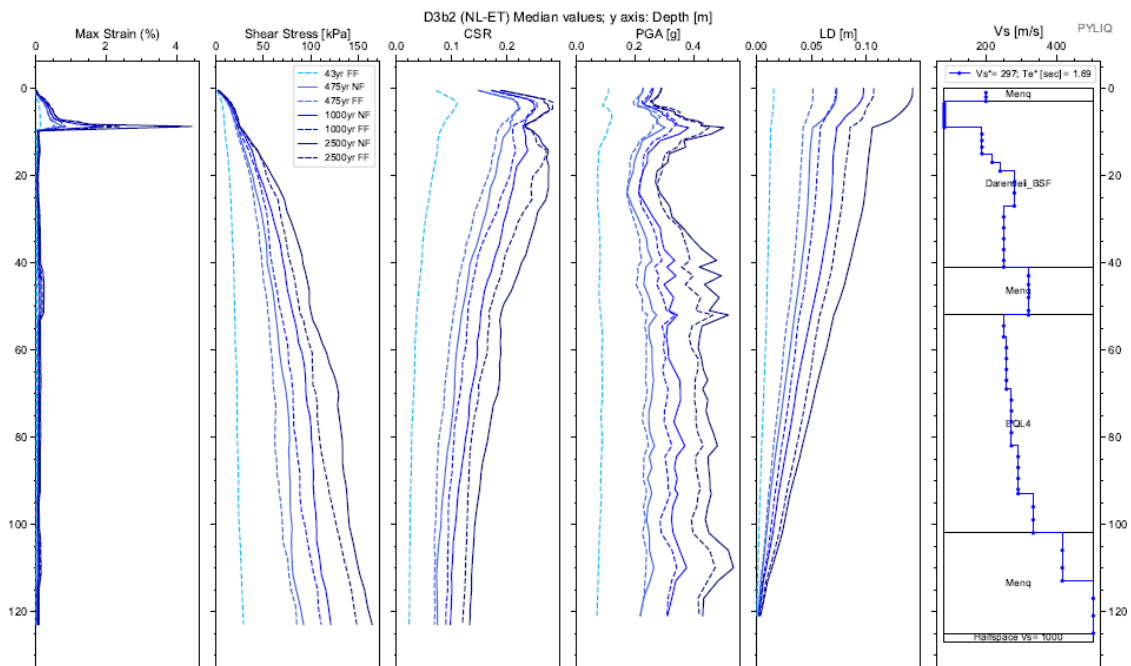
Apéndice 164. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D3B2.



Apéndice 165. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D3B2.



Apéndice 166. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D3B2



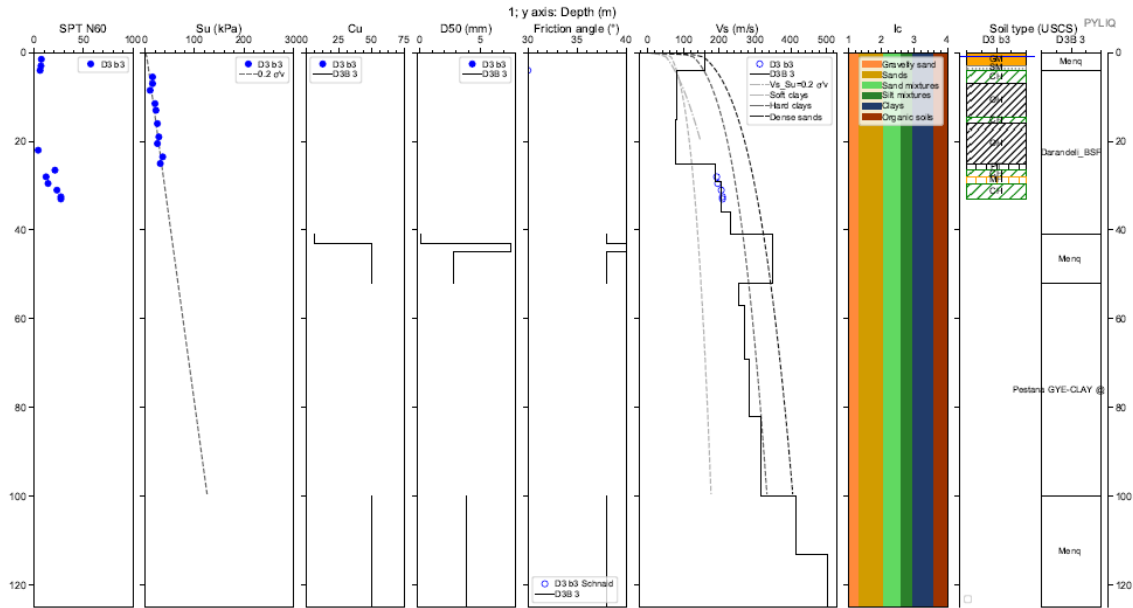
Apéndice 167. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D3B2

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	3,00	18,00	50,00	1,07	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	41,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	43,00	17,00	6,59	0,09	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	45,00	17,00	10,00	7,56	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	52,00	17,00	10,00	2,73	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	a GYE-CLAY @	102,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT7	Menq	125,00	17,00	10,00	3,85	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

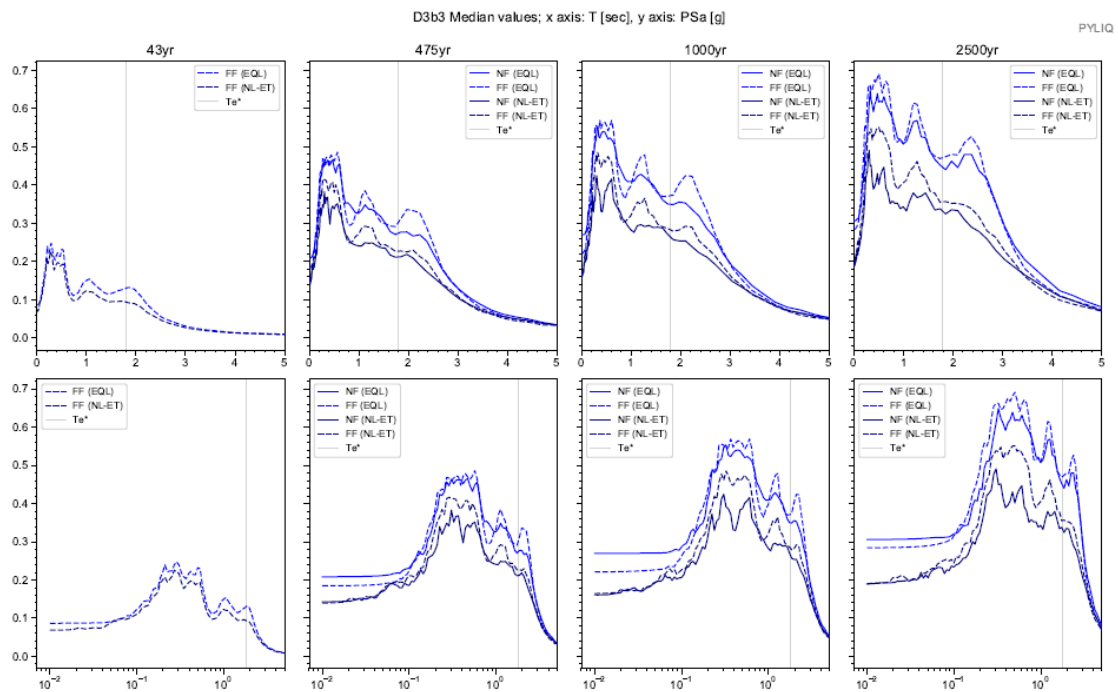
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
3,0	200,0
9,0	83,0
15,0	189,0
18,0	218,0
19,0	240,0
27,0	280,0
41,0	250,0
52,0	320,0
57,0	250,0
69,0	258,0
82,0	272,0
93,0	291,0
102,0	333,0
113,0	415,0
125,0	502,0

Apéndice 168. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D3B2

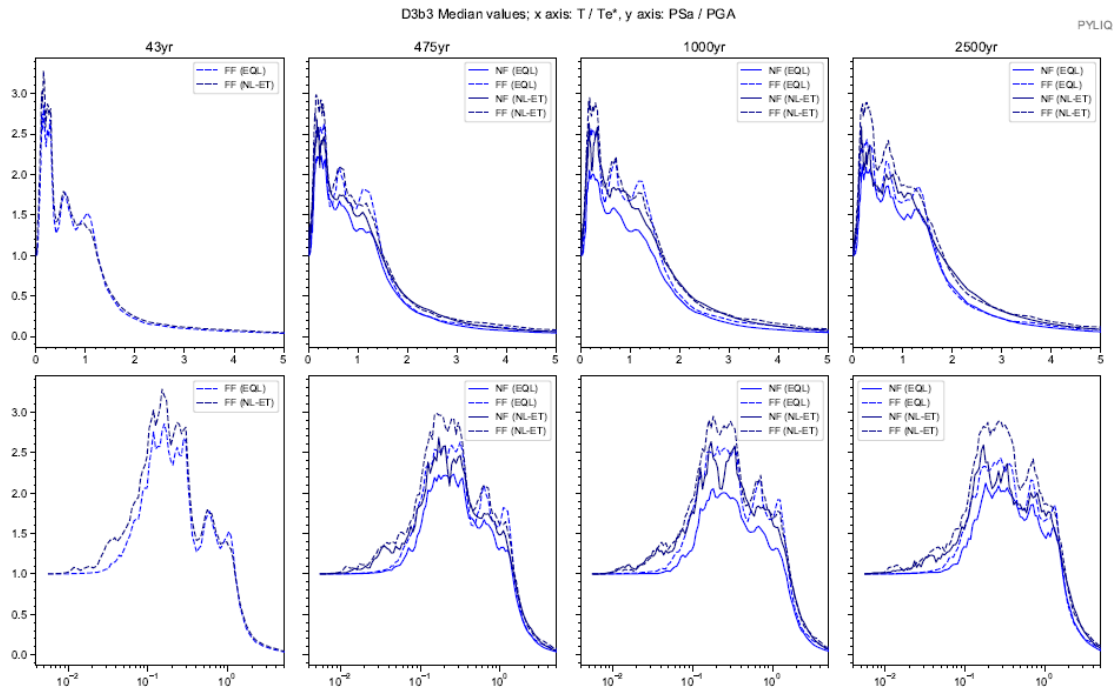
### Sitio D3B3



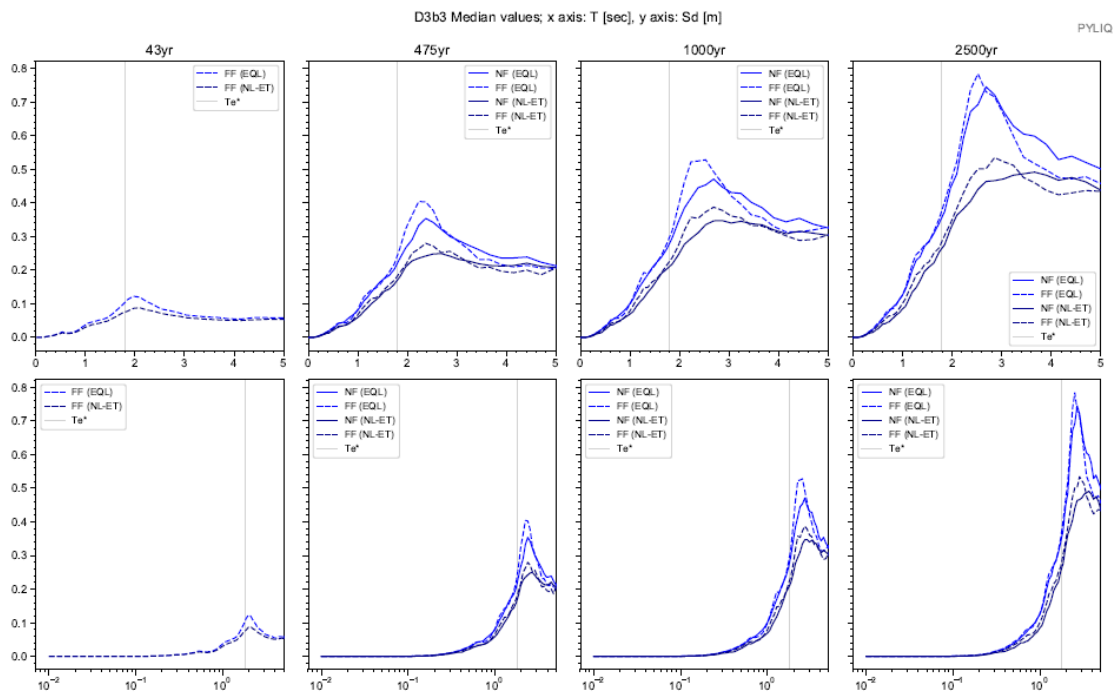
Apéndice 169. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D3B3



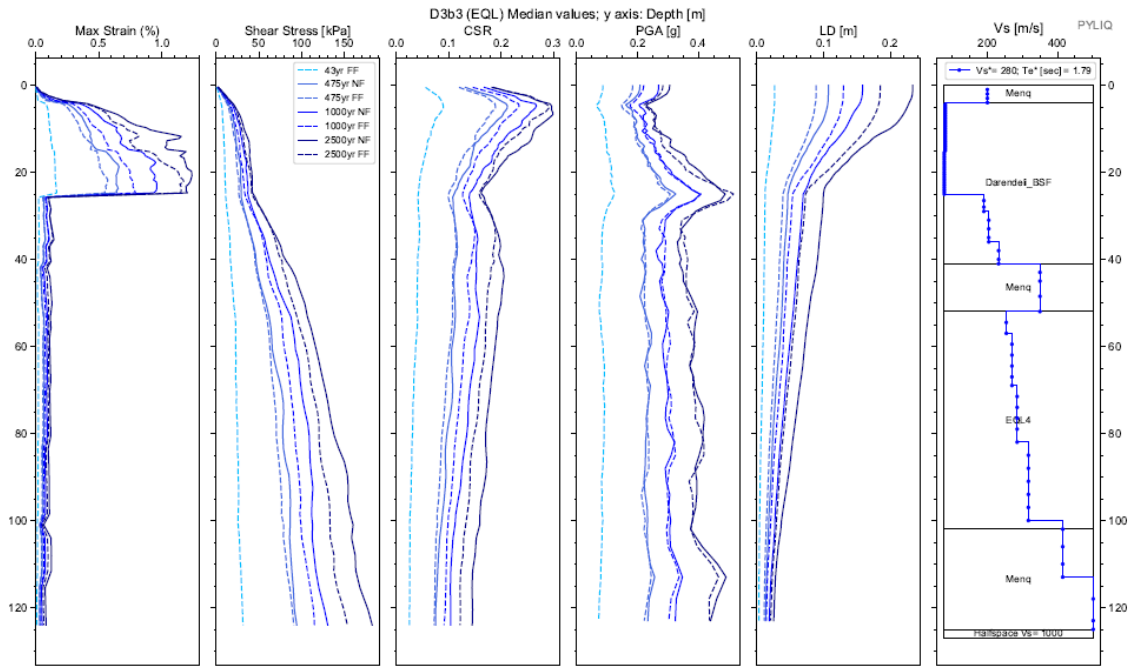
Apéndice 170. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D3B3



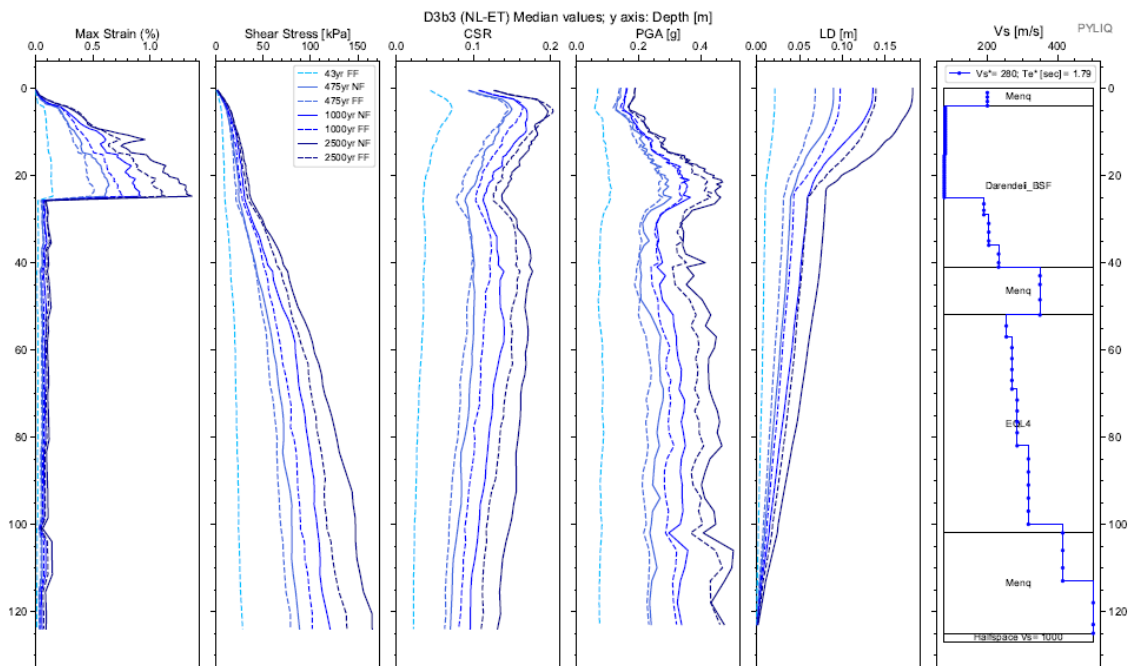
Apéndice 171. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D3B3.



Apéndice 172. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D3B3.



Apéndice 173. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D3B3



Apéndice 174. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D3B3

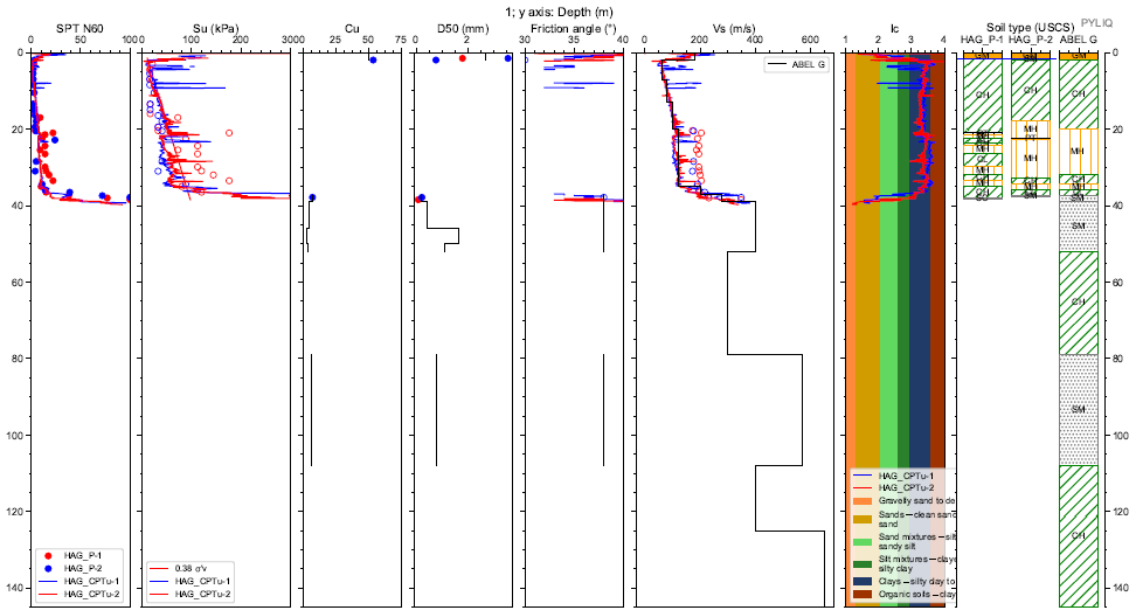


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	4,00	18,00	50,00	1,07	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	41,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	43,00	17,00	6,59	0,09	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	45,00	17,00	10,00	7,56	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	52,00	17,00	10,00	2,73	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	a GYE-CLAY @	102,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT7	Menq	125,00	17,00	10,00	3,85	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

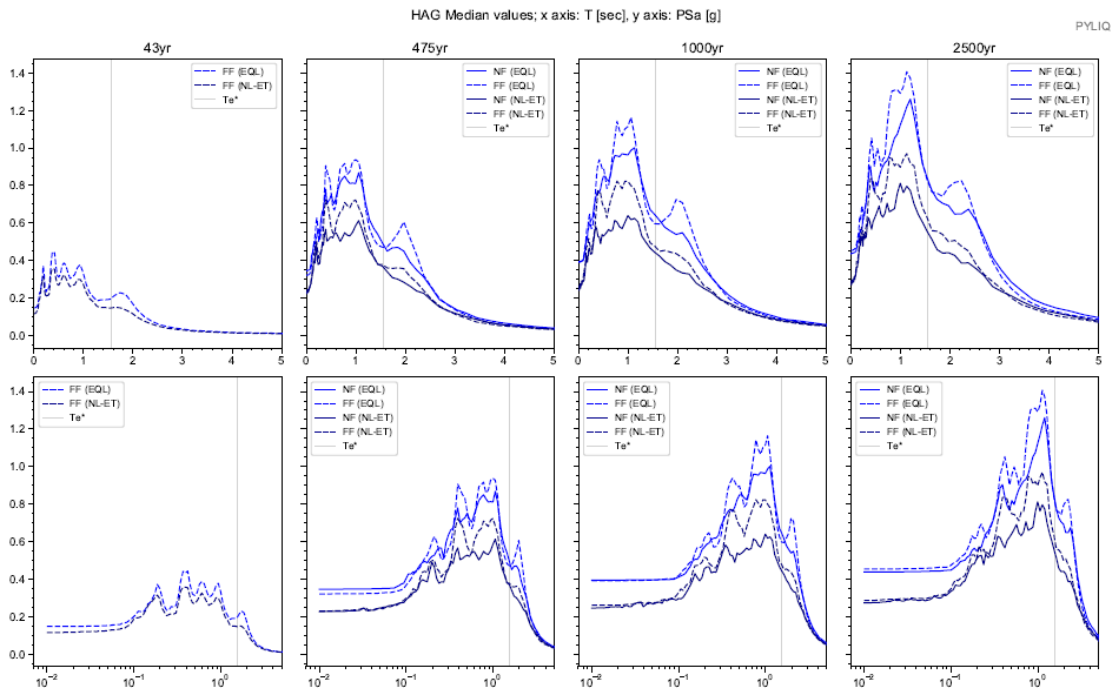
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
4,0	200,0
15,0	80,0
25,0	77,0
29,0	190,0
36,0	204,0
41,0	232,0
52,0	350,0
57,0	254,0
69,0	270,0
82,0	285,0
100,0	317,0
113,0	415,0
125,0	502,0

Apéndice 175. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D3B3

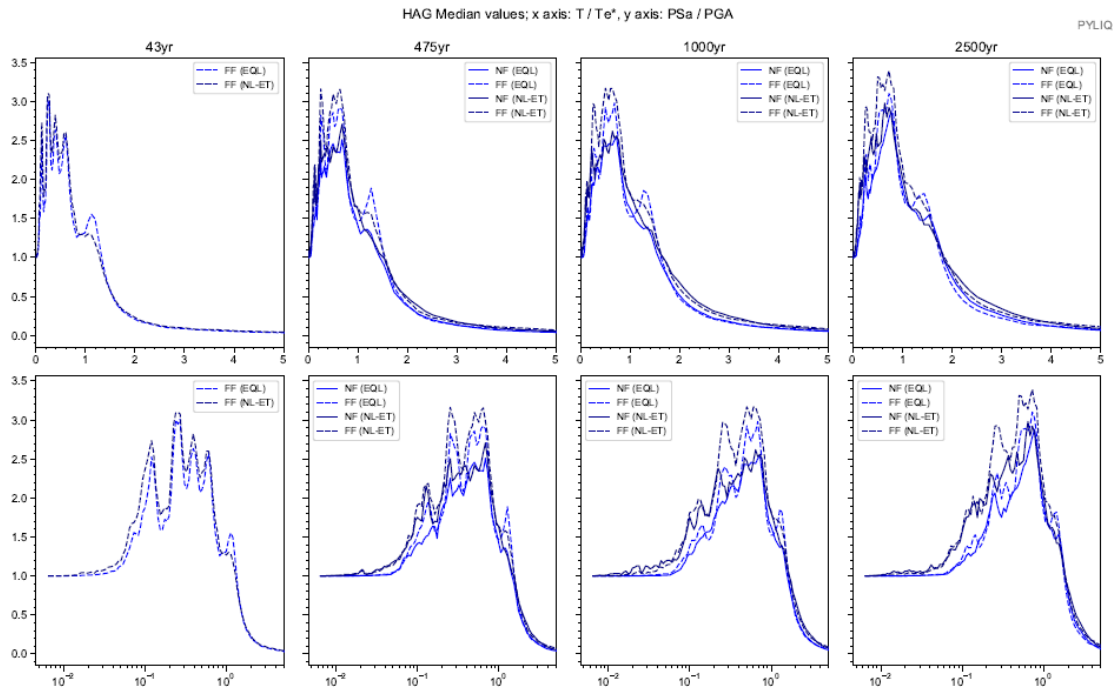
# Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT



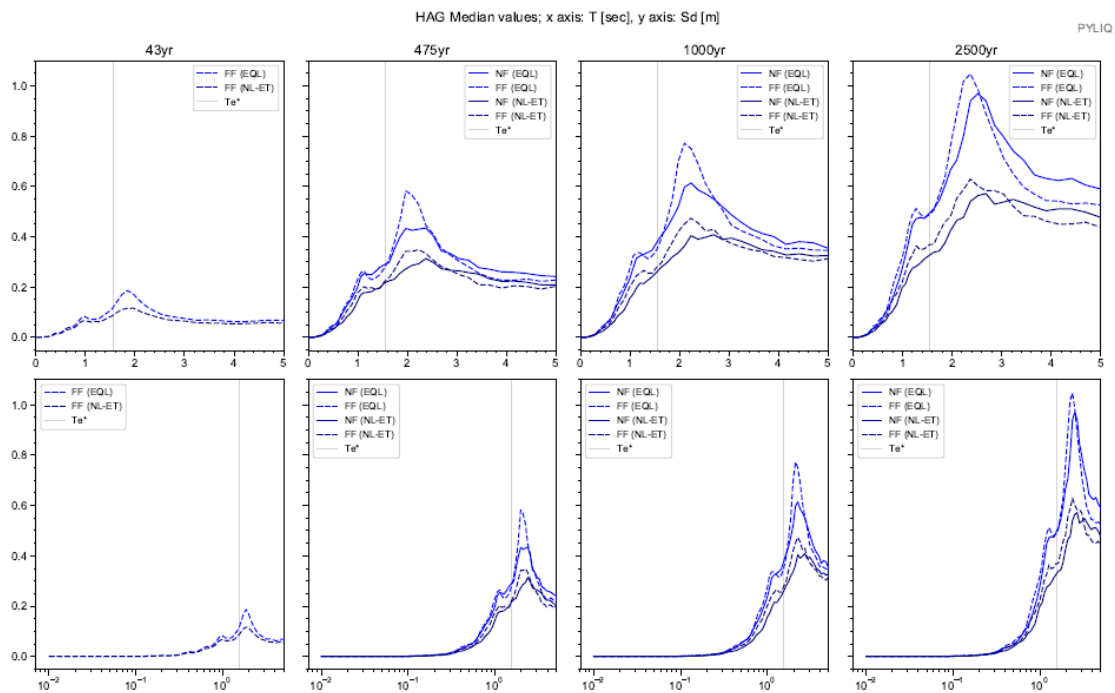
Apéndice 176. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT



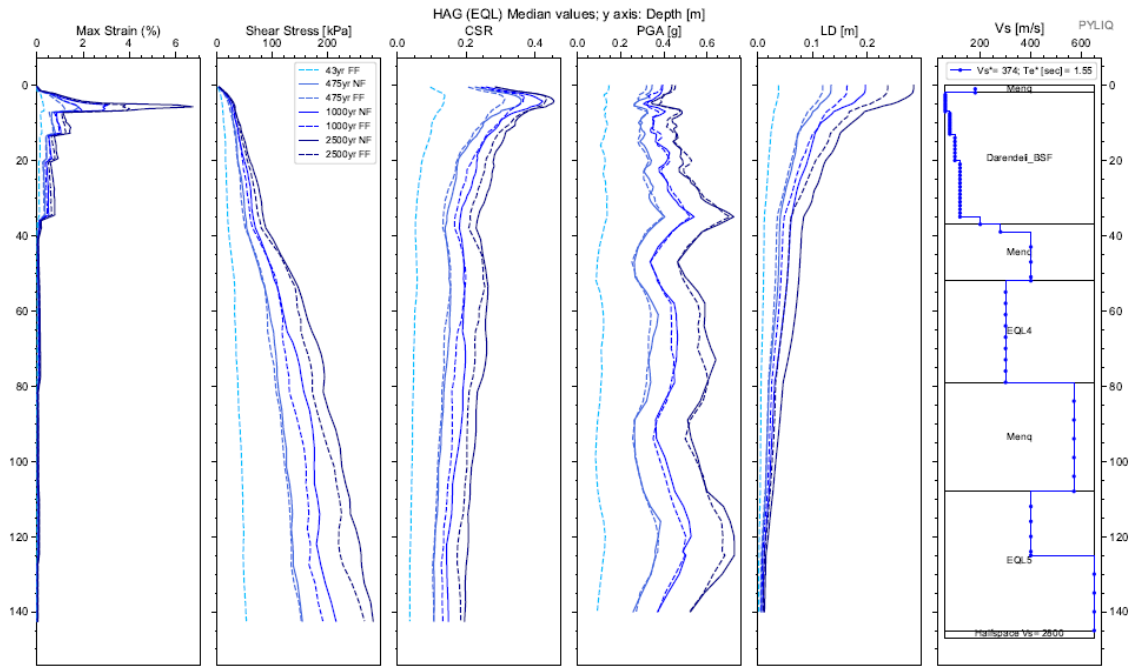
Apéndice 177. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT



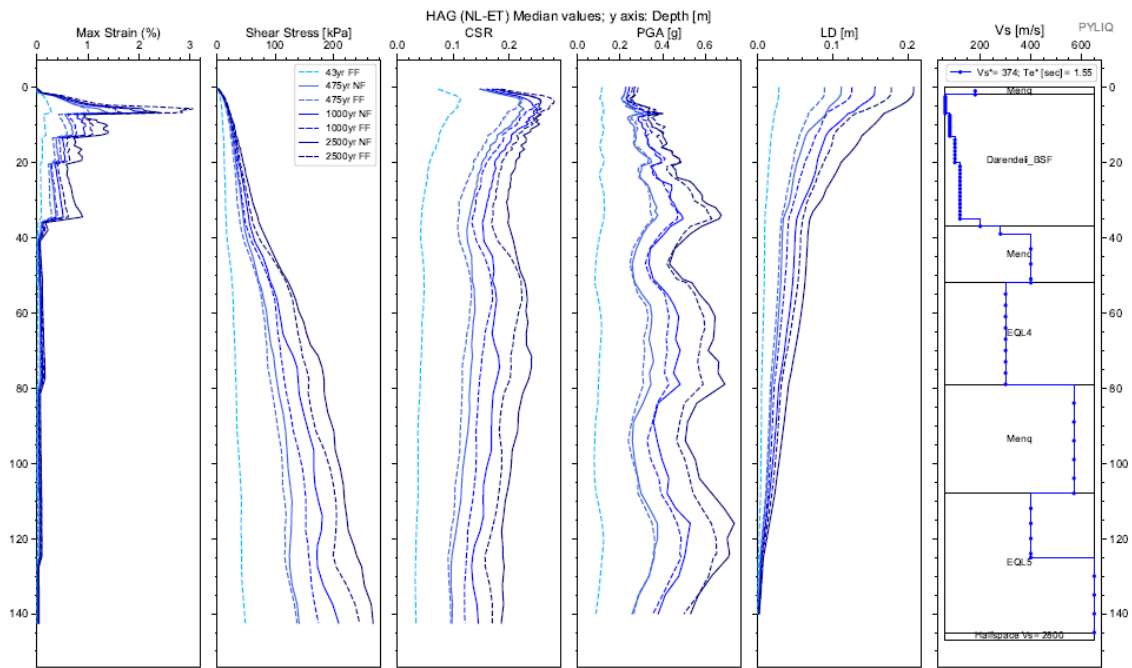
Apéndice 178. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT.



Apéndice 179. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT.



Apéndice 180. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT



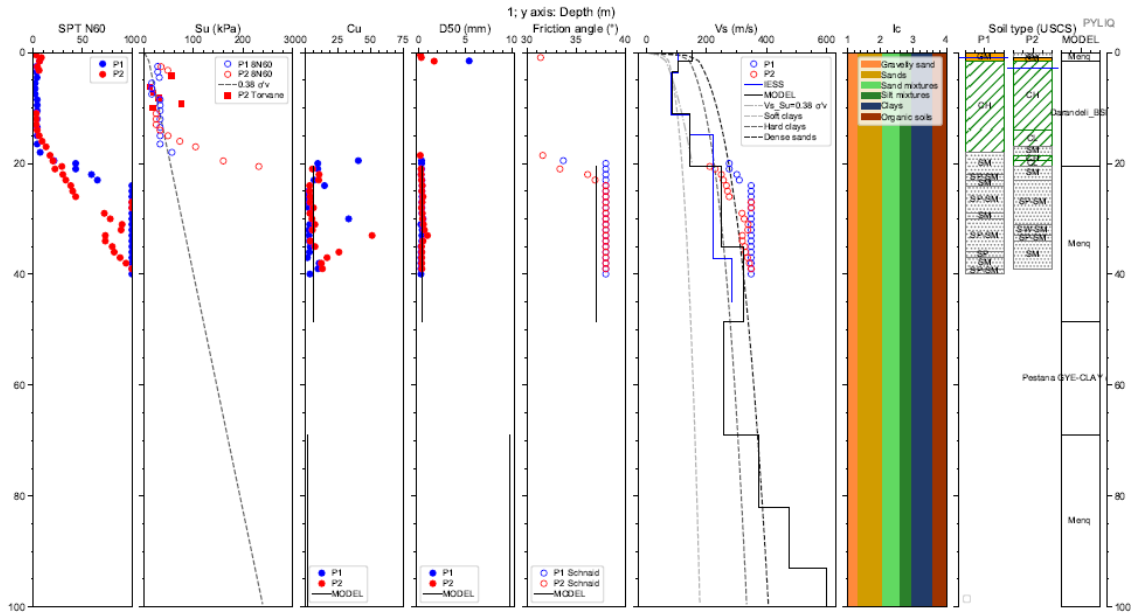
Apéndice 181. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	φ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	2,00	18,00	50,00	2,68	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	37,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	39,00	17,00	7,39	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	52,00	17,00	4,18	1,06	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	a GYE-CLAY @	79,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT6	Menq	108,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	a GYE-CLAY @	145,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00							2800

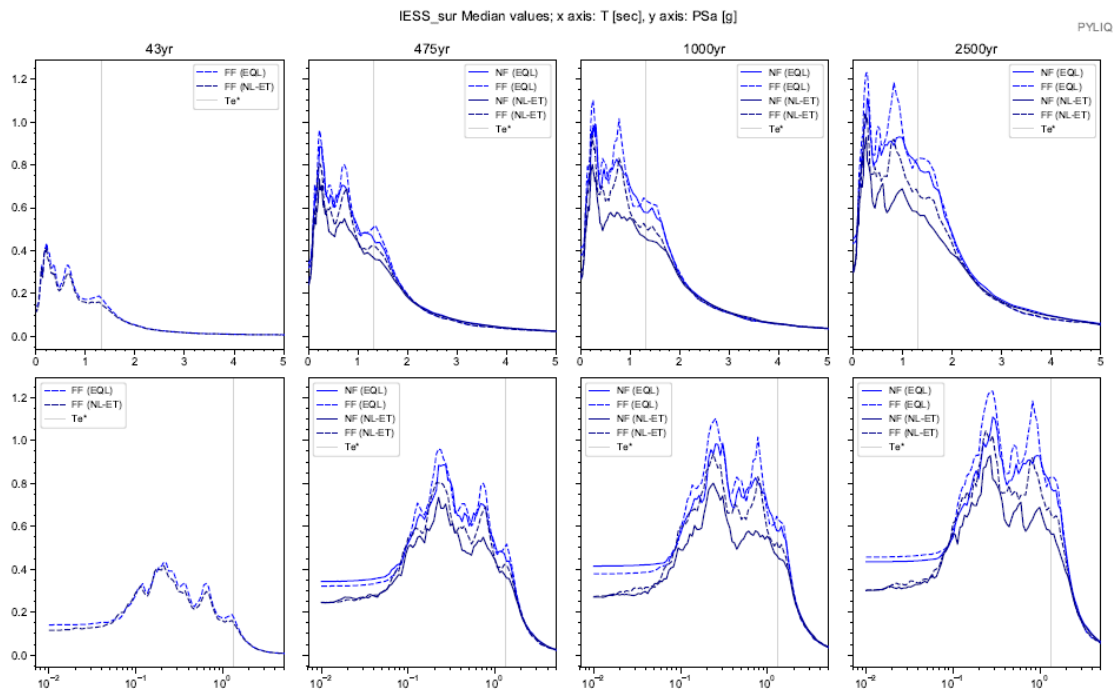
Depth (m.)	Vs (m/s)
2,0	180,0
7,0	62,0
13,0	80,0
20,0	100,0
35,0	120,0
37,0	200,0
39,0	280,0
52,0	400,0
79,0	300,0
108,0	570,0
125,0	400,0
145,0	650,0

Apéndice 182. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio HOSPITAL ABEL GILBERT

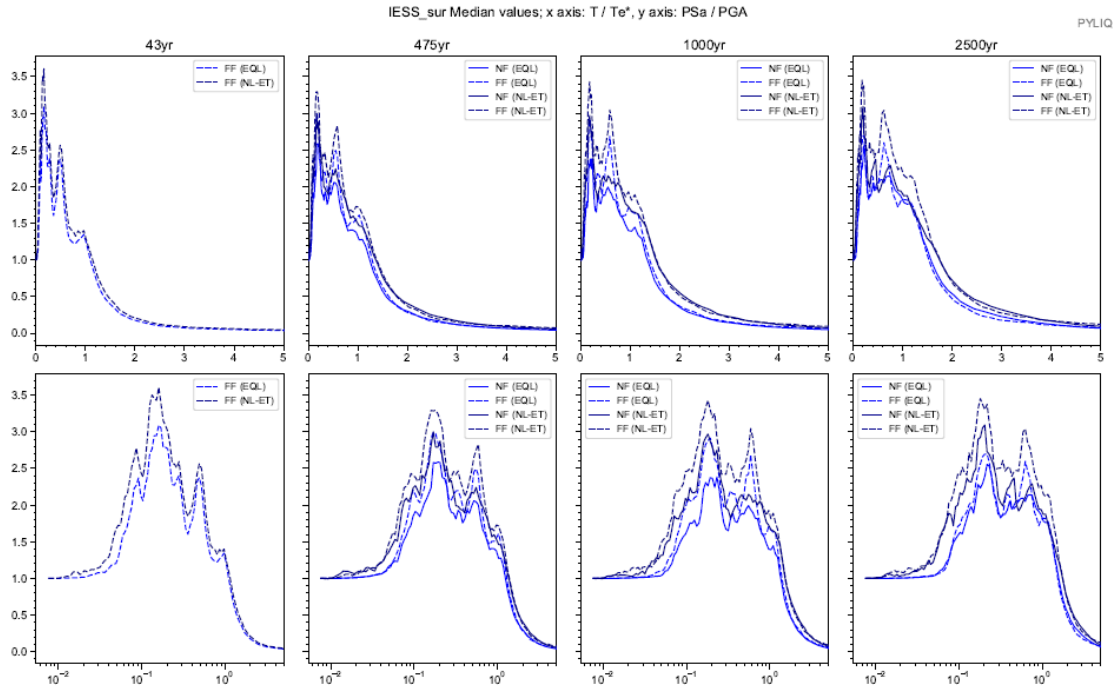
# Sitio IESS SUR



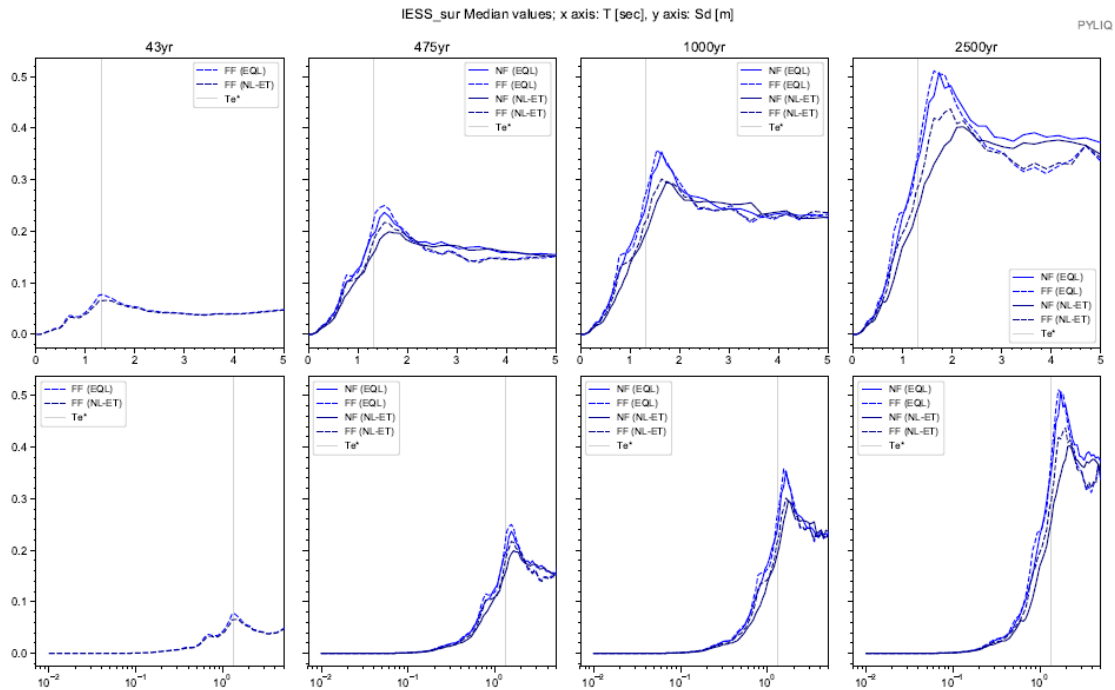
Apéndice 183. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio IESS SUR



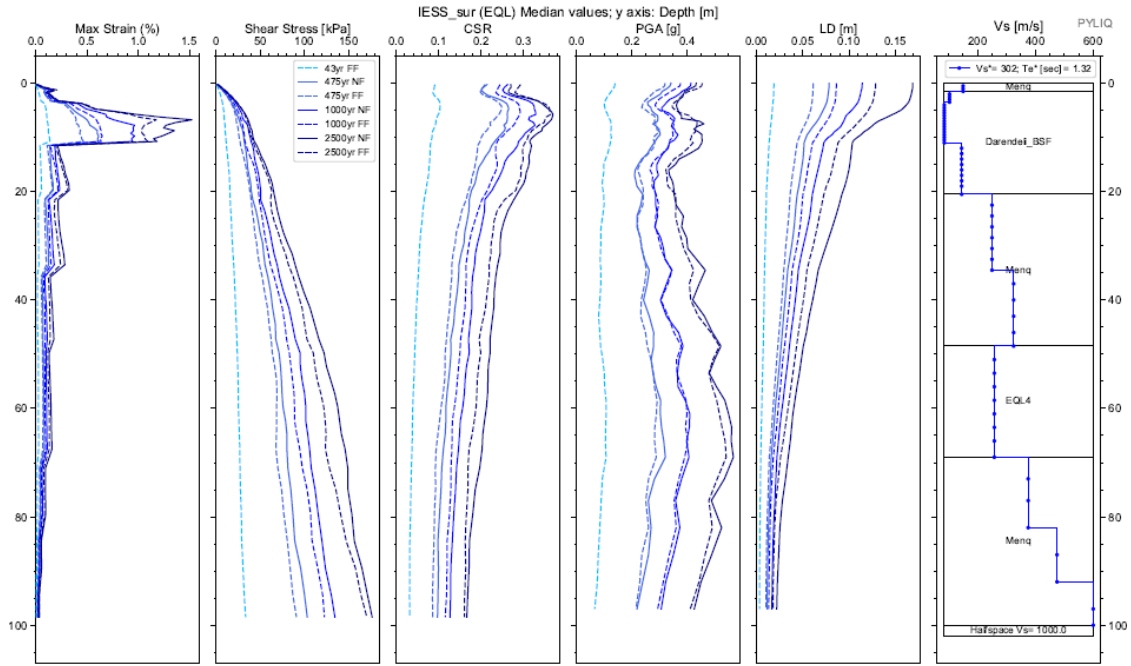
Apéndice 184. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio IESS SUR



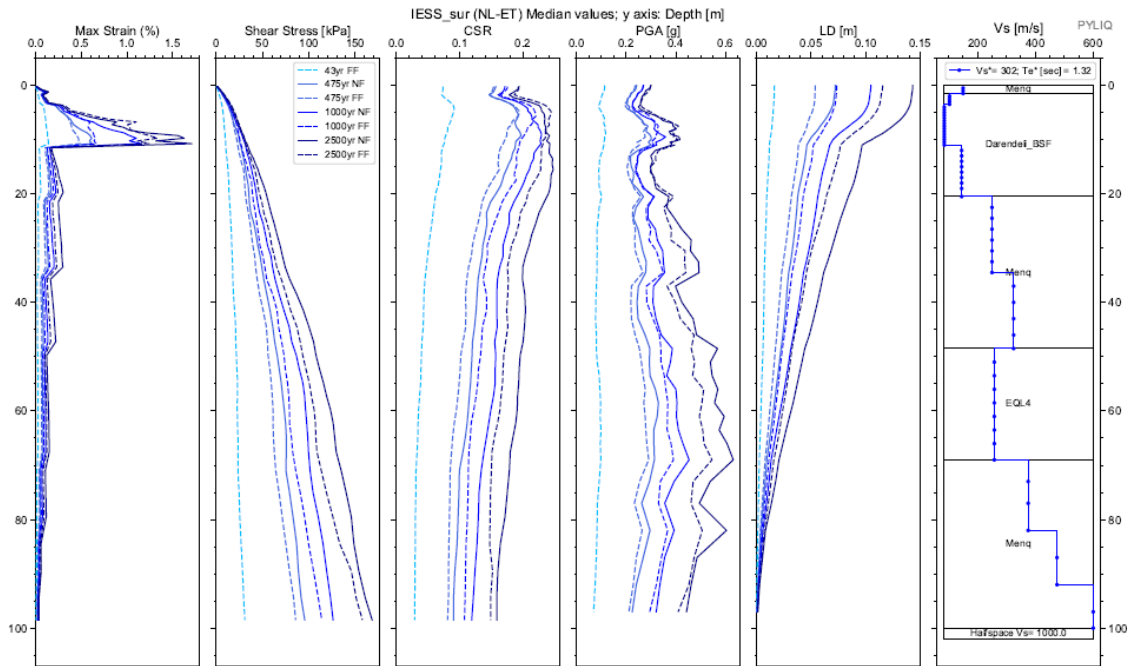
Apéndice 185. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio IESS SUR.



Apéndice 186. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio IESS SUR.



Apéndice 187. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio IESS SUR



Apéndice 188. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio IESS SUR

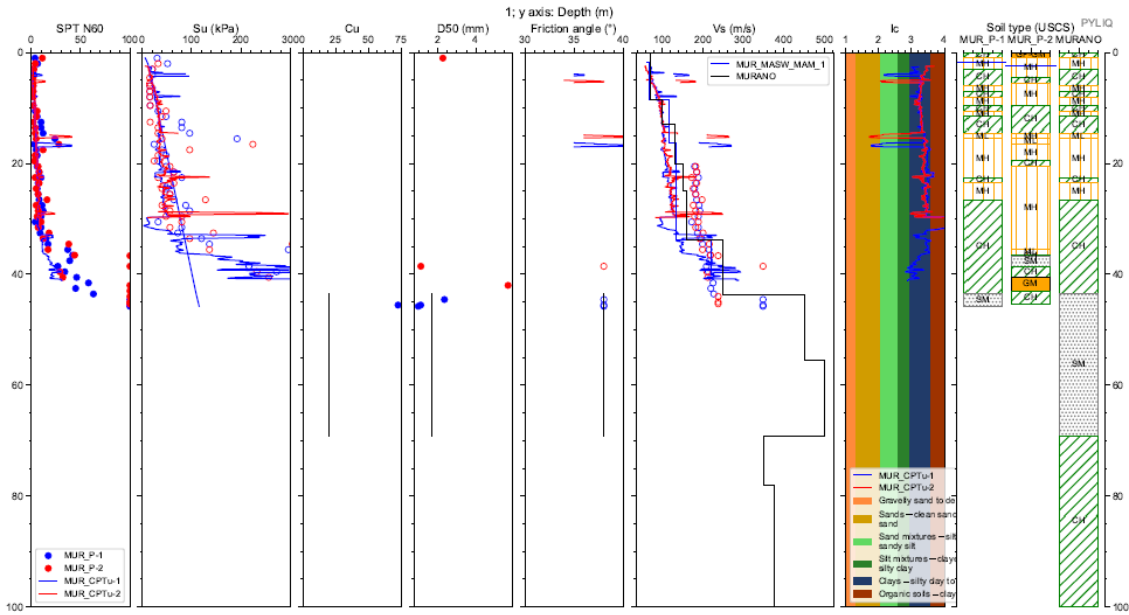


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,50	18,00	50,00	5,43	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	20,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darandeli_BSF	
MAT3	Menq	48,50	17,00	6,90	0,42	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	a GYE-CLAY @	69,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT5	Menq	100,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

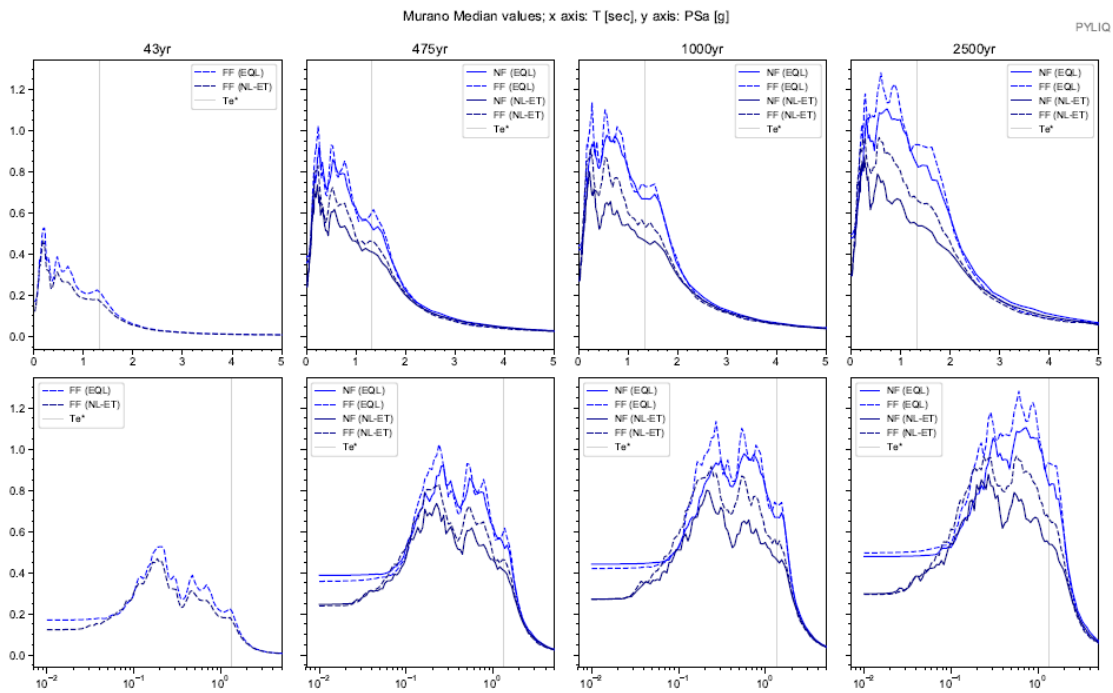
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	150,0
1,5	150,0
3,5	102,9
11,0	85,0
20,5	145,2
35,0	250,0
48,5	325,0
69,0	258,0
82,0	375,0
93,0	475,0
100,0	600,0

Apéndice 189. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio IESS SUR

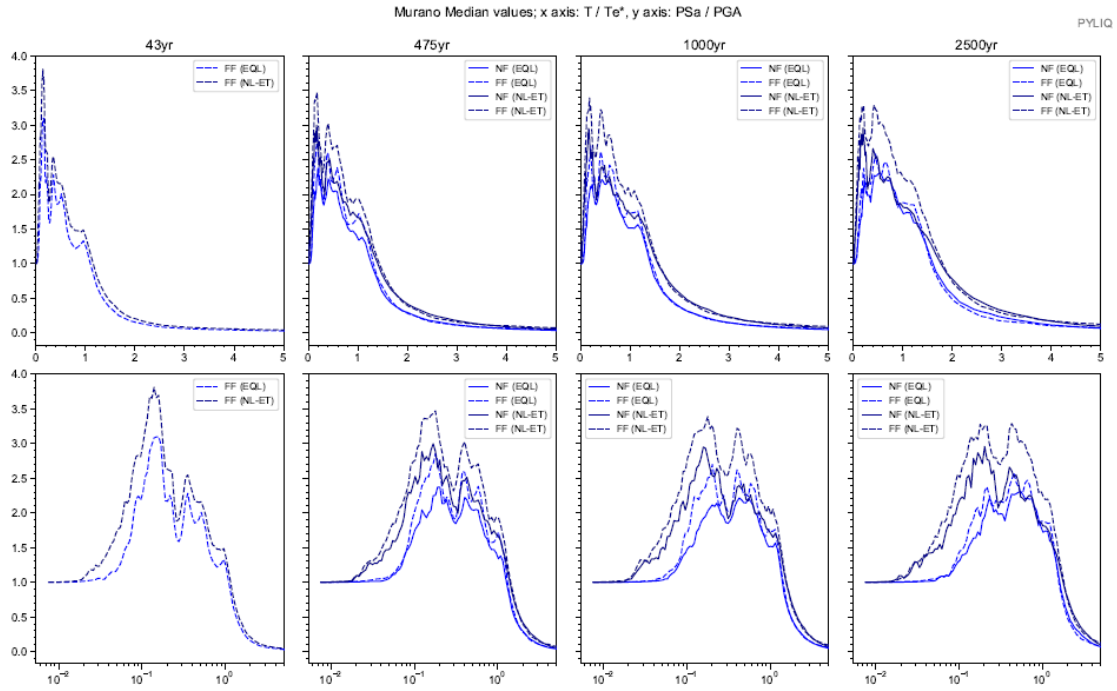
# Sitio MURANO



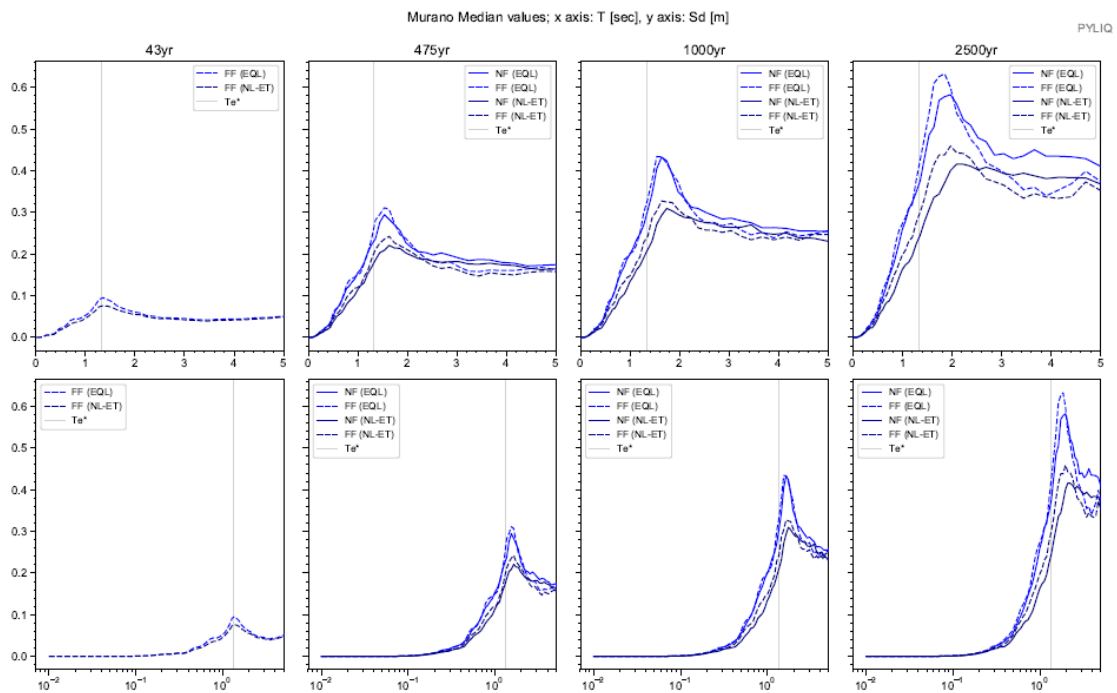
Apéndice 190. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio MURANO



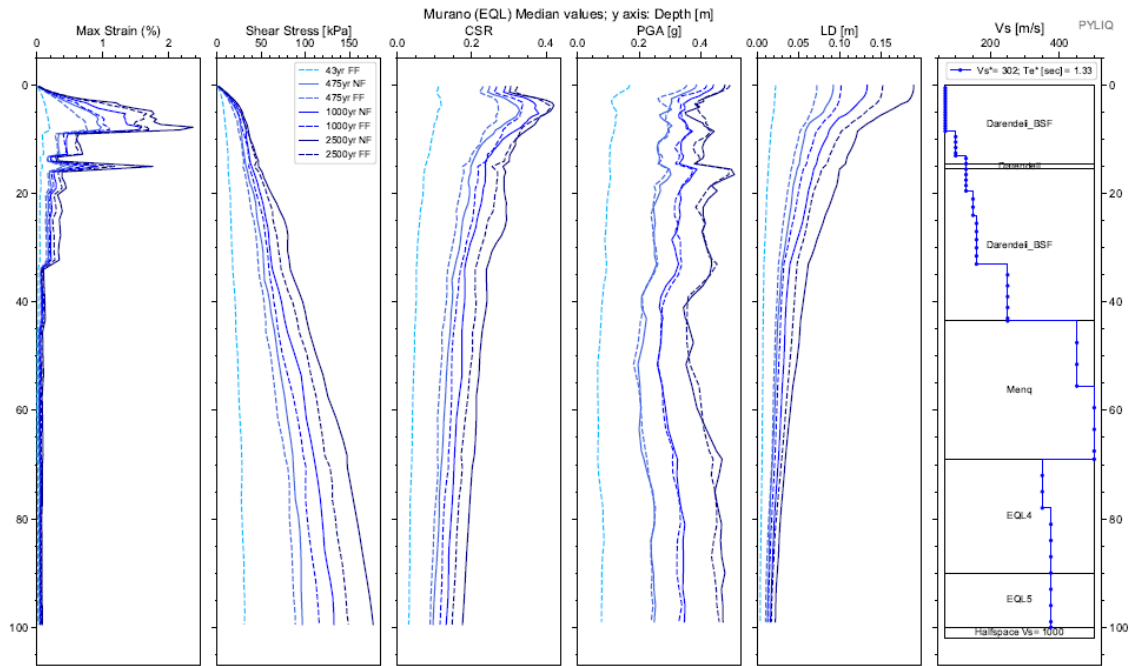
Apéndice 191. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio MURANO



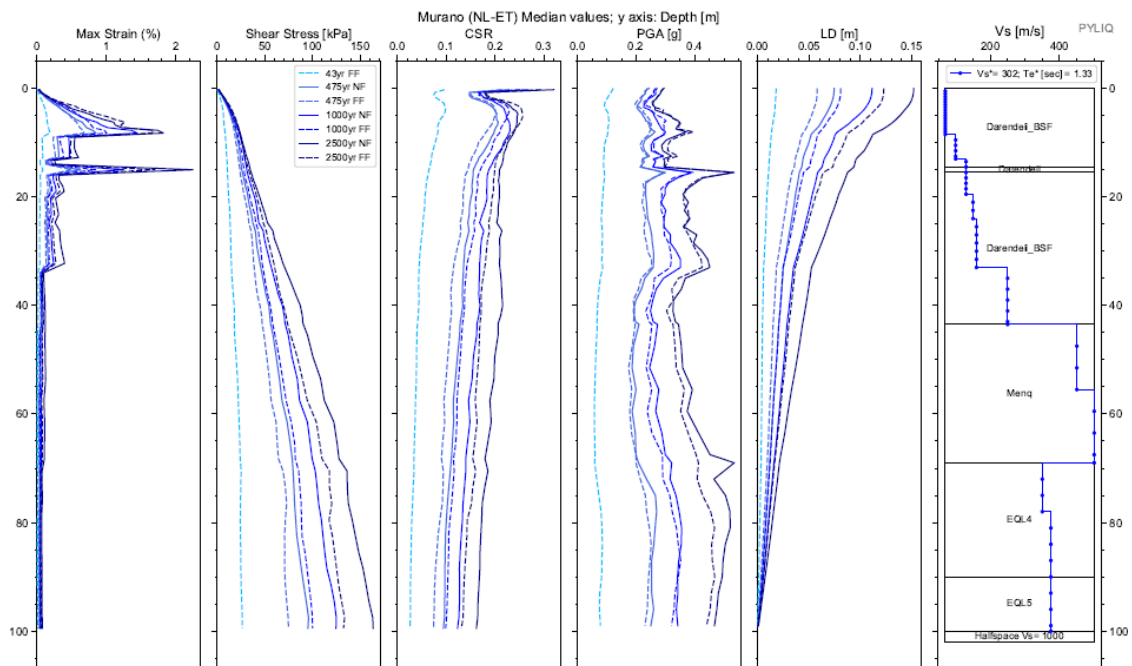
Apéndice 192. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio MURANO.



Apéndice 193. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio MURANO.



Apéndice 194. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio MURANO



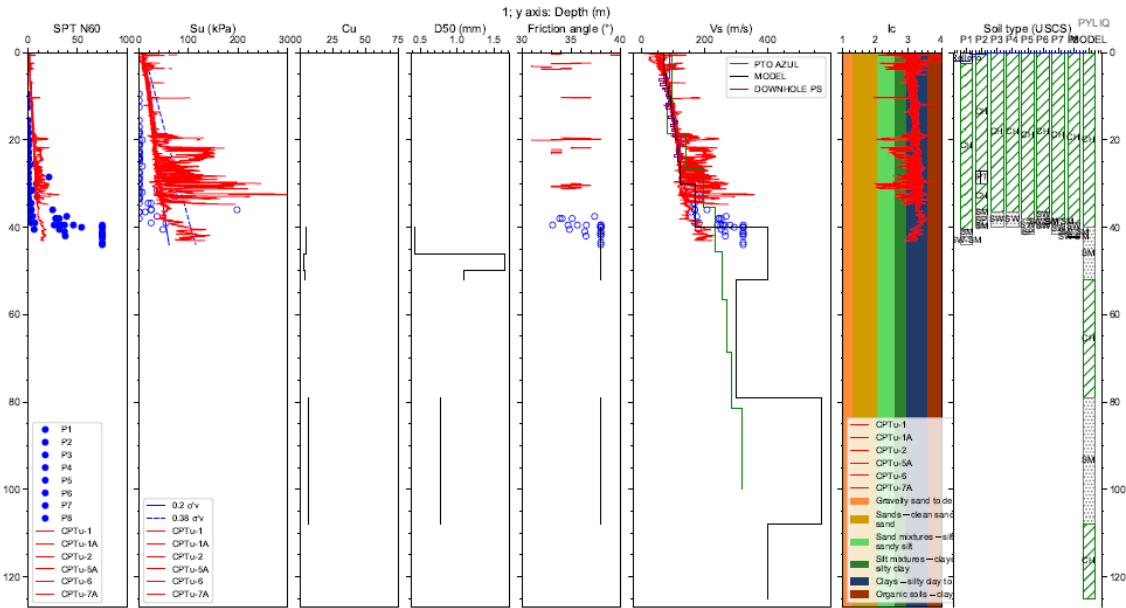
Apéndice 195. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio MURANO

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		Cu	D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)								
MAT1	Darendeli_BSF	14,55	16,00		#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Darendeli	15,55	16,00		#N/D	#N/D	35,00	1,00		Darendeli	
MAT3	Darendeli_BSF	43,55	16,00		#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	69,10	17,00	20,00	1,70	38,00	#N/D	#N/D		Menq	
MAT5	a GYE-CLAY @	90,00	16,00		#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT6	a GYE-CLAY @	100,00	16,00		#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00								1000

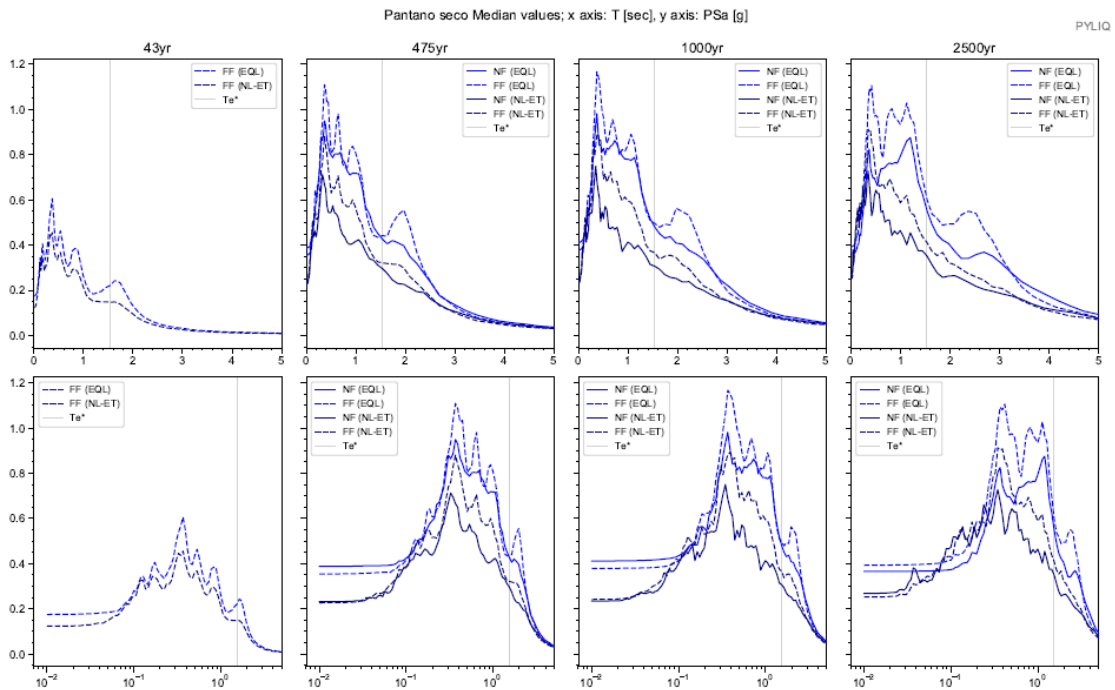
Depth (m.)	Vs (m/s)
8,5	70,0
13,0	100,0
20,0	130,0
25,0	150,0
33,9	160,0
43,6	250,0
55,5	450,0
69,2	500,0
78,0	350,0
100,0	375,0

Apéndice 196. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio MURANO

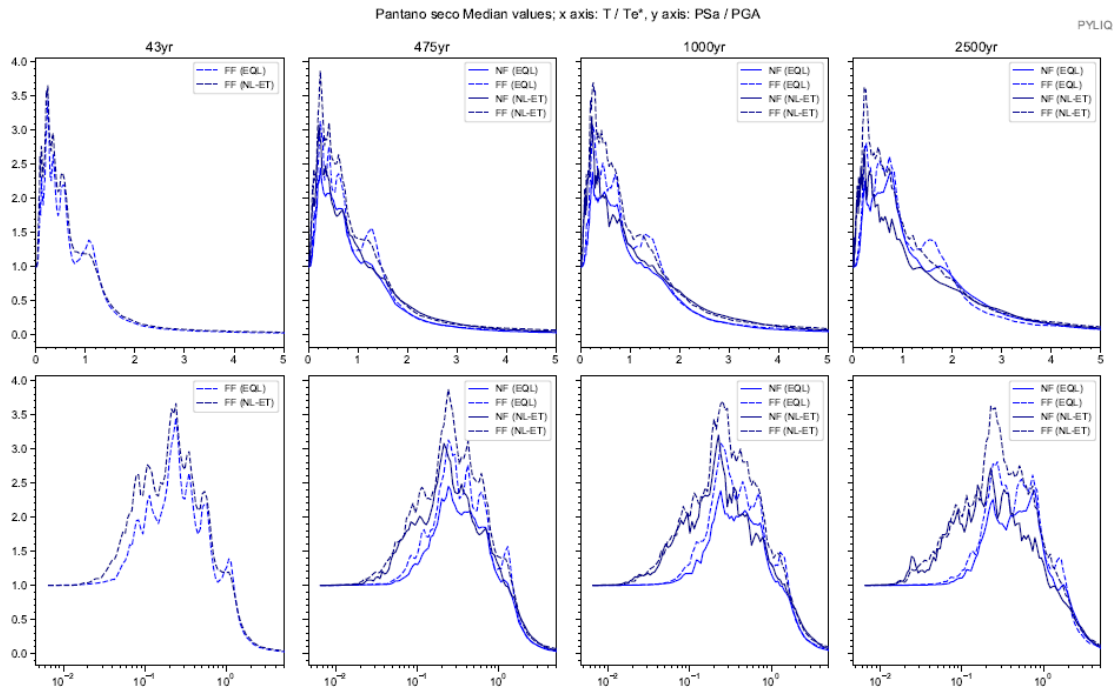
# Sitio PANTANO SECO



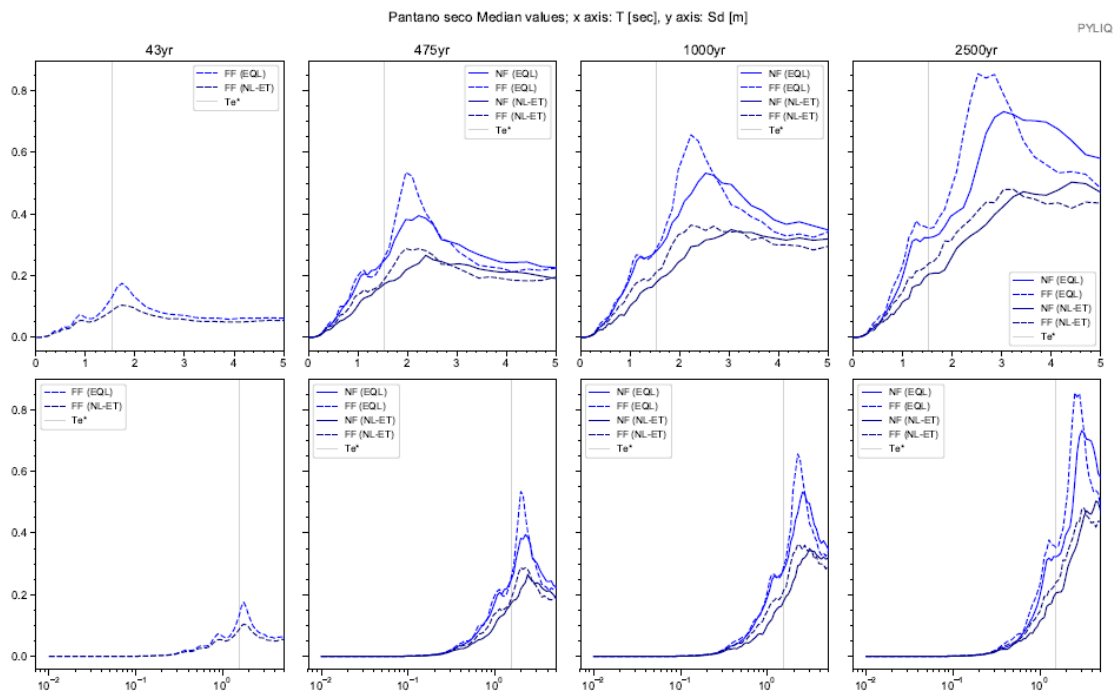
Apéndice 197. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio PANTANO SECO



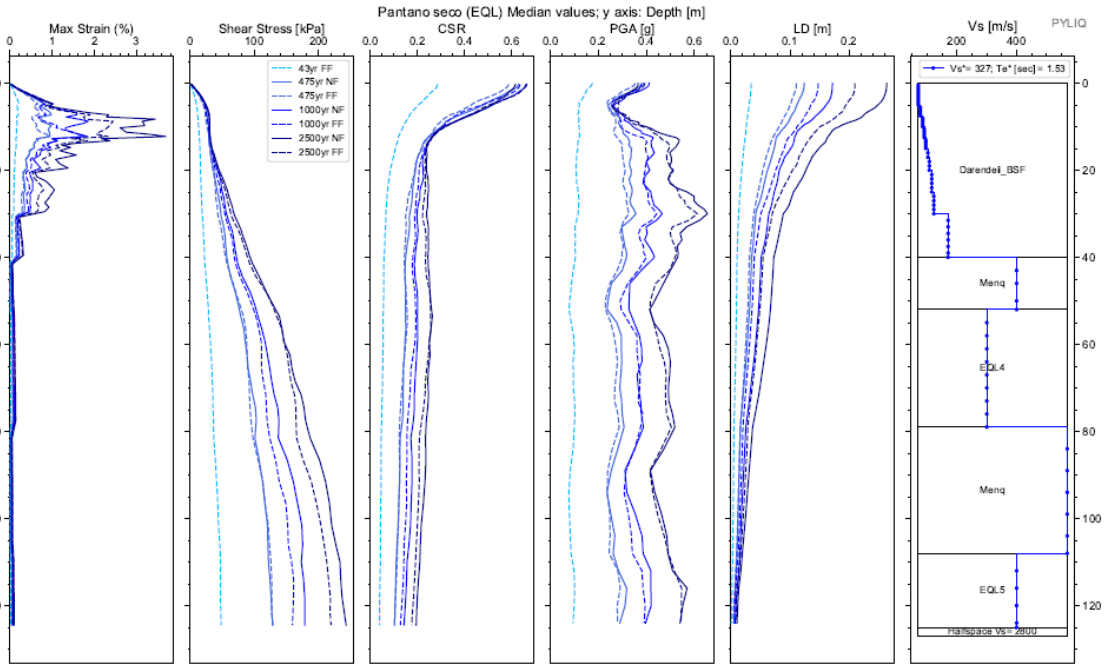
Apéndice 198. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio PANTANO SECO



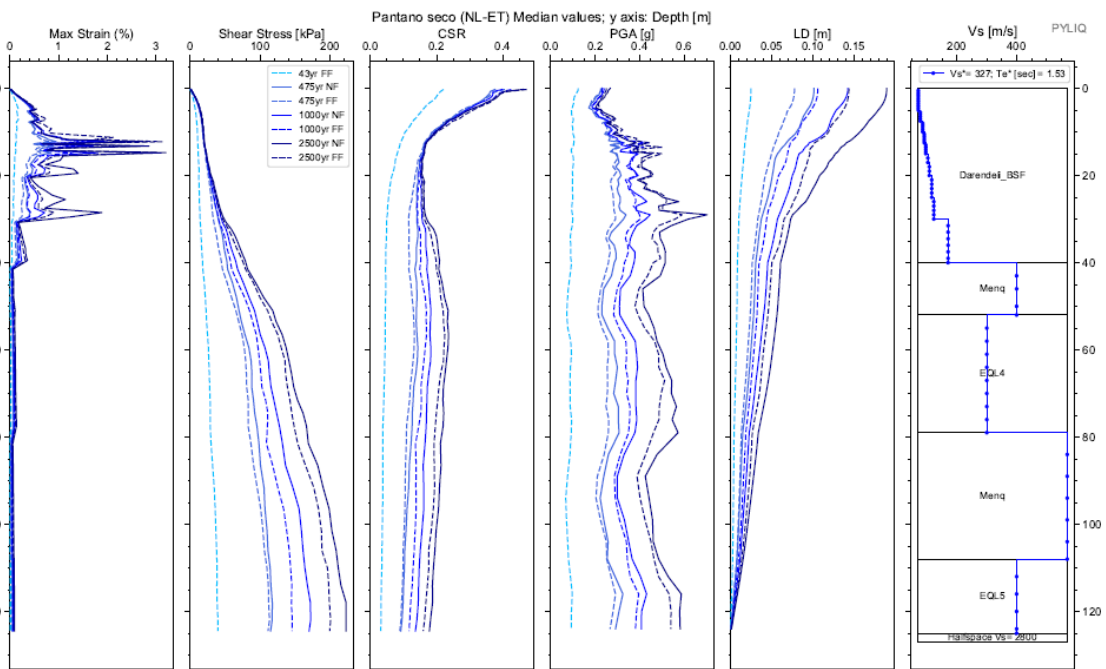
Apéndice 199. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio PANTANO SECO.



Apéndice 200. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio PANTANO SECO.



Apéndice 201. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio PANTANO SECO



Apéndice 202. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio PANTANO SECO

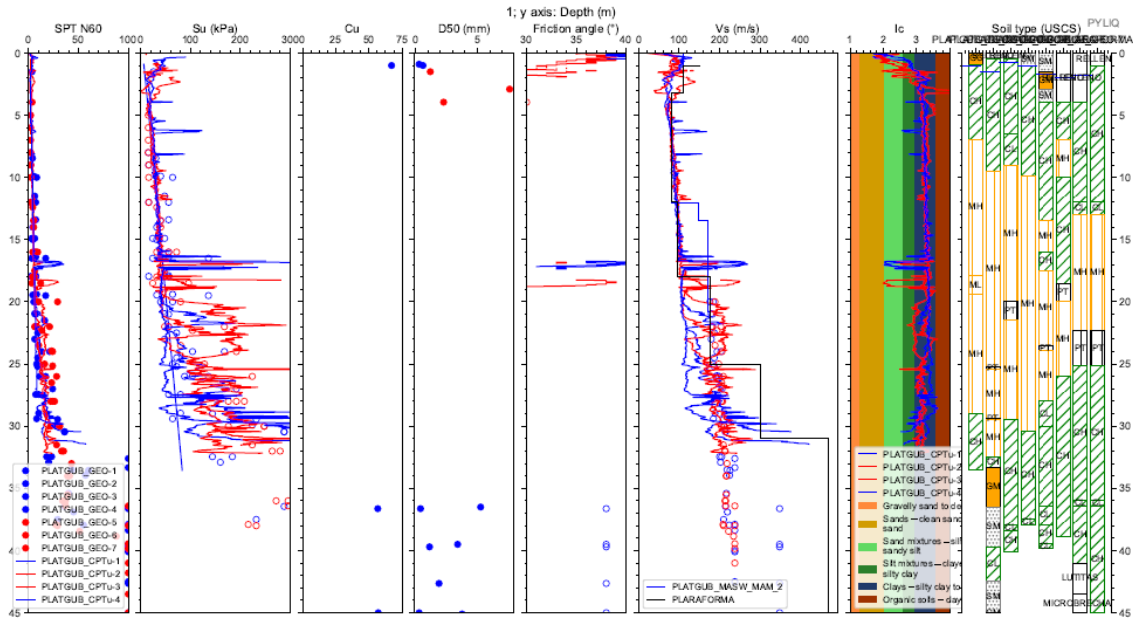


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	40,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	46,00	17,00	4,79	0,43	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Menq	50,00	17,00	3,36	1,65	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	52,00	17,00	4,37	1,10	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	a GYE-CLAY @	79,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT6	Menq	99,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	108,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	a GYE-CLAY @	125,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00							2800

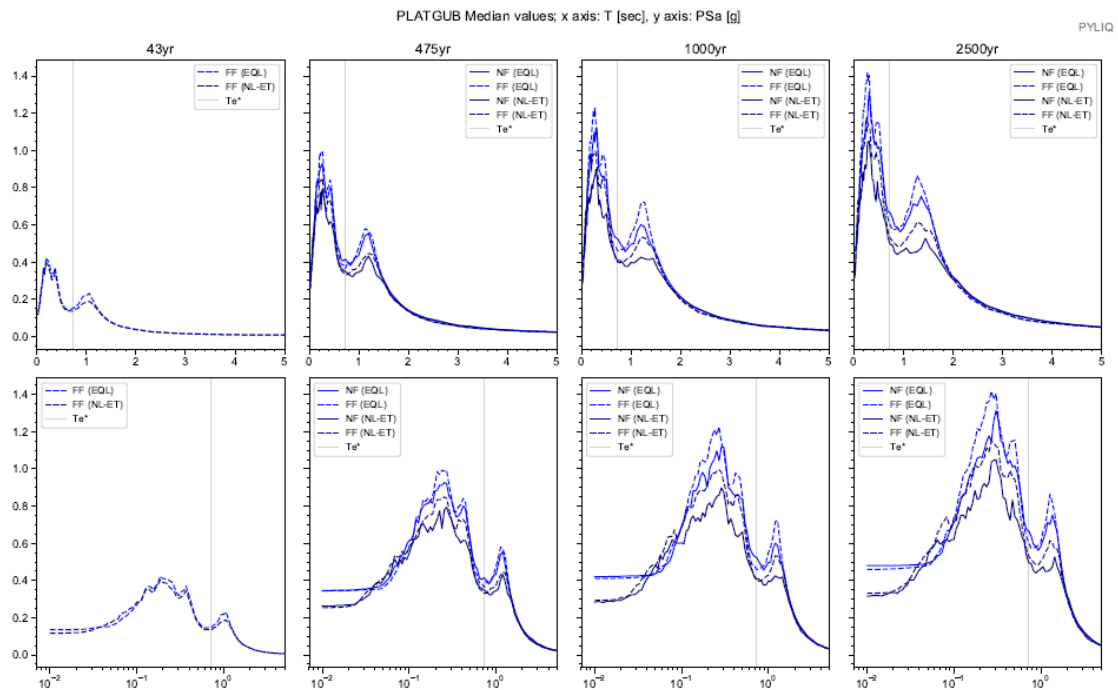
Depth (m.)	Vs (m/s)
5,0	70,0
7,5	77,0
10,0	85,0
12,5	90,0
15,0	95,0
17,5	102,0
20,0	107,0
25,0	115,0
30,0	122,0
40,0	170,0
52,0	400,0
79,0	300,0
108,0	570,0
125,0	400,0

Apéndice 203. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio PANTANO SECO

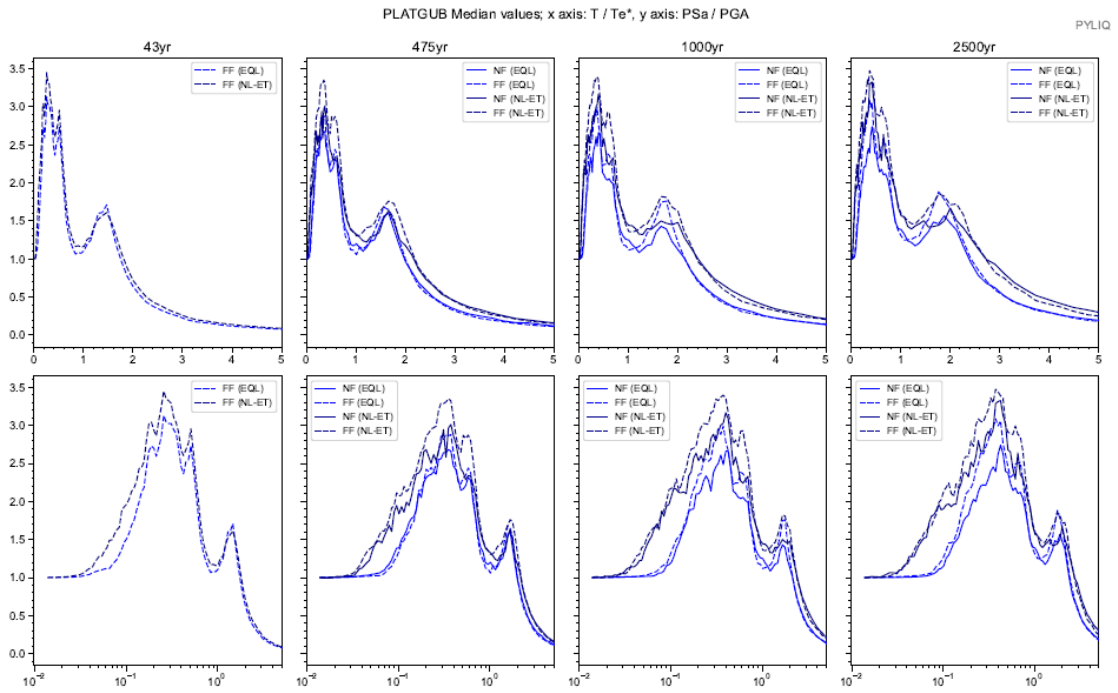
# Sitio PLATGUB



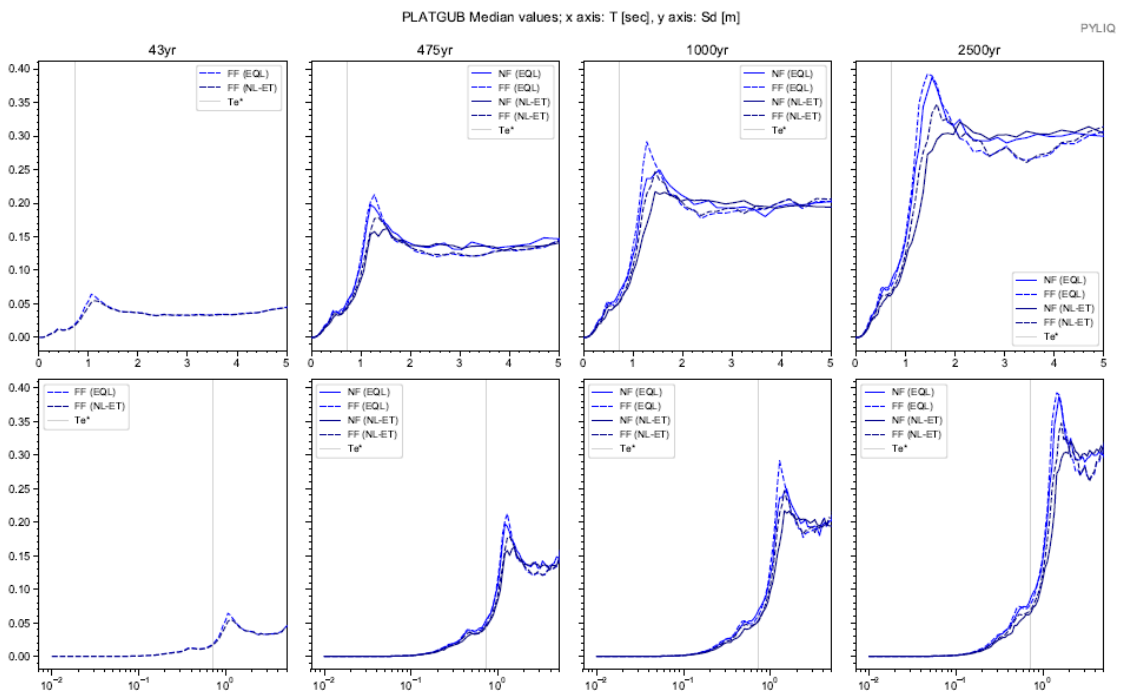
Apéndice 204. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio PLATGUB



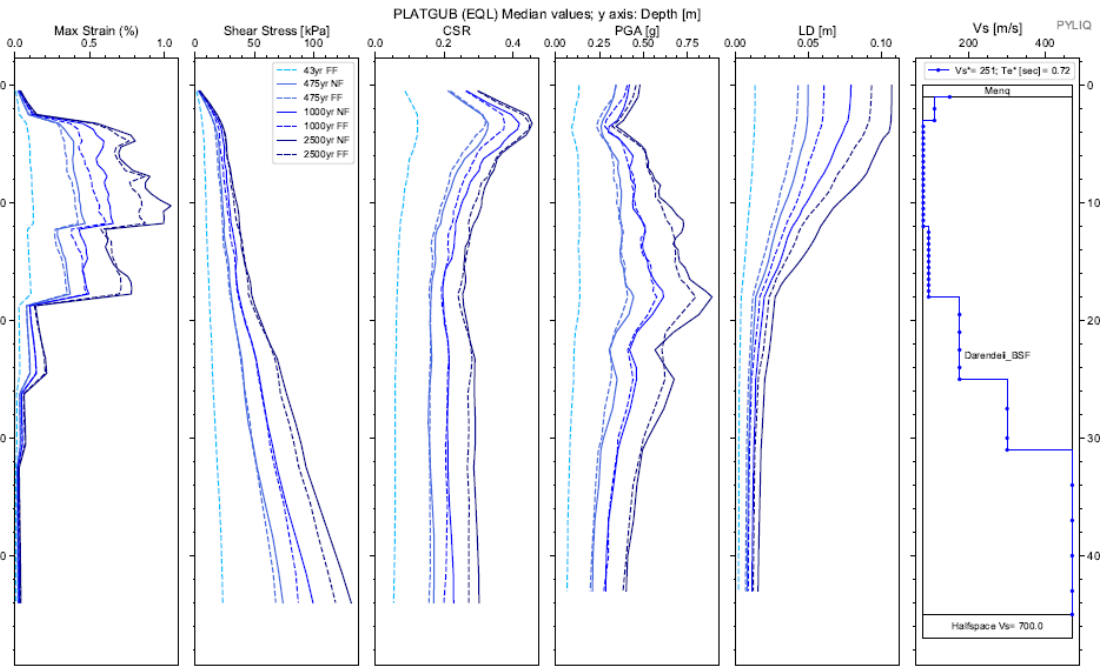
Apéndice 205. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio PLATGUB



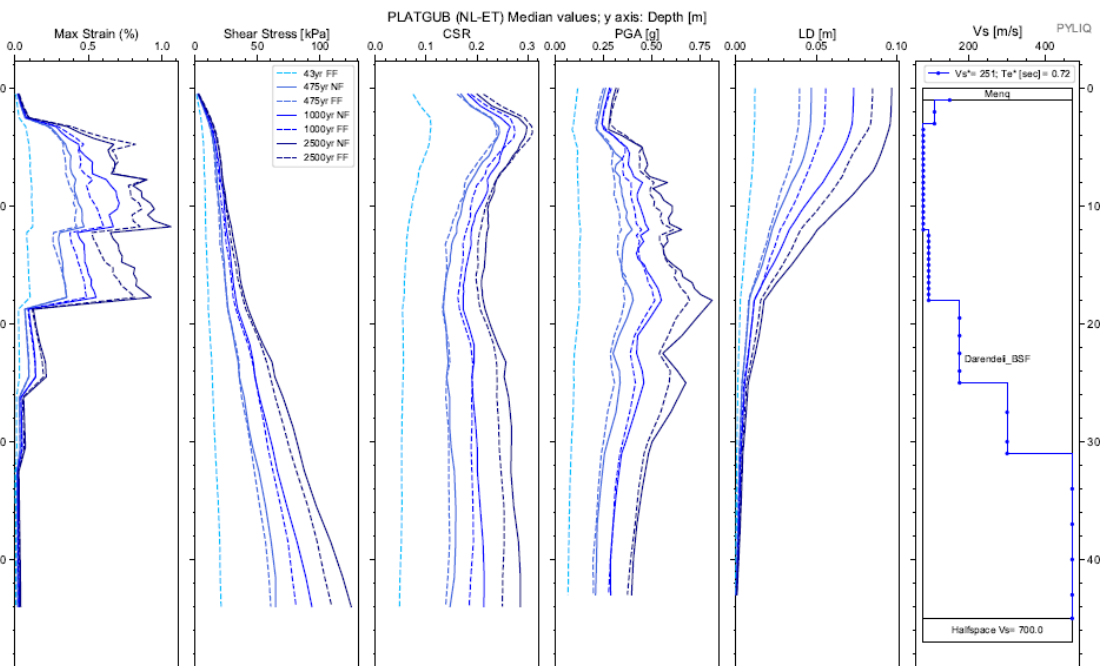
Apéndice 206. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio PLATGUB .



Apéndice 207. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio PLATGUB .



Apéndice 208. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio PLATGUB



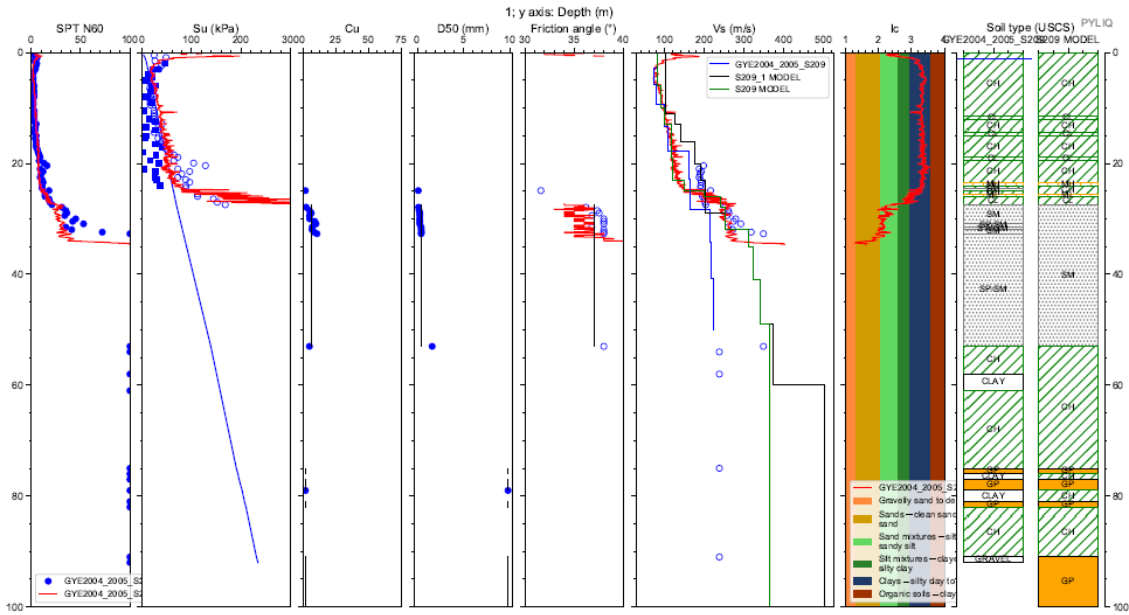
Apéndice 209. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio PLATGUB

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,00	18,00	50,00	3,50	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	45,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
SEMIESPACIO			21,00							700

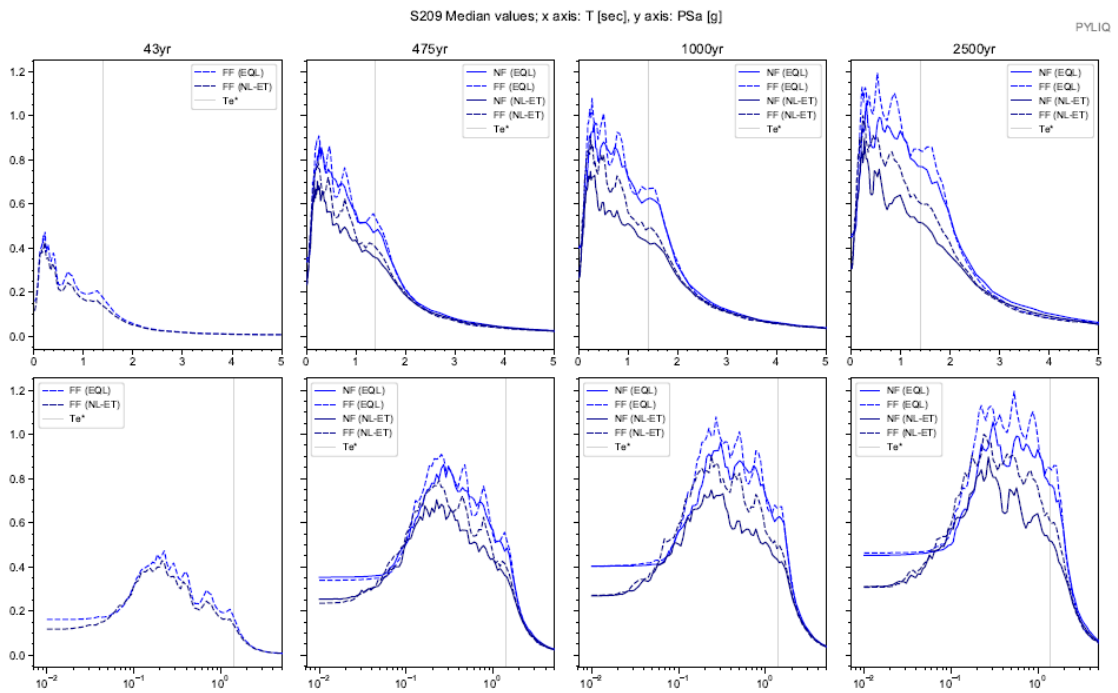
Depth (m.)	Vs (m/s)
1,0	150,0
3,2	110,4
12,0	81,0
18,0	95,0
25,0	175,8
31,0	300,0
45,0	470,0

Apéndice 210. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio PLATGUB

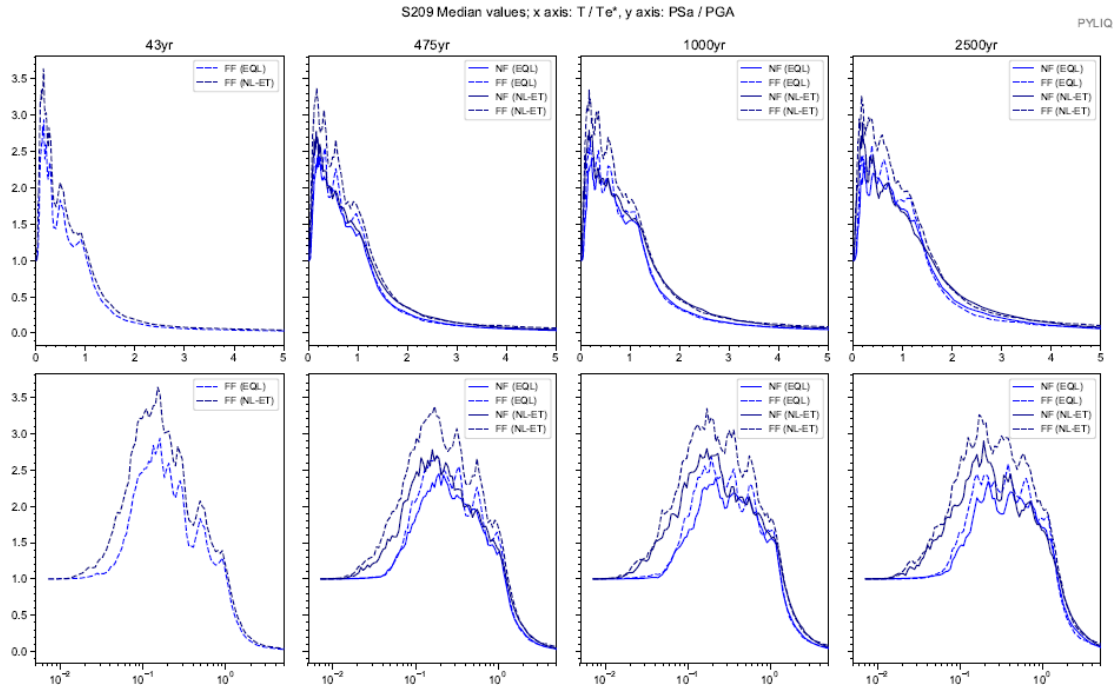
# Sitio S209



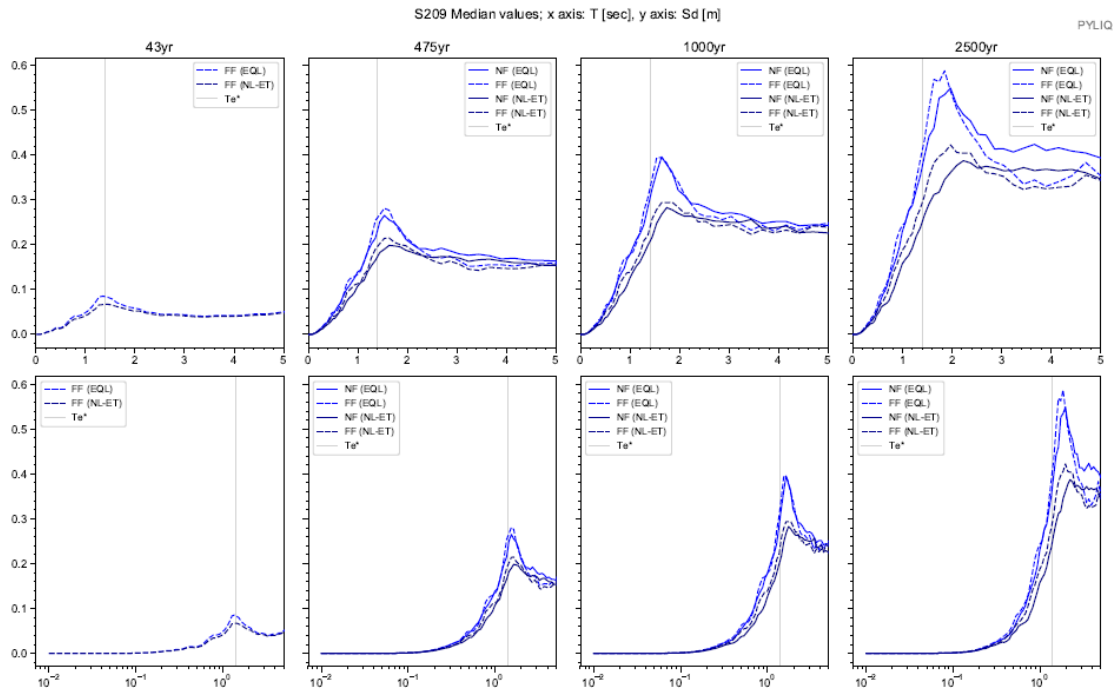
Apéndice 211. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S209



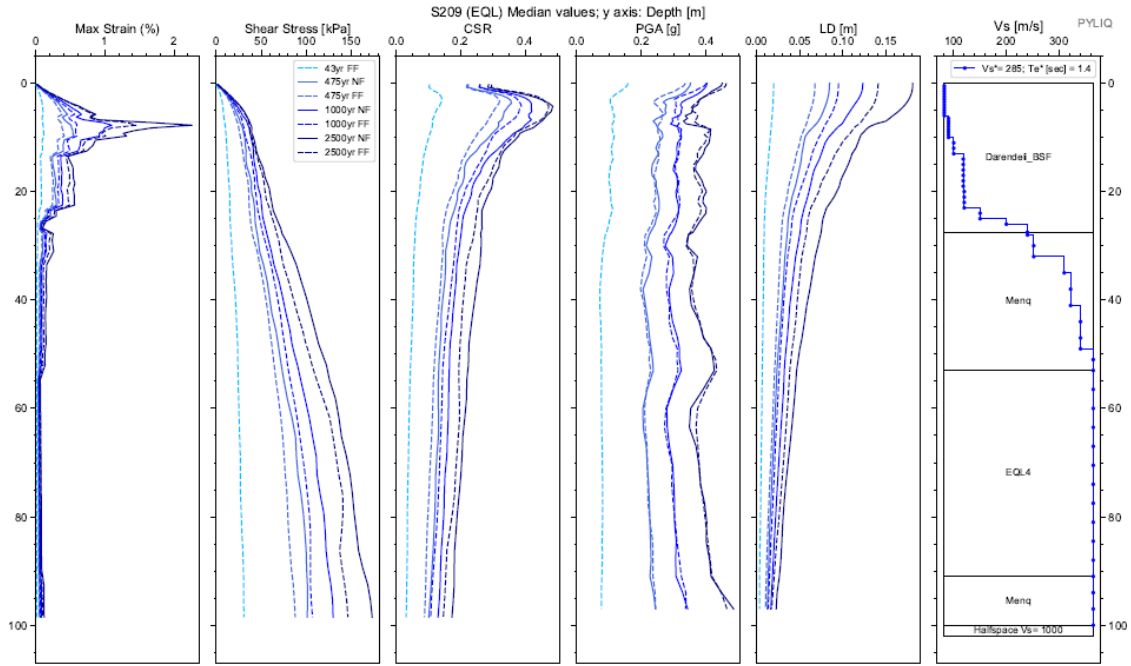
Apéndice 212. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S209



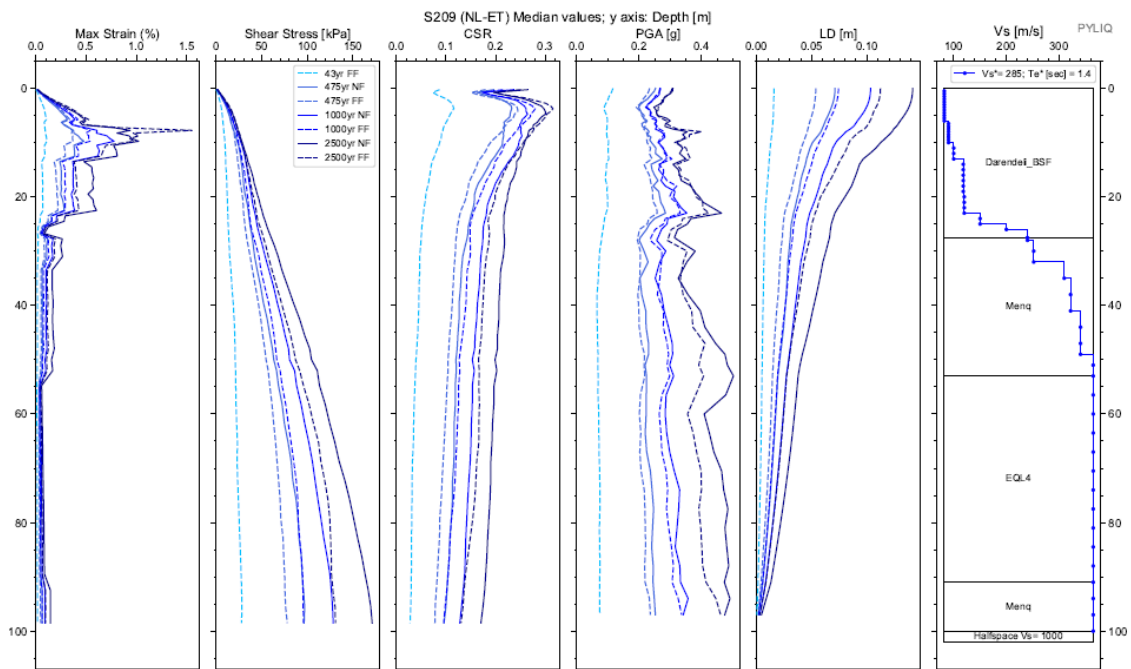
Apéndice 213. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S209 .



Apéndice 214. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S209 .



Apéndice 215. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S209



Apéndice 216. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S209

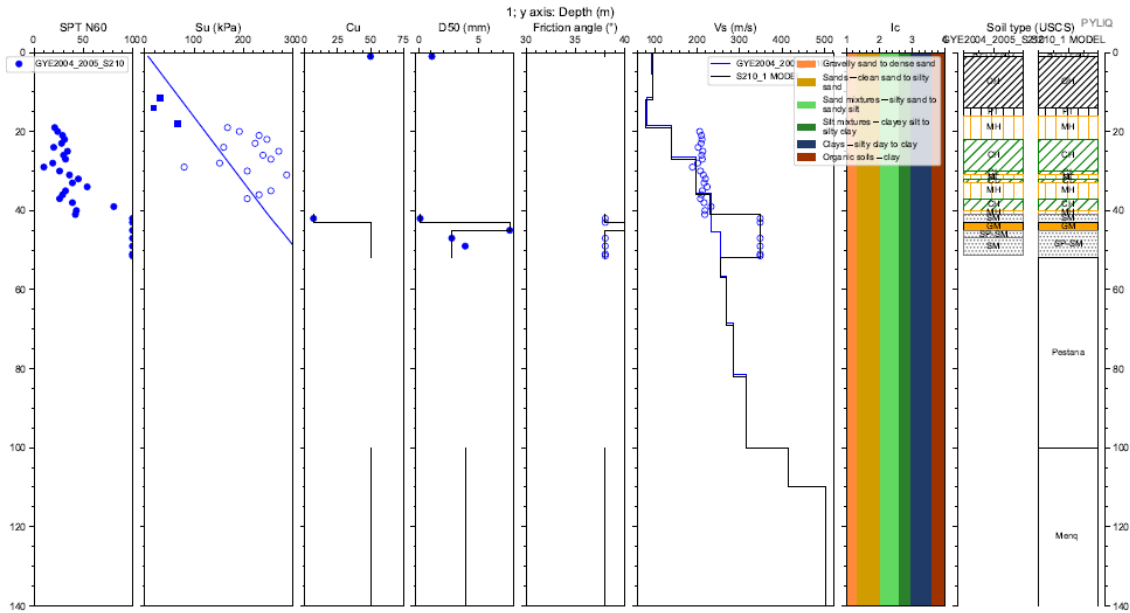


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	27,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	53,00	17,00	6,90	0,42	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	a GYE-CLAY @	91,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT4	Menq	100,00	17,00	2,11	9,81	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

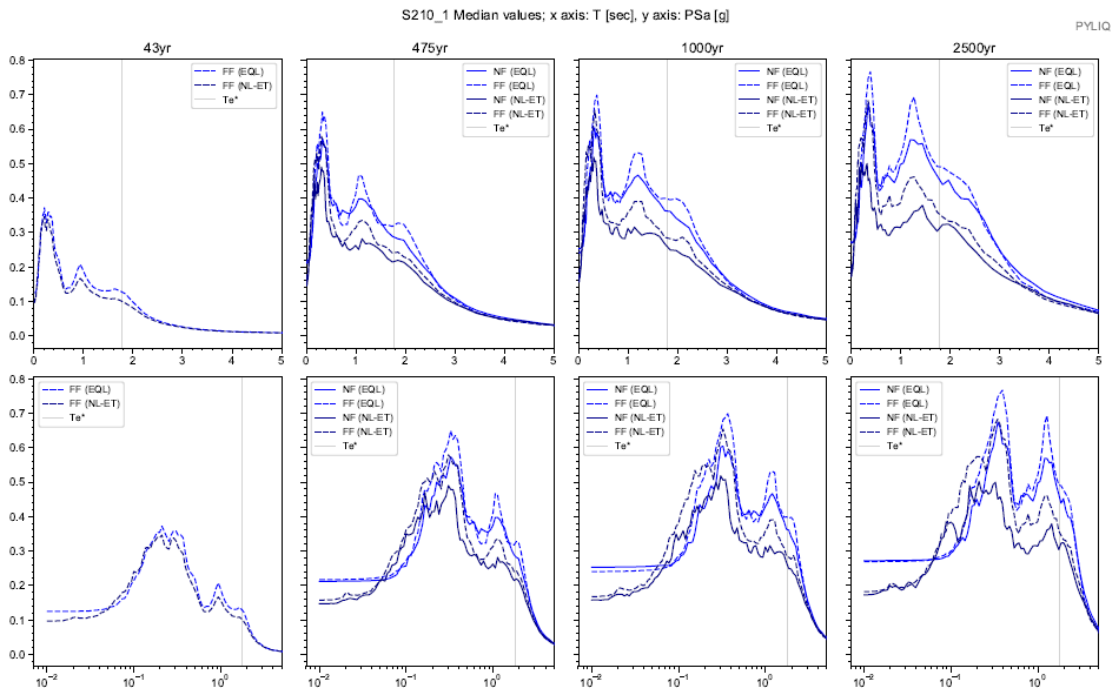
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	82,0
6,0	82,0
10,0	90,0
13,0	100,0
19,0	118,0
23,0	120,0
25,0	150,0
26,0	200,0
28,0	240,0
32,0	252,0
35,0	310,0
41,0	322,0
49,0	341,0
100,0	365,0

Apéndice 217. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S209

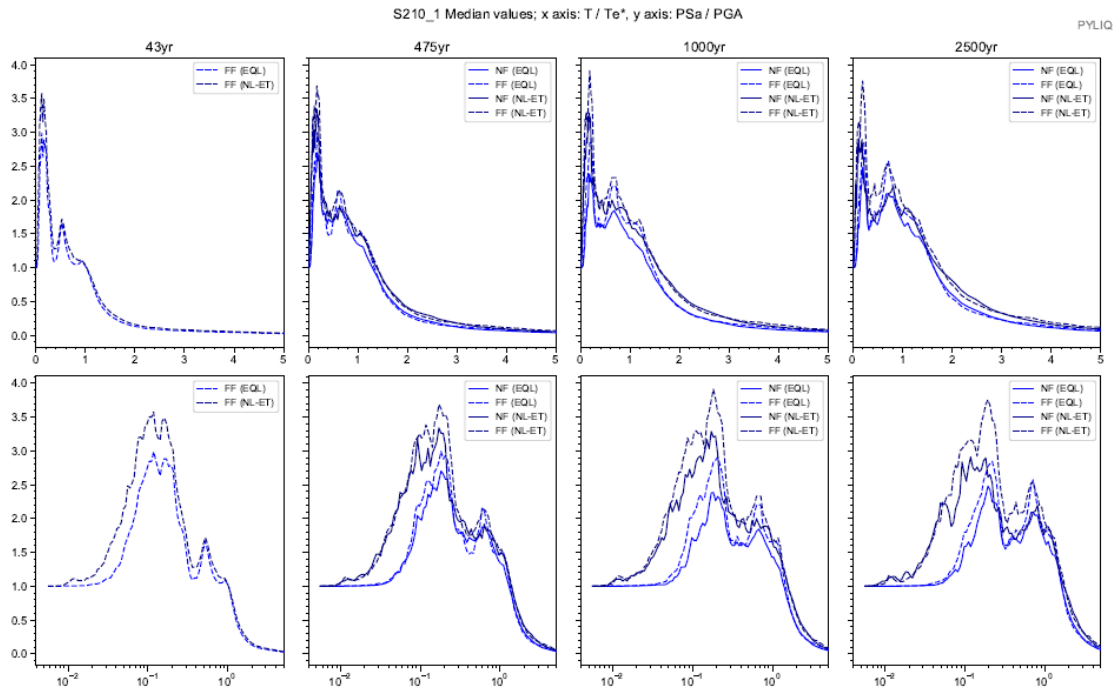
### Sitio S210-1



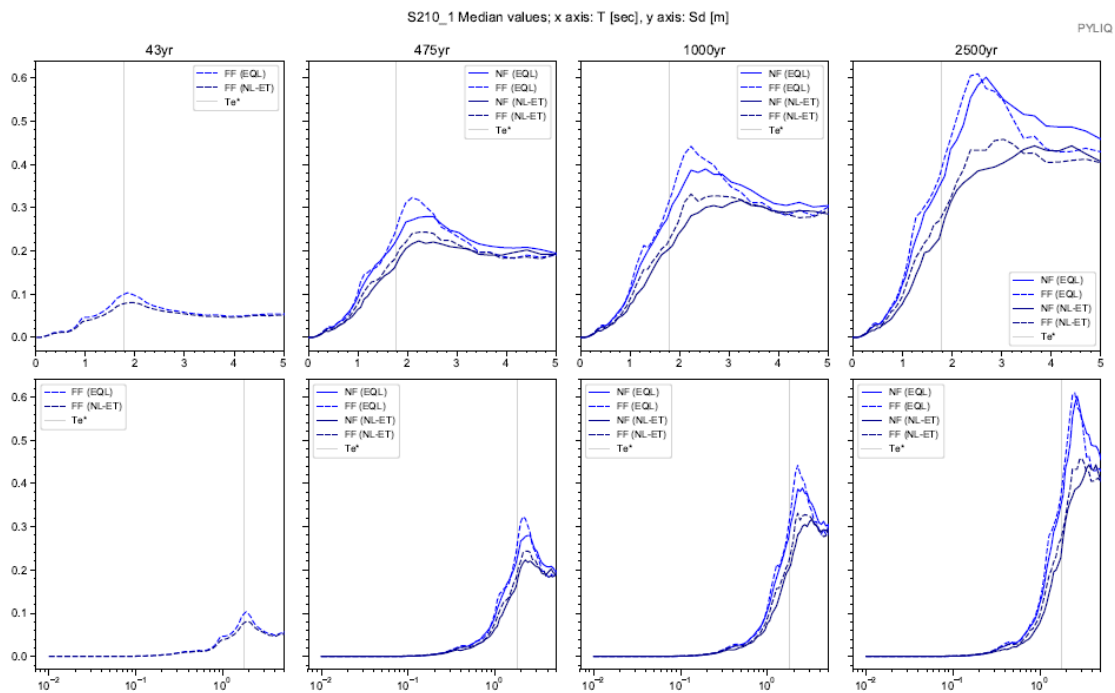
Apéndice 218. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S210-1



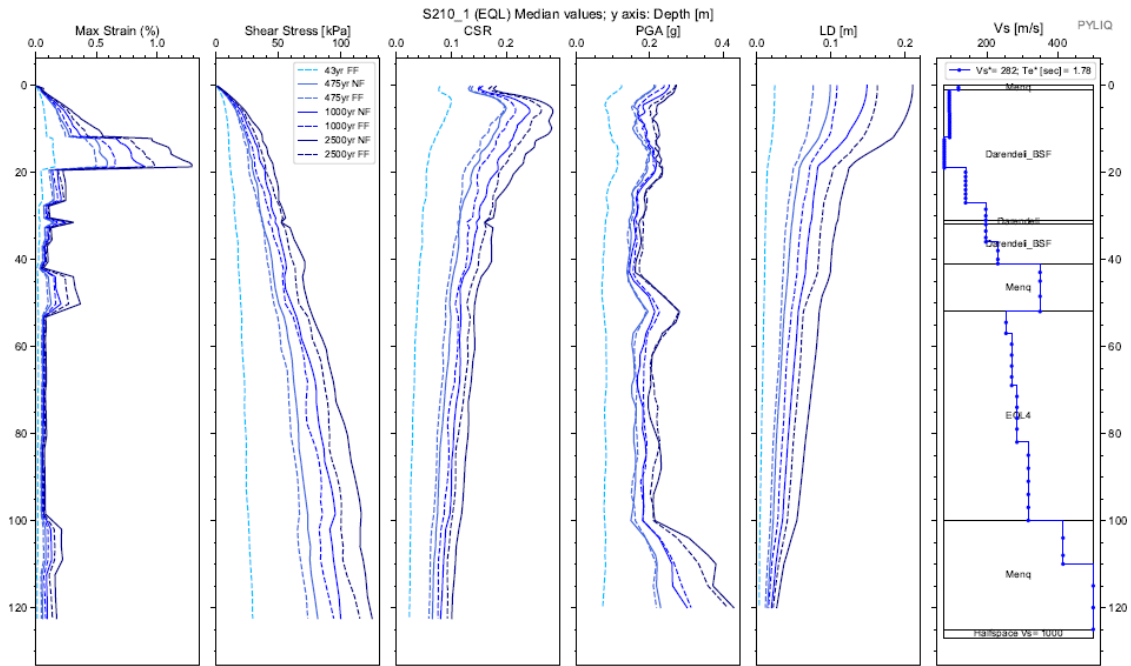
Apéndice 219. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S210-1



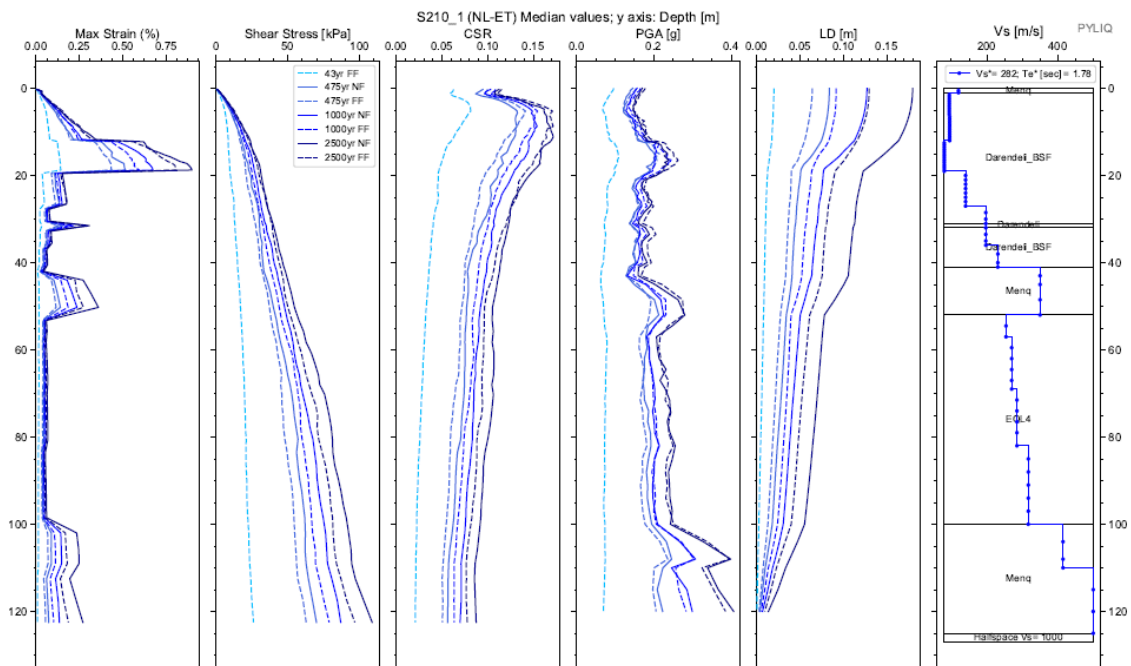
Apéndice 220. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S210-1 .



Apéndice 221. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S210-1 .



Apéndice 222. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S210-1



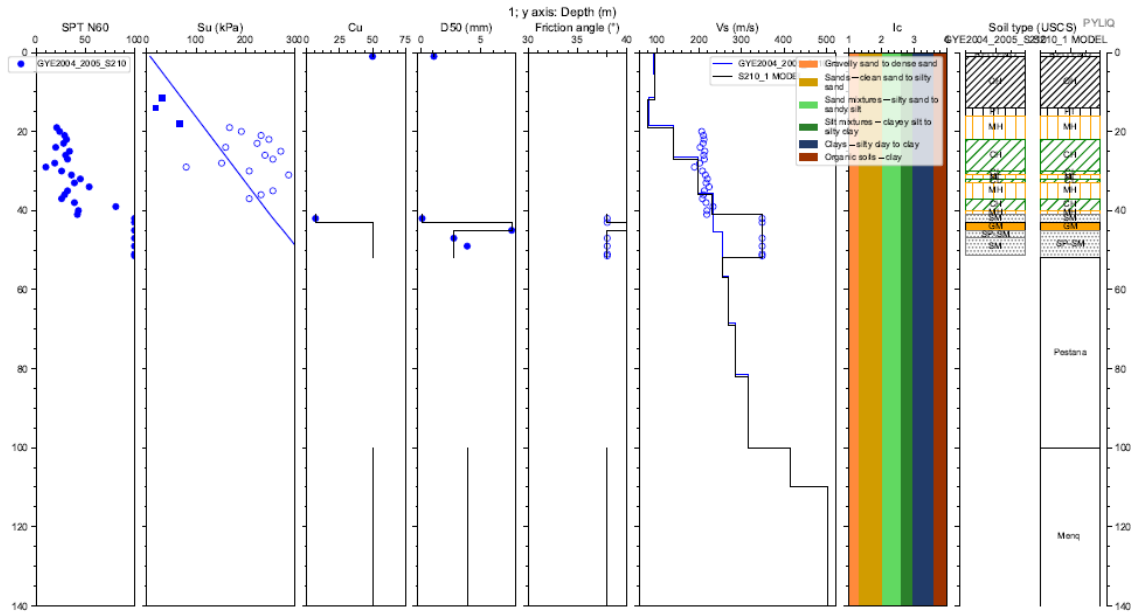
Apéndice 223. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S210-1

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,00	18,00	50,00	1,07	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	31,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Darandeli	32,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	15,35	1,00	Darendeli	
MAT4	Darandeli_BSF	41,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	43,00	17,00	6,59	0,09	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Menq	45,00	17,00	50,00	7,56	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	52,00	17,00	50,00	2,73	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	a GYE-CLAY @	100,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT9	Menq	140,00	17,00	50,00	3,85	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

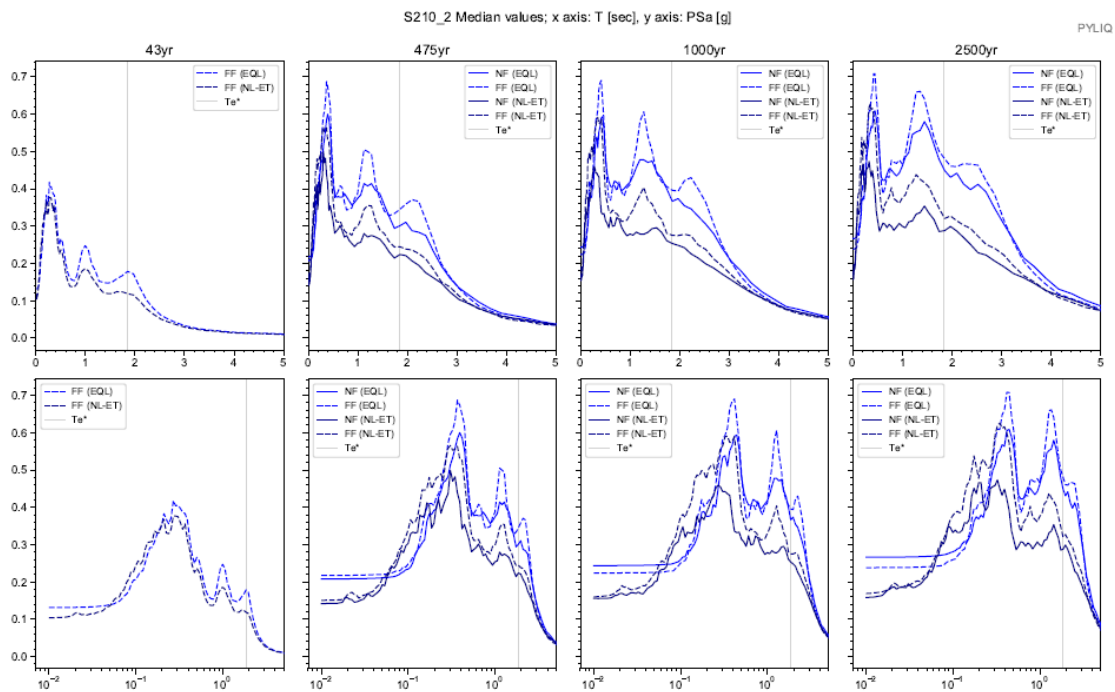
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	120,0
1,0	120,0
6,0	94,0
12,0	95,0
19,0	80,0
27,0	140,0
36,0	197,0
41,0	231,0
52,0	350,0
57,0	254,0
69,0	270,0
82,0	285,0
100,0	317,0
110,0	415,0
140,0	500,0

Apéndice 224. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S210-1

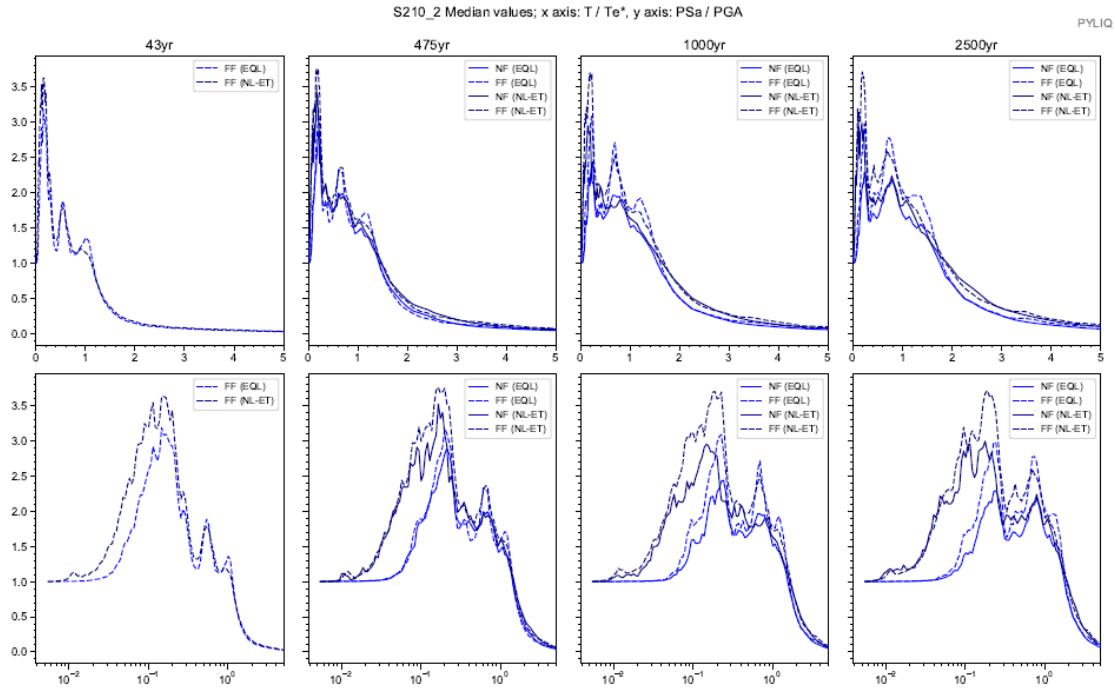
### Sitio S210-2



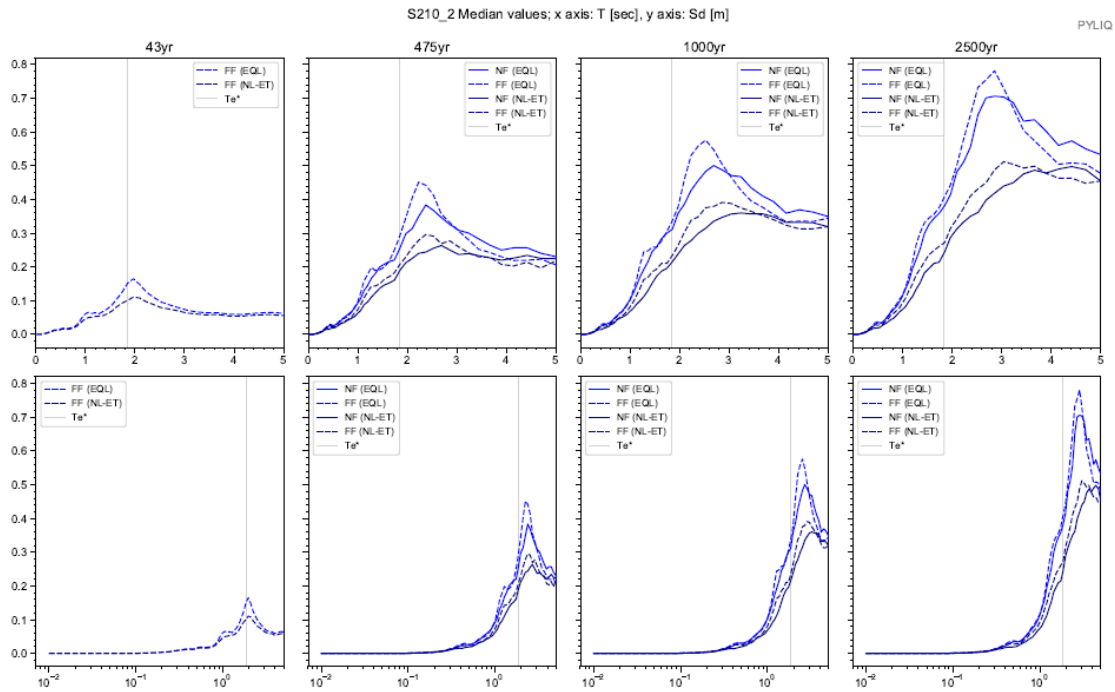
Apéndice 225. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S210-2



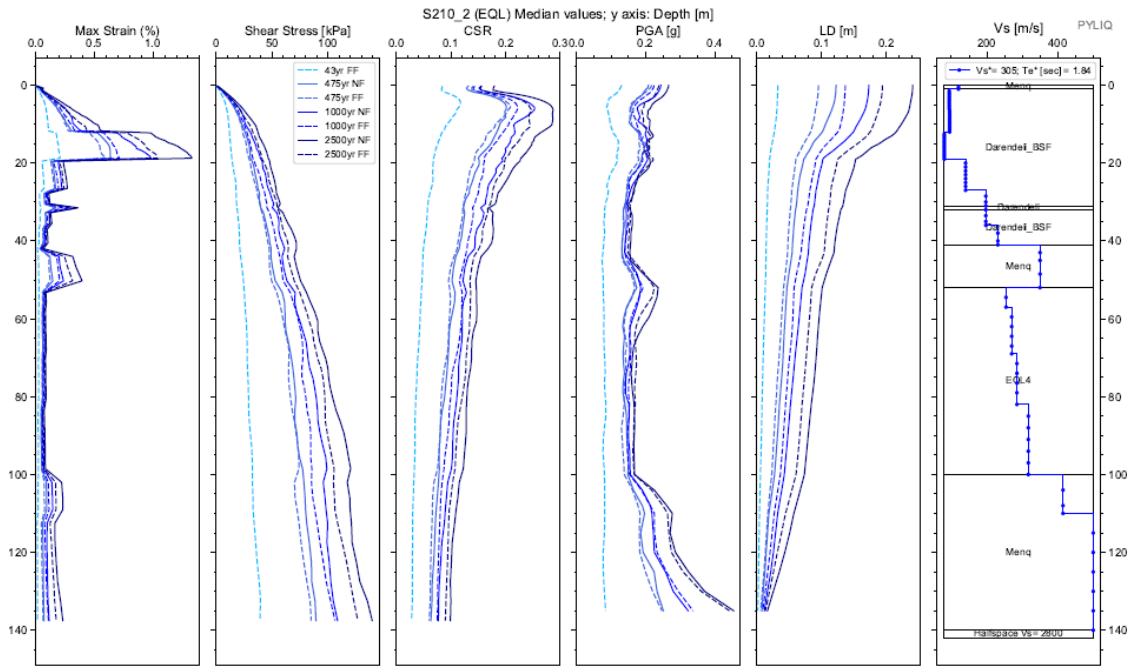
Apéndice 226. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S210-2



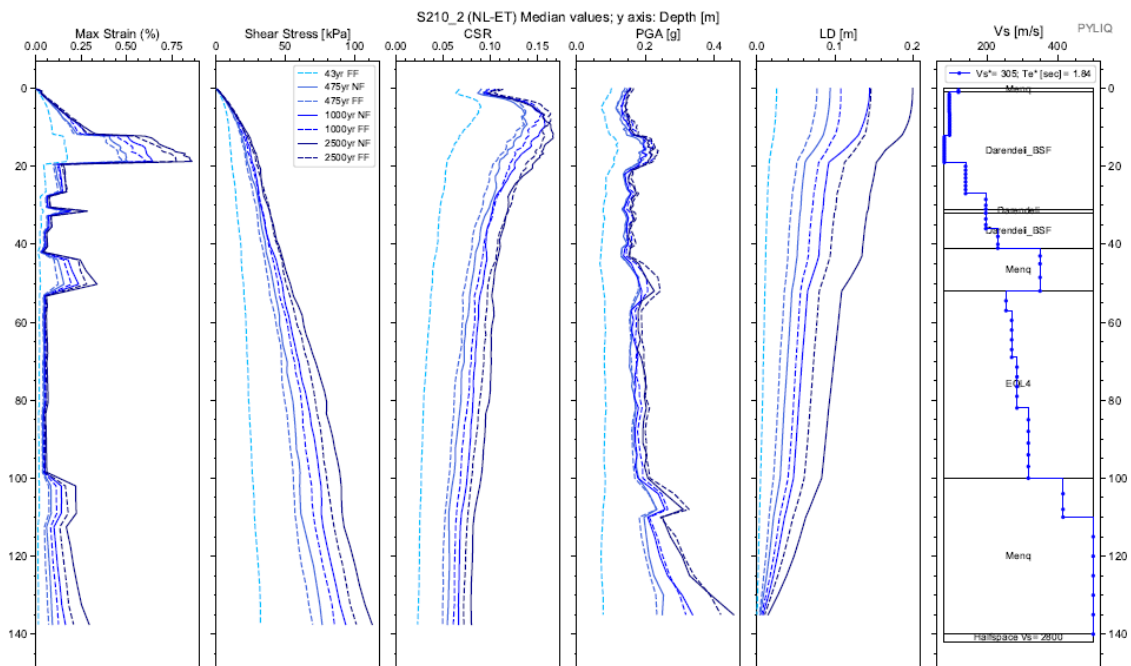
Apéndice 227. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S210-2 .



Apéndice 228. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S210-2 .



Apéndice 229. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S210-2



Apéndice 230. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S210-2

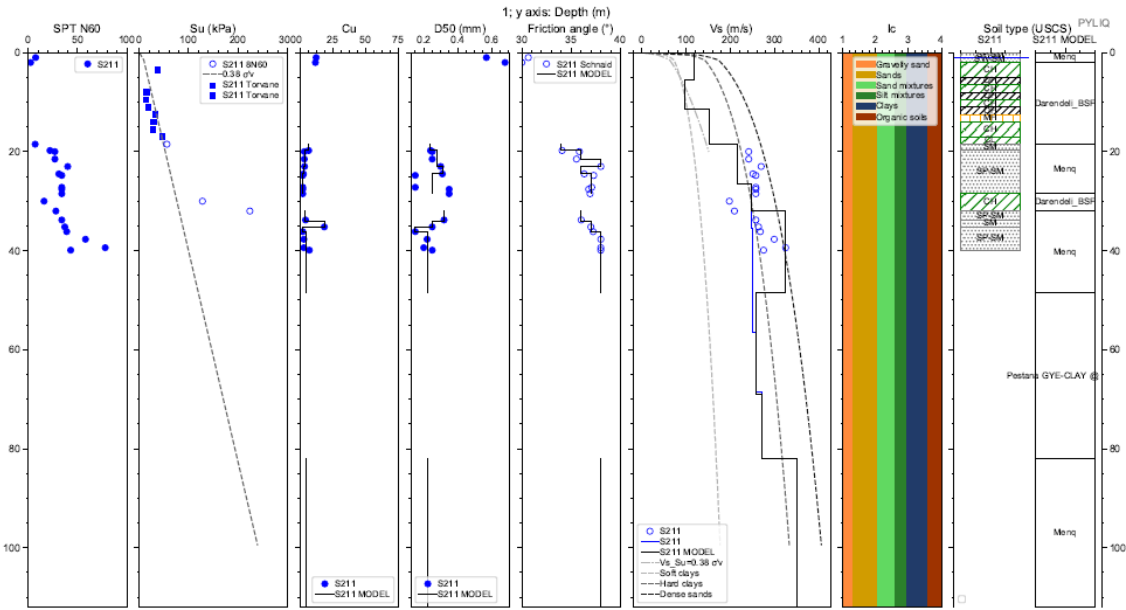


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,00	18,00	50,00	1,07	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	31,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Darandeli	32,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	15,35	1,00	Darendeli	
MAT4	Darandeli_BSF	41,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	43,00	17,00	6,59	0,09	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Menq	45,00	17,00	50,00	7,56	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	52,00	17,00	50,00	2,73	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	a GYE-CLAY @	100,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT9	Menq	140,00	17,00	50,00	3,85	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							2800

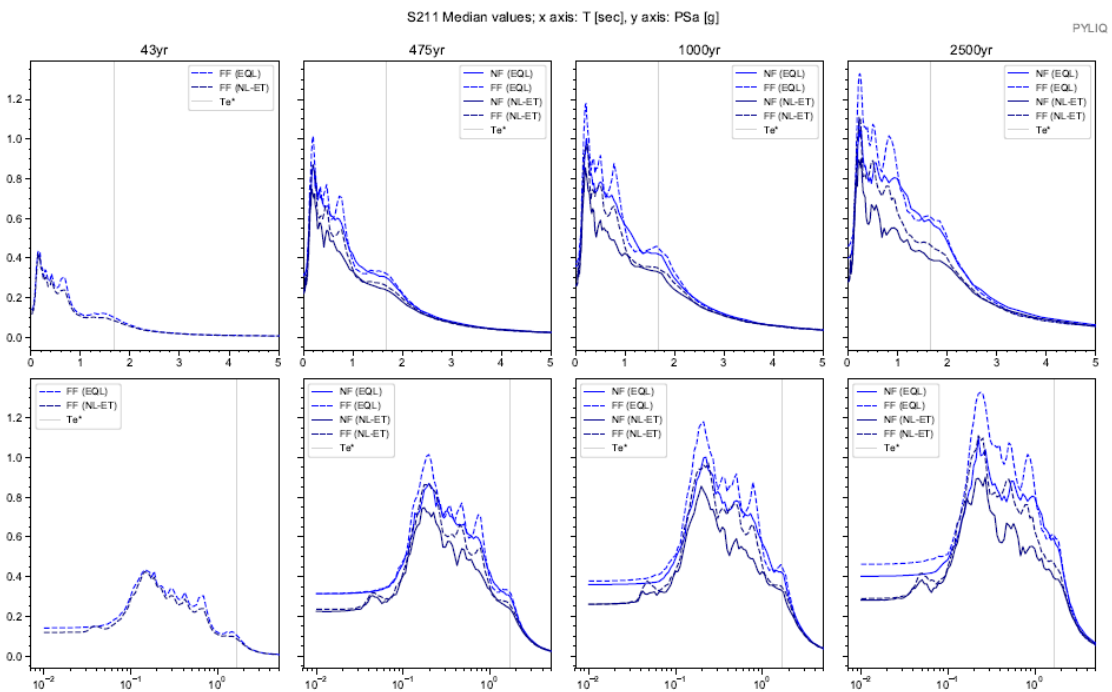
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	120,0
1,0	120,0
6,0	94,0
12,0	95,0
19,0	80,0
27,0	140,0
36,0	197,0
41,0	231,0
52,0	350,0
57,0	254,0
69,0	270,0
82,0	285,0
100,0	317,0
110,0	415,0
140,0	500,0

Apéndice 231. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S210-2

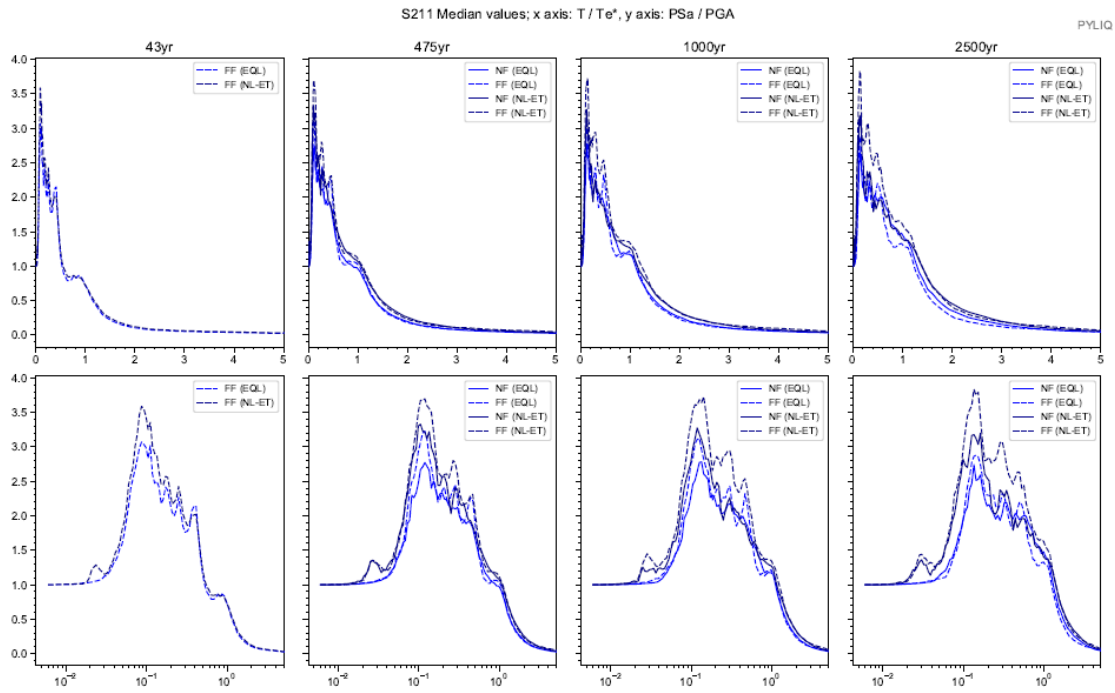
# Sitio S211



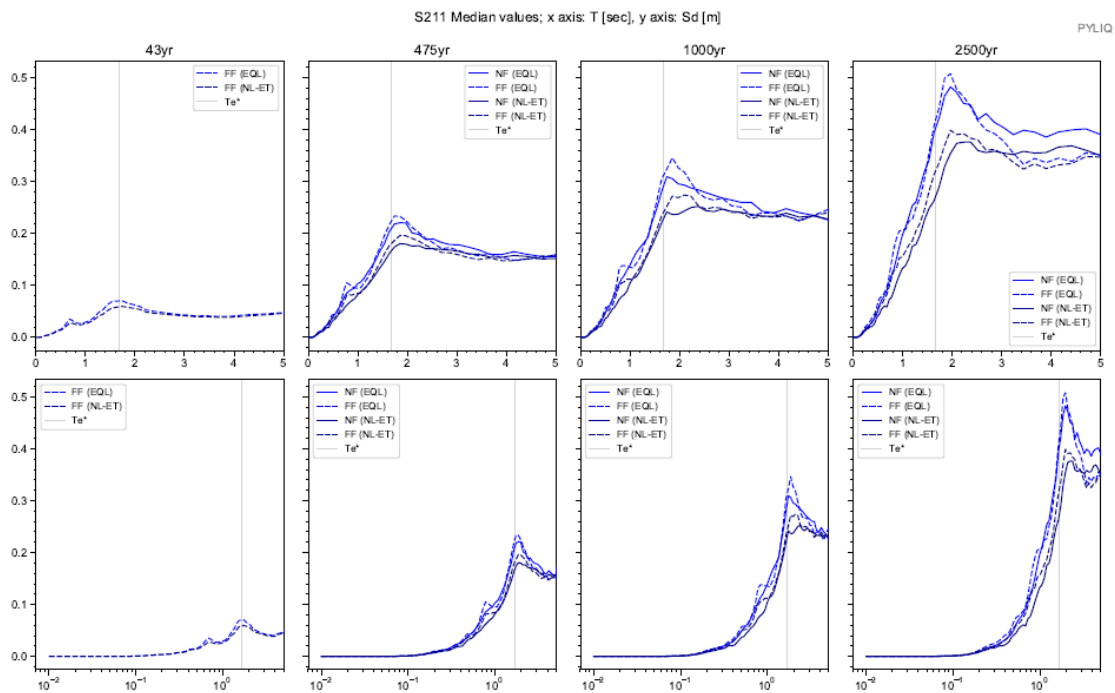
Apéndice 232. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S211



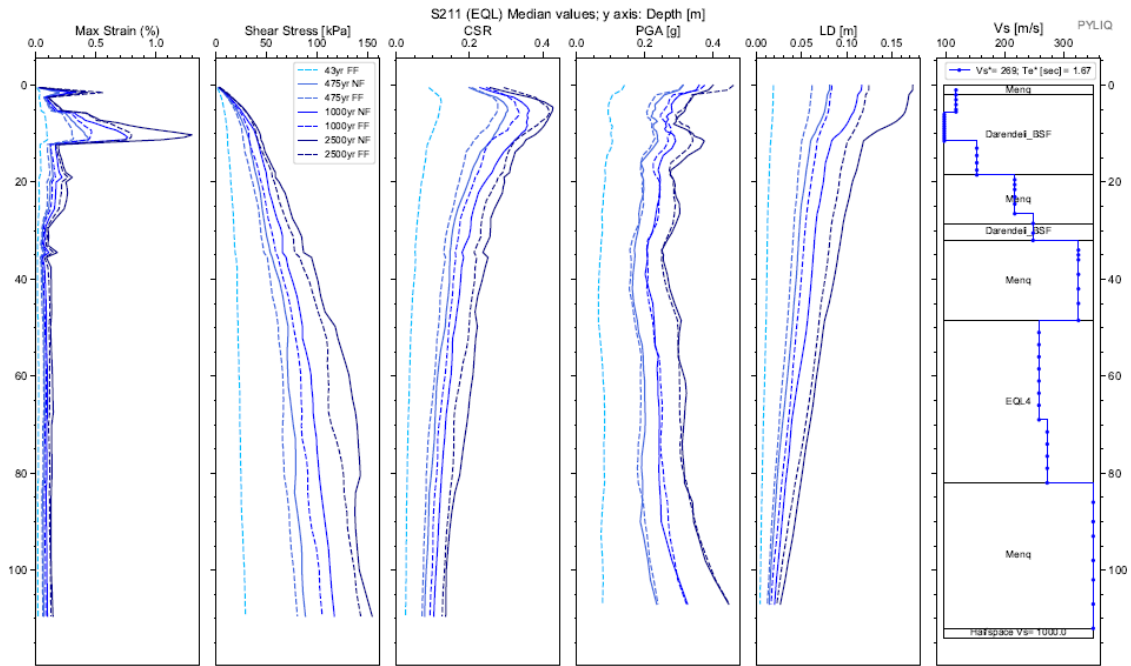
Apéndice 233. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S211



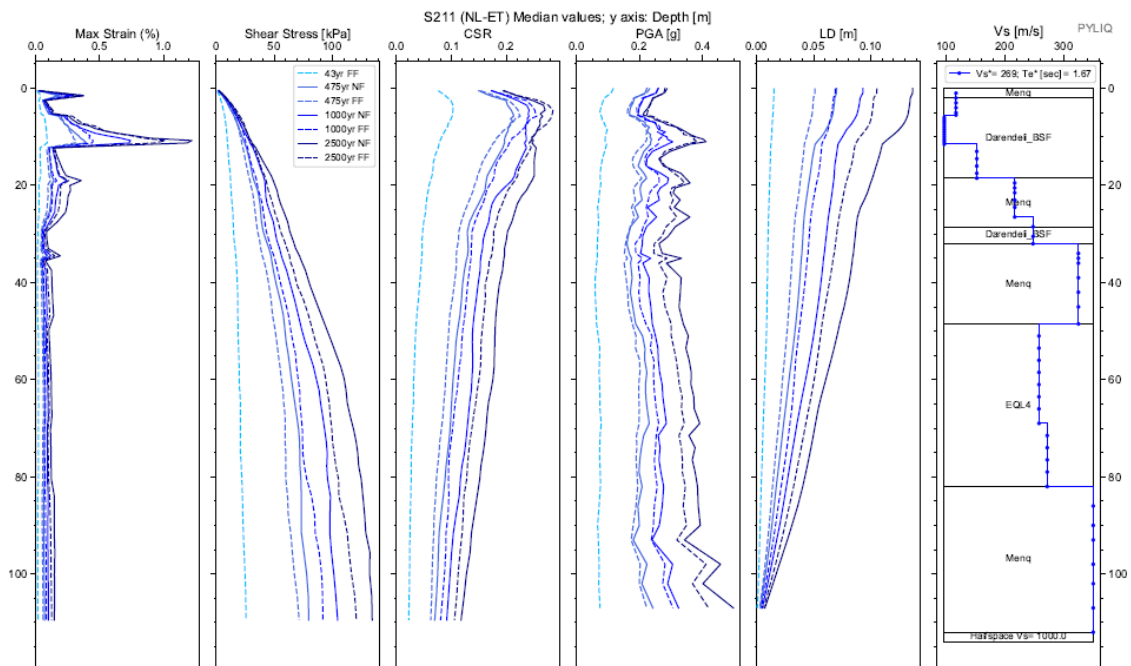
Apéndice 234. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S211 .



Apéndice 235. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S211 .



Apéndice 236. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S211



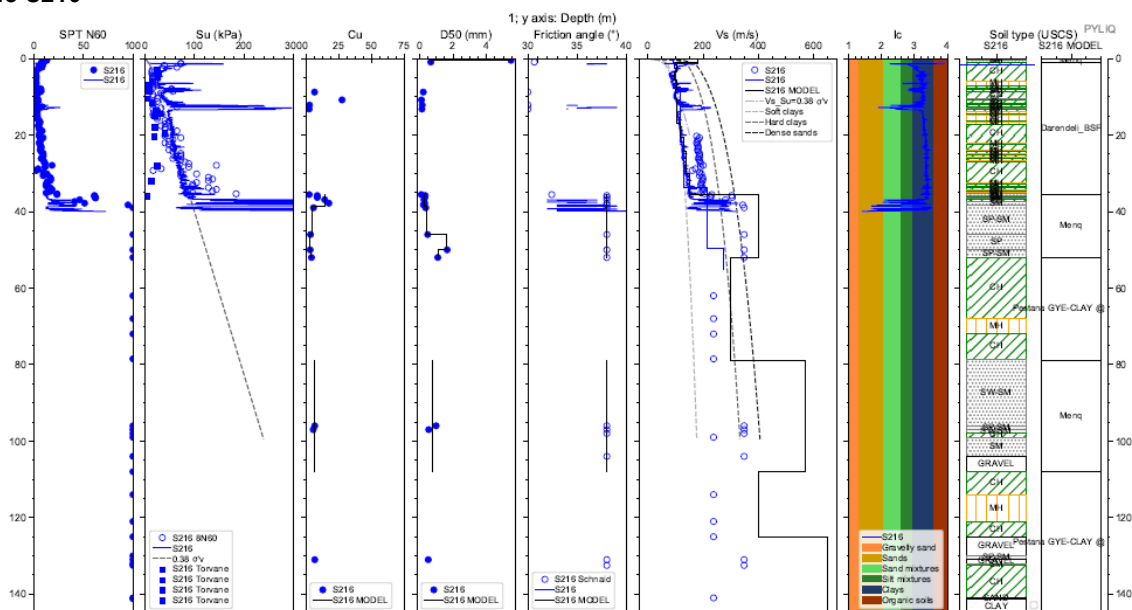
Apéndice 237. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S211

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	2,00	17,00	12,21	0,63	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	18,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	19,78	17,00	6,82	0,24	34,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	21,50	17,00	3,58	0,28	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	23,00	17,00	3,58	0,28	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Menq	24,50	17,00	2,81	0,31	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	28,50	17,00	2,30	0,25	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Darendeli_BSF	32,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT9	Menq	34,00	17,00	4,42	0,32	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT10	Menq	35,20	17,00	18,68	0,25	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT11	Menq	36,15	17,00	2,28	0,15	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT12	Menq	48,50	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT13	a GYE-CLAY @	82,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT14	Menq	112,00	17,00	4,54	0,22	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

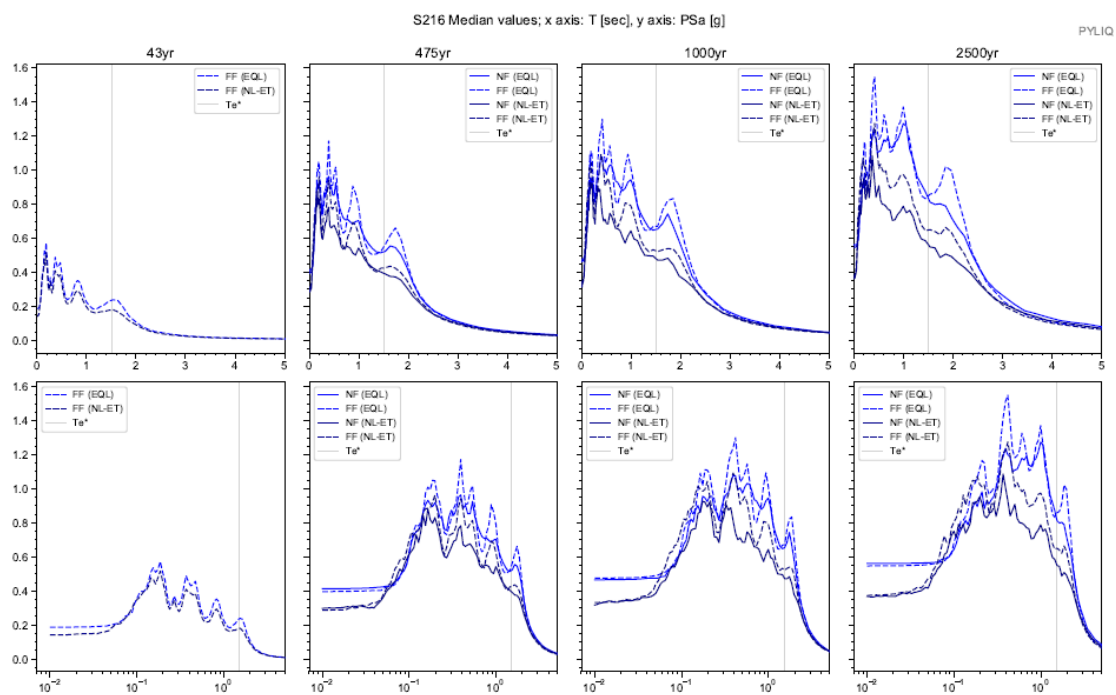
Depth (m.)	Vs (m/s)
5,5	117,5
11,5	97,5
18,5	152,6
26,5	217,0
32,0	248,0
48,5	325,0
69,0	258,0
82,0	272,0
93,0	350,0
102,0	350,0
112,0	350,0

Apéndice 238. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S211

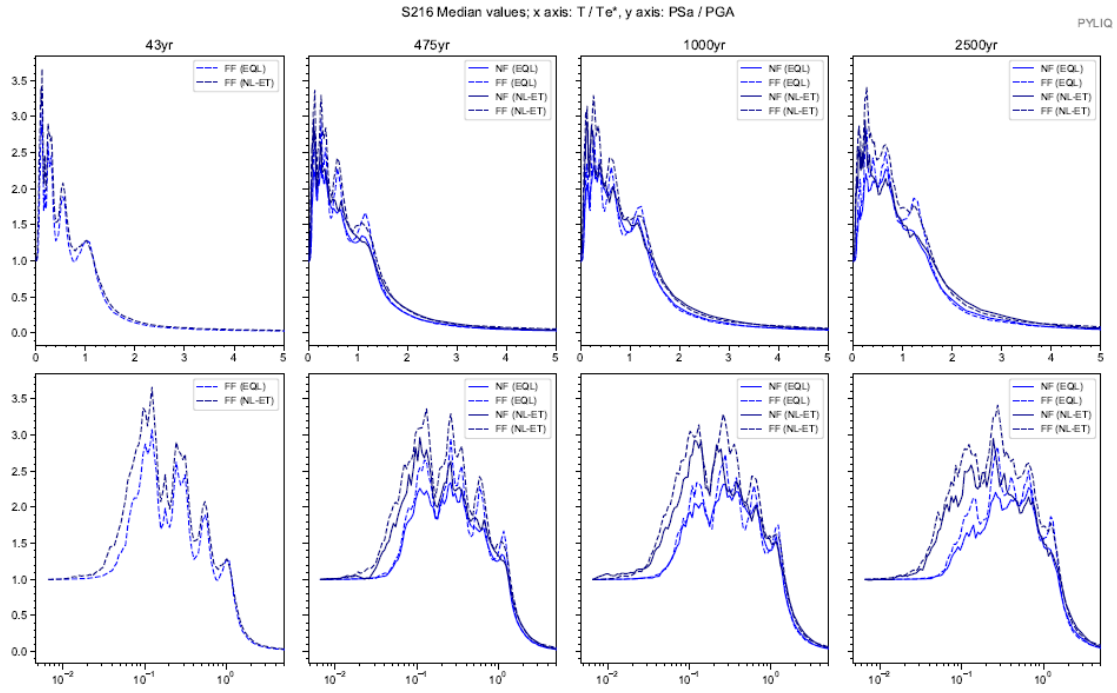
## Sitio S216



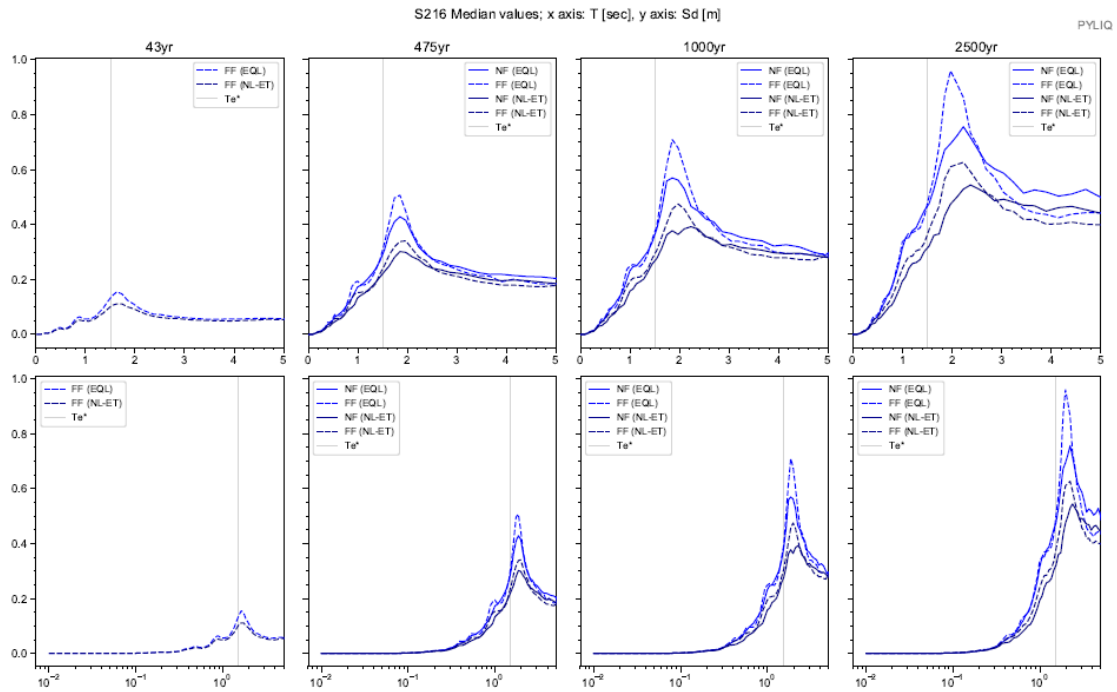
Apéndice 239. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S216



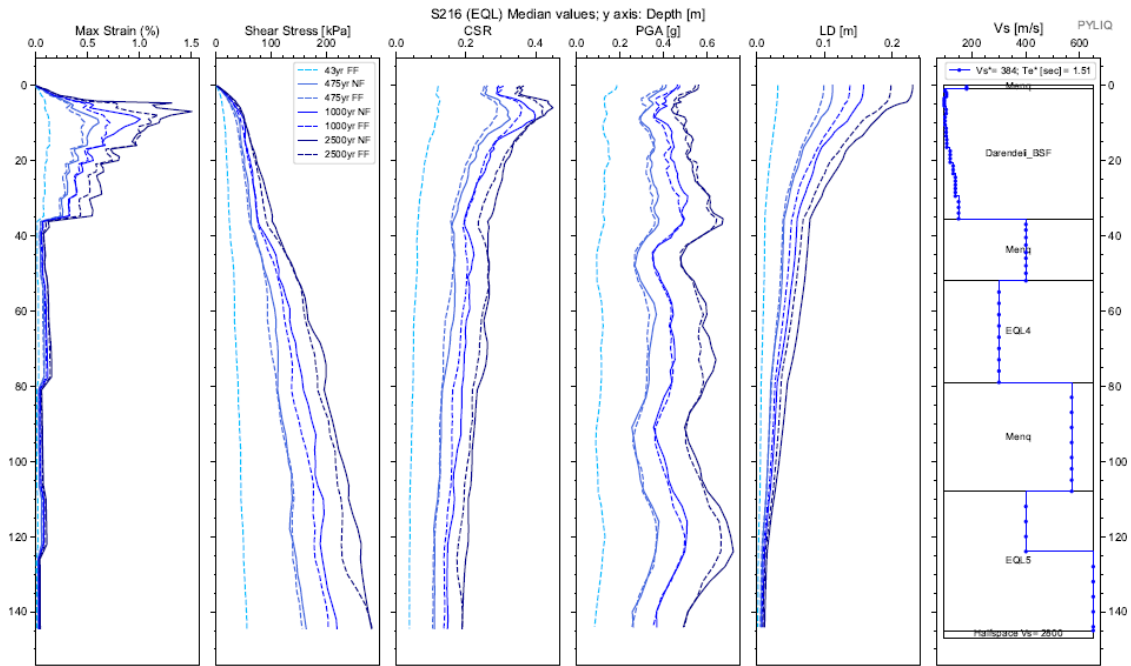
Apéndice 240. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S216



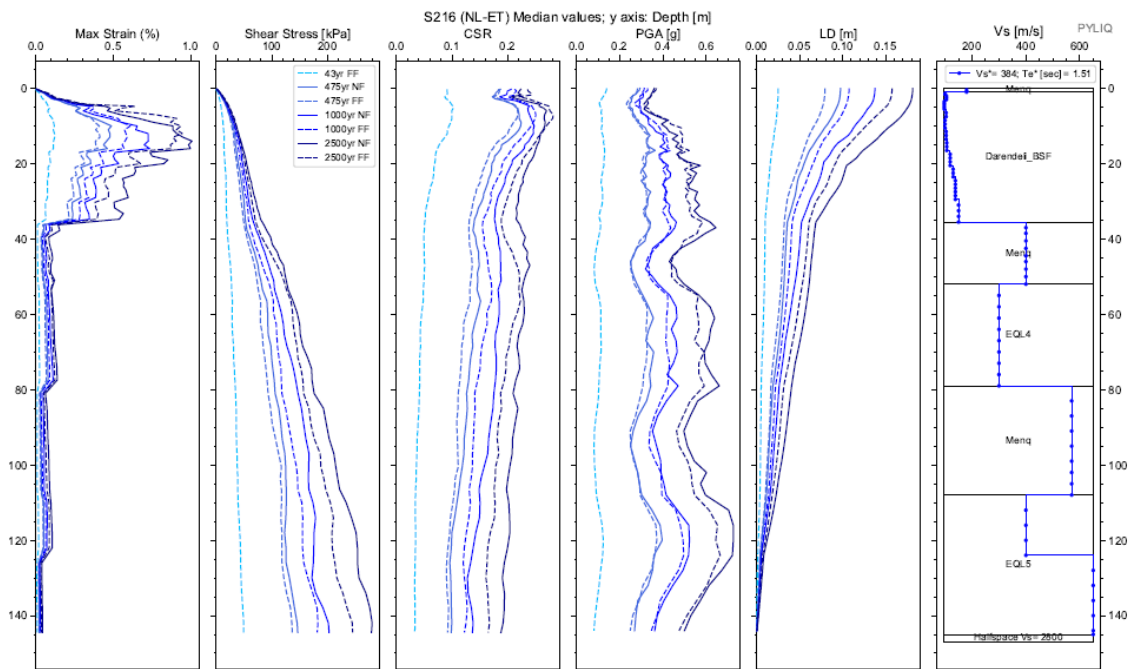
Apéndice 241. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S216 .



Apéndice 242. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S216 .



Apéndice 243. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S216



Apéndice 244. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S216

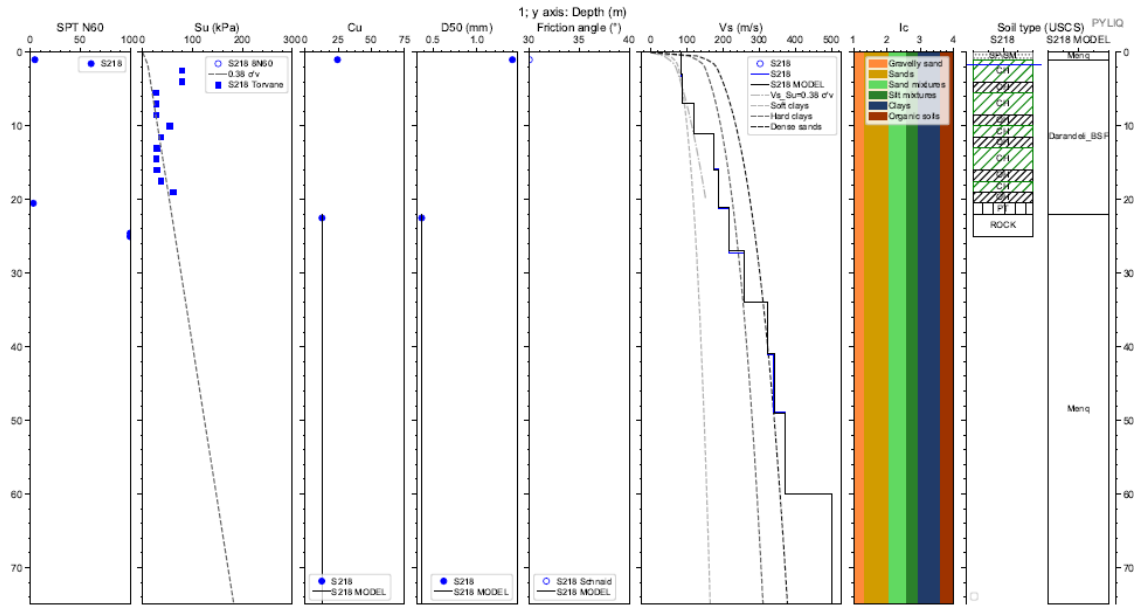


Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	0,50	18,00	50,00	5,46	31,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Menq	1,00	17,00	50,00	0,68	31,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darendeli_BSF	35,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	38,50	17,00	14,59	0,29	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	46,00	17,00	4,79	0,43	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Menq	50,00	17,00	3,36	1,65	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	52,00	17,00	4,37	1,10	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	a GYE-CLAY @	79,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT9	Menq	99,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT10	Menq	108,00	17,00	6,27	0,78	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT11	a GYE-CLAY @	145,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00							2800

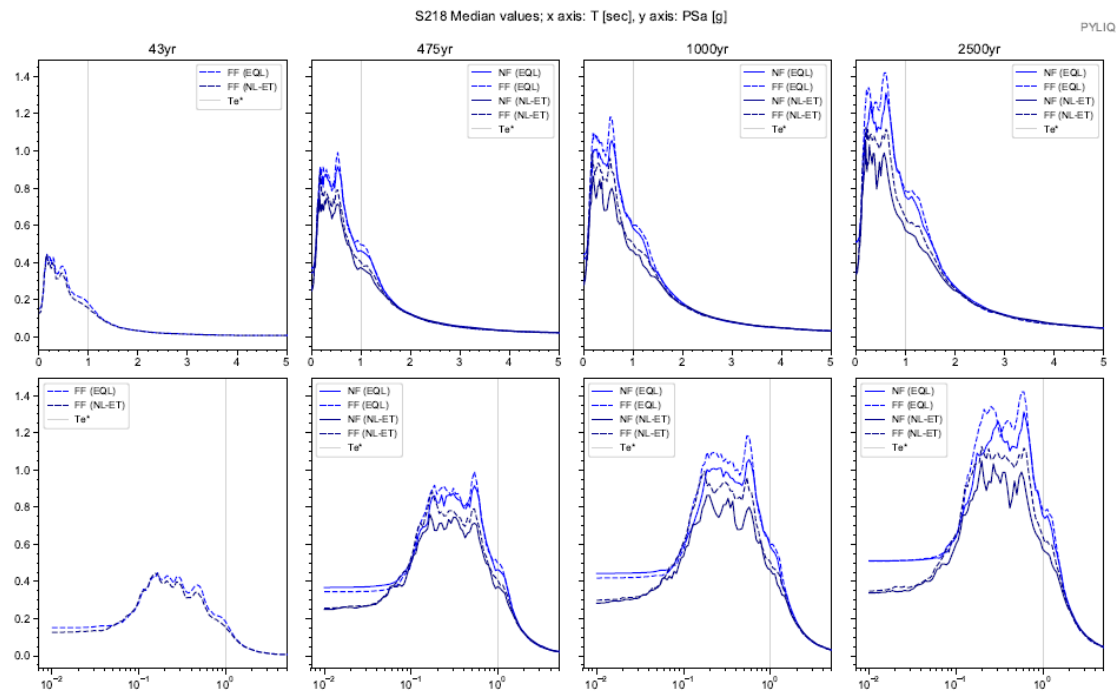
Depth (m.)	Vs (m/s)
1,0	180,0
1,7	100,0
3,5	105,0
5,5	97,0
8,0	104,0
10,7	100,0
13,7	104,0
17,0	106,0
20,6	119,0
24,4	130,0
30,0	138,0
35,5	150,0
52,0	400,0
79,0	300,0
108,0	570,0
125,0	400,0
145,0	650,0

Apéndice 245. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S216

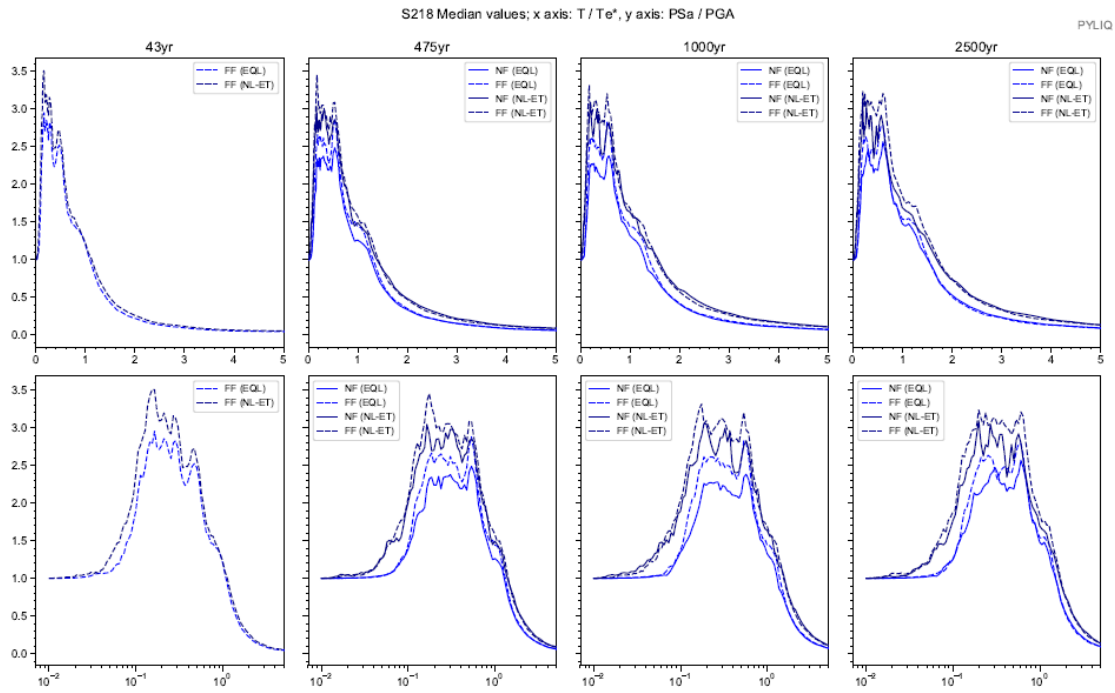
# Sitio S218



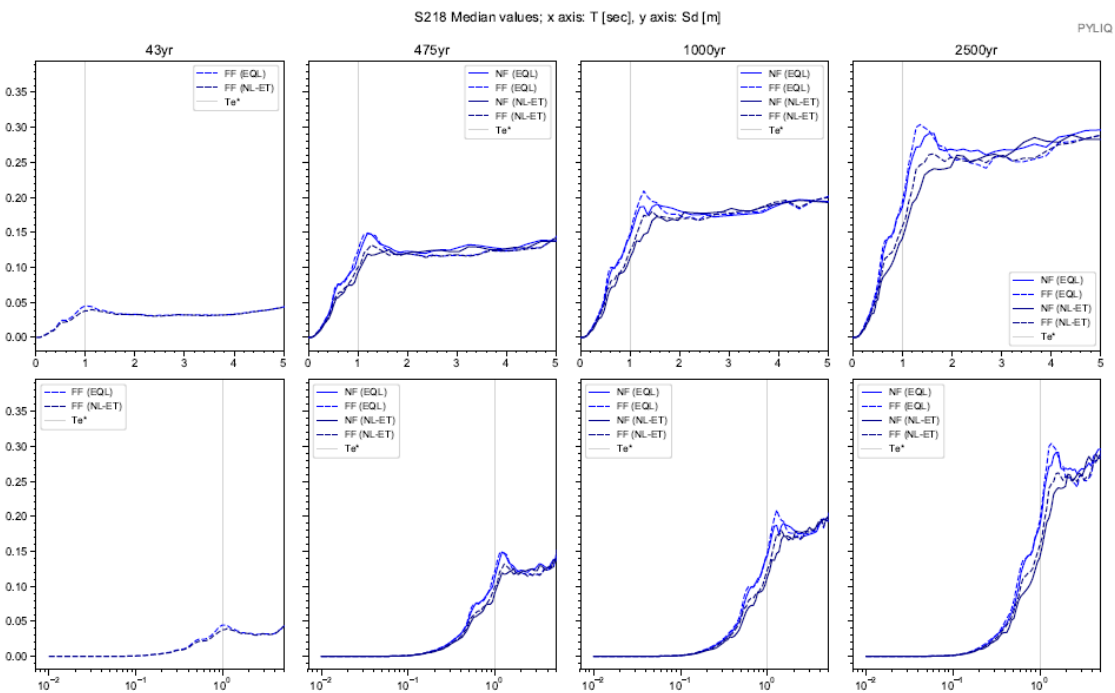
Apéndice 246. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S218



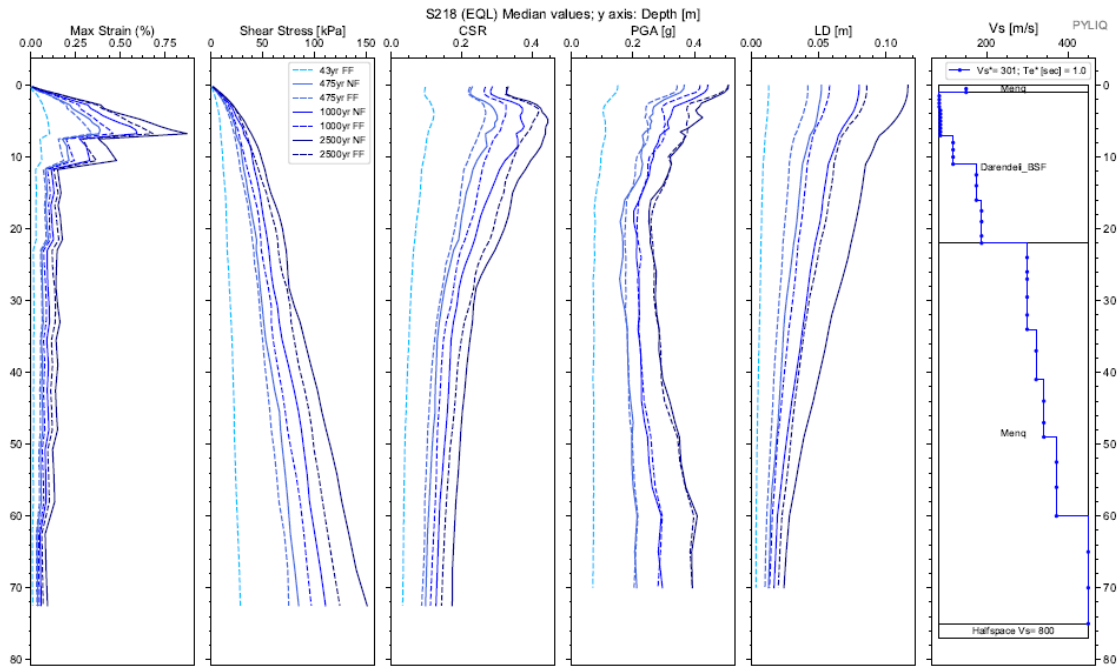
Apéndice 247. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S218



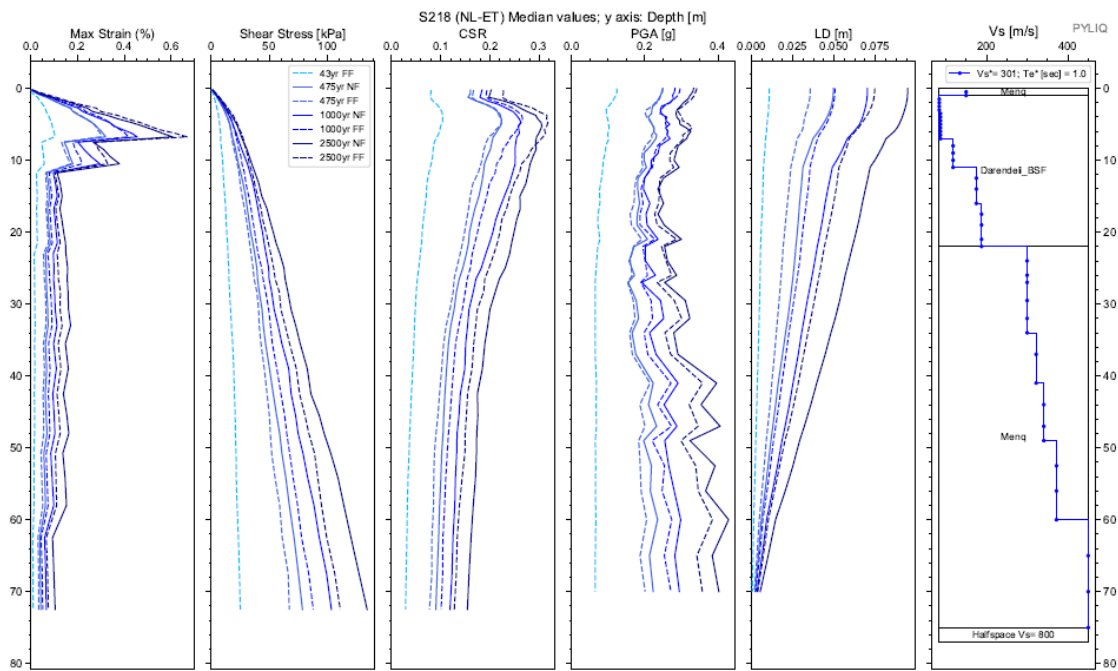
Apéndice 248. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S218 .



Apéndice 249. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S218 .



Apéndice 250. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S218



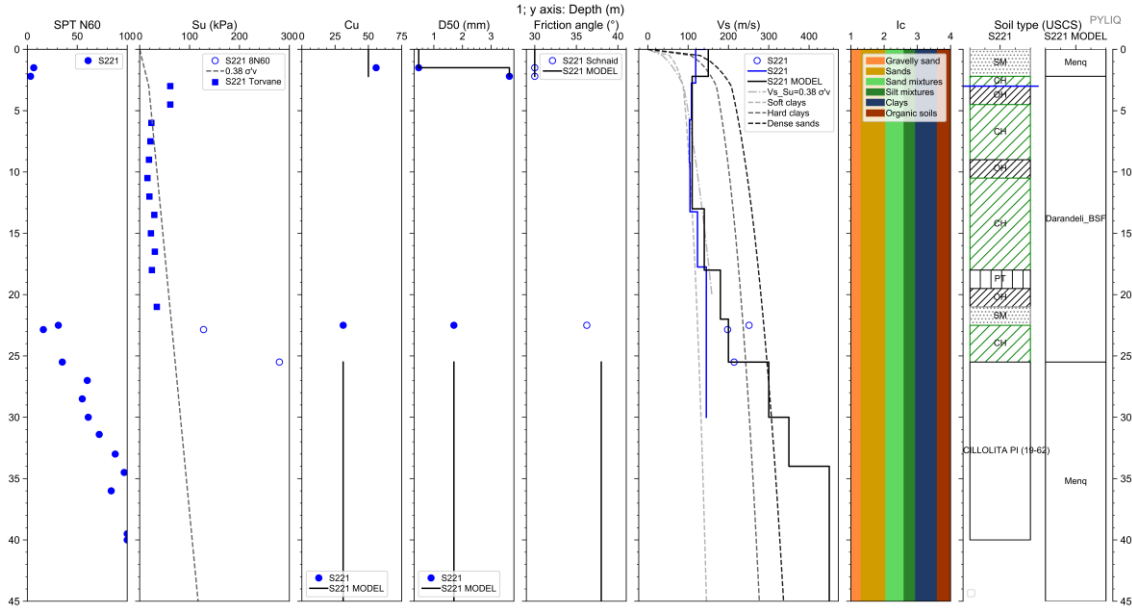
Apéndice 251. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S218

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,00	17,00	24,52	1,40	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	22,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	75,00	18,00	12,88	0,37	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

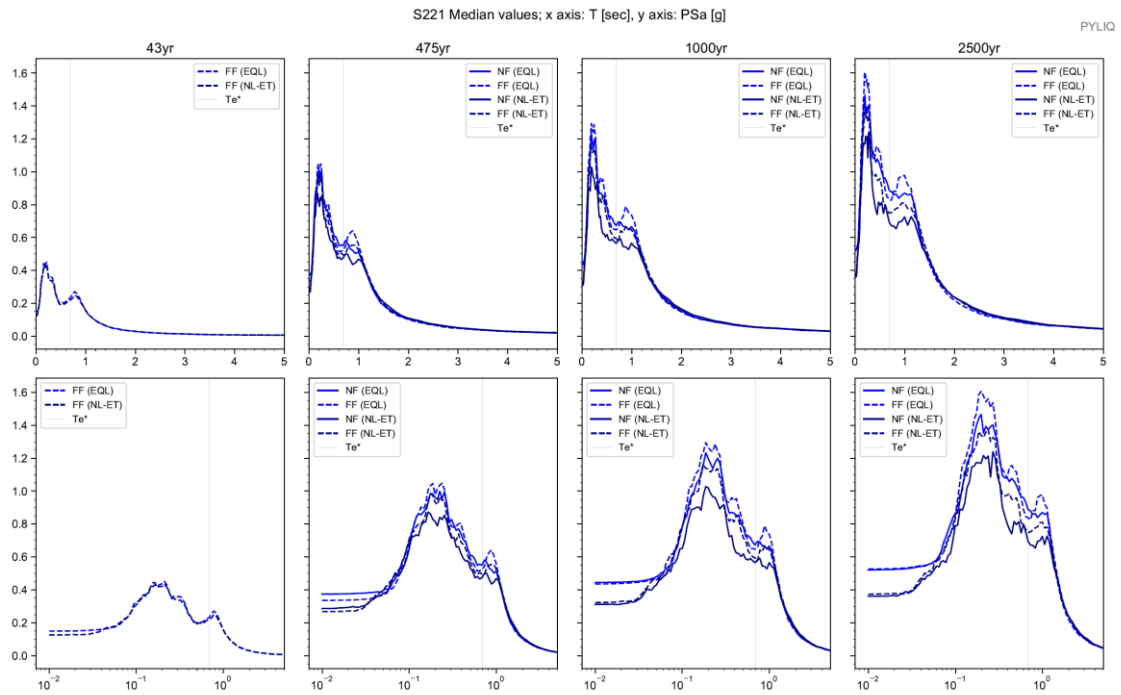
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	150,0
1,0	150,0
3,0	84,0
7,0	87,0
11,0	118,0
16,0	175,0
22,0	188,0
34,0	300,0
41,0	322,0
49,0	341,0
60,0	372,0
75,0	450,0

Apéndice 252. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S218

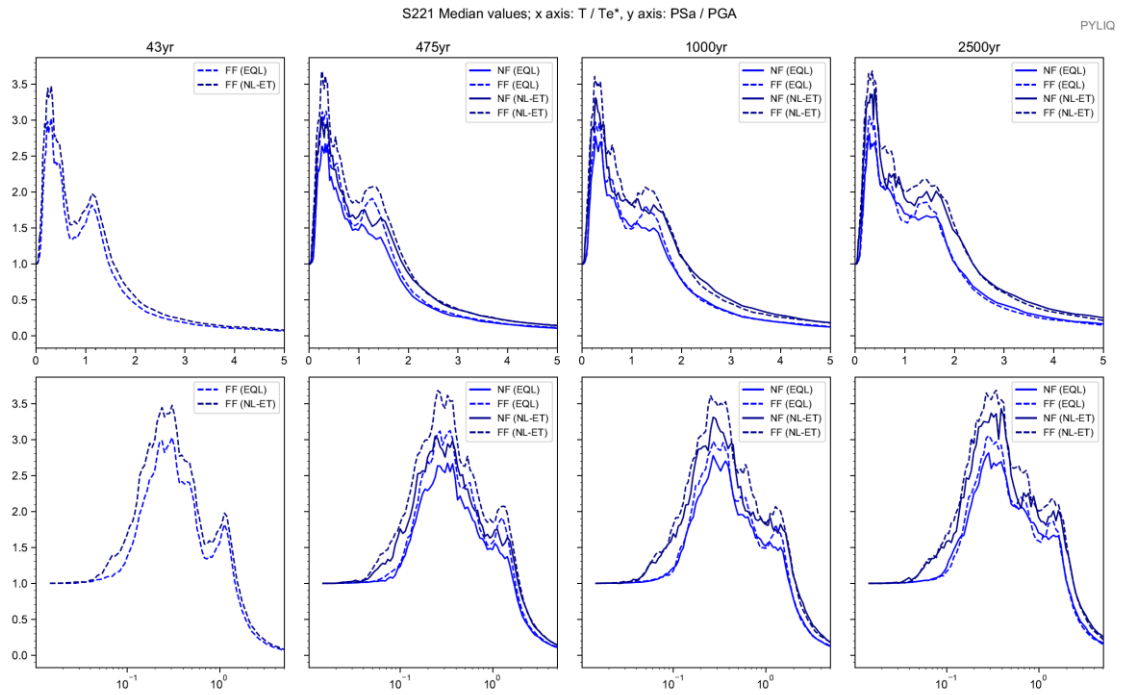
# Sitio S221



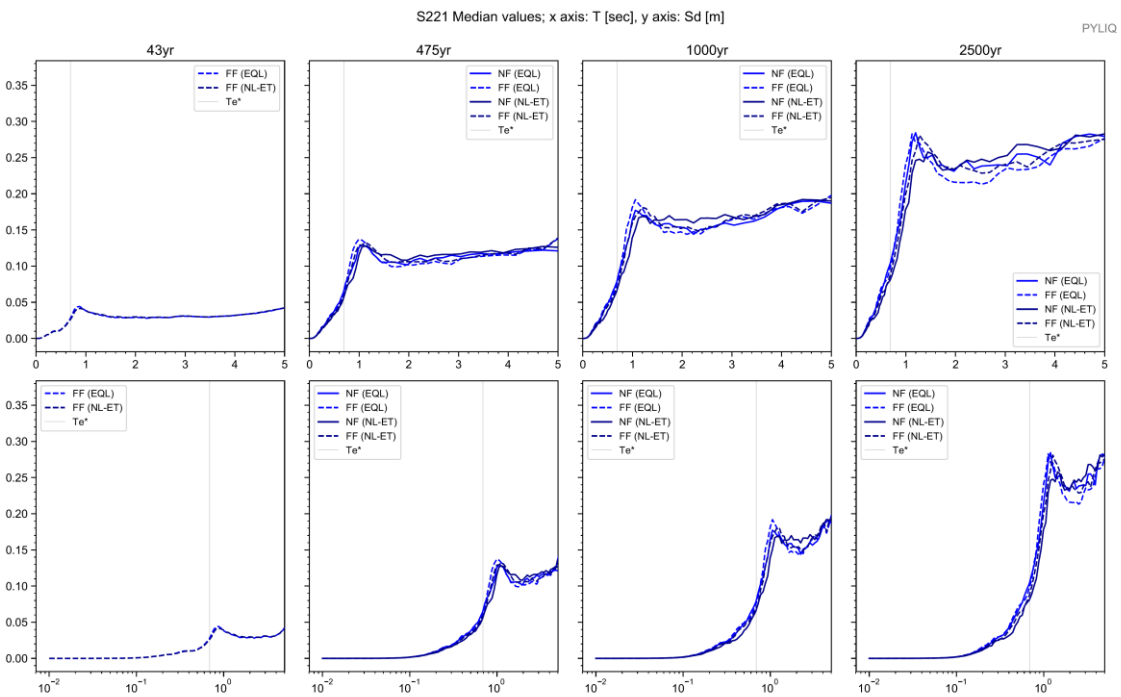
Apéndice 253. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S221



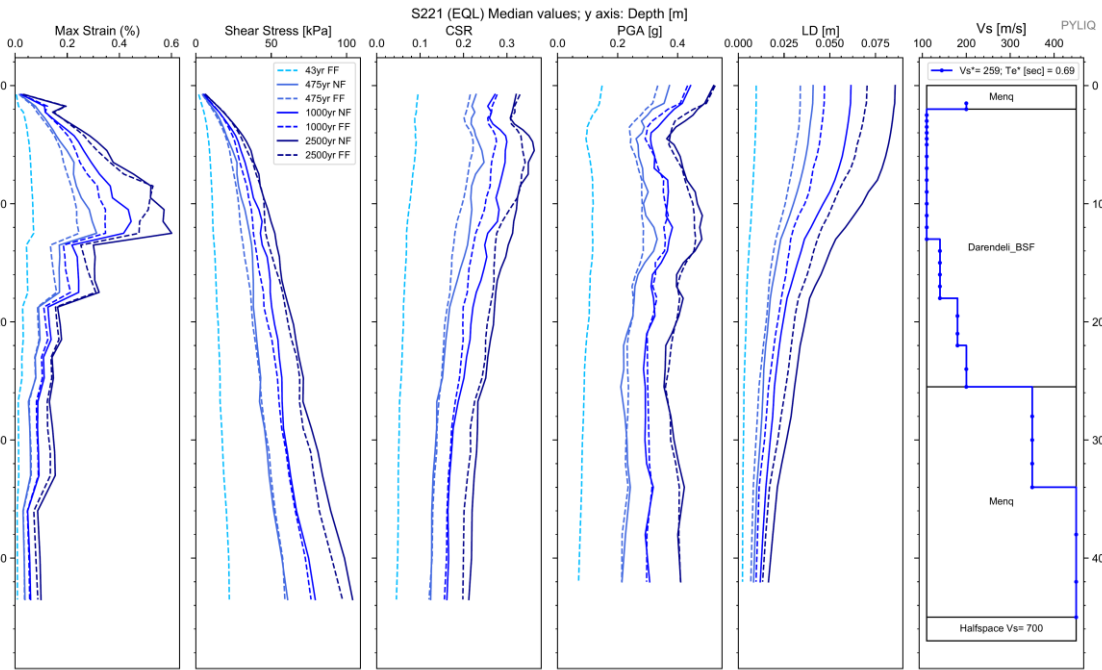
Apéndice 254. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S221



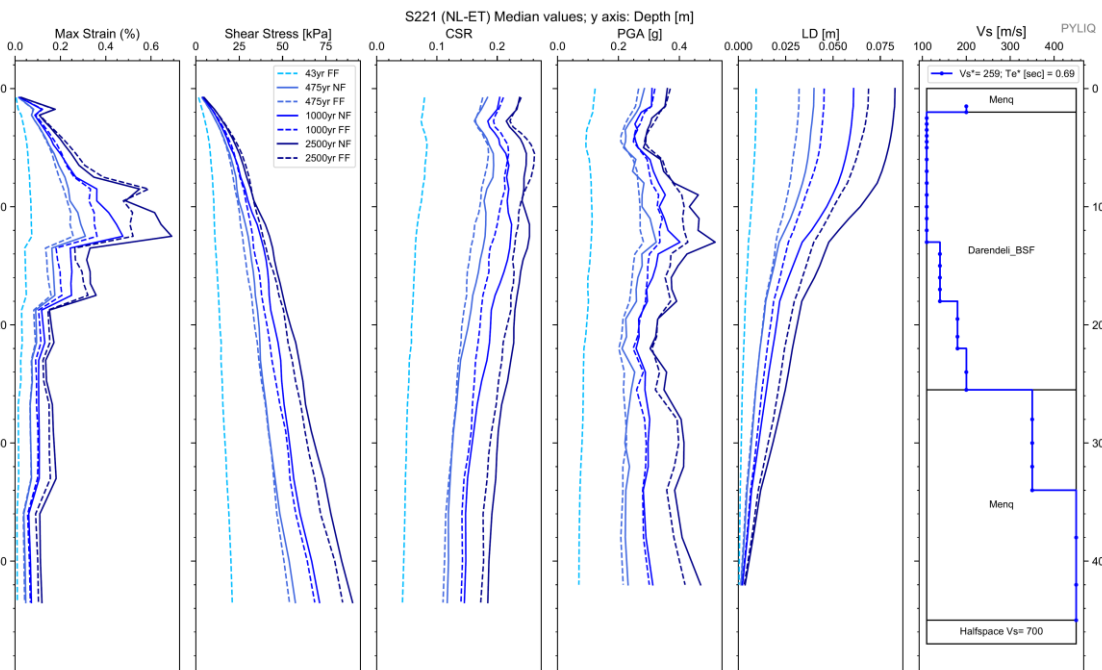
Apéndice 255. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S221 .



Apéndice 256. Espectros elásticos de respuesta de deformación (S<sub>d</sub>) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S221 .



Apéndice 257. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S221



Apéndice 258. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S221



Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,50	17,00	50,00	0,47	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Menq	2,00	17,00	50,00	3,64	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darendeli_BSF	25,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	45,00	17,00	31,07	1,70	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,0	200,0
13,0	110,0
18,0	140,0
22,0	180,0
25,5	200,0
34,0	350,0
45,0	450,0

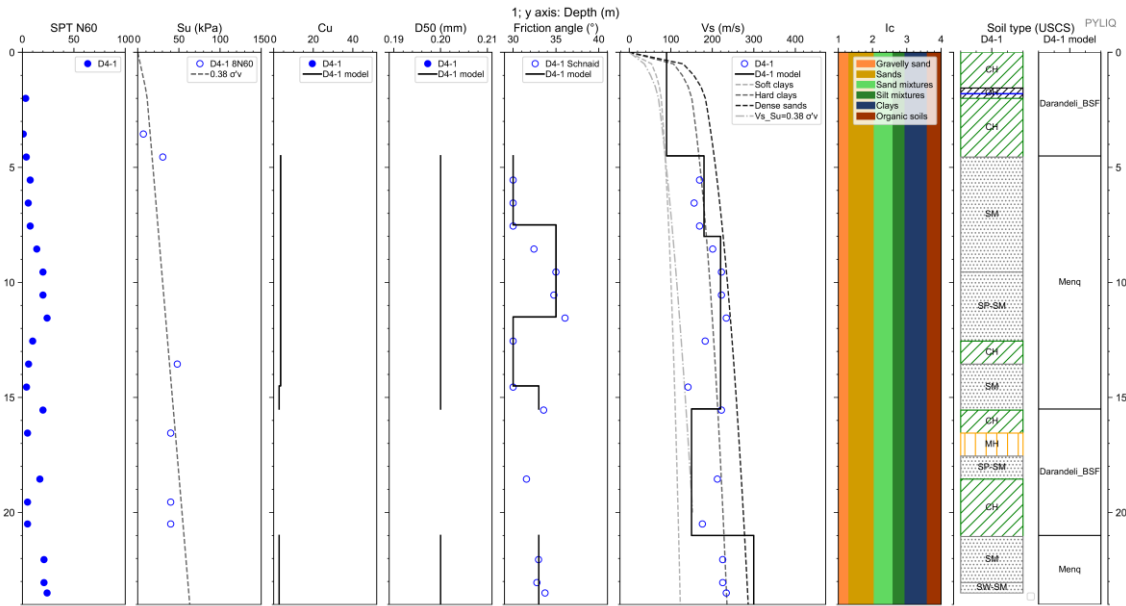
Apéndice 259. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S221

## **Zona D4**

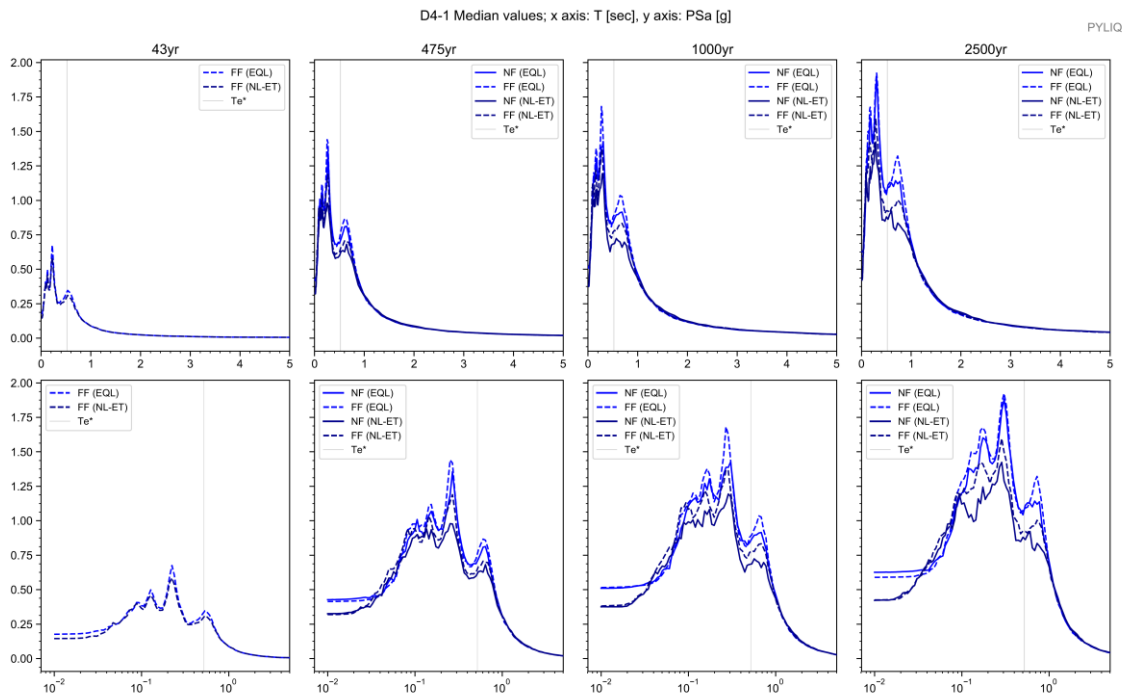
### **Incluye los Sitios:**

- **SITE D4-1**
- **SITE D4-2**
- **SITE D4-3**
- **SITE 219ECU**
- **SITE 217ECU**
- **Paso Elevado Fco. Orellana**
- **Estación Bomb. Progreso**
- **Edif. The Point**
- **Estación Tratamiento Merinos**

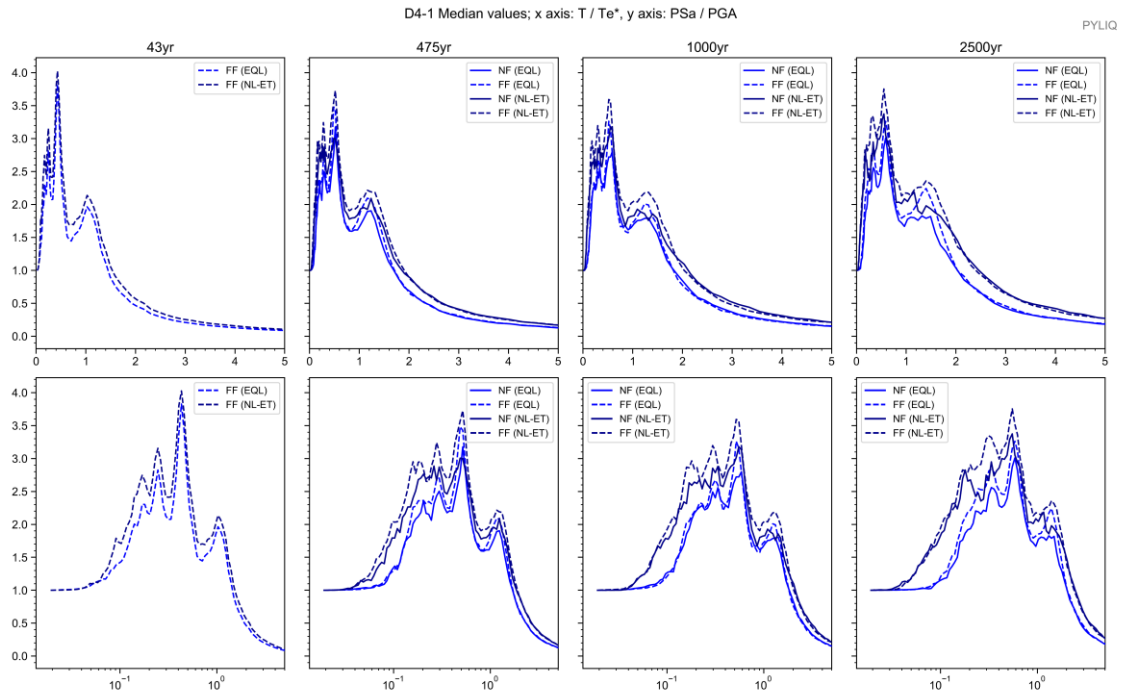
### Sitio D4-1



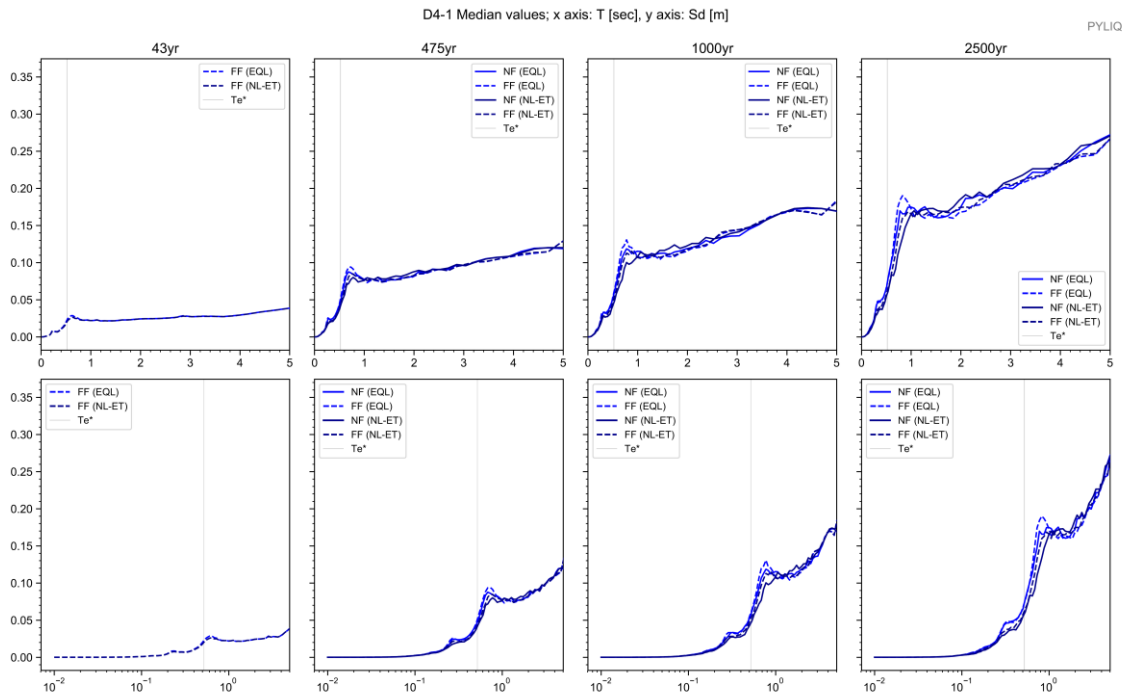
Apéndice 260. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D4-1



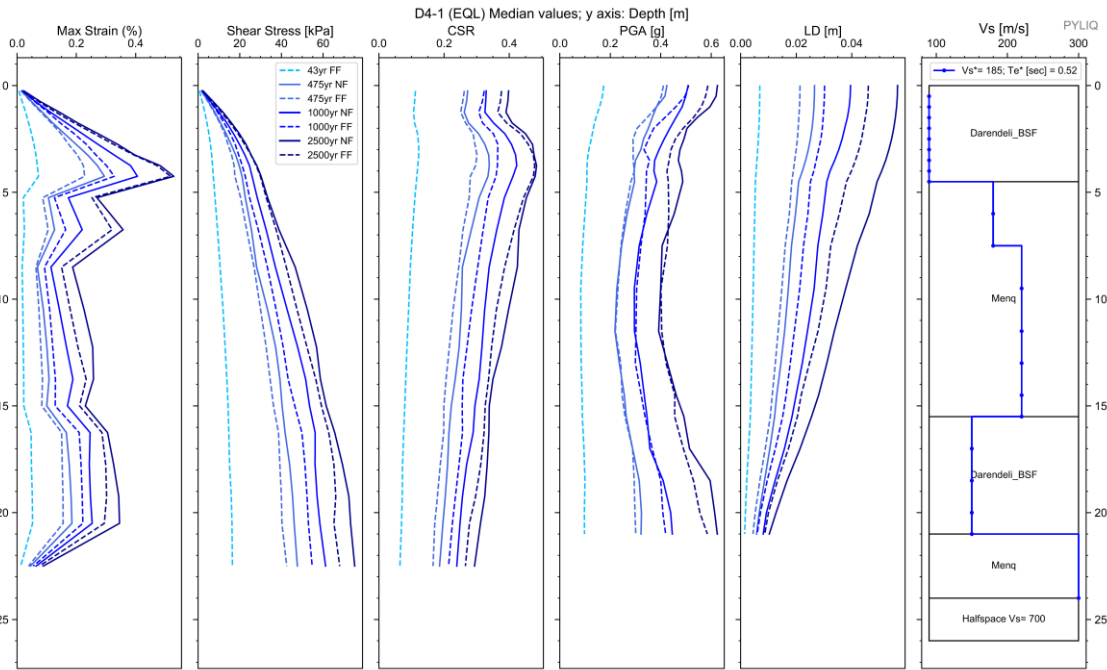
Apéndice 261. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D4-1



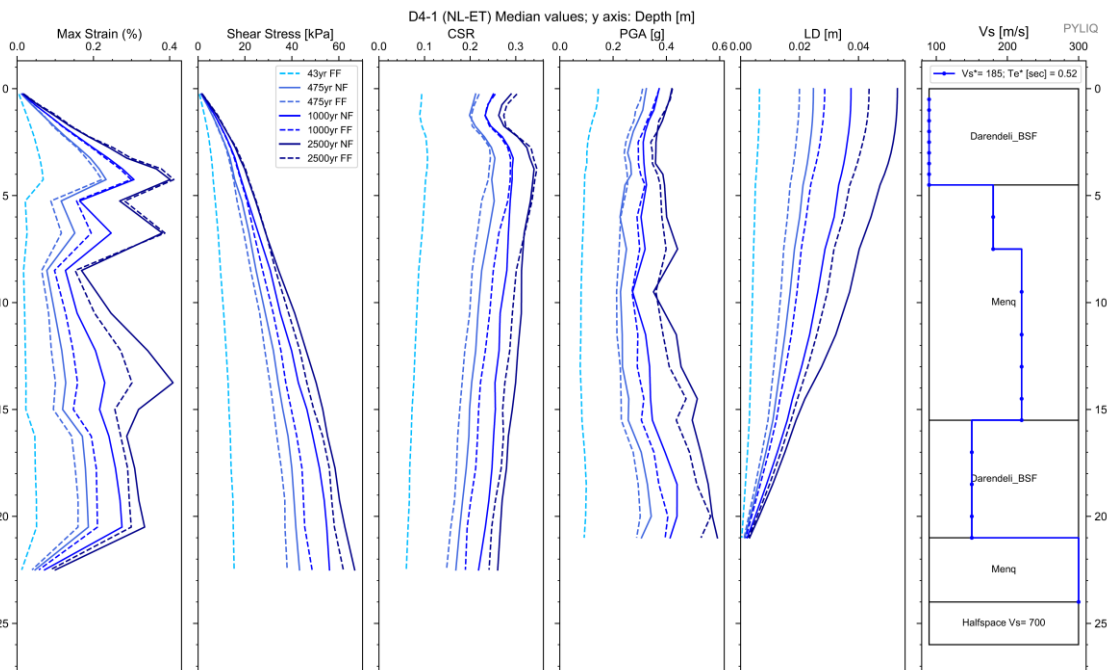
Apéndice 262. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D4-1 .



Apéndice 263. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D4-1 .



Apéndice 264. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D4-1



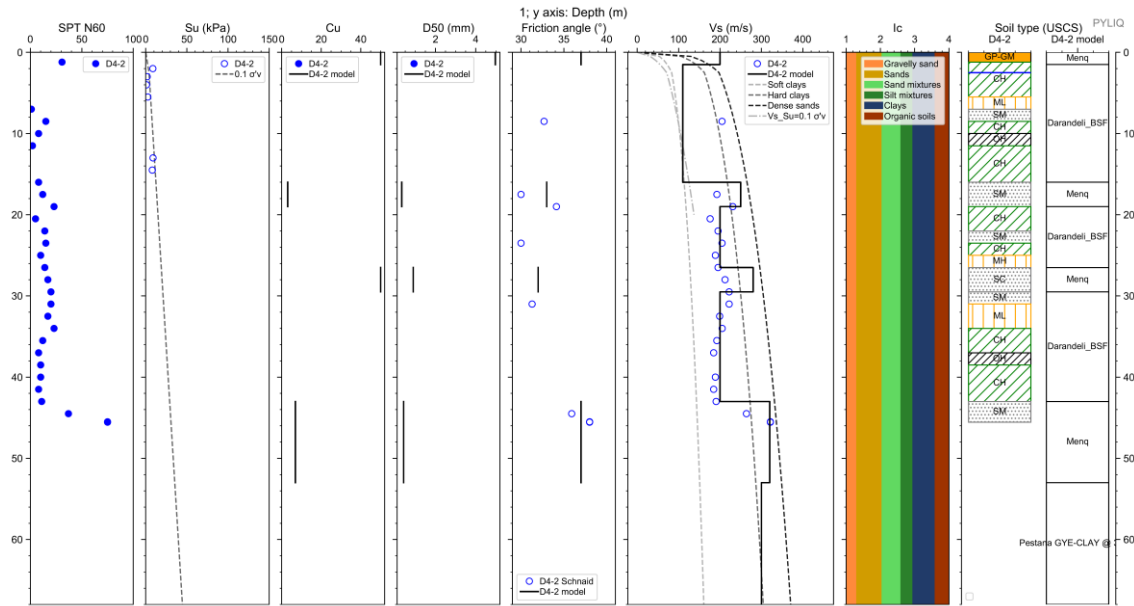
Apéndice 265. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D4-1

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	4,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	7,50	17,00	3,47	0,20	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Menq	11,50	17,00	3,47	0,20	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	14,50	17,00	3,47	0,20	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	15,50	17,00	2,71	0,20	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darendeli_BSF	21,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	24,00	17,00	2,71	0,20	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

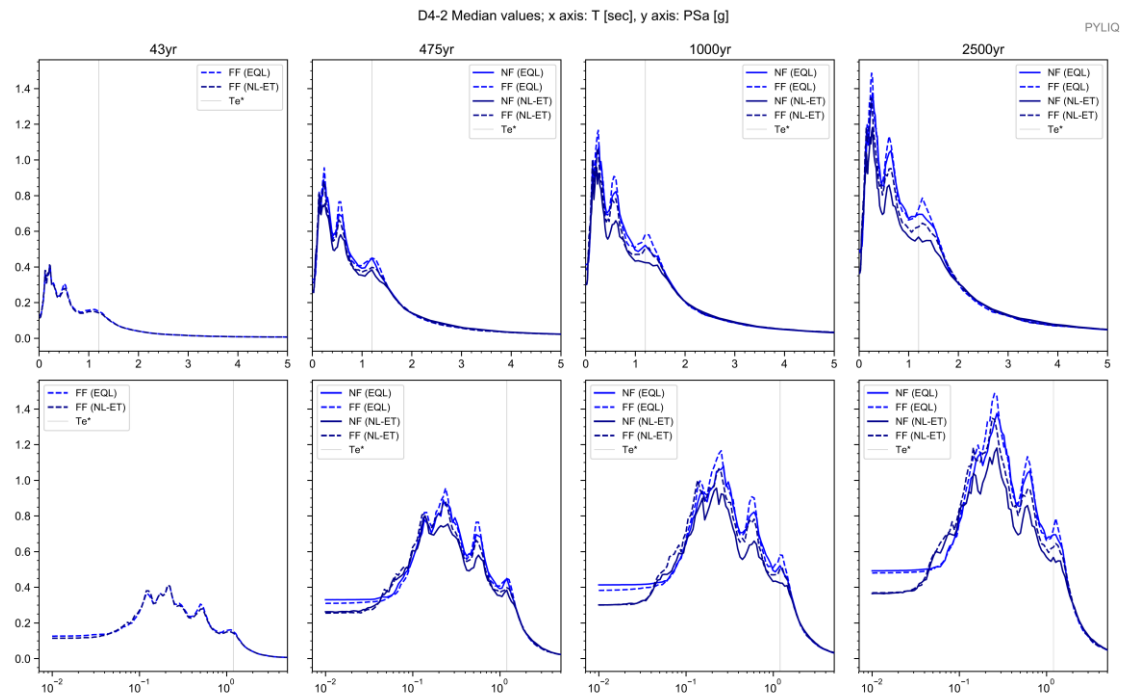
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	90,0
4,5	90,0
7,5	180,0
15,5	220,0
21,0	150,0
24,0	300,0

Apéndice 266. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D4-1

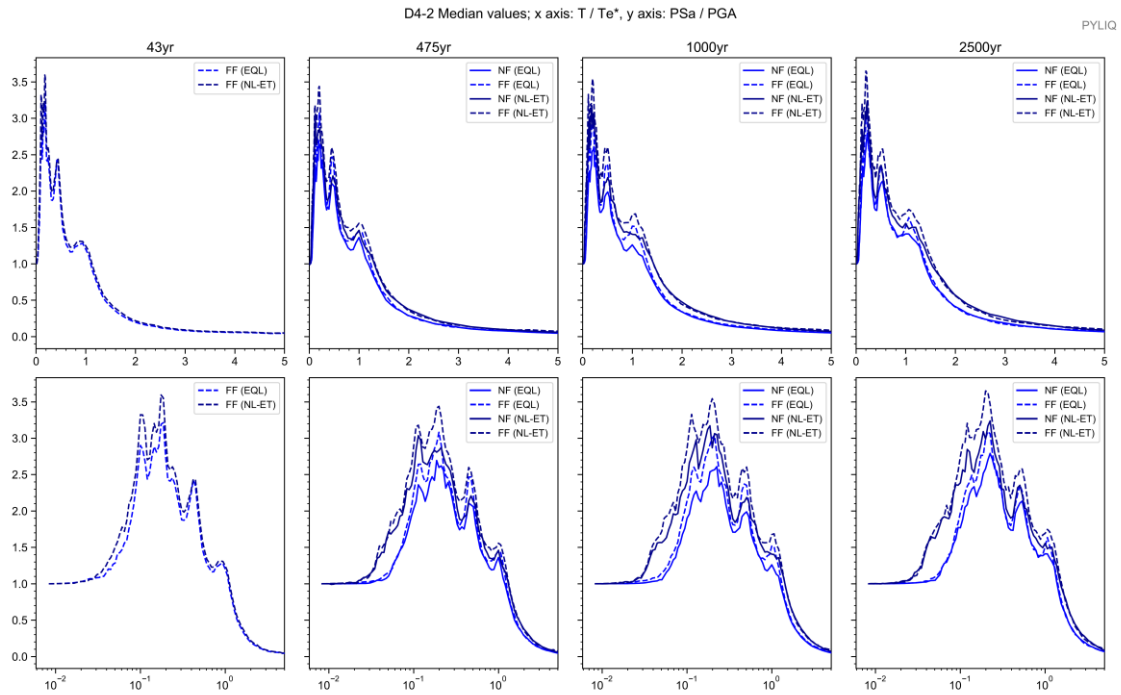
### Sitio D4-2



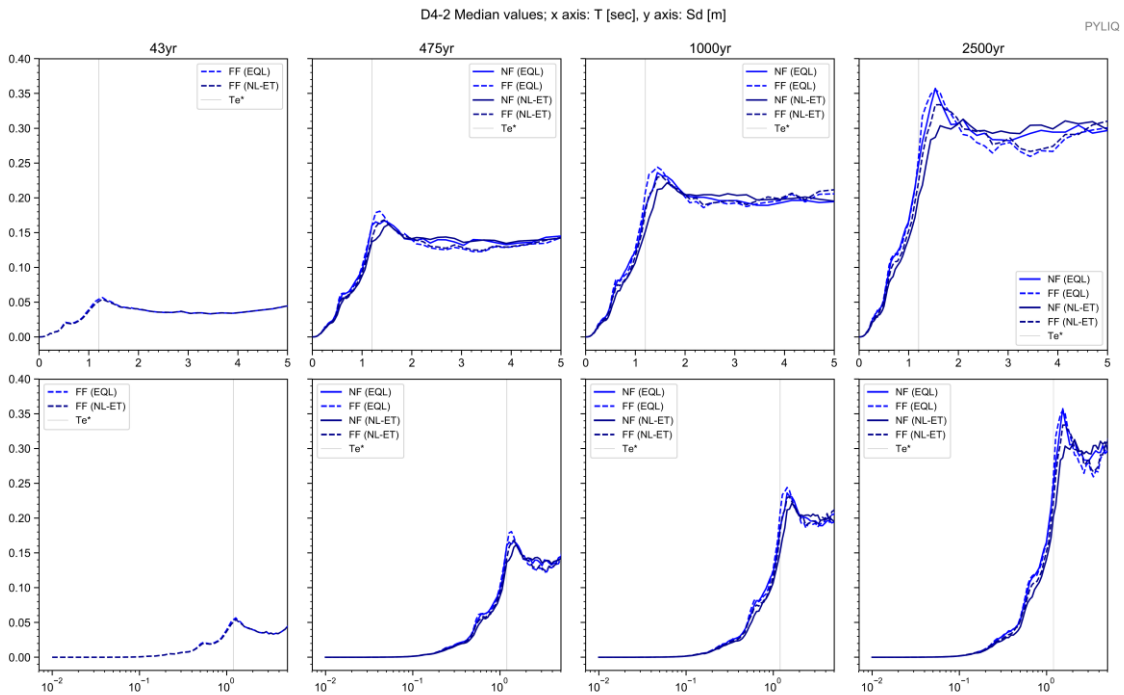
Apéndice 267. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D4-2



Apéndice 268. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D4-2

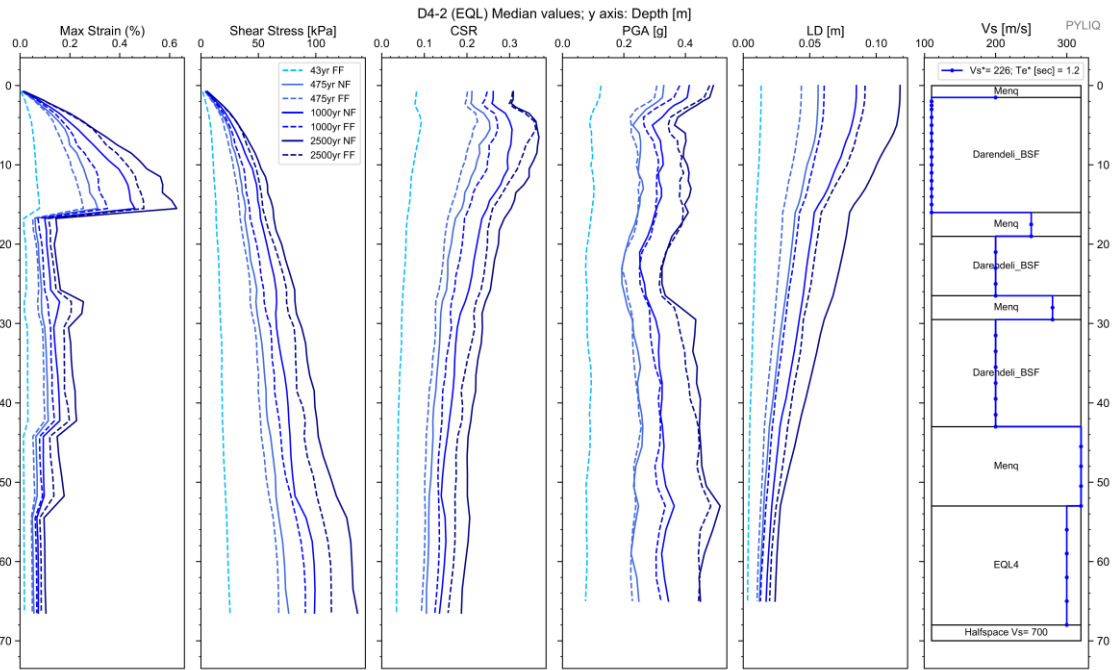


Apéndice 269. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D4-2 .

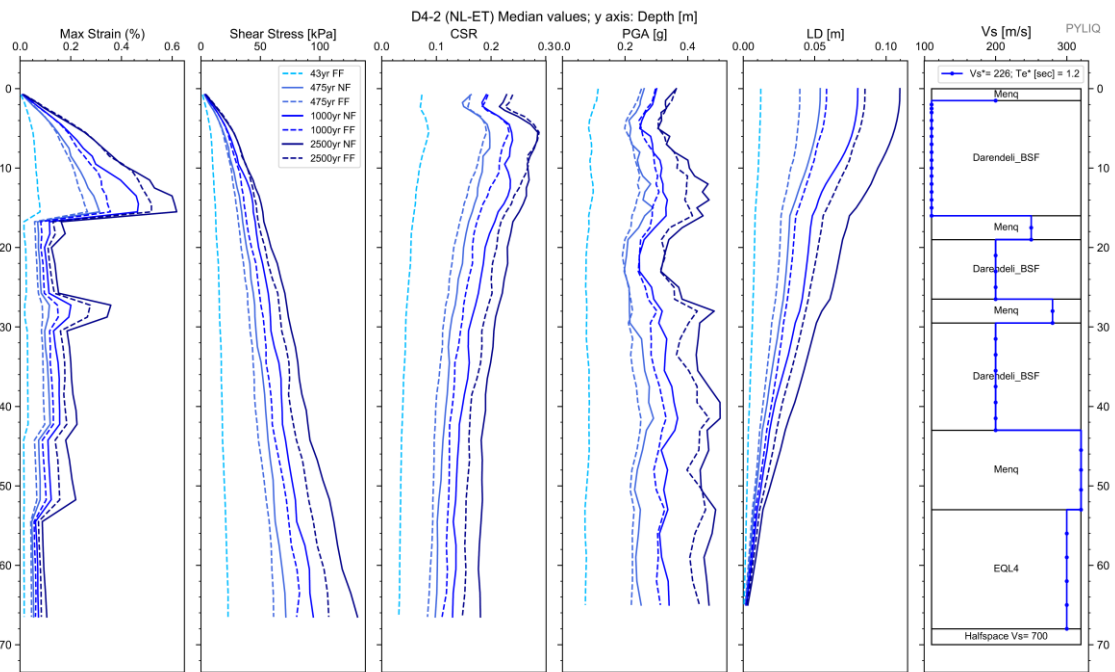


Apéndice 270. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D4-2 .





Apéndice 271. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D4-2



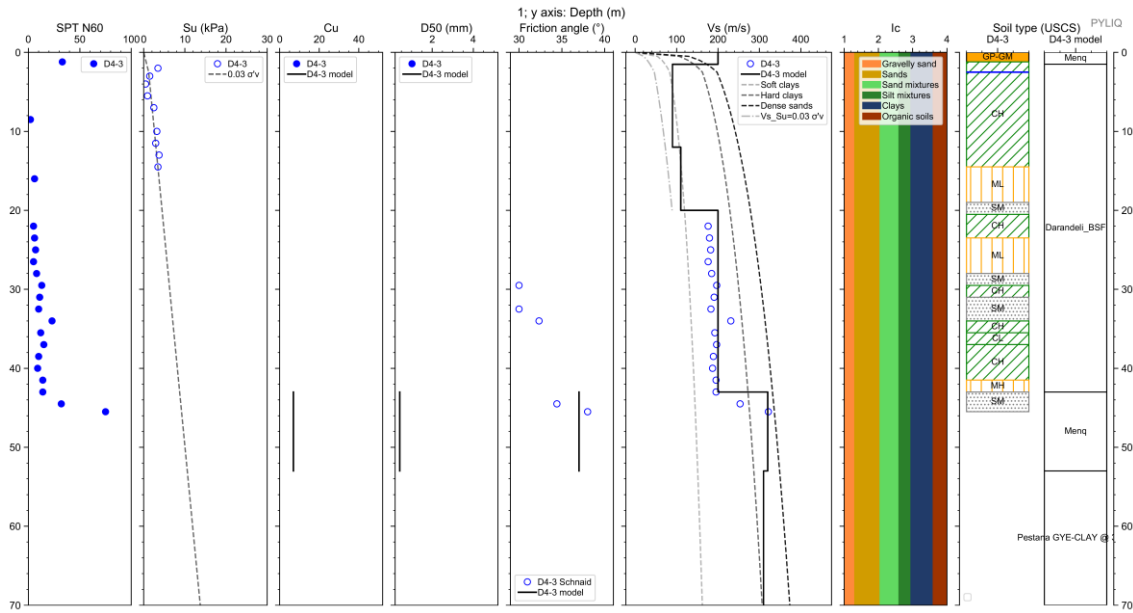
Apéndice 272. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D4-2

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,50	16,00	10,00	4,97	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	16,00	17,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	19,00	17,00	3,02	0,33	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Darendeli_BSF	26,50	17,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	29,50	17,00	10,00	0,90	32,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darendeli_BSF	43,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	53,00	17,00	6,90	0,42	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	EQL4	68,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
SEMIESPACIO			21,00							700

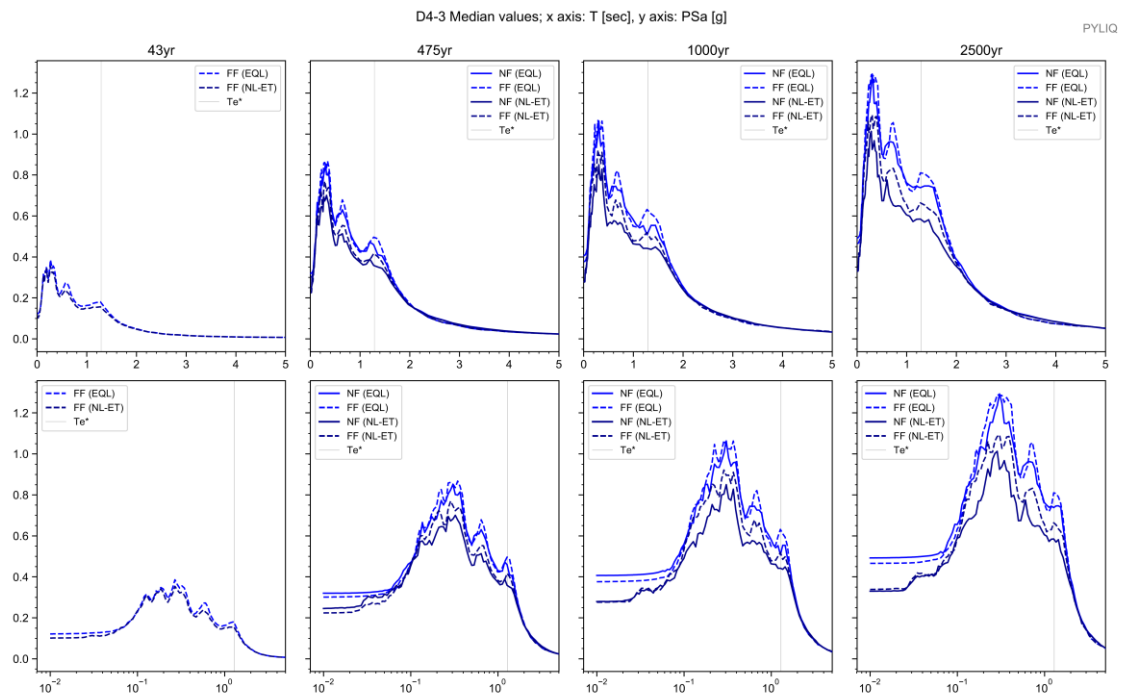
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
1,5	200,0
16,0	110,0
19,0	250,0
26,5	200,0
29,5	280,0
43,0	200,0
53,0	320,0
68,0	300,0

Apéndice 273. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D4-2

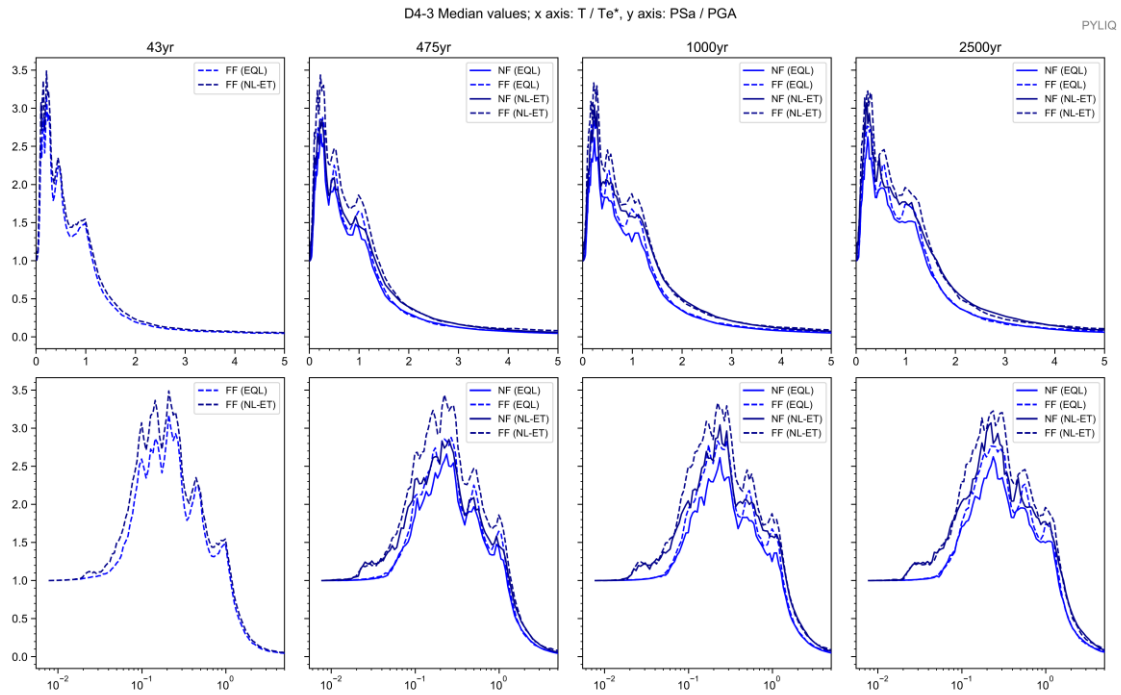
### Sitio D4-3



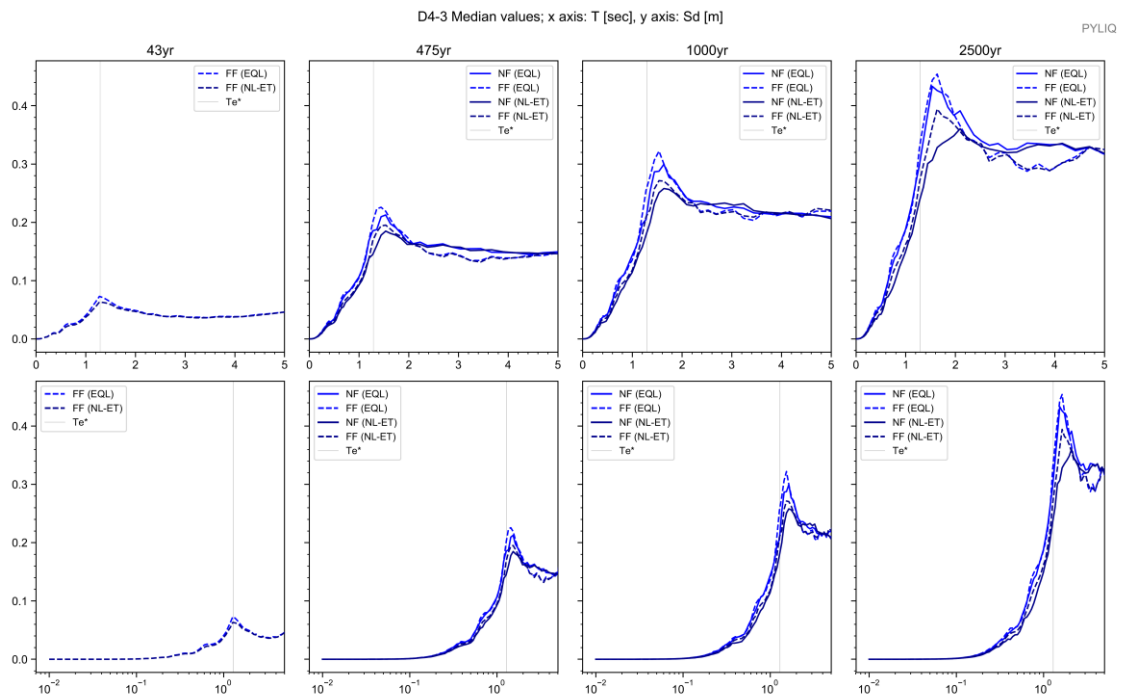
Apéndice 274. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D4-3



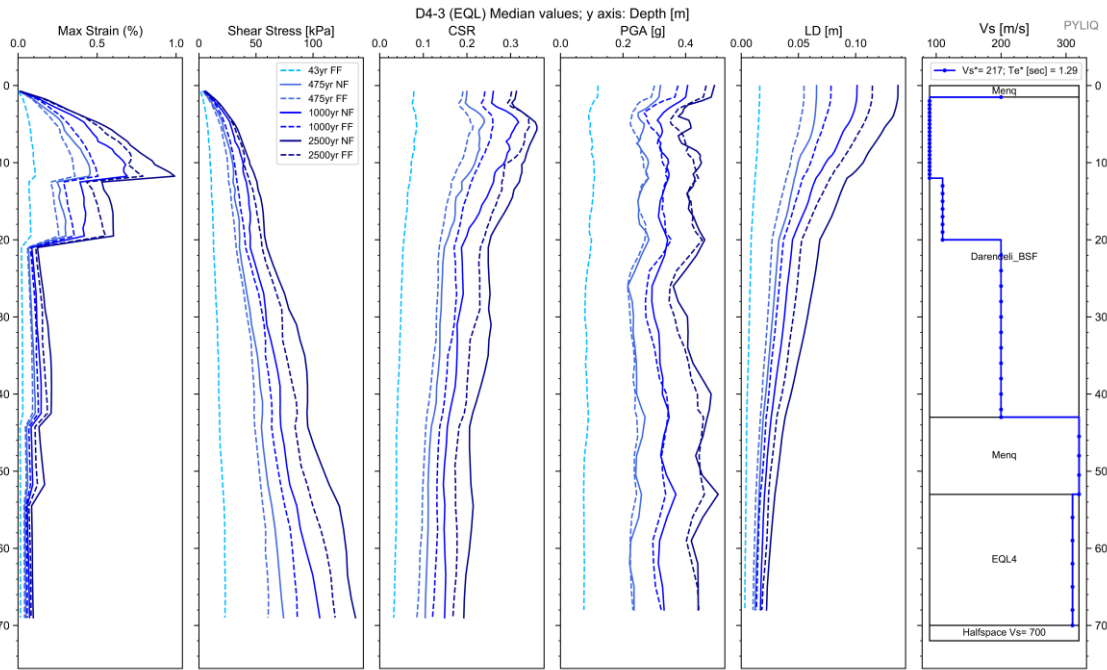
Apéndice 275. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D4-3



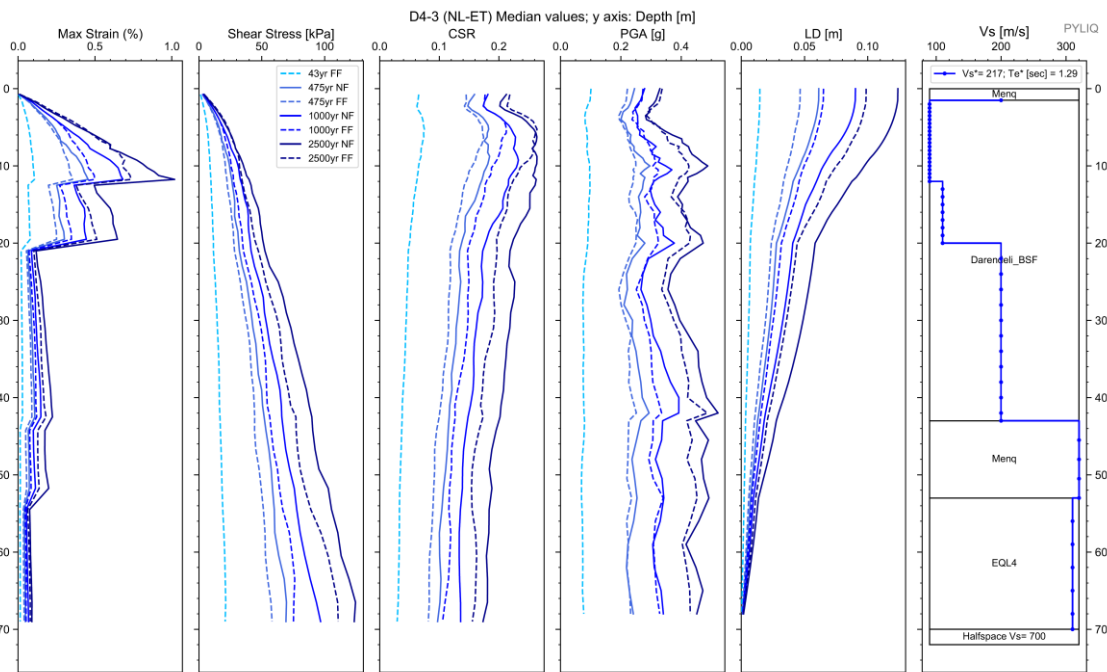
Apéndice 276. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D4-3 .



Apéndice 277. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D4-3 .



Apéndice 278. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D4-3



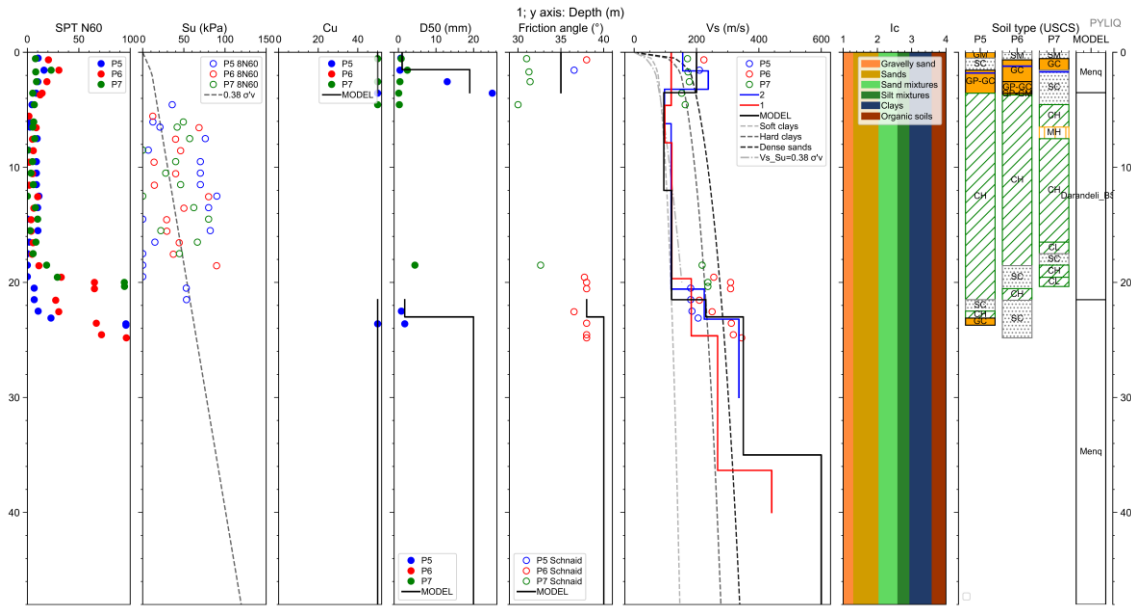
Apéndice 279. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D4-3

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	1,50	17,00	10,00	4,97	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	43,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	53,00	17,00	6,90	0,42	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	EQL4	70,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
SEMIESPACIO			21,00							700

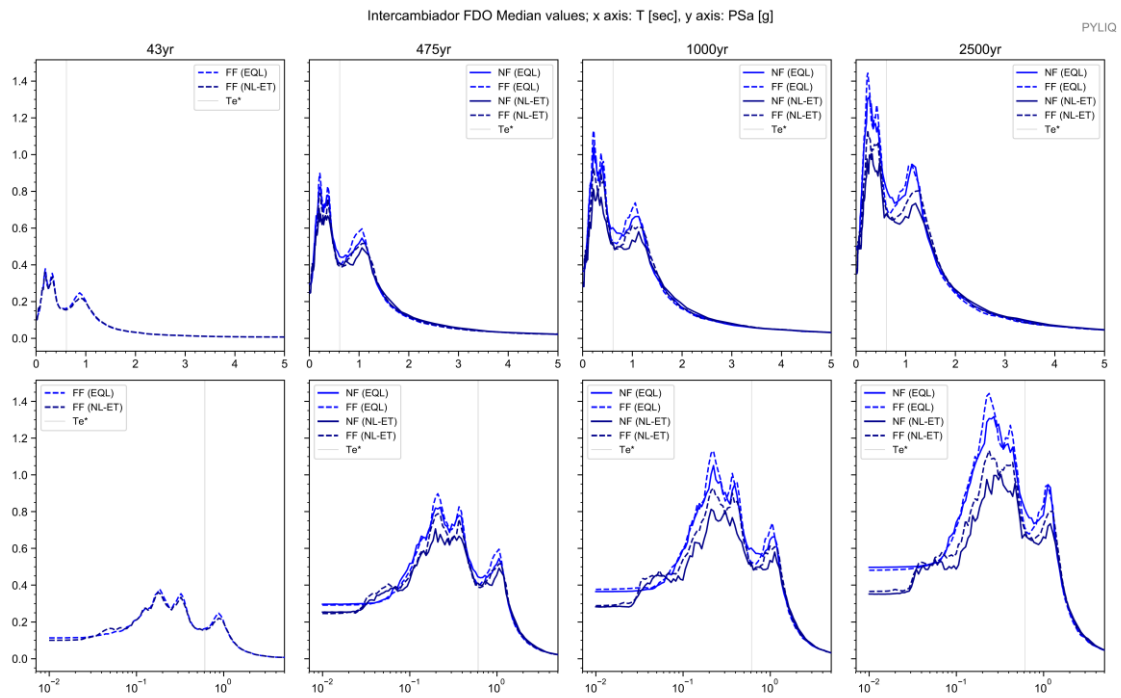
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
1,5	200,0
12,0	90,0
20,0	110,0
43,0	200,0
53,0	320,0
70,0	310,0

Apéndice 280. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D4-3

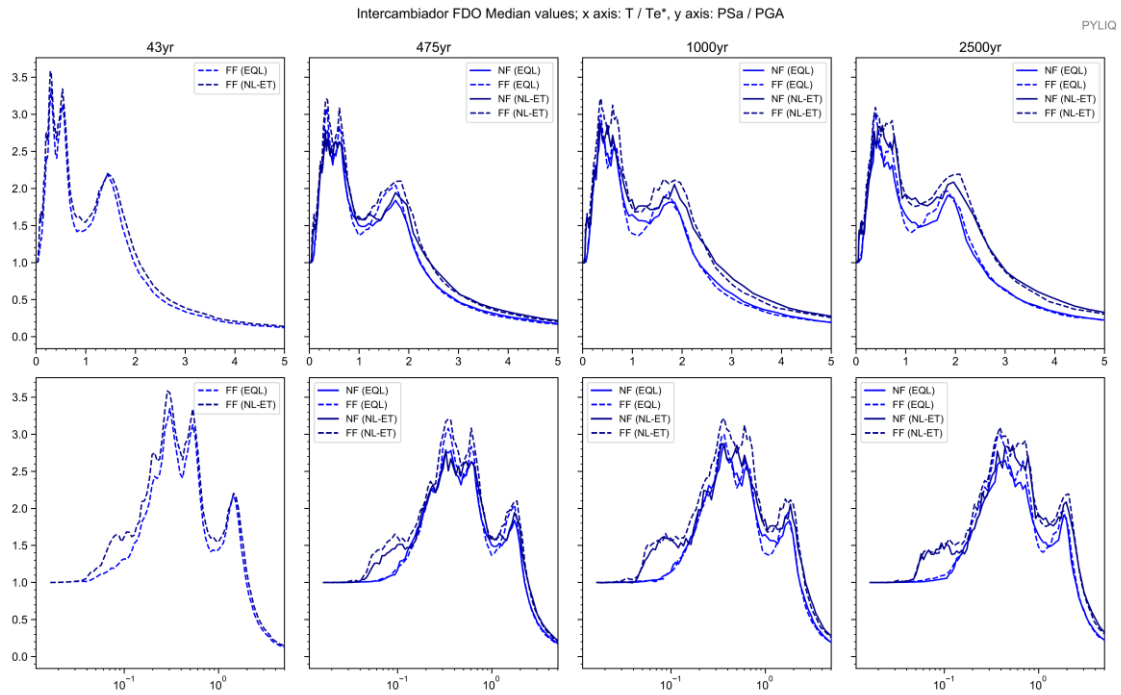
# Sitio INTERCAMBIADOR FDO



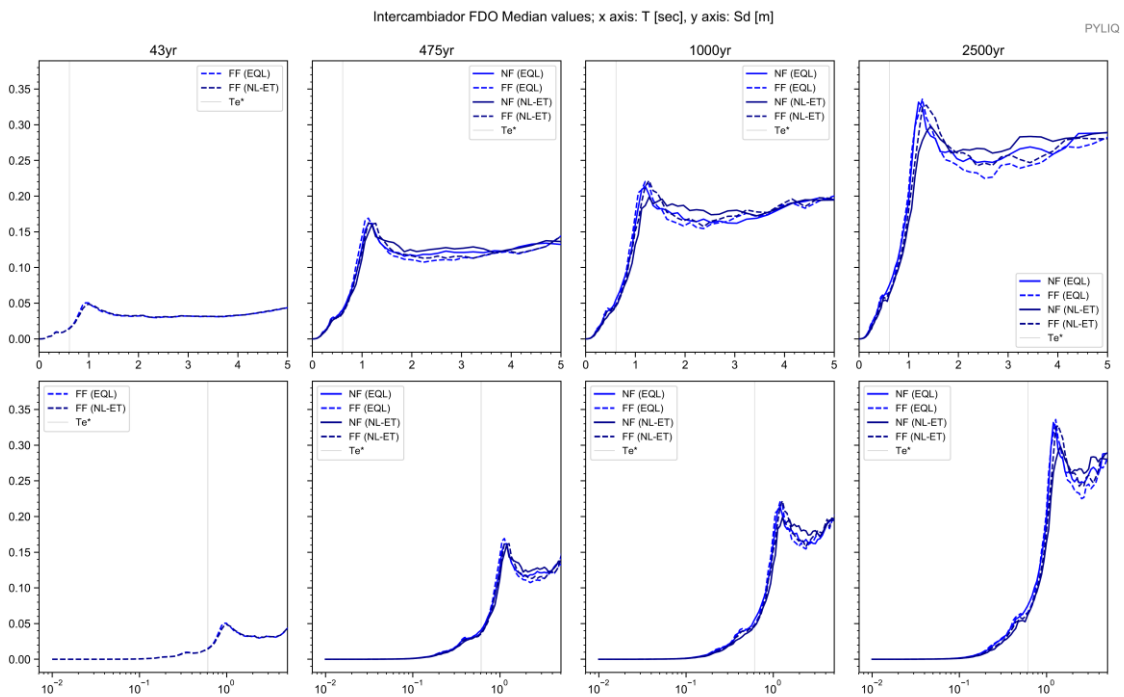
Apéndice 281. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio INTERCAMBIADOR FDO



Apéndice 282. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio INTERCAMBIADOR FDO

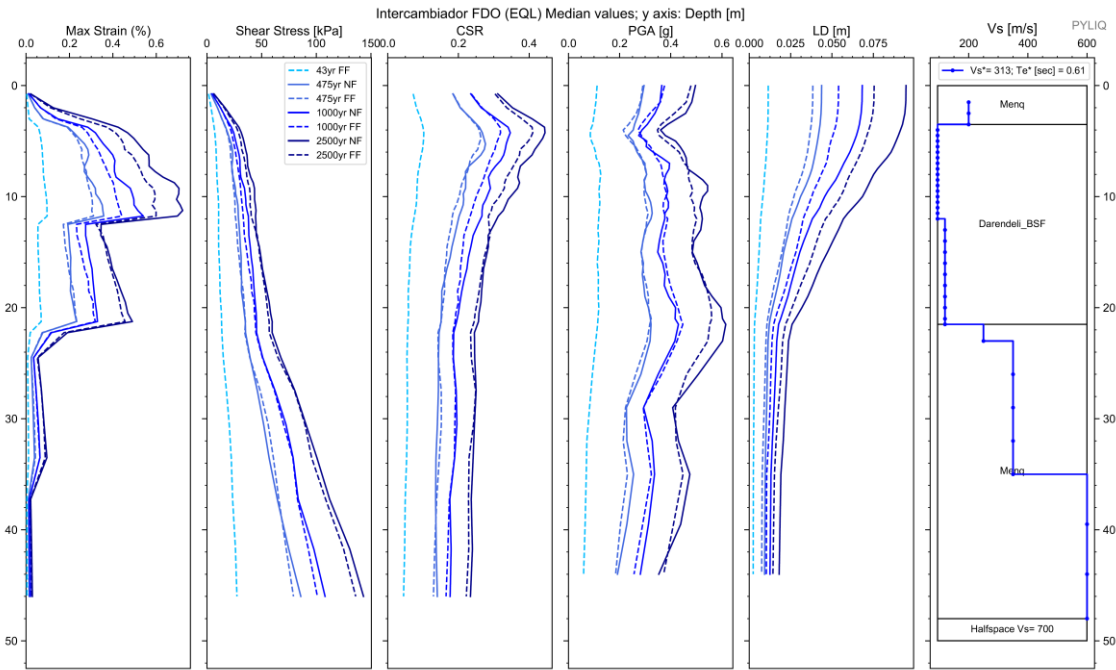


Apéndice 283. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio INTERCAMBIADOR FDO .

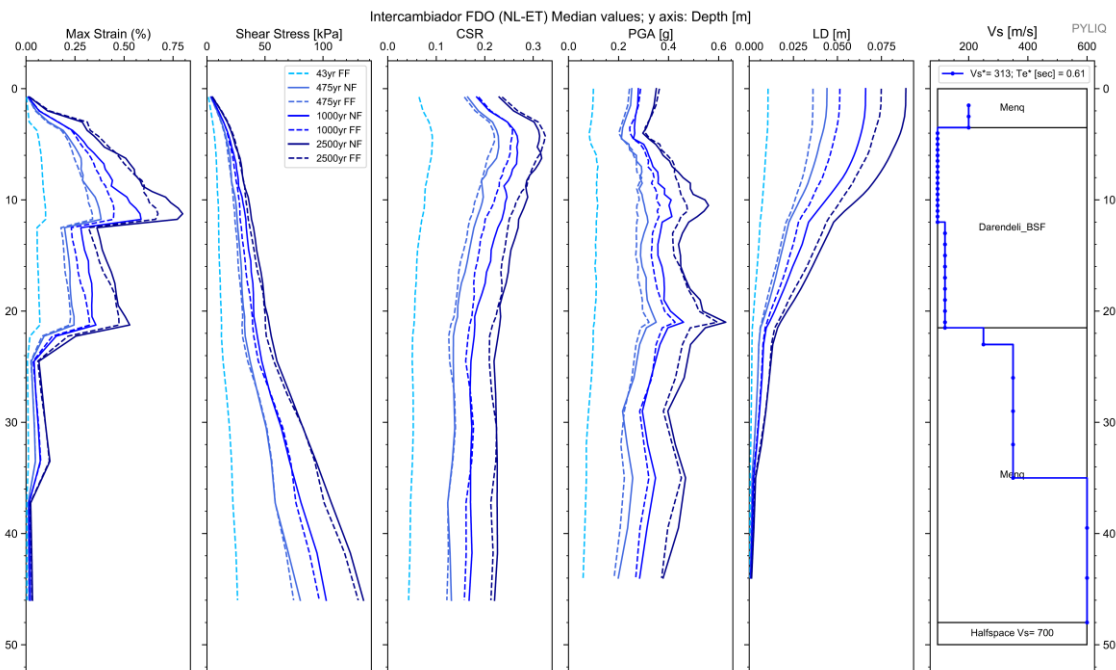


Apéndice 284. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio INTERCAMBIADOR FDO .





Apéndice 285. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio INTERCAMBIADOR FDO



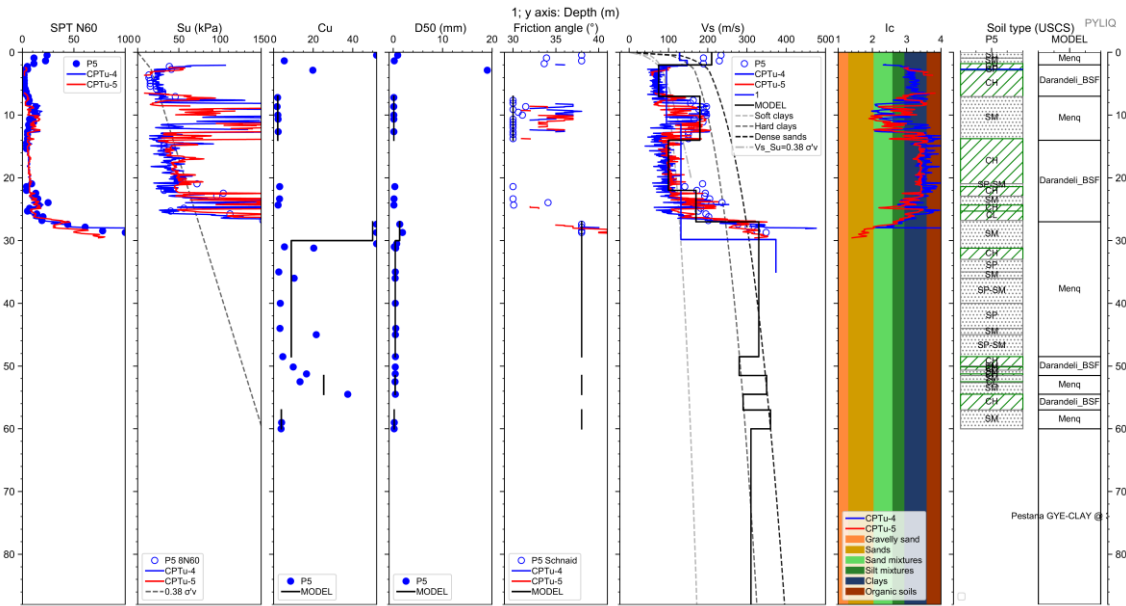
Apéndice 286. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio INTERCAMBIADOR FDO

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,50	18,00	20,00	1,00	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Menq	3,50	17,00	20,00	10,00	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darendeli_BSF	21,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	23,00	17,00	10,00	1,70	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	48,00	20,00	10,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

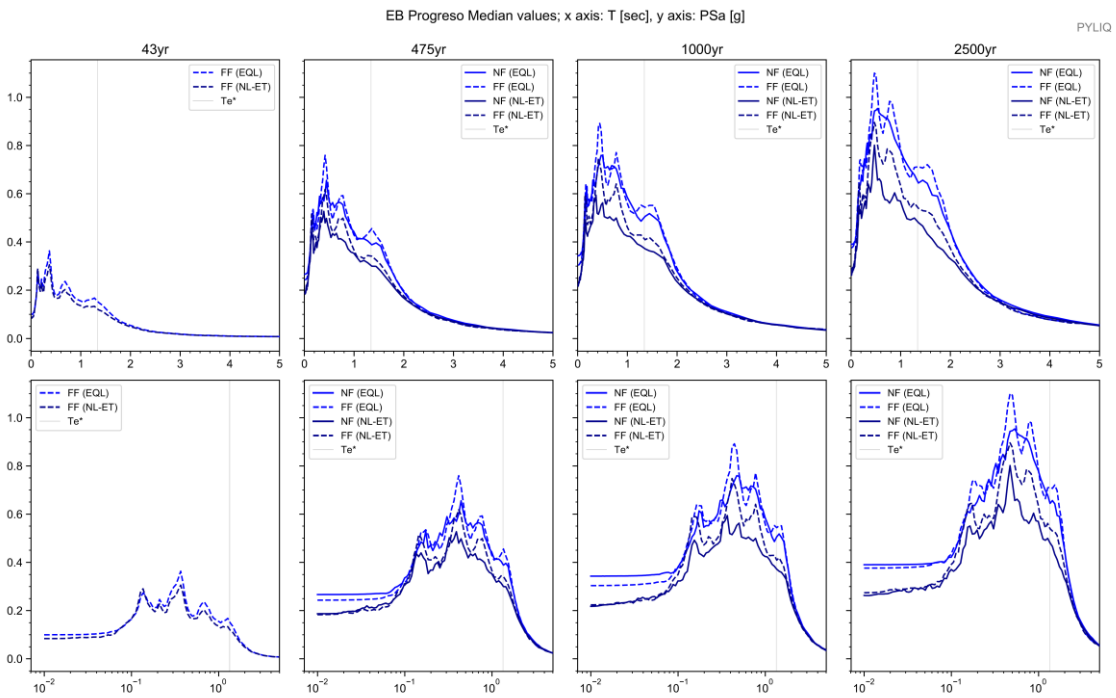
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
3,5	200,0
12,0	95,0
21,5	120,0
23,0	250,0
35,0	350,0
48,0	600,0

Apéndice 287. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio INTERCAMBIADOR FDO

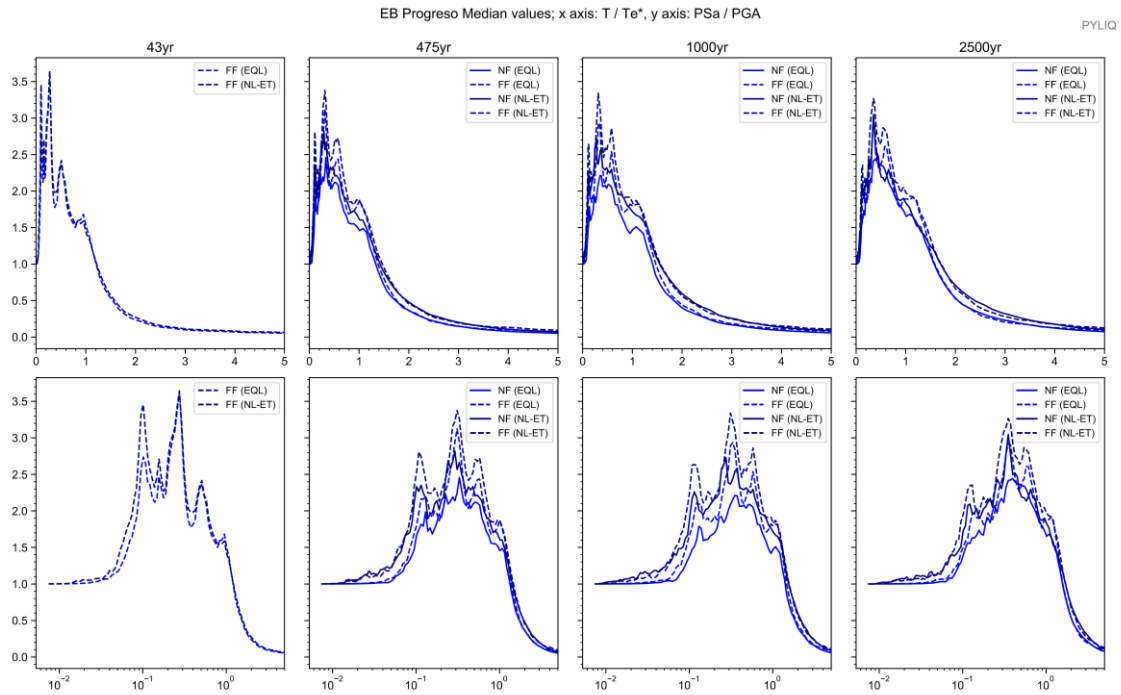
# Sitio EB PROGRESO



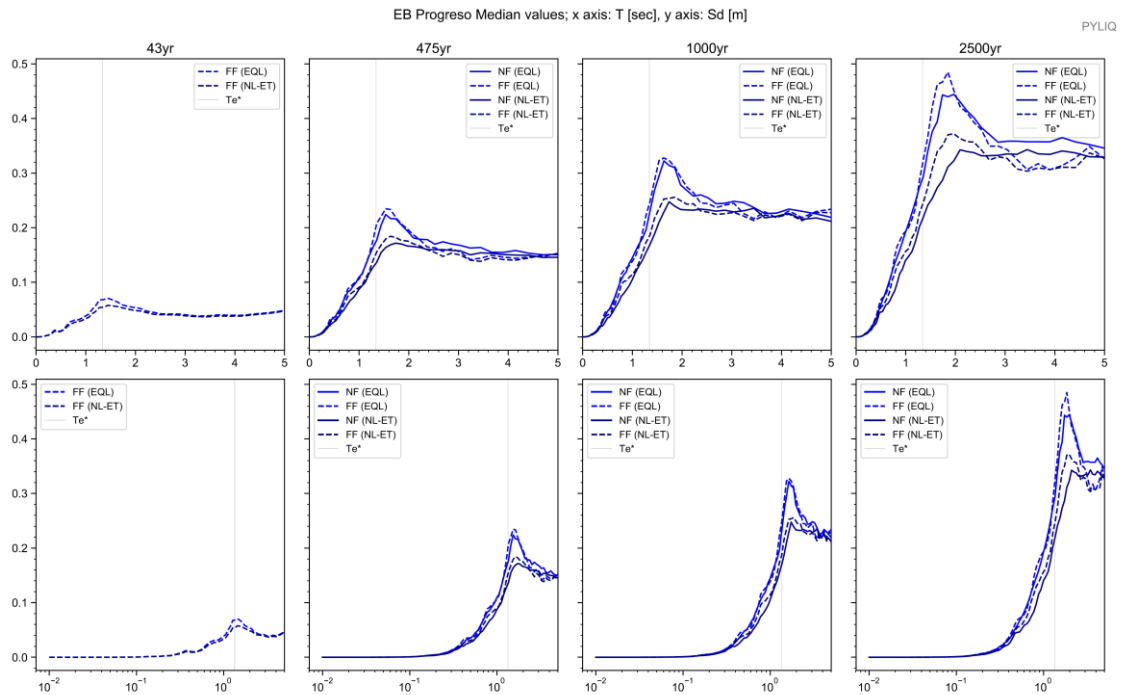
Apéndice 288. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio EB PROGRESO



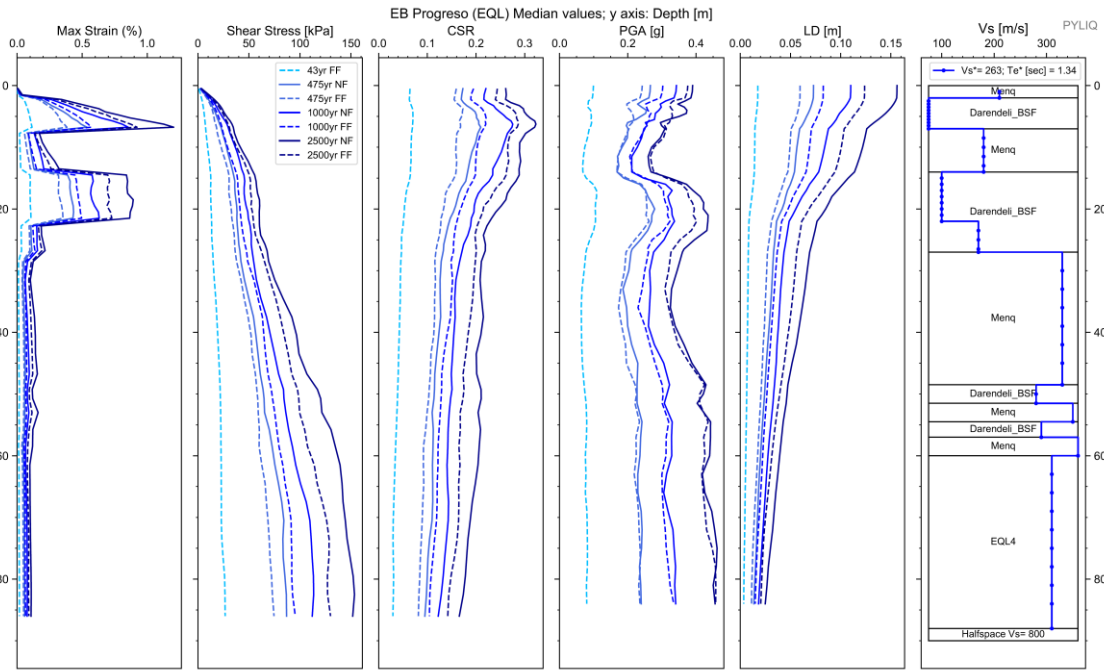
Apéndice 289. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio EB PROGRESO



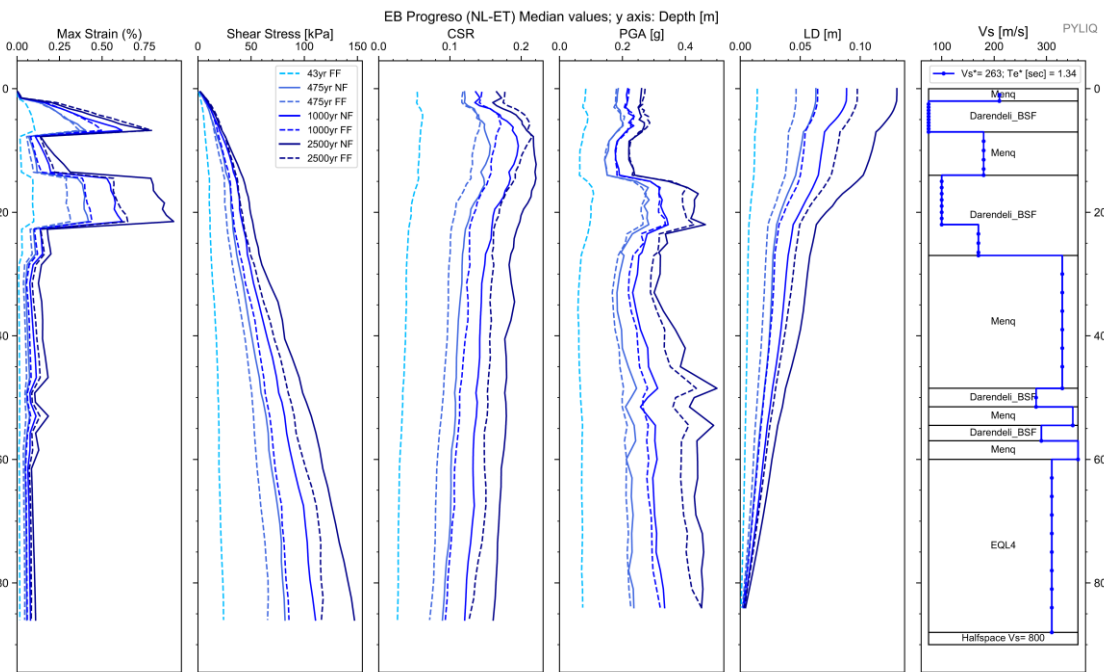
Apéndice 290. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio EB PROGRESO .



Apéndice 291. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio EB PROGRESO .



Apéndice 292. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio EB PROGRESO



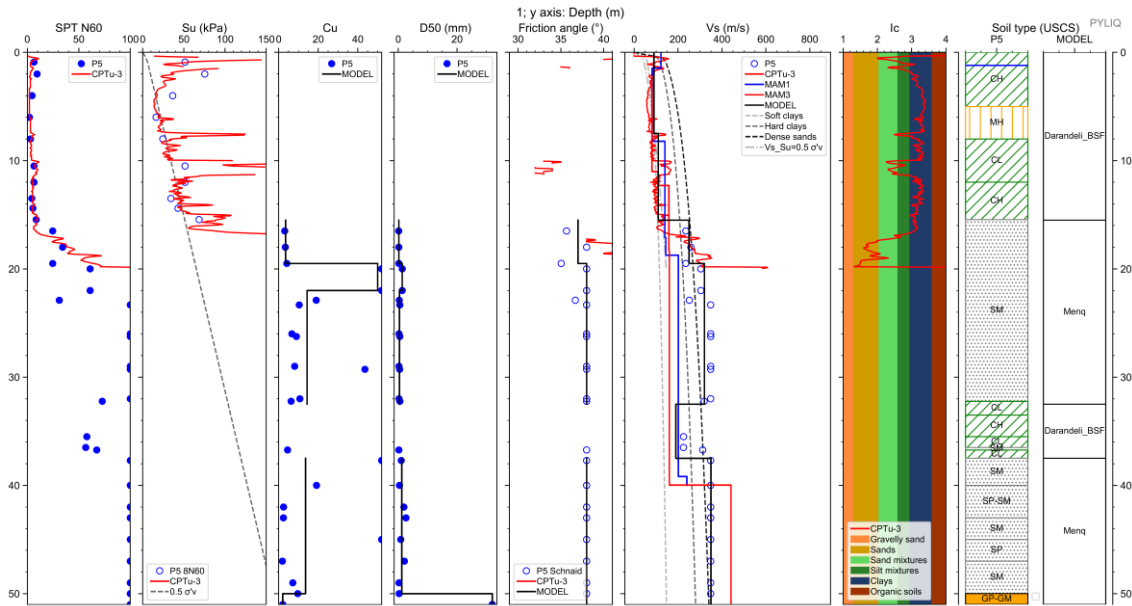
Apéndice 293. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio EB PROGRESO

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	2,00	18,00	20,00	0,55	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darandeli_BSF	7,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	14,00	17,00	2,05	0,12	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Darandeli_BSF	27,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT5	Menq	30,00	17,00	20,00	1,30	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Menq	48,50	17,00	8,90	0,42	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Darandeli_BSF	51,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT8	Menq	54,50	17,00	10,00	0,40	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT9	Darandeli_BSF	57,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT10	Menq	60,00	17,00	3,85	0,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT11	a GYE-CLAY @	88,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
SEMIESPACIO			21,00							800

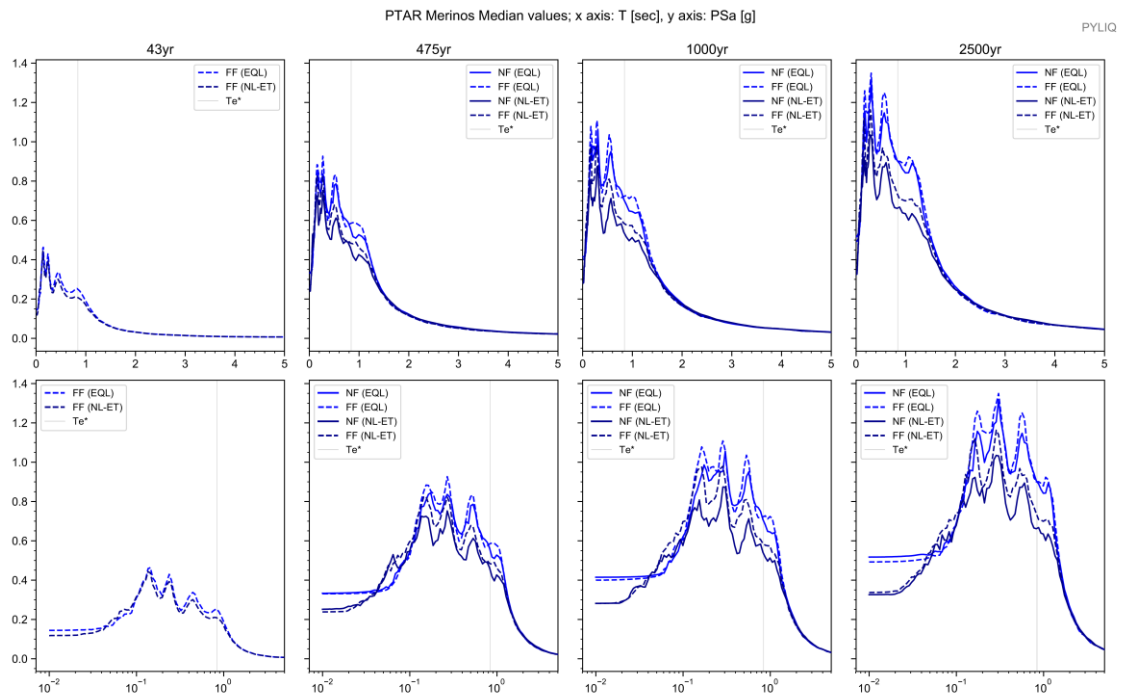
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	210,0
2,0	210,0
7,0	75,0
14,0	180,0
22,0	100,0
27,0	170,0
48,5	330,0
51,5	280,0
54,5	350,0
57,0	290,0
60,0	360,0
88,0	310,0

Apéndice 294. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio EB PROGRESO

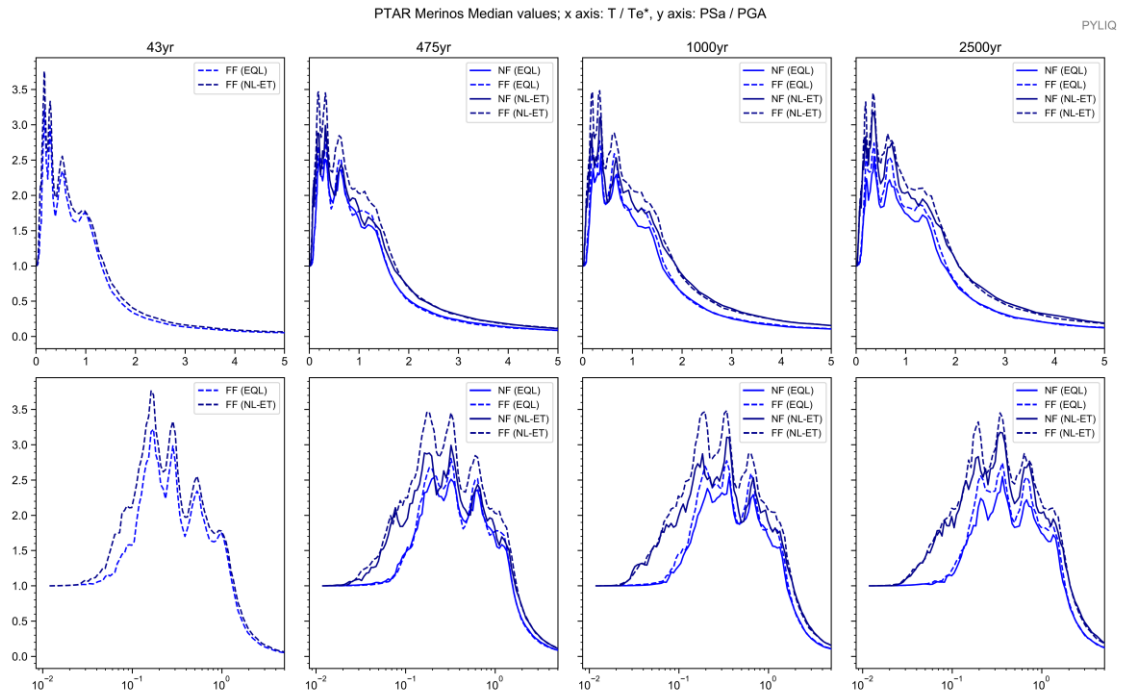
# Sitio PTAR MERINOS



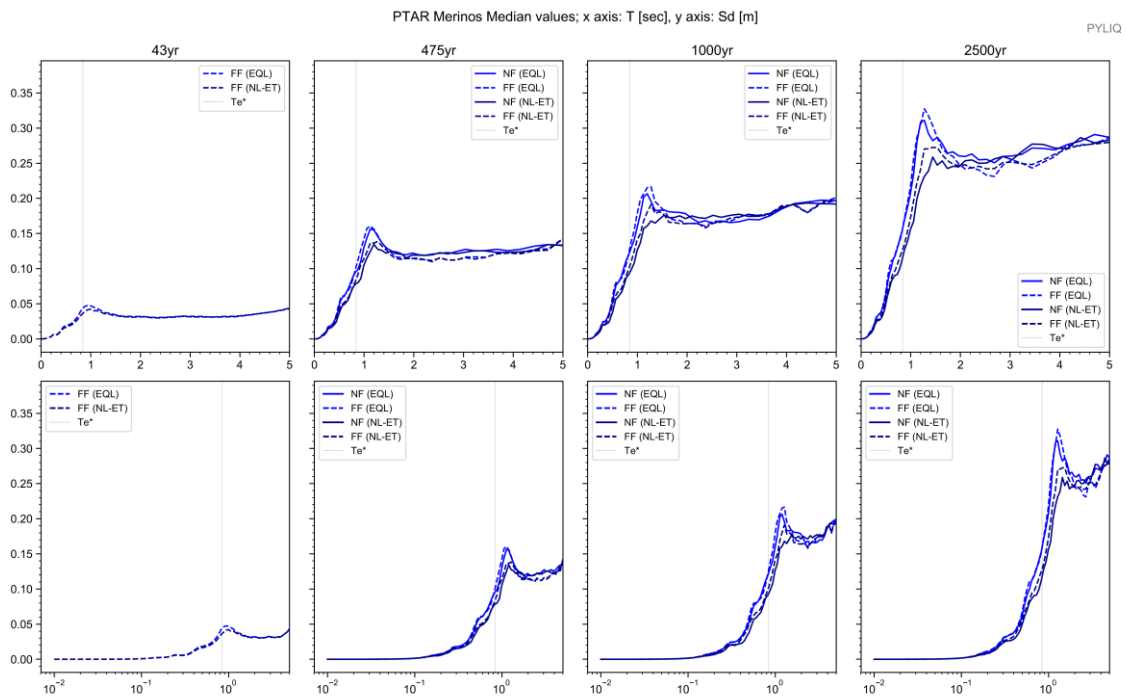
Apéndice 295. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio PTAR MERINOS



Apéndice 296. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio PTAR MERINOS

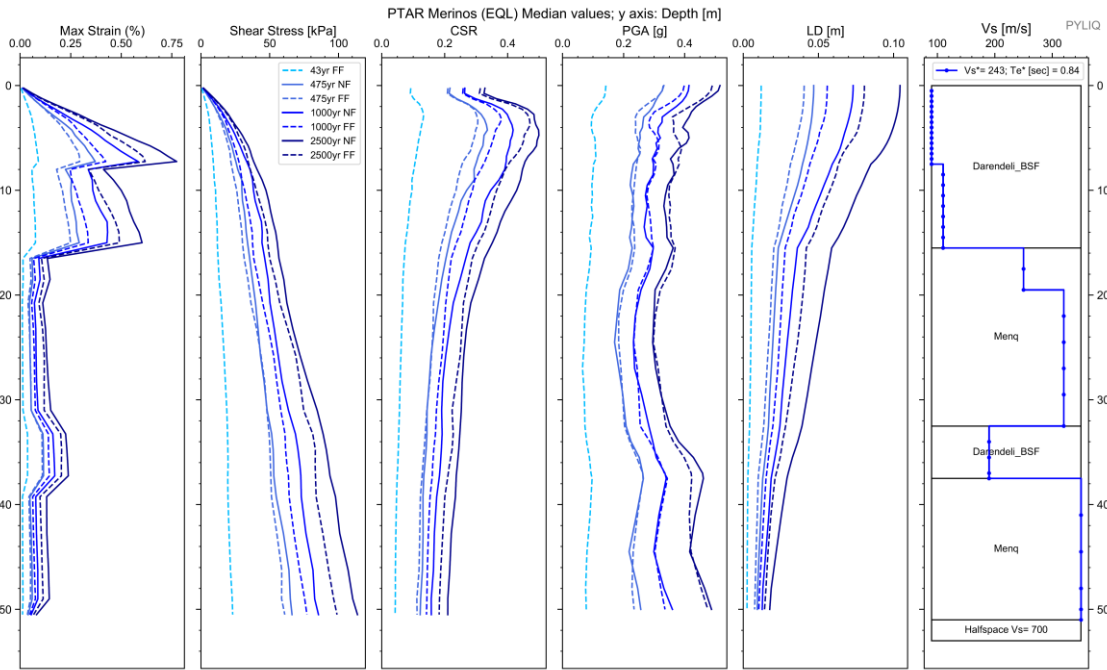


Apéndice 297. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio PTAR MERINOS .

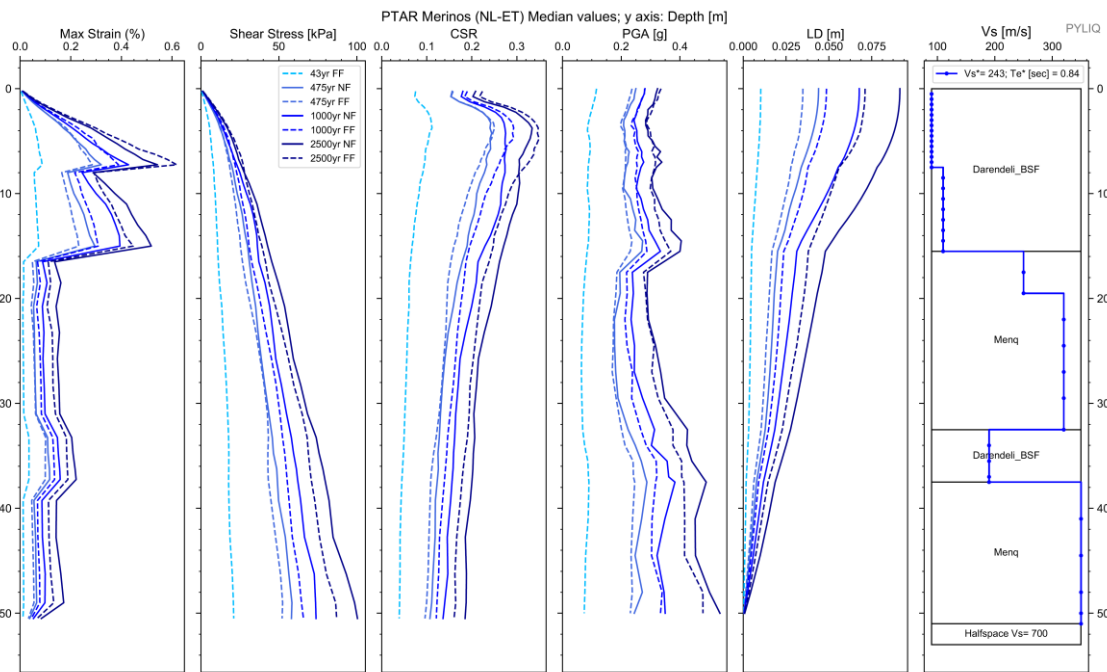


Apéndice 298. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio PTAR MERINOS .





Apéndice 299. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio PTAR MERINOS



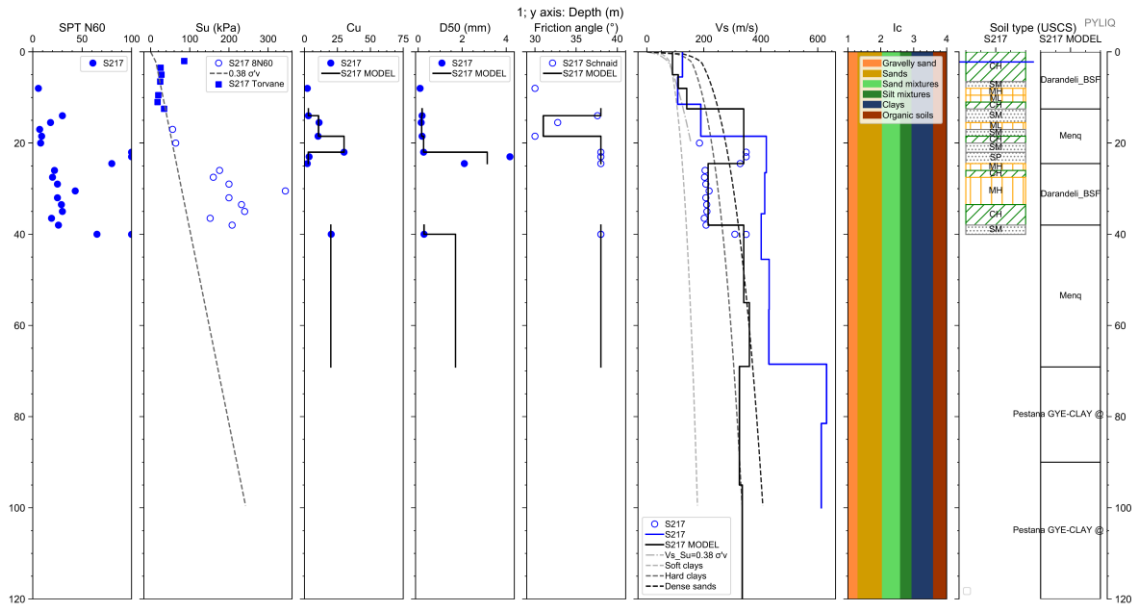
Apéndice 300. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio PTAR MERINOS

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	15,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	19,50	17,00	3,50	0,19	37,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Menq	22,00	17,00	10,00	1,35	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	32,50	17,00	10,00	0,42	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Darendeli_BSF	37,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT6	Menq	50,00	17,00	10,00	1,20	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	51,00	17,00	2,03	5,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Menq	65,00	17,00	10,00	5,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			23,00							2000

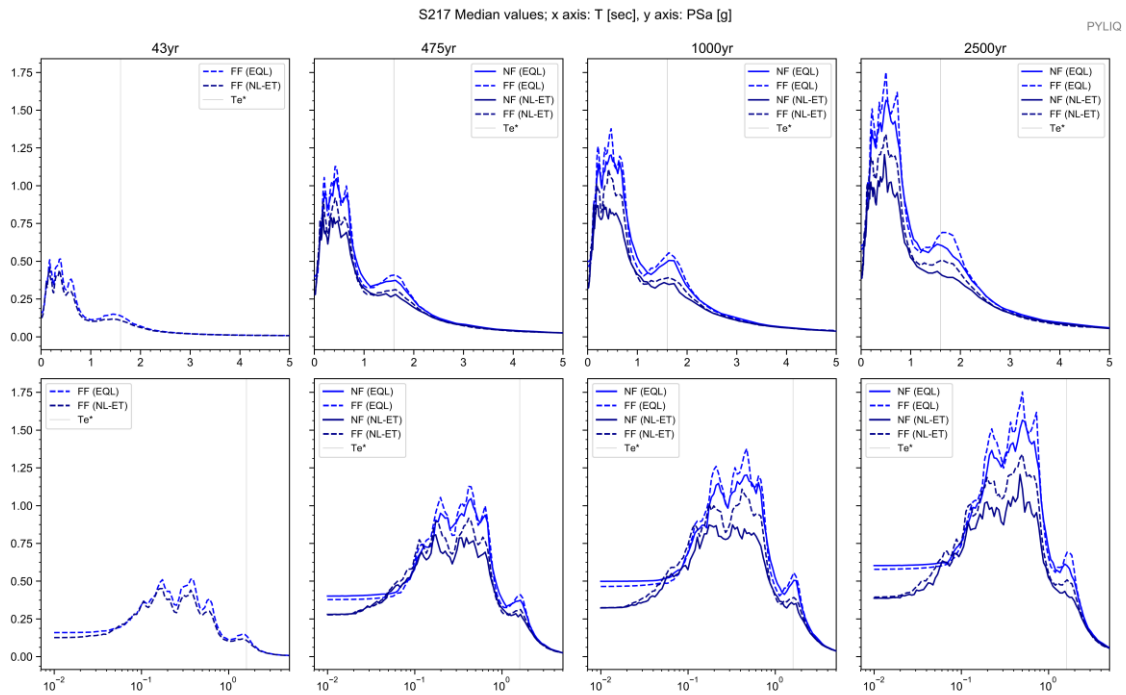
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	90,0
7,5	90,0
15,5	110,0
19,5	250,0
32,5	320,0
37,5	200,0
51,0	350,0
65,0	350,0

Apéndice 301. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio PTAR MERINOS

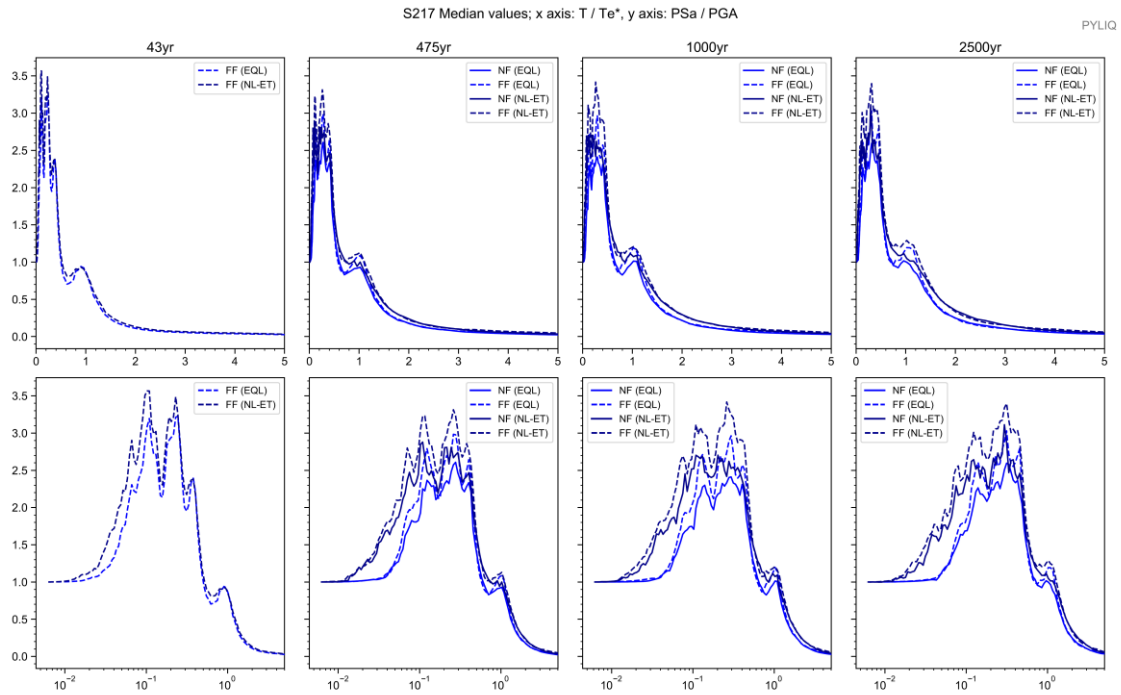
### Sitio S217



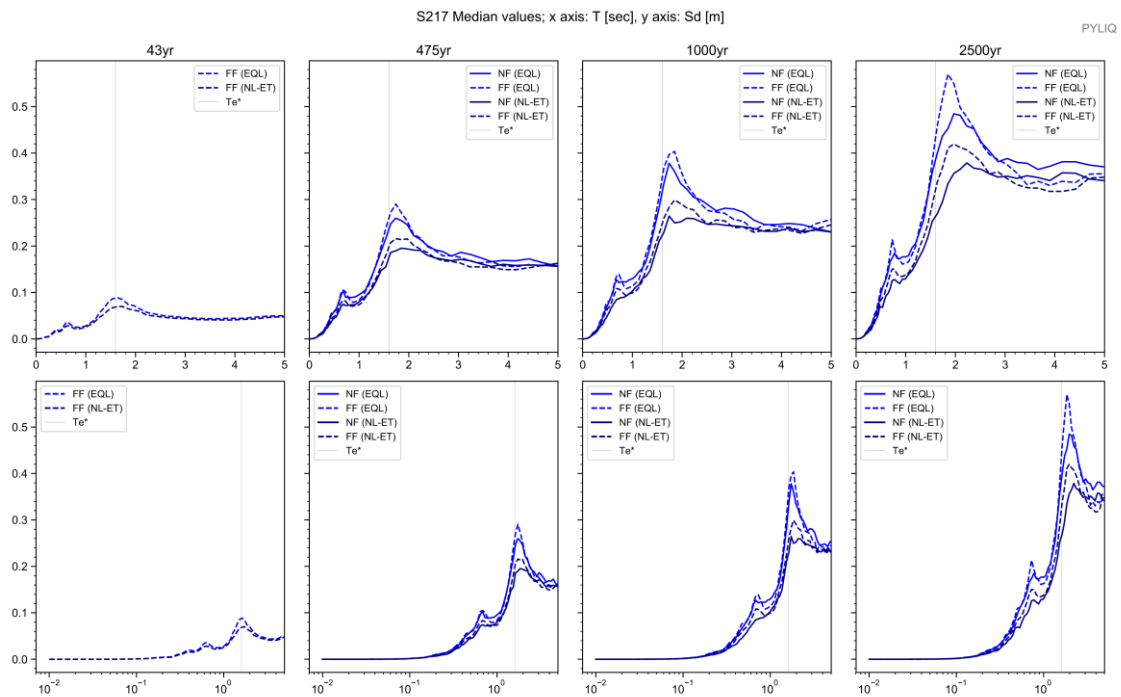
Apéndice 302. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S217



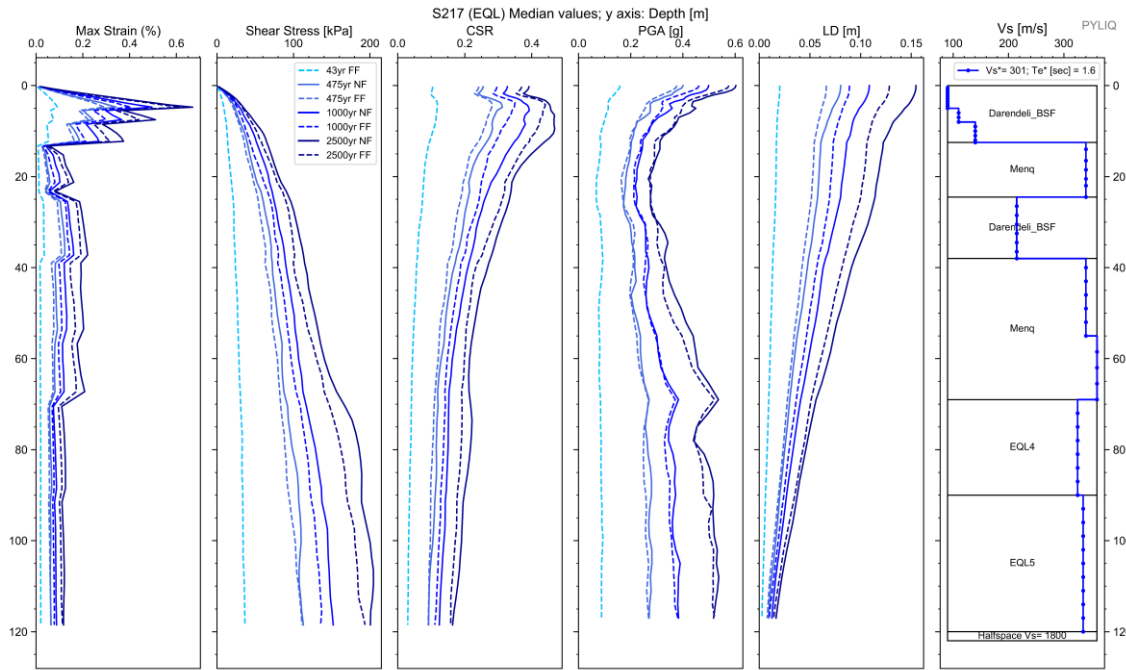
Apéndice 303. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S217



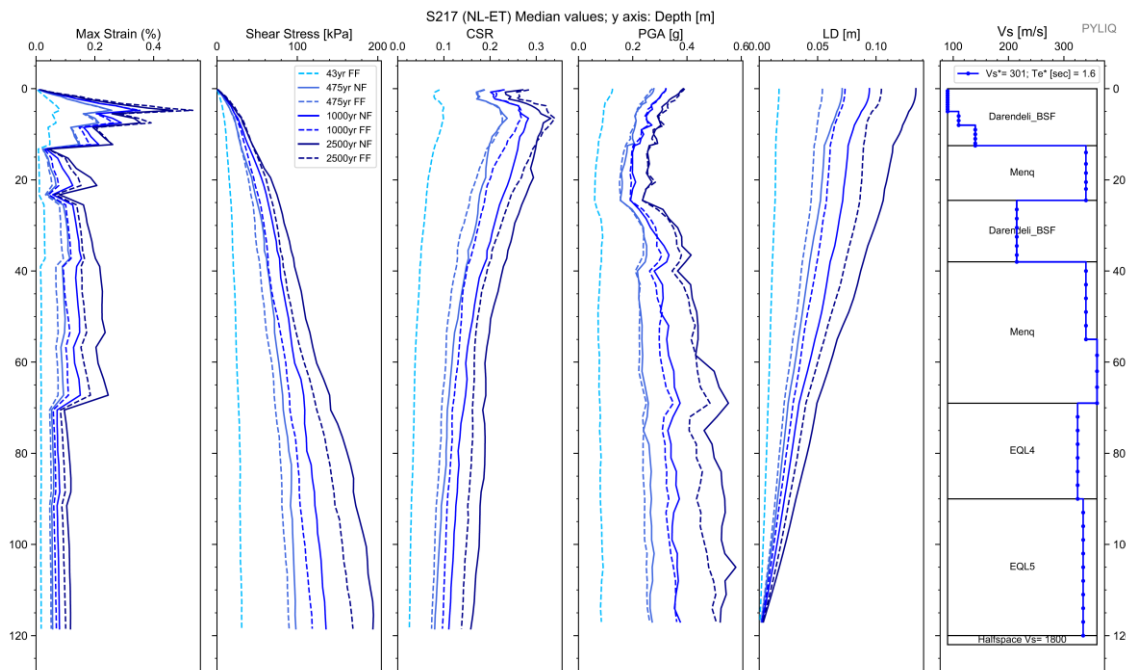
Apéndice 304. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S217 .



Apéndice 305. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S217 .



Apéndice 306. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S217



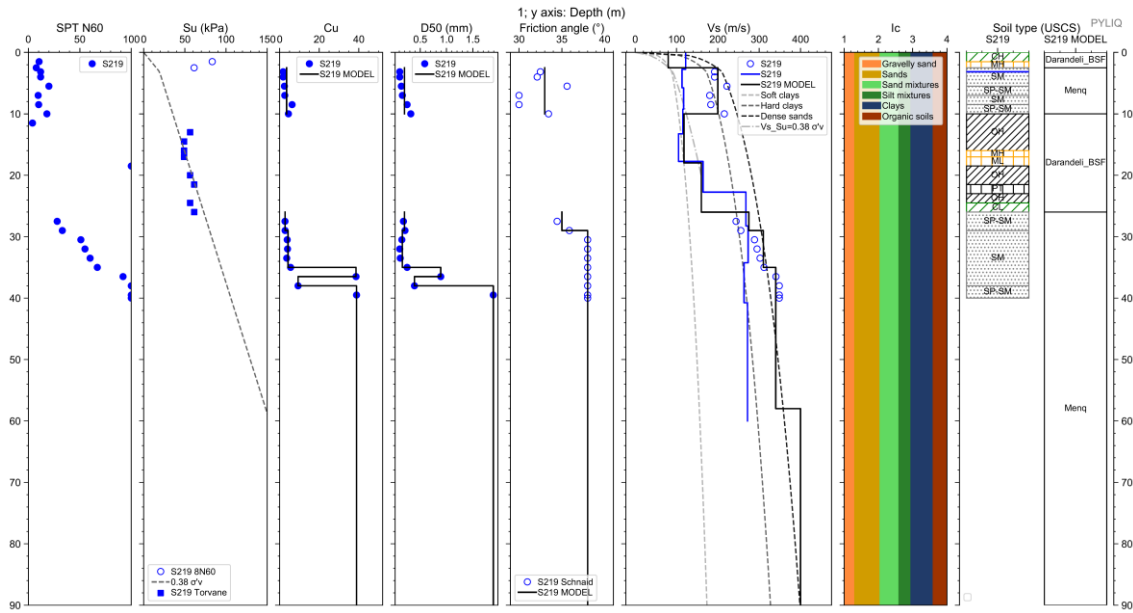
Apéndice 307. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S217

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	12,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	14,00	17,00	2,97	0,18	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Menq	18,50	17,00	10,00	0,16	31,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT4	Menq	22,00	17,00	10,00	0,25	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	24,50	17,00	2,84	3,14	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Darendeli_BSF	38,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT7	Menq	40,00	17,00	10,00	0,27	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT8	Menq	69,00	17,00	10,00	1,70	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT9	a GYE-CLAY @	90,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL4	
MAT10	a GYE-CLAY @	120,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	EQL5	
SEMIESPACIO			21,00							1800

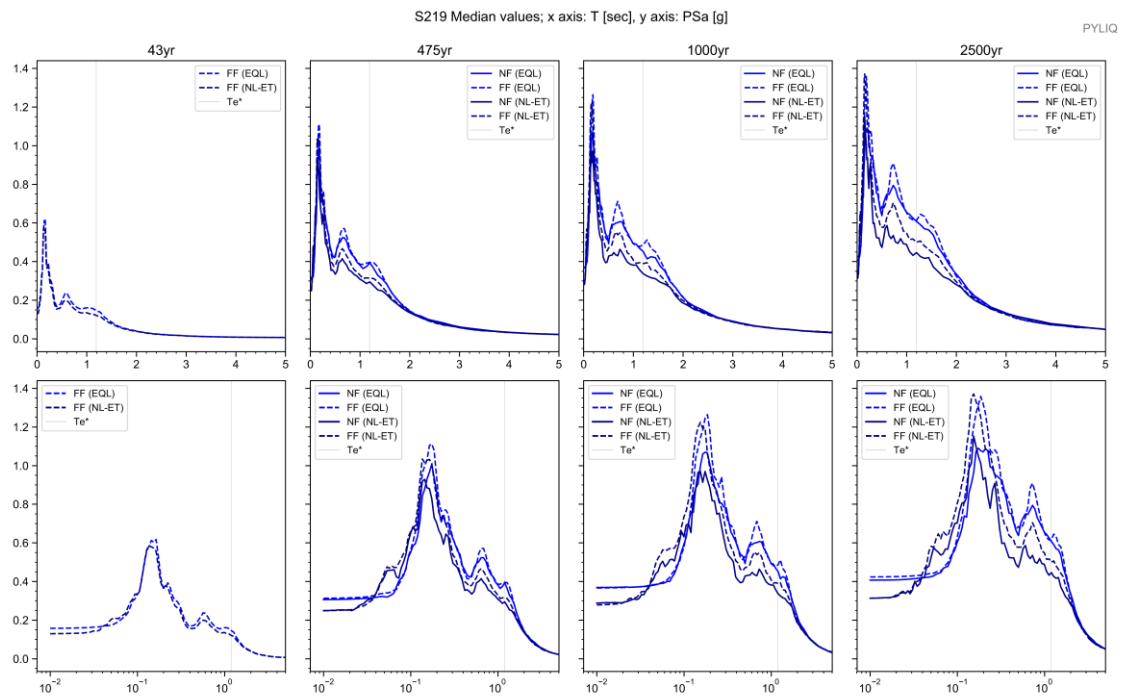
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	90,0
5,0	90,0
8,0	110,0
12,5	140,0
24,5	340,0
38,0	215,0
55,0	340,0
69,0	360,0
90,0	325,0
120,0	335,0

Apéndice 308. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S217

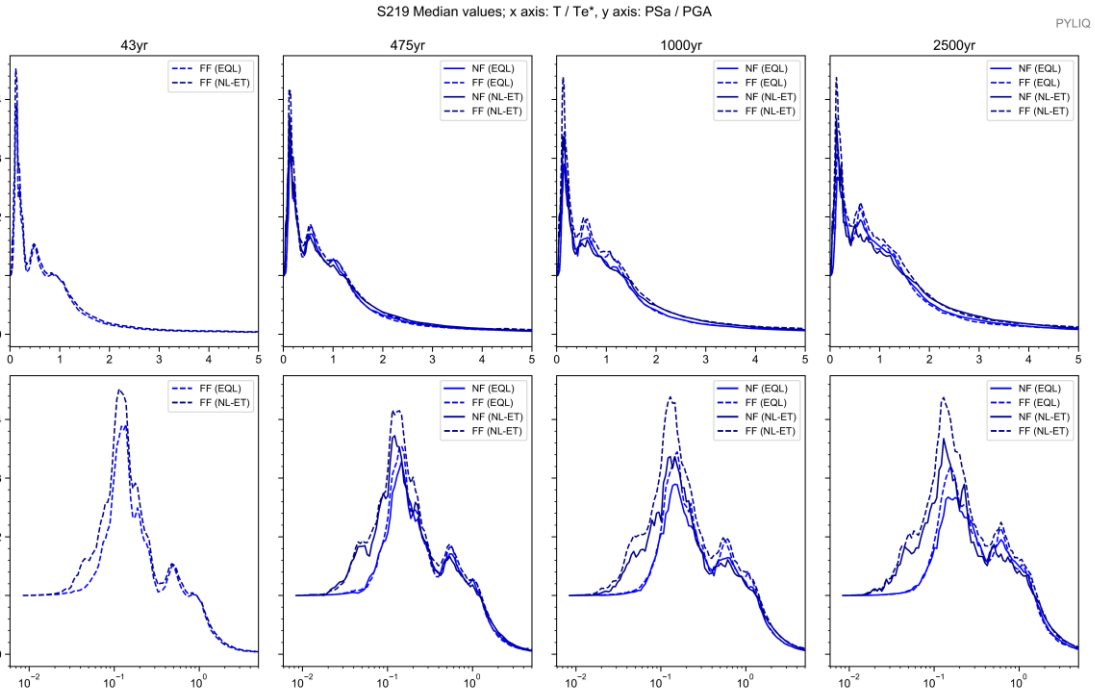
### Sitio S219



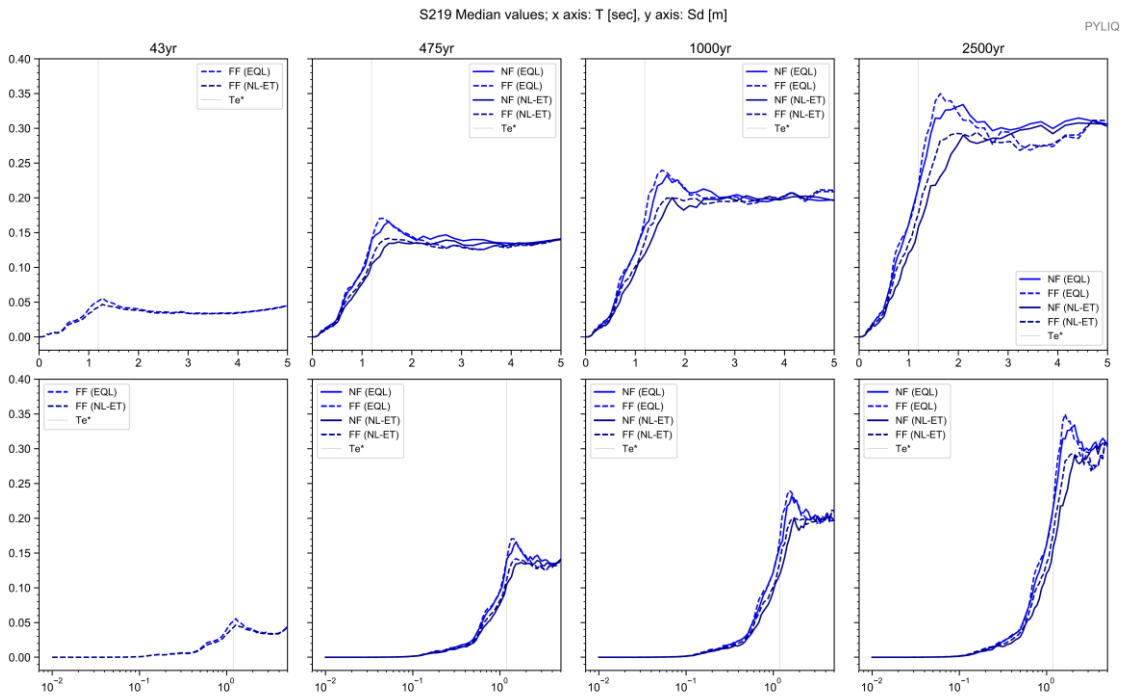
Apéndice 309. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S219



Apéndice 310. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S219

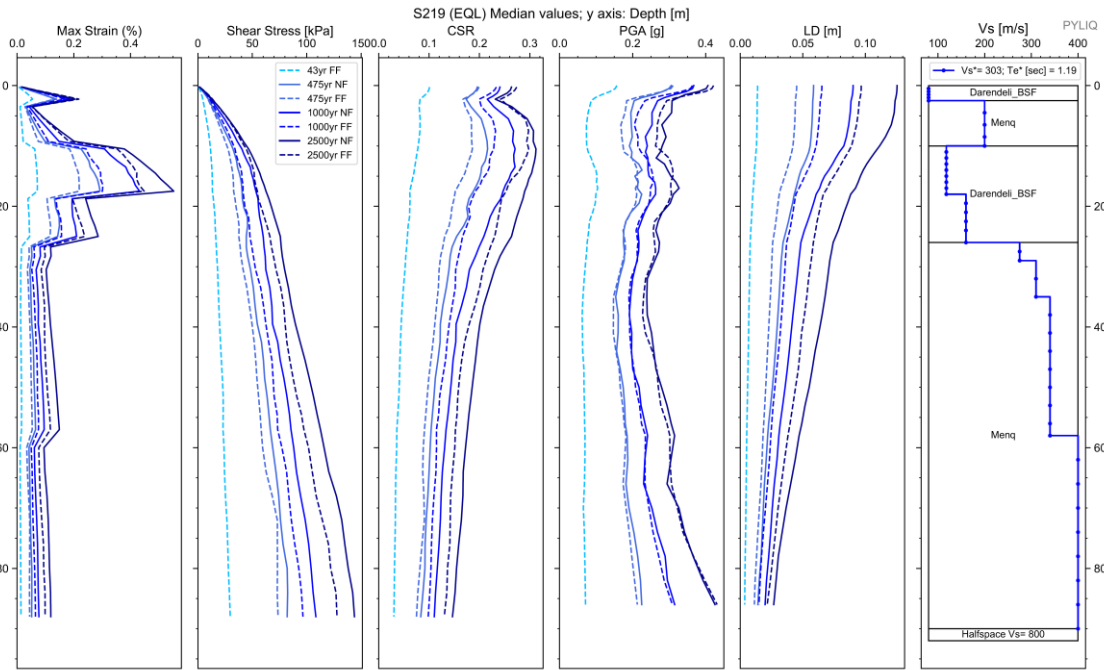


Apéndice 311. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S219 .

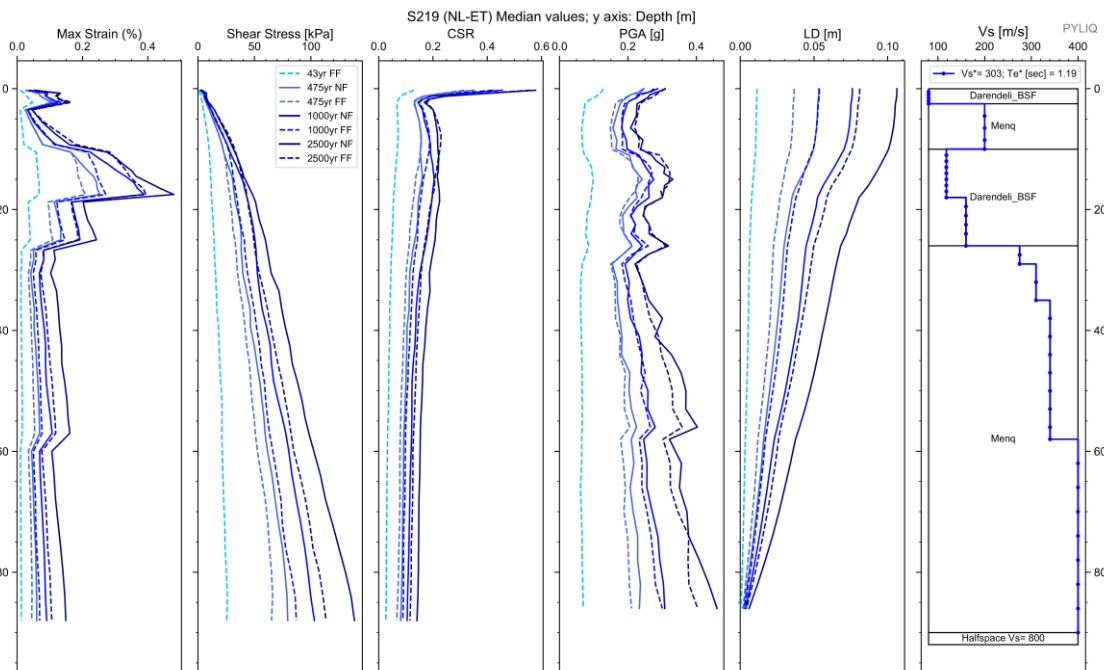


Apéndice 312. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S219 .





Apéndice 313. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S219



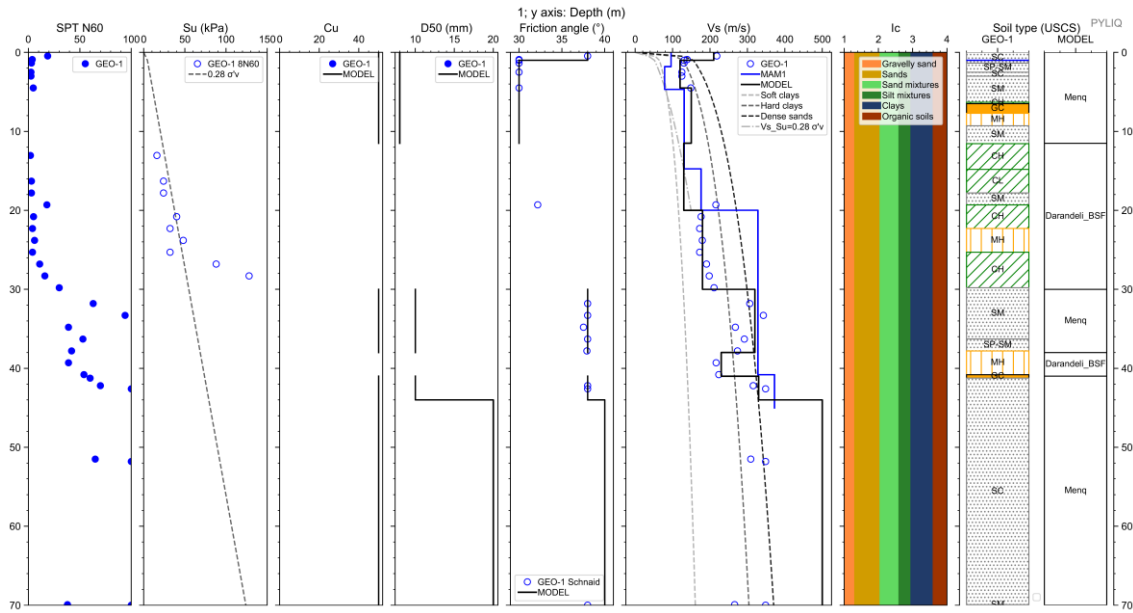
Apéndice 314. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S219

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	2,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	10,00	17,00	3,47	0,20	33,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darendeli_BSF	26,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	29,00	17,00	2,71	0,20	35,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	35,00	17,00	4,20	0,16	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT6	Menq	90,00	17,00	10,00	1,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

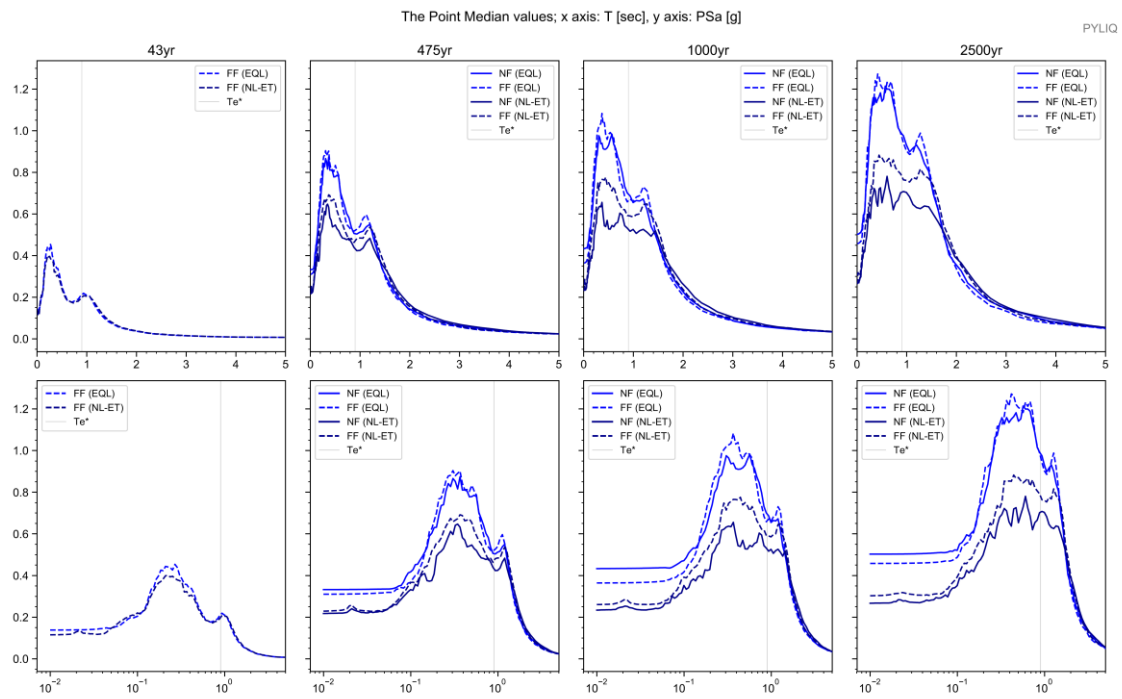
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	80,0
2,5	80,0
10,0	200,0
18,0	118,0
26,0	160,0
29,0	275,0
35,0	310,0
58,0	340,0
90,0	400,0

Apéndice 315. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S219

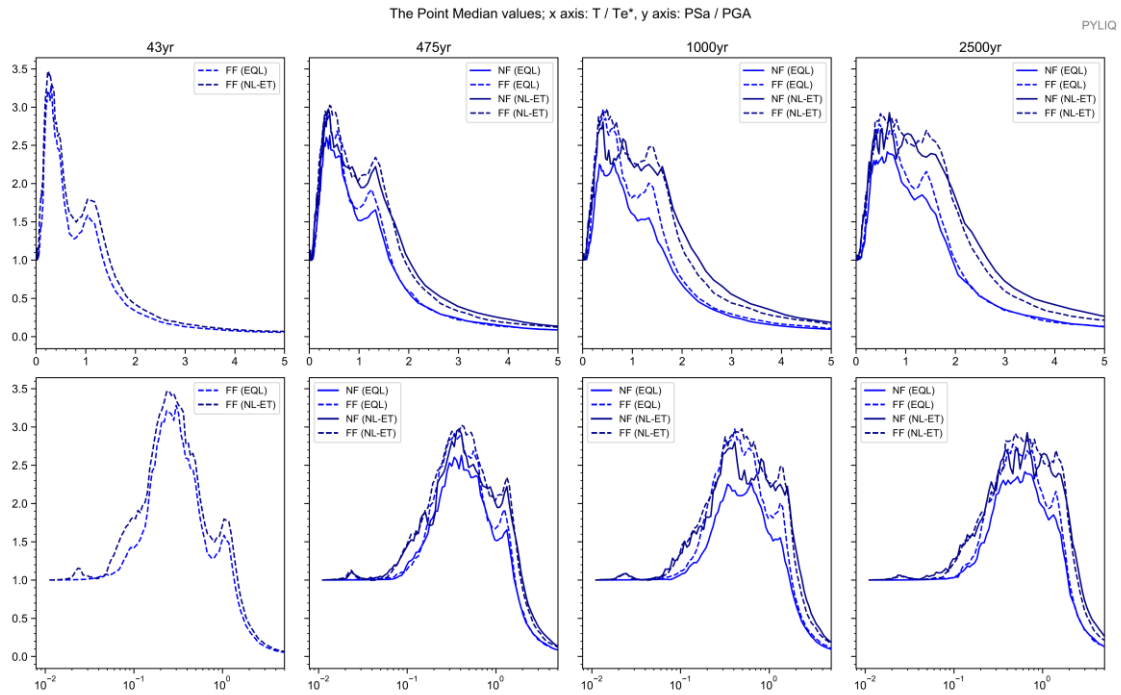
Sitio THE POINT



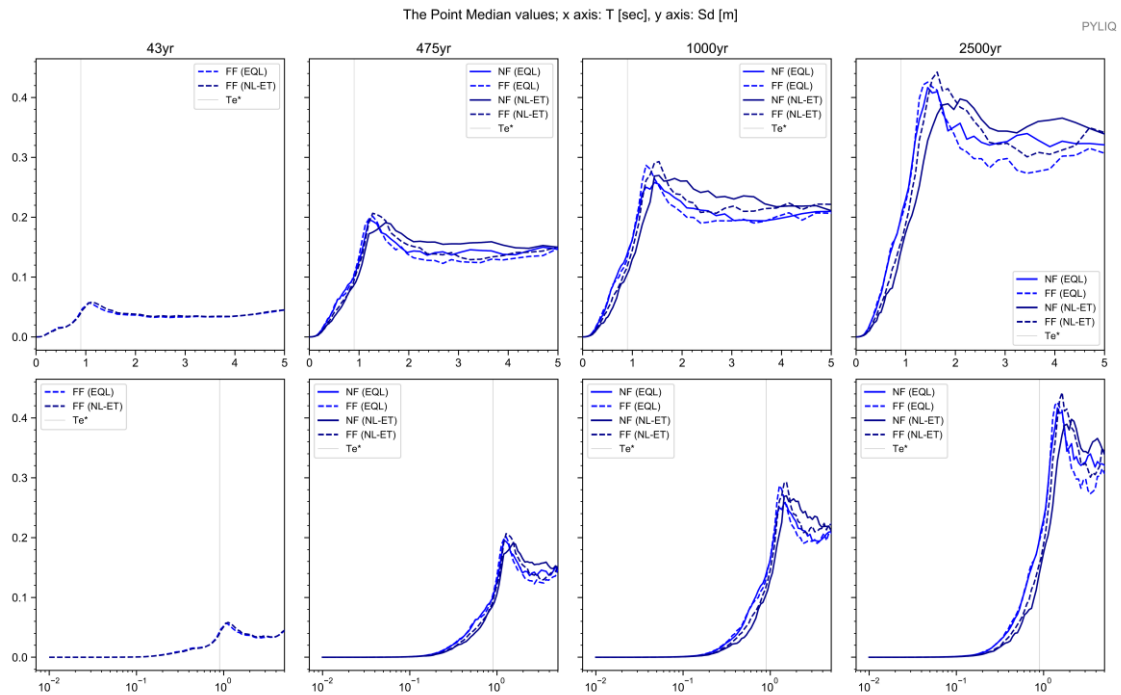
Apéndice 316. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio THE POINT



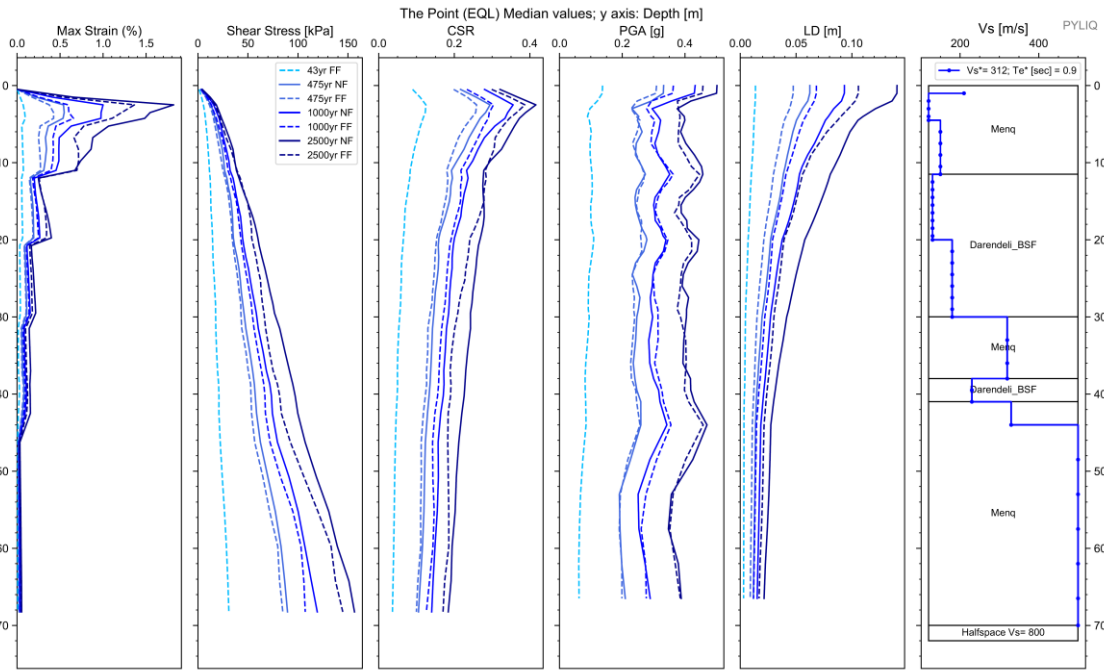
Apéndice 317. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio THE POINT



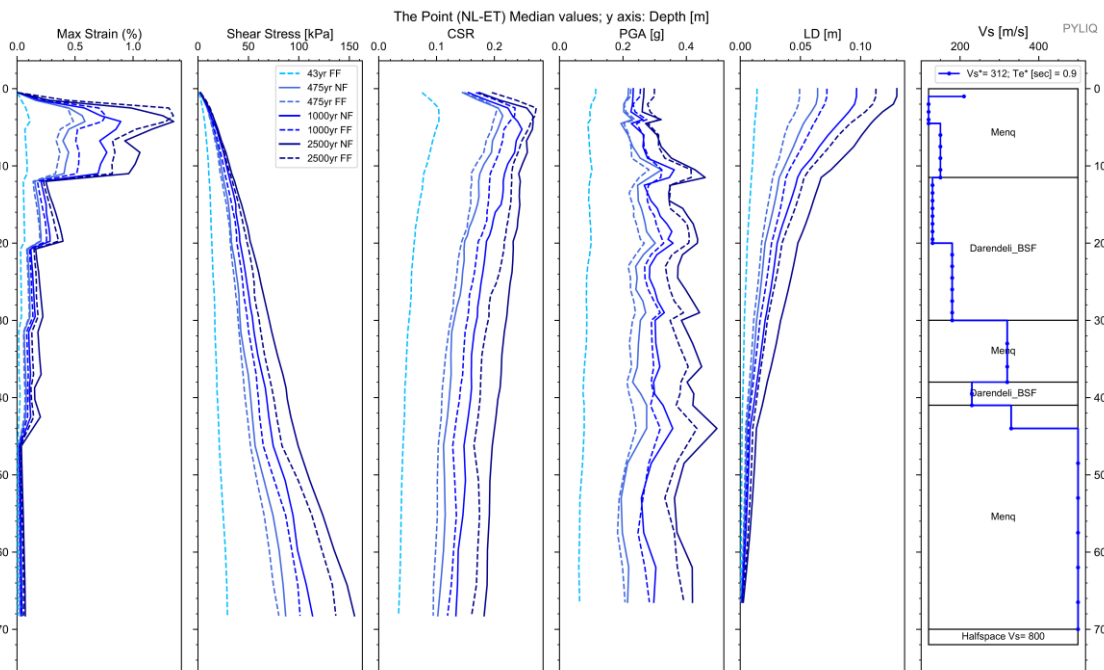
Apéndice 318. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio THE POINT .



Apéndice 319. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio THE POINT .



Apéndice 320. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio THE POINT



Apéndice 321. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio THE POINT

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,00	18,00	10,00	8,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Menq	11,50	17,00	10,00	8,00	30,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darendeli_BSF	30,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	38,00	17,00	10,00	10,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Darendeli_BSF	41,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT6	Menq	44,00	17,00	10,00	10,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT7	Menq	70,00	20,00	10,00	20,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							800

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	210,0
1,0	210,0
4,5	120,0
11,5	150,0
20,0	130,0
30,0	180,0
38,0	320,0
41,0	230,0
44,0	330,0
70,0	500,0

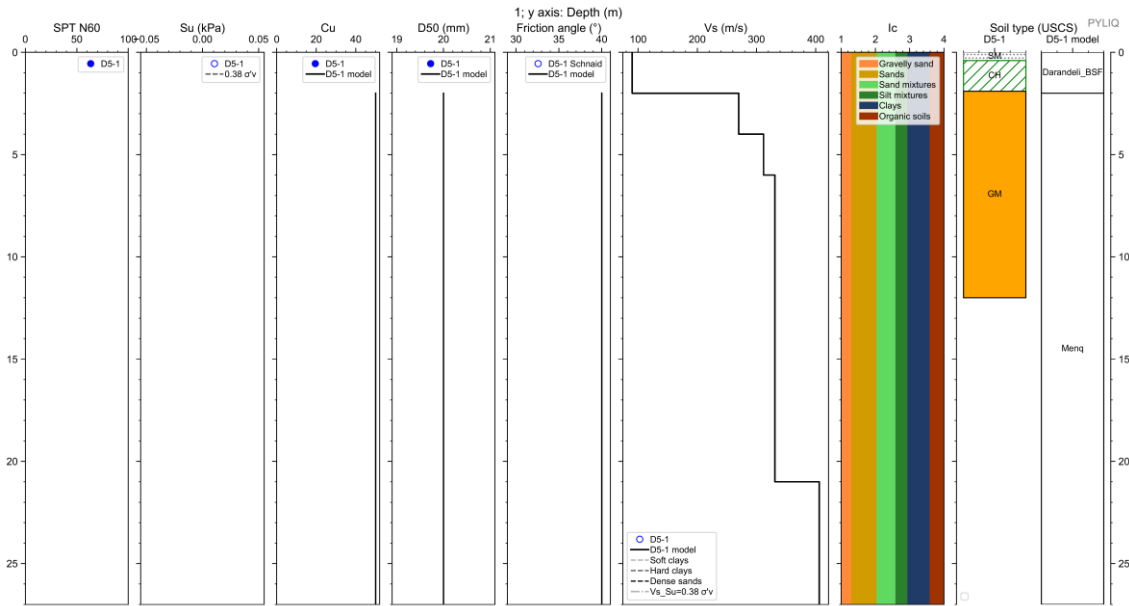
Apéndice 322. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio THE POINT

## **Zona D5**

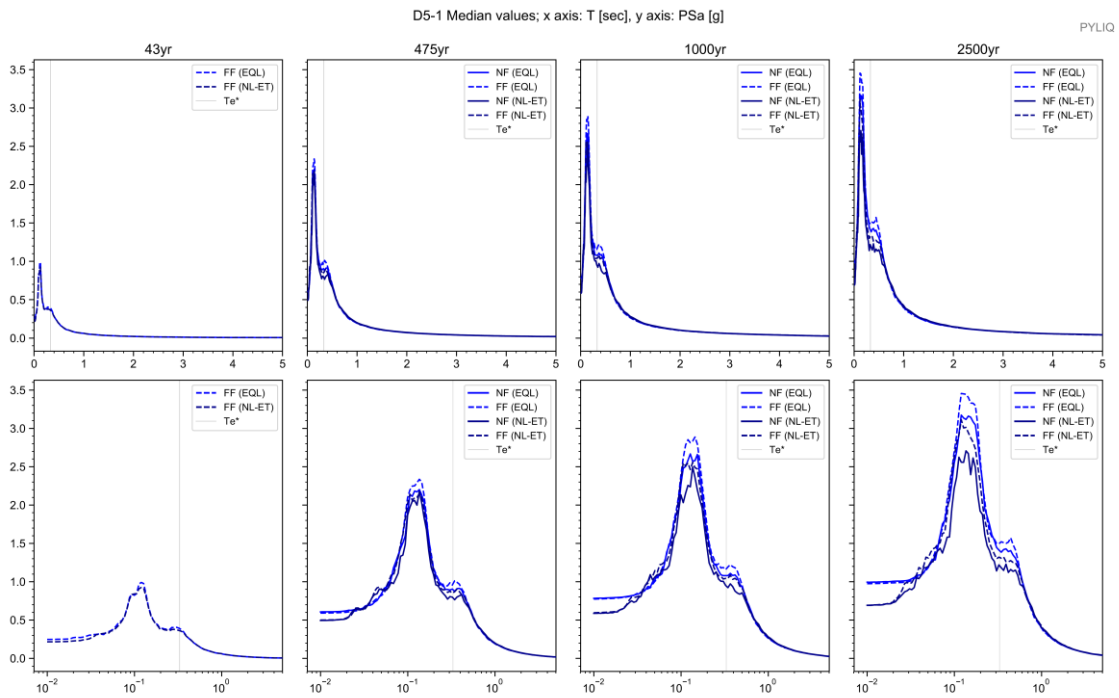
### **Incluye los Sitios:**

- **SITE D5-1**
- **SITE D5-2**
- **SITE D5-3**
- **SITE D5-4**
- **SITE 220ECU**
- **SITE 222ECU**
- **Monte Sinai**

### Sitio D5-1

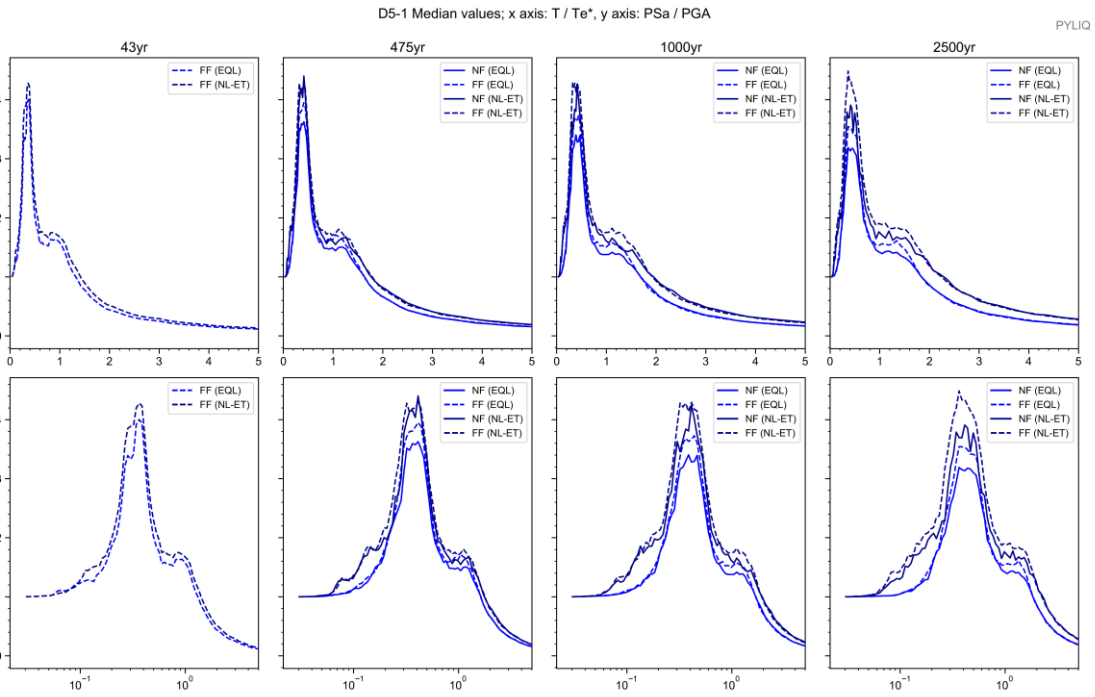


Apéndice 323. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D5-1

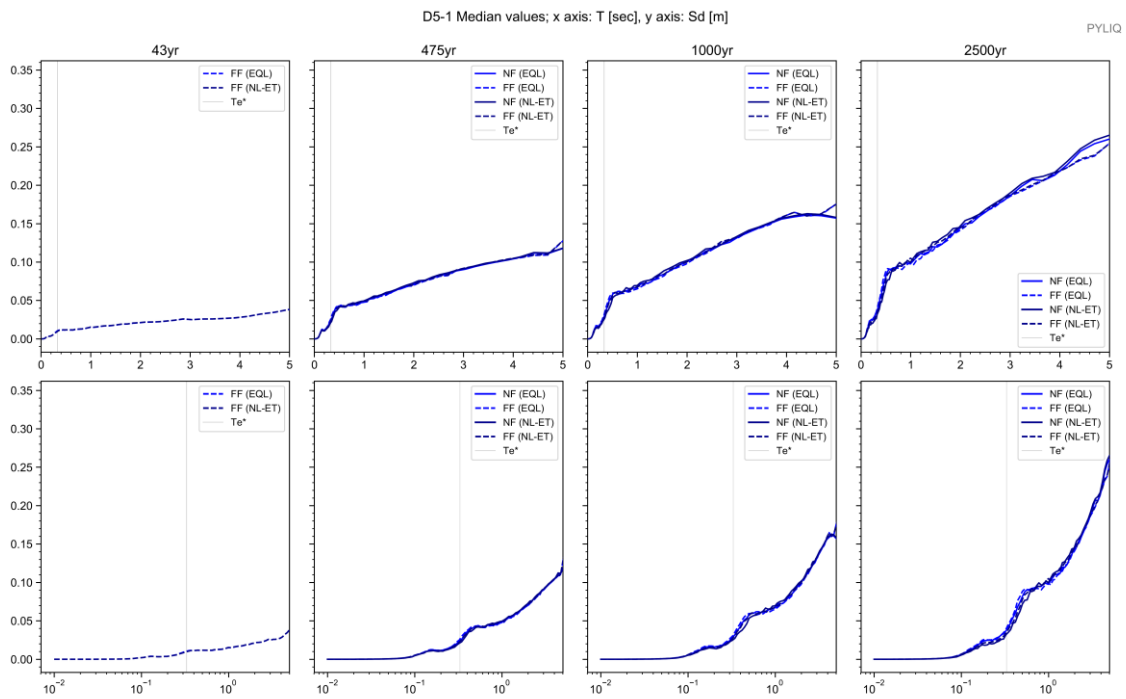


Apéndice 324. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D5-1

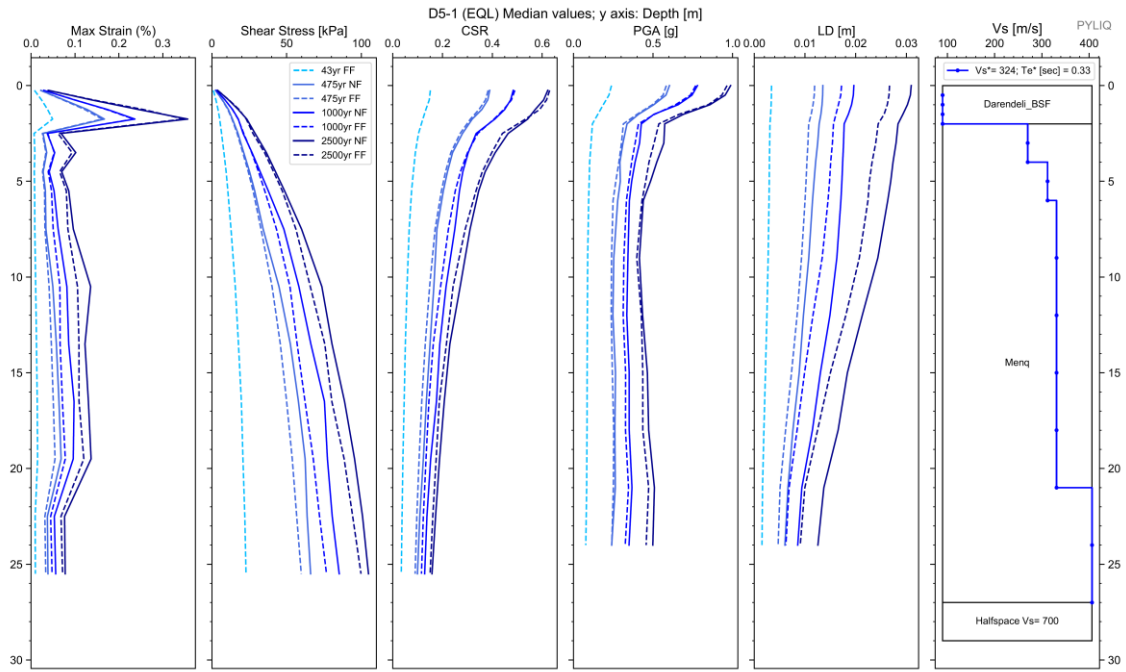




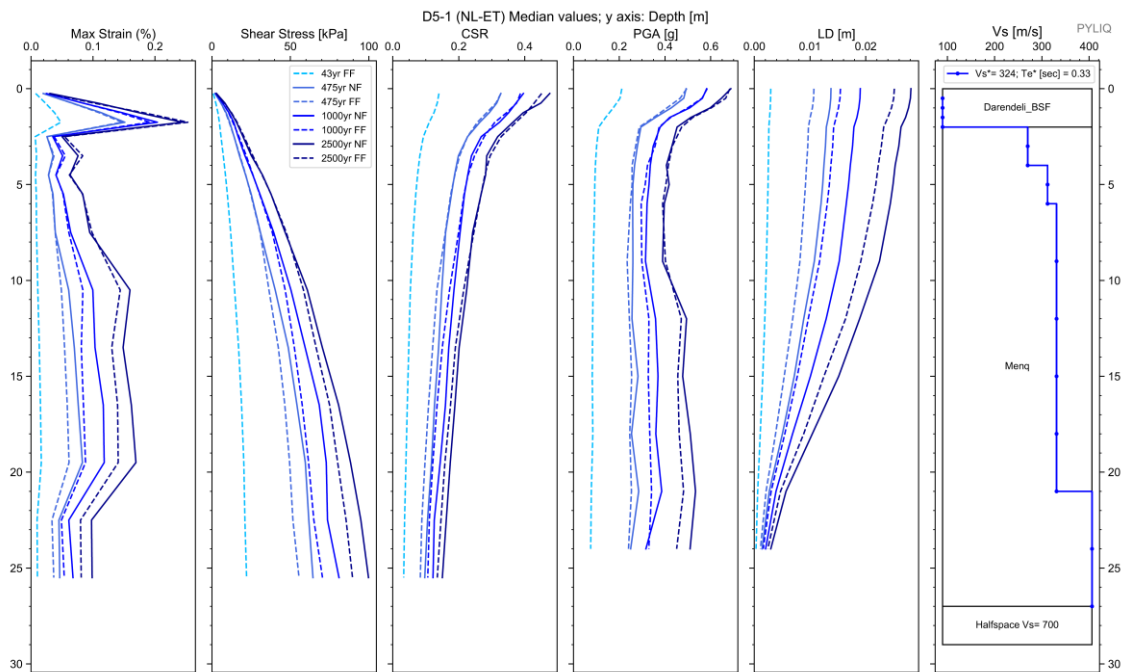
Apéndice 325. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D5-1 .



Apéndice 326. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D5-1 .



Apéndice 327. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D5-1



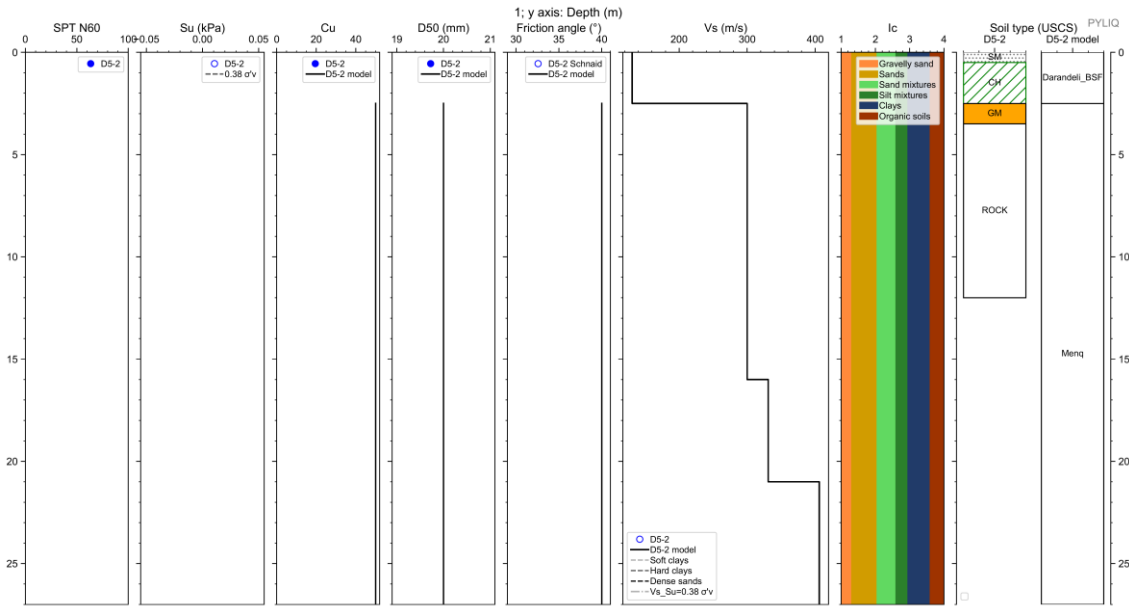
Apéndice 328. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D5-1

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	2,00	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	27,00	17,00	10,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

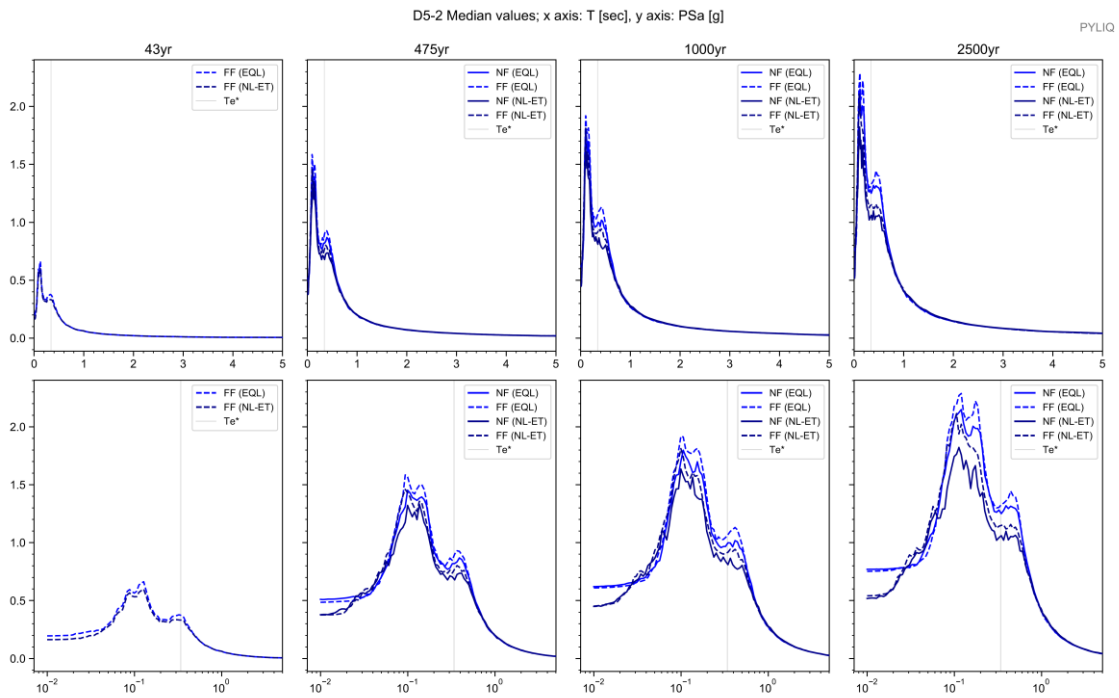
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	90,0
2,0	90,0
4,0	270,0
6,0	312,0
21,0	331,0
27,0	406,0

Apéndice 329. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D5-1

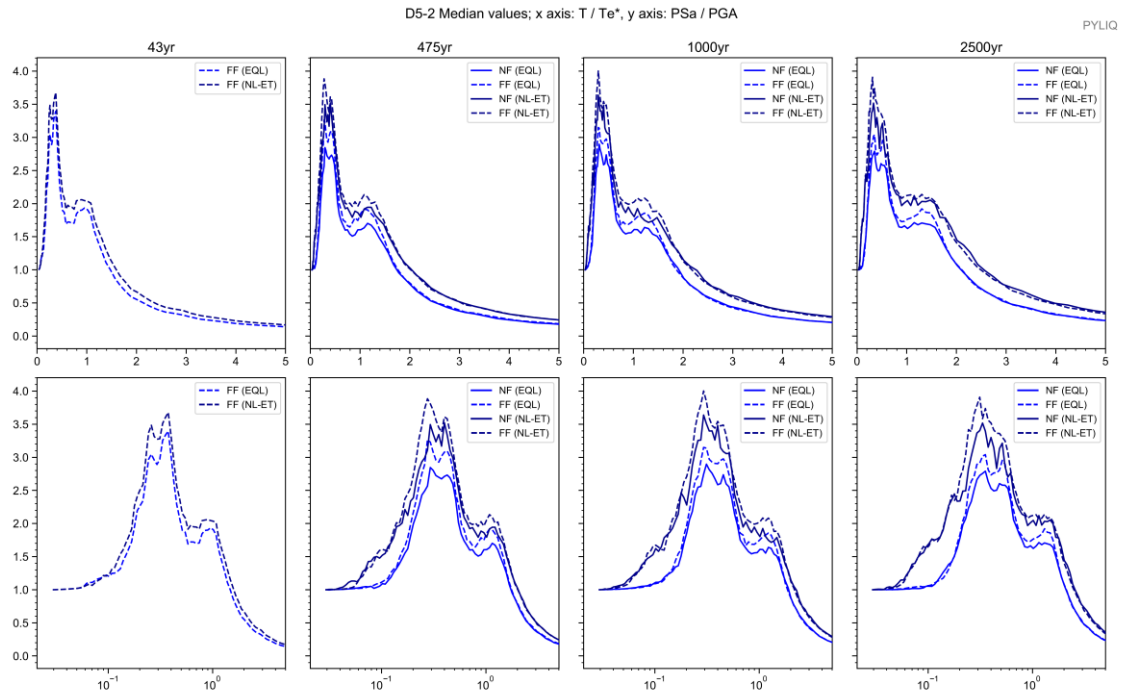
### Sitio D5-2



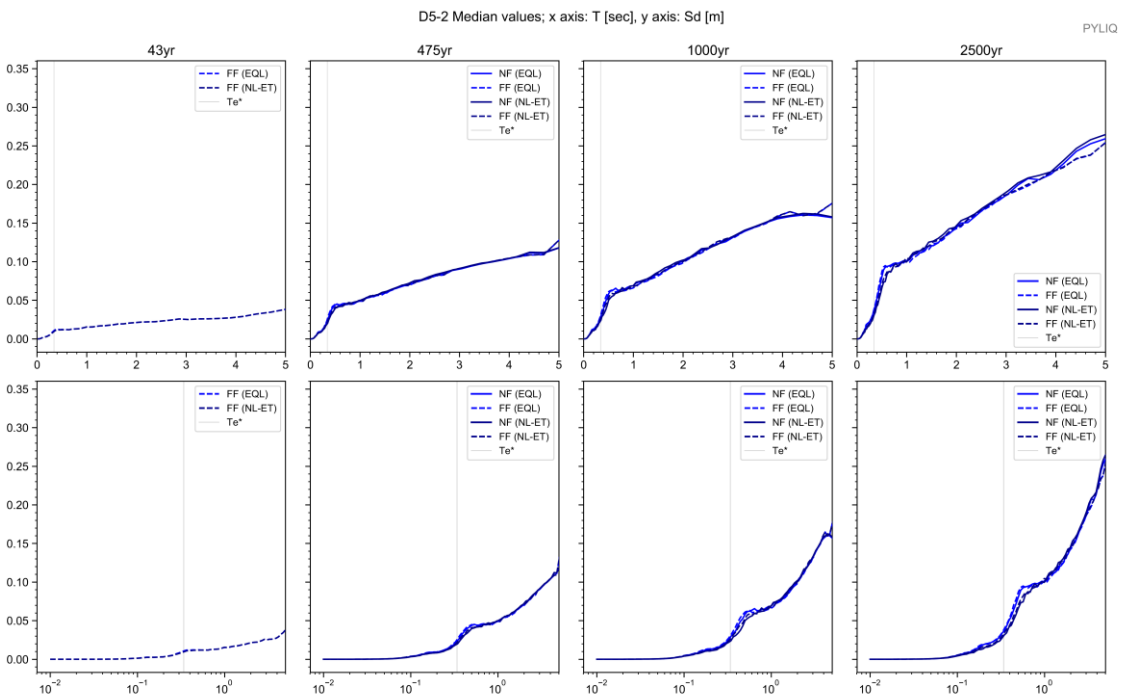
Apéndice 330. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D5-2



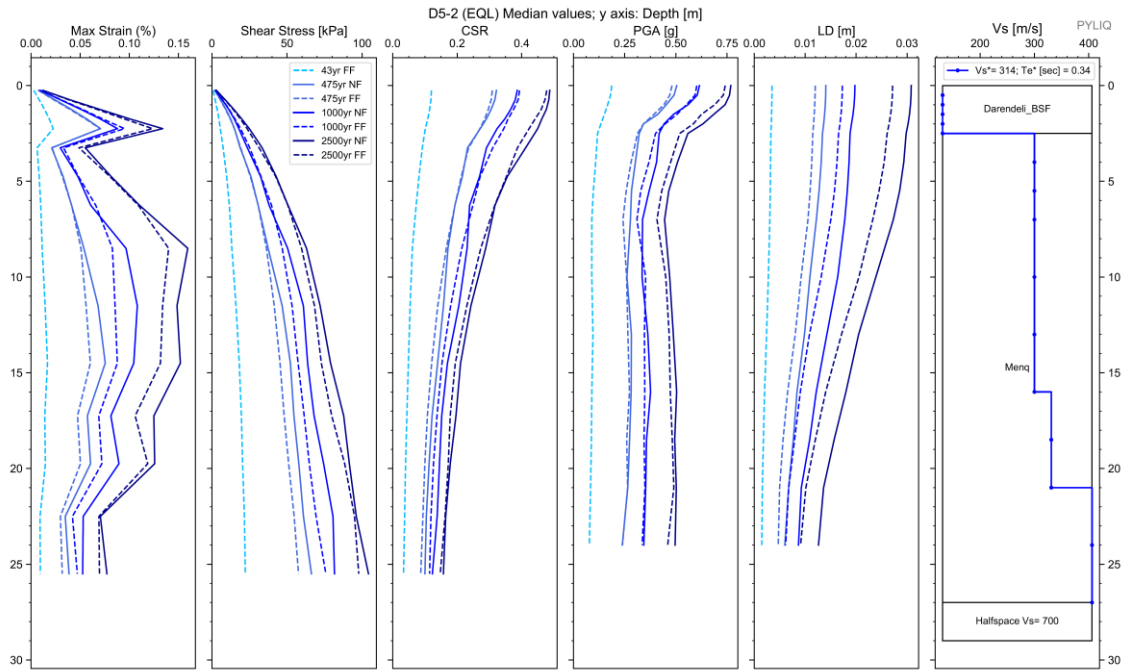
Apéndice 331. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D5-2



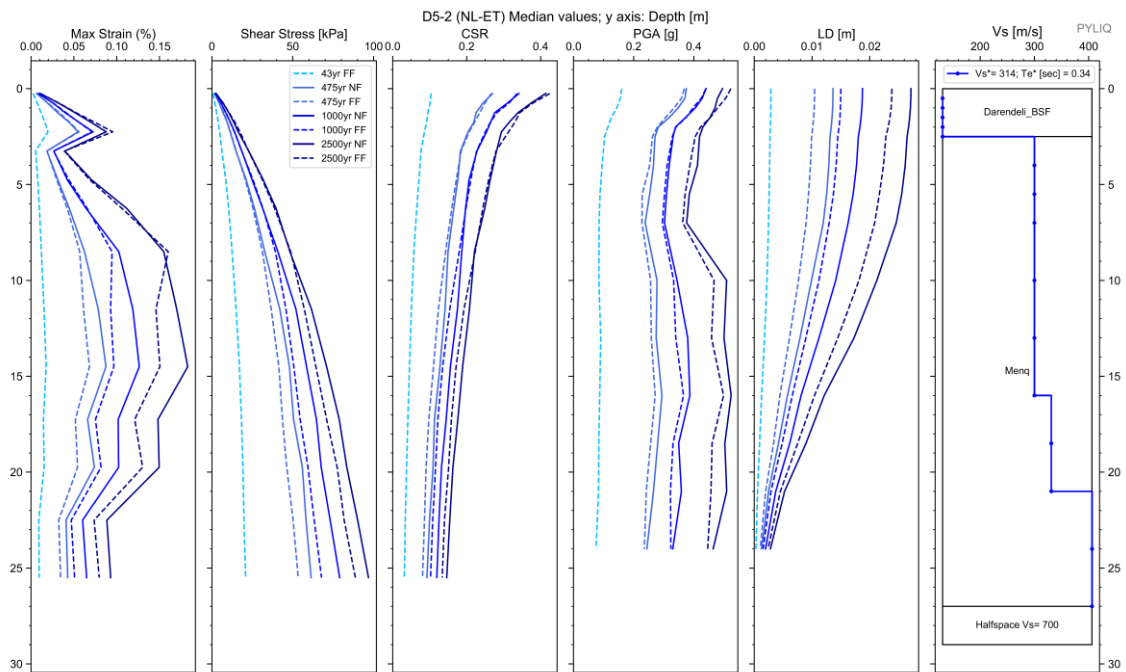
Apéndice 332. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D5-2 .



Apéndice 333. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D5-2 .



Apéndice 334. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D5-2



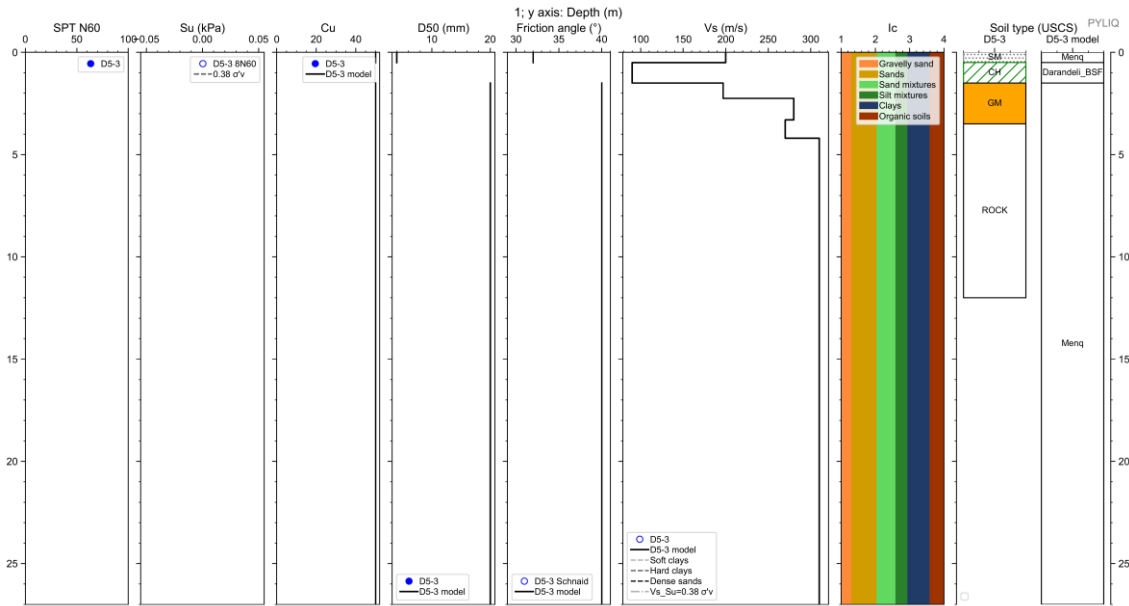
Apéndice 335. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D5-2

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	2,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	27,00	17,00	10,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

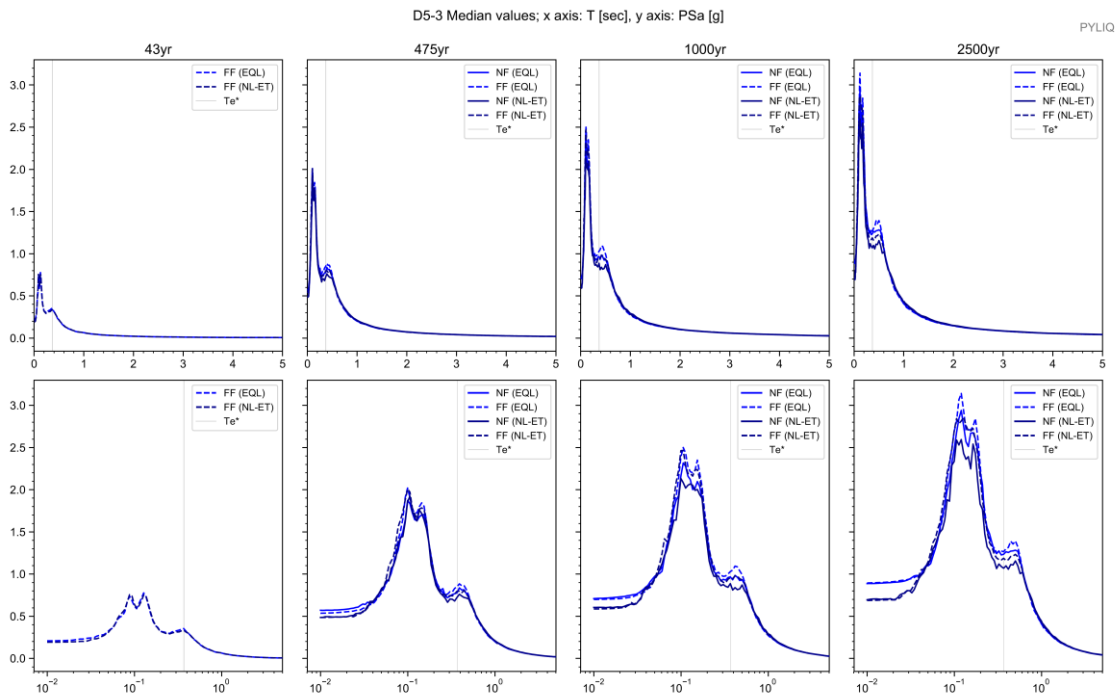
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	131,0
2,5	131,0
16,0	300,0
21,0	331,0
27,0	406,0

Apéndice 336. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D5-2

### Sitio D5-3

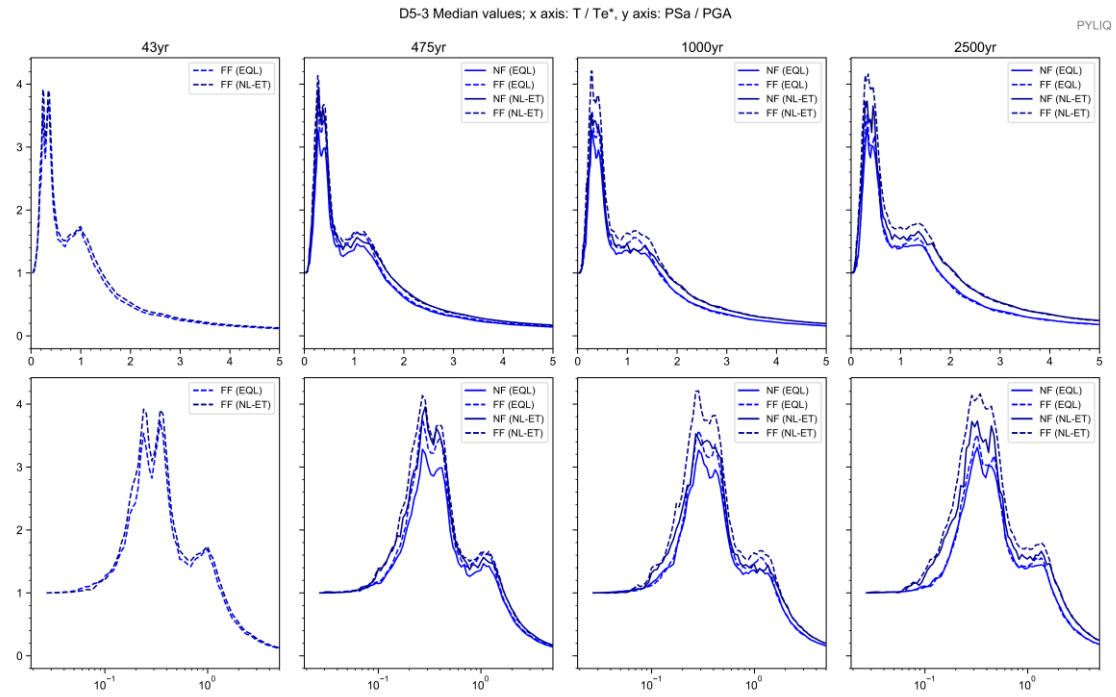


Apéndice 337. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D5-3

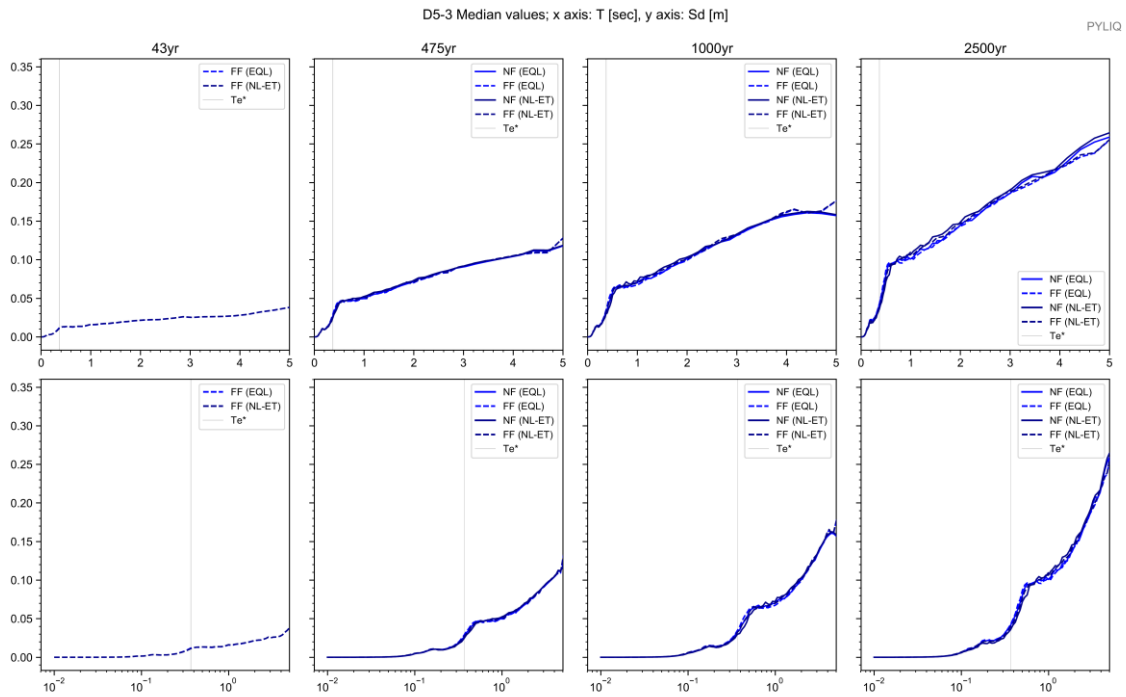


Apéndice 338. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D5-3

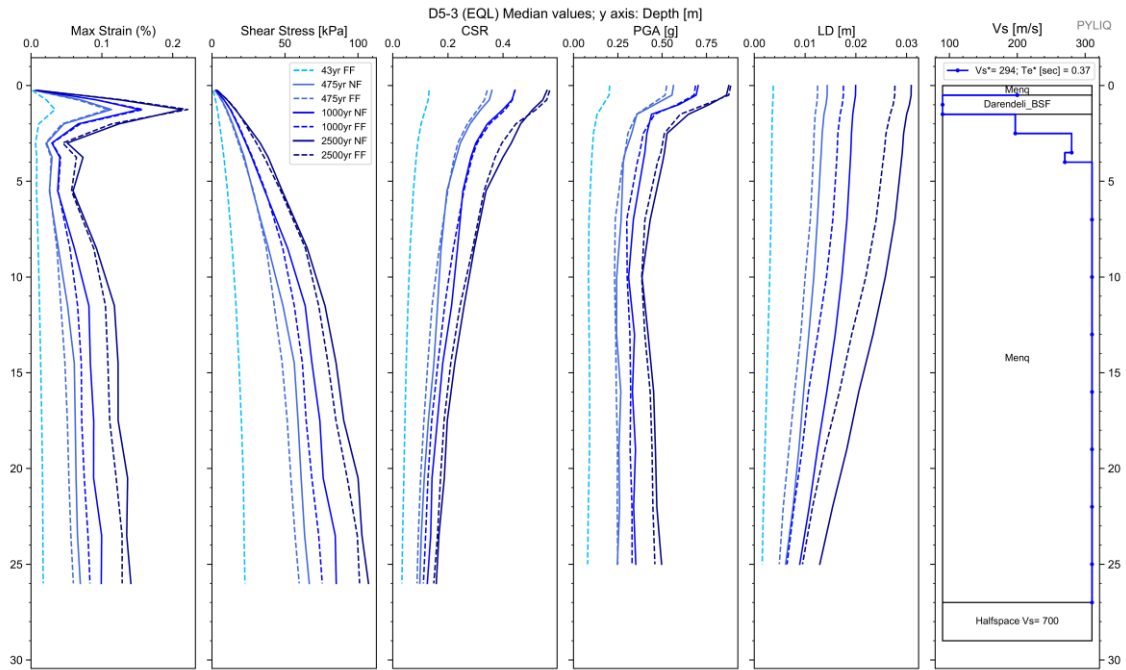




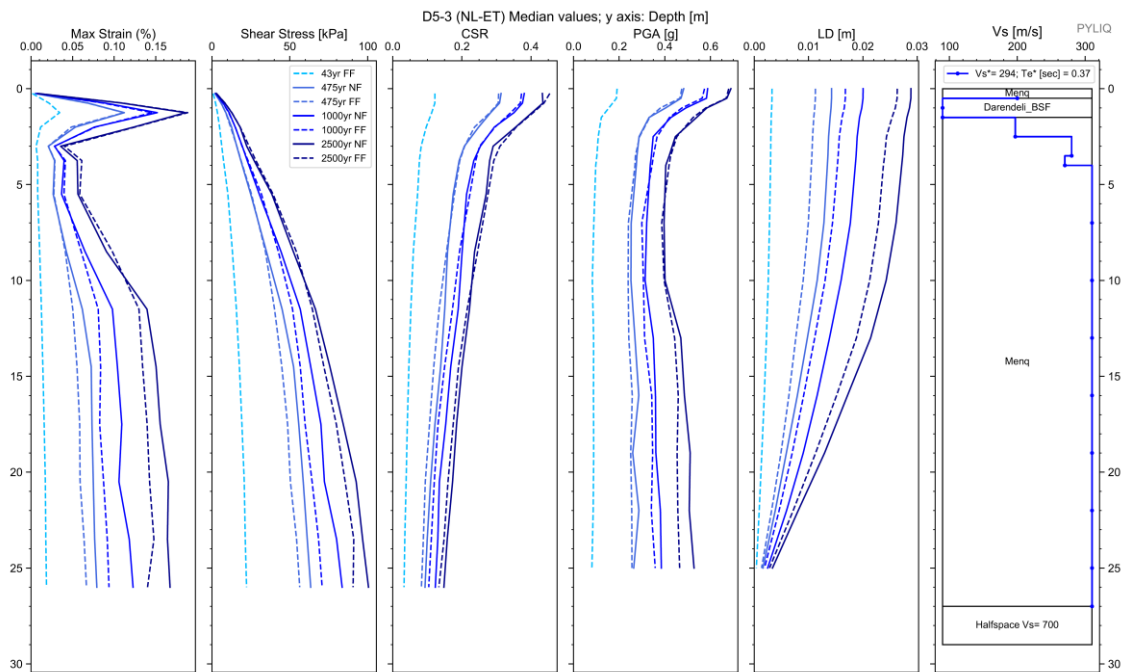
Apéndice 339. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D5-3 .



Apéndice 340. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D5-3 .



Apéndice 341. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D5-3



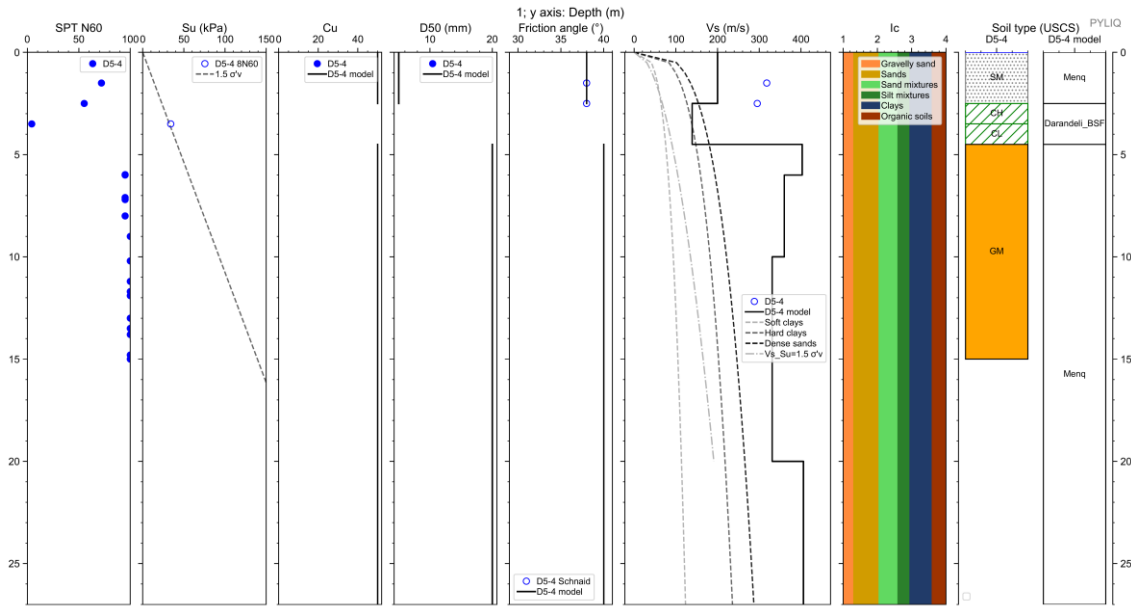
Apéndice 342. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D5-3

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	0,50	17,00	10,00	4,00	32,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	1,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	27,00	17,00	5,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

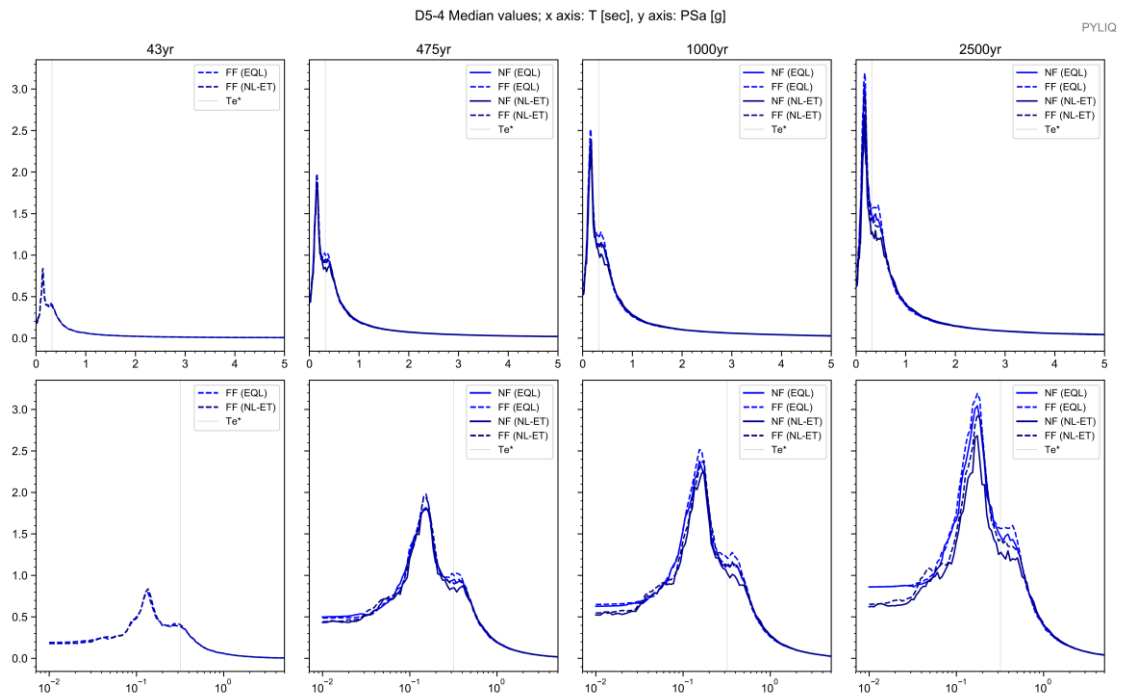
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
0,5	200,0
1,5	90,0
2,5	197,0
3,5	280,0
4,0	270,0
27,0	310,0

Apéndice 343. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D5-3

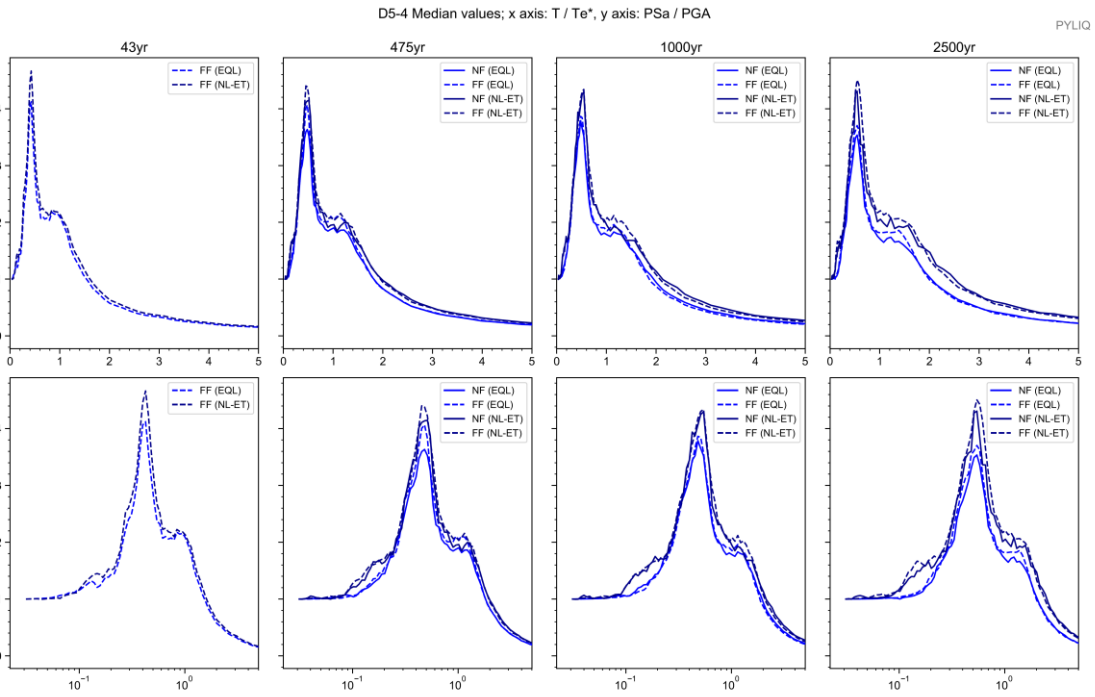
### Sitio D5-4



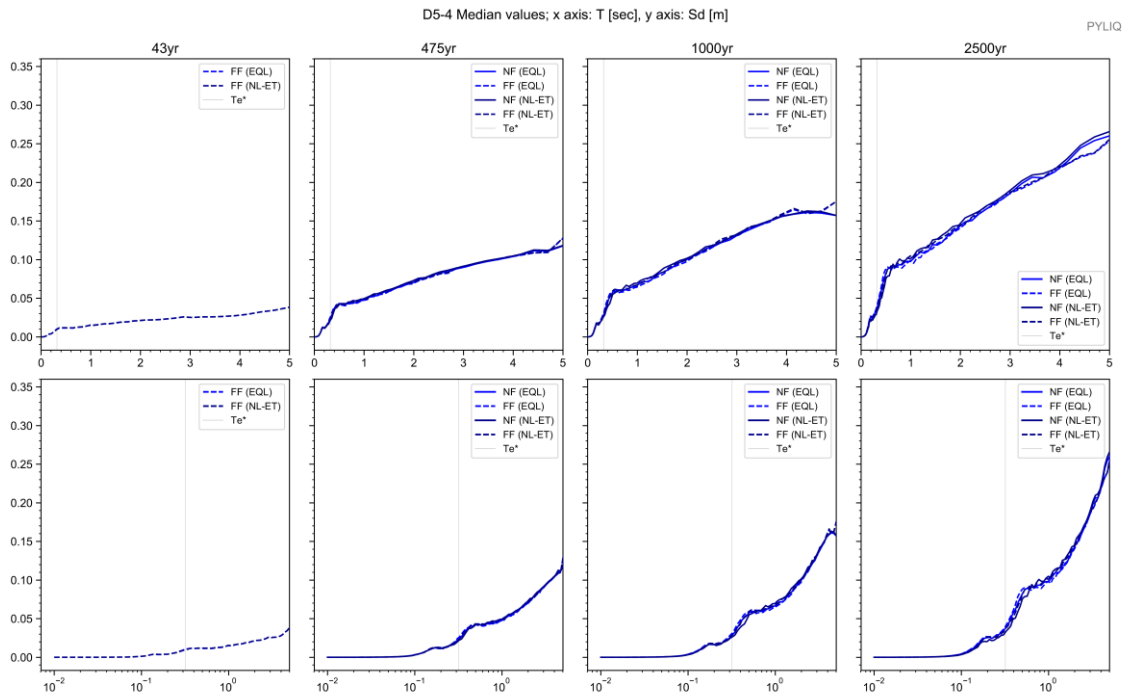
Apéndice 344. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio D5-4



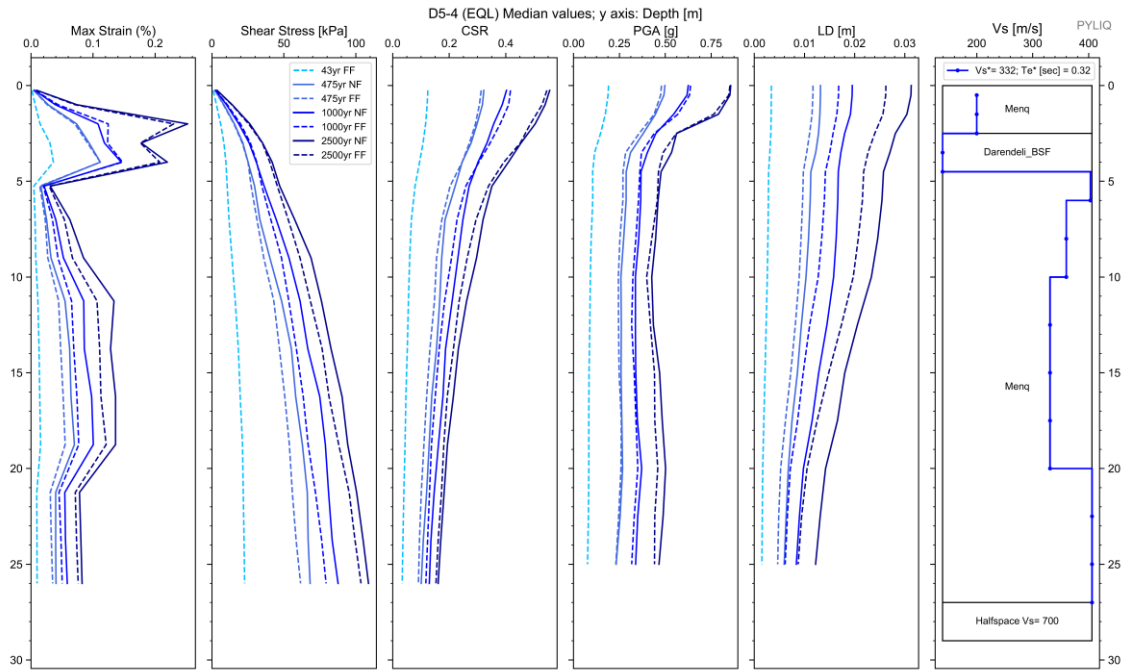
Apéndice 345. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio D5-4



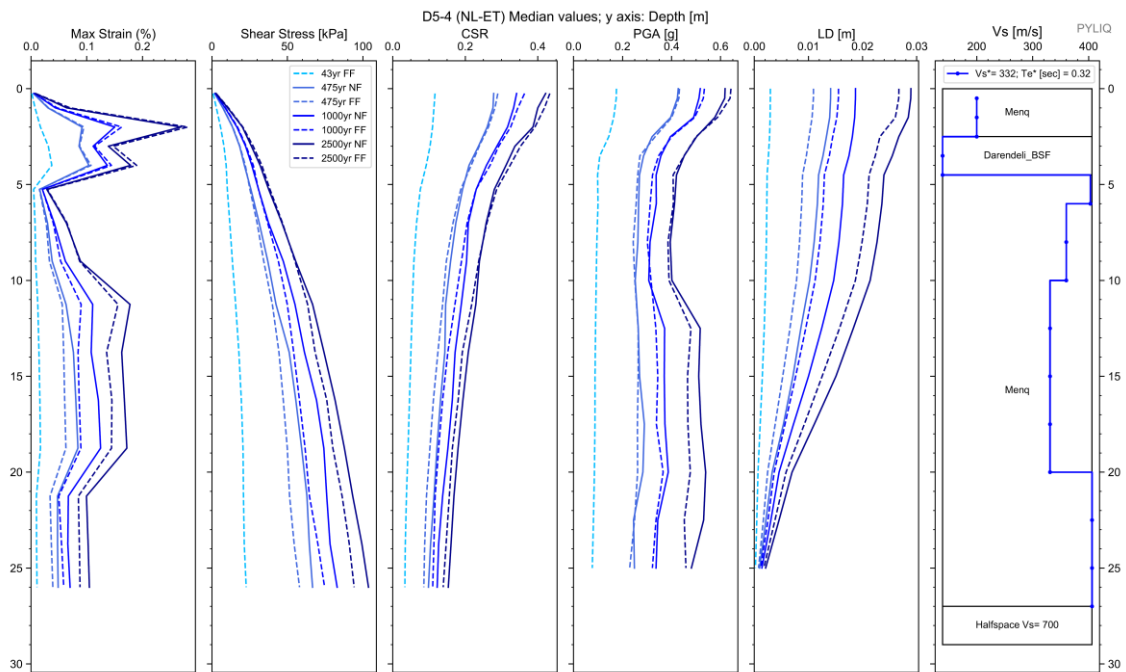
Apéndice 346. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio D5-4 .



Apéndice 347. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio D5-4 .



Apéndice 348. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio D5-4



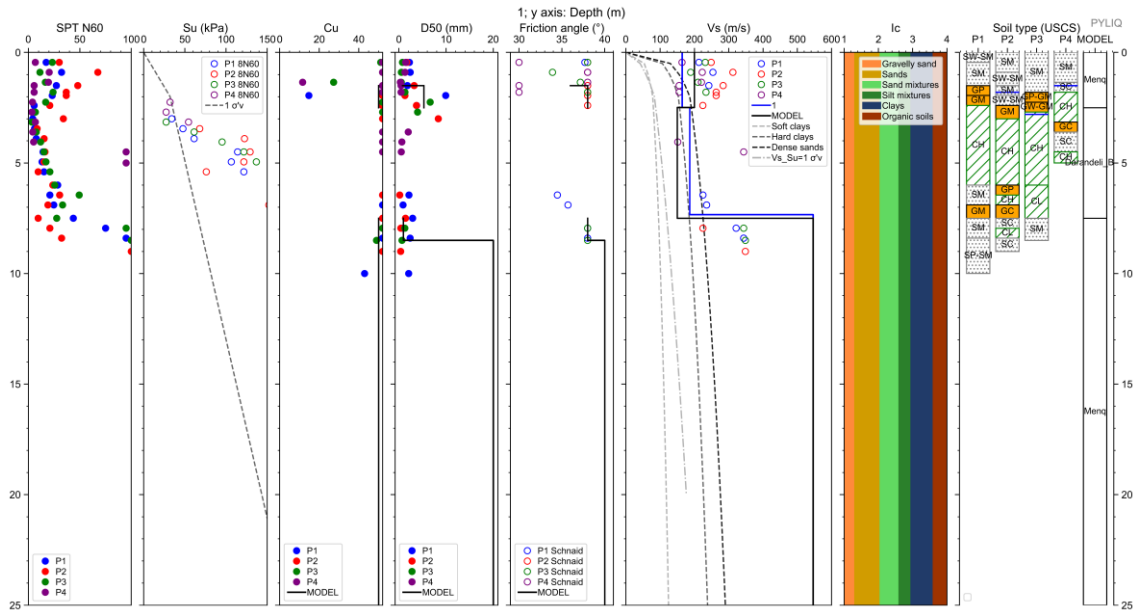
Apéndice 349. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio D5-4

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	2,50	17,00	10,00	5,00	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Darendeli_BSF	4,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT3	Menq	27,00	17,00	10,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

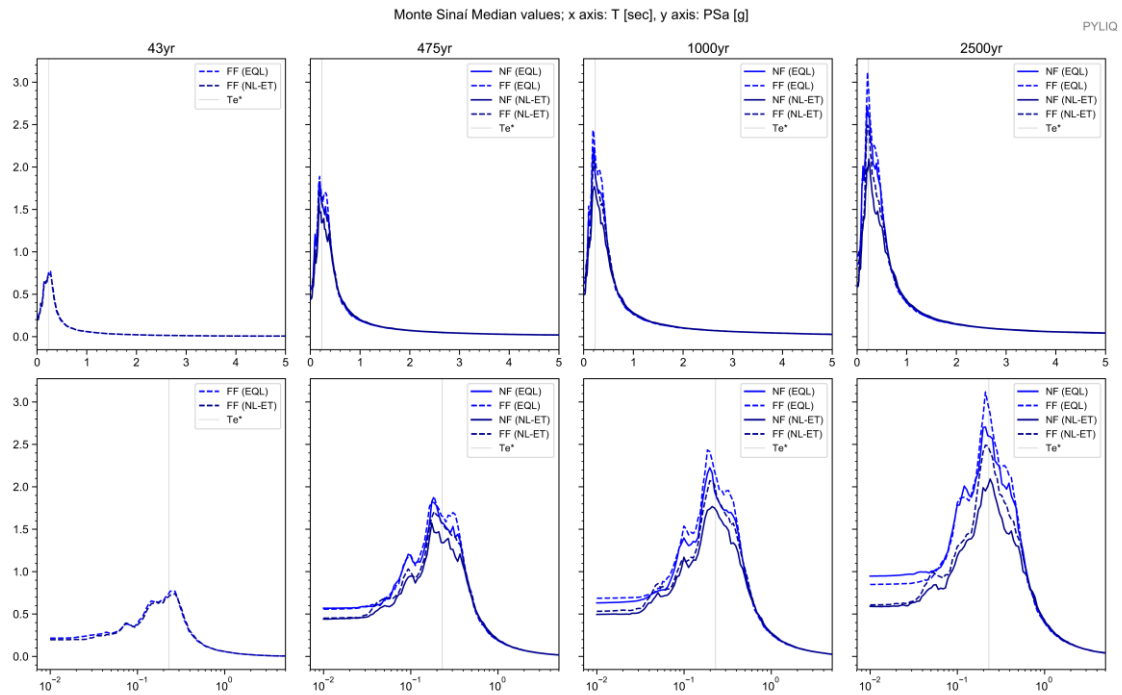
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,5	200,0
4,5	139,0
6,0	403,0
10,0	360,0
20,0	331,0
27,0	406,0

Apéndice 350. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio D5-4

# Sitio MONTE SINAI

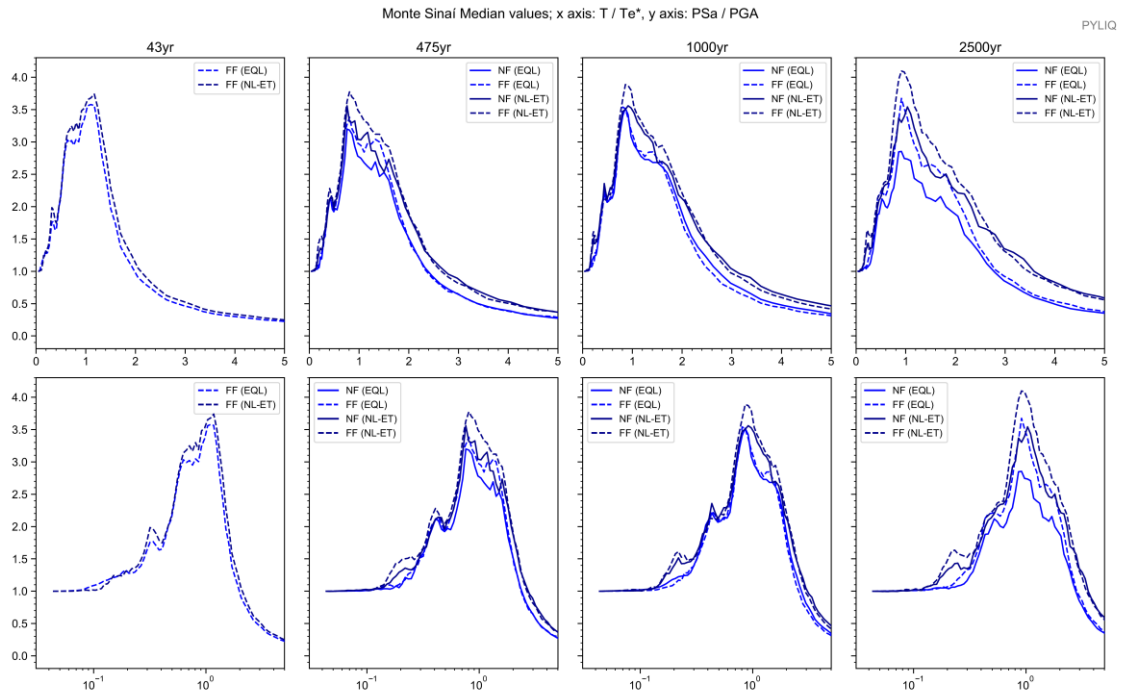


Apéndice 351. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio MONTE SINAI

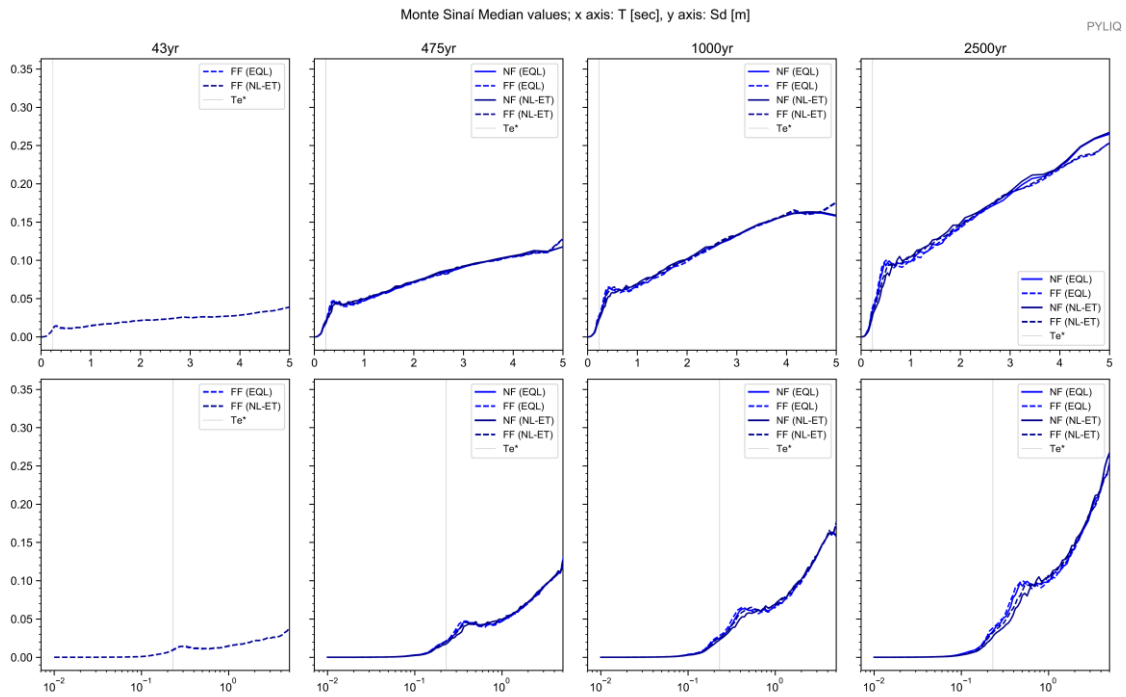


Apéndice 352. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio MONTE SINAI

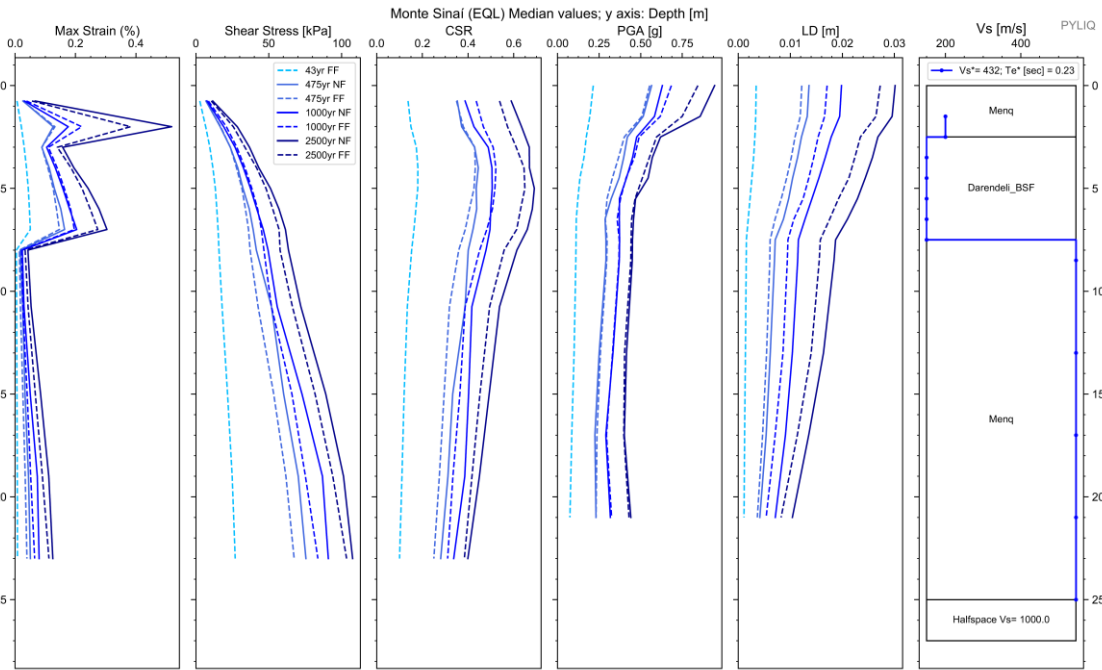




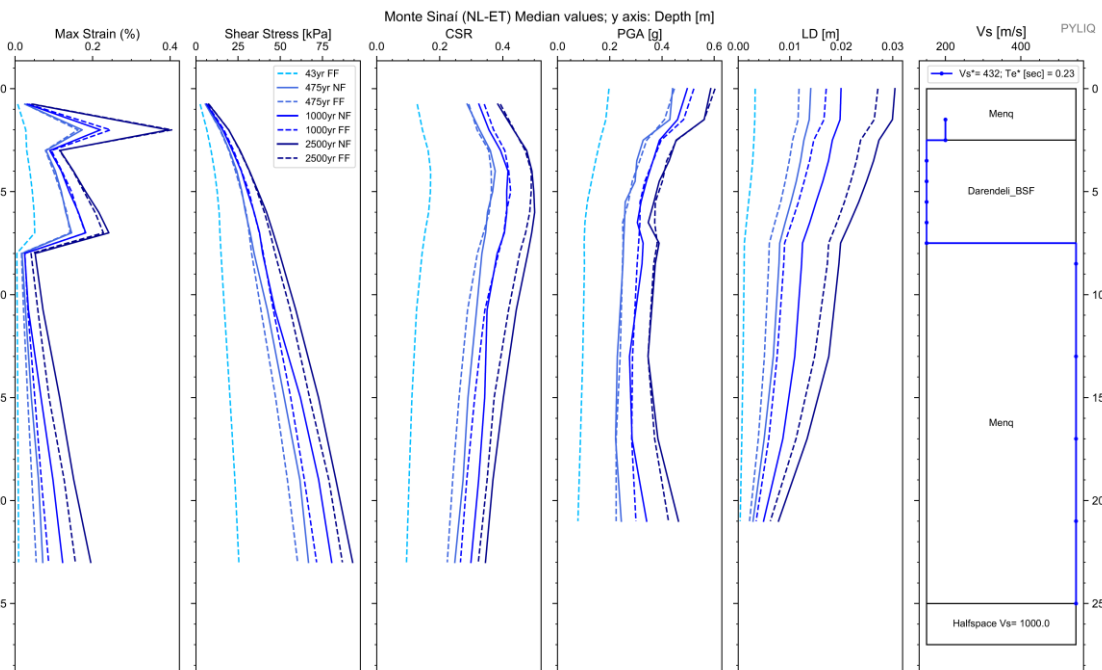
Apéndice 353. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio MONTE SINAI .



Apéndice 354. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio MONTE SINAI .



Apéndice 355. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio MONTE SINAI



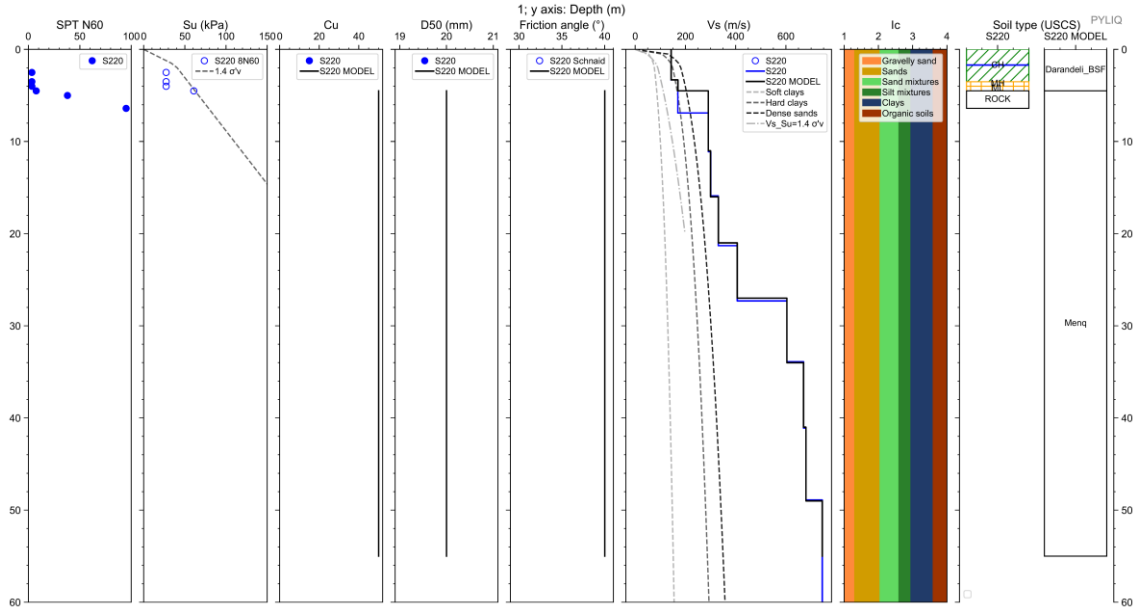
Apéndice 356. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio MONTE SINAI

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Menq	1,50	17,00	20,00	0,76	36,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Menq	2,50	17,00	20,00	5,30	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT3	Darendeli_BSF	7,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT4	Menq	8,50	17,00	50,00	0,96	38,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT5	Menq	25,00	17,00	50,00	1,50	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

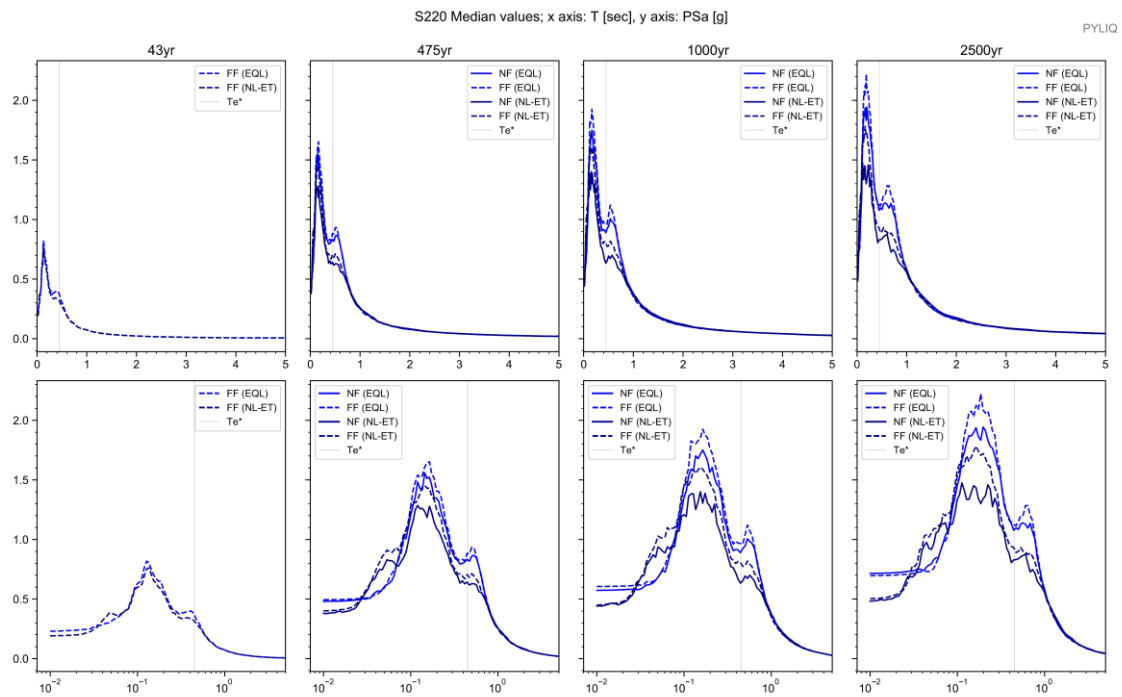
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	200,0
2,5	200,0
7,5	150,0
25,0	546,2

Apéndice 357. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio MONTE SINAI

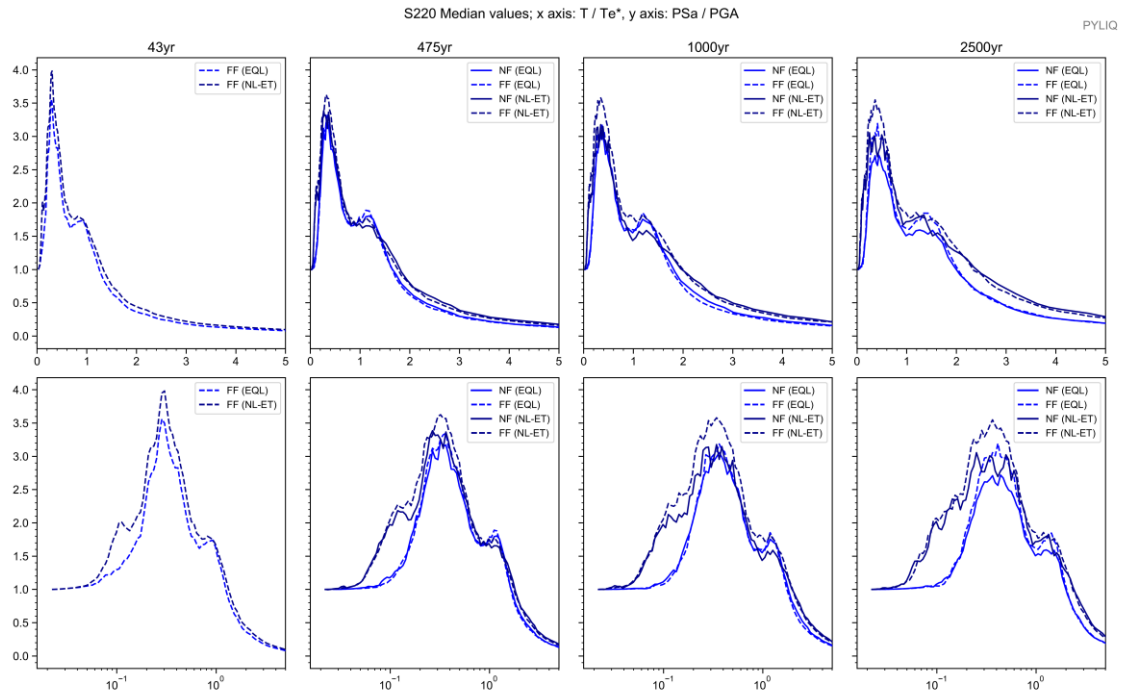
### Sitio S220



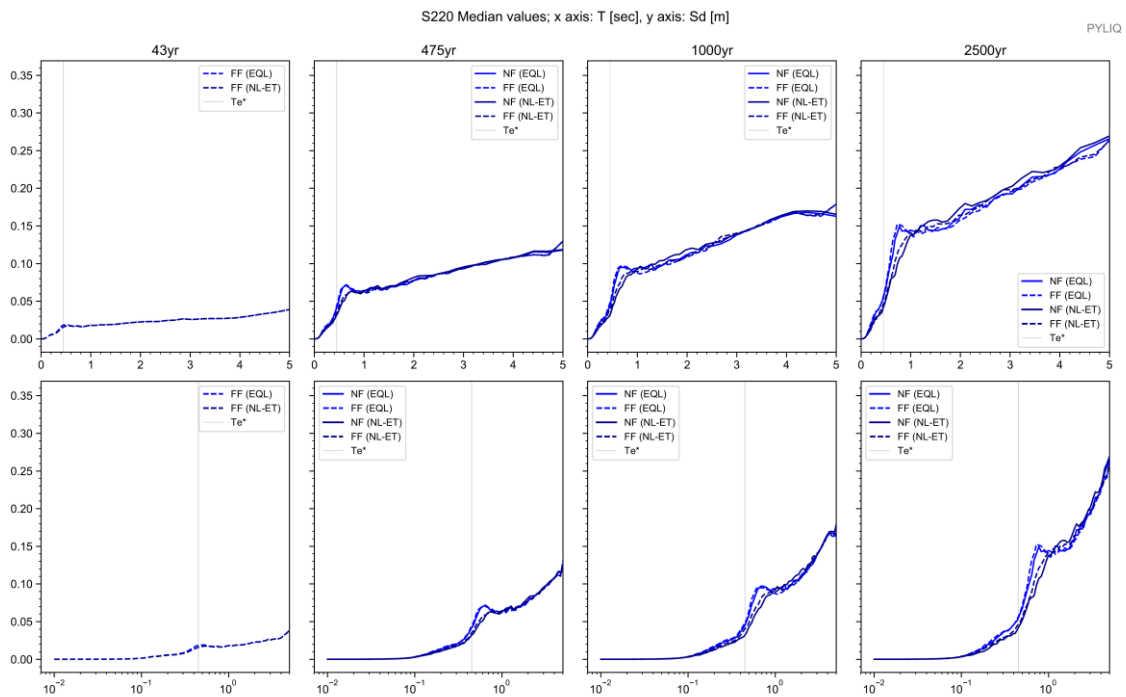
Apéndice 358. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S220



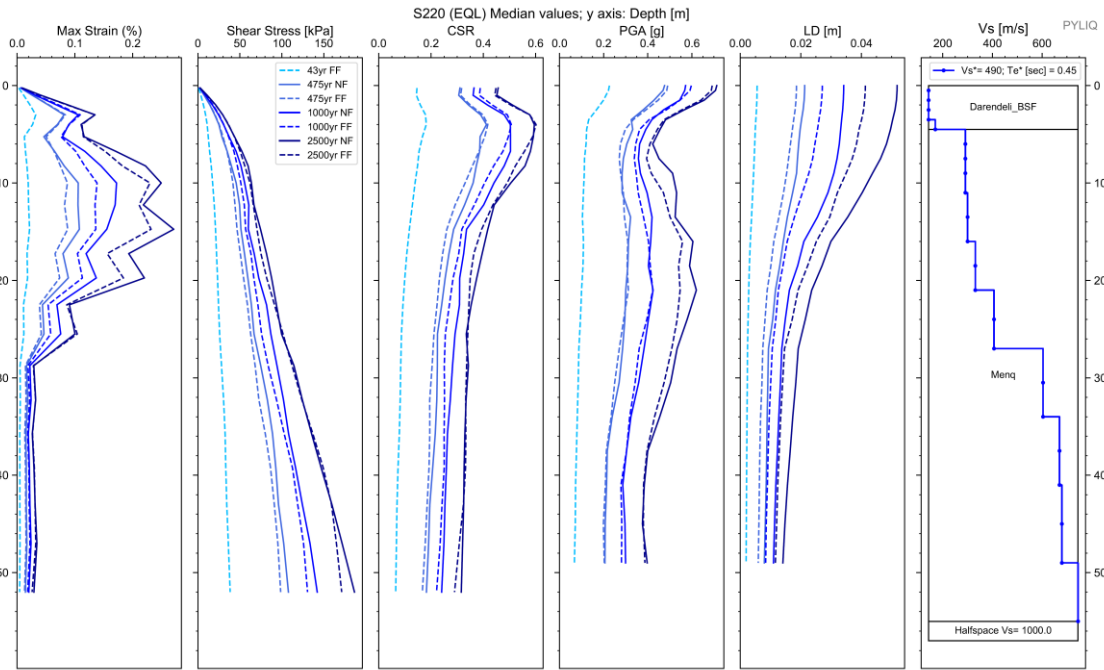
Apéndice 359. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S220



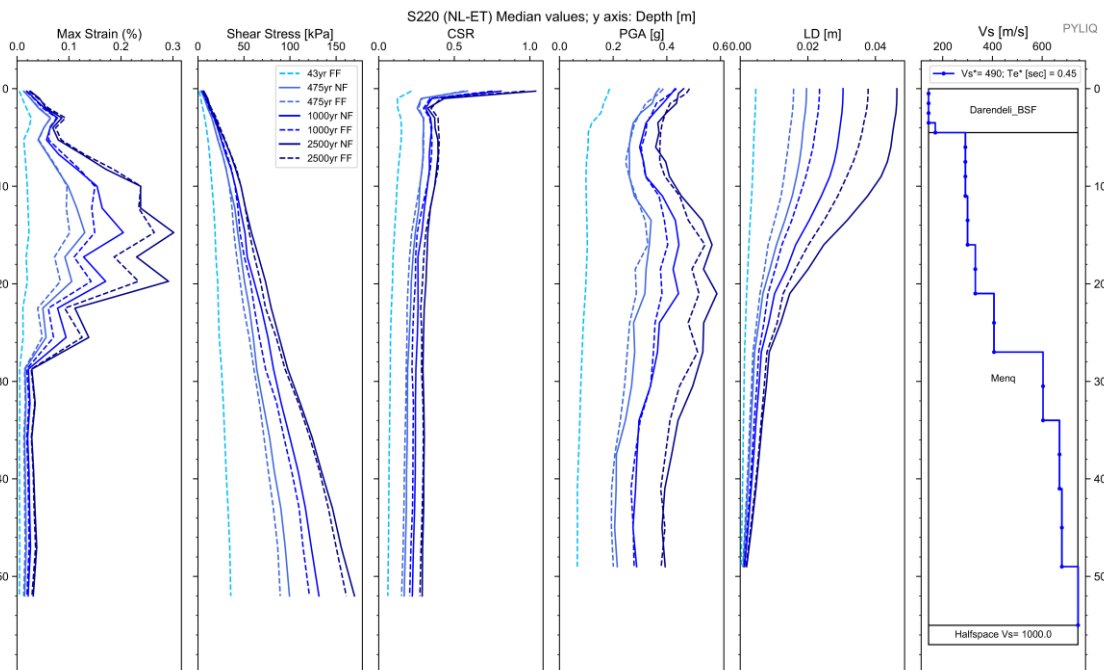
Apéndice 360. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S220 .



Apéndice 361. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S220 .



Apéndice 362. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S220



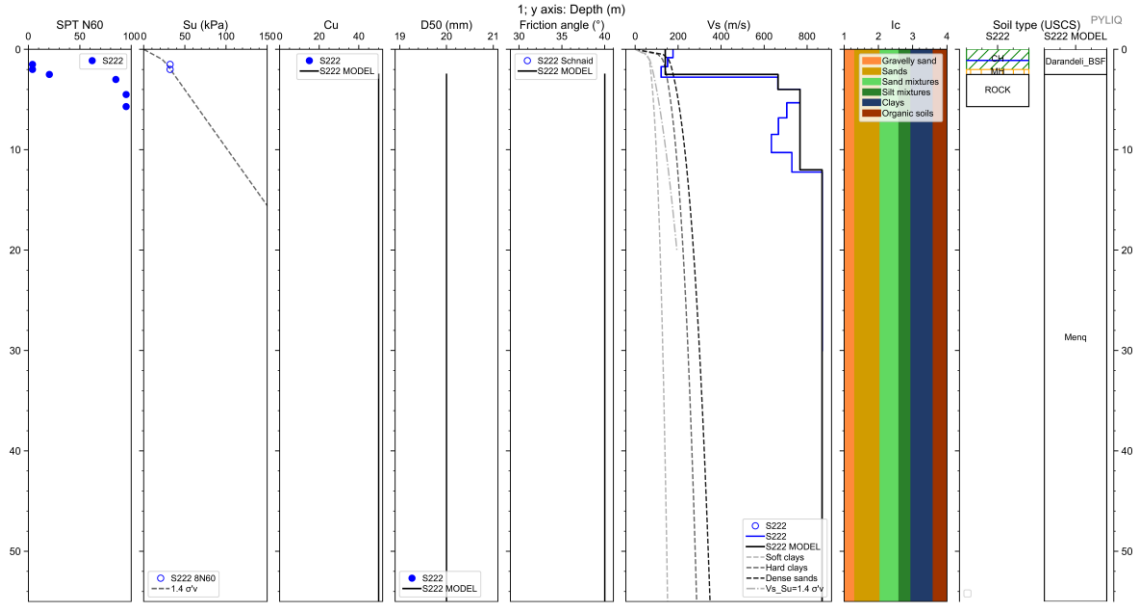
Apéndice 363. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S220

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m <sup>3</sup> )	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	4,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	55,00	17,00	10,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

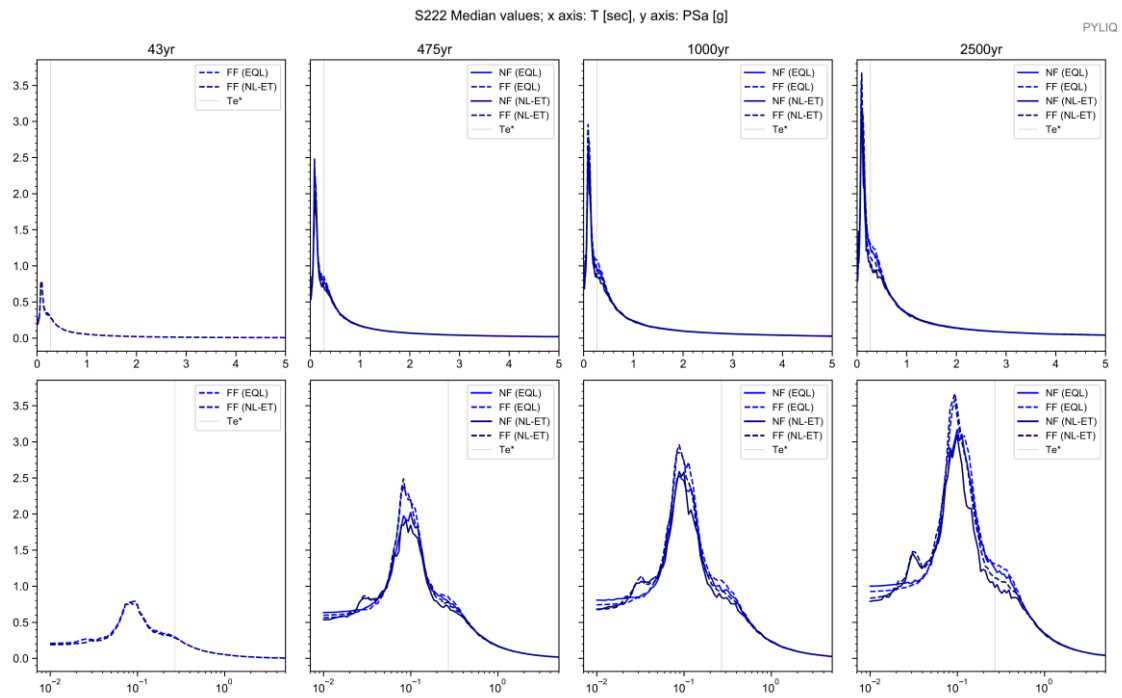
Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	143,0
3,5	143,0
4,5	170,0
11,0	291,0
16,0	300,0
21,0	331,0
27,0	406,4
34,0	603,7
41,0	670,1
49,0	679,6
55,0	744,5

Apéndice 364. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S220

# Sitio S222

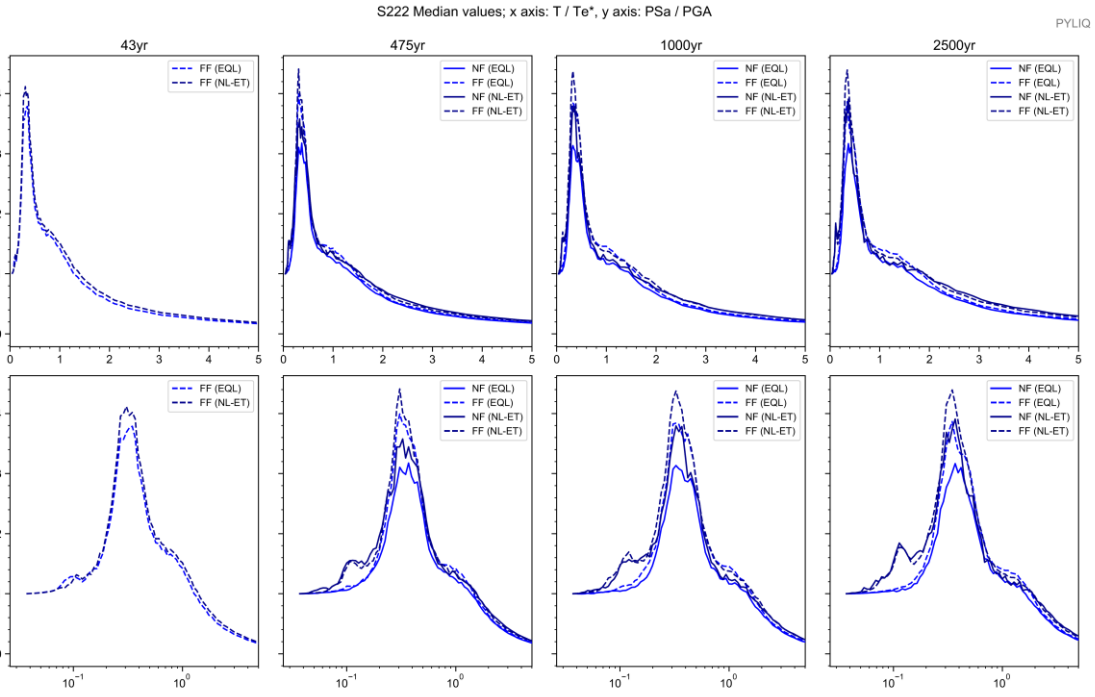


Apéndice 365. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S222

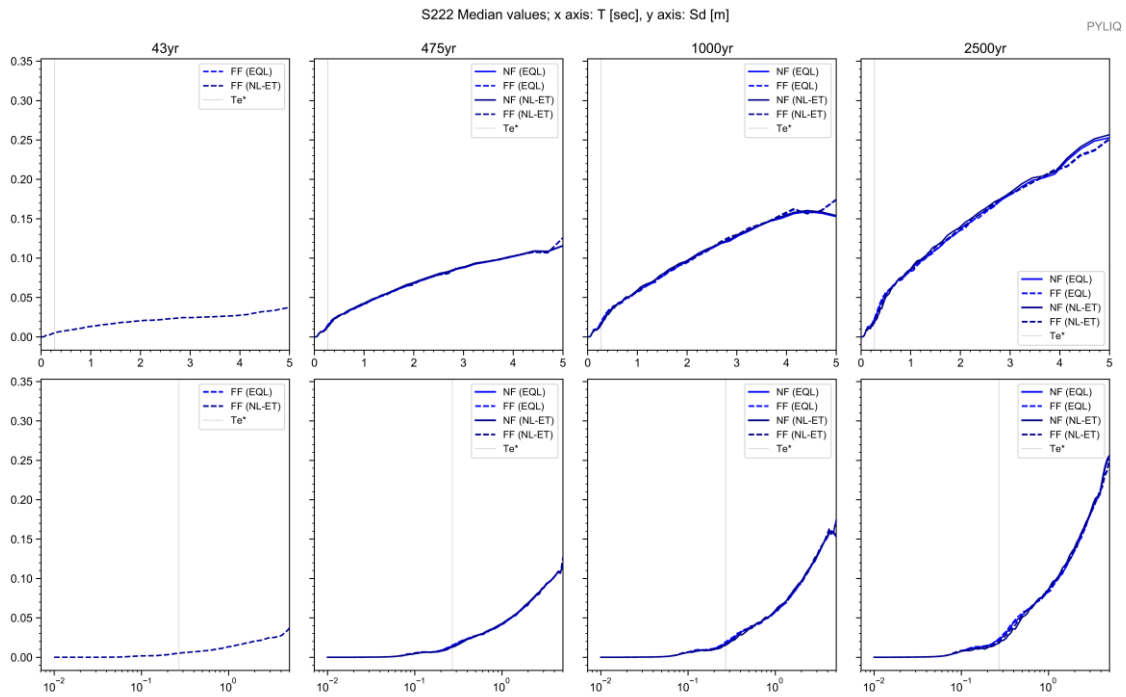


Apéndice 366. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S222

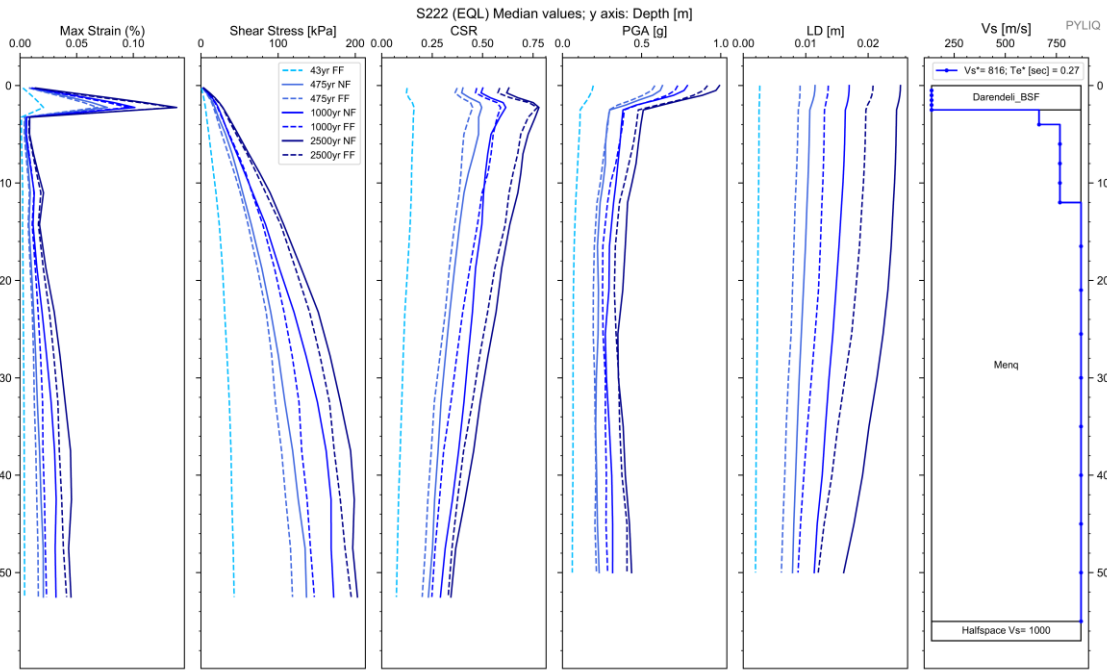




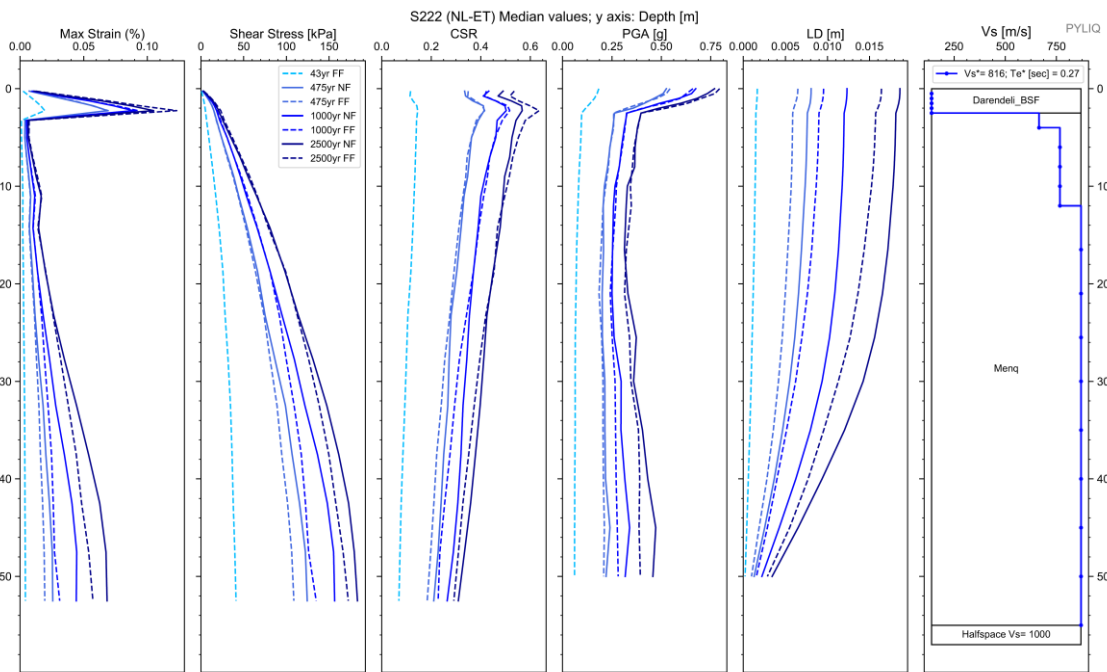
Apéndice 367. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S222 .



Apéndice 368. Espectros elásticos de respuesta de deformación ( $S_d$ ) vs periodo de vibración ( $T$ ) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S222 .



Apéndice 369. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S222



Apéndice 370. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S222

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Darendeli_BSF	2,50	16,00	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	Darendeli_BSF	
MAT2	Menq	55,00	17,00	50,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							1000

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	140,0
2,5	140,0
4,0	665,0
12,0	767,0
55,0	870,0

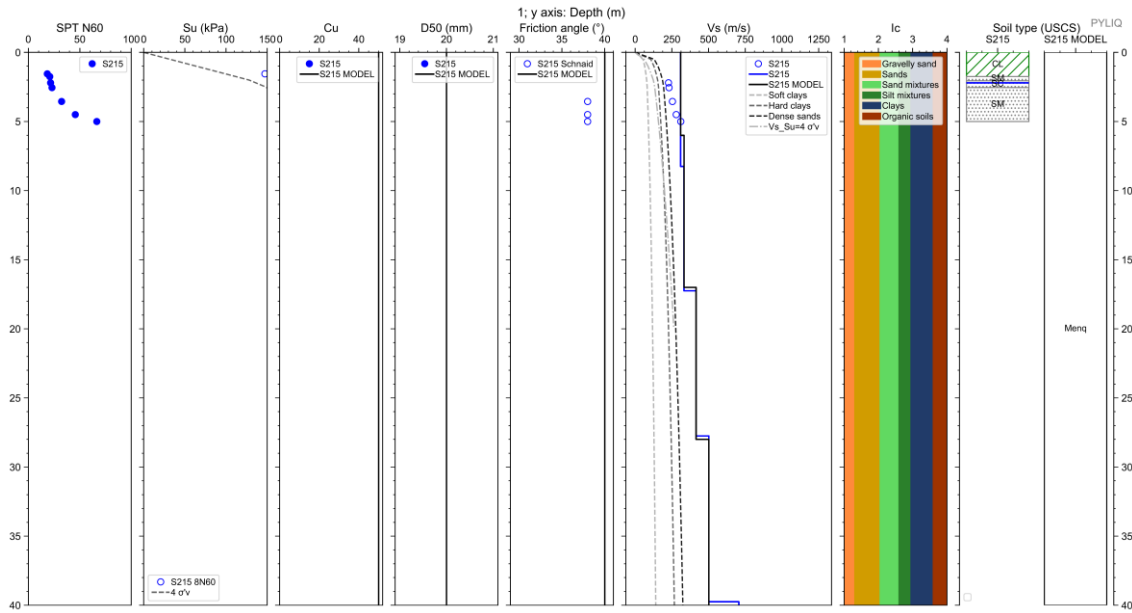
Apéndice 371. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S222

## Zona D6

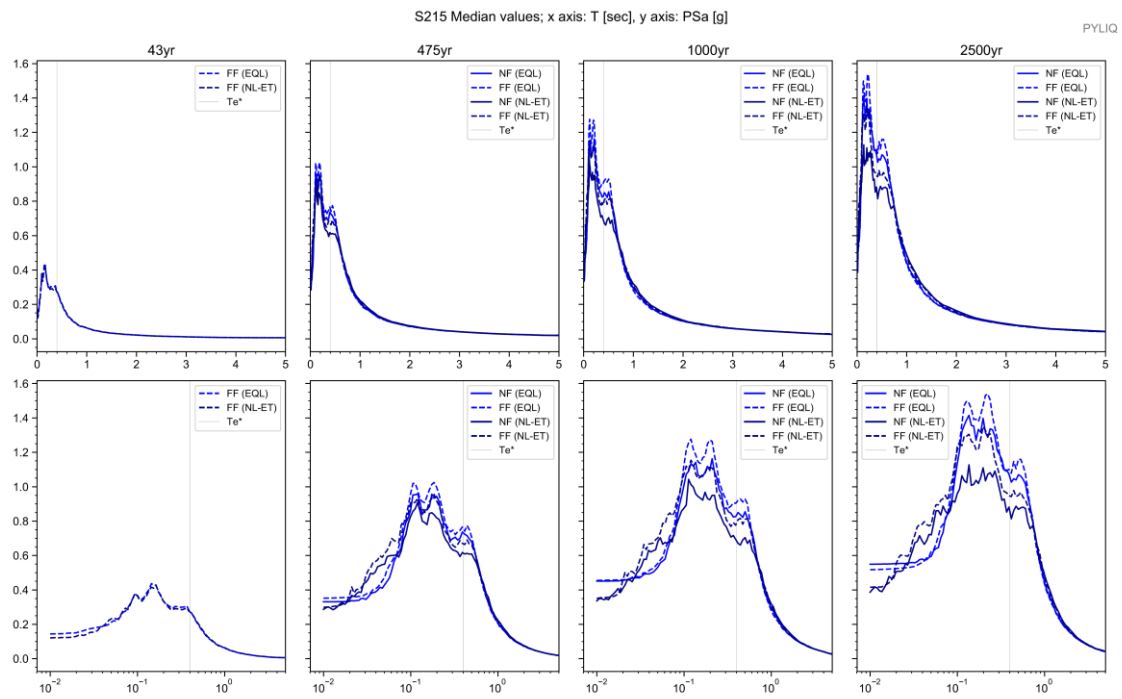
Incluye los Sitios:

- SITE 215ECU

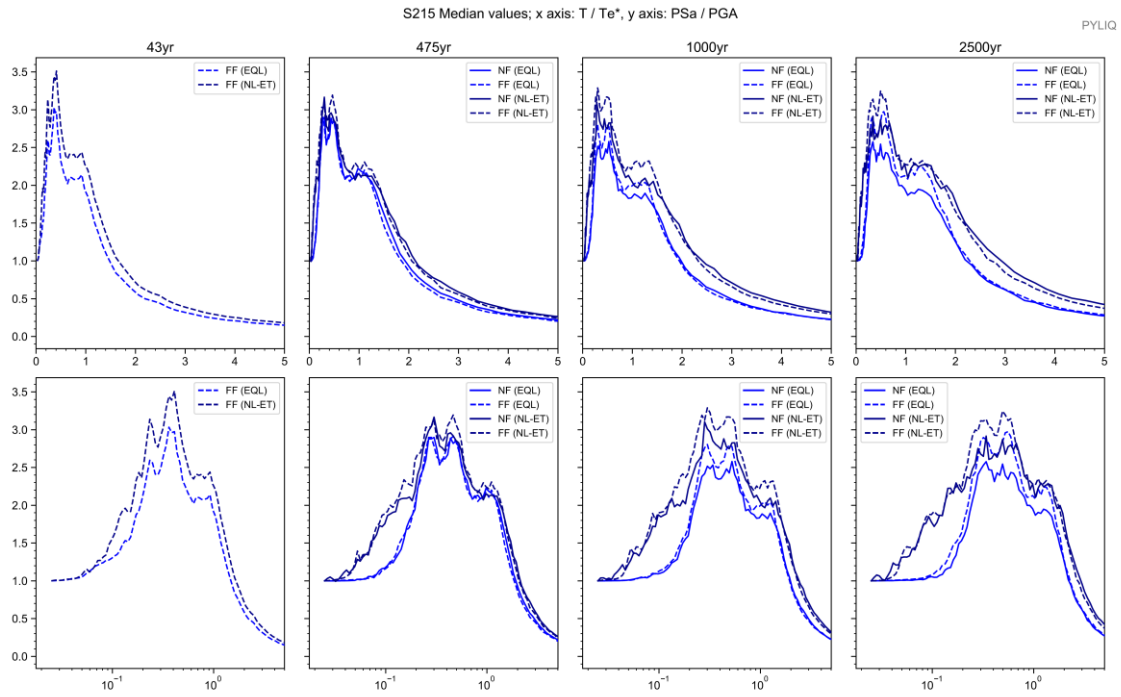
## Sitio S215



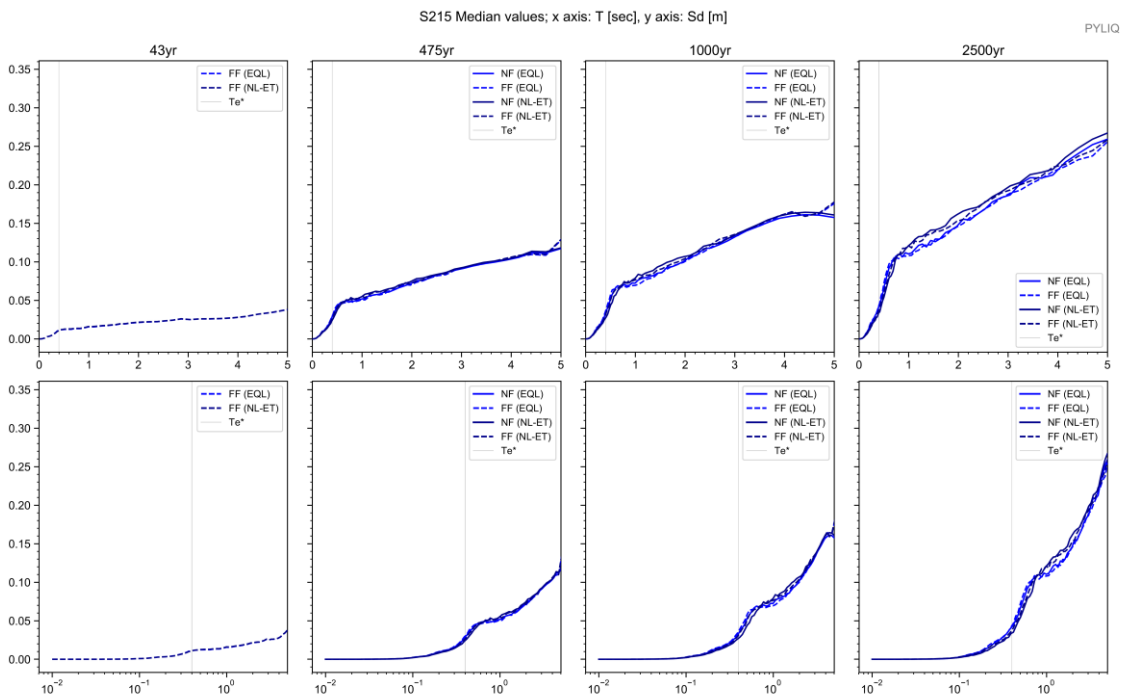
Apéndice 372. Columna estratigráfica modelada del suelo. Sitio S215



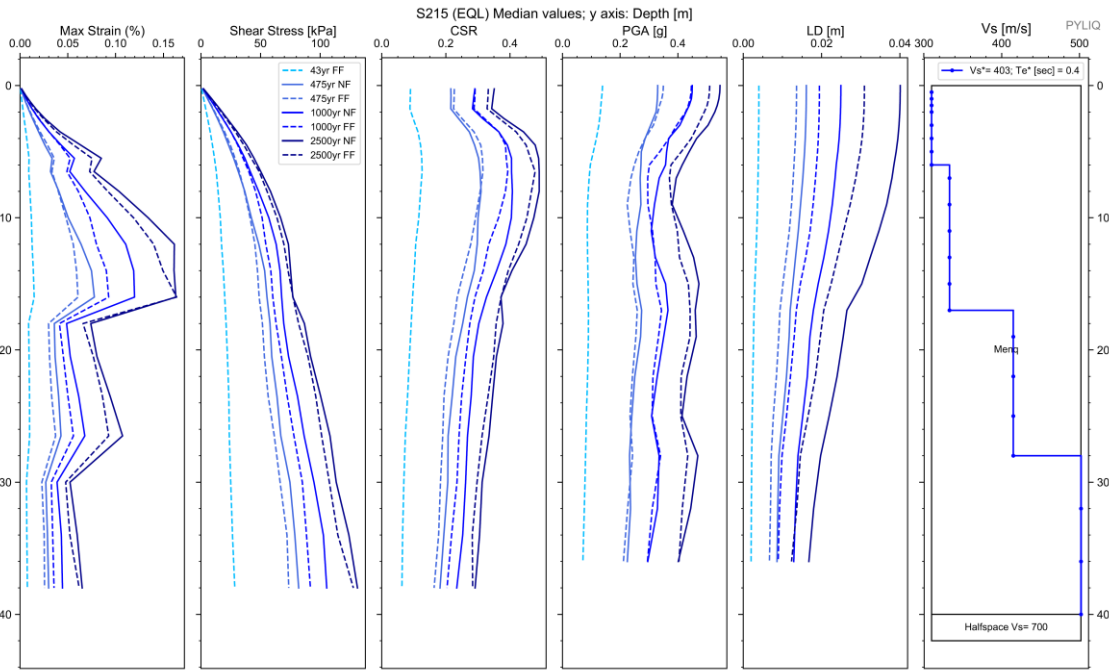
Apéndice 373. Espectros elásticos resultantes de aceleración para análisis EQL y NL para registros sísmicos de FF y NF; para Te de 43, 475, 1000 y 2500 años. Sitio S215



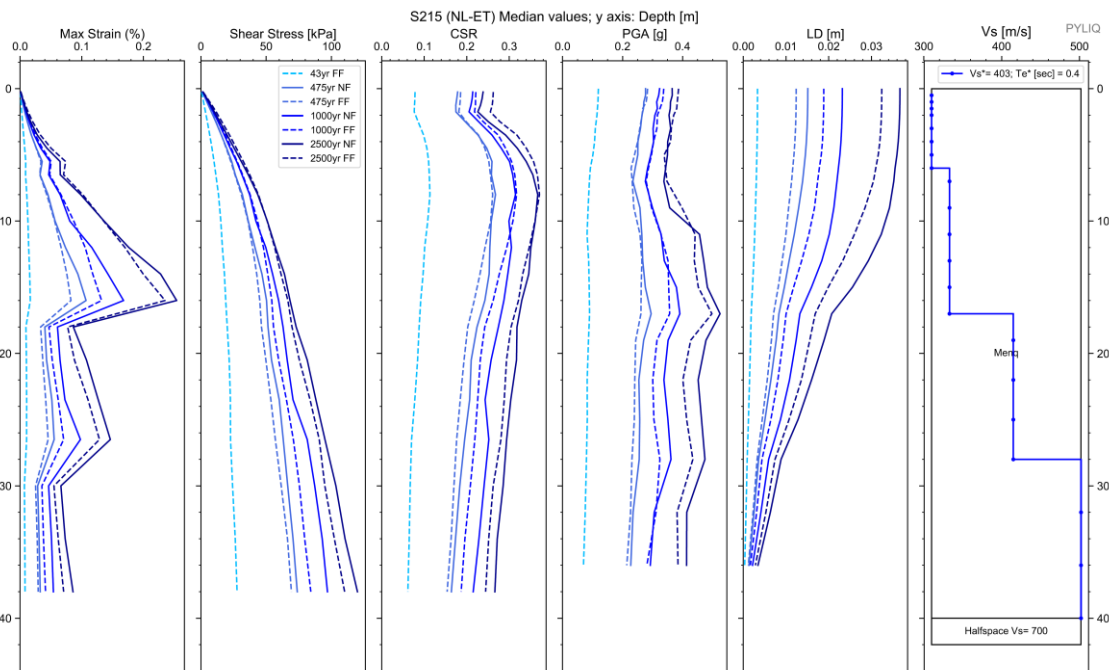
Apéndice 374. Espectros de respuesta de aceleración binormalizados. Sitio S215 .



Apéndice 375. Espectros elásticos de respuesta de deformación (Sd) vs periodo de vibración (T) de análisis EQL y NL para sismos de FF y NF, para todos los periodos de retorno. Sitio S215 .



Apéndice 376. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis EQL. Sitio S215



Apéndice 377. Diagramas de Max strain, shear stress, CSR, PGA y LD resultantes del análisis NL. Sitio S215

Cod. Material	SUCS	Depth (m.)	Peso		D50 (mm)	$\phi$ (N160)	IP (%)	OCR	Procedure	Vs (m/s)
			Volumétrico (kN/m3)	Cu						
MAT1	Menq	0,00	17,00	10,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
MAT2	Menq	40,00	17,00	10,00	10,00	40,00	#N/D	#N/D	Menq	
SEMIESPACIO			21,00							700

Depth (m.)	Vs (m/s)
0,0	310,0
6,0	310,0
17,0	333,0
28,0	415,0
40,0	502,0

Apéndice 378. Parámetros de entrada para una columna de suelo Sitio S215