



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de
espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Bach. Goitia Calderon, Cayse Martin (ORCID: 0000-0002-6944-2398)

Bach. Vargas Ore, Axel Ronaldo (ORCID: 0000-0002-5702-2951)

ASESOR:

Dr. Guevara Bendezú, José Claudio (ORCID: 0000-0003-0087-0965)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Diseño Sísmico Y Estructural

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Este proyecto es dedicado a Dios, quien guía nuestros pasos día a día, a nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional.

Agradecimiento

Agradecemos a cada uno de nuestros padres, a nuestros familiares, a nuestros amigos, que aportaron desde lo más sustancial hasta un granito de arena. Se agradece a la doctora Diana Calderón y al doctor Carlos González por habernos orientado hacia los conocimientos necesarios para la ejecución de esta tesis. Así mismo agradecemos a los docentes de la universidad y a nuestro asesor el doc. Guevara por las enseñanzas durante el desarrollo de la presente tesis.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vii
RESUMEN	xiv
ABSTRAC	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
3. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación.	10
3.2. Variables y operacionalización.....	10
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.5. Procedimientos	21
3.6. Método de análisis de datos.....	22
3.7. Aspectos éticos.	32
4. RESULTADOS.....	34
4.1. Presentación e interpretación de resultados.	34
4.2. Constancia de Hipótesis general.....	116
4.3. Constancia de Hipótesis específicas	117
5. DISCUSIÓN	118
6. CONCLUSIONES	135
7. RECOMENDACIONES	137
8. REFERENCIAS.....	138
9. ANEXOS	138

Índice de tablas

Tabla 1 Acelerogramas de los eventos sísmicos empleados en la presente tesis	11
Tabla 2 Tabla de clasificación de las estaciones registradas según IBC.....	11
Tabla 3 Registros sísmicos empleados de SENCICO Ica	12
Tabla 4 Coordenadas Geográficas de las fuentes de subducción de interfase empleados en la presente tesis.....	14
Tabla 5 Coordenadas Geográficas de las Fuentes de Subducción de Intraplaca empleados en la presente tesis.....	15
Tabla 6 Coordenadas Geográficas de las Fuentes Continentales empleadas en la presente tesis.....	16
Tabla 7 Parámetros sismogénicos empleados en la presente tesis	18
Tabla 8 Coordenadas de los sitios evaluados en la presente tesis.....	22
Tabla 9 Promedio de espectros de peligro uniforme de periodo de retorno de 50 años	39
Tabla 10 Promedio de espectros de peligro uniforme de periodo de retorno de 100 años	41
Tabla 11 Promedio de espectro de peligro uniforme para el periodo de retorno de 475 años	43
Tabla 12 Parámetros del perfil SC1	57
Tabla 13 Parámetros del perfil SC2	60
Tabla 14 Parámetros del perfil SC3	63
Tabla 15 Parámetros del perfil SC4	66
Tabla 16 Parámetros del perfil SC5	69
Tabla 17 Factor de zona de la norma E.030 (2018).....	118
Tabla 18 Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030 (2018) ..	118
Tabla 19 Vs30 de los sitios estudiados en la presente tesis.....	119
Tabla 20 Factor suelo según la norma E.030 (2018).....	119
Tabla 21 Periodo según la norma E.030 (2018)	119
Tabla 22 Aceleración espectral máxima de los espectros de respuesta para los sitios de estudio en la presente tesis.....	125
Tabla 23 PGA máximo para los sitios de estudio en la presente tesis.....	126

Tabla 24 Desplazamiento máximos para los sitios de estudio en la presente tesis	127
Tabla 25 Deformación cortante máxima para los sitios de estudio en la presente tesis	128

Índice de gráficos y figuras

Figura 1	Procedimiento gráfico para selección de frecuencias de corte.....	7
Figura 2	Curva histerética para un ciclo de carga	8
Figura 3	La curva Backbone y curva de reducción de módulo de rigidez típica ...	8
Figura 4	Ubicación de epicentros de registros sísmicos empleado	11
Figura 5	Fuentes sismogénicas de subducción interfase, Intraplaca y de corteza superficial que enmarcan en Ica.....	14
Figura 6	Ejemplo de curva de degradación de rigidez y la curva de la relación de amortiguamiento.....	20
Figura 7	Equipo PASI- modelo GEA-24	21
Figura 9	Ubicación local de los 5 sitios de análisis de la presente tesis.....	23
Figura 10	Esquema de obtención para la gráfica del espectro de respuesta	25
Figura 11	Efectos durante la propagación de las ondas sísmicas hacia la superficie	26
Figura 12	Esquema sobre la obtención del espectro de peligro uniforme para la presente tesis	27
Figura 13	Esquema del análisis de respuesta de sitio.....	28
Figura 14	Proceso iterativo del método lineal equivalente	29
Figura 15	Proceso iterativo gráfico del método lineal equivalente.....	30
Figura 16	Diagrama de procesamiento del método MASW.....	31
Figura 17	Selección de frecuencias de esquina para el registro ICA002-2007 ..	34
Figura 18	Selección de frecuencias de esquina para el registro MOQ001-2001	35
Figura 19	Selección de frecuencias de esquina para el registro PICA-2005	36
Figura 20	Selección de frecuencias de esquina para el registro PRQ-1970	37
Figura 21	Selección de frecuencias de esquina para el registro PRQ-1974	38
Figura 22	Espectros de peligro uniforme para el periodo de retorno de 50 años	39
Figura 23	Espectro de peligro uniforme promedio para el periodo de retorno de 50 años	40
Figura 24	Espectros de peligro uniforme para el periodo de retorno de 100 años	41
Figura 25	Espectro de peligro uniforme promedio para el periodo de retorno de 100 años	42

Figura 26 Espectros de peligro uniforme para el periodo de retorno de 475 años	43
Figura 27 Espectro de peligro uniforme promedio para el periodo de retorno de 475 años	44
Figura 28 Espectros de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno ...	45
Figura 29 Comparación del espectro de peligro uniforme promedio con el espectro del proyecto SENCICO (2016)	46
Figura 30 Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro ICA002-2007	47
Figura 31 Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro MOQ001-2001.....	48
Figura 32 Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro PICA-2005.....	48
Figura 33 Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro PRQ-1970	49
Figura 33 Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro PRQ-1974	49
Figura 35 Comparación en la intensidad de Arias antes y después del ajuste espectral.....	50
Figura 36 Curva de dispersión de ensayos ejecutados y recopilados	51
Figura 37 Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC1	52
Figura 38 Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC2.....	52
Figura 39 Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC3.....	53
Figura 40 Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC4.....	53
Figura 41 Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC5.....	54
Figura 42 Comparación de micro tremor recopilados y curva de elipticidad	54
Figura 43 Perfiles de velocidad de ondas de corte empleados en la presente tesis	56
Figura 44 Curvas de degradación de rigidez para el perfil SC1	58
Figura 45 Curvas de relación de amortiguamiento para el perfil SC1	59
Figura 46 Curvas de degradación de rigidez para el sitio sc2	61
Figura 47 Curvas de relación de amortiguamiento para el sitio SC2.....	62
Figura 48 Curvas de degradación de rigidez para el sitio SC3.....	64

Figura 49	Curvas de relación de amortiguamiento para el sitio SC3.....	65
Figura 50	Curvas de degradación de rigidez para el sitio SC4.....	67
Figura 51	Curvas de relación de amortiguamiento para el sitio SC4.....	68
Figura 52	Curvas de degradación de rigidez para el sitio SC5.....	70
Figura 53	Curvas de relación de amortiguamiento para el sitio SC5.....	71
Figura 54	Diagrama de flujo de resultados calculados en la presente tesis	72
Figura 55	Acelerogramas de ingreso y superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC1	73
Figura 56	Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC1 .	73
Figura 57	Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC1	74
Figura 58	Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC1	74
Figura 59	Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC1	75
Figura 60	Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC1	75
Figura 61	Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC1	76
Figura 62	Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC1	76
Figura 63	Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC1	77
Figura 64	Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC1	77
Figura 65	Espectros de Fourier de ingreso y en superficies en el sitio SC1	78
Figura 66	Función de transferencia obtenidas en el sitio SC1.....	79
Figura 67	Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC1	80
Figura 68	Espectros de respuesta en el sitio SC1	80
Figura 69	Acelerograma de ingreso y superficie para el registro ICA002 en el sitio SC2	81
Figura 70	Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC2 .	81
Figura 71	Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC2	82
Figura 72	Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC2	82

Figura 73 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC2.....	83
Figura 74 Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC2	83
Figura 75 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC2.....	84
Figura 76 Espectros de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC2 ...	84
Figura 77 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC2.....	85
Figura 78 Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC2.....	85
Figura 79 Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC2	86
Figura 80 Función de transferencia obtenida en el sitio SC2	87
Figura 81 Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC2	88
Figura 82 Espectros de respuesta en el sitio SC2.....	88
Figura 83 Acelerograma de ingreso y en superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC3	89
Figura 84 Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC3.	89
Figura 85 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC3	90
Figura 86 Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC3	90
Figura 87 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC3.....	91
Figura 88 Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC3	91
Figura 89 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC3.....	92
Figura 90 Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC3.....	92
Figura 91 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC3.....	93
Figura 92 Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC3.....	93
Figura 93 Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC3	94
Figura 94 Función de transferencia obtenida en el sitio SC3	95
Figura 95 Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC3	96
Figura 96 Espectros de respuesta en el sitio SC3.....	96

Figura 97 Acelerograma de ingreso y en superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC4	97
Figura 98 Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC4.	97
Figura 99 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001 en el sitio SC4	98
Figura 100 Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC4	98
Figura 101 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC4.....	99
Figura 102 Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC4 ..	99
Figura 103 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC4.....	100
Figura 104 Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC4.	100
Figura 105 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC4.....	101
Figura 106 Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC4.	101
Figura 107 Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC4	102
Figura 108 Función de transferencia obtenida en el sitio SC4	103
Figura 109 Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC4 .	104
Figura 110 Espectros de respuesta en el sitio SC4.....	104
Figura 111 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC5	105
Figura 112 Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC5	105
Figura 113 Acelerograma para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC5.....	106
Figura 114 Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC5	106
Figura 115 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC5.....	107
Figura 116 Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC5	107
Figura 117 Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC5.....	108
Figura 118 Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC5.	108

Figura 119 Acelerograma de ingreso y en superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC5	109
Figura 120 Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC5 .	109
Figura 121 Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC5	110
Figura 122 Función de transferencia obtenida en el sitio SC5	111
Figura 123 Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC5 .	112
Figura 124 Espectros de respuesta en el sitio SC5.....	112
Figura 125 Espectro de Fourier de 28 registros sísmicos de la estación SENCICO componente EW.....	113
Figura 126 Espectros de Fourier de 28 registros sísmicos de la estación SENCICO componente NS.....	114
Figura 127 Espectros de Fourier de 28 registros sísmicos de la estación SENCICO competente UD	115
Figura 128 Cociente espectral HVSR de 28 registros de la estación SENCICO en ICA.	116
Figura 129 Espectro de la norma E.030 (2018).....	120
Figura 130 Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC1 con la norma E.030.....	120
Figura 131 Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC2 con la norma E.030-2018.....	121
Figura 132 Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC3 con la norma E.030 (2018)	122
Figura 133 Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC4 con la norma E.0.30-2018.....	123
Figura 134 Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SCC5 con la norma E.030 (2018)	124
Figura 135 Comparación de las funciones de transferencias en el sitio SC1 con el HVSR de registros sísmicos de la estación SENCICO en Ica.....	129
Figura 136 Comparación de las funciones de transferencias en el sitio SC2 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en Ica.....	130
Figura 137 Comparación de las funciones de transferencia en el sitio SC3 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en Ica.....	131

Figura 138 Comparación de las funciones de transferencia en el sitio SC4 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en Ica.....	132
Figura 139 Comparación de las funciones de transferencia en el sitio SC5 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en ICA.....	133

RESUMEN

La alta frecuencias de sismos en la ciudad de Ica motivo a la realización de la presente tesis titulada “Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021”. Se busco determinar la influencia de la aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021, mediante el método lineal equivalente.

Se utilizo el tipo de investigación aplicada y diseño no experimental y transversal, empleándose registros sísmicos de cinco eventos de gran magnitud, y se realizó ensayos MASW (Análisis multicanal de ondas superficiales) en cinco ubicaciones, para la obtención de sus respectivos perfiles de velocidades de ondas de corte.

Finalmente se obtuvo las gráficas de los espectros de respuesta a los cuales se realizó comparaciones con la norma peruana E.030, así mismo se comparó el HVSR (relación espectral entre la componente horizontal con la vertical) para veintiocho registros sísmicos de la estación de SENCICO con las relaciones de las funciones de transferencia obtenidas de la aplicación del análisis, pudiendo así tener una apreciación clara de los resultados, llegando a la obtención de conclusiones sobre los objetivos y las hipótesis planteadas.

Palabras clave: Respuesta de sitio, método lineal equivalente, espectro de respuesta sísmica.

ABSTRACT

The high frequency of earthquakes in the city of Ica is the reason for this thesis entitled "Application of site response analysis to obtain seismic response spectra in SENCICO - Ica 2021". We seek to determine the influence of the application of the site response analysis for obtaining seismic response spectra in SENCICO - Ica 2021, using the equivalent linear method.

The type of nonexperimental and transversal applied research and design was used, using seismic records of five large events, and MASW (Surface Wave Multichannel Analysis) tests were conducted in five locations, for obtaining their respective shear wave velocity profiles.

Finally, we obtained graphs of the response spectra to which comparisons were made with the Peruvian standard E.030, and we compared the HVSR (spectral relationship between the horizontal and vertical components) for twenty-eight seismic records of the SENCICO station with the relationships of the transfer functions obtained from the application of the analysis, thus allowing a clear appreciation of the results, reaching conclusions on the objectives and assumptions raised.

Keywords: Site response, linear equivalent method, seismic hazard spectrum.

INTRODUCCIÓN

Los diferentes eventos sísmicos que vienen ocurriendo a lo largo del tiempo en la ciudad de Ica, conllevan a interrogarnos sobre los temas sísmicos, siendo sustancial y deseable las investigaciones relacionadas con este tema, cuando empieza el proceso de falla durante un evento sísmico, las ondas sísmicas parten en todas direcciones, algunas de estas viajan desde el epicentro hacia la superficie, durante su trayectoria van a travesando una variedad de capas, estas influyen en el comportamiento de las ondas, por lo cual es deseable para la ingeniería estudiar este fenómeno, así fue surgiendo poco a poco el tema de análisis de respuesta de sitio unidimensional, así mismo diferentes métodos se fueron implementando con el avance de la ciencia y la tecnología, por mencionar algunos tenemos el método lineal, método lineal equivalente y método no lineal. De los métodos mencionados es bastante aceptable en la comunidad científica el método lineal equivalente, puesto que es una manera practica de ver el comportamiento no lineal del suelo.

En suma, debido a la ubicación de Ica en una zona altamente sísmica y a la sectorización económica en la regiones muchas veces dada por la centralización de recursos e inversiones dejando de lado a ciertas ciudades, se genera una falta de capacidad económica para solventar los ensayos necesarios para la caracterización de perfiles de velocidades de ondas de corte a grandes profundidades y la contratación de ingenieros capacitados en el tema, así mismo teniendo en cuenta también que la ciudad de Ica se encuentra dentro de la zona cuatro en la clasificación de las zonas sísmicas del Perú, siendo esta una zona considerada altamente sísmicas, la implementación de análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta y su posteriores aplicaciones en el diseño de edificaciones, conllevaría a un aumento del grado de seguridad ante la ocurrencia de eventos sísmicos.

De lo mencionado anteriormente se planteó el siguiente problema general “¿en qué medida influye la aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021?”, así mismo se plantea los problemas específicos siguientes, primer problema específico “¿en qué medida influye la selección de los registros sísmicos para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021?”, segundo problema específico “¿en qué medida influyen los espectros de peligro uniforme para la

obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021?”, tercer problema específico “¿en qué medida influyen las características del sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021?”.

Desde el Punto de vista funcional se justificó el desarrollo del proyecto de investigación, ya que permitió la obtención de espectros de respuesta de aceleraciones, para su implementación en la evaluación de futuros diseños de edificaciones que podrían emplearse posteriormente en análisis estructurales de tiempo-historia; logrando así obtener un plus adicional en la calidad y seguridad en los diseños de las edificaciones.

Consecuentemente, se planteó el siguiente objetivo general, “determinar la influencia de la aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021”, así como el primer objetivo específico “determinar el grado de influencia de la selección de los registros sísmicos para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021”, el segundo objetivo específico “determinar el grado de influencia de los espectros de peligro uniforme para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021”, el tercer objetivo específico “determinar el grado de influencia de las características del sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021”.

Así mismo se planteó para el desarrollo de la tesis la siguiente hipótesis general “la aplicación del análisis de respuesta de sitio influye en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021”, así como las siguientes hipótesis específicas las cual tendría como primera hipótesis específica “la selección de los registros sísmicos influye en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021”, la segunda hipótesis específica “los espectros de peligro uniforme influyen en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021” Y por último la hipótesis específica “las características del sitio influyen en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María – Ica 2021”.

A continuación, se presentará el desarrollo de este proyecto esperando que sea del agrado del lector.

MARCO TEÓRICO

Antecedentes a nivel internacional, se tiene a Olivares y Quintana (2014), quienes desarrollaron su investigación planteando lo siguiente:

Empleando inicialmente datos de sondeos SPT; se proyectaron las velocidades de ondas de corte y el modelo de velocidad, que coincidan con las características granulométricas del suelo, a través del uso de correlaciones empíricas en función de N golpes del ensayo de penetración estándar (SPT); en vista de que la data llegó hasta un máximo de 10 m. Luego se procedió a la evaluación de la respuesta de sitio y estimación de espectros elásticos de respuesta, tomando en cuenta las características propias de cada sitio. Llegando a las conclusiones que: las velocidades de onda de corte determinadas, son mayores con el valor de N (número de golpes) de campo en comparación con los valores encontrados con N corregidos por factores externos

Como otro antecedente internacional tenemos a Godoy (2013), quien así mismo plantea lo siguiente:

Se desarrolló una metodología para la ampliación del perfil de la velocidad de onda de corte hasta alcanzar la profundidad de la roca en un perfil de suelo unidimensional, con base en mediciones superficiales de Vs (a través de MASW, SASW, etc.) y del periodo fundamental. Con esta metodología estimaron perfiles unidimensionales en Santiago, los cuales fueron contrastados contra registros reales de eventos sísmicos representando un amplio espectro de intensidades. Esto por un lado valida la metodología y justificó el uso del método lineal equivalente como una aproximación razonable a la respuesta no lineal del suelo.

Antecedentes a nivel nacional, se hace mención a Soto (2016), En esta investigación que realizó se menciona lo siguiente:

Se procedió con la compilación de información, referentes a las características geotécnicas, de sondajes de ensayos geofísicos y se ejecutaron algunos sondajes de ensayos MASW en las cercanías a la ubicación de acelerógrafos en el Callao, La molina, San Isidro, Rímac. Se realizó la proyección de propiedades índices a partir de sondajes cercanos y estimaciones según bibliografía; se emplearon los perfiles de velocidad de

onda de corte recopilados y los elaborados para la realización del análisis de respuesta de sitio en el dominio de las frecuencias y del tiempo, obteniendo diferentes conclusiones, entre ellas que las amplitudes de Fourier máxima fueron mayores en el análisis de respuesta en el dominio del tiempo en comparación con el dominio de las frecuencias; se apreció la variabilidad del espectro de aceleración de acuerdo a los sitios analizados.

Los conceptos necesarios para el contexto de la presente tesis. Las ondas sísmicas consisten en ondas de cuerpo y ondas superficiales, las ondas de cuerpo viajan dentro de los límites del medio, mientras que las ondas superficiales se transmiten a lo largo de los límites del medio. Las ondas de cuerpo son clasificadas dentro de ondas P (ondas primarias) y ondas S (ondas secundarias), mientras que las ondas de superficie son clasificadas dentro de ondas Rayleigh y ondas Love (Kokusho, 2017), así mismo los terremotos son fuentes de volumen extendidas tanto en el tiempo como en espacio y generan una fracción mayor de energía en ondas S que en ondas P (Kortström, 2016).

El análisis probabilístico de riesgo sísmico (PSHA) es realizado por la existencia una amenaza sísmica percibida, como son las fuentes sísmicas activas en la región pueden producir un terremoto de moderado a grande. El análisis considera una multitud de ocurrencias de terremotos y movimientos del suelo, y produce una descripción integrada de peligro sísmico que representa todos los eventos. El resultado del análisis de peligro sísmico probabilístico es usado para diseño de terremotos recurrentes (Rahman, 2020).

El periodo de retorno T_r , que equivale al inverso de la probabilidad anual de excedencia se expresa como:

$$T_r = -T / \ln(1 - P(Z > z))$$

Dónde:

Z: Movimiento del terreno.

P ($Z > z$): Probabilidad de excedencia deseada durante el tiempo de exposición T.

Se podría compendiar en cuatro pasos una evaluación de peligro sísmico utilizando el método probabilístico primeramente con la tipificación e individualización de las fuentes, caracterización de la sismicidad o distribución temporal de los sismos, se busca la tasa de recurrencia y otros parámetros

relacionados con este, luego la selección de las leyes de atenuación concordante con la sismicidad de las fuentes sismogénicas estimación de curvas de peligro sísmico para la obtención final del espectro de peligro uniforme. Para evaluar el peligro sísmico en una región, es necesario conocer la relación de atenuación entre los movimientos del suelo con la distancia esta ecuación o ley de atenuación es una expresión que relaciona magnitud, distancia e intensidad sísmica (Gregori y Christiansen, 2018).

El modelo de Poisson asume que los eventos sísmicos son espacial y temporalmente emancipados y que la probabilidad de que dos eventos sísmicos acontezcan en el mismo sitio y en el mismo instante es cero.

La Ley de Poisson es expresada de la siguiente manera:

$$Pn(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}$$

Donde: $Pn(t)$ es la probabilidad de que ocurran eventos en un período de tiempo t , N es el número de eventos, λ es la razón de ocurrencia por unidad de tiempo.

La probabilidad que la intensidad I sea igual o mayor que una intensidad dada está dada por:

$$P(I \geq i) = \int \int P \left[\frac{I}{S, r} \right] f_s(S) f_R(r) ds dr$$

Donde: I es la intensidad generalizada, S es el tamaño del sismo, R es la localización.

Sobre las fuentes sísmicas, se puede mencionar que la caracterización de estas requiere considerar las características espaciales, la distribución de los eventos, la distribución del tamaño de los eventos por cada fuente y su distribución en el tiempo (Kramer, 1996).

Las leyes de atenuación que se emplean para la obtención del espectro de peligro uniforme las cuales han sido elaboradas teniendo en cuenta diferentes parámetros siendo uno de ellos la velocidad de ondas de corte, y la clasificación del suelo, por lo cual es sustancial tener nociones sobre el tipo de clasificación del suelo.

La selección de un acelerograma para el espectro de peligro uniforme, se procura que el tipo de clasificación de suelo donde se registró el sismo a emplear

sea similar o cercano a la clasificación que alcanza el espectro de peligro uniforme, esta semejanza es comúnmente realizada con la clasificación según el IBC (2015).

Los acelerogramas son la manera que la ingeniería diseño para poder estudiar cierto fenómeno natural como son los terremotos, estos van registrando la aceleración de tal forma que toman un punto de este en cada intervalo de tiempo, según la capacidad del equipo este intervalo varía, mayormente en el Perú los registros han sido obtenidos con intervalos de 0.01s, correspondiente a 100 Hz, aunque los registros más antiguos tienen intervalos de 0.02s correspondiendo a 50 Hz. Además, en contraste con las funciones, los acelerogramas serían como una función discreta de tiempo y aceleración. Los registros debido a diferentes factores externos que influyen en la señal necesitan ser corregidos por línea base y filtrados.

El ruido de baja frecuencia distorsiona y cambia la línea base de referencia de aceleración, lo que da como resultado estimaciones erróneas de velocidad y desplazamiento (Athanasίου, 2018).

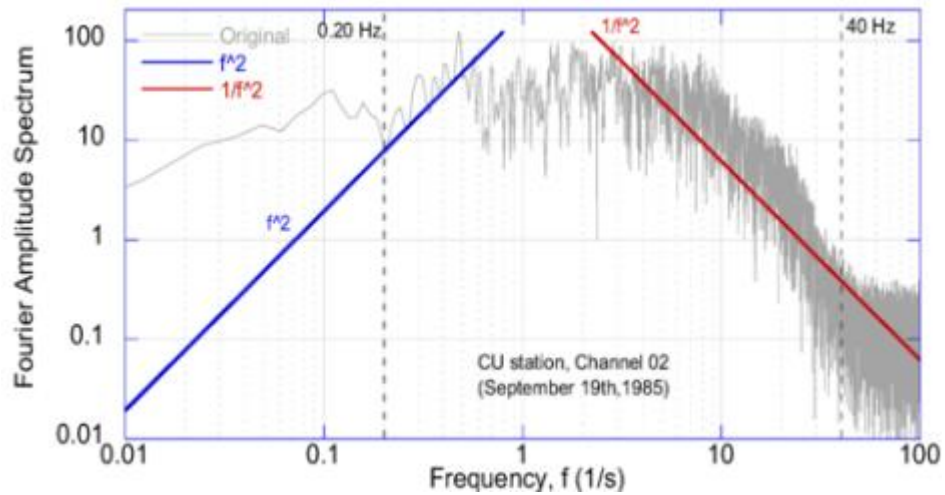
La corrección de línea base, se puede hacer a partir de una variedad de métodos, de entre ellas la corrección tipo polinomial realiza un ajuste a través del empleo de polinomios ya sea constante, lineal, cuadrático, cúbico, etc. La cual va dependiendo del software y el criterio para escoger cual emplear, se busca que este altere en lo mínimo el efecto del evento sísmico.

La selección de la frecuencia de corte para el filtro pasa alta se puede realizar siguiendo el criterio mencionado en Boore y Bommer (2005): “la teoría sismológica menciona que, a bajas frecuencias, el espectro de aceleraciones de Fourier decae de acuerdo a f^2 ” (p.106). Donde Ayes y Flores (2015) similarmente mencionó “el espectro de aceleraciones de Fourier sin suavizado, presenta un decaimiento de sus amplitudes cercanos a la pendiente teórica con una magnitud de f^2 . Una posible frecuencia corte aquella cercana donde las frecuencias muy bajas inician una especie de nivelación” (p.1037).

La selección de la frecuencia de corte para el filtro pasa baja sigue un criterio similar, esto también fue mencionado en Ayes y Flores (2015), “para altas frecuencias, la frecuencia de corte puede ser elegida con una pendiente $1/f^2$, para una perspectiva geotécnica, el efecto de filtro pasa baja es mínimo, por lo que su elección podría ser menos rigurosa” (p.1037).

Figura 1

Procedimiento gráfico para selección de frecuencias de corte



Nota. Fuente: Ayes y Flores (2015).

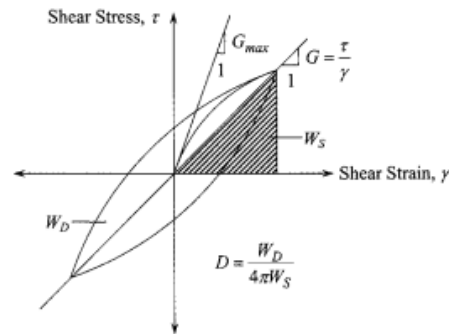
El ajuste espectral mediante wavelet, cuya metodología está basada en añadir fragmentos de ondas (wavelets) al registro sísmico original con la finalidad de ajustar su espectro a un espectro objetivo.

Algunos aspectos que se deben tener en cuenta son, que los espectros tanto del acelerograma como el espectro objetivo muestren similitud para el rango de periodos de interés, también se podría comparar la intensidad de Arias (Hancock et al., 2006)

La relación de amortiguamiento material (D) representa la energía disipada por el suelo. El mecanismo que contribuye al amortiguamiento del material es la fricción entre las partículas del suelo, el efecto de la relación de deformación y el comportamiento no lineal del suelo. La curva histerética de relación de amortiguamiento puede ser calculada, $D = w_D / (4\pi W_s)$, Donde w_D es la energía disipada en un ciclo de carga, y W_s es máxima deformación de energía almacenada durante el ciclo.

Figura 2

Curva histerética para un ciclo de carga

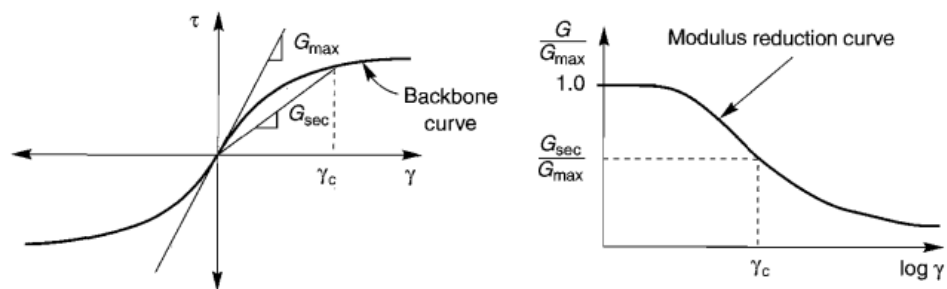


Fuente: Kramer (1996).

Reducción del módulo de corte $\frac{G}{G_{max}}$, varía de mayor valor para menores deformaciones cortantes hacia un menor valor para mayores deformaciones. El lugar correspondiente a las puntas de los bucles de histéresis de varias amplitudes de deformación cíclica se denomina backbone. Su pendiente en el origen representa el mayor valor del módulo de corte G_{max} la relación entre G_{max}/G_{sec} normaliza la curva disminuyendo a valores menores a uno. La caracterización de la rigidez de un elemento de suelo por lo tanto requiere consideración de ambos G_{max} y la manera en la cual la relación de modulo G_{max}/G_{sec} Varía con la deformación cortante la cual es descrita gráficamente por una curva de reducción de módulo (kramer, 1996).

Figura 3

La curva Backbone y curva de reducción de módulo de rigidez típica



Fuente: Kramer (1996).

La curva de reducción de modulo o también conocida como curva de reducción de rigidez, se puede obtener a partir de ensayos como columna resonante pero debido a ciertas limitaciones como el costo elevado, el traslado de muestras al laboratorio y otros, los investigadores propusieron curvas estimadas

para ciertas características y tipos suelo las cuales se han ido empleando internacionalmente para realizar diferentes análisis. También se ha de tener en cuenta que para este nivel de deformaciones $G_{max} = \rho v$ donde este depende de la densidad y la velocidad de ondas de corte. (Zhang et al., 2005).

A continuación, se mencionarán algunas definiciones elementales referidos al tema.

Rarefacción. Cuando un cuerpo pierde densidad producida por la propagación de ondas sísmicas principales siendo opuesta al fenómeno conocido como compresión.

Acelerógrafo. Es un equipo que permite el estudio de los eventos sísmicos, permitiendo registrar la aceleración que está sufriendo durante y antes del evento, generalmente tienen una frecuencia de muestreo de 100 Hz lo que indica que cada 0.01 segundos graba un punto de la aceleración.

Deformación cortante. Vendría a ser el cambio en la forma del suelo cuando es sometido a esfuerzos cortantes, normalmente esta expresada en porcentaje.

Esfuerzo cortante. Es el esfuerzo que actúa paralelo a la superficie del elemento, es muy común verlo en la idealización del comportamiento del suelo.

Amplitud. Es la altura máxima de la cresta de una onda.

PGA. Viene del inglés peak ground acceleration, es equivalente al máximo valor absoluto de aceleración, de un registro sísmico.

Periodo. Es el intervalo de tiempo entre dos sucesivas crestas en un tren de ondas, el periodo es la inversa de la frecuencia.

Resonancia. Es un estado que se presenta cuando la frecuencia de vibración de una estructura coincide con la frecuencia natural de vibración del suelo, entonces se amplifica el movimiento. También se podría presentar análogamente entre el movimiento de fondo de roca y el depósito del suelo.

METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación.

- Tipo de investigación.

Investigación aplicada. Se planteó la utilización de los ensayos MASW para obtener los perfiles de velocidades de ondas de corte y posteriormente mediante la aplicación del análisis de respuesta de sitio se obtuvo el espectro de respuesta sísmica en la superficie del suelo del sector Santa María de Ica.

- Diseño de investigación.

No experimental y transversal, se observó la variable aplicando el análisis de respuesta sitio en la superficie del suelo en el sector Santa María de Ica sin alterar esta variable y se empleó instrumentos y métodos de medición para la recolección de datos. Así mismo la investigación es transversal ya que se realizó la recolección de datos en una fecha específica y única.

3.2. Variables y operacionalización.

- Variable independiente.

Aplicación del análisis de respuesta de sitio.

- Variable dependiente.

Espectros de respuesta sísmica en la superficie del suelo del sector Santa María Ica - 2021.

Para la presentación de la operacionalización de variables ver el anexo1 y para la visualización de la matriz de consistencia ver anexo 2

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.

Población. Los registros sísmicos en la estación de SENCICO sede de Ica, así como de eventos sísmico a nivel nacional, la variedad de curvas teóricas de degradación de rigidez y amortiguamiento, la variedad de fuentes sismogénicas desarrolladas por diferentes autores.

Muestra. Se tomó como muestra a los siguientes acelerogramas empleados en la aplicación del análisis de respuesta de sitio y sus respectivas estaciones que fueron registradas, se seleccionó estos acelerogramas por el gran valor de aceleración pico alcanzado durante sus respectivos eventos.

Tabla 1

Acelerogramas de los eventos sísmicos empleados en la presente tesis

Lugar	Fecha	Estación	PGA (cm/s ²)
Pisco	15/08/2007	ICA-002	333.66
Atico	23/06/2001	MOQ-001	295.15
Tarapacá	13/06/2005	PICA	720.467
Chimbote	31/05/1970	PRQ	105.05
Lima	03/10/1974	PRQ	194.21

Fuente: El acelerograma correspondiente a la estación PICA fue obtenida de página web perteneciente a "Terremotos.ing.uchile.cl ", (s.f.) y los restantes de "REDACIS - Red acelerográfica del CISMID/FIC/UNI", (s.f).

Tabla 2

Tabla de clasificación de las estaciones registradas según IBC(2015)

Estación	Clasificación según IBC
ICA-002	D
MOQ-001	C
PICA	C
PRQ	C
PRQ	C

Fuente: Charca y Gamarra (2020, 1h44m44s).

Figura 4

Ubicación de epicentros de registros sísmicos empleado



Fuente: Elaboración propia

Los criterios de selección para los sismos mencionados fueron los siguientes, se tomó en cuenta el periodo de retorno de 475 años, que es el periodo de retorno que se considera en el RNE E.030, por lo cual los sismos seleccionados son de gran magnitud, también debido a su ubicación y magnitud son representativos a nivel de la zona sísmica que afecta a la costa peruana, a la falta de registros de eventos de gran magnitud en la zona de estudio SENCICO-ICA se emplearon los registros mencionados.

Adicionalmente, se muestra los veintiocho eventos sísmicos empleados para la obtención del HVSR (relación espectral entre la componente horizontal con la vertical) de la estación de SENCICO sede Ica, estos eventos sísmicos fueron seleccionados teniendo en cuenta tanto eventos de grandes, medianas y bajos valores de PGA.

Tabla 3

Registros sísmicos empleados de SENCICO Ica

Estación	Fecha	PGA (cm/s ²)
SENCICO-ICA	27/01/2017	12.16
SENCICO-ICA	24/06/2017	4.09
SENCICO-ICA	17/07/2017	7.51
SENCICO-ICA	20/08/2017	26.58
SENCICO-ICA	29/11/2017	15.91
SENCICO-ICA	14/01/2018	37.64
SENCICO-ICA	30/01/2018	2.33
SENCICO-ICA	05/02/2018	1.20
SENCICO-ICA	05/04/2018	4.57
SENCICO-ICA	05/04/2018	2.15
SENCICO-ICA	17/05/2018	4.71
SENCICO-ICA	17/09/2018	4.54
SENCICO-ICA	20/09/2018	1.39
SENCICO-ICA	20/09/2018	2.09
SENCICO-ICA	21/09/2018	1.19
SENCICO-ICA	20/11/2018	0.35
SENCICO-ICA	23/01/2019	0.79
SENCICO-ICA	25/01/2019	40.26
SENCICO-ICA	10/02/2019	16.09
SENCICO-ICA	14/02/2019	1.48
SENCICO-ICA	19/02/2019	10.57
SENCICO-ICA	22/03/2019	1.23
SENCICO-ICA	29/04/2019	3.65
SENCICO-ICA	08/05/2019	7.04

SENCICO-ICA	13/05/2019	4.24
SENCICO-ICA	13/05/2019	7.59
SENCICO-ICA	07/10/2019	1.14
SENCICO-ICA	05/12/2019	21.24

Fuente: "REDACIS - Red acelerográfica del CISMID/FIC/UNI", (s.f).

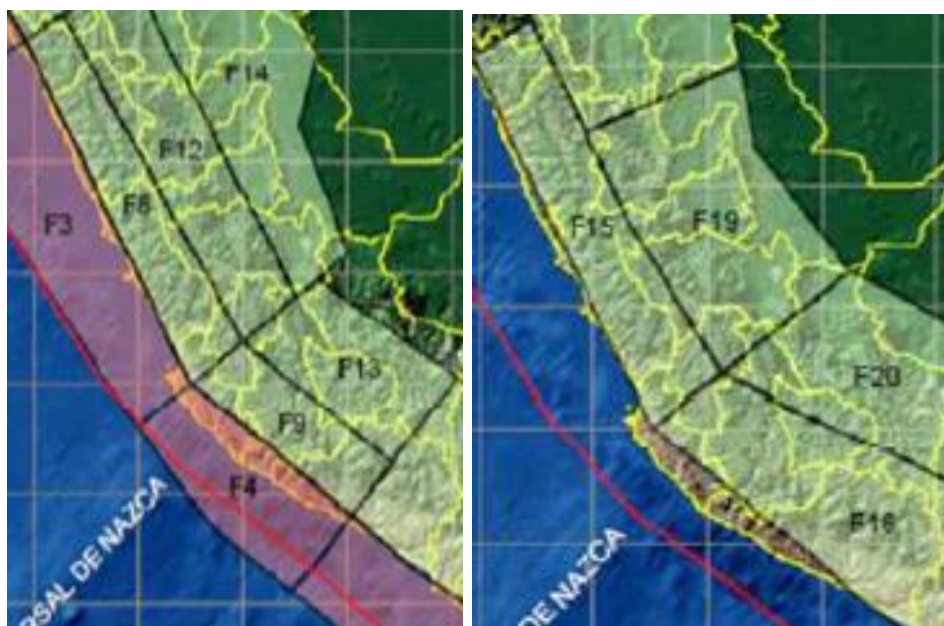
Los registros empleados fueron obtenidos de manera virtual de la página web del el Centro de Observación de Ingeniería Sísmica (CEOIS), en el cual se encuentran los registros sísmicos de libre descarga pertenecientes a la Red Acelerográfica del CISMID – REDACIS y la Red Acelerográfica de SENCICO – REDASEN, en el cual la página web menciona lo siguiente:

“Los datos generados por el CEOIS están disponibles a través de nuestra página Web para la comunidad científica, autoridades relacionadas a la gestión del riesgo de desastres y público interesado. Esta información servirá para la toma de decisiones frente a los eventos sísmicos” (REDACIS - Red acelerográfica del CISMID/FIC/UNI, s.f).

El espectro de peligro uniforme fue elaborado teniendo en cuenta de entre la variedad de fuentes sismogénicas correspondientes a diversas investigaciones desarrolladas a lo largo del tiempo en el Perú optándose por las fuentes sismogénicas para sismos de subducción y continentales propuestas por Aguilar y Gamarra (2009). El mencionado autor determinó 20 fuentes sismogénicas de las cuales 14 fuentes fueron de subducción y 6 fuentes continentales. Intrínsecamente en subducción se establecen 2 grupos: 5 fuentes de subducción de interfase y 9 fuentes de subducción de intraplaca, a continuación, se mostrará las coordenadas geográficas que delimitan estas fuentes y su respectiva profundidad.

Figura 5

Fuentes sísmogénicas de subducción interfase, Intraplaca y de corteza superficial que enmarcan en Ica



Fuente: Aguilar y Gamarra (2009).

Tabla 4

Coordenadas Geográficas de las fuentes de subducción de interfase empleados en la presente tesis

Fuente	Longitud	Latitud	Profundidad (Km)
F1	-80.3230	2.0000	25
	-78.4080	2.0000	60
	-80.0440	-2.4480	60
	-81.2840	-2.4480	25
	-81.2840	-0.5950	25
F2	-80.8210	-2.4480	25
	-79.3100	-2.4480	50
	-80.2140	-3.6220	50
	-80.6700	-5.4200	50
	-79.1560	-7.8340	60
	-81.0500	-8.9310	25
	-81.6930	-7.6320	25
-82.0880	-6.1980	25	
-82.0000	-3.7600	25	
F3	-81.0500	-8.9310	30

	-79.1560	-7.8340	75
	-75.9980	-13.9990	75
	-77.0280	-14.8110	30
F4	-77.0280	-14.8110	30
	-75.9980	-13.9990	75
	-72.9140	-16.3970	75
	-74.0630	-17.7680	30
	-75.6840	-16.5010	30
F5	-74.0630	-17.7680	30
	-72.9140	-16.3970	60
	-71.4270	-17.5530	60
	-69.6410	-18.7210	70
	-69.6270	-22.0000	70
	-71.5860	-22.0000	30
	-71.6170	-19.6800	30

Fuente: Aguilar y Gamarra (2009).

Tabla 5

Coordenadas Geográficas de las Fuentes de Subducción de Intraplaca empleados en la presente tesis

Fuente	Longitud	Latitud	Profundidad (Km.)
F6	-78.4080	2.0000	60
	-76.6440	2.0000	135
	-78.5930	-2.4480	150
	-80.0440	-2.4480	60
F7	-79.3100	-2.4480	50
	-78.5930	-2.4480	100
	-78.4490	-5.0450	125
	-77.4290	-6.7200	125
	-79.1560	-7.8340	60
	-80.6700	-5.4200	50
	-80.2140	-3.6220	50
F8	-79.1560	-7.8340	80
	-78.4270	-7.3630	100
	-74.9960	-13.2180	115
	-75.9980	-13.9990	80
F9	-75.9980	-13.9990	80
	-74.9960	-13.2180	110
	-72.1600	-15.4530	130
	-72.9140	-16.3970	80

F10	-72.9140	-16.3970	95
	-70.8920	-13.8630	245
	-69.0550	-15.3650	275
	-68.0130	-19.9590	200
	-67.8680	-22.0000	165
	-69.6270	-22.0000	100
	-69.6410	-18.7210	100
	-71.4270	-17.5530	110
F11	-77.9230	-0.9180	200
	-76.7850	-0.9180	200
	-75.2360	-3.0540	160
	-75.6000	-5.5390	145
	-77.4290	-6.7200	145
	-78.4490	-5.0450	150
	-78.5930	-2.4480	150
F12	-78.4270	-7.3630	100
	-77.1770	-6.5570	140
	-73.9730	-12.4210	135
	-74.9960	-13.2180	115
F13	-74.9960	-13.2180	110
	-73.5770	-12.1120	110
	-70.8920	-13.8630	130
	-72.1600	-15.4530	130
F14	-77.1770	-6.5570	145
	-75.6000	-5.5390	145
	-74.4000	-6.5670	155
	-73.5890	-8.0860	195
	-73.9140	-9.3470	170
	-72.9630	-11.6330	145
	-73.9730	-12.4210	140

Fuente: Aguilar y Gamarra (2009).

Tabla 6

Coordenadas Geográficas de las Fuentes Continentales empleadas en la presente tesis

Fuente	Longitud	Latitud	Profundidad (Km.)
F15	-79.1560	-7.8340	25
	-78.0840	-7.2130	40
	-76.3400	-10.6700	40
	-74.7600	-13.1300	40
	-75.9980	-13.9990	25

F16	-75.9980	-13.9990	25
	-74.7600	-13.1300	50
	-70.1760	-15.2010	50
	-70.4340	-15.9470	50
	-69.1340	-17.7890	50
	-69.6410	-18.7210	25
	-71.4270	-17.5530	25
F17	-78.1000	0.7480	25
	-76.8720	0.3730	40
	-77.4100	-0.8670	60
	-76.8260	-4.7050	60
	-79.1000	-5.2000	25
	-79.0850	-0.3700	25
F18	-79.1000	-5.2000	35
	-75.1000	-4.3300	35
	-74.4220	-7.9760	50
	-77.1430	-9.0790	50
F19	-77.1430	-9.0790	35
	-74.4220	-7.9760	35
	-74.1700	-9.3300	35
	-72.4800	-11.4000	40
	-74.7600	-13.1300	40
	-76.3400	-10.6700	35
F20	-74.7600	-13.1300	40
	-72.4800	-11.4000	40
	-69.4000	-12.9660	40
	-70.1760	-15.2010	40

Fuente: Aguilar y Gamarra (2009).

Cada fuente contó con sus propios parámetros sismológicos lo cual nos mostró la variabilidad de las magnitudes de los eventos sísmicos. Estas cuantificaciones sismológicas estuvieron presentes y calculadas en concordancia con el exponencial modificado de Gutenberg y Richter (1944):

La ley de recurrencia sísmica propuesta por Gutenberg y Richter (1944):

$$\text{Log}(N) = a - bM$$

N = Número de sismos de magnitud M o mayor por unidad de tiempo

a, b = Constantes que dependen de la región.

A continuación, se muestra los correspondientes parámetros sismogénicos, para las fuentes mencionadas anteriormente.

Tabla 7*Parámetros sismogénicos empleados en la presente tesis*

Fuente	Mmín	Mmáx	β	Tasa
F1	4.200	8.300	1.4920	3.0140
F2	4.500	8.200	2.1280	4.7500
F3	4.600	8.400	1.2920	8.6830
F4	4.500	8.400	1.6720	7.1320
F5	4.500	8.400	1.9730	8.3200
F6	4.400	6.500	2.0010	1.1040
F7	4.300	7.100	2.2200	2.7220
F8	4.300	7.100	1.8790	3.7540
F9	4.500	7.800	2.0700	3.5910
F10	4.900	7.800	2.0220	11.2110
F11	4.500	7.500	1.2710	4.4210
F12	4.100	7.100	1.9620	3.0990
F13	4.600	7.500	2.0790	2.1450
F14	4.800	7.300	1.8100	4.6500
F15	4.400	6.300	2.3850	0.7820
F16	4.800	6.900	2.9770	1.8900
F17	4.600	7.500	1.8420	1.9660
F18	4.600	7.400	1.8810	2.2200
F19	4.800	7.200	2.4500	2.5890
F20	4.300	6.900	2.0100	1.4090

Fuente: Aguilar y Gamarra (2009).

Respecto a las leyes de atenuación. Para esta investigación se empleó las leyes de atenuación propuestas por Abrahamson et al. (2016) y Zhao et al. (2006) para sismos de subducción interfase e intra placa correspondiente a un suelo según la clasificación de IBC (2015) de tipo C y finalmente también se empleó la ley propuesta por Sadigh et al. (1997) para sismos continentales.

A continuación, se muestra la ecuación correspondiente para sismos de subducción de interfase de Abrahamson et al. (2016).

$$\begin{aligned} \ln(Sa) = & \theta_1 + \theta_4 \Delta C_1 + (\theta_2 + \theta_3 (M_w - 7)) \ln(R_{RUP} + C_4 \exp(\theta_9 (M_w - 6))) \\ & + \theta_6 R_{RUP} + f_{mag} + f_{faba} + f_{site} \end{aligned}$$

También, se muestra la ecuación correspondiente para sismos de subducción de intraplaca de Abrahamson et al. (2016).

$$\begin{aligned}
Ln(Sa) &= \theta_1 + \Theta_4 \Delta C_1 \\
&+ (\theta_2 + \theta_{14} F_{event} + \theta_3 (M_w - 7.8)) Ln(R_{HIP} + C_4 \exp(\theta_9 (M_w - 6))) \\
&+ \theta_6 R_{HIP} + \theta_{10} F_{event} + f_{mag} + f_{deph} + f_{faba} + f_{site}
\end{aligned}$$

Similarmente, se muestra la ecuación correspondiente a sismos de subducción de interfase e intraplaca de Zhao et al. (2006).

$$\begin{aligned}
log_e(Y_{i,j}) &= aM_{wi} + bX_{i,j} - log_e(r_{i,j}) + e(h - h_c)\delta_n + F_R + S_I - S_S + S_{SL} Log_e(X_{i,j}) \\
&+ C_K + \zeta_{i,j} + \eta_i \\
r_{i,j} &= X_{i,j} + C \exp(dM_{wi})
\end{aligned}$$

Finalmente, se muestra la ecuación correspondiente a sismos continentales propuesta por Sadigh et al. (1997).

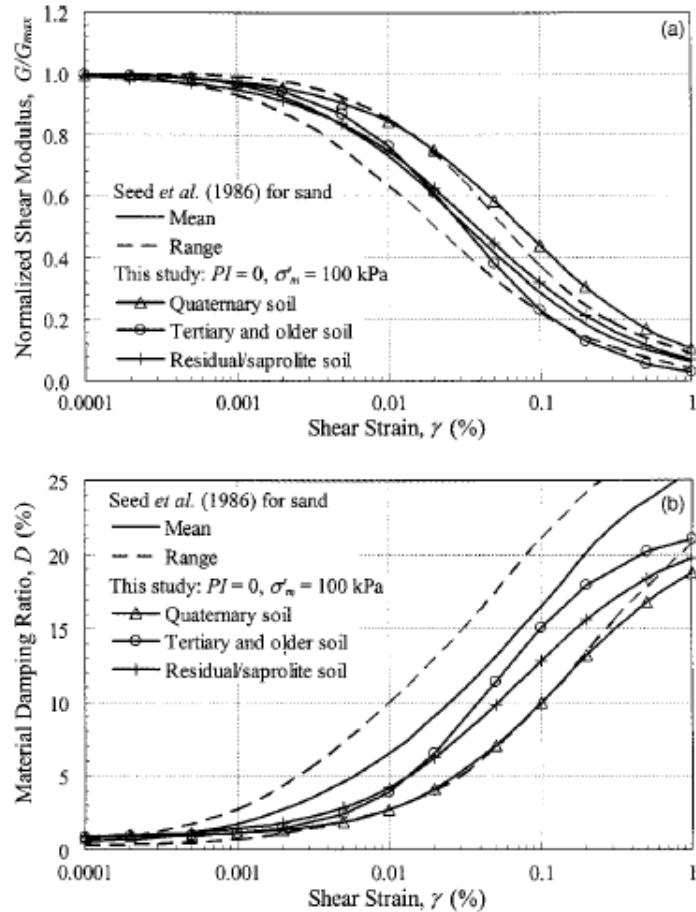
$$Ln(y) = C_1 + C_2 M - C_3 Ln(r_{rup} + C_4 e^{C_5 M}) + C_6 + C_7 (8.5 - M)^{2.5}$$

La descripción detallada de estos parámetros se puede revisar en su respectiva investigación de los autores referenciados, sobre su selección para emplear en un suelo tipo C bajo los criterios de compatibilidad con la zona así como antecedentes de aplicación a nivel nacional, el modelo de Abrahamson et al. (2016) puede ser usado en el Perú para la observación de aceleraciones espectrales durante eventos de interfase (charca et al., 2019).

Sobre la selección el modelo de ecuaciones para definir la curva de degradación de rigidez y relación de amortiguamiento. Se empleo la propuesta por Zhang et al. (2005), ya que estas consideran el efecto de la edad geológica, el esfuerzo de confinamiento y el índice de plasticidad, además la data empleada en su elaboración era mayoritariamente arena. También se tuvo como precedente su empleo en el Perú a la investigación realizada por Soto (2016) donde menciona su empleo para estimar la curva de reducción de modulo y cociente de amortiguamiento de suelos arenosos y arcillosos.

Figura 6

Ejemplo de curva de degradación de rigidez y la curva de la relación de amortiguamiento



Nota. Se muestra la comparación entre la curva por Zhang et al. (2005) con la de Seed et al. (1986) propuesta para arenas. Fuente; Zhang et al. (2005).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas de recolección de datos.

Observación de los resultados obtenidos de software Seisimager v.4.4.1 que se empleó tanto para la obtención y procesamiento de data de los ensayos MASW ejecutados, así también rutinas en Matlab R2013a como complemento para la inversión de los perfiles, obteniéndose los perfiles de velocidad de ondas de corte que representan la característica de sitio.

Observación de los resultados de la aplicación de los softwares como ArcGis v.10.6.1 para la ubicación geográfica, los softwares SeismoMatch v.2018 y SeismoSignal v.4.3 para el procesamiento de los registros sísmicos, el software R-

CRISIS v.18.4.2 para la obtención de los espectros de peligro uniforme, así como el software DEEPSOIL v.7.0.25 para el análisis de respuesta de sitio.

Los Instrumentos de recolección de datos fueron los siguientes:

Equipo computacional para el procesamiento tanto como de los ensayos y posteriores análisis de la data, equipo PASI-modelo GEA-24. Para la obtención de la data durante los ensayos MASW.

Figura 7

Equipo PASI- modelo GEA-24



Fuente; Elaboración propia.

Con respecto a la validación y confiabilidad del instrumento de medición. El desarrollo del ensayo MASW ejecutado en la presente tesis, se realizó bajo la tutoría de un experto certificando la validez de los ensayos. Ver anexo.

3.5. Procedimientos

- Se realizó la inspección visual a manera de reconocimiento de campo para la ubicación de los ensayos MASWs.
- Se procedió a la realización de los ensayos MASWs, en las diferentes ubicaciones previamente seleccionadas.
- Se procedió a la obtención de la curva de dispersión de los ensayos MASWs
- Se realizó una recopilación y análisis del proyecto SENCICO (2019) del cual se emplearía los ensayos MAM de ese proyecto, cabe mencionar que se emplearon estos ensayos MAM ya que estos permiten visualizar la curva de dispersión a bajas frecuencias lo cual correspondería a la parte de mayor profundidad en la obtención del perfil de velocidades de ondas de corte.

- A partir de los ensayos MAM recopilado y adicionalmente con cada uno de los ensayos MASWs ejecutados se obtuvo unas curvas de dispersión para un rango considerable de frecuencias.
- A continuación, se procedió a realizar la inversión de la curva de dispersión mediante el método de algoritmos genéticos para obtener perfiles de velocidad de ondas de corte.
- Por otro lado, para la obtención del espectro de peligro uniforme se vino realizando el análisis de peligro sísmico probabilístico.
- Se procedió a la selección y posterior corrección por línea base y filtrado de cada uno de los acelerogramas de los diferentes sismos.
- Se realizó el ajuste espectral entre el espectro de peligro uniforme y los acelerogramas corregidos.
- Se realizó el análisis de respuesta de sitio mediante el método lineal equivalente.
- Se obtuvo los espectros de respuesta en la superficie del suelo.
- Se realizó la comparativa de los espectros de respuesta obtenidos con la norma peruana E.030.
- Se realizó la comparativa de las funciones de transferencia obtenida a partir del análisis de respuesta de sitio con la relación espectral H/V de diferentes sismos registrados en la estación de SENCICO en Ica.
- Se procedió al análisis e interpretación de resultados para la obtención de las conclusiones.

3.6. Método de análisis de datos.

Ubicación del área de estudio, se dio una limitación espacial para el trabajo de investigación. El proyecto tuvo cinco ubicaciones de sitios de evaluación cuyas coordenadas se muestran a continuación, para más detalle de la delimitación espacial ver en el anexo.

Tabla 8

Coordenadas de los sitios evaluados en la presente tesis

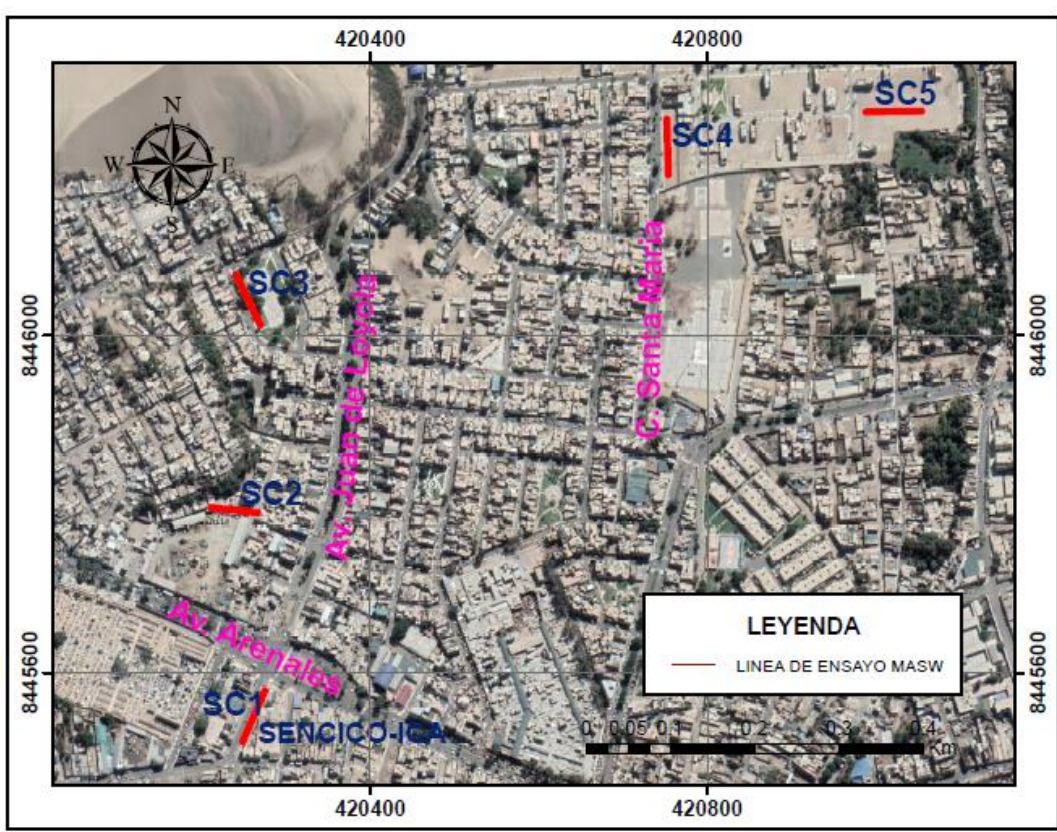
	Latitud Sur	Longitud Oeste
SC1	14°03'14.6"	75°44'18.7"
SC2	14°03'0.6"	75°44'19.5"
SC3	14°02'58.5"	75°44'18.9"
SC4	14°02'52.7"	75°44'02.3"

SC5	14°02'51.3"	75°43'53.3"
-----	-------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

Ubicación local de los 5 sitios de análisis de la presente tesis



Nota. En la sección anexo se adjunta un plano de ubicación. Fuente: Elaboración propia.

También es necesario mencionar la geología del lugar, para el cual se cita al proyecto SENCICO (2019), en cual se menciona lo siguiente sobre la geología local de la estación acelerográfica:

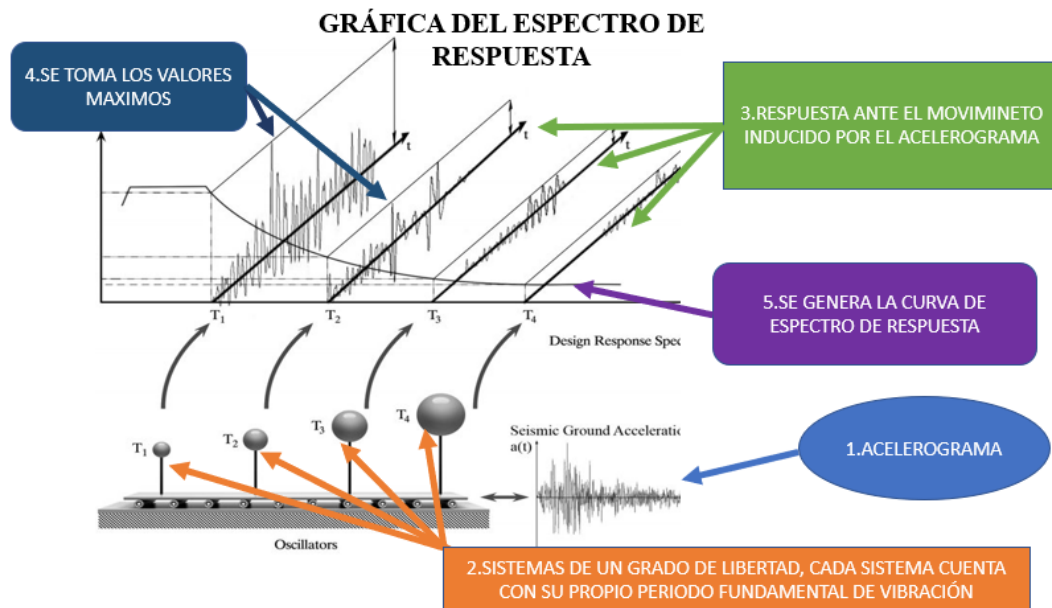
Geomorfológicamente la zona de estudio y sus alrededores a nivel local, donde se asienta la ciudad de Ica se identifica básicamente 02 unidades morfológicas, siendo una de ellas los depósitos inconsolidados transportados o acarreados por las aguas de escorrentía o movimiento que han creado las Planicies Costeras que contienen al casco urbano actual. La otra unidad es los Valles, quebradas y sus conos de deyección, que contienen a las tierras de cultivo, tal es el caso del valle del río Ica que transcurre de Norte a Sur en la zona. El área evaluada se ubica en la unidad de Planicie Costanero, que viene a ser una superficie de terreno horizontal,

perteneciente a la zona urbana donde se deposita materiales de naturaleza aluvial y eólico. Al Este del área explorada se tiene se tiene afloramientos rocosos del grupo Quilmaná a modo de pequeñas elevaciones que corresponden al Frente Andino. Litológicamente en la zona sujeto a estudio predominan los materiales o depósitos eluviales del Cuaternario. Al Este del punto donde se realizó la perforación se tiene depósitos aluviales y rocas volcánicas, calizas e intrusivos del grupo. Quilmaná. Al Oeste se tiene depósitos eólicos del Cuaternario Reciente. Depósitos Aluviales y Eluviales. Bajo este nombre se agrupa a los depósitos clásticos transportados por medio acuoso y acumulados en las quebradas. Los depósitos acumulados en el fondo de las quebradas consisten en conglomerados gruesos intercalados con arena, limo y arcilla, están bien expuestos en los cortes de los ríos y al pie de las terrazas. En el punto de perforación se identifica los materiales siguientes: Arena, arena con escasa grava en los primeros niveles, limos arcillosos, arcillas limosas a partir de los 6.00 m., arena limosas o ligeramente limosas; todos ellos de resistencia densa a muy densa según los ensayos SPT realizados. (p.9).

A continuación, se menciona sobre la obtención de la gráfica del espectro de respuesta como se aprecia en la siguiente imagen para obtener un espectro de respuesta de un acelerograma, se parte de la idealización de sistemas de un grado de libertad cuyo periodo propio de vibración va a corresponder a un punto el eje de las abscisas, entonces cada sistema de un grado de libertad responde de una manera singular ante el movimiento inducido por el acelerograma en su base, por lo cual de esta respuesta se toman el valor máximo y sería la correspondiente ordenada para cada periodo, formándose así un par ordenado (periodo, valor máximo) y así es como se va formando la curva del espectro de respuesta.

Figura 9

Esquema de obtención para la gráfica del espectro de respuesta

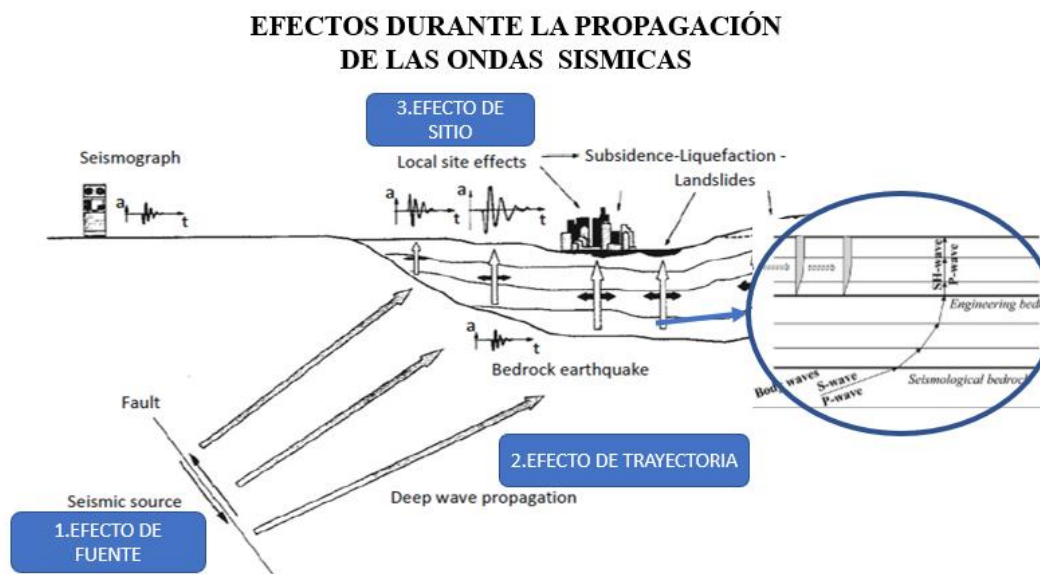


Fuente: Adaptado de Vrochidou et al. (2014).

Efectos durante la propagación de las ondas sísmicas. Una vez que inicia el evento sísmico las ondas se empiezan a propagar en todas direcciones hacia la superficie, al momento de estudiarlas se tiene que tener en cuenta los tres efectos que estas han sufrido, primeramente está el efecto de fuente, este efecto se refiere al tipo de falla y debido a que ocurrió el evento ya sea por subducción en interfase o Intraplaca o continentales, los efectos de trayectoria hacen referencia a la transición de las ondas a través de las capas profundas a travesando el basamento rocoso y la atenuación que estas van sufriendo conforme se alejan del epicentro, el efecto de sitio hace referencia a las condiciones locales y particulares por la cual las ondas atraviesan justo antes de llegar a la superficie, a este punto el frente de ondas P como las ondas SH se han ido verticalizando debido a la refracción al atravesar una gran cantidad de capas, esto fue una de las bases para plantear métodos para el estudio de este último efecto.

Figura 10

Efectos durante la propagación de las ondas sísmicas hacia la superficie



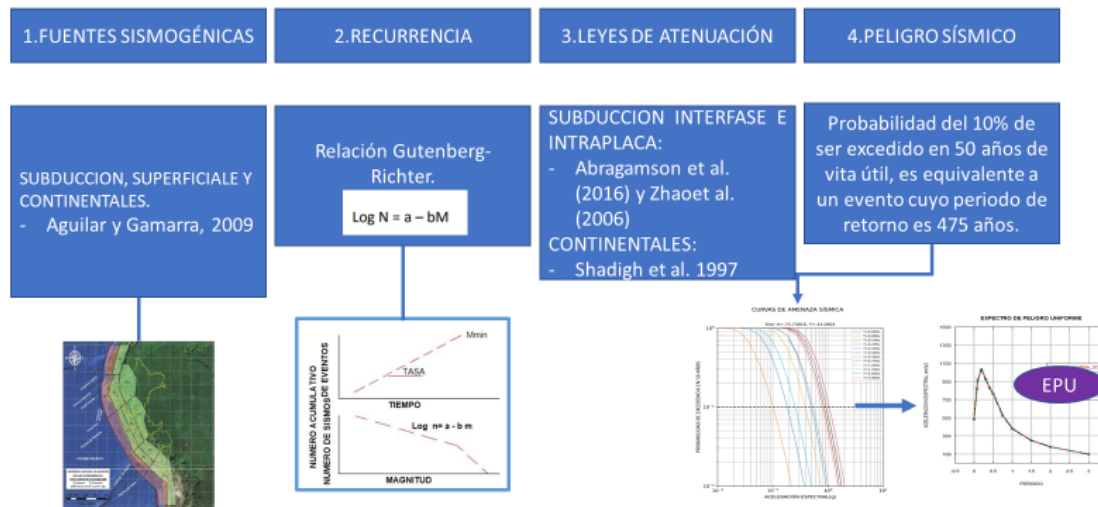
Fuente: Adaptado de Elia G. (2015).

Efecto de fuente y efecto de trayectoria. Tanto el efecto de fuente con el efecto de trayectoria forman parte en la obtención del espectro de peligro uniforme, siendo estas consideradas en el análisis de peligro sísmico probabilístico, dado que este considerará todos los posible eventos sísmicos y resultados del movimiento del suelo junto con sus propiedades asociadas de ocurrencia con el fin de encontrar el nivel de excedencia con una tolerable baja relación según UY et al (2020), mediante el empleo de las fuentes sismogénicas y las leyes de atenuación, este se realizó mediante el programa R-CRISIS v.18.4.2, para ello primero se tuvo en cuenta las fuentes sismogénicas, para lo cual en el desarrollo de la presente tesis se empleó las fuentes propuestas por Aguilar y Gamarra (2009), luego los parámetros sismológicos relacionado con la ley de recurrencia de Gutenberg-Richter igualmente vienen dados a partir de fuentes sismogénica, las leyes de atenuación empleadas fueron las propuestas por Abrahamson et al (2016) y Zhao et al(2006) para sismos de subducción e interfase e intraplaca con un peso de ponderación de 0.5 para cada uno, y para sismos continentales se empleó la ley de Sadigh et al. (1997) con un peso de ponderación correspondiente a la unidad, el espectro se obtuvo para un suelo tipo C según la clasificación del IBC(2015). Para obtener las curvas de amenaza sísmica para una probabilidad del 10 % de ser excedida en 50 años de vida útil, lo cual es equivalente a un evento cuyo periodo

de retorno es de 475 años, es de recalcar que se realizó el análisis en estas características para poder comparar posteriormente los resultados con la norma peruana E.030. ya que el parámetro Z es descrita con las características mencionadas. Adicionalmente se realizó una comparativa con el espectro de peligro uniforme obtenido con el aplicativo web en la página de SENCICO para la obtención de espectro de peligro uniforme basada en las fuentes sismogénica y metodología propuesta en el proyecto SENCICO (2016), obteniéndose una similitud sin embargo el espectro obtenido en la presente tesis tiene ligeramente aceleraciones espectrales mayores siendo esto lo esperado ya que el espectro obtenido de SENCICO (2016) fue realizado para suelo tipo B, concordando lógicamente el espectro obtenido con este. Una vez obtenido el espectro de peligro uniforme y los acelerogramas corregidos por línea base y filtrado, se realizó el ajuste espectral mediante el software SeismoMatch v.2018.

Figura 11

Esquema sobre la obtención del espectro de peligro uniforme para la presente tesis



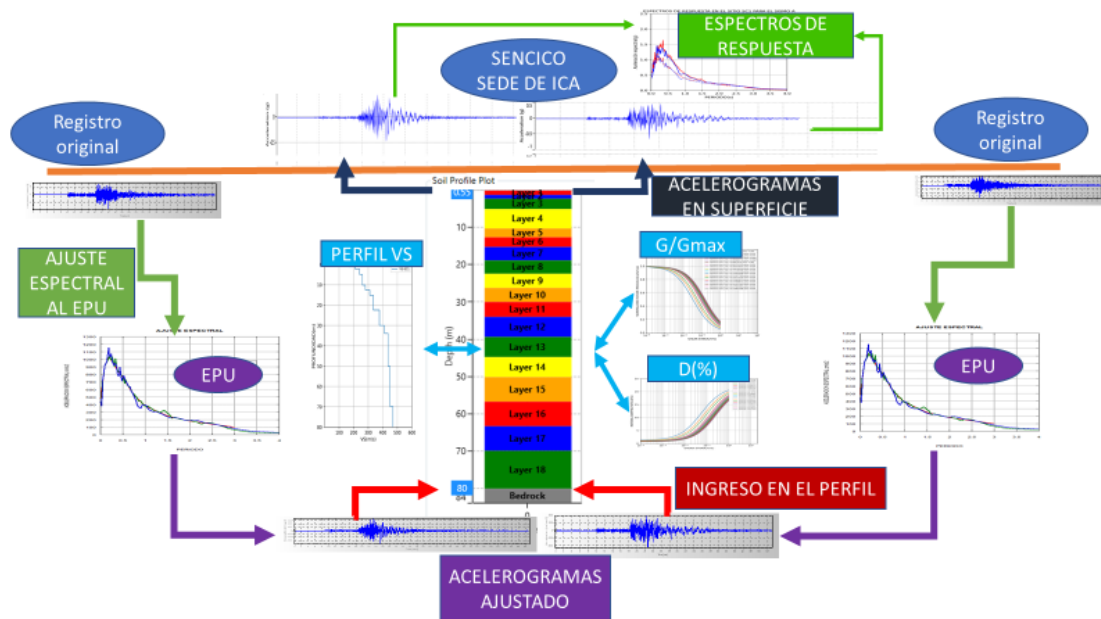
Fuente: Elaboración propia.

Efecto de sitio. Para la investigación se realizó el análisis de respuesta de sitio mediante el método lineal equivalente teniendo en cuenta cinco sismos conocidos ya que alcanzaron magnitudes elevadas, para cada acelerograma de su respectiva estación se le realizó el ajuste espectral al espectro de peligro uniforme tomándose ahí los efectos de fuente y trayectoria, con estos acelerogramas se

realizó el input a una profundidad de 90m aproximadamente en el perfil previamente caracterizado según su velocidad de onda de corte y las curvas de degradación de rigidez y relación de amortiguamiento calculadas a partir de las ecuaciones de Zhang et al. (2005) para suelos arenosos y arcilloso, finalmente mediante el método lineal equivalente se obtuvo los acelerogramas en superficie para graficar sus respectivos espectros de respuesta. Adicionalmente los espectros de respuesta se compararon con la norma peruana E.030.

Figura 12

Esquema del análisis de respuesta de sitio



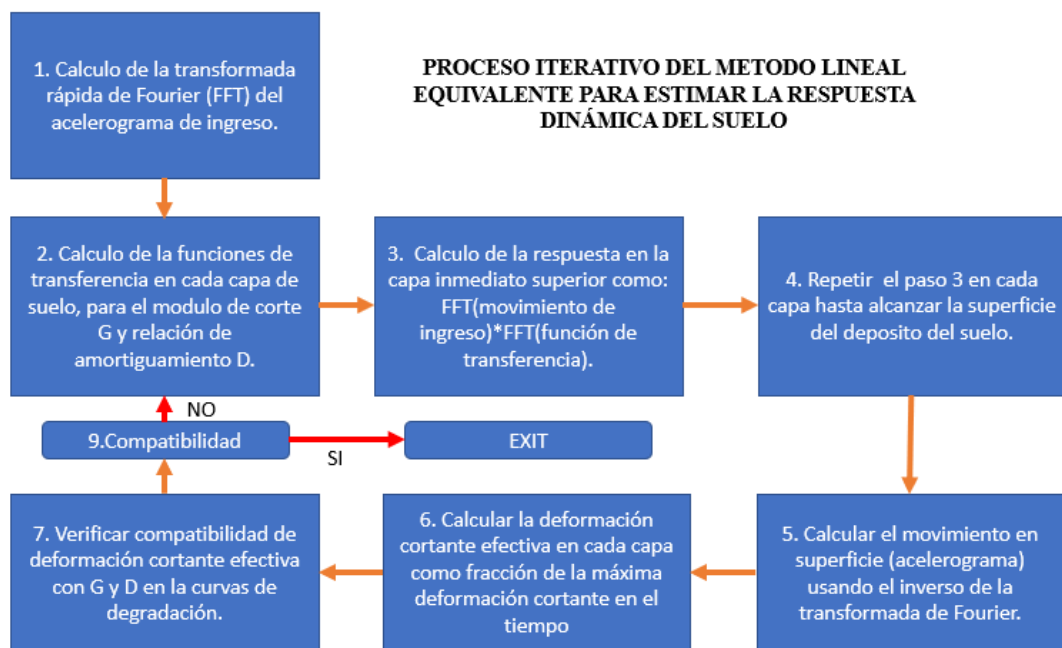
Fuente: Elaboración propia.

Proceso del método lineal equivalente. Luego de haber obtenido el acelerograma ajustado al espectro de peligro uniforme, del cual se calculó su espectro de amplitudes y de fase de Fourier con la transformada rápida de Fourier, luego se calculó las funciones de transferencia a cada capa con su respectivo módulo de corte y amortiguamiento, luego se multiplica el espectro de Fourier del acelerograma con el espectro de la función de transferencia, y esto se va repitiendo hasta alcanzar la última capa en la superficie del suelo, esto se calcula en cada capa, teniendo como condiciones de frontera que el desplazamiento y esfuerzo en el límite de dos capas contiguas es la misma y que en el límite con la superficie el esfuerzo en el aire es igual cero, luego usando el inverso de la transformada de Fourier tanto del espectro de amplitudes como el de fase, se procede a realizar la inversa de la transformada de Fourier, a continuación se calculó la deformación

cortante en cada capa como fracción de la máxima deformación cortante en el tiempo, con esta nueva deformación también denominada deformación efectiva se verifica la compatibilidad de deformación cortante tanto para la curva de degradación de rigidez como relación de amortiguamiento, este proceso iterativo se repite hasta que se logra un buen ajuste, cabe mencionar que el modelo del suelo es el de Kelvin-Voigt, este modelo consta de un resorte de hook y un embolo de newton dispuestos en paralelo y es la mejor manera de representar el comportamiento de fluencia. Bihari et al, (2017). La estrategia básica en algoritmos genéticos para crear la mejor solución es cruzar los genes parentales denominados crossover para obtener la óptima solución lo antes posible en generaciones mínimas Umbarkar et al (2015).

Figura 13

Proceso iterativo del método lineal equivalente

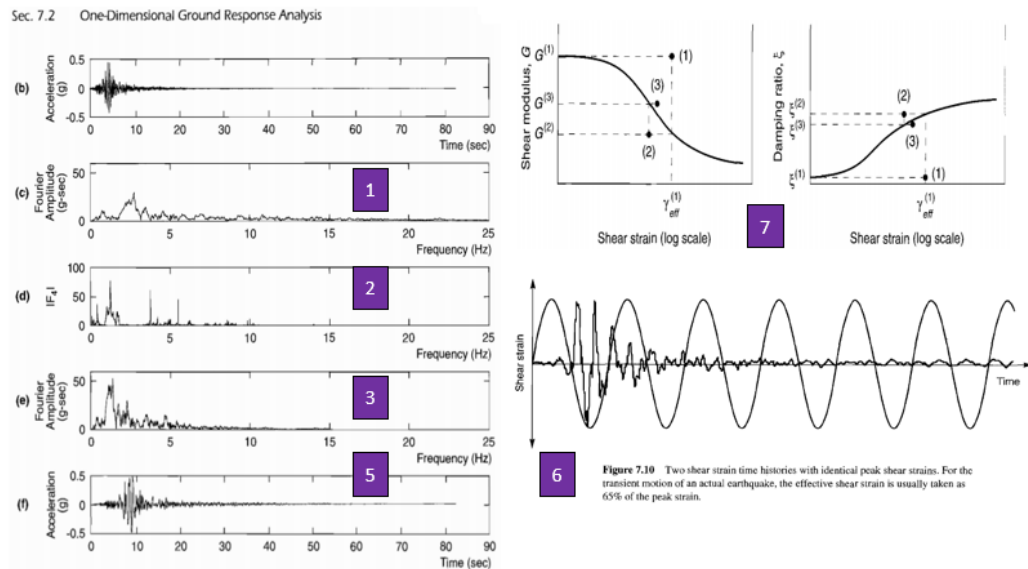


Fuente: Astroza et al. (2017)

Ya que las deformaciones calculadas dependen de las propiedades planteadas en el modelo, en la formulación lineal equivalente, el valor del módulo de la rigidez y la relación de amortiguamiento son ajustados iterativamente para ser consistentes con el nivel de deformación cortante efectiva en cada capa del suelo (Kaklamanos et al., 2015).

Figura 14

Proceso iterativo gráfico del método lineal equivalente



Fuente: Kramer (1996)-

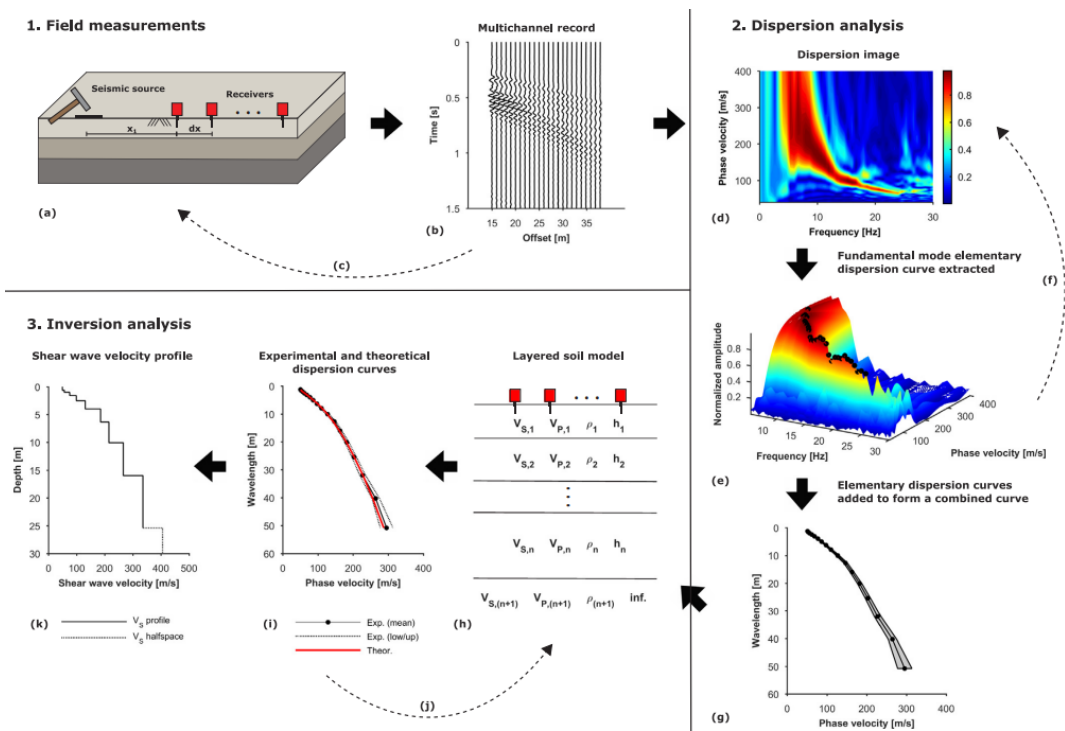
Sobre el ensayo MASW. Para las características de sitio con su perfil de velocidades de ondas de corte se realizó el ensayo MASW el cual también es conocido como análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal, este método permite obtener un perfil de velocidades de ondas de corte del subsuelo. La aplicación del ensayo MASW incluye tres pasos, mediciones de campo, análisis de dispersión y el análisis de inversión; las ondas superficiales son generadas por una fuente sísmica activas conocidas como shoot y la propagación de la onda es registrada por múltiples geófonos que son igualmente espaciados a largo linealmente, para la presente tesis se empleó 24 geófonos espaciados cada 2m y los shoot se realizaron a 5 y a 10m de los geófonos extremos. Cada registro multicanal de onda superficial es transformada dentro de una imagen de dispersión y el correspondiente modo fundamental de la curva de dispersión es identificada. Las curvas de dispersión elemental se combinan posteriormente en una única curva experimental y se evalúa la incertidumbre asociada con la curva media combinada. Finalmente, el perfil de velocidad de la onda de corte se obtiene mediante la inversión de la curva de dispersión, el perfil de la velocidad de la onda de corte calculada puede asignarse razonablemente al centro de la extensión del receptor (Olafsdottir et al., 2018). Para los perfiles obtenidos empleamos adicionalmente los ensayos MAM recopilados, estos son similares a los ensayos MASW pero la fuente

del registro de obtención de la ondas es pasiva propia de la vibración ambiental, someramente el procedimiento que se siguió fue la obtención de la curva de dispersión de los ensayos MASWs ejecutados para la caracterización superficial y complementó esta curva con los ensayos MAM recopilados para bajas frecuencias la cual caracteriza la parte profunda del perfil, en cada sitio, luego se realizó la inversión mediante el método de algoritmos genéticos para obtener finalmente los perfiles de velocidad de ondas de corte.

El enfoque de algoritmo genético es efectivo para estimar el perfil de velocidad de ondas de corte de la curva de dispersión de la velocidad de fase de las ondas Rayleigh (Rubaiyn et al.,2019).

Figura 15

Diagrama de procesamiento del método MASW



Fuente: Olafsdottir et al. (2018).

Como uno de los últimos puntos se realizó una comparación de la función de transferencia obtenida a partir de los análisis realizados con la relación espectral H/V de diferentes sismos registrados en la estación de SENCICO sede en Ica, también es conocido como HVSR por sus siglas en inglés en resumen el procedimiento para la obtención del HVSR sería: “se calculó el espectro de amplitudes de Fourier y la relación espectral de la componente horizontal con

respecto a la vertical. Luego, la media cuadrática fue obtenida de ambas relaciones” (Lermo-Samaniego,2020, p.260).

El cociente espectral (HVSr o H/V, horizontal to vertical spectral ratio) de registros sísmicos es mencionado en diferentes investigaciones, el concepto a manera breve sería:

Teniendo en cuenta los conceptos de que H_s y V_s son la componente horizontal y vertical en superficie libre, y los mismos componentes en la de la columna sedimentaria sería H_B y V_B , luego el cociente entre el movimiento horizontal en la superficie con respecto al movimiento horizontal sin efectos de sitio sería $S_E(f) = \frac{H_s(f)}{H_B(f)}$ y que el espectro de la fuente que excita el

movimiento en la superficie $A_S(f) = \frac{V_s(f)}{V_B(f)}$, para compensar $S_E(f)$ por el efecto del espectro de la señal que excita el movimiento, calculamos una función de amplificación modificada $S_M(f)$, dividiendo $S_E(f)$ por la estimación del espectro de la fuente $A_S(f)$, $S_M(f) = \frac{S_E(f)}{A_S(f)} = \frac{\frac{H_s(f)}{H_B(f)}}{\frac{V_s(f)}{V_B(f)}}$. Una hipótesis final

es que, para todas las frecuencias de interés, se cumple que $\frac{V_s(f)}{V_B(f)} = 1$. De este modo, una estimación de efectos de sitio para el caso de ondas Rayleigh está dada por el cociente espectral entre los componentes horizontal y vertical registrados en la superficie libre. La ecuación fue verificada usando registros de ruido sísmico obtenidos con un sensor de pozo (Chávez y Montalva,2014, p.14).

3.7. Aspectos éticos.

El desarrollo del proyecto de investigación permitió crear conciencia en la comunidad sobre la importancia de un diseño de edificios u otras obras teniendo en cuenta las características de sitio, el cual brindará un sentimiento de confort y seguridad en la población. Siendo un aporte en la salud mental de la sociedad y al desarrollo de la ciudad. Así mismo, desde un punto de vista ambiental el proyecto de investigación realizado, busca a largo plazo elevar la calidad en el diseño las edificaciones, promover un desarrollo de la ciudad sostenible en el tiempo, disminuyendo los daños y los desperdicios que se generan ante los efectos de un

evento sísmico, así como su contaminación hacia el medio ambiente, buscando el bienestar y cuidado de este.

Los ensayos y procedimientos realizados para la investigación son de carácter no maleficente y no se manipuló o alteró los resultados.

RESULTADOS

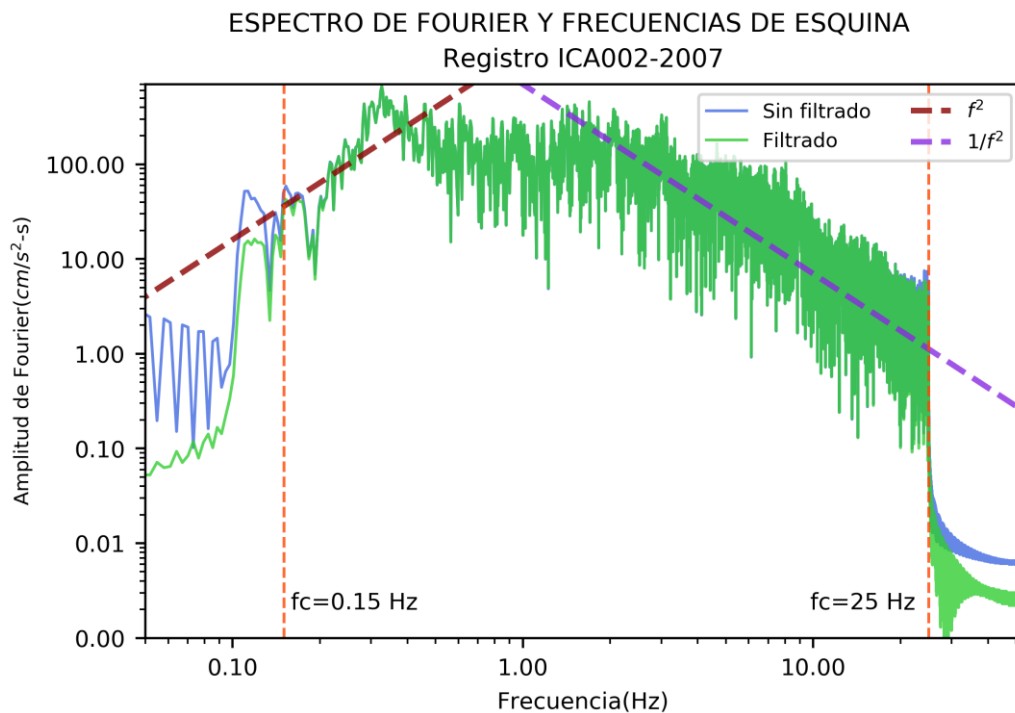
4.1. Presentación e interpretación de resultados.

Resultado del procesamiento de los registros sísmicos.

Primeramente, se trabajó con el tratamiento de las señales, para ello se le realizó una corrección de línea base del tipo polinomial lineal, y el uso del filtro pasa-banda Butterworth cuyas frecuencias de esquina se seleccionaron según lo mencionado en el marco teórico.

Figura 16

Selección de frecuencias de esquina para el registro ICA002-2007

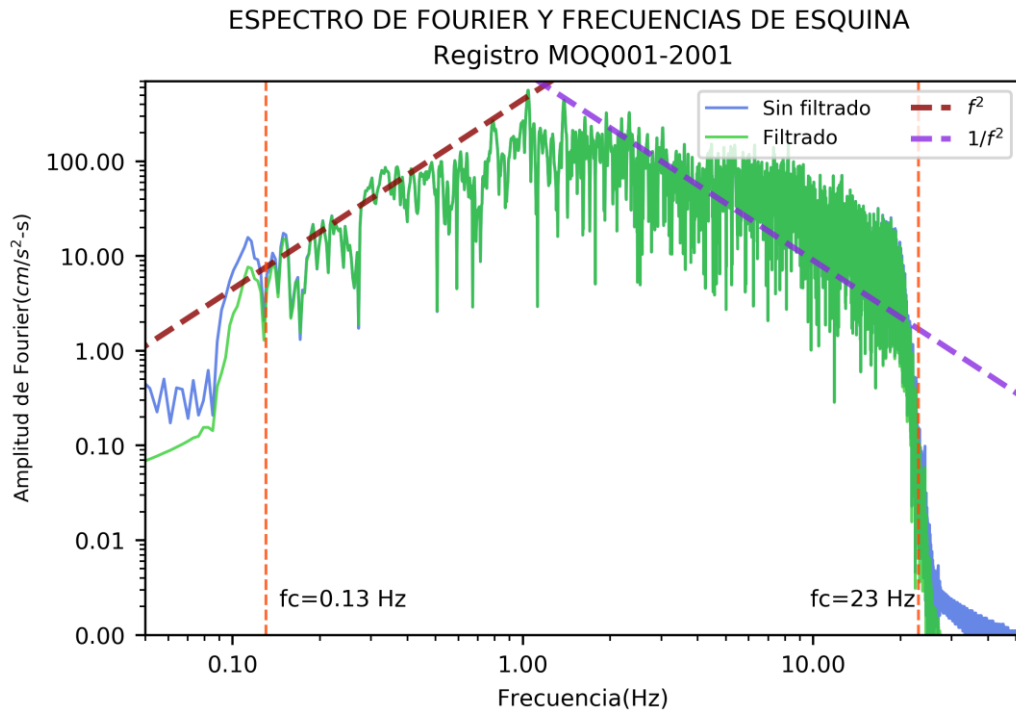


Fuente: Elaboración propia.

Concordante con lo mencionado en el marco teórico, para este registro de ICA002-2007 se seleccionó como frecuencias de esquina para el filtro pasa banda, la de 0.15 Hz en las frecuencias bajas y de 25 HZ en las frecuencias altas.

Figura 17

Selección de frecuencias de esquina para el registro MOQ001-2001

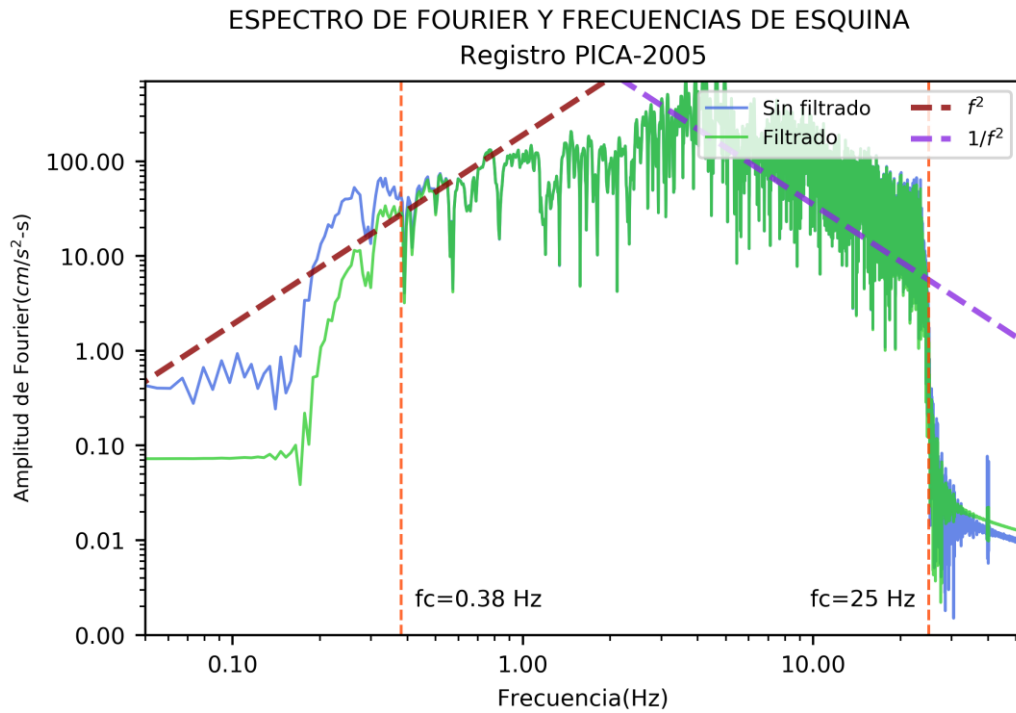


Fuente: Elaboración propia.

Concordante con lo mencionado en el marco teórico, para este registro de MOQ001-2001 se seleccionó como frecuencias de esquina para el filtro pasa banda, la de 0.13 Hz en las frecuencias bajas y de 23 HZ en las frecuencias altas.

Figura 18

Selección de frecuencias de esquina para el registro PICA-2005

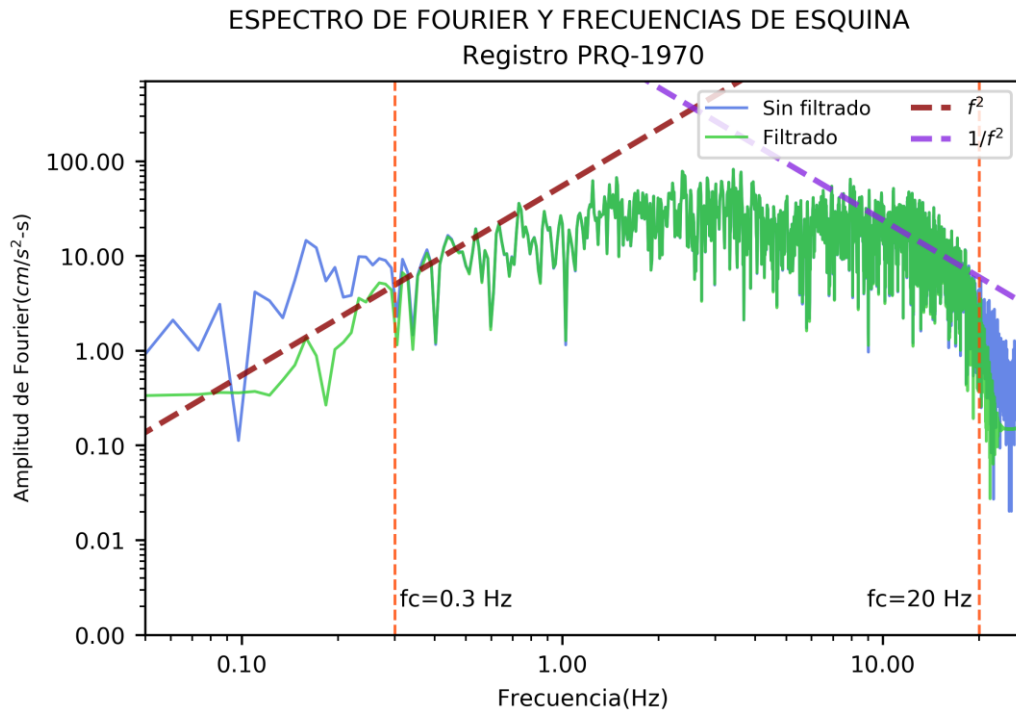


Fuente: Elaboración propia.

Concordante con lo mencionado en el marco teórico, para este registro de PICA-2005 se seleccionó como frecuencias de esquina para el filtro pasa banda, la de 0.38 Hz en las frecuencias bajas y de 25 HZ en las frecuencias altas.

Figura 19

Selección de frecuencias de esquina para el registro PRQ-1970

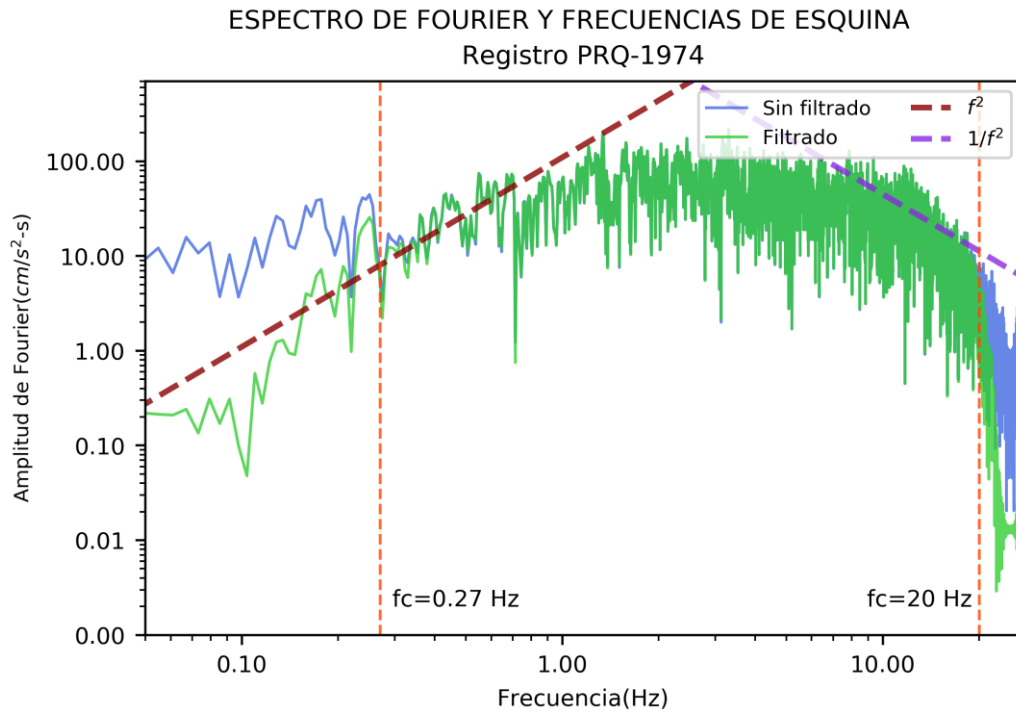


Fuente: Elaboración propia.

Concordante con lo mencionado en el marco teórico, para este registro de PRQ-1970 se seleccionó como frecuencias de esquina para el filtro pasa banda, la de 0.30 Hz en las frecuencias bajas y de 20 HZ en las frecuencias altas.

Figura 20

Selección de frecuencias de esquina para el registro PRQ-1974



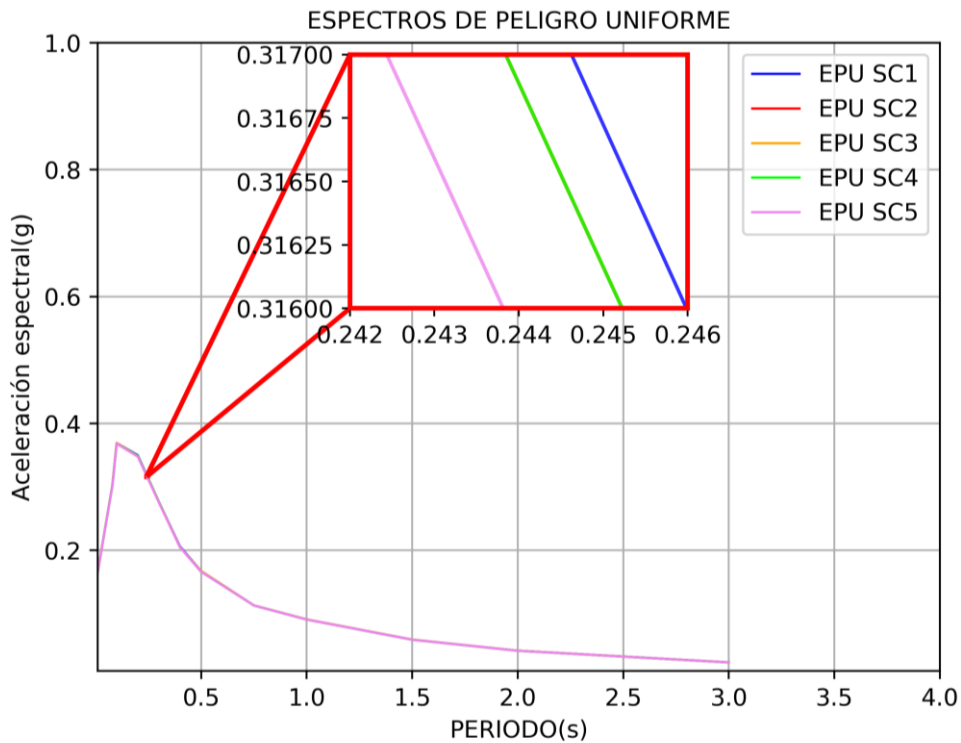
Fuente: Elaboración propia.

Concordante con lo mencionado en el marco teórico, para este registro de PRQ-1974 se seleccionó como frecuencias de esquina para el filtro pasa banda, la de 0.27 Hz en las frecuencias bajas y de 20 Hz en las frecuencias altas.

Se obtuvo el espectro de peligro uniforme (EPU) para los periodos de retorno de 50, 100 y 475 años de retorno

Figura 21

Espectros de peligro uniforme para el periodo de retorno de 50 años



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar la muy poca variación en los espectros de peligro uniforme entre los sitios de estudio siendo esta casi en el cuarto decimal, por lo cual se trabajó con el promedio.

Tabla 9

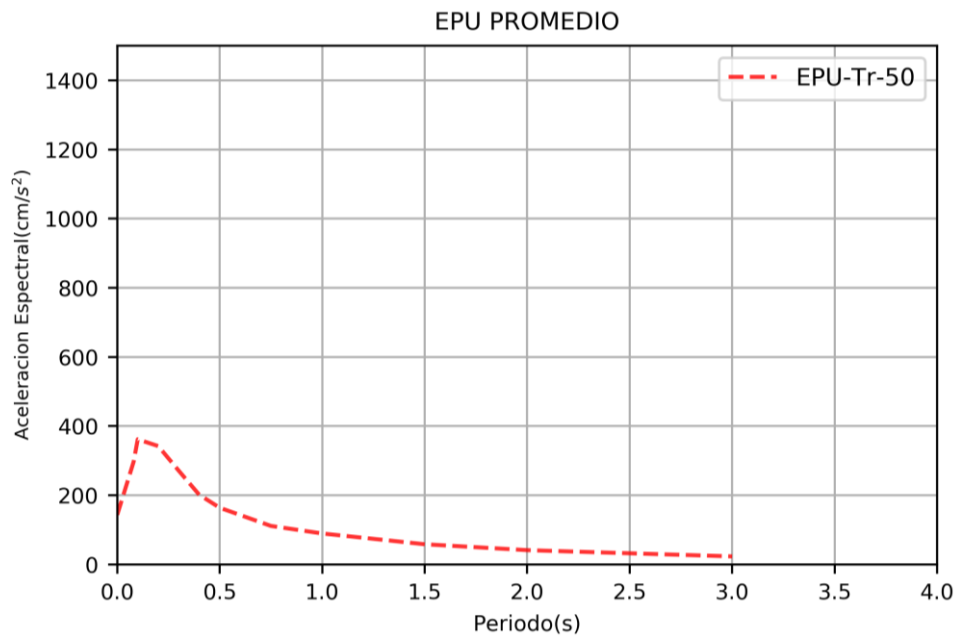
Promedio de espectros de peligro uniforme de periodo de retorno de 50 años

PERIODO	SC1(g)	SC2(g)	SC3(g)	SC4(g)	SC5(g)	PROMEDIO(g)
0.00	0.1458	0.1458	0.1458	0.1458	0.1458	0.1458
0.08	0.3029	0.3029	0.3029	0.3029	0.3018	0.3027
0.10	0.3691	0.3691	0.3691	0.3681	0.3681	0.3687
0.20	0.3498	0.3487	0.3487	0.3487	0.3477	0.3487
0.30	0.2763	0.2763	0.2763	0.2763	0.2753	0.2761
0.40	0.2060	0.2050	0.2050	0.2050	0.2050	0.2052
0.50	0.1672	0.1672	0.1672	0.1662	0.1662	0.1668
0.75	0.1132	0.1132	0.1132	0.1132	0.1132	0.1132
1.00	0.0911	0.0911	0.0911	0.0909	0.0909	0.0910
1.50	0.0592	0.0592	0.0592	0.0591	0.0591	0.0592
2.00	0.0418	0.0418	0.0418	0.0417	0.0417	0.0418
3.00	0.0235	0.0234	0.0234	0.0234	0.0234	0.0234

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Espectro de peligro uniforme promedio para el periodo de retorno de 50 años

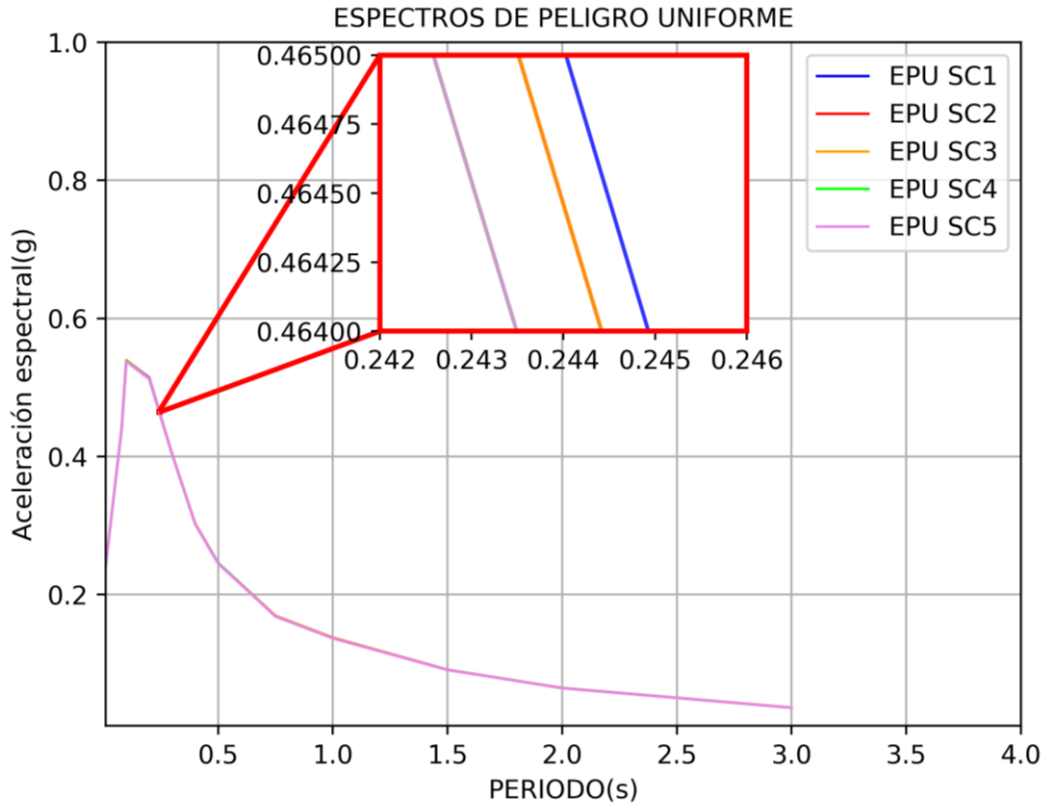


Fuente: Elaboración propia.

Obtención de espectro de peligro uniforme para el periodo de retorno de 100 años.

Figura 23

Espectros de peligro uniforme para el periodo de retorno de 100 años



Fuente: Elaboración propia.

Similarmente, se puede apreciar la muy poca variación en los espectros de peligro uniforme entre los sitios de estudio, por lo cual se optó por su promedio.

Tabla 10

Promedio de espectros de peligro uniforme de periodo de retorno de 100 años

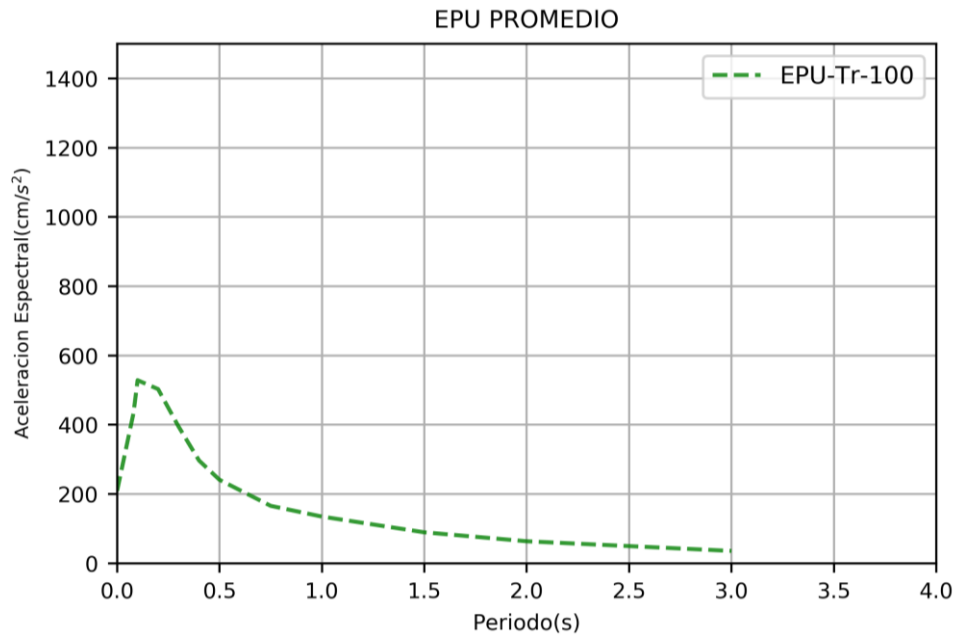
PERIODO	SC1(g)	SC2(g)	SC3(g)	SC4(g)	SC5(g)	PROMEDIO(g)
0.00	0.2131	0.2131	0.2131	0.2131	0.2131	0.2131
0.08	0.4426	0.4426	0.4426	0.4415	0.4415	0.4421
0.10	0.5394	0.5394	0.5394	0.5384	0.5374	0.5388
0.20	0.5139	0.5129	0.5129	0.5119	0.5119	0.5127
0.30	0.4028	0.4028	0.4028	0.4018	0.4018	0.4024
0.40	0.3029	0.3029	0.3029	0.3018	0.3018	0.3024

0.50	0.2458	0.2458	0.2458	0.2458	0.2447	0.2455
0.75	0.1693	0.1693	0.1693	0.1683	0.1683	0.1689
1.00	0.1377	0.1377	0.1377	0.1366	0.1366	0.1373
1.50	0.0911	0.0911	0.0910	0.0909	0.0908	0.0909
2.00	0.0647	0.0647	0.0647	0.0644	0.0644	0.0646
3.00	0.0362	0.0362	0.0362	0.0361	0.0361	0.0362

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Espectro de peligro uniforme promedio para el periodo de retorno de 100 años

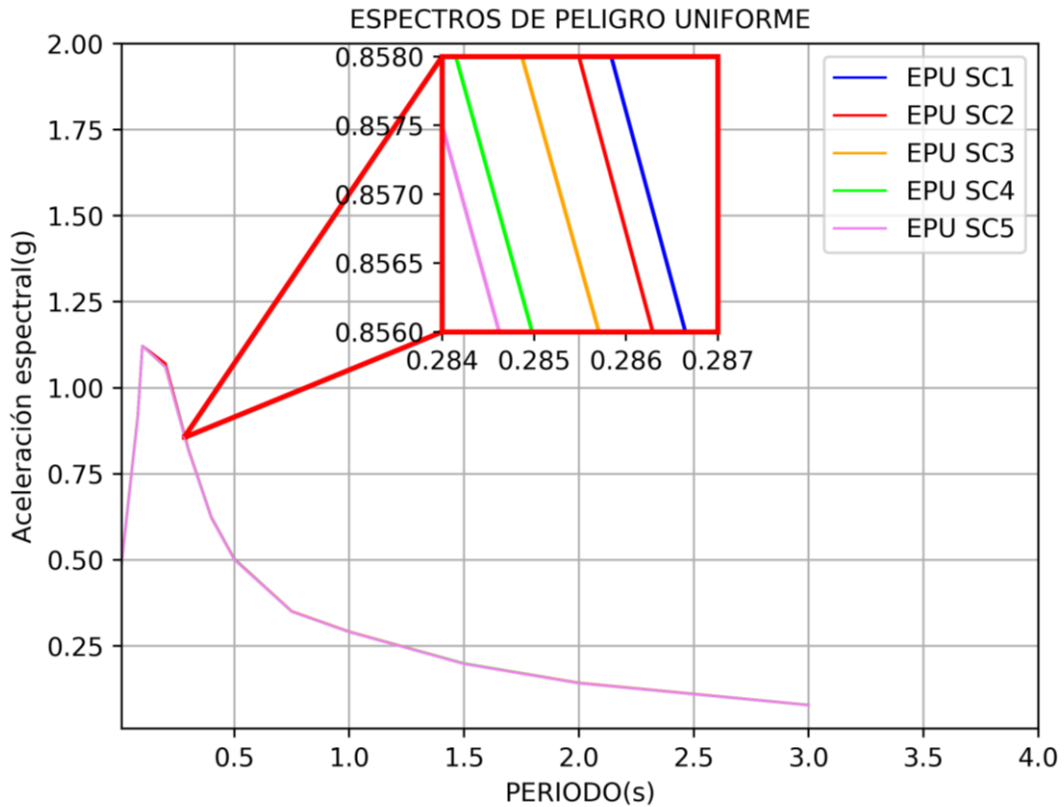


Fuente: Elaboración propia.

Obtención de espectro de peligro uniforme para el periodo de retorno de 475 años.

Figura 25

Espectros de peligro uniforme para el periodo de retorno de 475 años



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar la muy poca variación en los espectros de peligro uniforme entre los sitios de estudio siendo esta casi en el cuarto decimal, esto se debe a la cercanía entre ellos, por lo cual se optó por emplear el espectro promedio,

Tabla 11

Promedio de espectro de peligro uniforme para el periodo de retorno de 475 años

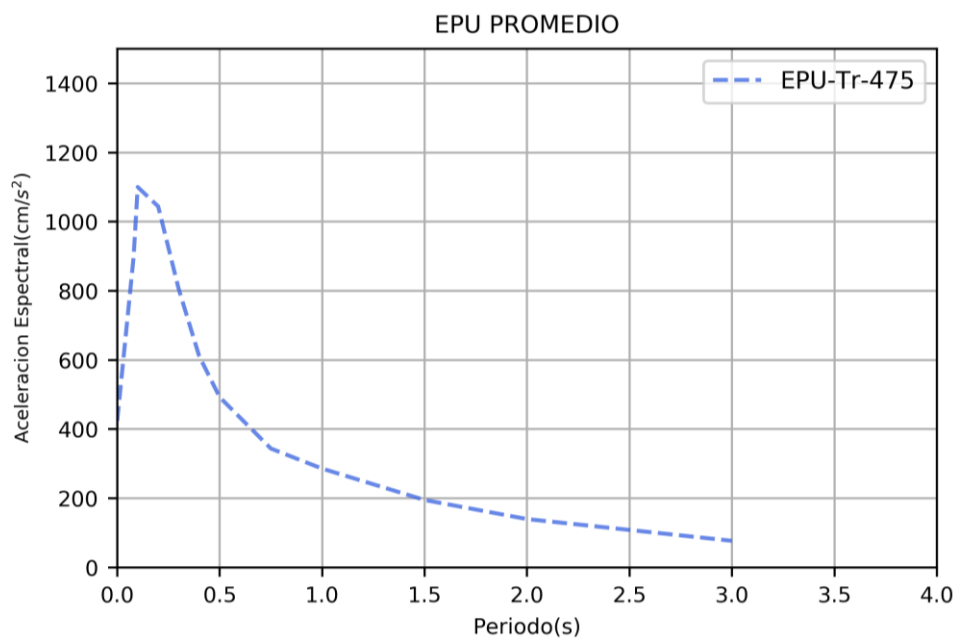
PERIODO	SC1(g)	SC2(g)	SC3(g)	SC4(g)	SC5(g)	PROMEDIO(g)
0.00	0.4324	0.4324	0.4324	0.4313	0.4313	0.4320
0.08	0.9177	0.9167	0.9167	0.9147	0.9137	0.9159
0.10	1.1217	1.1217	1.1217	1.1217	1.1217	1.1217
0.20	1.0707	1.0707	1.0605	1.0605	1.0605	1.0646
0.30	0.8229	0.8219	0.8219	0.8199	0.8188	0.8211
0.40	0.6241	0.6241	0.6230	0.6220	0.6220	0.6230

0.50	0.5027	0.5027	0.5017	0.5017	0.5007	0.5019
0.75	0.3508	0.3508	0.3508	0.3498	0.3498	0.3504
1.00	0.2916	0.2916	0.2916	0.2906	0.2906	0.2912
1.50	0.1988	0.1988	0.1988	0.1988	0.1978	0.1986
2.00	0.1428	0.1428	0.1428	0.1417	0.1417	0.1424
3.00	0.0783	0.0783	0.0782	0.0781	0.0780	0.0782

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

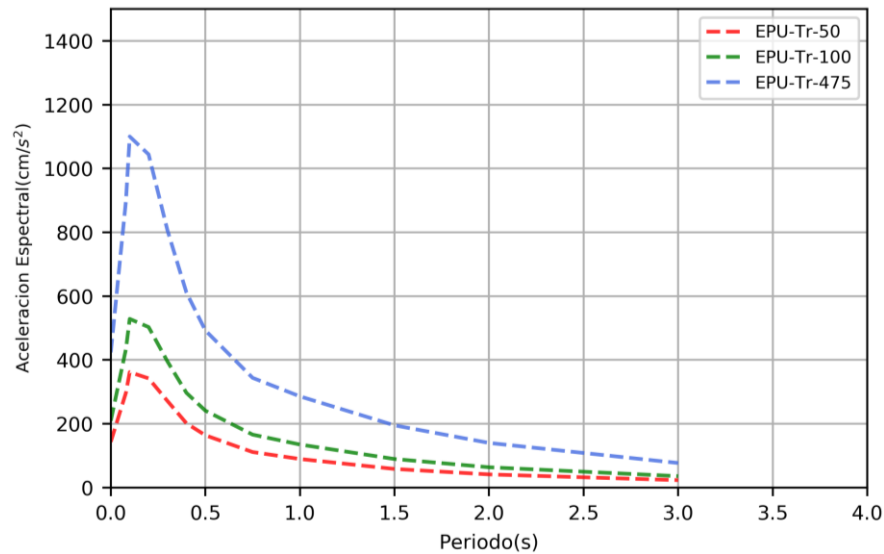
Espectro de peligro uniforme promedio para el periodo de retorno de 475 años



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27

Espectros de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno



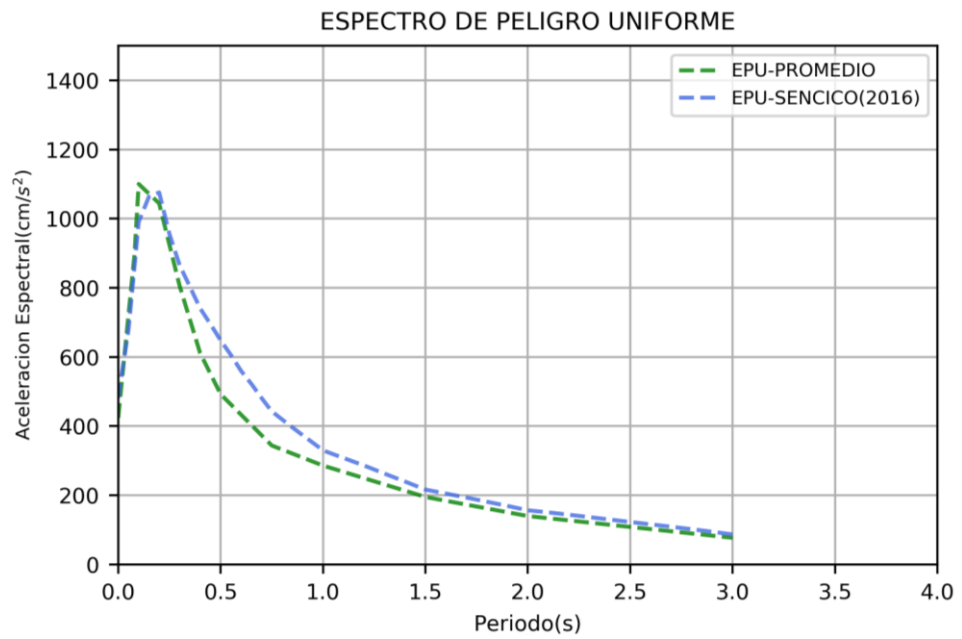
Fuente: Elaboración propia.

Como se apreció en la imagen mostrada de los diferentes periodos de retorno, la aceleración espectral debido a un periodo de retorno de 50 años es menor al de 100 años, y así mismo este el ultimo es menor al de 475 años, por ende la situación más crítica, la cual comúnmente se busca en la ingeniería, se estaría presentando en un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años de período de exposición o vida útil, es decir, para un período de retorno de 475 años, la cual fue empleada para continuar el análisis.

Se menciona también que este espectro fue obtenido proyectando a un suelo cuya velocidad de ondas de corte superan los 600 m/s, ya que como se verá posteriormente el perfil de velocidades obtenidos alcanza una velocidad de ondas de corte perteneciente a este rango, el cual según la clasificación del IBC (2015) sería tipo C y según la clasificación empleada por Zhao et al. (2006) sería tipo S II. Se realizó una comparación con el espectro obtenido del aplicativo web propuesto por el proyecto SENCICO (2016), en el cual nos da un espectro similar, pero con un pico ligeramente menor el cual es concordante ya que este fue desarrollado con otras leyes de atenuación y para suelo tipo B según la clasificación del IBC (2015).

Figura 28

Comparación del espectro de peligro uniforme promedio con el espectro del proyecto SENCICO (2016)



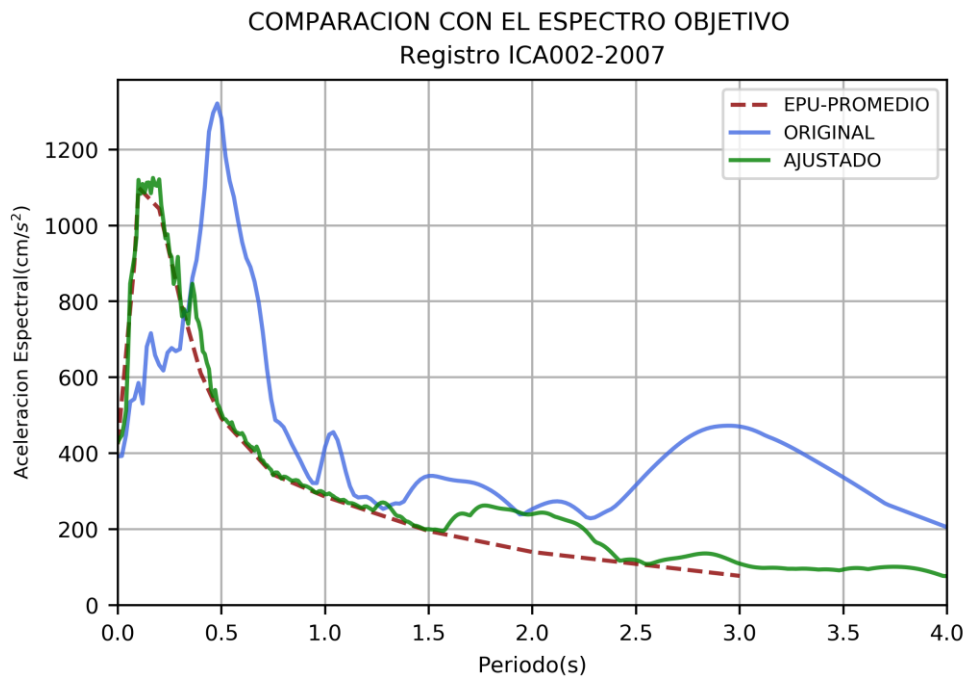
Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la caracterización de sitio.

Luego de haber obtenido el EPU se procedió a realizar el ajuste espectral, con los acelerogramas previamente corregidos por línea base y filtrados, al espectro de peligro uniforme, asimismo se comparó la intensidad de Arias antes y después del ajuste.

Figura 29

Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro ICA002-2007



Fuente: Elaboración propia.

El ajuste espectral se llevó a cabo mediante el método de Al atik y Abrahamson (2010), como se puede distinguir el sismo ajustado conserva la forma del espectral del original y a su vez va encajando en el espectro de peligro uniforme, lo mencionado es replicable en los ajustes restantes.

Figura 30

Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro MOQ001-2001



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31

Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro PICA-2005



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro PRQ-1970



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

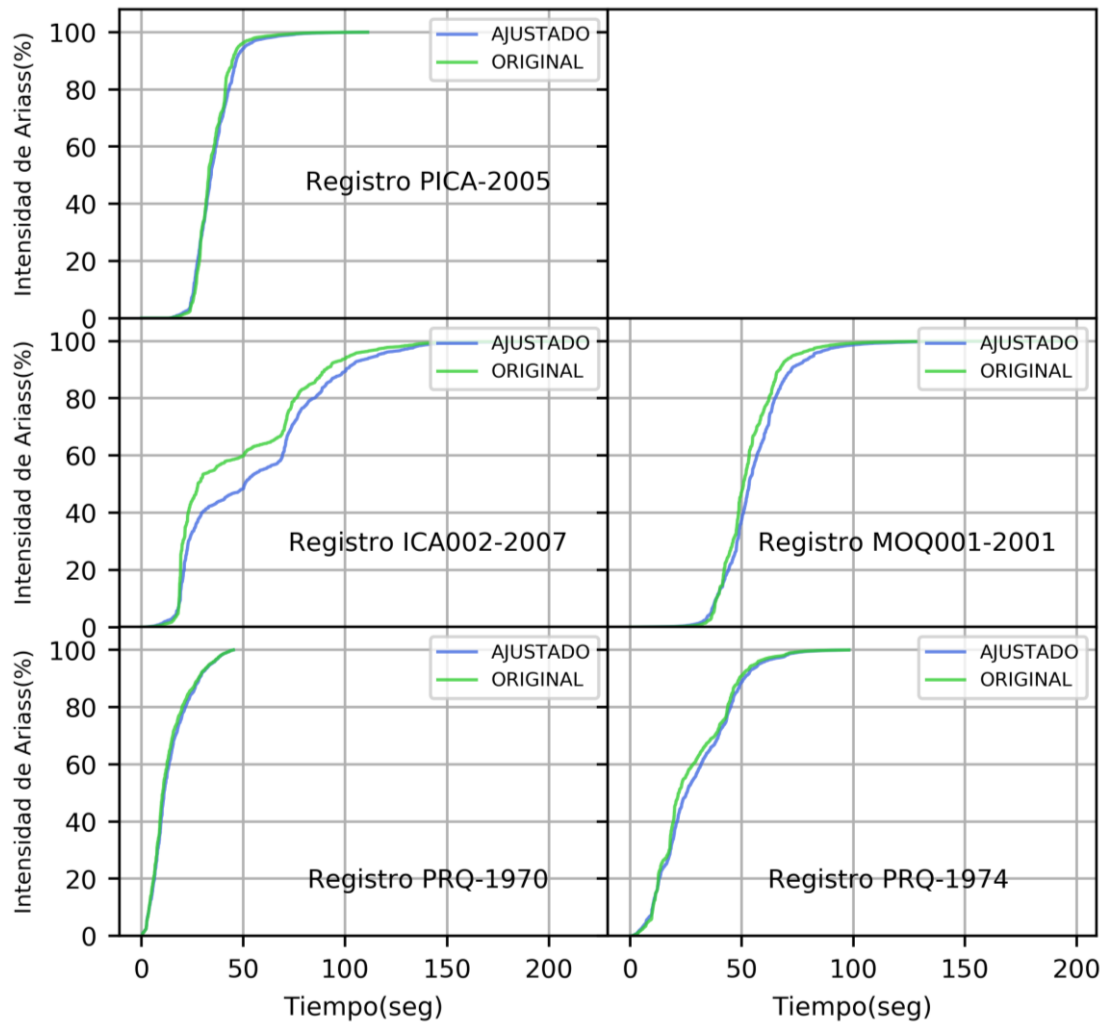
Comparación del ajuste espectral con el espectro objetivo para el registro PRQ-1974



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34

Comparación en la intensidad de Arias antes y después del ajuste espectral



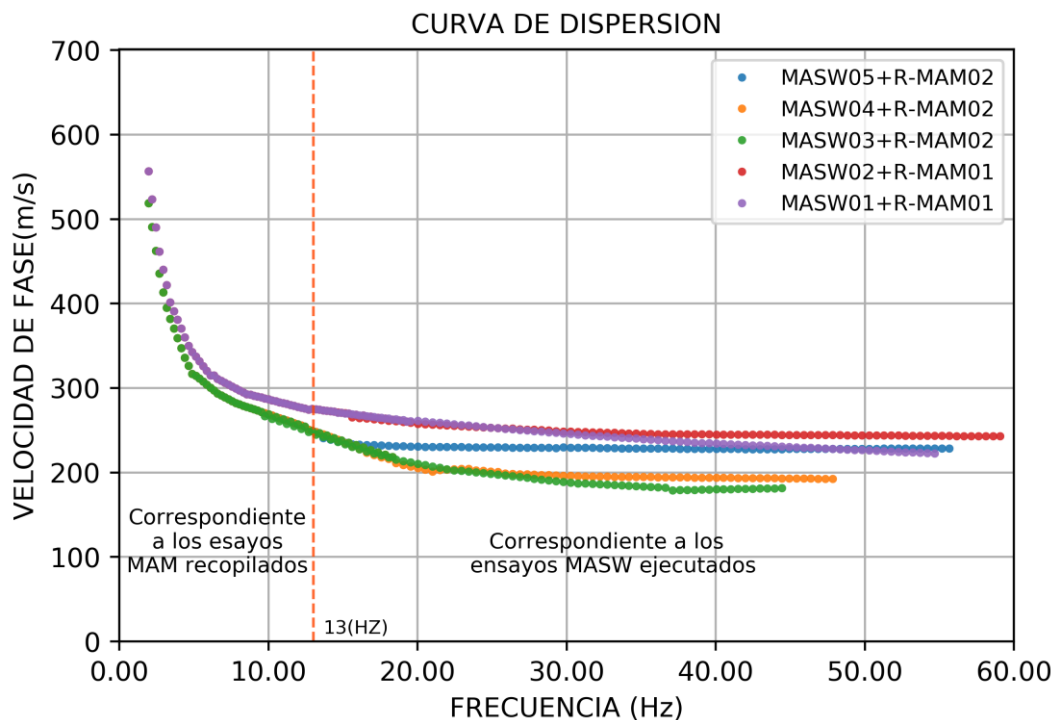
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la imagen la comparación de la intensidad de Arias nos da una idea de que las características del sismo ajustado al EPU aún se conservan, se ve la similitud entre el original y el ajustado, el que más difiere es en el registro ICA002-2007 pero aun así no es una diferencia significativa, lo cual nos permitió validar el ajuste y seguir con los siguientes pasos.

Se obtuvo los perfiles de velocidad de ondas de corte (V_s) de los ensayos MASW y complementado con los ensayos MAM recopilados del proyecto SENCICO (2019), se realizaron 5 ensayos MASW cercanos entre sí, cuyas curvas de dispersión permitió definir lo correspondiente a un rango de frecuencias entre 13 y 60 Hz, luego para complementar la parte profunda del perfil se tomó en cuenta los 2 ensayos recopilados MAM los cuales permiten una mejor apreciación para los rangos a bajas frecuencias en nuestro caso menores a 13 Hz, a partir de las curvas de dispersión se realizó la inversión mediante el método de algoritmo genéticos para así obtener el perfil de velocidades de ondas de corte de cada perfil.

Figura 35

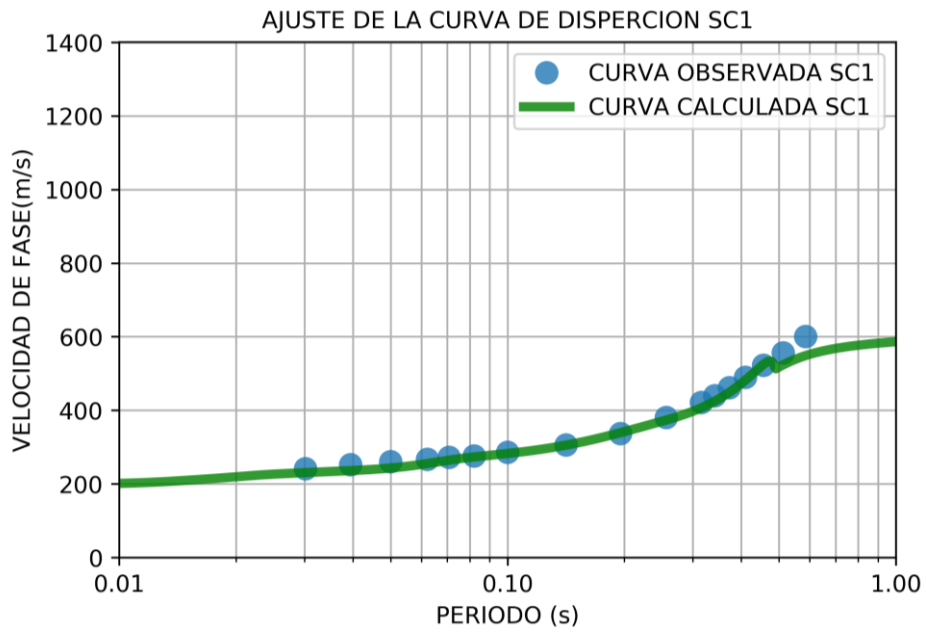
Curva de dispersión de ensayos ejecutados y recopilados



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36

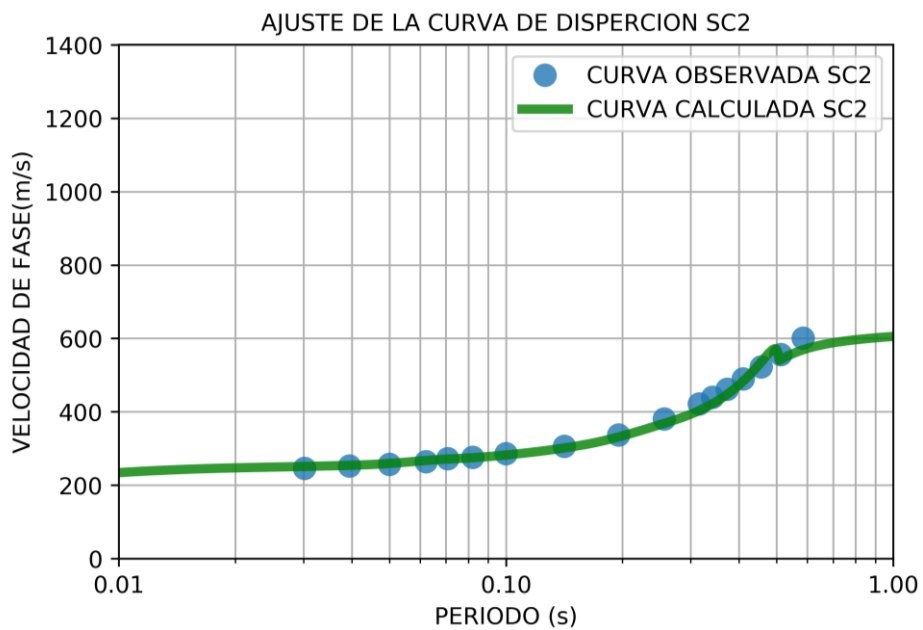
Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37

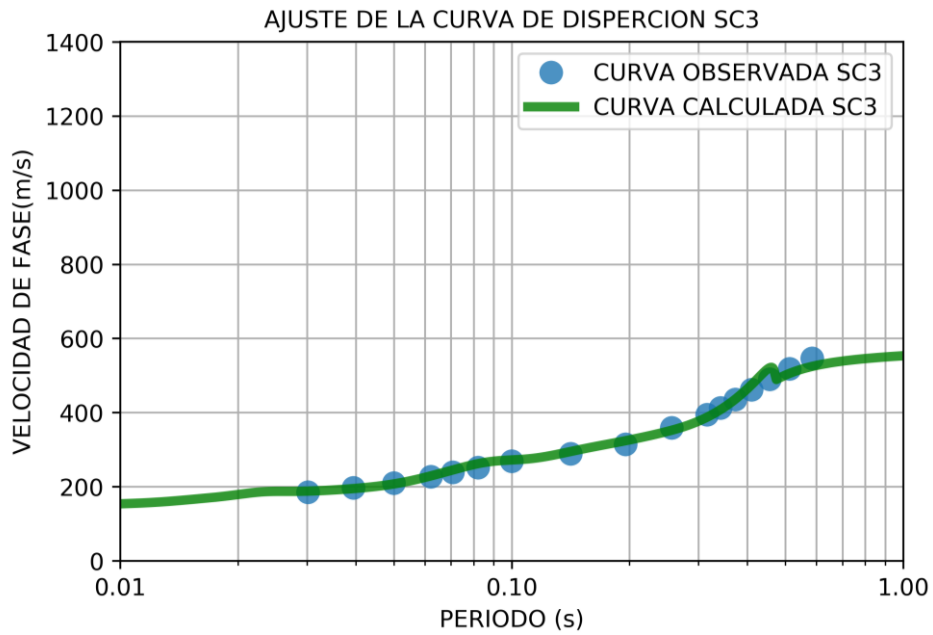
Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 38

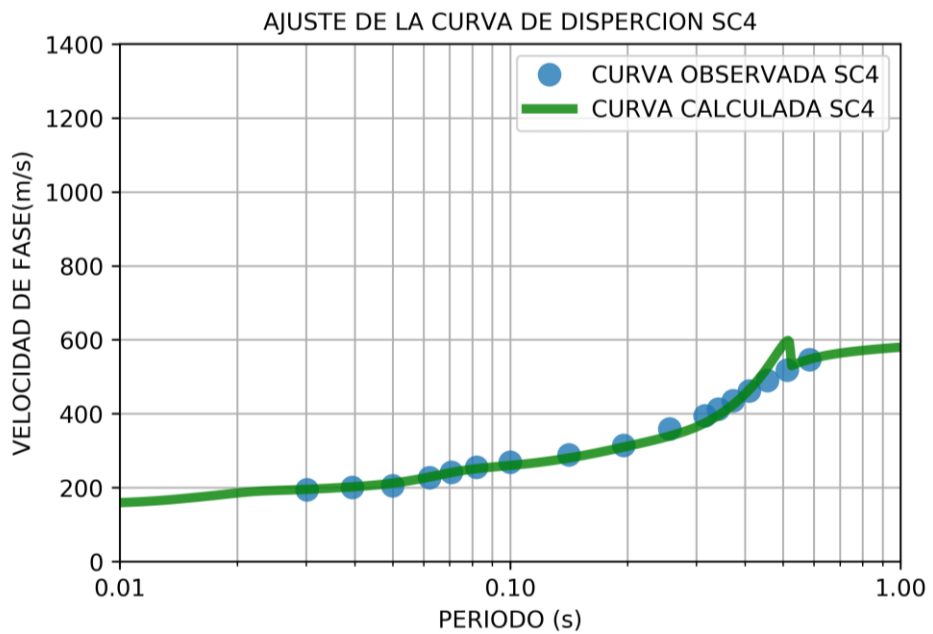
Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39

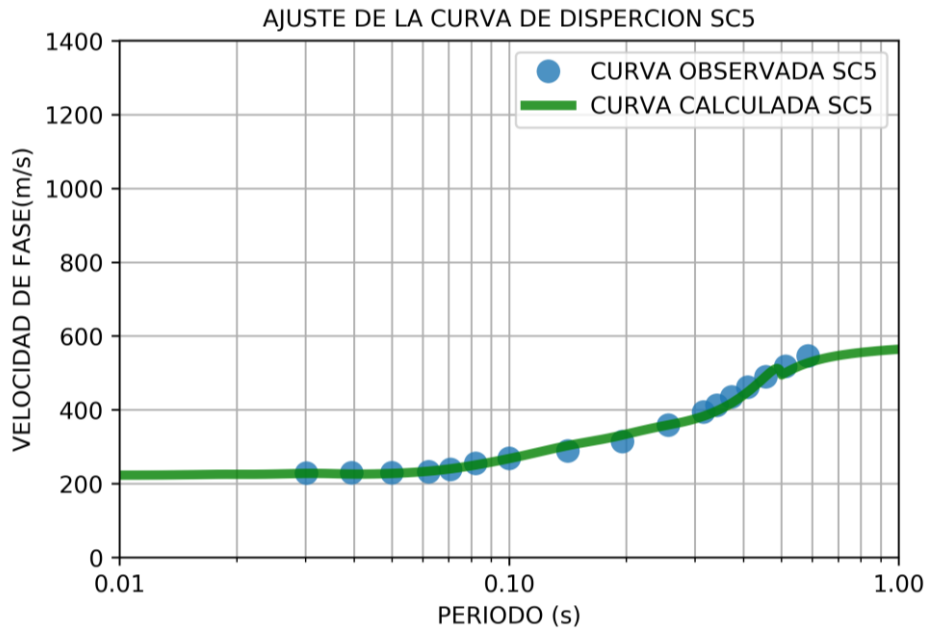
Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40

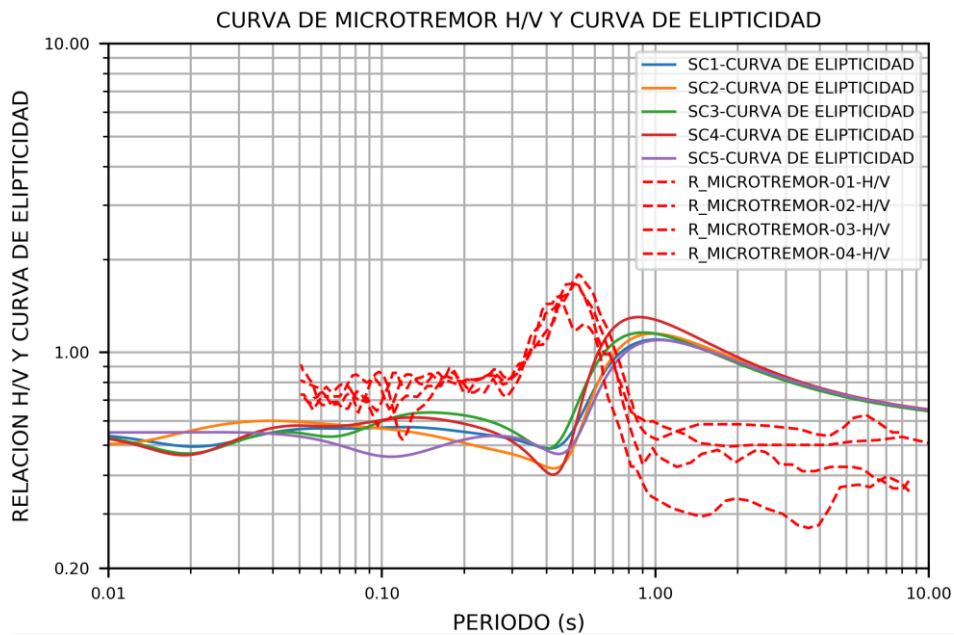
Curva de dispersión observada y calculada para el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 41

Comparación de micro tremor recopilados y curva de elipticidad



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar un ajuste muy aceptable entre las curvas observadas y las calculadas, así mismo en el contraste entre el H/V de microtremores recopilados del proyecto SENCICO (2019) con la curva de elipticidad tienden a compartir similar forma y picos cercanos. Se realizó esta comparación en vista de que la relación

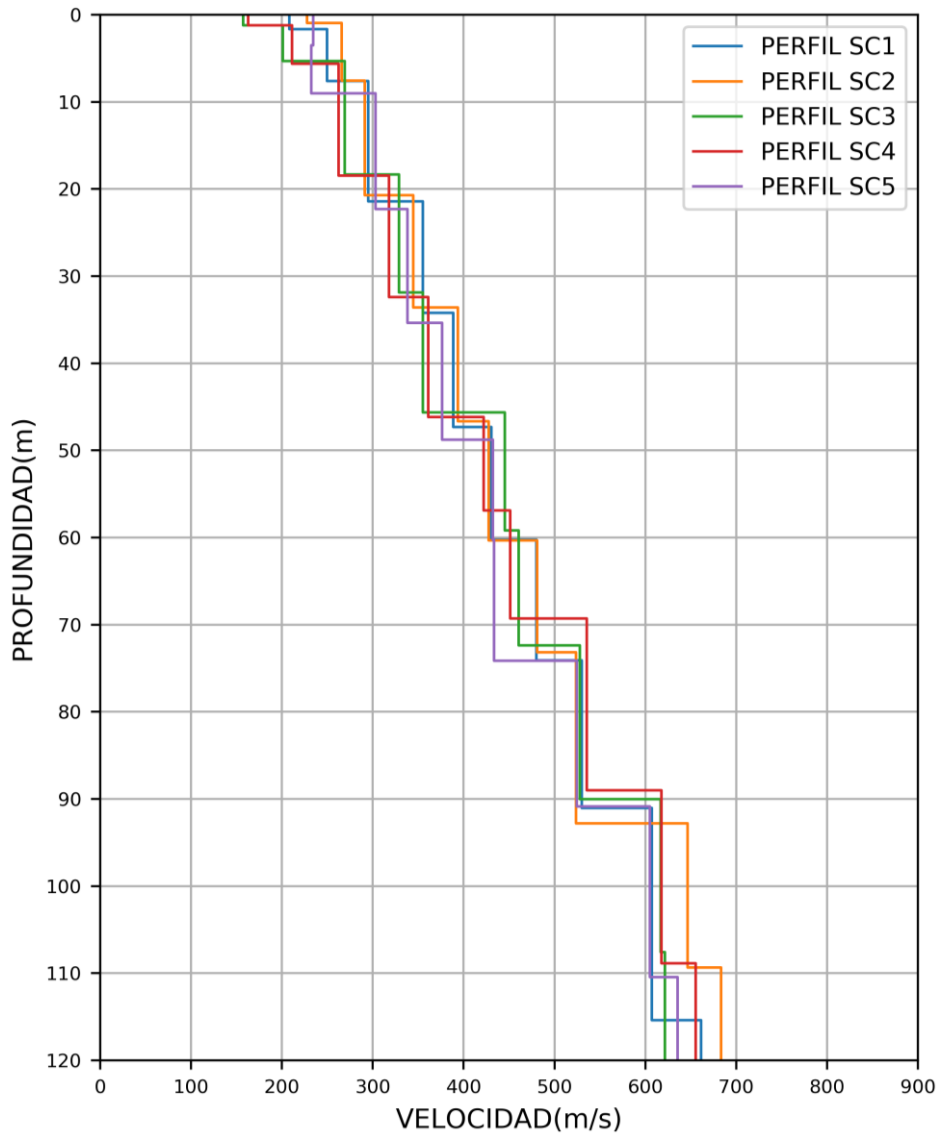
espectral H/V de microtremores es considerada como una función de transferencia empírica, conjuntamente la curva de elipticidad que también fue apareciendo con la misma idea del espectro de H/V pero con la diferencia de que sus ecuaciones obtenidas tienen diferente sustento, en las investigaciones realizadas por Régnier et al. (2018), Chong et al. (2016) y Poggi et al. (2012) tratan a mayor detalle sobre la comparación de estas curvas.

Cabe mencionar la diferencia de fundamentos entre estas curvas, la curva de elipticidad toma como el efecto de fuente a las ondas tipo Raleigh y a diferencias de los microtremores que se pueden originar de la propagación de las ondas superficiales propia de los microtremores o la refracción de las ondas de cuerpo o incluso pudiendo ser una mezcla de ambas. Por lo cual lo esperado es que compartan similar forma mas no sean idénticas.

Después del proceso de inversión de las curvas de dispersión se obtuvo finalmente los perfiles de velocidad de ondas de corte de cada sitio.

Figura 42

Perfiles de velocidad de ondas de corte empleados en la presente tesis



Fuente: Elaboración propia.

Características de los perfiles unidimensional. A continuación, se obtuvo para cada perfil sus parámetros obtenidos a partir de las ecuaciones de propuestas por Zhang para suelos de arena y arcilla, teniendo en cuenta que la geología correspondiente para la zona, esta sería de edad cuaternaria con formación de depósitos aluviales mencionada en el proyecto SENCICO (2019), estos parámetros se calcularon y emplearon para el análisis unidimensional de respuesta de sitio.

Tabla 12

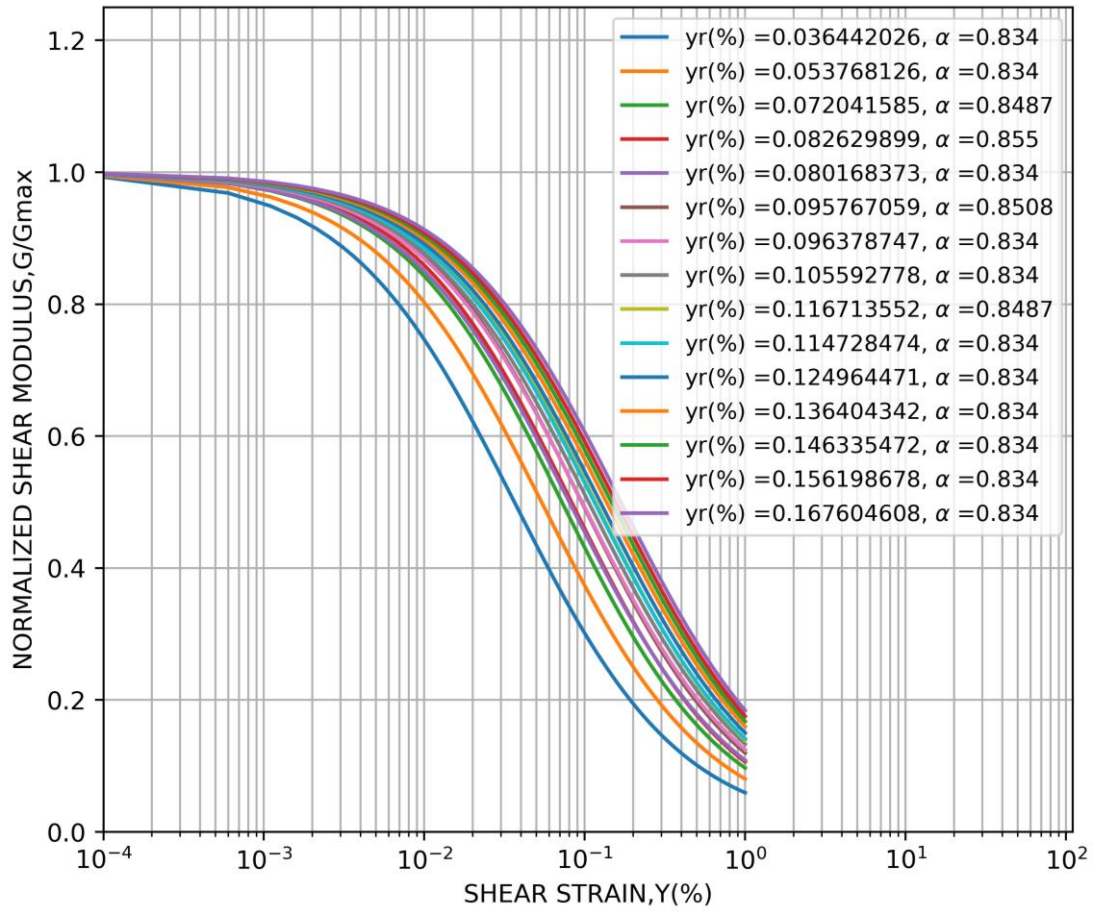
Parámetros del perfil SC1

N°	Estrato	Espe- sor (m)	Peso unita- rio (KN/ m3)	Velocidad de corte (m/s)	Esfuerzo vertical efectivo (Kpa)	lp	Ko	Referen- ce strain yr1 (%)	σ'_m	Reference strain (%)	yr	α	k	Dmin 1 (%)	Dmin (%)
1	Arena	1.65	18.6	207.914	15.345	0	0.5	0.0749	10.2300	0.036442		0.8340	0.3160	0.820	1.17558
2	Arena	2.35	18.6	249.667	52.545	0	0.5	0.0749	35.0300	0.053768		0.8340	0.3160	0.820	0.96781
3	Arcilla	2.00	18.6	249.667	93	7	0.5	0.0826	62.0000	0.072042		0.8487	0.2861	0.876	0.93800
4	Arcilla	2.00	18.6	249.667	130.2	10	0.5	0.0859	86.8000	0.082630		0.8550	0.2742	0.900	0.91764
5	Arena	4.00	18.6	294.735	186	0	0.5	0.0749	124.0000	0.080168		0.8340	0.3160	0.820	0.79260
6	Arcilla	2.00	18.6	294.735	241.8	8	0.5	0.0837	161.2000	0.095767		0.8508	0.2821	0.884	0.82643
7	Arena	7.82	18.6	294.735	333.126	0	0.5	0.0749	222.0840	0.096379		0.8340	0.3160	0.820	0.72288
8	Arena	4.18	18.6	354.77	444.726	0	0.5	0.0749	296.4840	0.105593		0.8340	0.3160	0.820	0.69062
9	Arcilla	2.00	18.6	354.77	502.2	7	0.5	0.0826	334.8000	0.116714		0.8487	0.2861	0.876	0.73694
10	Arena	6.18	18.6	354.77	578.274	0	0.5	0.0749	385.5160	0.114728		0.8340	0.3160	0.820	0.66255
11	Arena	13.13	18.6	388.51	757.857	0	0.5	0.0749	505.2380	0.124964		0.8340	0.3160	0.820	0.63484
12	Arena	12.90	18.6	430.33	999.936	0	0.5	0.0749	666.6240	0.136404		0.8340	0.3160	0.820	0.60763
13	Arena	13.88	18.6	479.656	1248.99	0	0.5	0.0749	832.6600	0.146335		0.8340	0.3160	0.820	0.58665
14	Arena	16.91	18.6	529.708	1535.337	0	0.5	0.0749	1023.5580	0.156199		0.8340	0.3160	0.820	0.56783
15	Arena	24.34	18.6	606.827	1918.962	0	0.5	0.0749	1279.3080	0.167605		0.8340	0.3160	0.820	0.54817
16	Elastic Halfsp ace		20	661.1	Damping ratio 0.05%										

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

Curvas de degradación de rigidez para el perfil SC1

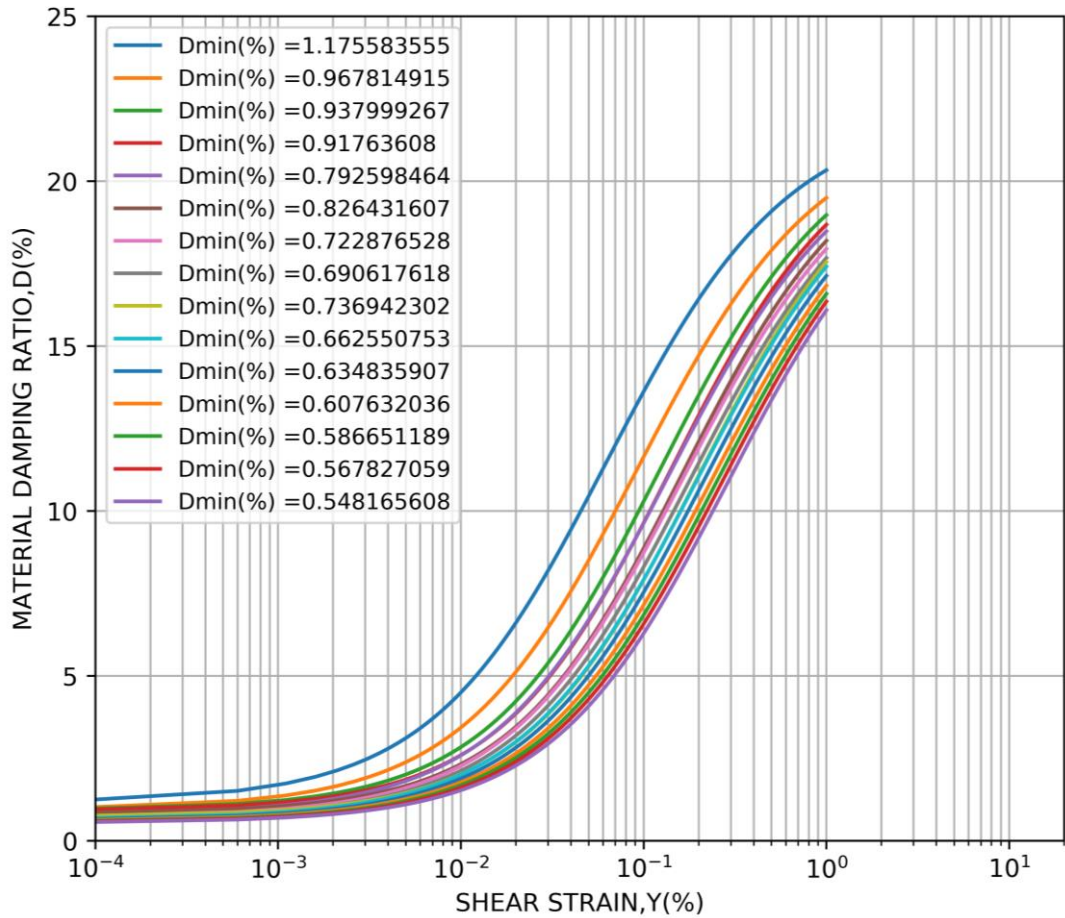


Fuente: Elaboración propia.

A medida que las capas son más profundas las curvas de degradación de rigidez se definen más hacia la derecha, esto se debe al incremento del esfuerzo efectivo vertical, llegando a tal punto en el que la curva definida por la capa a profundidad es muy cercana a la curva definida por su capa antecedente, esto se replica en todos los sitios.

Figura 44

Curvas de relación de amortiguamiento para el perfil SC1



Fuente: Elaboración propia.

Similarmente, a medida que las capas son más profundas las curvas de amortiguamiento se definen más hacia la derecha y esto también se debe al incremento del esfuerzo efectivo vertical, llegando a tal punto en el que la curva definida por la capa a profundidad es muy cercana a la curva definida por su capa antecedente a este, esto se replica en todos los sitios.

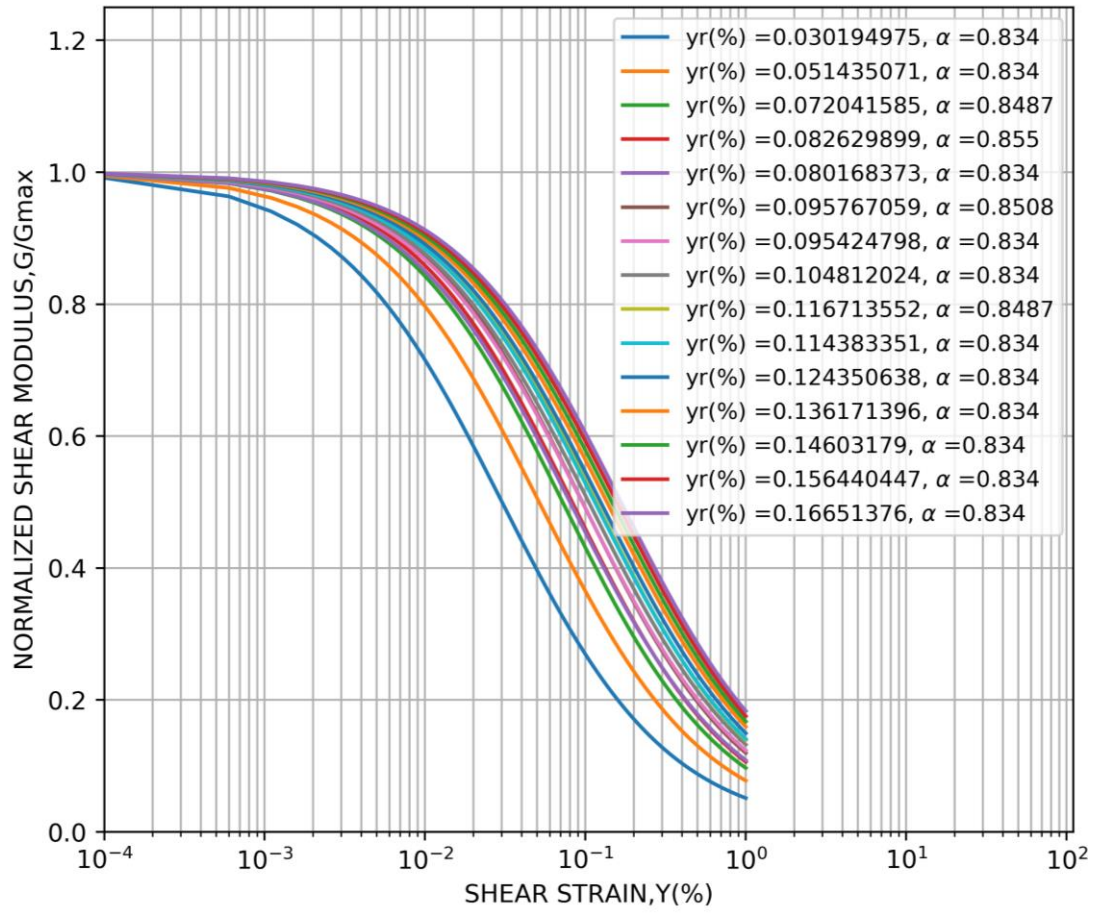
Tabla 13*Parámetros del perfil SC2*

N°	Estrato	Espesor (m)	Peso unitario (KN/m ³)	Velocidad de corte (m/s)	Esfuerzo vertical efectivo (Kpa)	Ip	Ko	Referencia strain yr1 (%)	σ'_m	Referencia strain yr(%)	α	k	Dmin1 (%)	Dmin (%)
1	Arena	0.91	18.6	227.313	8.463	0	0.5	0.0749	5.642	0.030195	0.8340	0.3160	0.8200	1.29148
2	Arena	3.09	18.6	265.62	45.663	0	0.5	0.0749	30.442	0.051435	0.8340	0.3160	0.8200	0.98952
3	Arcilla	2.00	18.6	265.62	93.000	7	0.5	0.0826	62.000	0.072042	0.8487	0.2861	0.8760	0.93800
4	Arcilla	2.00	18.6	290.773	130.200	10	0.5	0.0859	86.800	0.082630	0.8550	0.2742	0.9000	0.91764
5	Arena	4.00	18.6	290.773	186.000	0	0.5	0.0749	124.000	0.080168	0.8340	0.3160	0.8200	0.79260
6	Arcilla	2.00	18.6	290.773	241.800	8	0.5	0.0837	161.200	0.095767	0.8508	0.2821	0.8840	0.82643
7	Arena	6.71	18.6	290.773	322.803	0	0.5	0.0749	215.202	0.095425	0.8340	0.3160	0.8200	0.72648
8	Arena	5.29	18.6	344.125	434.403	0	0.5	0.0749	289.602	0.104812	0.8340	0.3160	0.8200	0.69319
9	Arcilla	2.00	18.6	344.125	502.200	7	0.5	0.0826	334.800	0.116714	0.8487	0.2861	0.8760	0.73694
10	Arena	5.59	18.6	344.125	572.787	0	0.5	0.0749	381.858	0.114383	0.8340	0.3160	0.8200	0.66355
11	Arena	13.05	18.6	393.279	746.139	0	0.5	0.0749	497.426	0.124351	0.8340	0.3160	0.8200	0.63640
12	Arena	13.66	18.6	427.473	994.542	0	0.5	0.0749	663.028	0.136171	0.8340	0.3160	0.8200	0.60815
13	Arena	12.82	18.6	480.685	1240.806	0	0.5	0.0749	827.204	0.146032	0.8340	0.3160	0.8200	0.58726
14	Arena	19.66	18.6	523.394	1542.870	0	0.5	0.0749	1028.580	0.156440	0.8340	0.3160	0.8200	0.56739
15	Arena	16.56	18.6	646.429	1879.716	0	0.5	0.0749	1253.144	0.166514	0.8340	0.3160	0.8200	0.54996
16	Elastic Halfspace		20	683.12	Damping ratio 0.05%									

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45

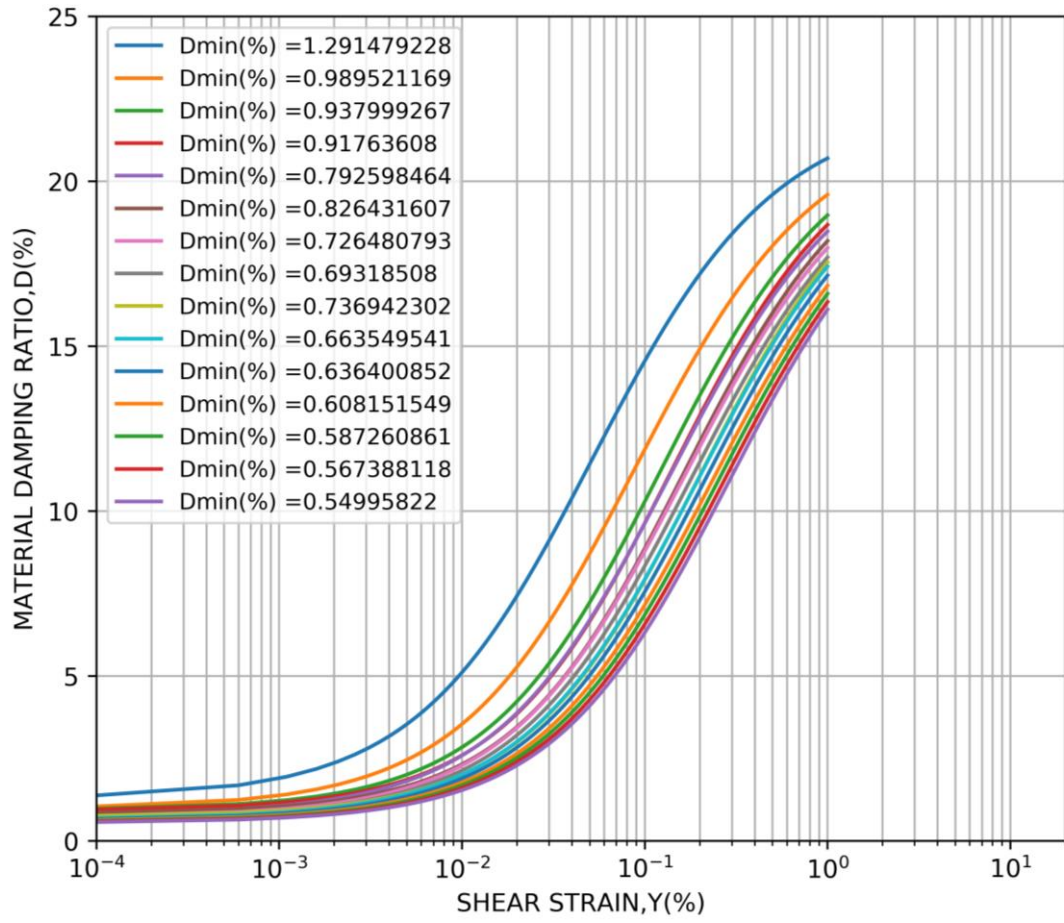
Curvas de degradación de rigidez para el sitio sc2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46

Curvas de relación de amortiguamiento para el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

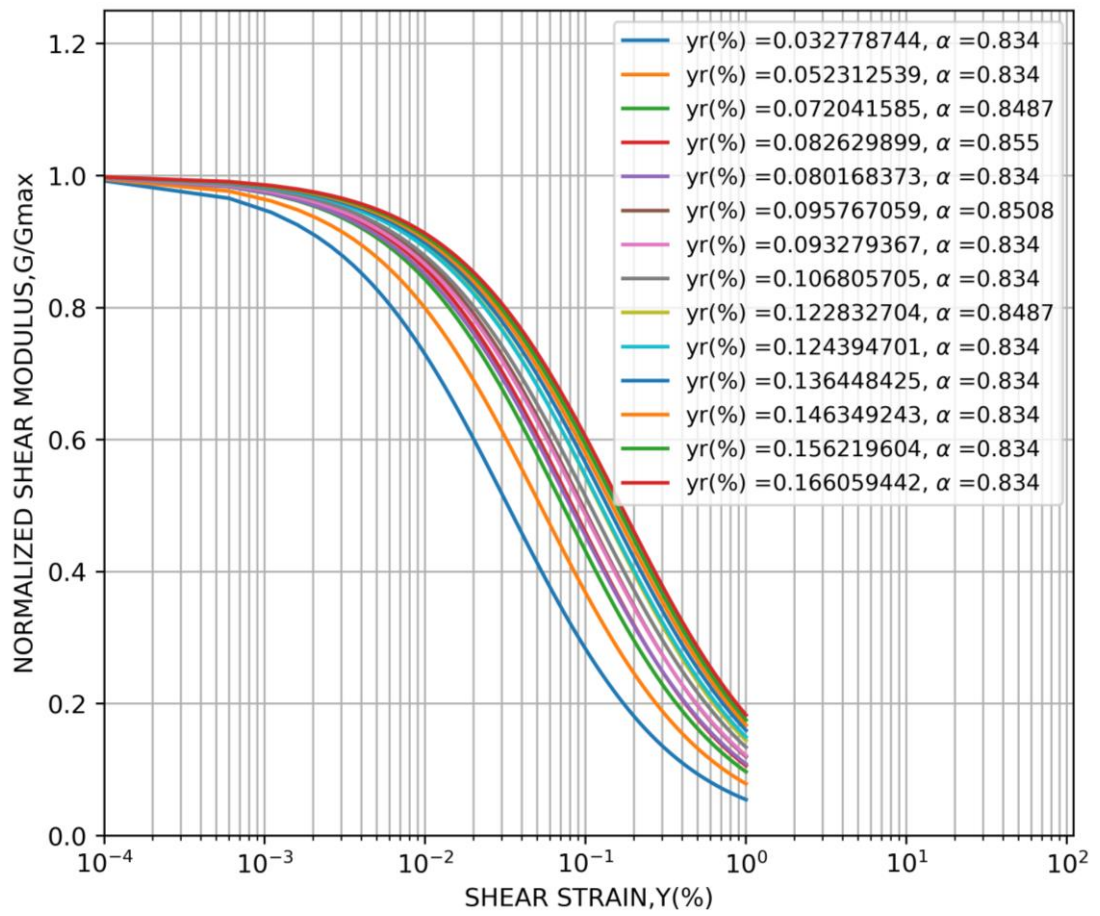
Tabla 14*Parámetros del perfil SC3*

N°	Estrato	Espesor (m)	Peso unitario (KN/m ³)	Velocidad de corte (m/s)	Esfuerzo vertical efectivo (Kpa)	lp	Ko	Referencia strain yr1 (%)	σ'_m	Reference strain yr(%)	α	k	Dmin 1 (%)	Dmin (%)
1	Arena	1.18	18.6	157.321	10.974	0	0.5	0.0749	7.316	0.032779	0.8340	0.3160	0.820	1.23953
2	Arena	2.82	18.6	200.792	48.174	0	0.5	0.0749	32.116	0.052313	0.8340	0.3160	0.820	0.98119
3	Arcilla	2.00	18.6	200.792	93.000	7	0.5	0.0826	62.000	0.072042	0.8487	0.2861	0.876	0.93800
4	Arcilla	2.00	18.6	268.869	130.200	10	0.5	0.0859	86.800	0.082630	0.8550	0.2742	0.900	0.91764
5	Arena	4.00	18.6	268.869	186.000	0	0.5	0.0749	124.000	0.080168	0.8340	0.3160	0.820	0.79260
6	Arcilla	2.00	18.6	268.869	241.800	8	0.5	0.0837	161.200	0.095767	0.8508	0.2821	0.884	0.82643
7	Arena	4.30	18.6	268.869	300.390	0	0.5	0.0749	200.260	0.093279	0.8340	0.3160	0.820	0.73479
8	Arena	12.98	18.6	328.745	461.094	0	0.5	0.0749	307.396	0.106806	0.8340	0.3160	0.820	0.68668
9	Arcilla	2.00	18.6	328.745	600.408	7	0.5	0.0826	400.272	0.122833	0.8487	0.2861	0.876	0.71835
10	Arena	13.76	18.6	355.055	746.976	0	0.5	0.0749	497.984	0.124395	0.8340	0.3160	0.820	0.63629
11	Arena	13.55	18.6	445.249	1000.959	0	0.5	0.0749	667.306	0.136448	0.8340	0.3160	0.820	0.60753
12	Arena	13.16	18.6	460.565	1249.362	0	0.5	0.0749	832.908	0.146349	0.8340	0.3160	0.820	0.58662
13	Arena	17.66	18.6	527.827	1535.988	0	0.5	0.0749	1023.992	0.156220	0.8340	0.3160	0.820	0.56779
14	Arena	17.56	18.6	616.652	1863.534	0	0.5	0.0749	1242.356	0.166059	0.8340	0.3160	0.820	0.55071
15	Elastic Halfspace		20	621.388	Damping ratio 0.05%									

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

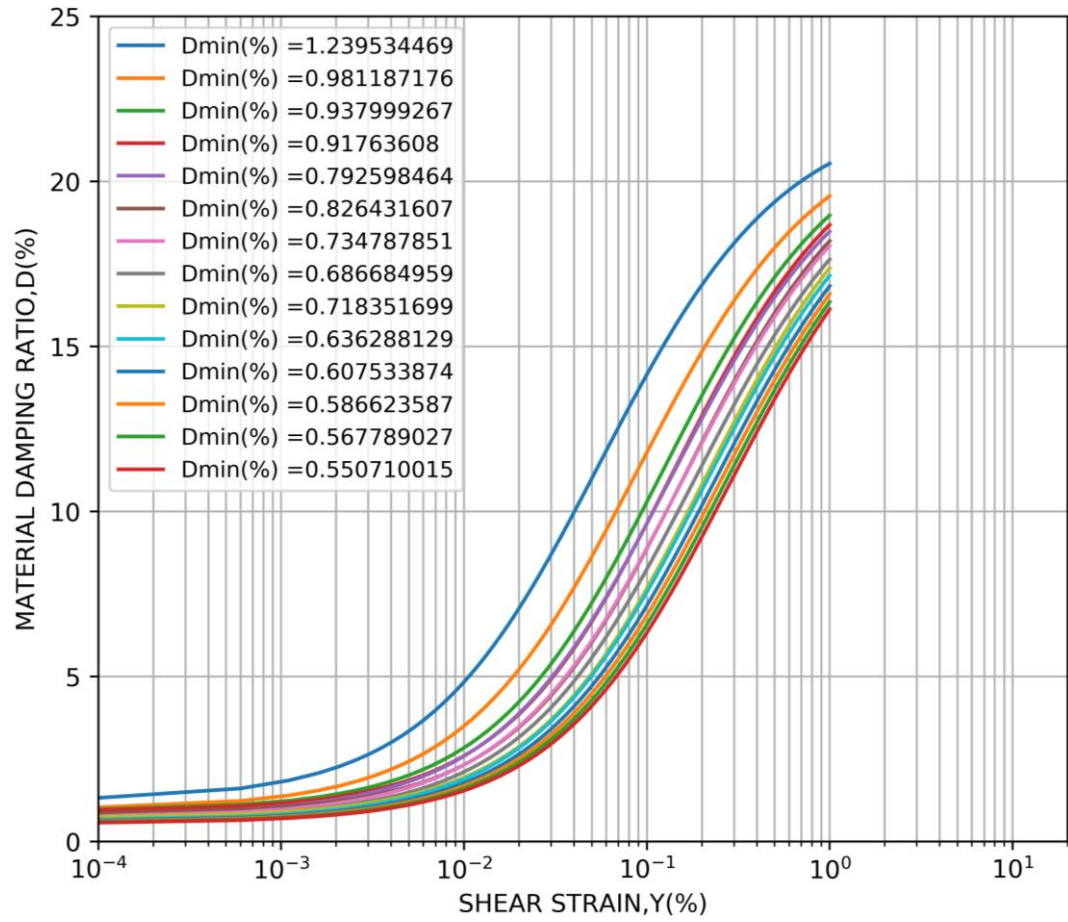
Curvas de degradación de rigidez para el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Curvas de relación de amortiguamiento para el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

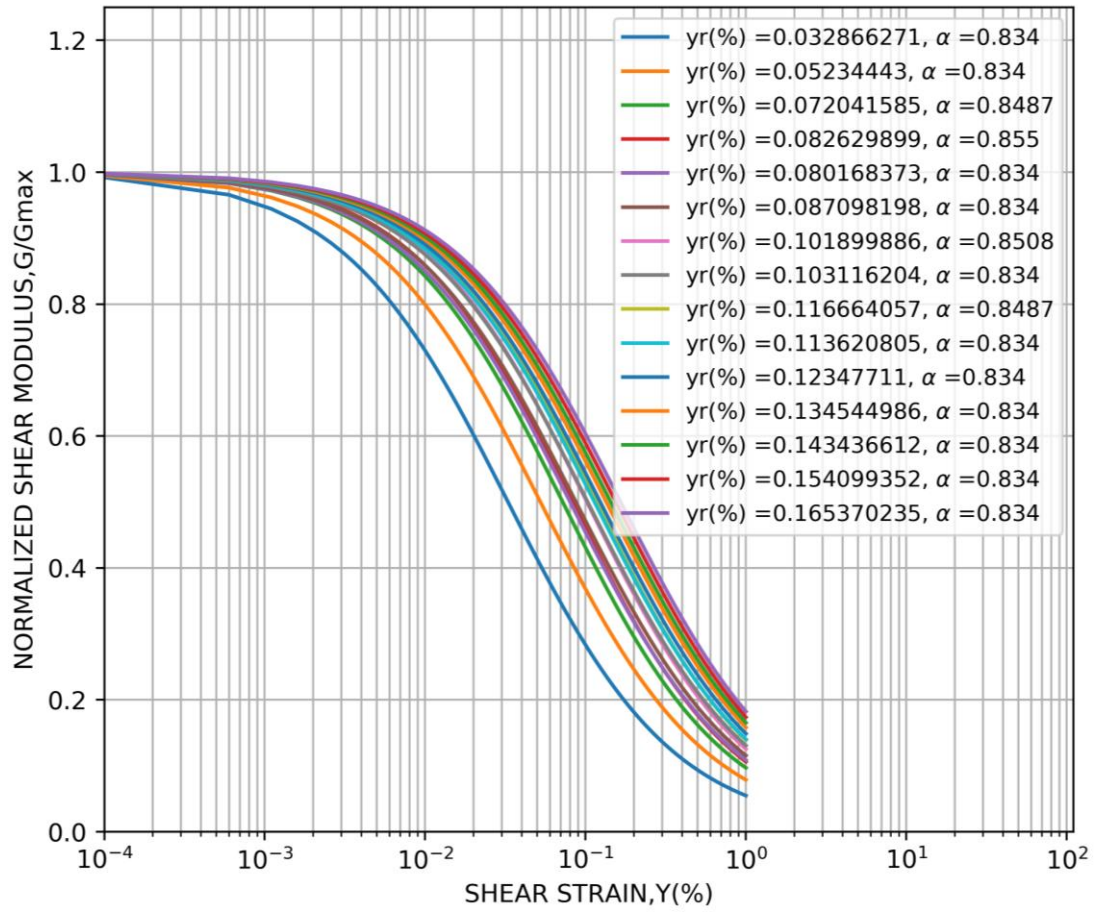
Parámetros del perfil SC4

N°	Estrato	Espesor (m)	Peso unitario (KN/m ³)	Velocidad de corte (m/s)	Esfuerzo vertical efectivo (Kpa)	Ip	Ko	Referencia strain yr1 (%)	σ'_m	Referencia strain yr(%)	α	k	Dmin 1 (%)	Dmin (%)
1	Arena	1.19	18.6	162.595	11.067	0	0.5	0.0749	7.378	0.032866	0.8340	0.3160	0.820	1.23788
2	Arena	2.81	18.6	210.815	48.267	0	0.5	0.0749	32.178	0.052344	0.8340	0.3160	0.820	0.98089
3	Arcilla	2.00	18.6	210.815	93.000	7	0.5	0.0826	62.000	0.072042	0.8487	0.2861	0.876	0.93800
4	Arcilla	2.00	18.6	262.178	130.200	10	0.5	0.0859	86.800	0.082630	0.8550	0.2742	0.900	0.91764
5	Arena	4.00	18.6	262.178	186.000	0	0.5	0.0749	124.000	0.080168	0.8340	0.3160	0.820	0.79260
6	Arena	2.00	18.6	262.178	241.800	0	0.5	0.0749	161.200	0.087098	0.8340	0.3160	0.820	0.76041
7	Arcilla	4.40	18.6	262.178	301.320	8	0.5	0.0837	200.880	0.101900	0.8508	0.2821	0.884	0.80118
8	Arena	7.56	18.6	317.704	412.548	0	0.5	0.0749	275.032	0.103116	0.8340	0.3160	0.820	0.69886
9	Arcilla	2.00	18.6	317.704	501.456	7	0.5	0.0826	334.304	0.116664	0.8487	0.2861	0.876	0.73710
10	Arena	4.38	18.6	317.704	560.790	0	0.5	0.0749	373.860	0.113621	0.8340	0.3160	0.820	0.66577
11	Arena	13.78	18.6	360.858	729.678	0	0.5	0.0749	486.452	0.123477	0.8340	0.3160	0.820	0.63865
12	Arena	10.71	18.6	421.879	957.435	0	0.5	0.0749	638.290	0.134545	0.8340	0.3160	0.820	0.61182
13	Arena	12.40	18.6	451.012	1172.358	0	0.5	0.0749	781.572	0.143437	0.8340	0.3160	0.820	0.59255
14	Arena	19.71	18.6	535.383	1470.981	0	0.5	0.0749	980.654	0.154099	0.8340	0.3160	0.820	0.57168
15	Arena	19.88	18.6	617.443	1839.168	0	0.5	0.0749	1226.112	0.165370	0.8340	0.3160	0.820	0.55186
16	Elastic Halfspace		20	655.055	Damping ratio 0.05%									

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49

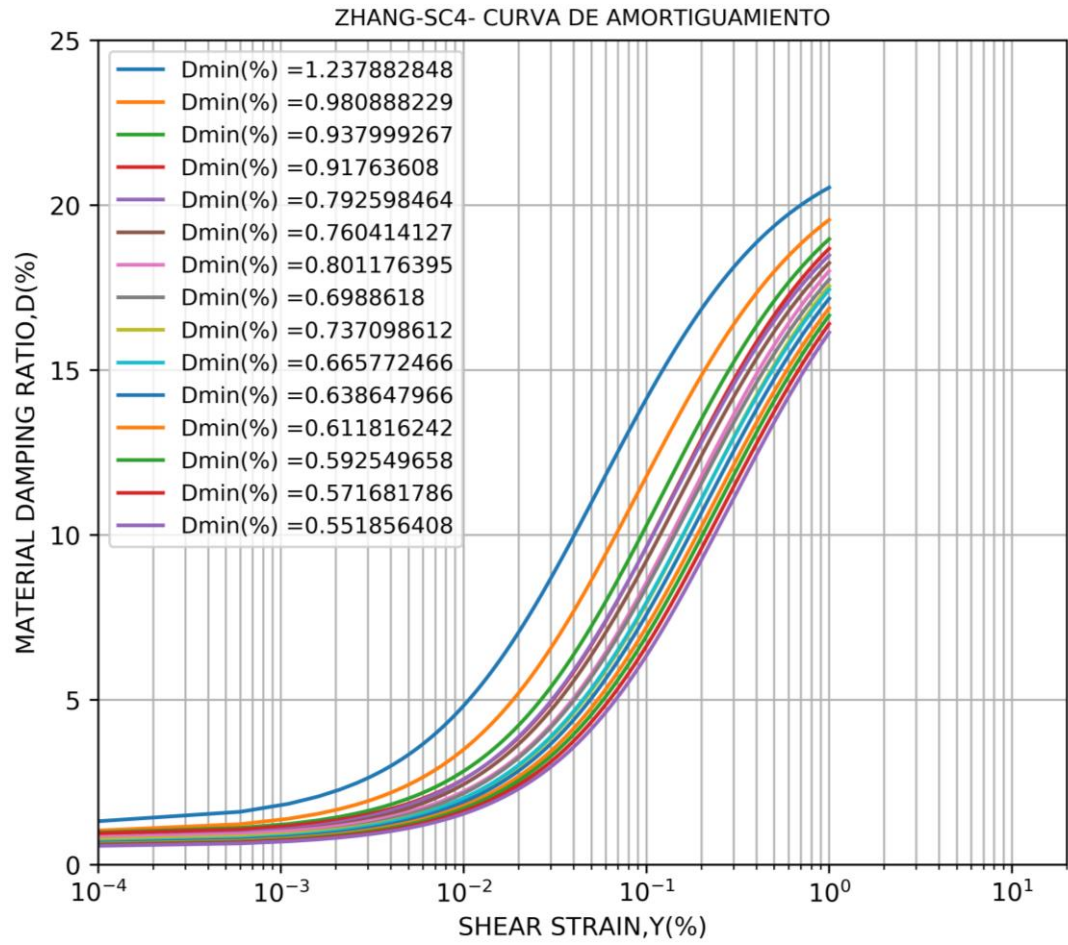
Curvas de degradación de rigidez para el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50

Curvas de relación de amortiguamiento para el sito SC4



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16

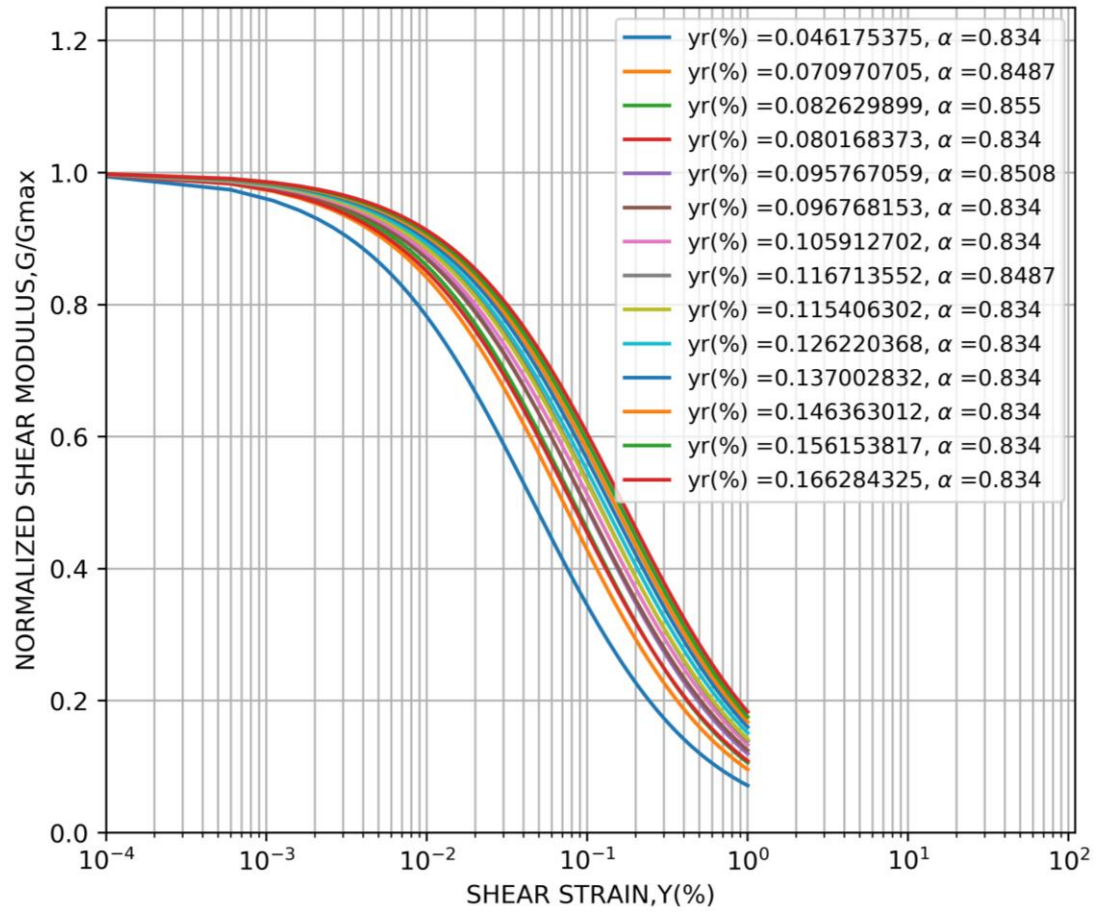
Parámetros del perfil SC5

N°	Estrato	Espesor (m)	Peso unitario (KN/m ³)	Velocidad de corte (m/s)	Esfuerzo vertical efectivo (Kpa)	lp	Ko	Referencia strain yr1 (%)	σ'_m	Reference strain yr(%)	α	k	Dmin 1 (%)	Dmin (%)
1	Arena	3.49	18.6	234.128	32.457	0	0.5	0.0749	21.638	0.046175	0.8340	0.31600	0.820	1.044358
2	Arcilla	2.51	18.6	231.919	88.257	7	0.5	0.0826	58.838	0.070971	0.8487	0.28610	0.876	0.945050
3	Arcilla	2.00	18.6	231.919	130.200	10	0.5	0.0859	86.800	0.082630	0.8550	0.27417	0.900	0.917636
4	Arena	4.00	18.6	302.948	186.000	0	0.5	0.0749	124.000	0.080168	0.8340	0.31600	0.820	0.792598
5	Arcilla	2.00	18.6	302.948	241.800	8	0.5	0.0837	161.200	0.095767	0.8508	0.28207	0.884	0.826432
6	Arena	8.28	18.6	302.948	337.404	0	0.5	0.0749	224.936	0.096768	0.8340	0.31600	0.820	0.721421
7	Arena	3.72	18.6	338.009	449.004	0	0.5	0.0749	299.336	0.105913	0.8340	0.31600	0.820	0.689574
8	Arcilla	2.00	18.6	338.009	502.200	7	0.5	0.0826	334.800	0.116714	0.8487	0.28610	0.876	0.736942
9	Arena	7.35	18.6	338.009	589.155	0	0.5	0.0749	392.770	0.115406	0.8340	0.31600	0.820	0.660602
10	Arena	13.41	18.6	376.182	782.223	0	0.5	0.0749	521.482	0.126220	0.8340	0.31600	0.820	0.631670
11	Arena	11.50	18.6	432.089	1013.886	0	0.5	0.0749	675.924	0.137003	0.8340	0.31600	0.820	0.606303
12	Arena	13.86	18.6	433.48	1249.734	0	0.5	0.0749	833.156	0.146363	0.8340	0.31600	0.820	0.586596
13	Arena	16.70	18.6	524.414	1533.942	0	0.5	0.0749	1022.628	0.156154	0.8340	0.31600	0.820	0.567909
14	Arena	19.60	18.6	604.91	1871.532	0	0.5	0.0749	1247.688	0.166284	0.8340	0.31600	0.820	0.550337
15	Elastic Halfspace		20	635.493	Damping ratio 0.05%									

Fuente: Elaboración propia.

Figura 51

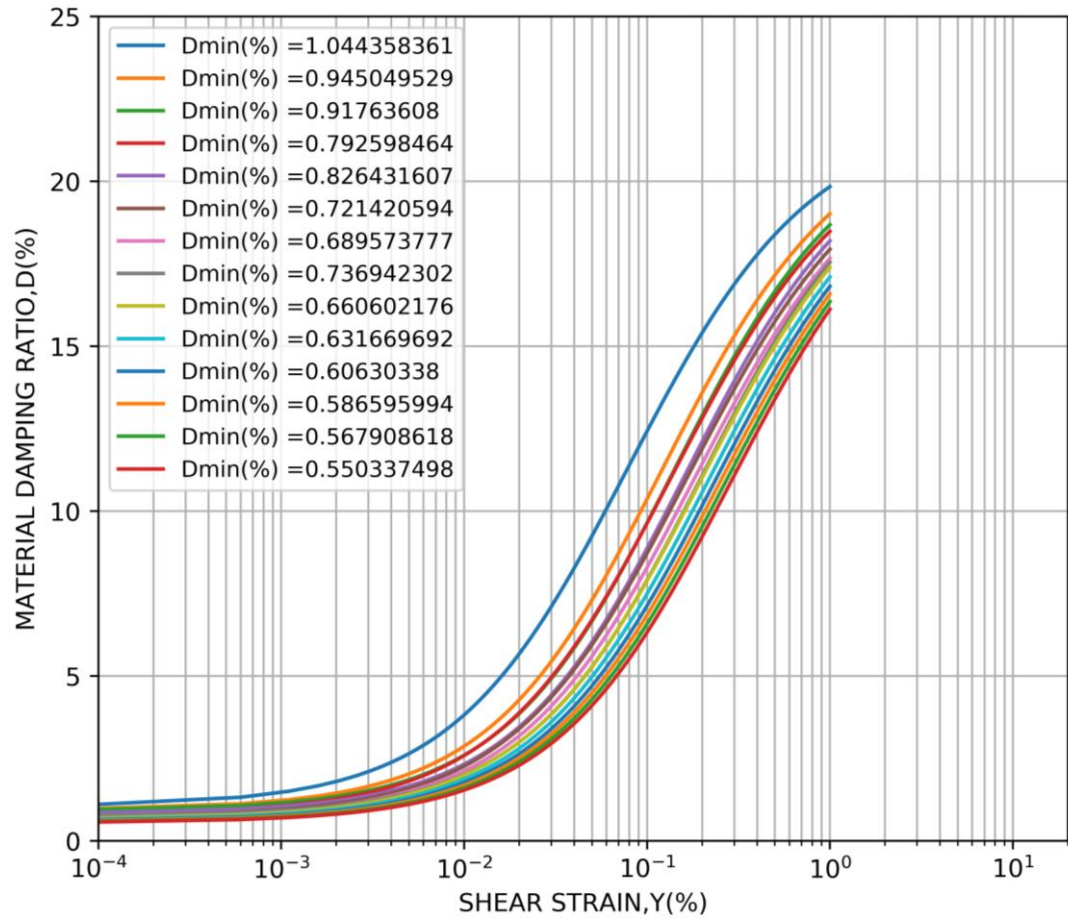
Curvas de degradación de rigidez para el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52

Curvas de relación de amortiguamiento para el sitio SC5

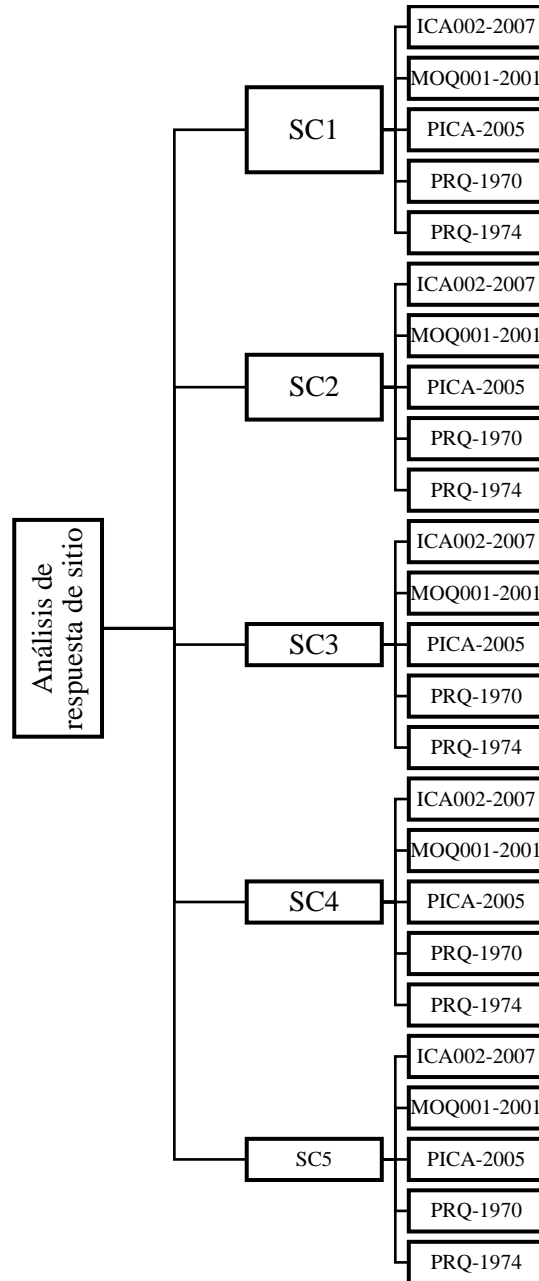


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se planteó un diagrama con el flujo de los resultados como se mencionó en el análisis, se empleó con 5 sismos diferentes y se evaluó para 5 sitios, realizándose un total de 25 análisis.

Figura 53

Diagrama de flujo de resultados calculados en la presente tesis

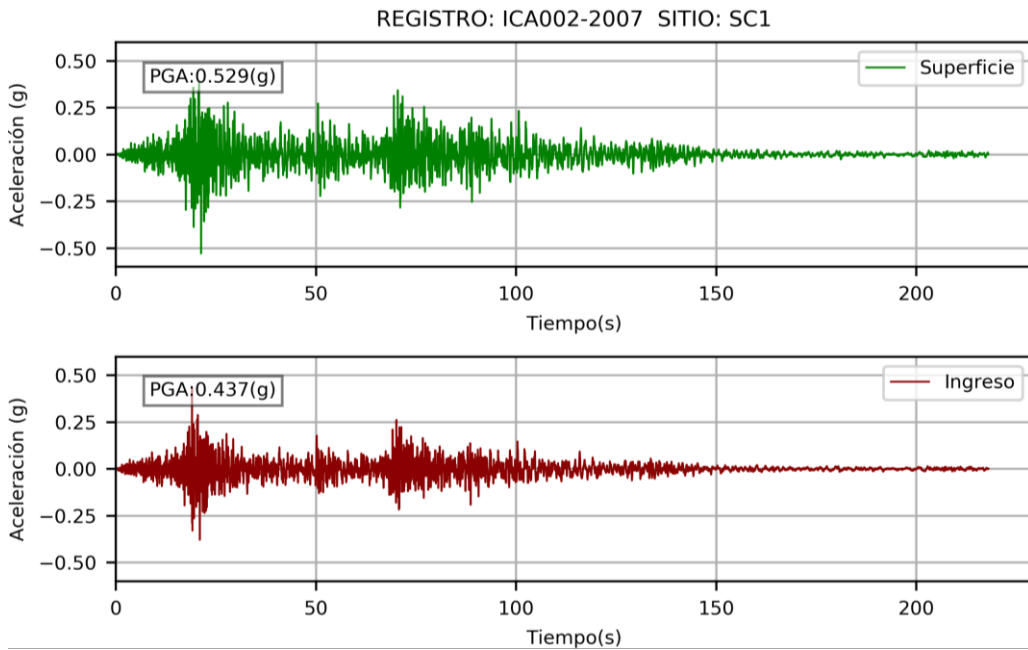


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentó los resultados correspondientes al sitio SC1.

Figura 54

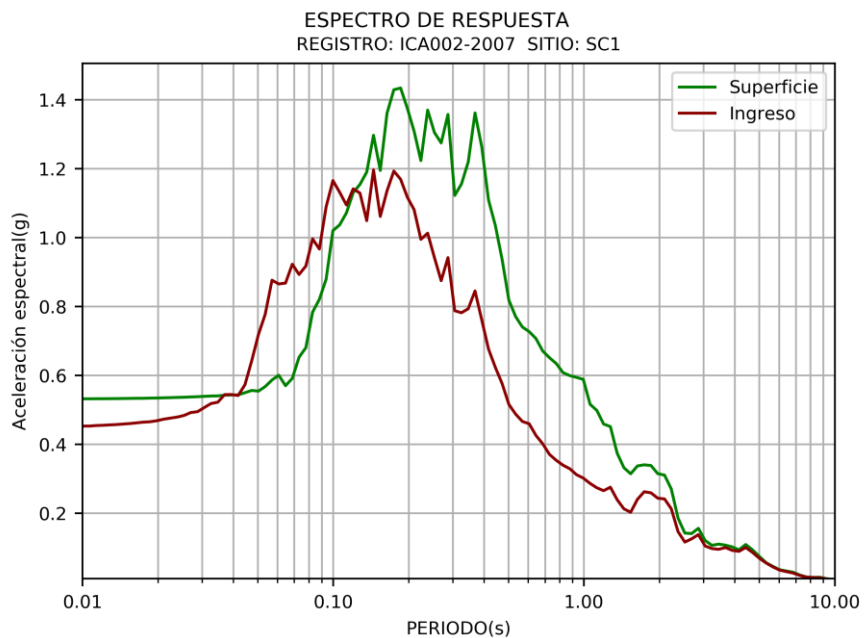
Acelerogramas de ingreso y superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55

Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC1

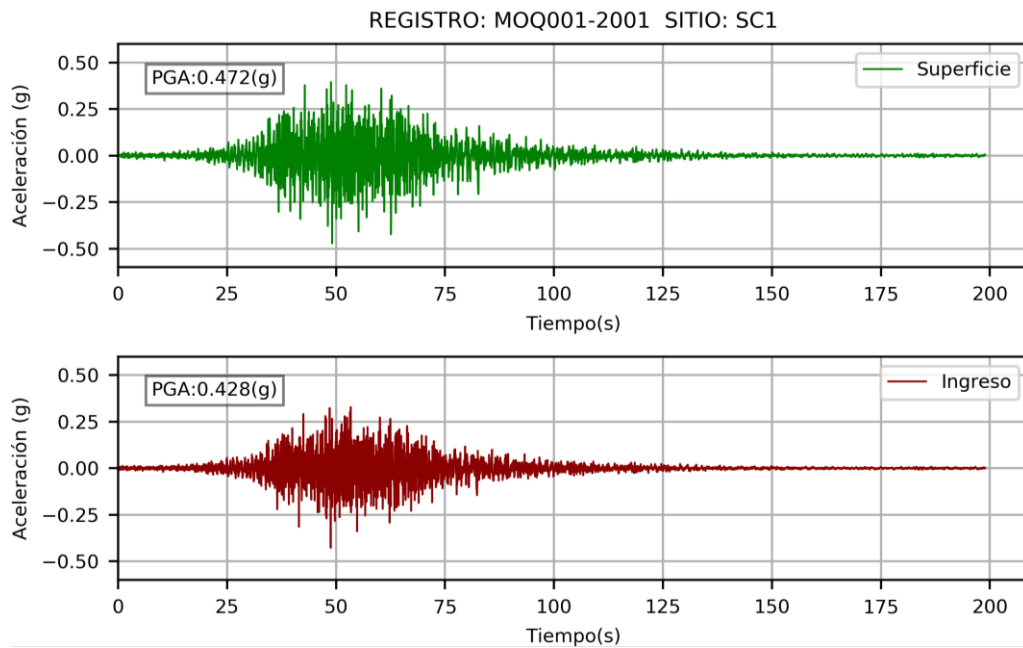


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 56

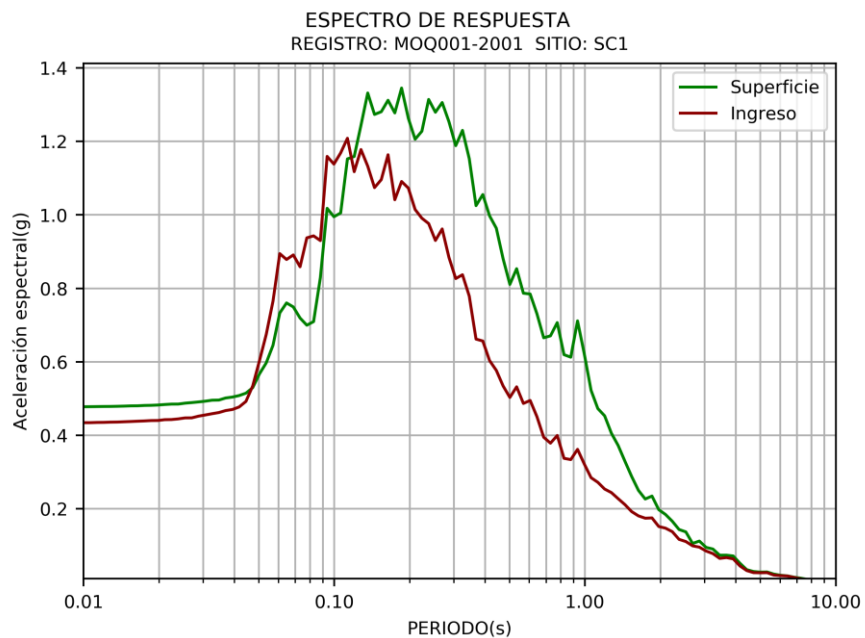
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57

Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC1

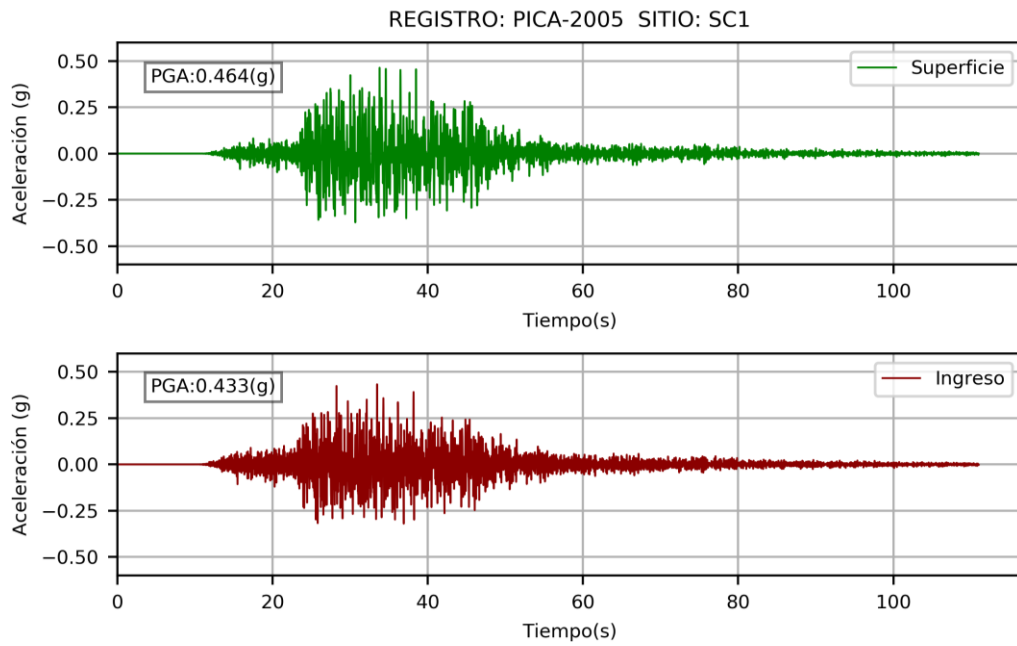


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 58

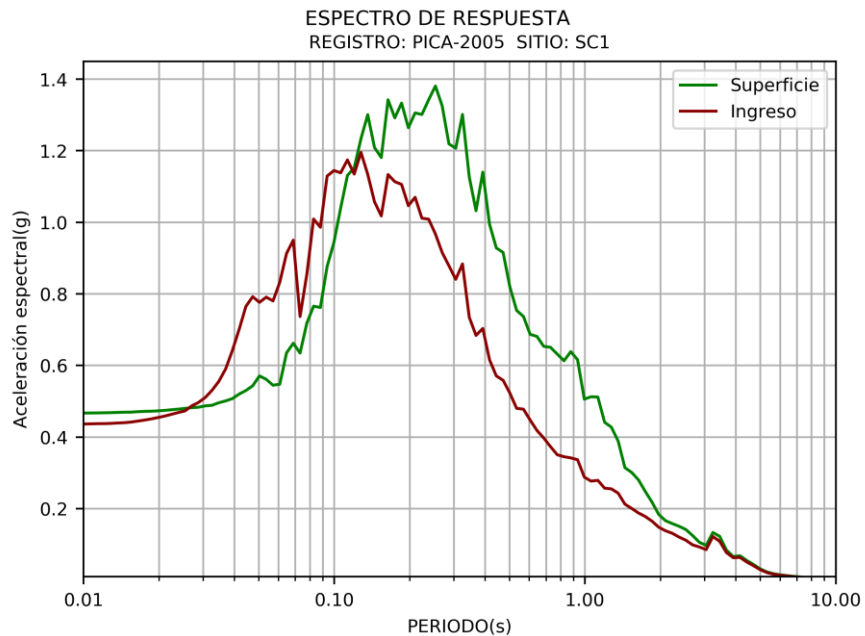
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 59

Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC1

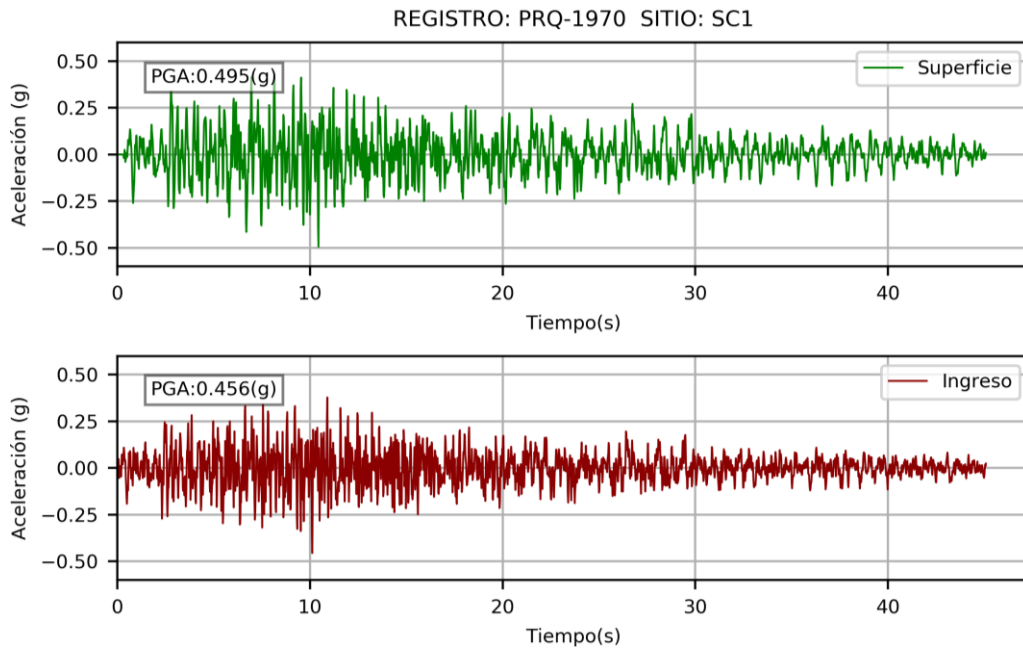


Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 60

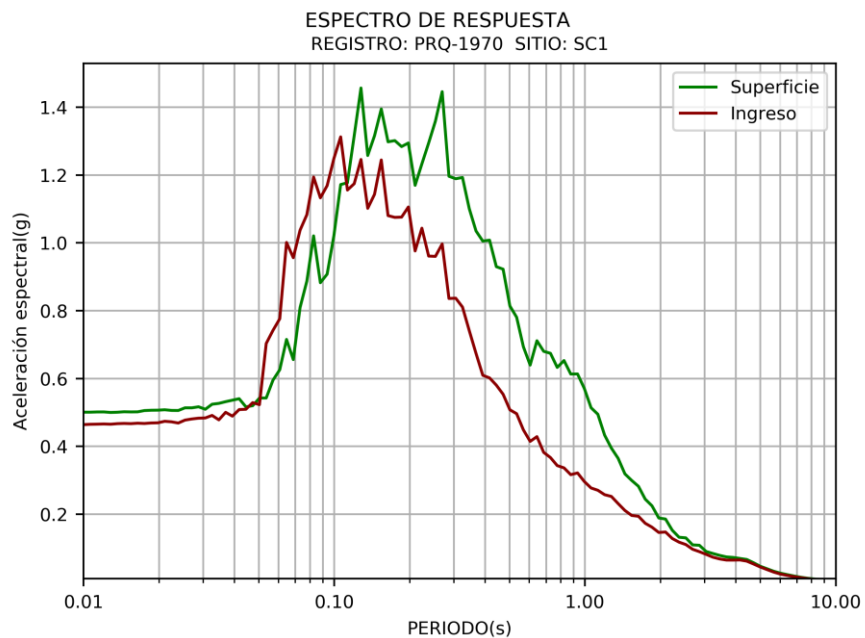
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 61

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC1

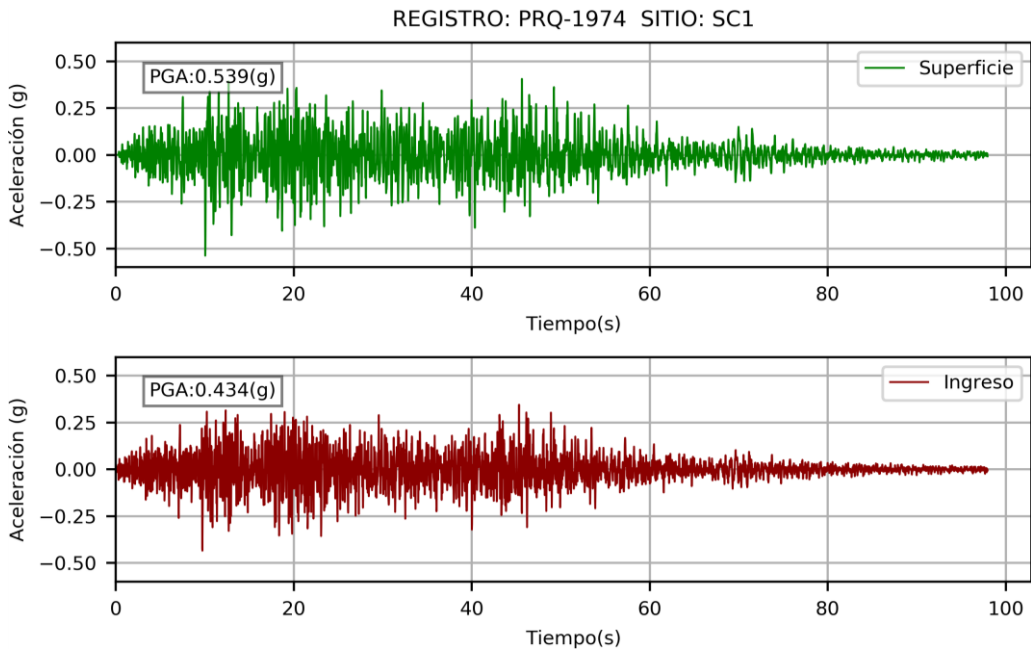


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 62

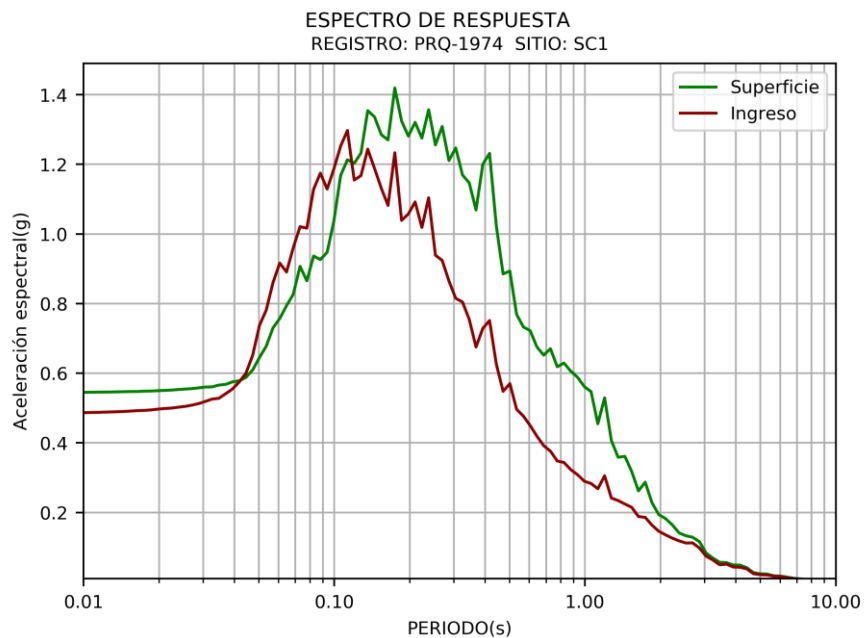
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 63

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC1

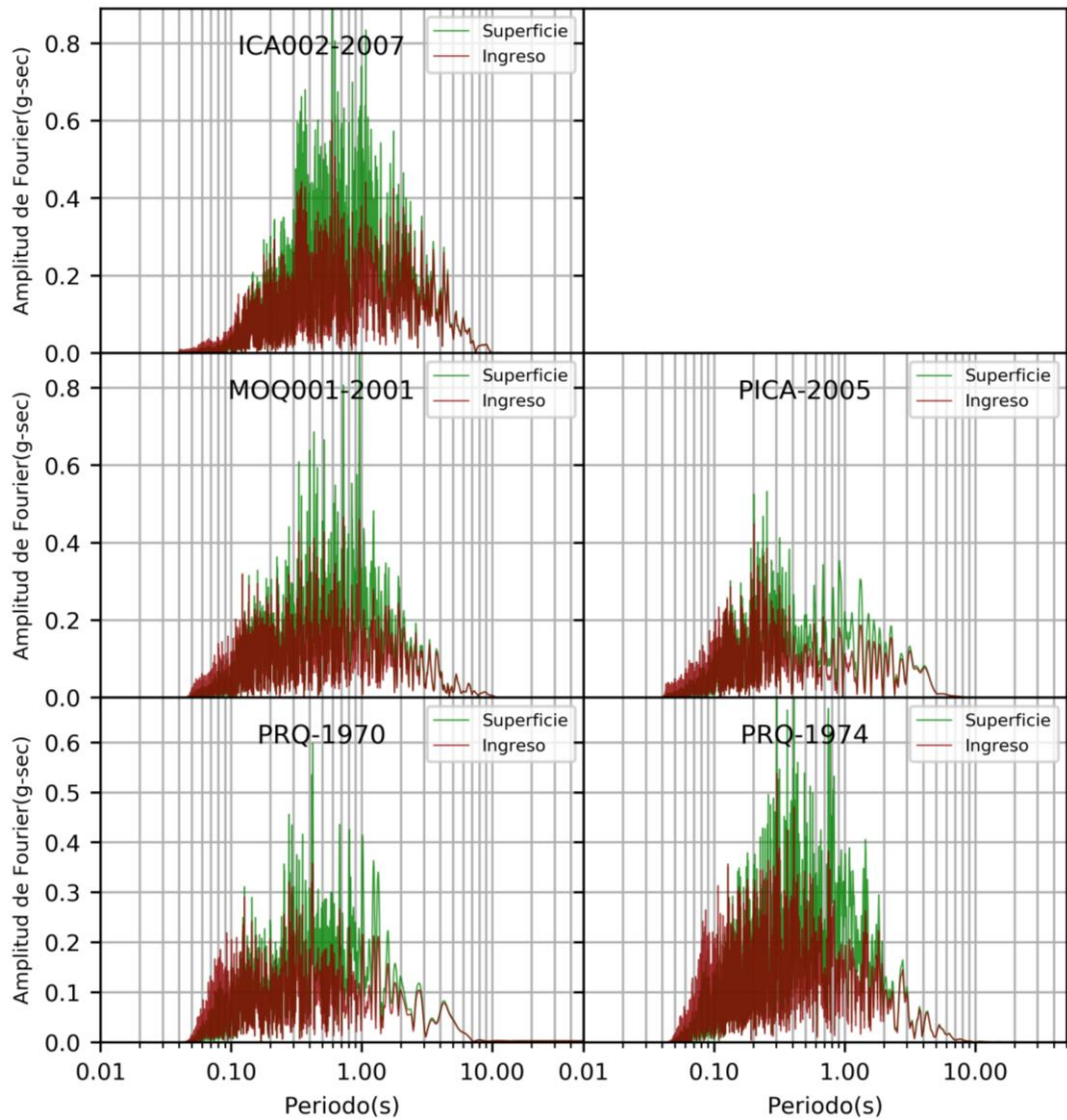


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 64

Espectros de Fourier de ingreso y en superficies en el sitio SC1

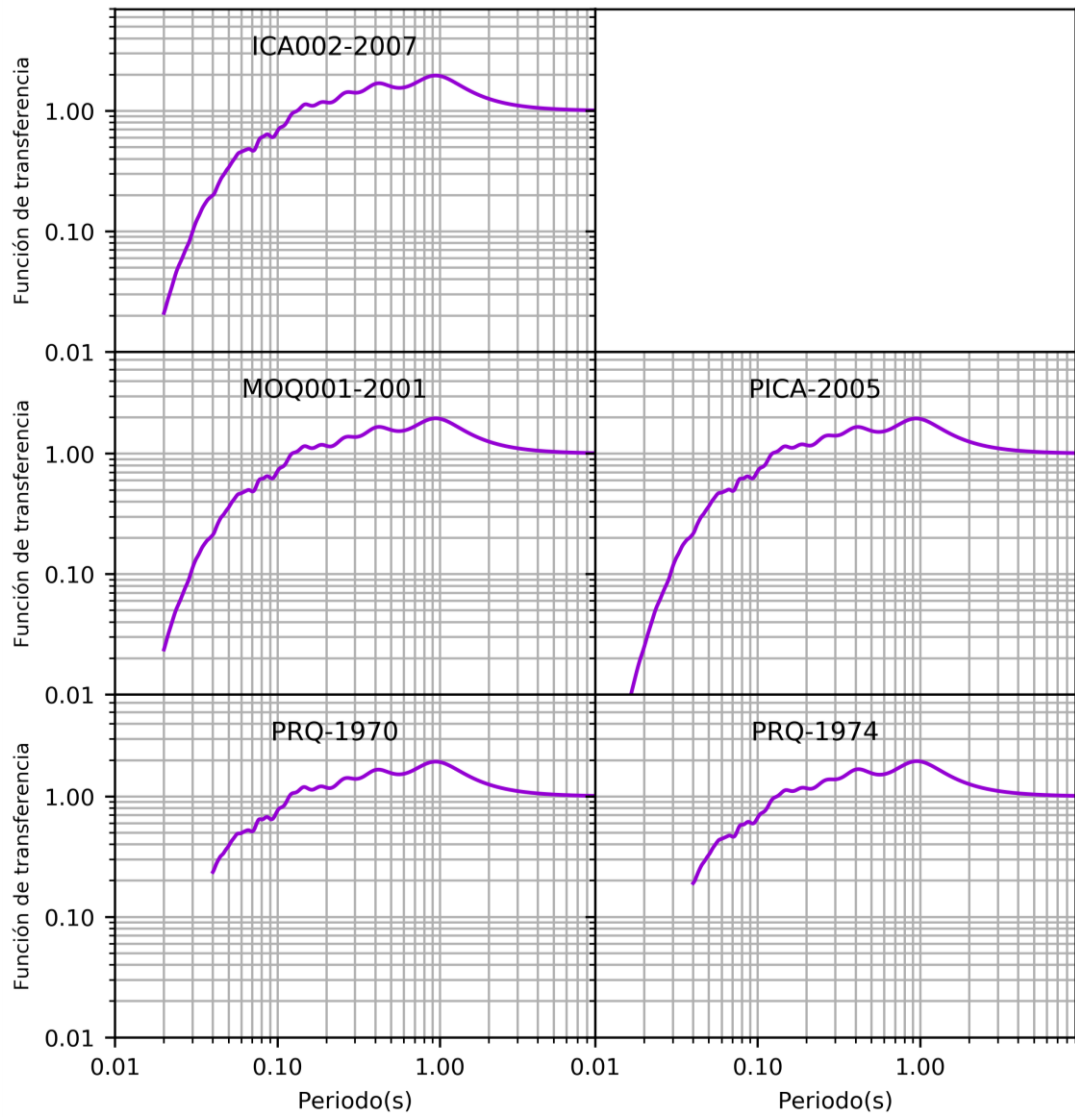


Fuente: Elaboración propia.

Las amplitudes del espectro de Fourier en superficie son mayores a las amplitudes del acelerograma de ingreso en el sitio SC1.

Figura 65

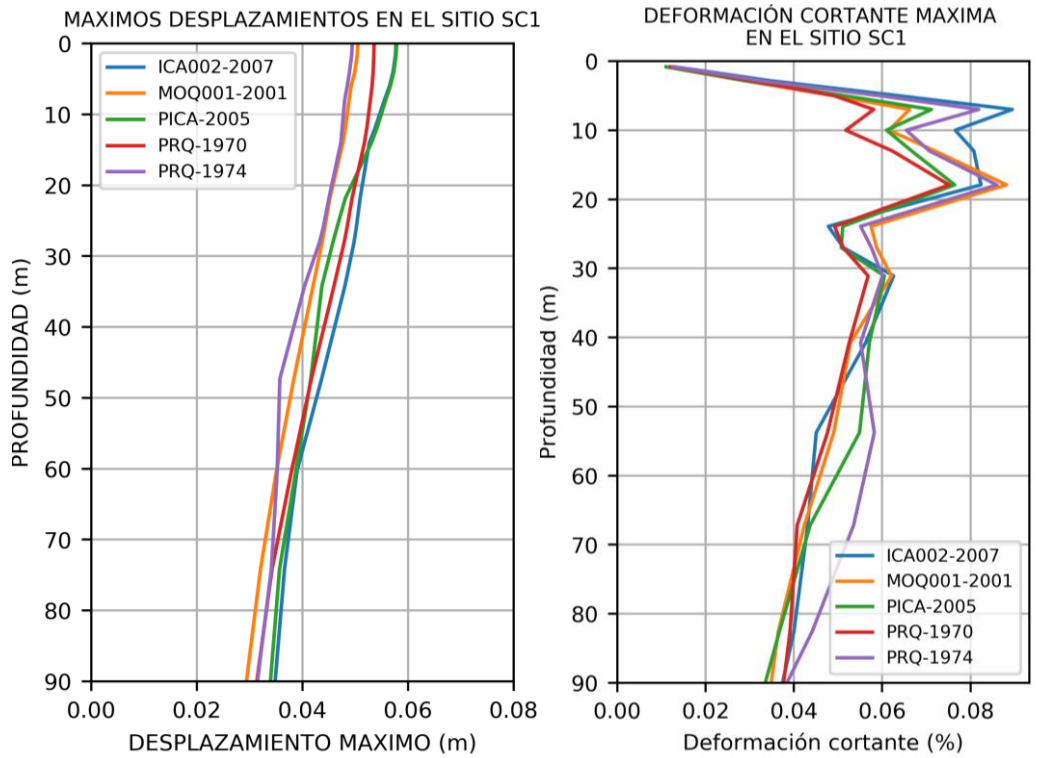
Función de transferencia obtenidas en el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66

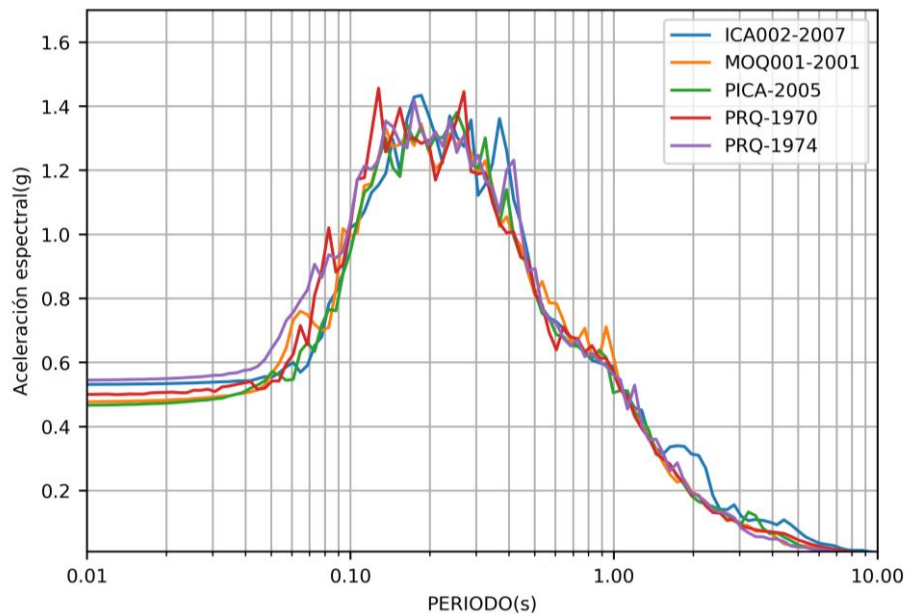
Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 67

Espectros de respuesta en el sitio SC1

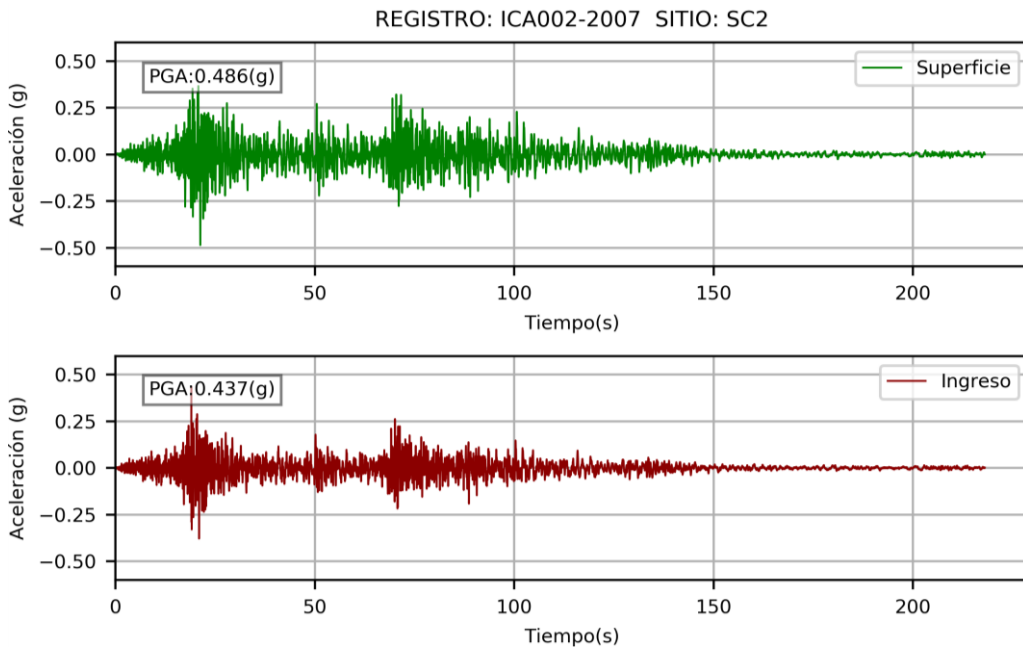


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra los resultados correspondientes al sitio SC2.

Figura 68

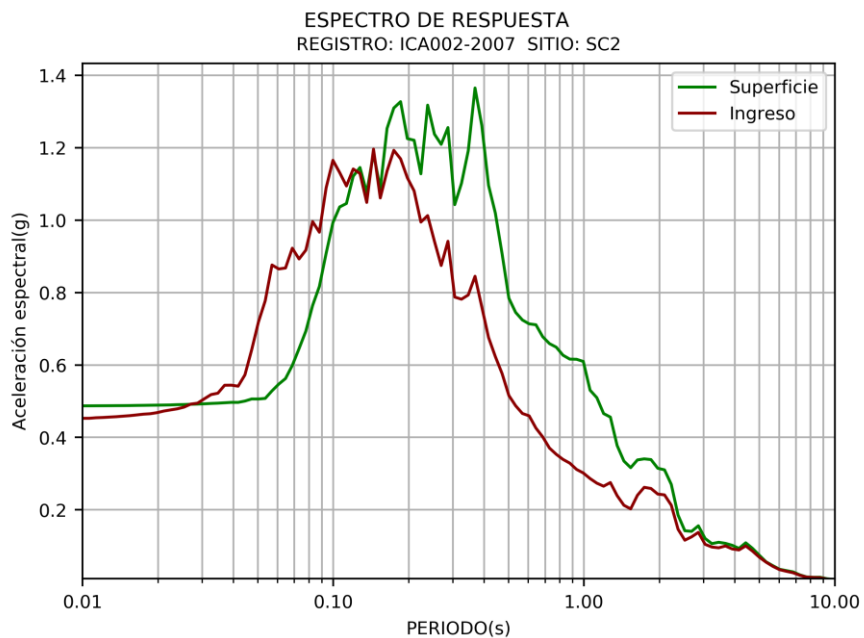
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro ICA002 en el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69

Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC2

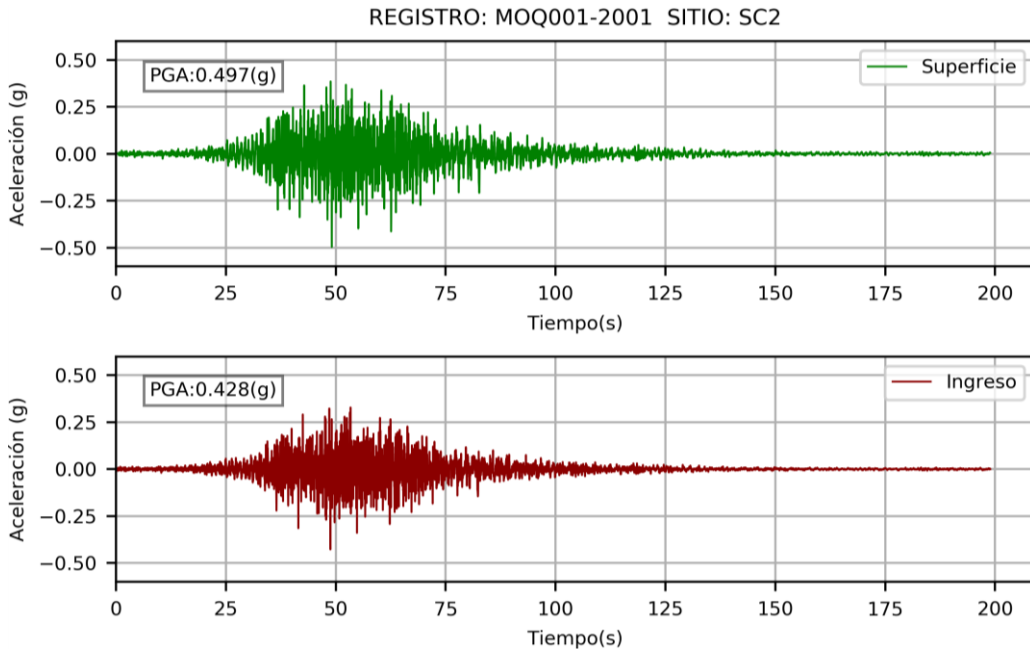


Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.15s.

Figura 70

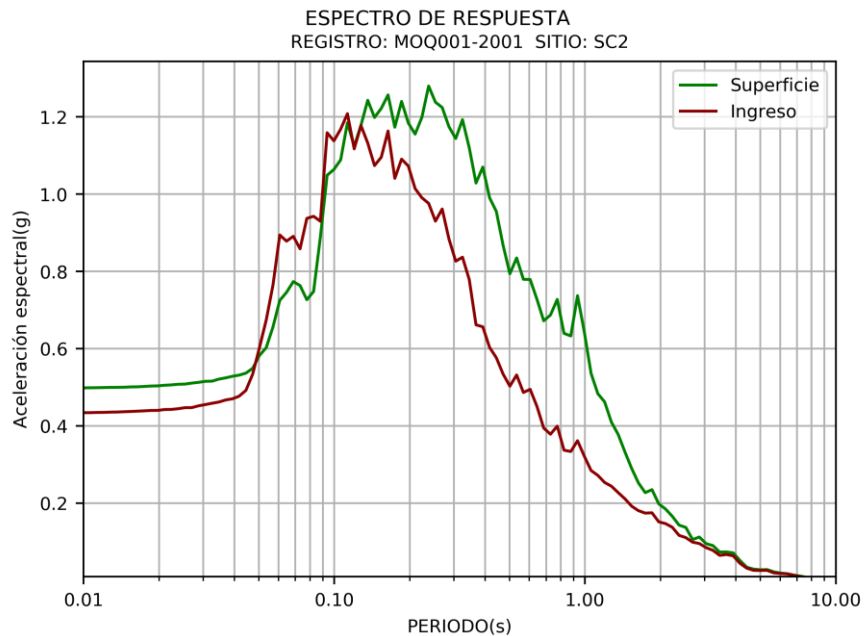
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 71

Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC2

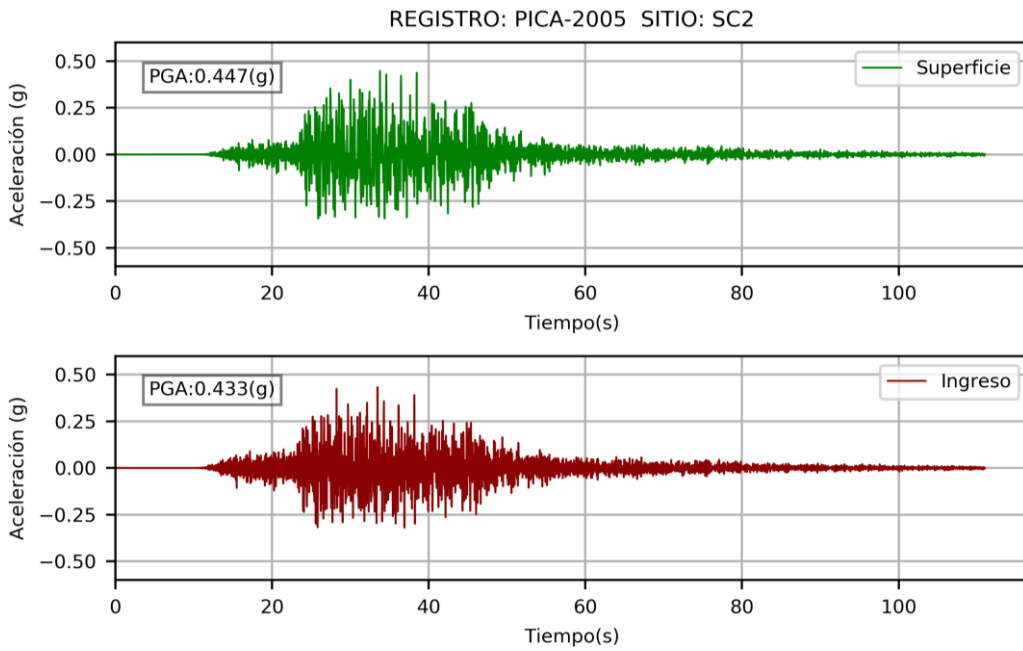


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.13s.

Figura 72

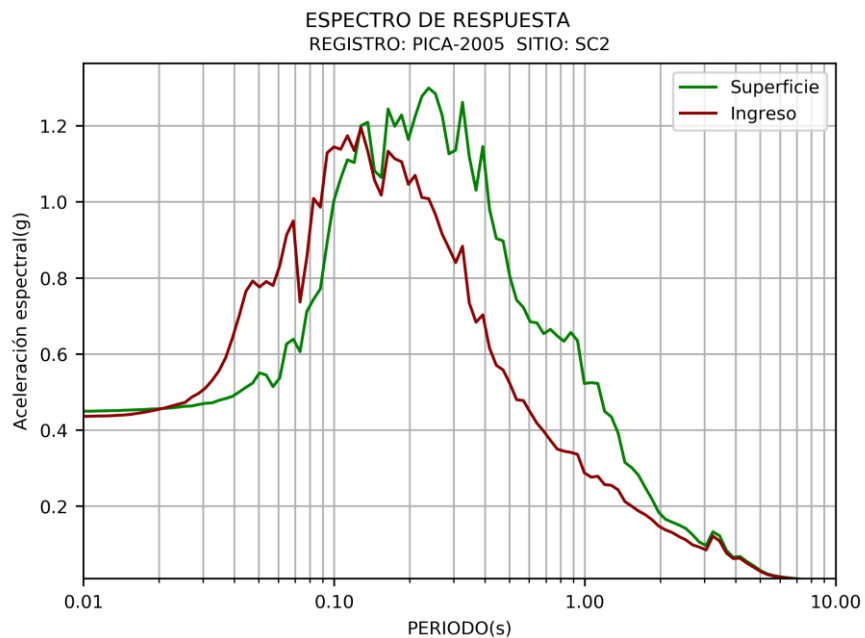
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 73

Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC2

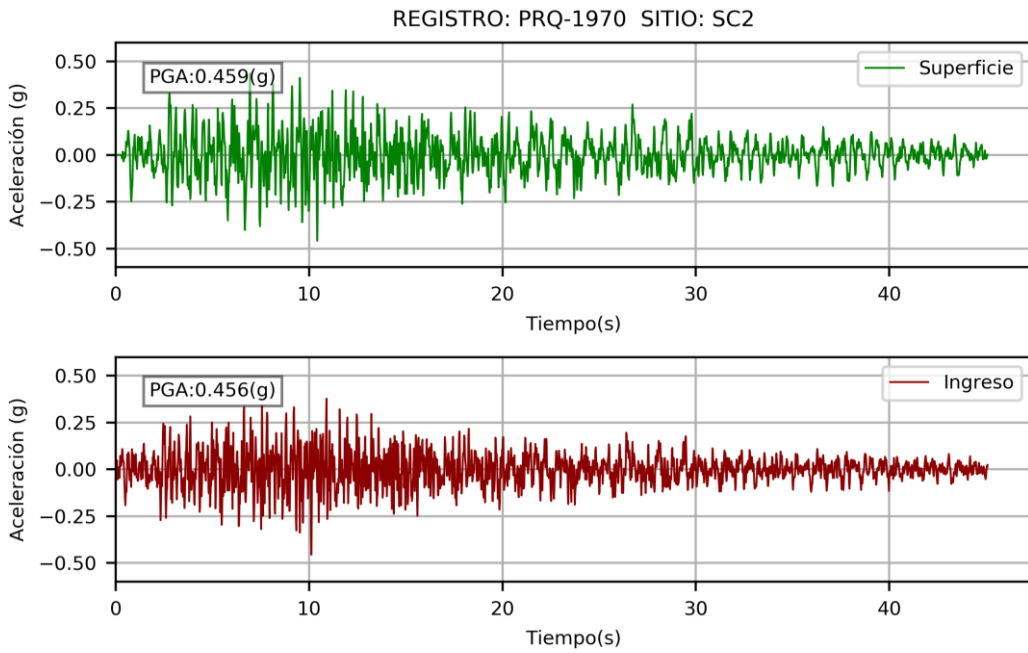


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.13 s.

Figura 74

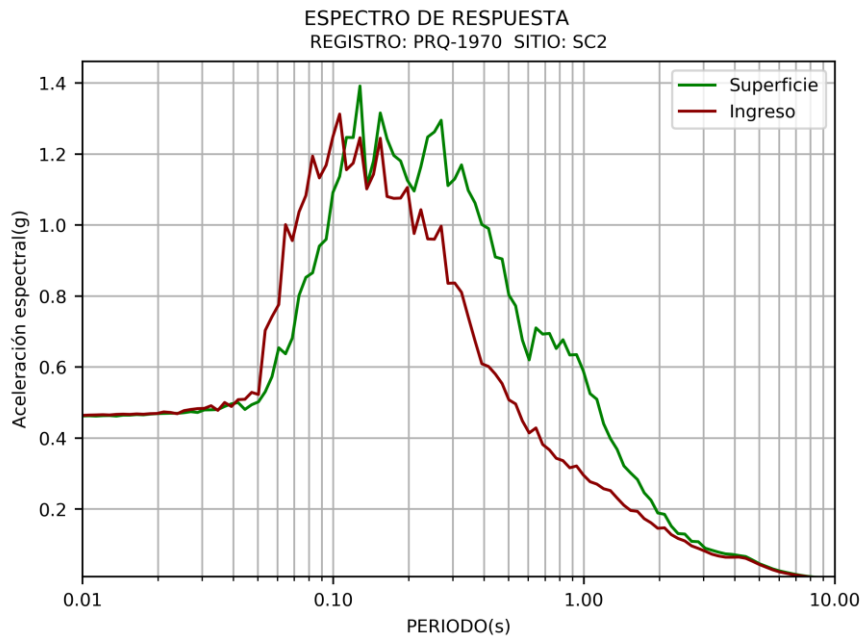
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 75

Espectros de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC2

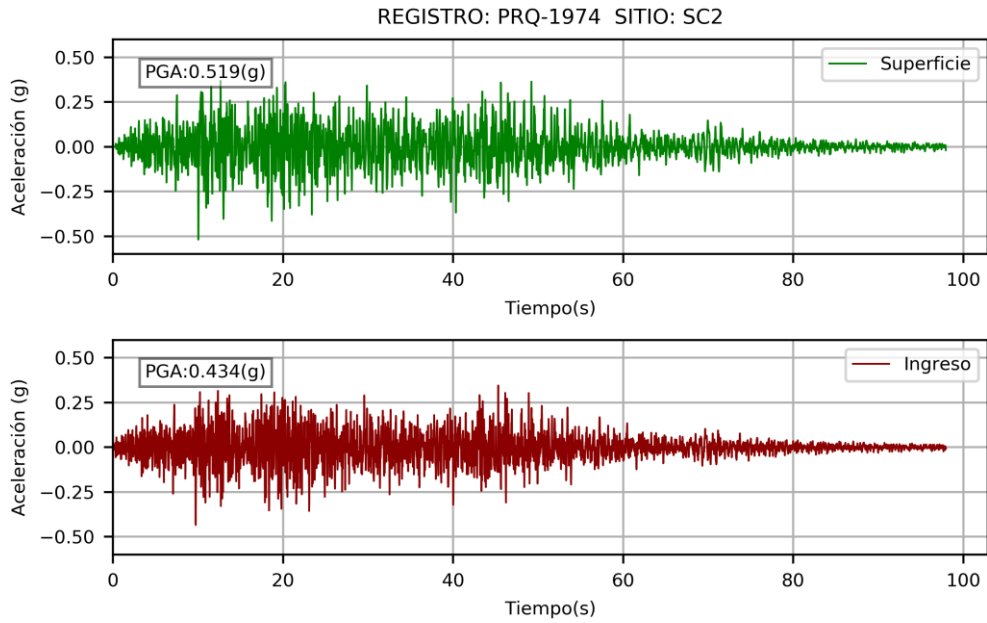


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 76

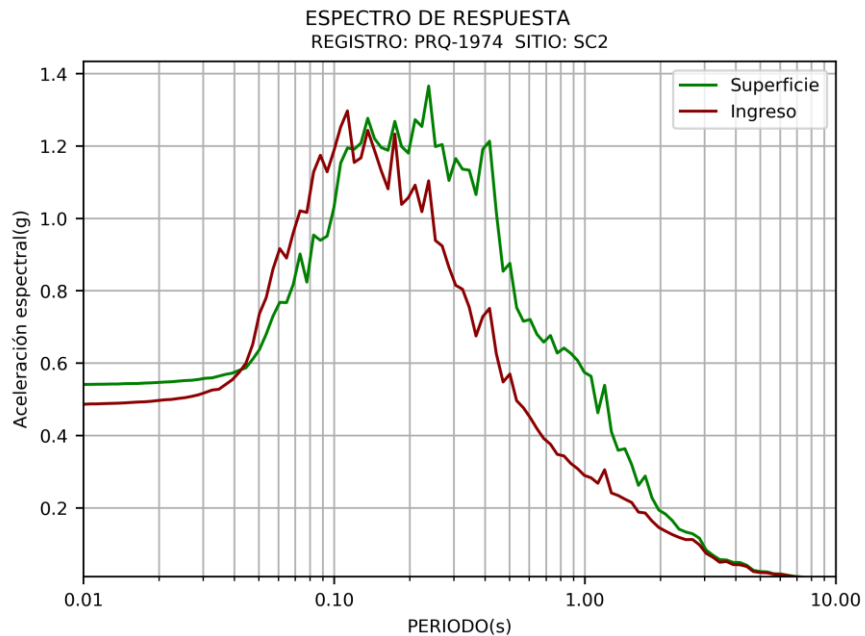
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 77

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC2

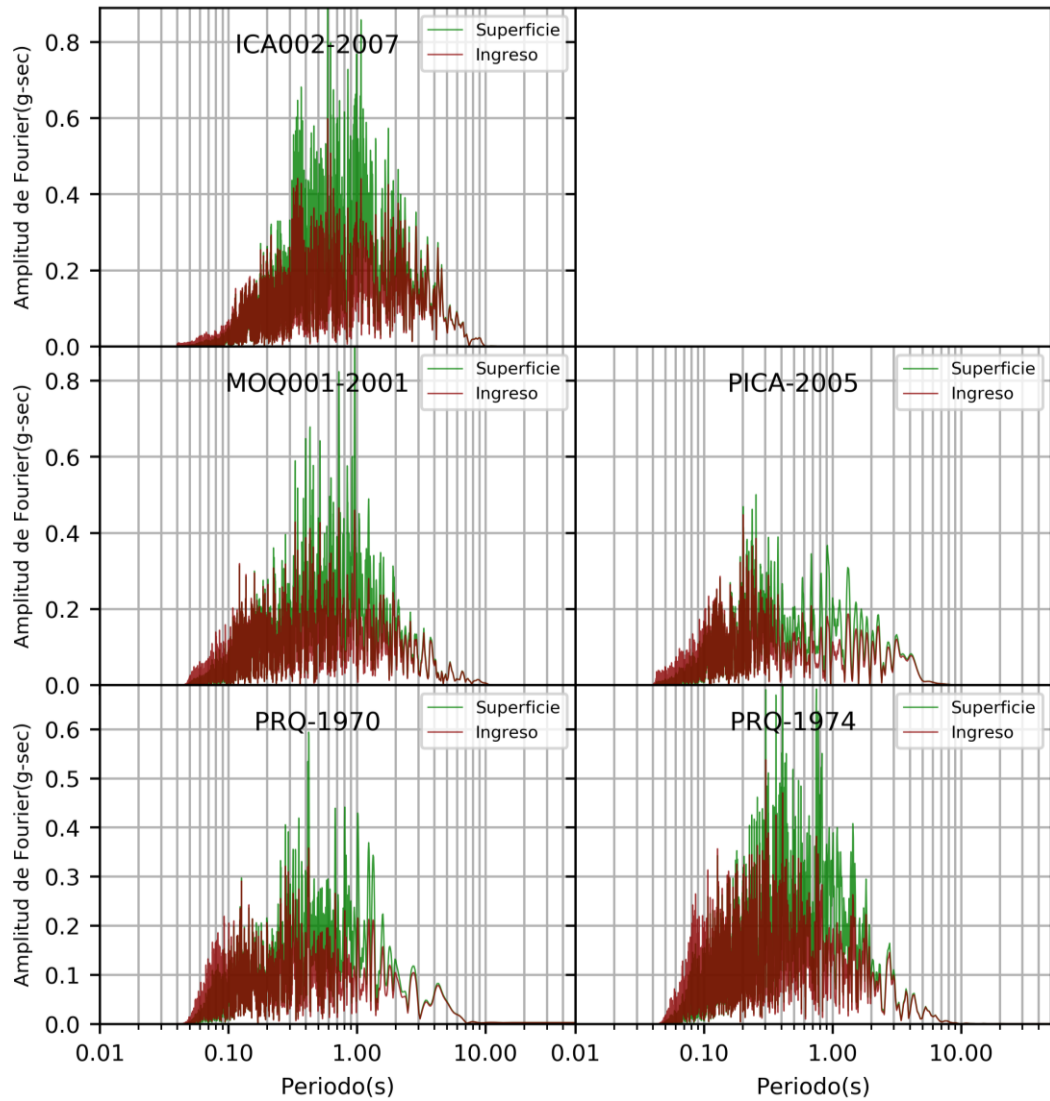


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 78

Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC2

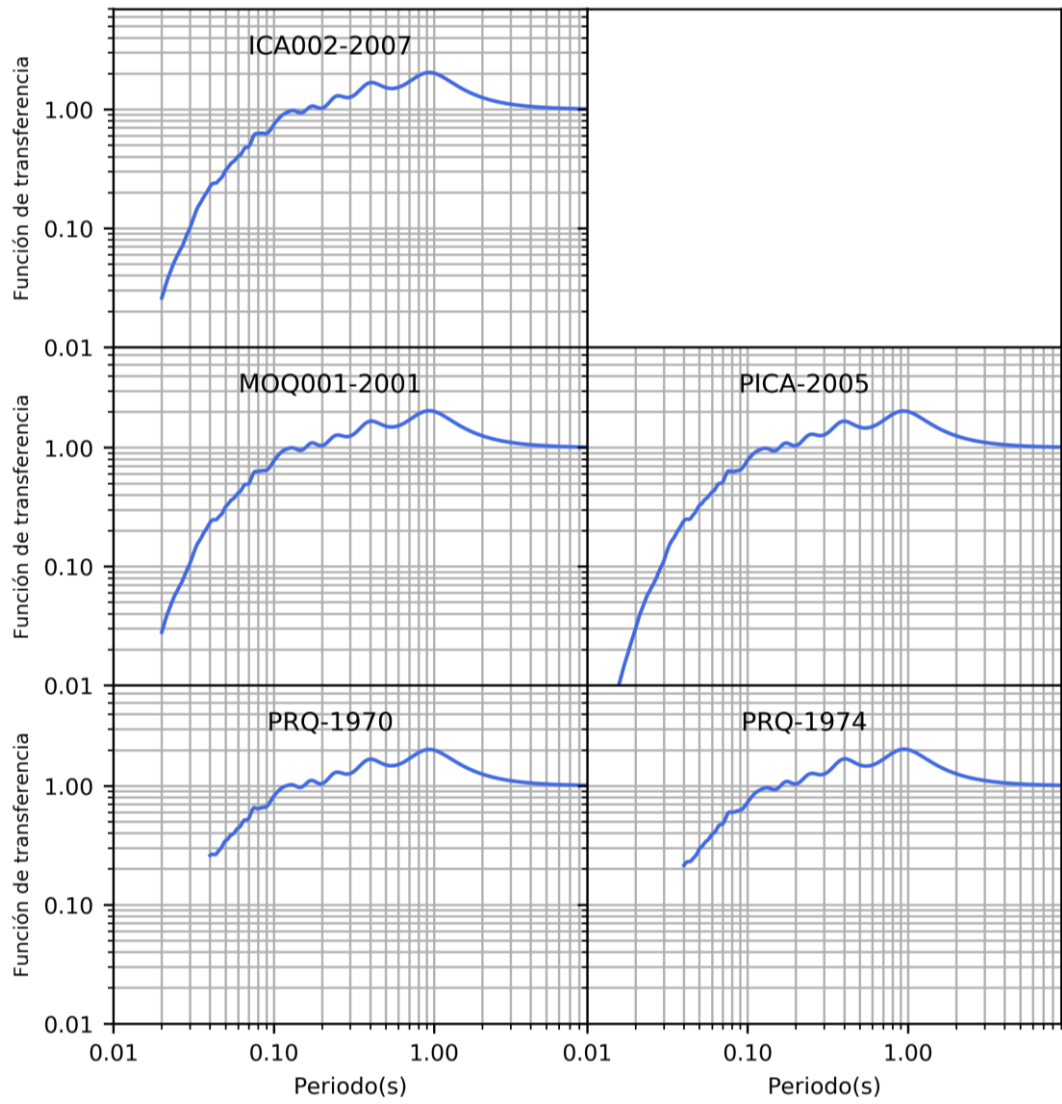


Fuente: Elaboración propia.

Las amplitudes del espectro de Fourier en superficie son mayores a las amplitudes del acelerograma de ingreso en el sitio SC2.

Figura 79

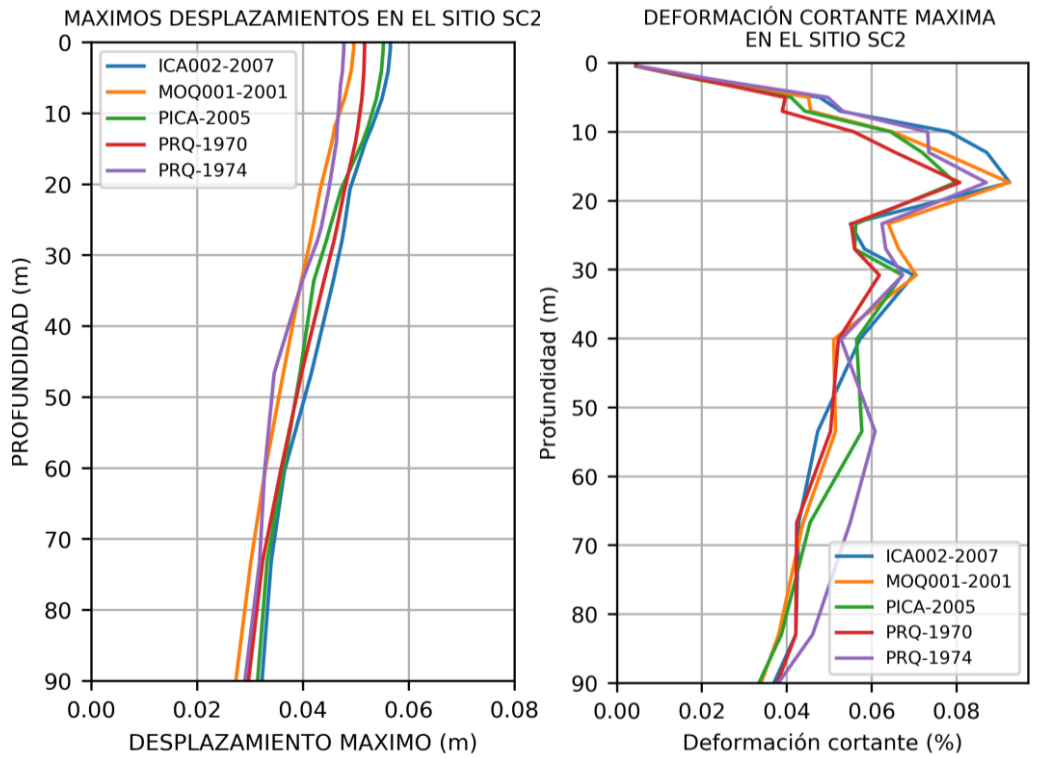
Función de transferencia obtenida en el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 80

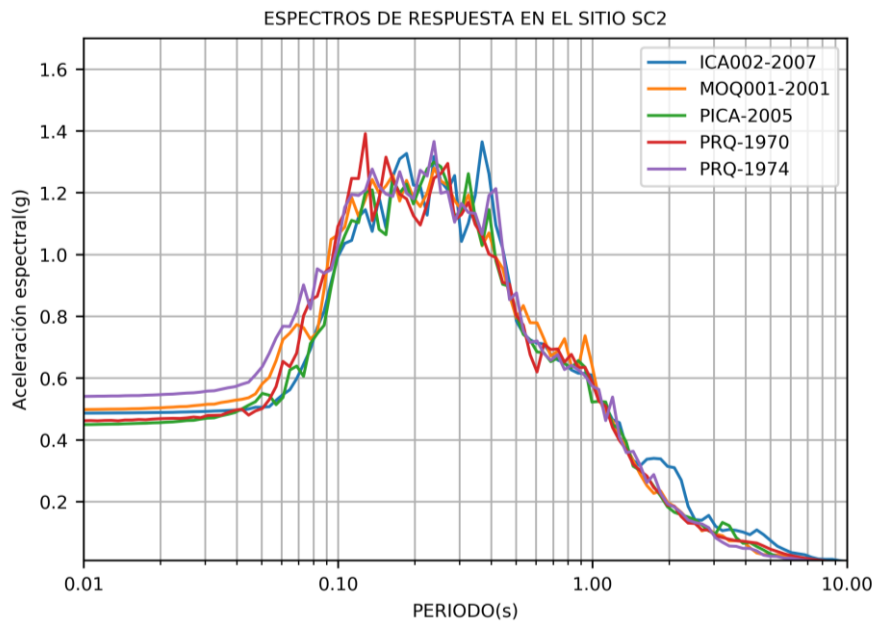
Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 81

Espectros de respuesta en el sitio SC2

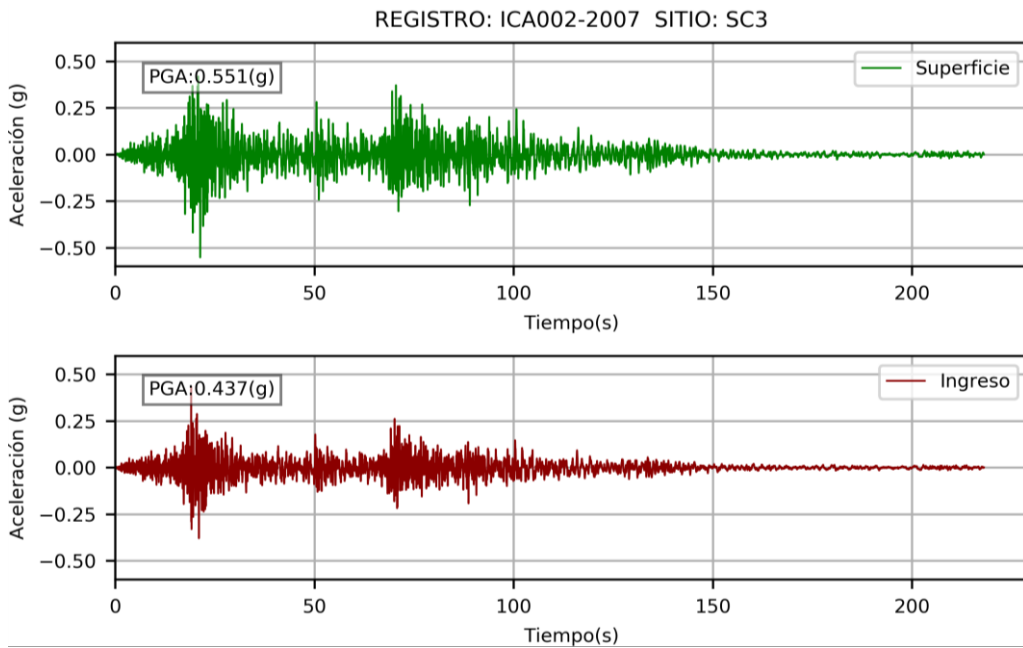


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra los resultados correspondientes al sitio SC3.

Figura 82

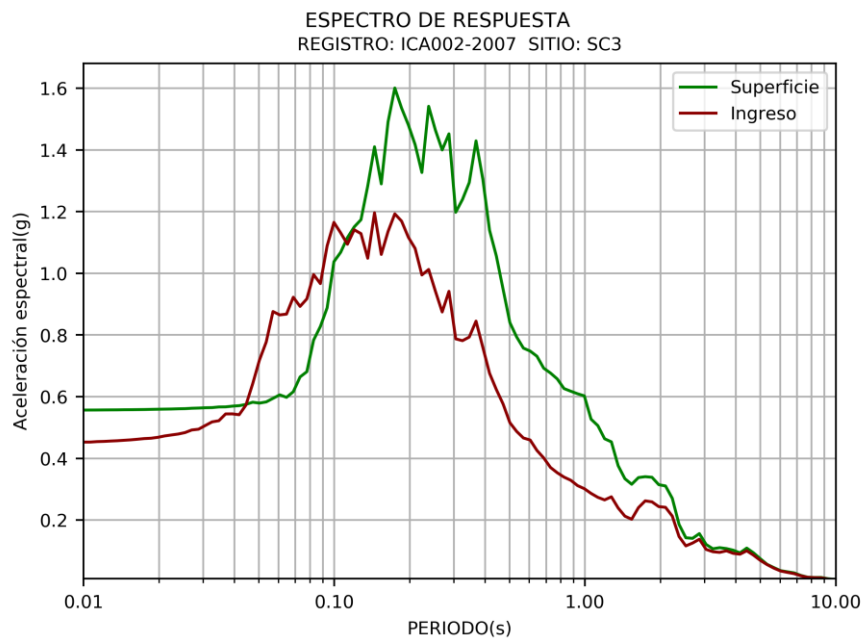
Acelerograma de ingreso y en superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 83

Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC3

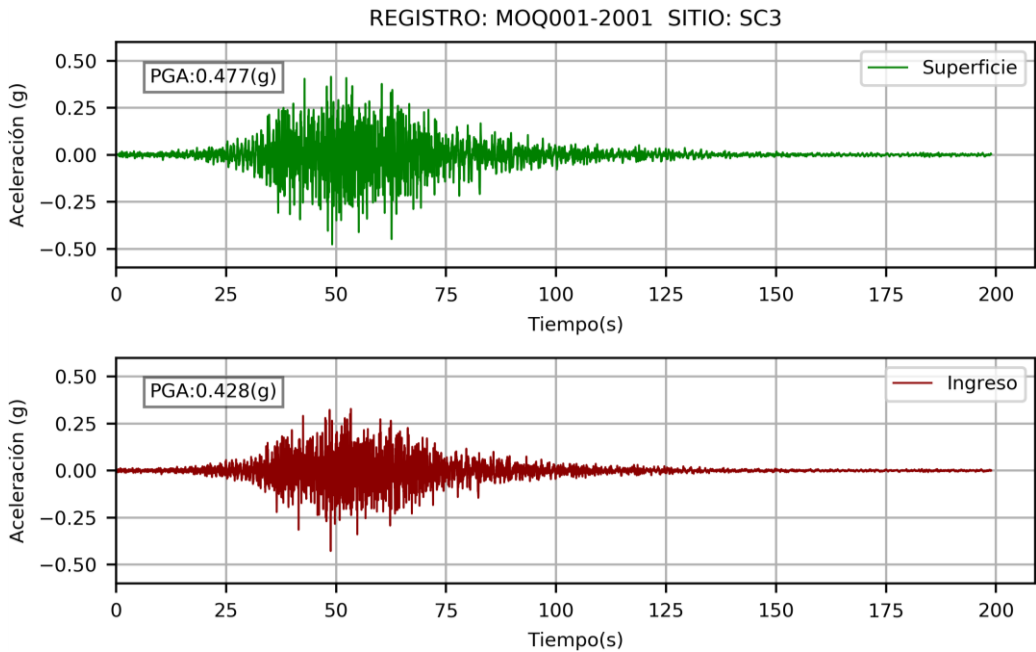


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 84

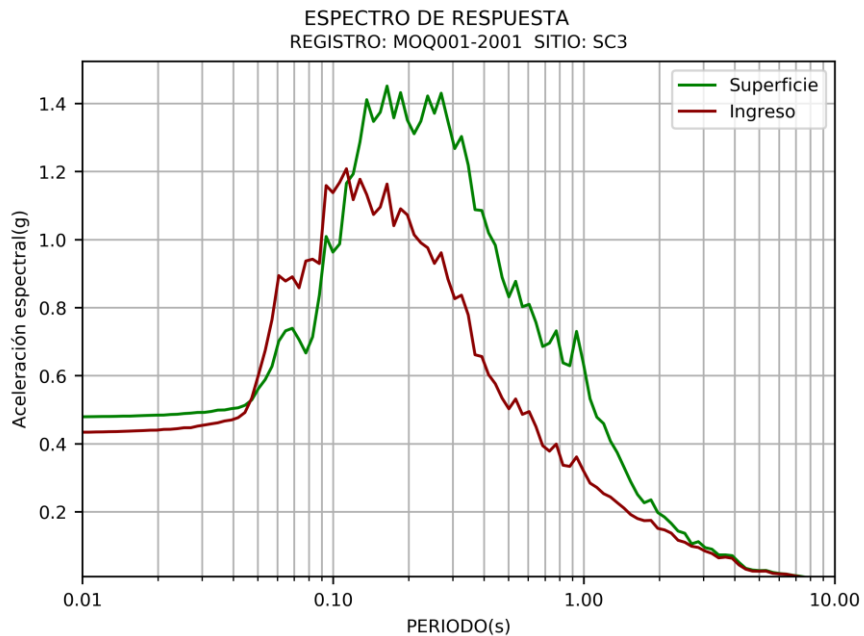
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 85

Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC3

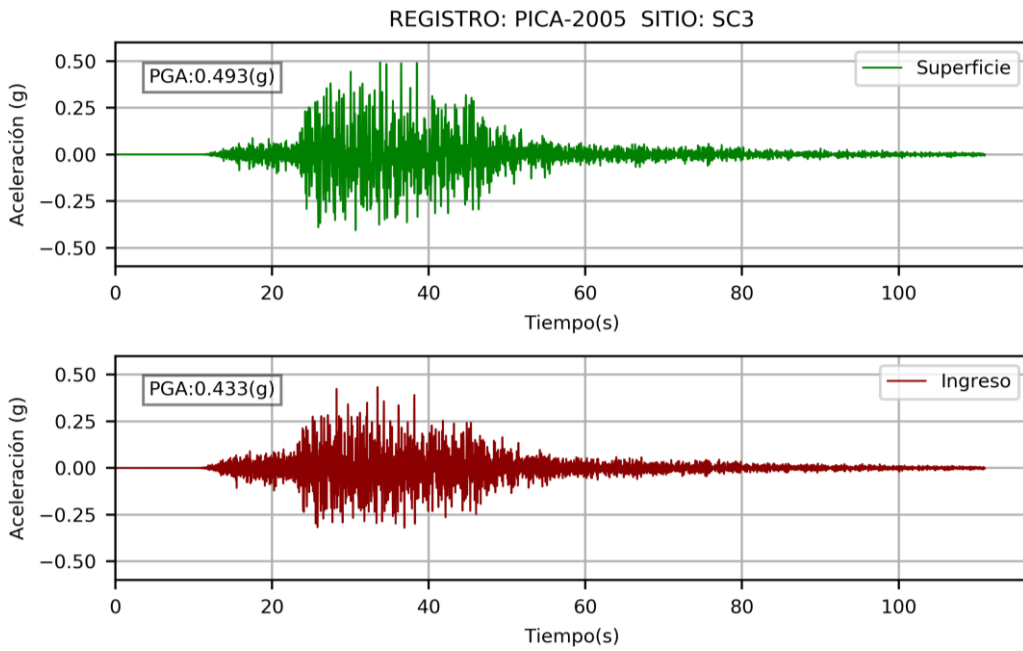


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 86

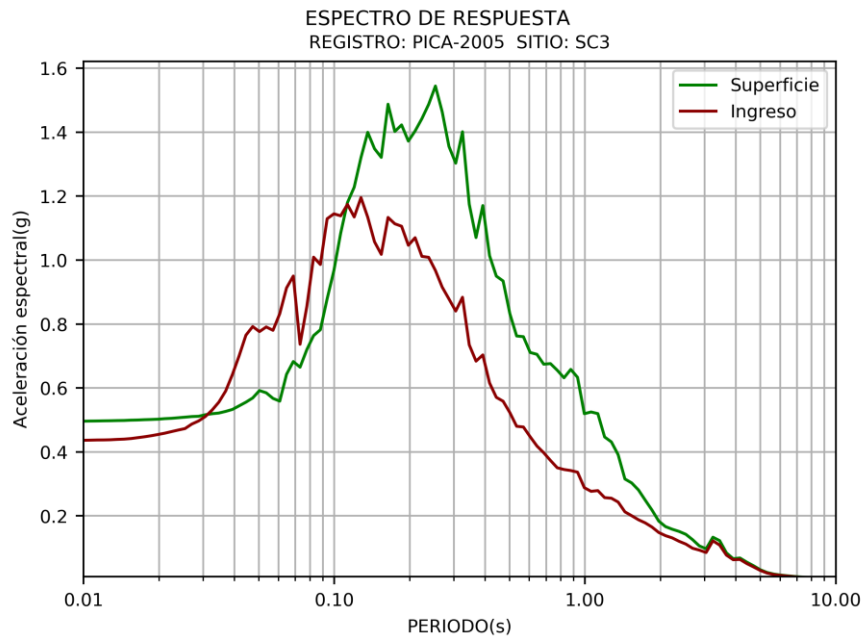
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 87

Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC3

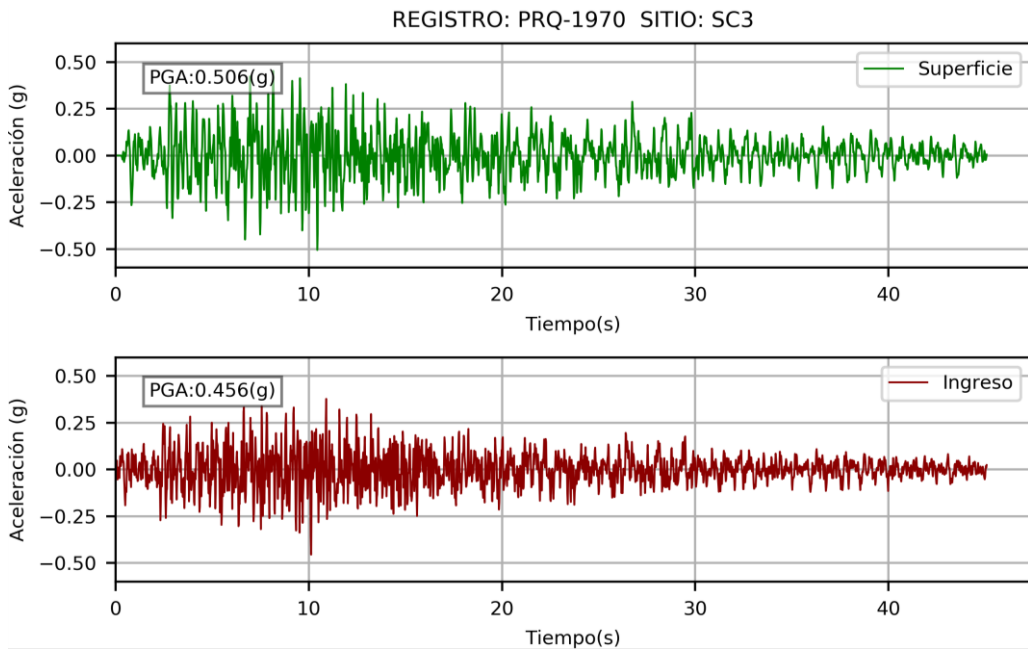


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 88

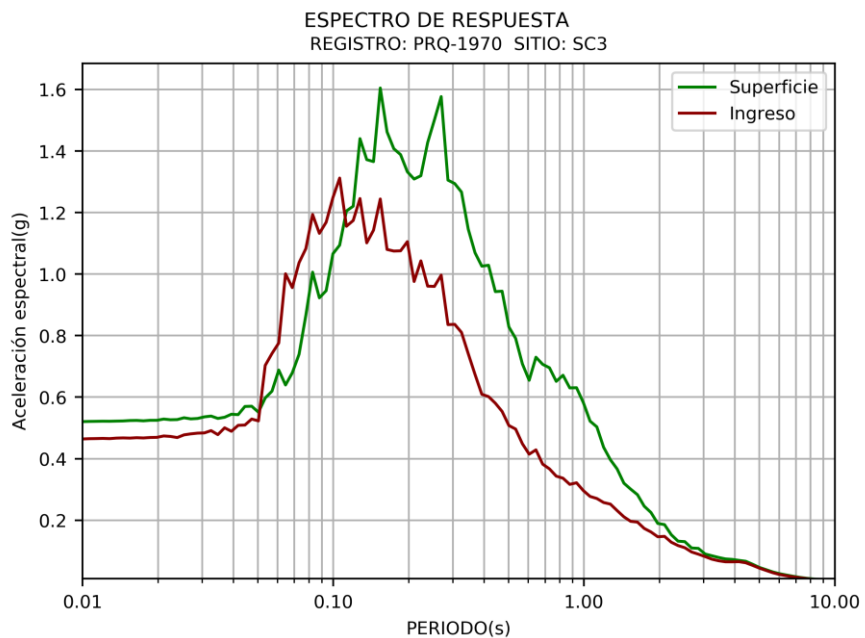
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 89

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC3

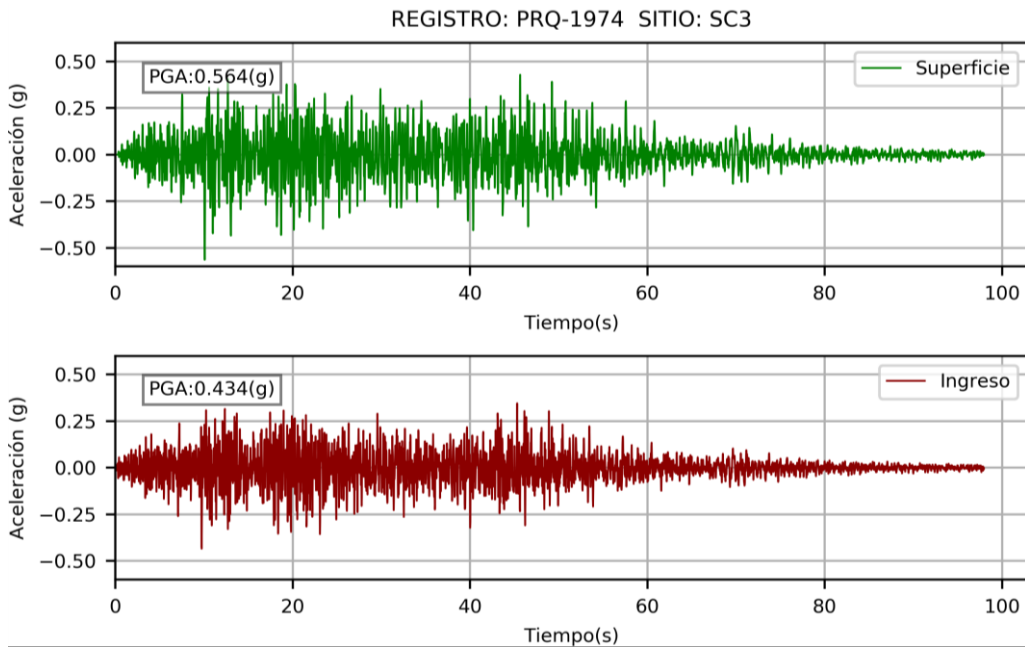


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 90

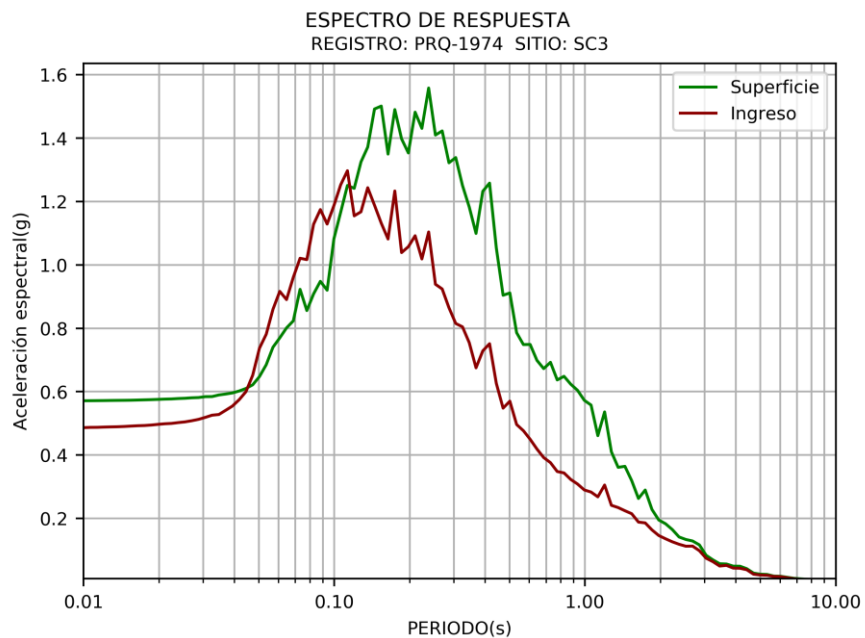
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 91

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC3

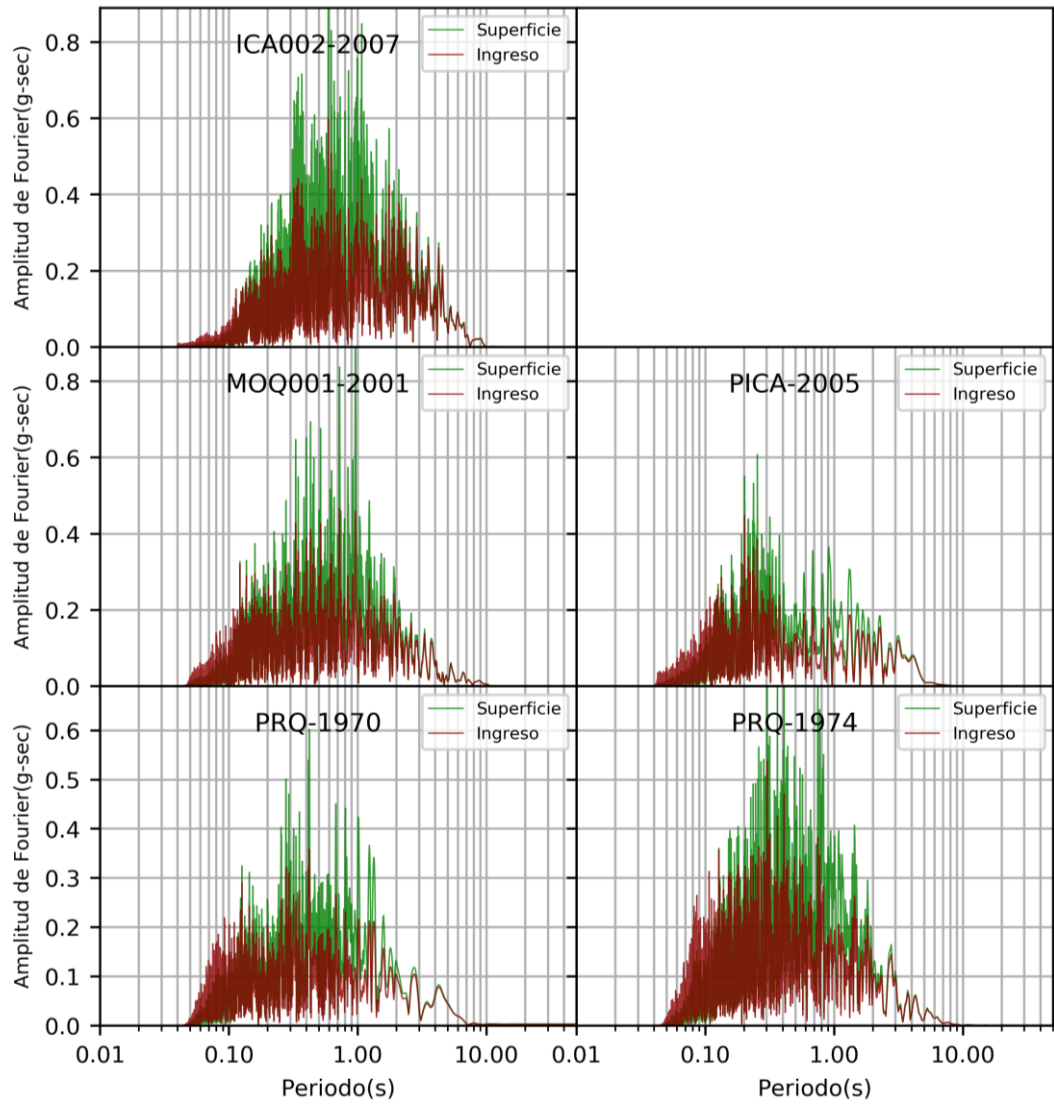


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 92

Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC3

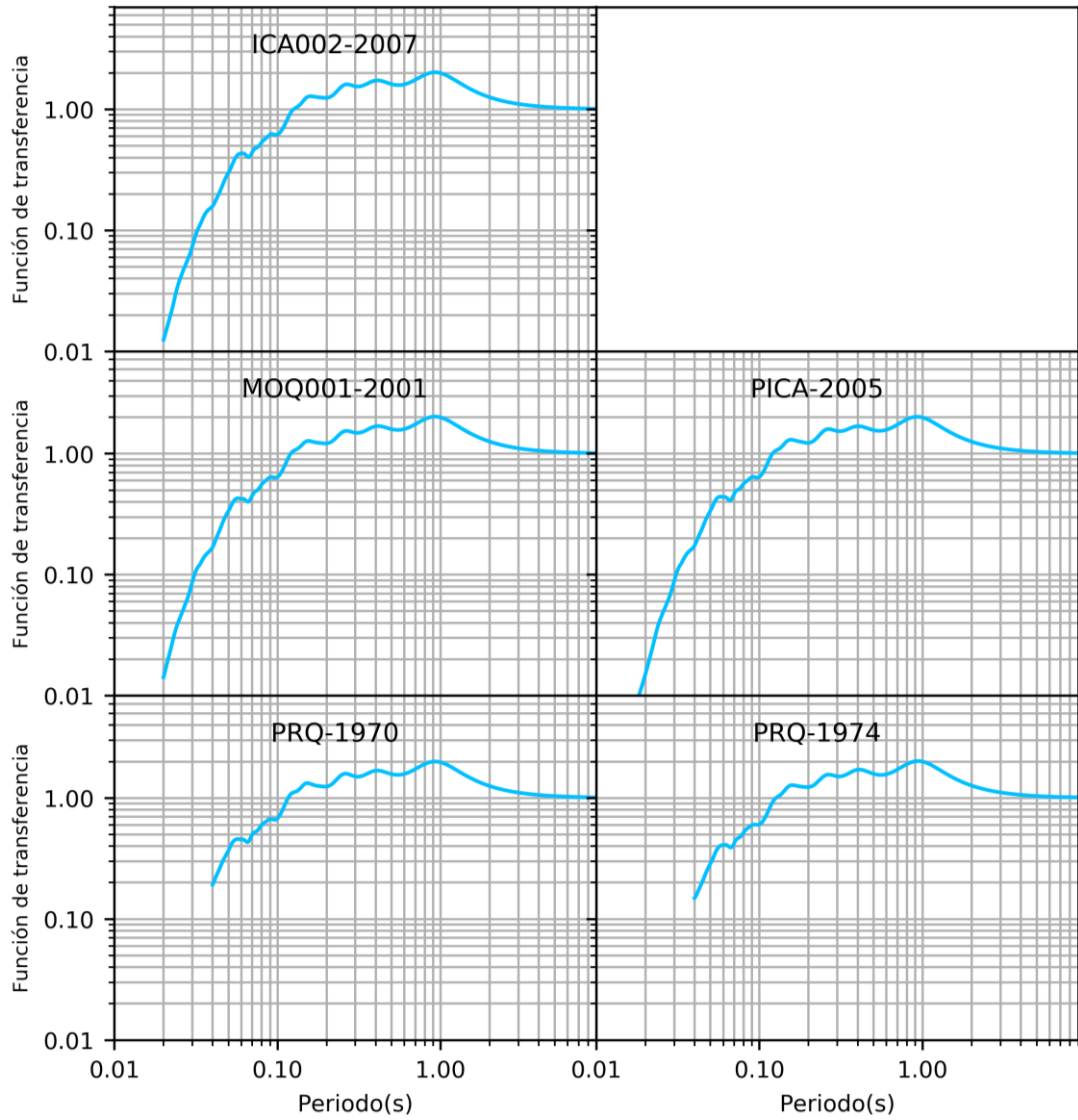


Fuente: Elaboración propia.

Las amplitudes del espectro de Fourier en superficie fueron mayores a las amplitudes del acelerograma de ingreso en el sitio SC3.

Figura 93

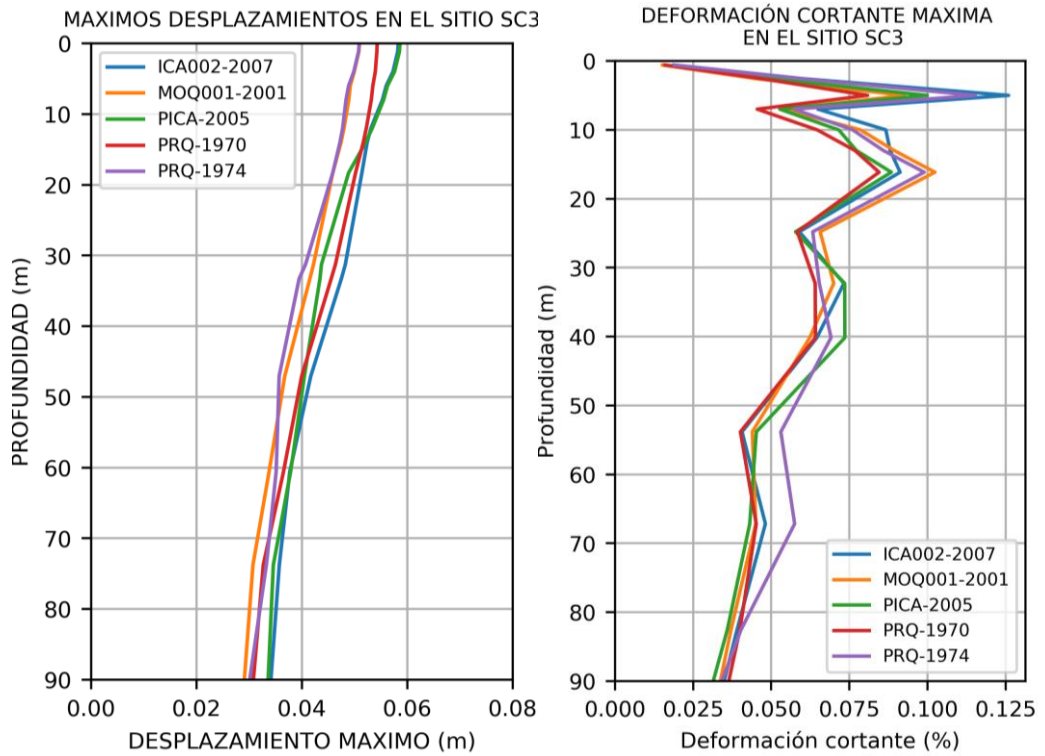
Función de transferencia obtenida en el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 94

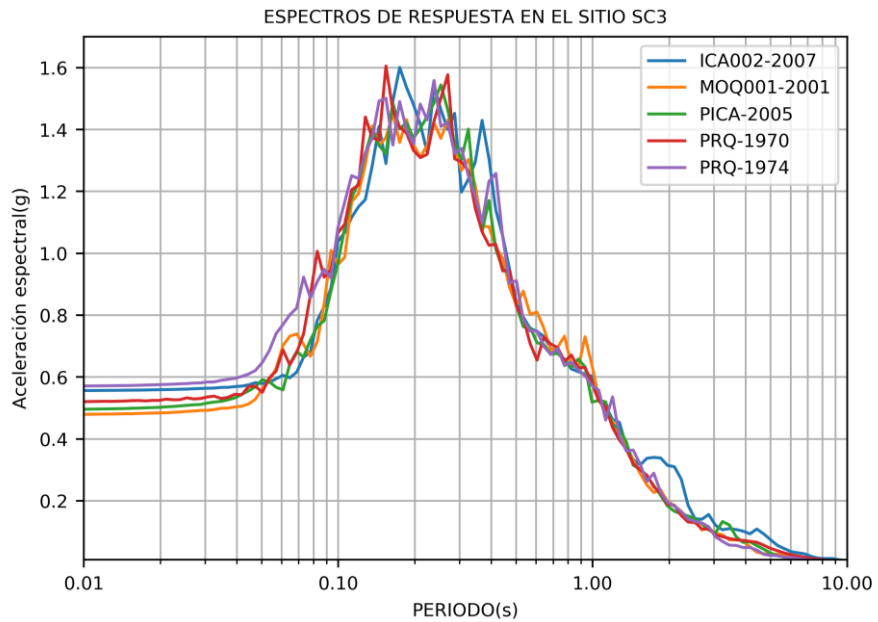
Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 95

Espectros de respuesta en el sitio SC3

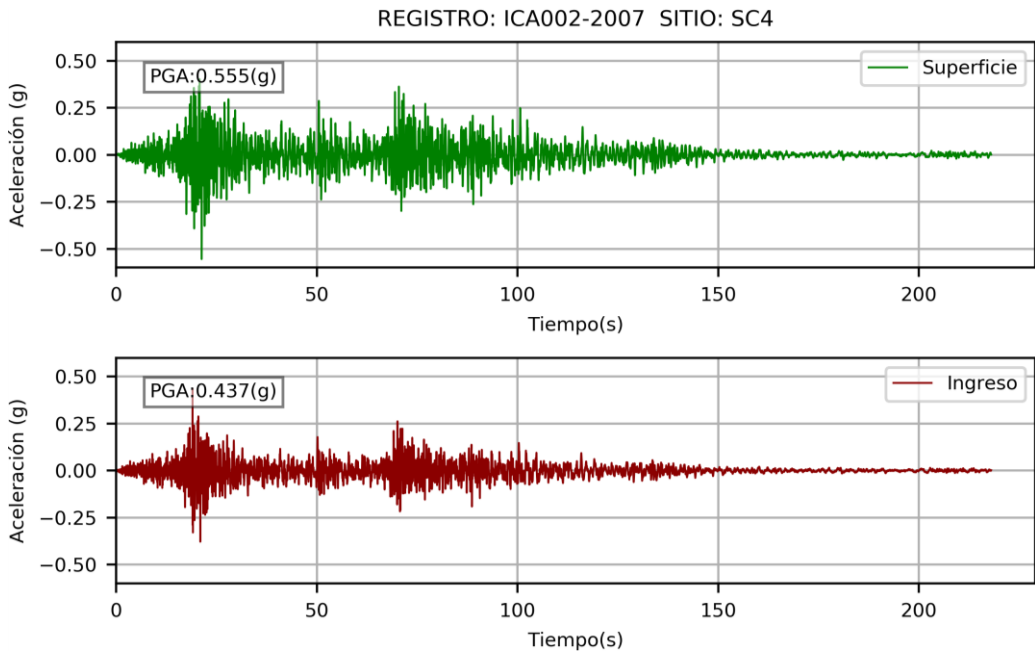


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra los resultados correspondientes al sitio SC4.

Figura 96

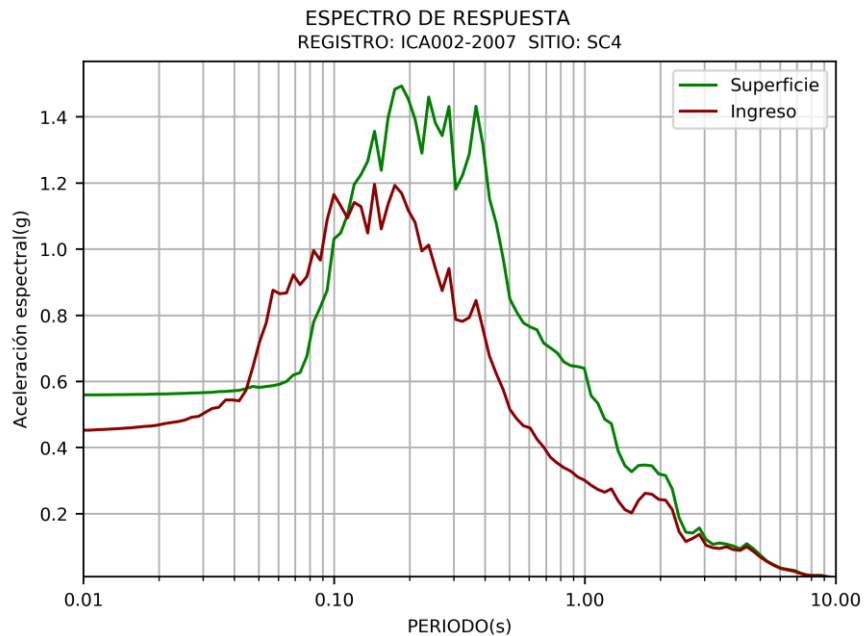
Acelerograma de ingreso y en superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 97

Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC4

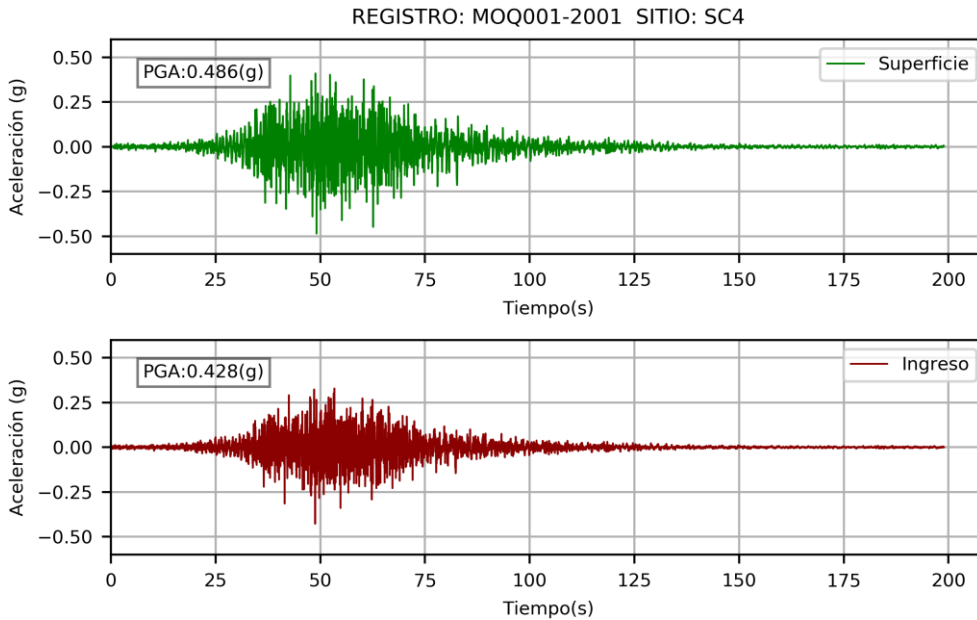


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 98

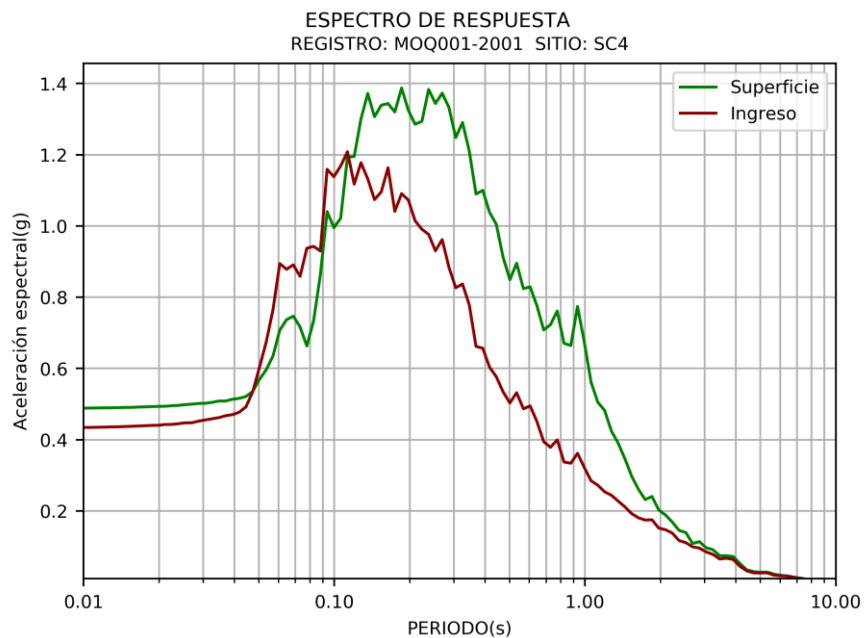
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro MOQ001 en el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 99

Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC4

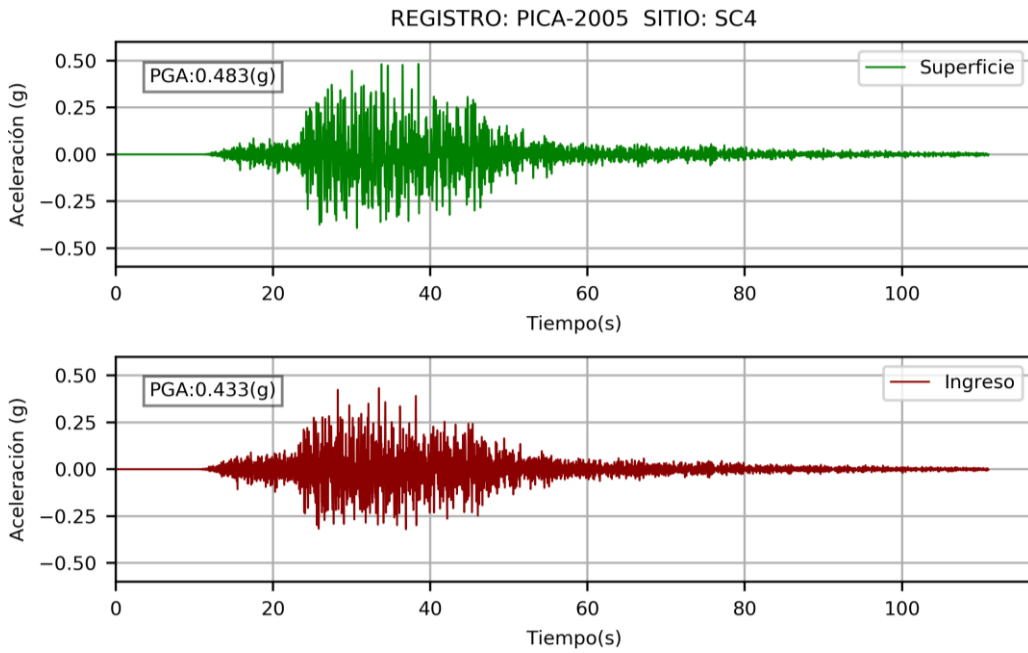


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 100

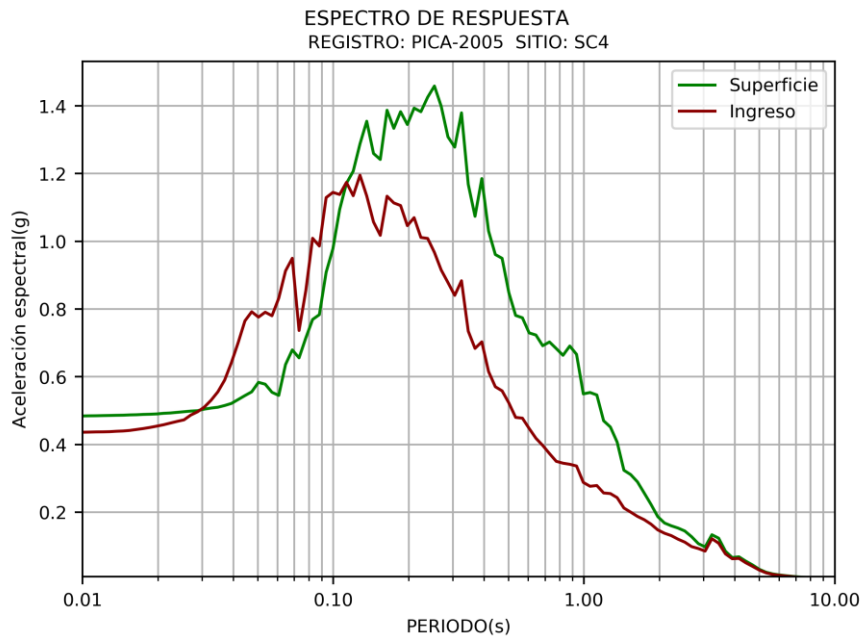
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 101

Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC4

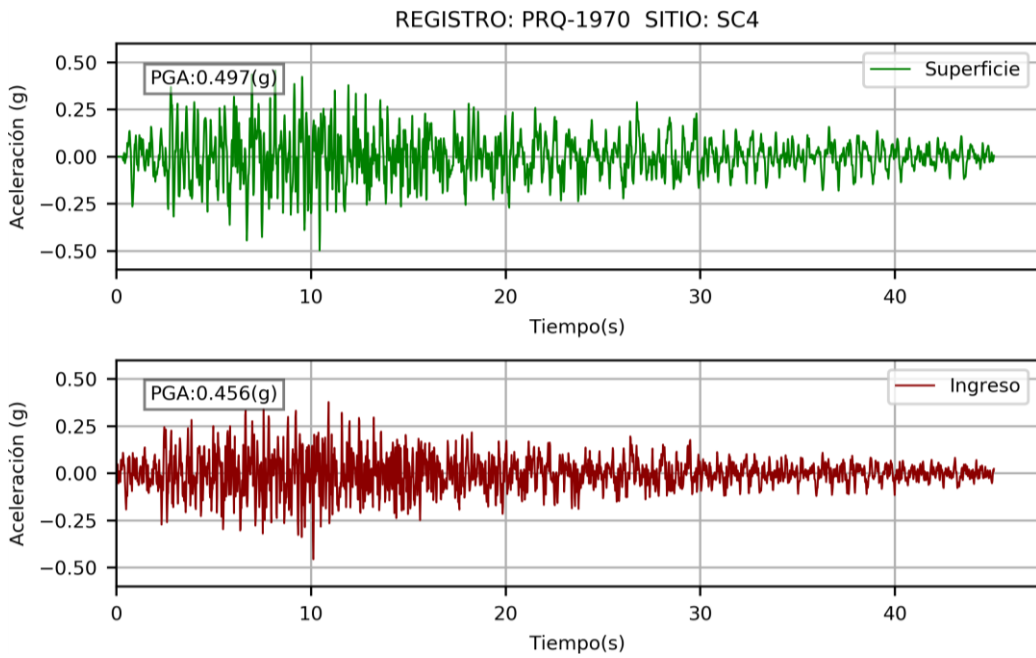


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 102

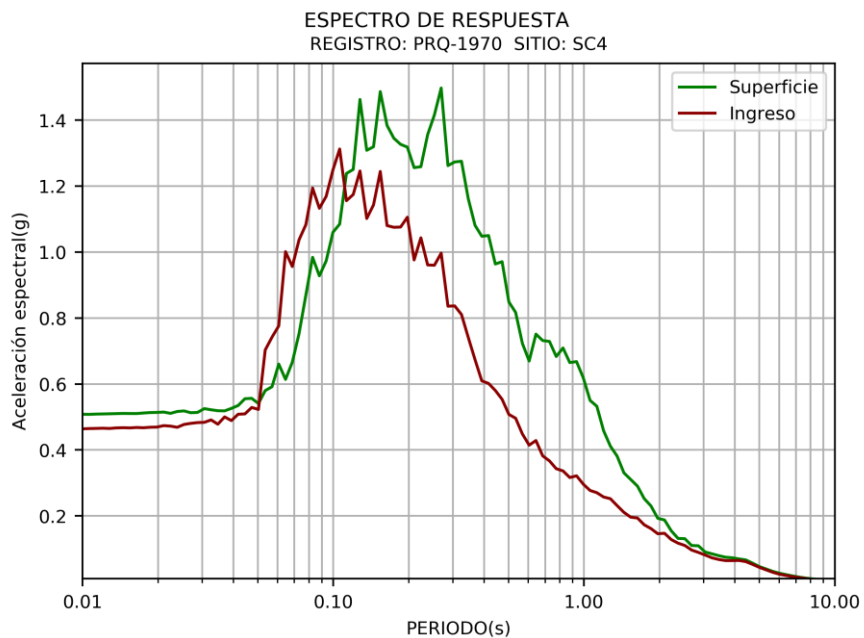
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 103

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC4

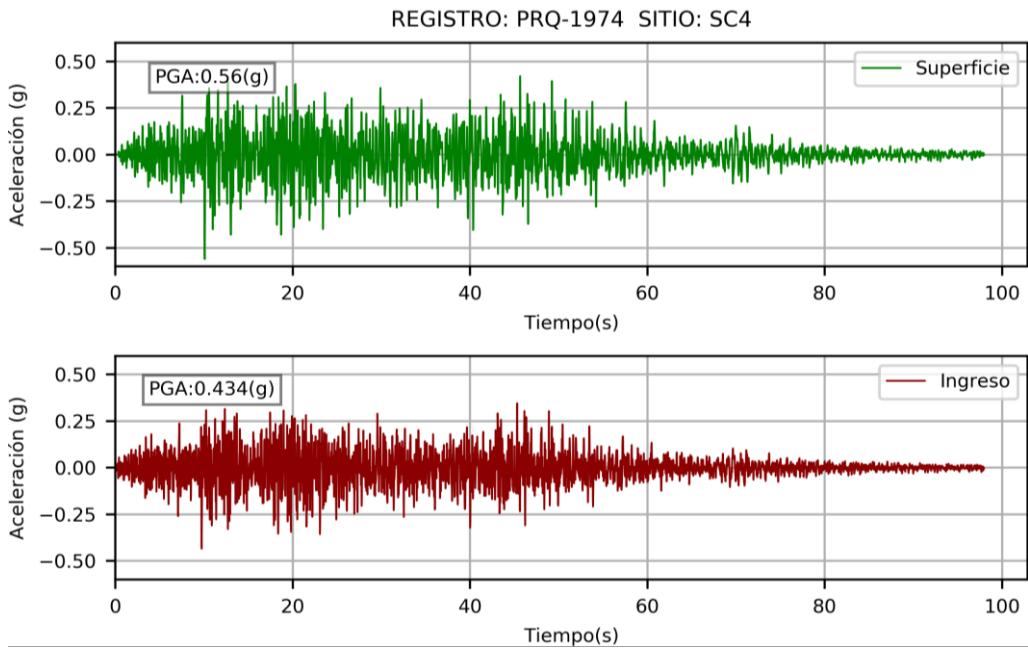


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.11s.

Figura 104

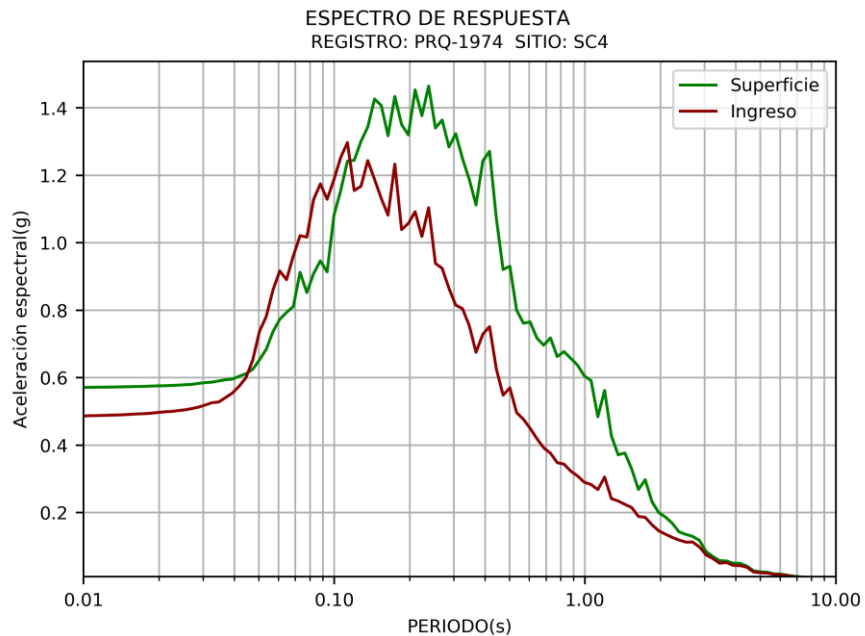
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 105

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC4

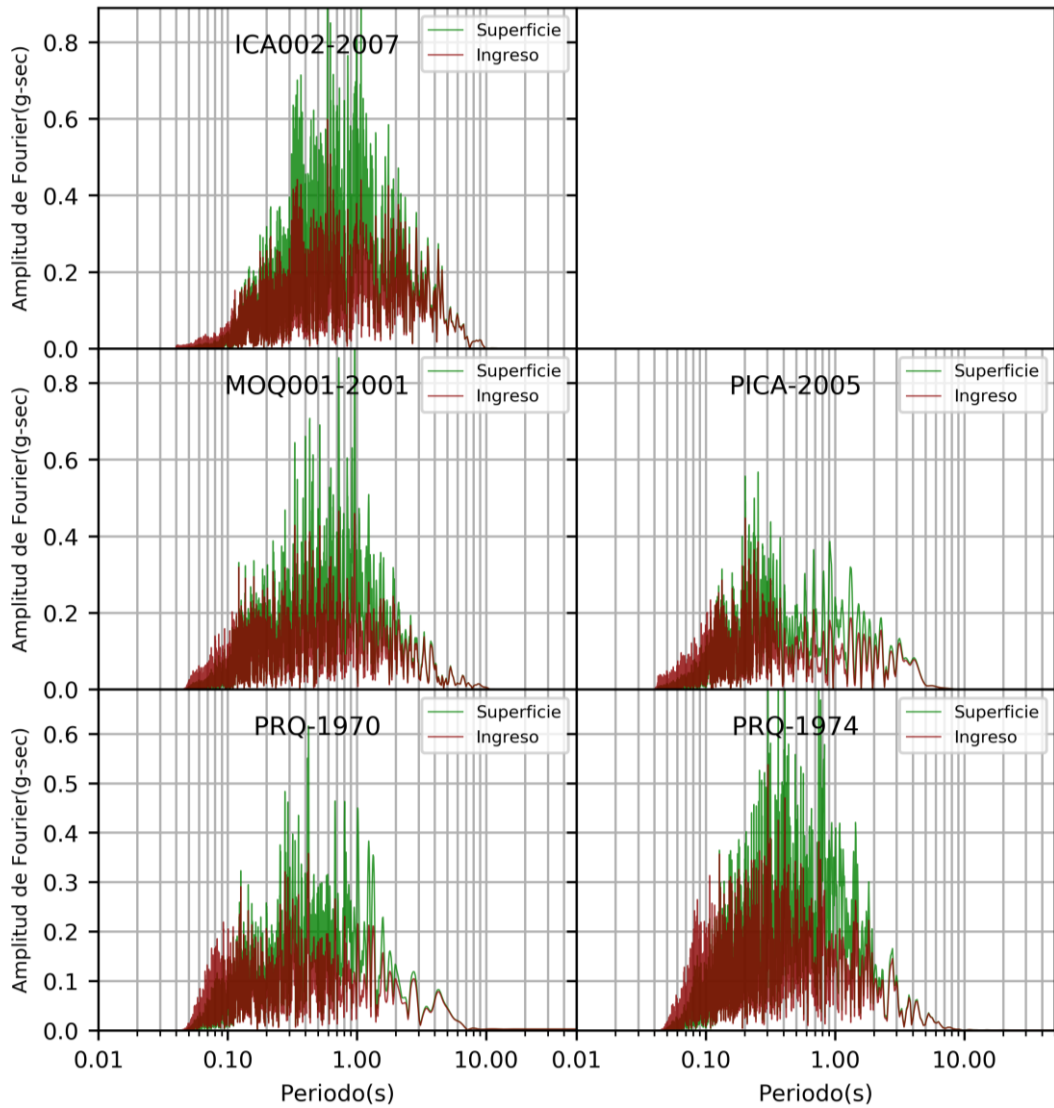


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 106

Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC4

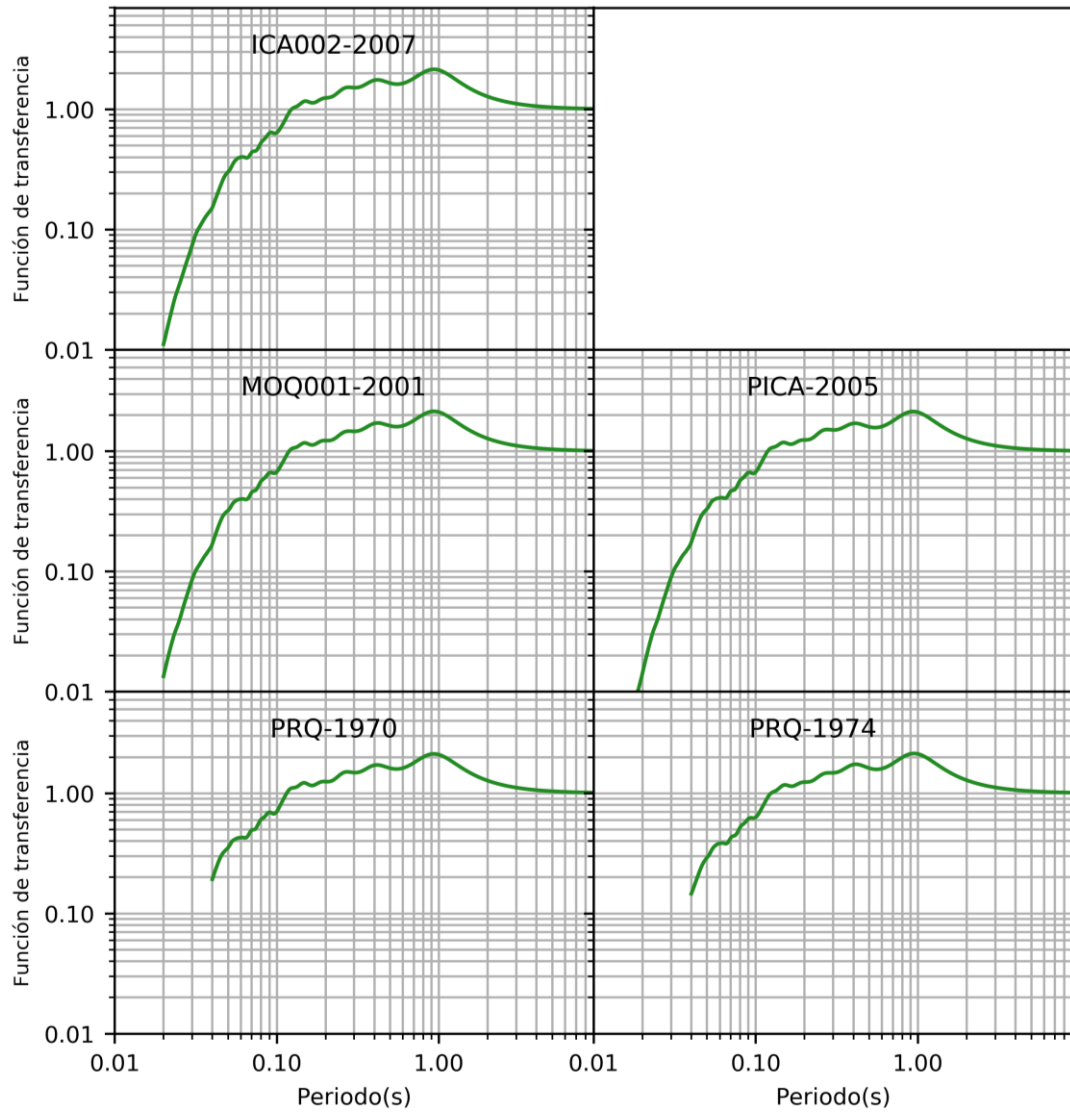


Fuente: Elaboración propia.

Las amplitudes del espectro de Fourier en superficie fueron mayores a las amplitudes del acelerograma de ingreso en el sitio SC4.

Figura 107

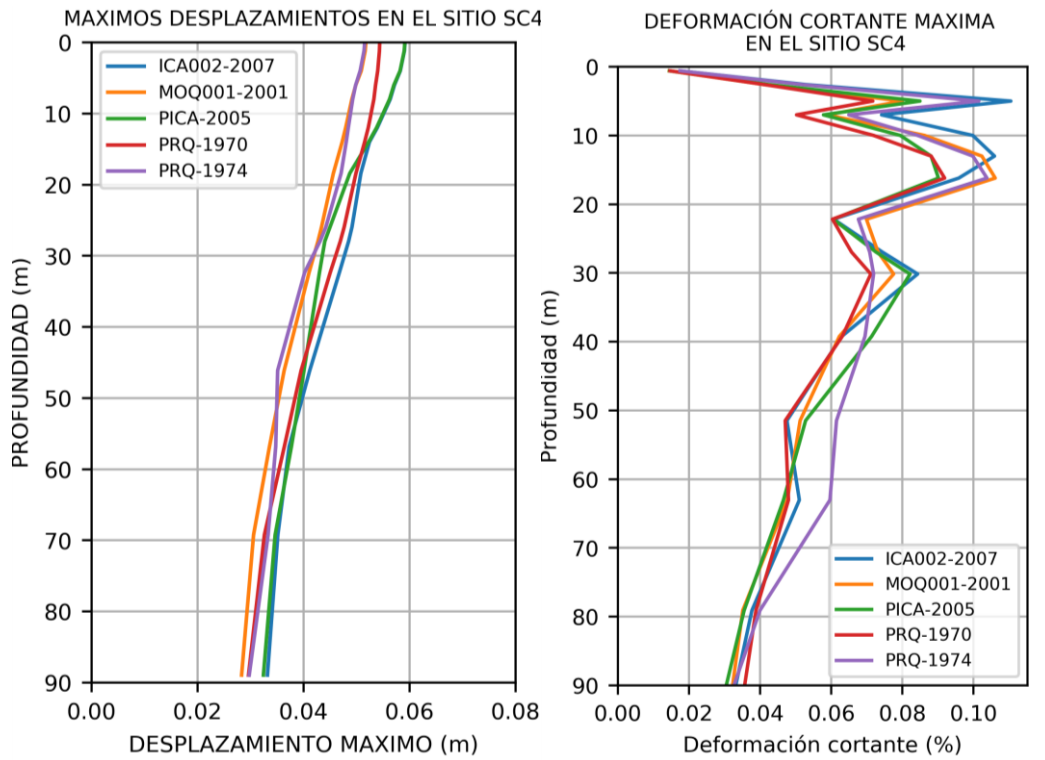
Función de transferencia obtenida en el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 108

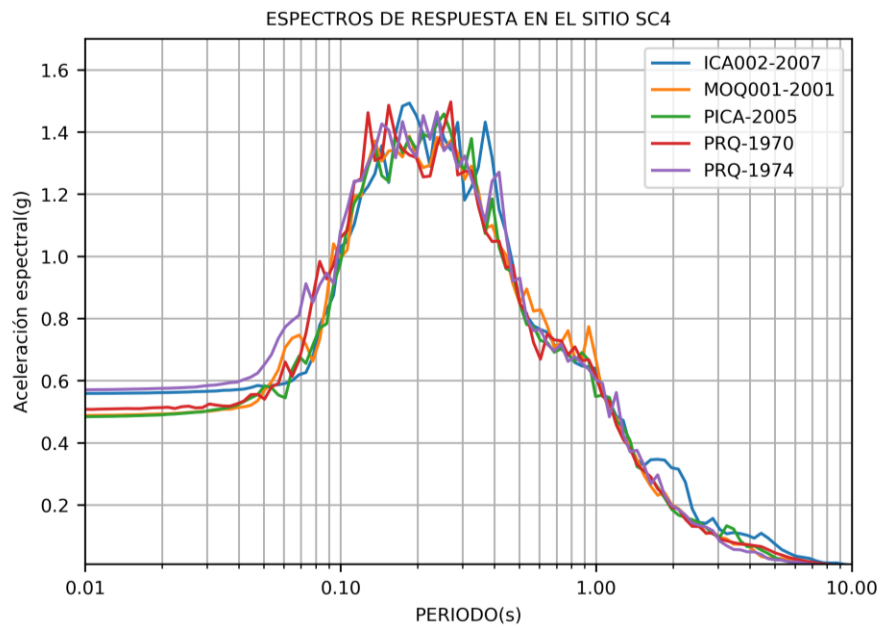
Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 109

Espectros de respuesta en el sitio SC4

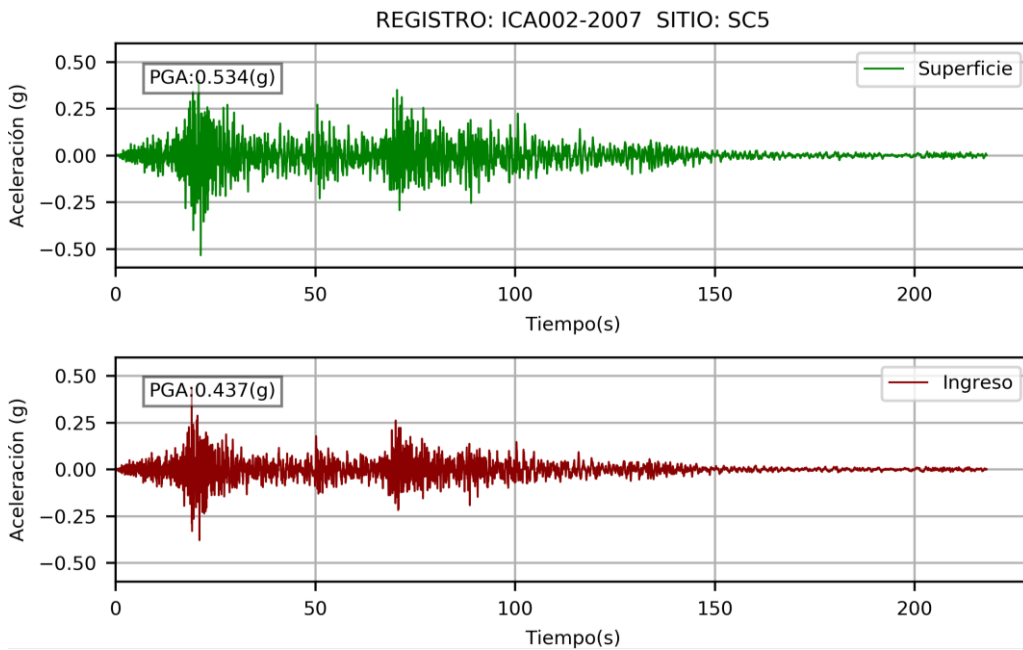


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se obtuvo los resultados correspondientes al sitio SC5.

Figura 110

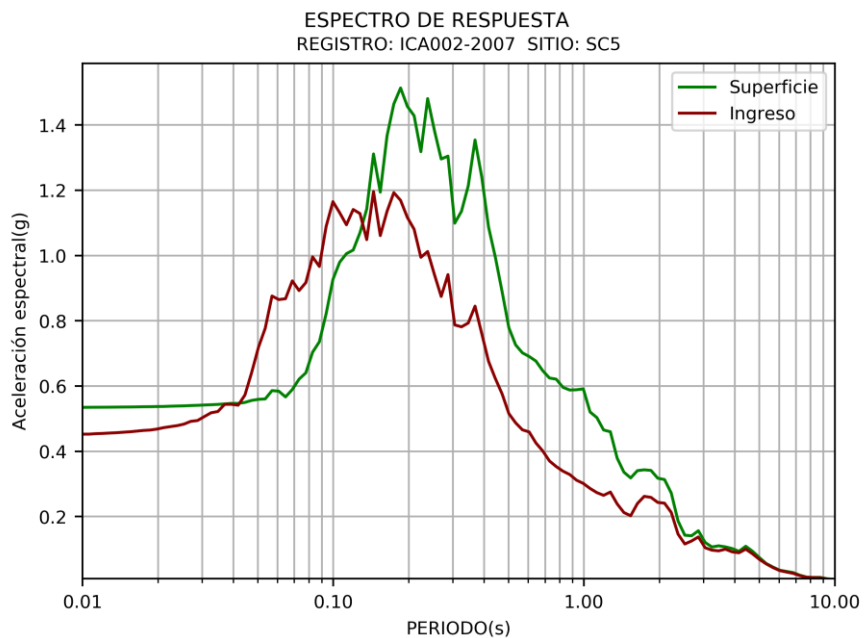
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro ICA002-2007 en el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 111

Espectro de respuesta para el registro ICA002-2007 en el sitio SC5

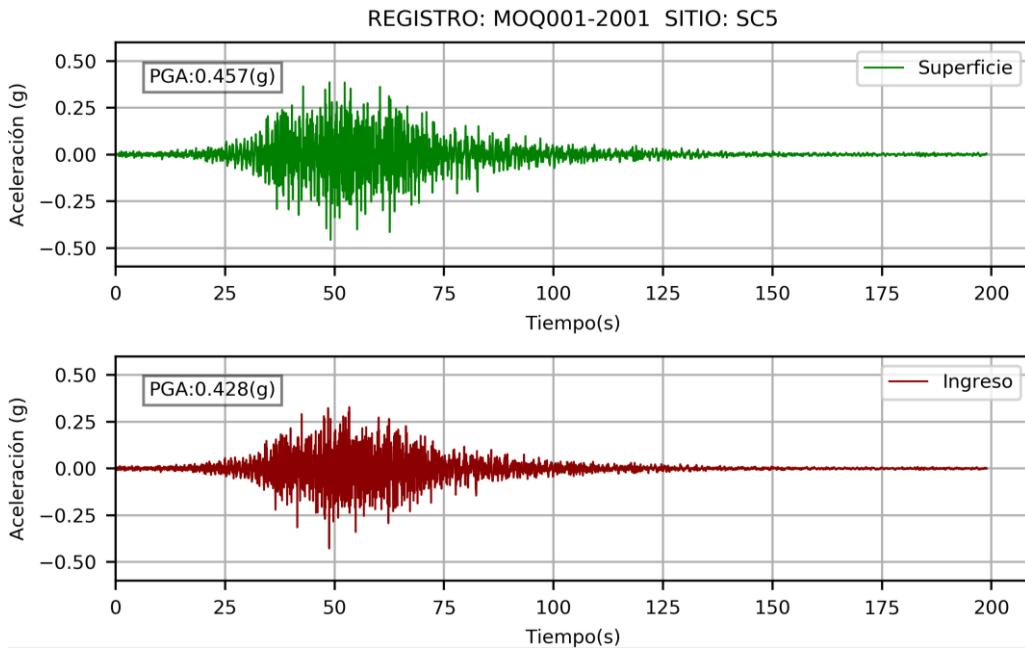


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.13s.

Figura 112

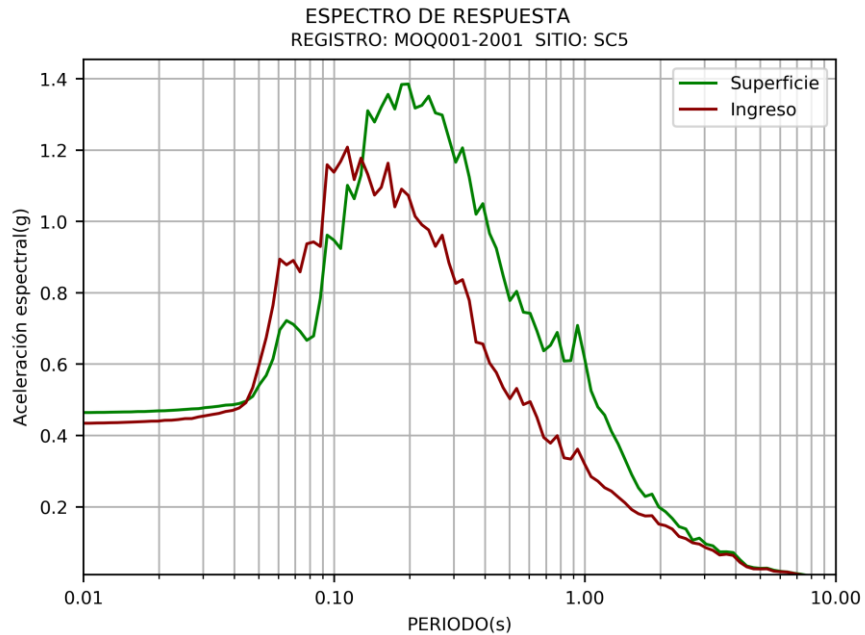
Acelerograma para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 113

Espectro de respuesta para el registro MOQ001-2001 en el sitio SC5

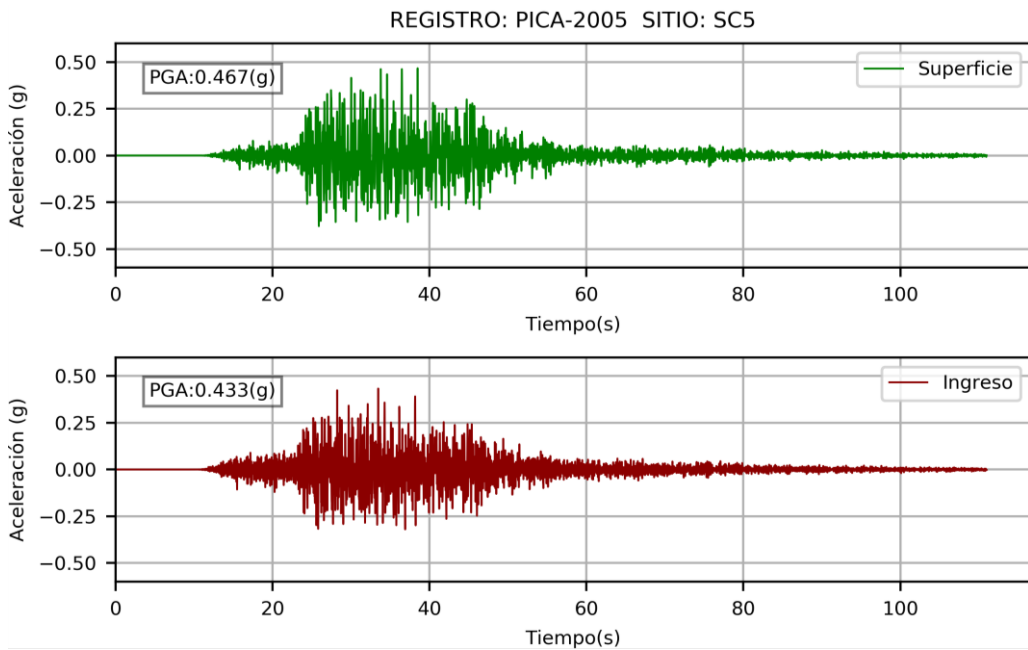


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.13s.

Figura 114

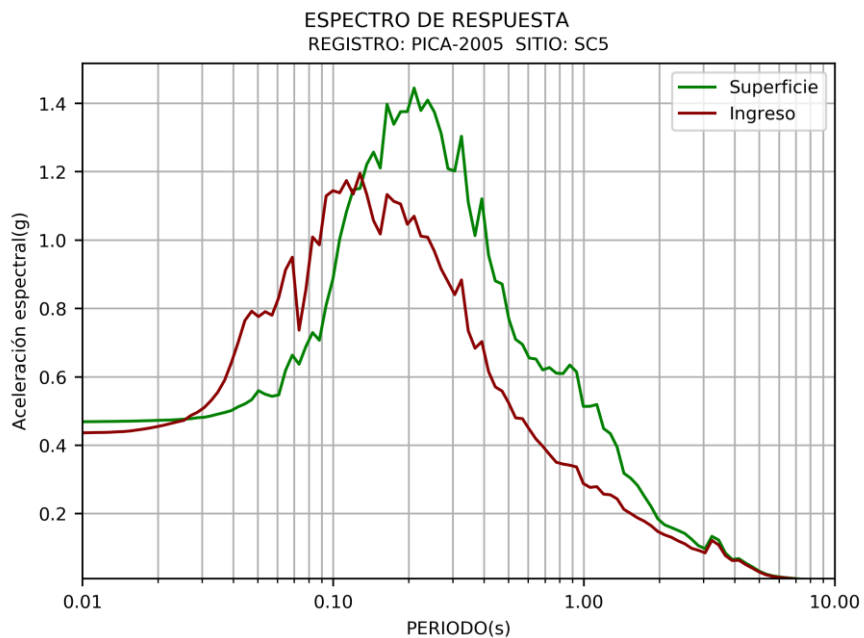
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PICA-2005 en el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 115

Espectro de respuesta para el registro PICA-2005 en el sitio SC5

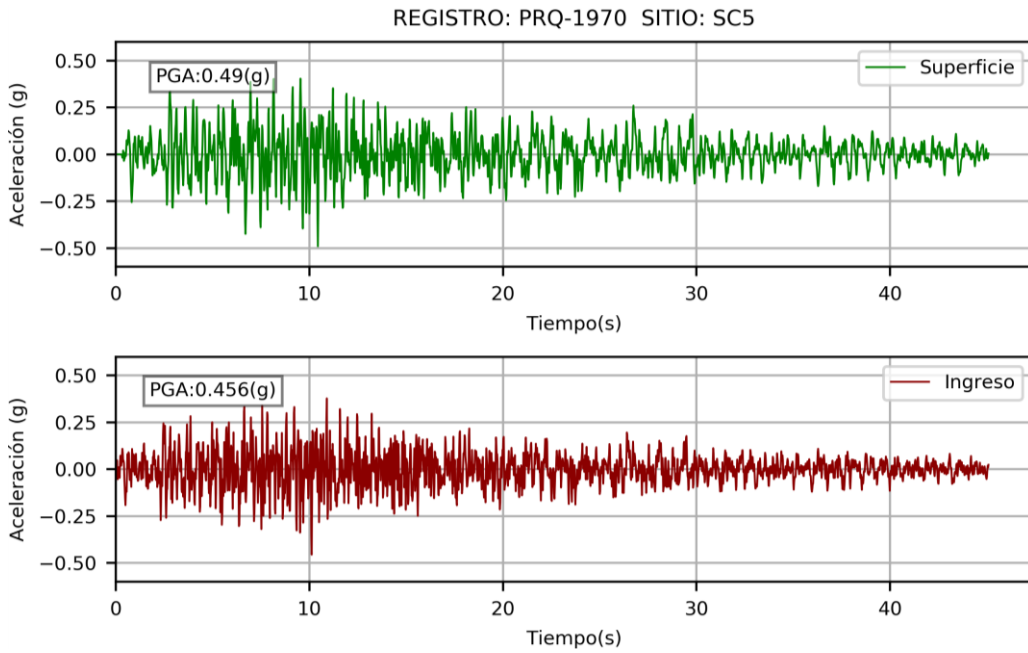


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.13s.

Figura 116

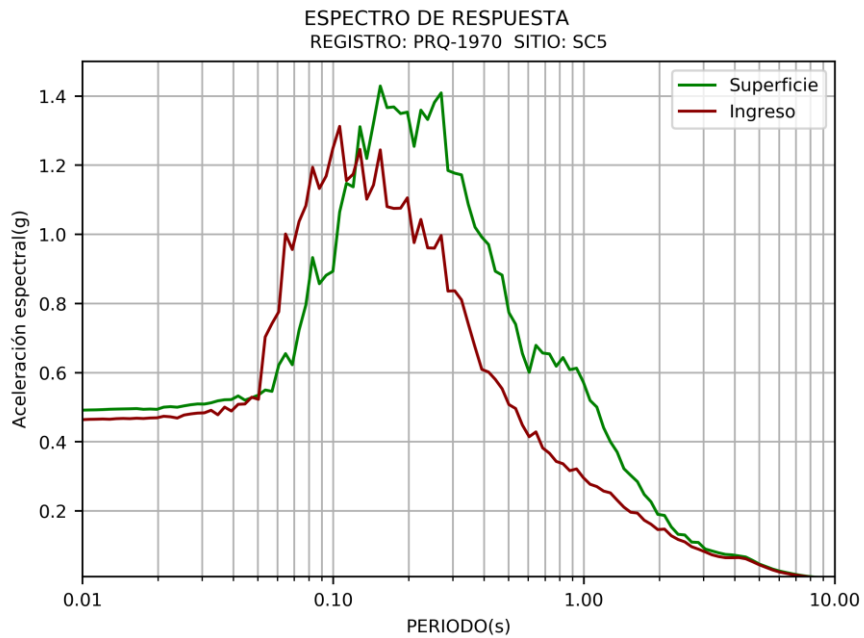
Acelerograma de ingreso y superficie para el registro PRQ-1970 en el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 117

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1970 en el sitio SC5

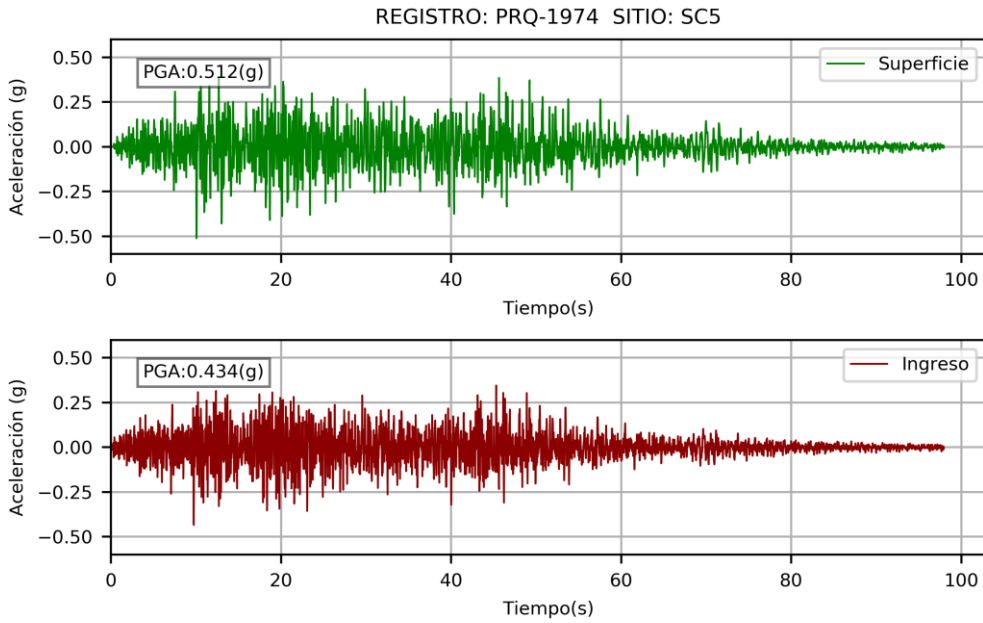


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.12s.

Figura 118

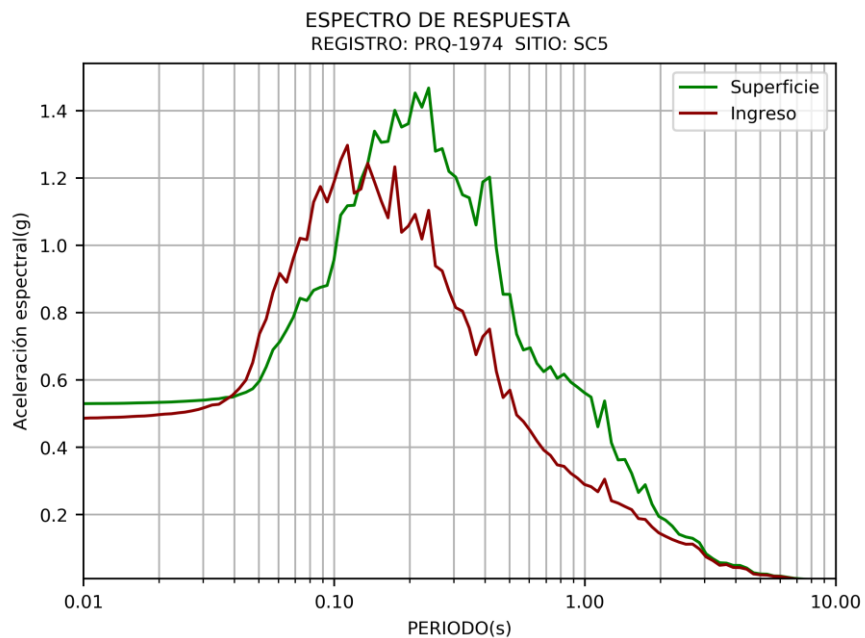
Acelerograma de ingreso y en superficie para el registro PRQ-1974 en el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 119

Espectro de respuesta para el registro PRQ-1974 en el sitio SC5

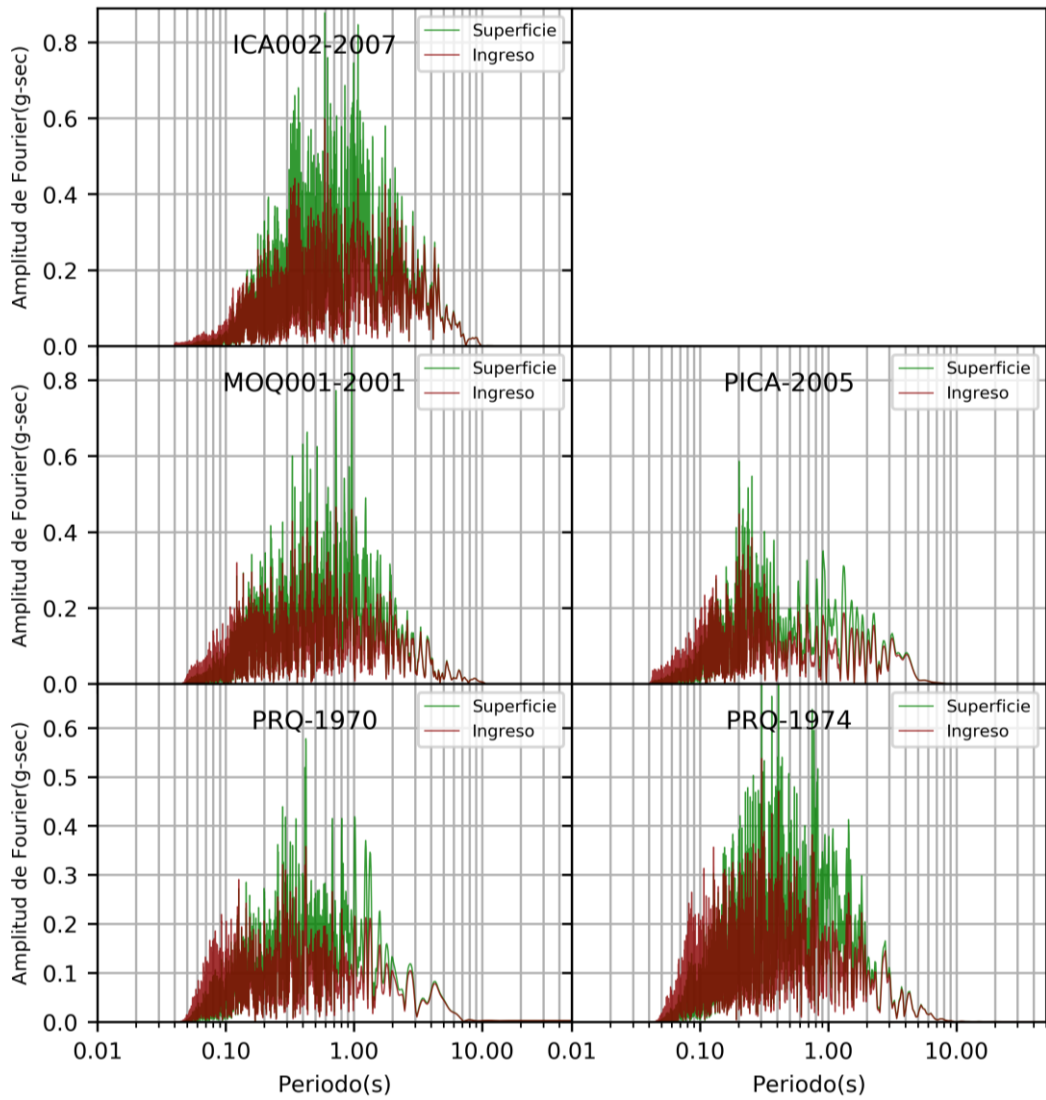


Fuente: Elaboración propia.

Se apreció que el espectro en superficie supera al de ingreso desde el periodo de 0.14s.

Figura 120

Espectros de Fourier de ingreso y en superficie en el sitio SC5

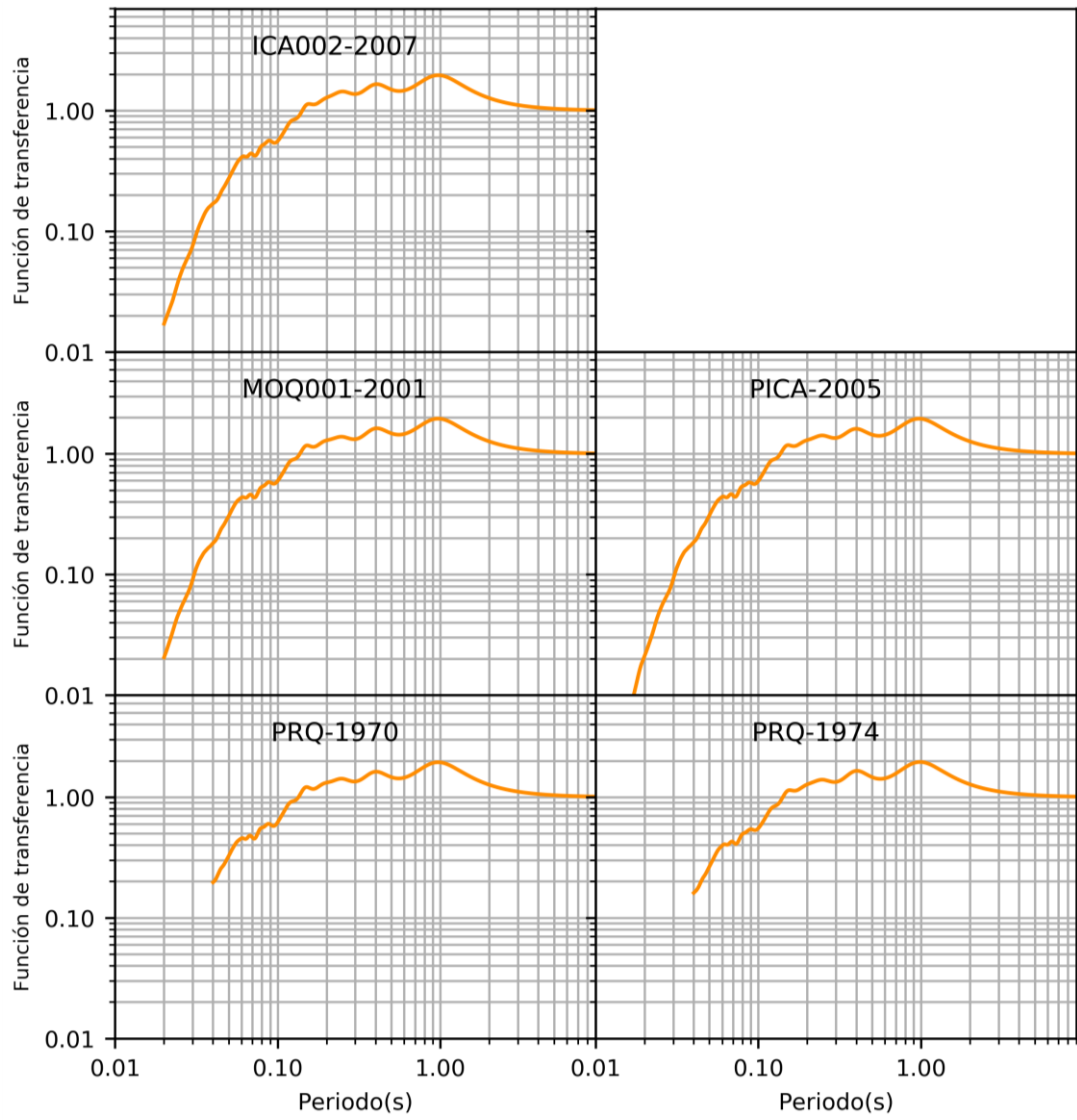


Fuente: Elaboración propia.

Las amplitudes del espectro de Fourier en superficie fueron mayores a las amplitudes del acelerograma de ingreso en el sitio SC5.

Figura 121

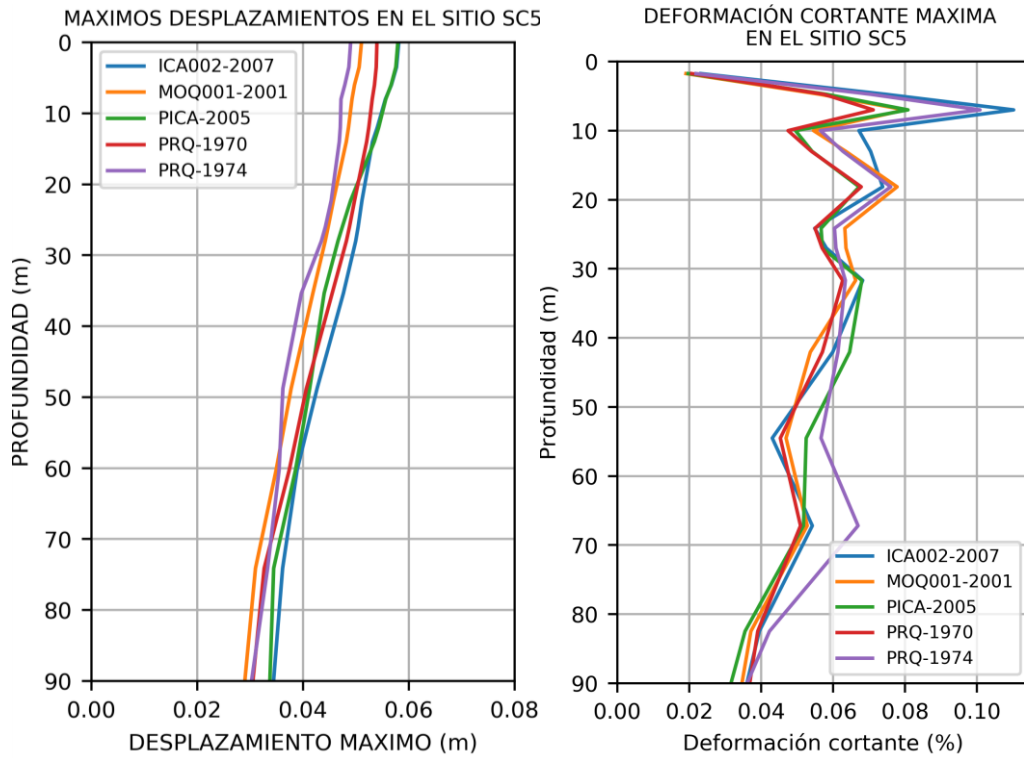
Función de transferencia obtenida en el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 122

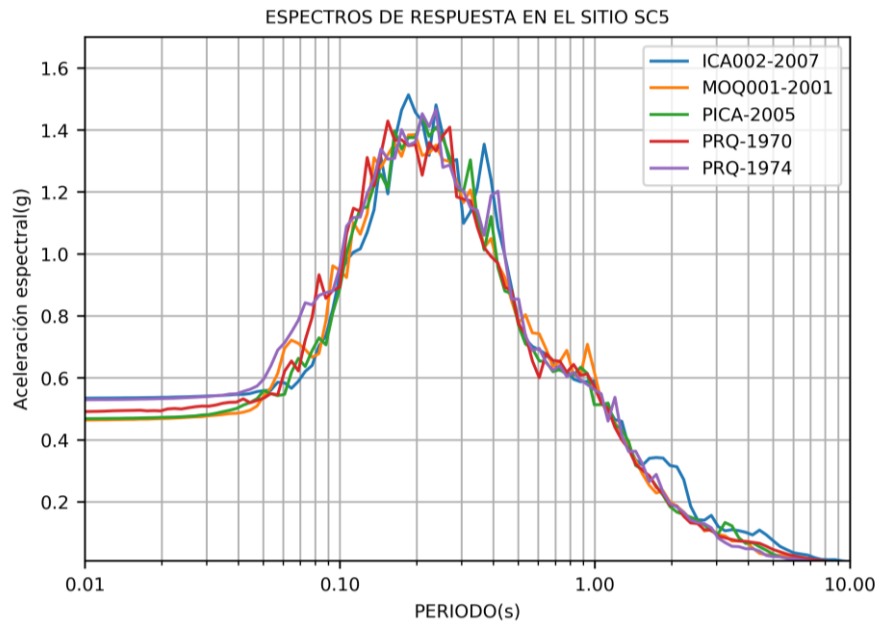
Desplazamiento máximos y deformación cortante en el sitio SC5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 123

Espectros de respuesta en el sitio SC5

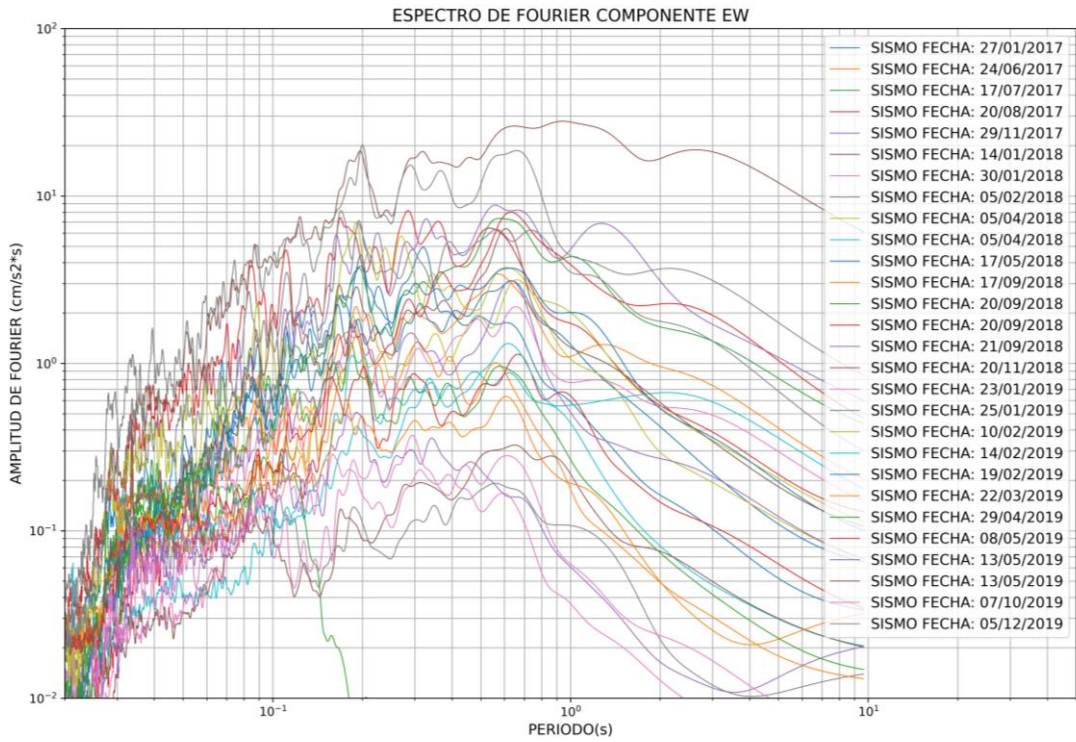


Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se calculó el cociente espectral HVSR de 28 registros sísmicos correspondientes a la estación SENCICO en Ica para una posterior comparación con las funciones de transferencia obtenidas en los perfiles.

Figura 124

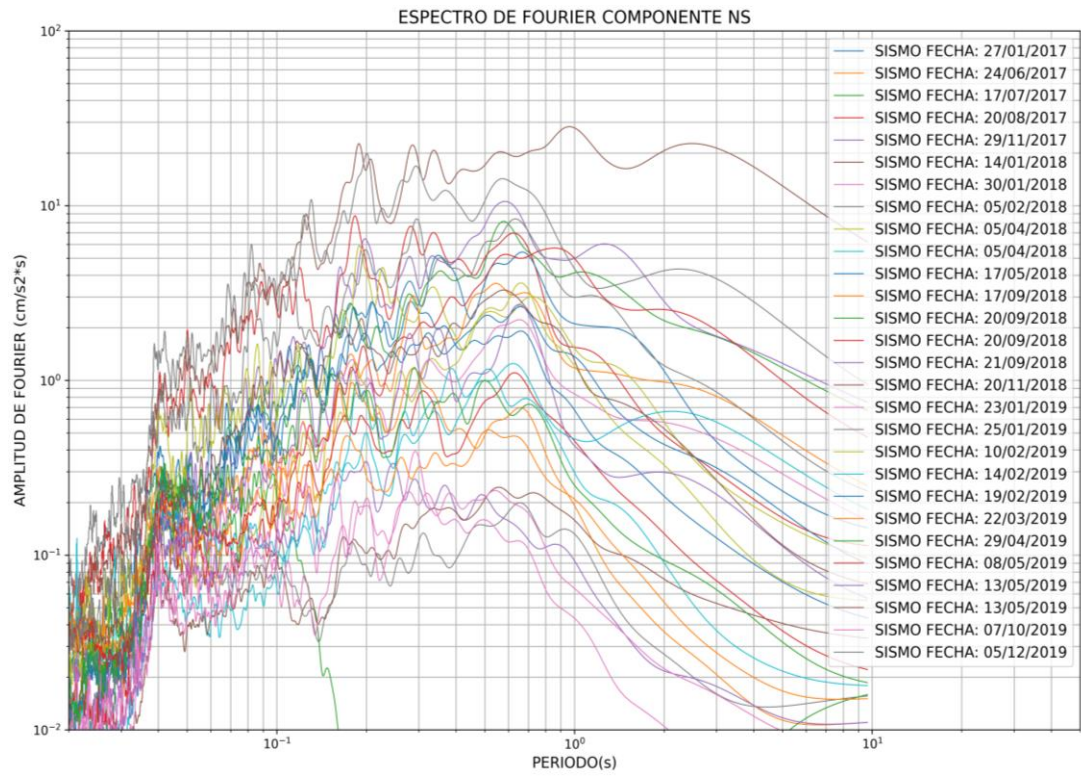
Espectro de Fourier de 28 registros sísmicos de la estación SENCICO componente EW



Fuente: Elaboración propia.

Figura 125

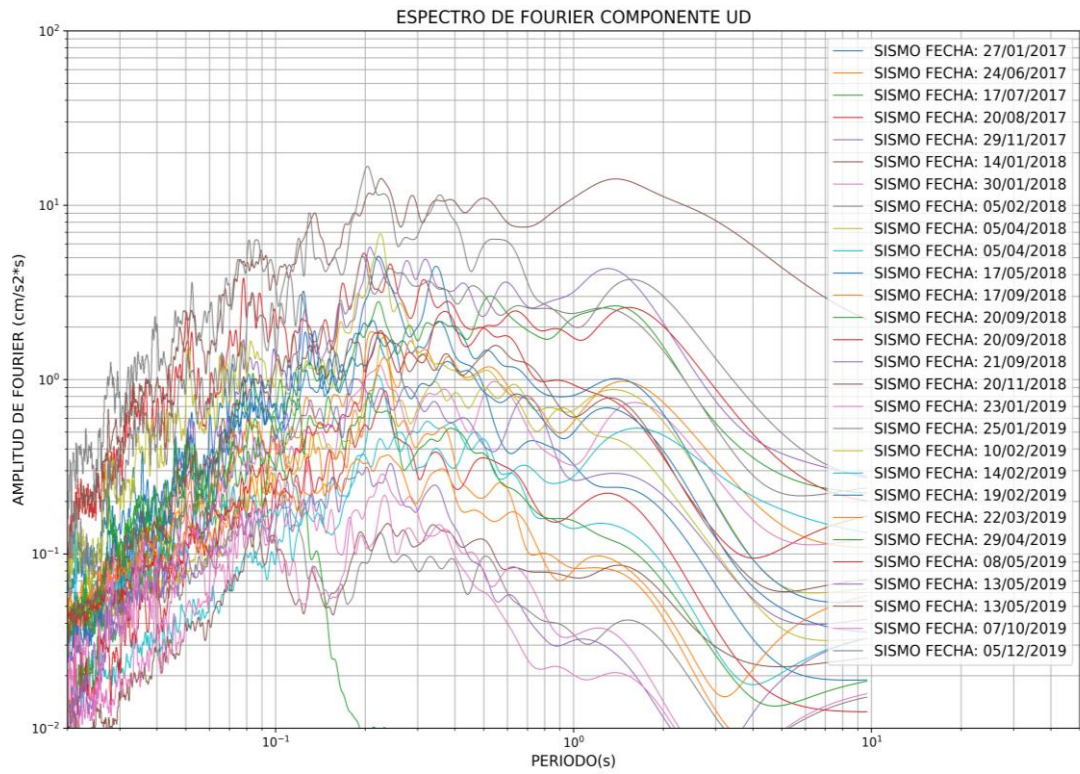
Espectros de Fourier de 28 registros sísmicos de la estación SENCICO componente NS



Fuente: Elaboración propia.

Figura 126

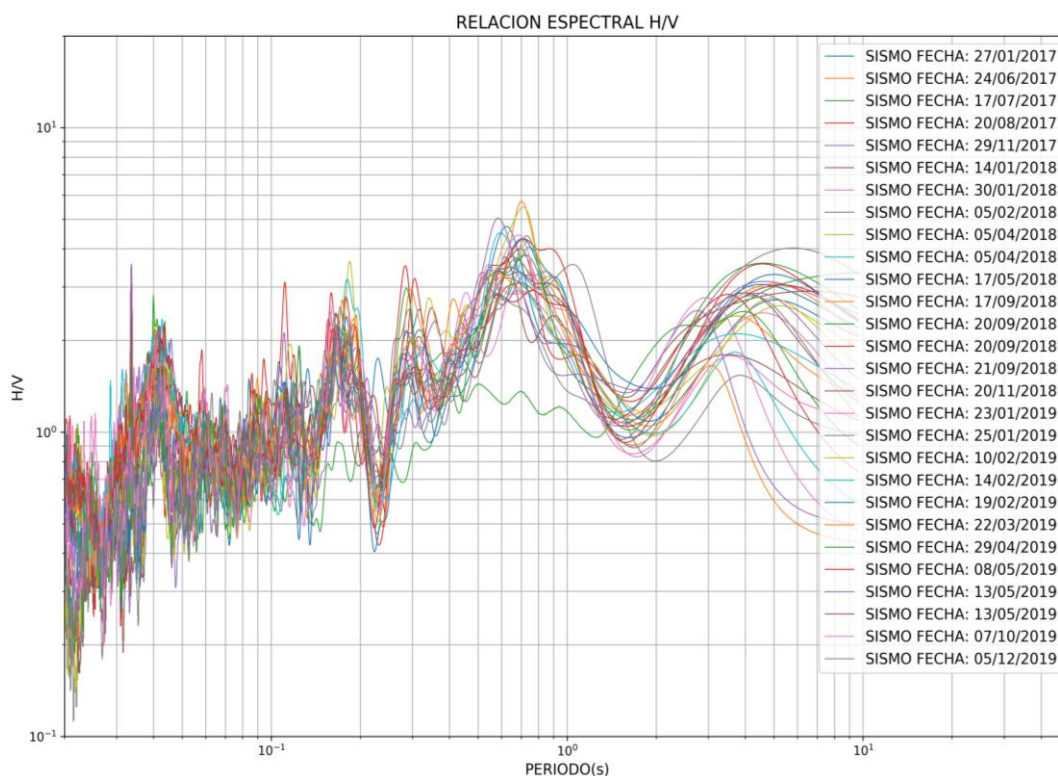
Espectros de Fourier de 28 registros sísmicos de la estación SENCICO competente UD



Fuente: Elaboración propia.

Figura 127

Cociente espectral HVSR de 28 registros de la estación SENCICO en ICA.



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo las amplitudes del espectro de Fourier de las componentes de los diferentes registros sísmicos, siendo un total de 28, pertenecientes a las estaciones de SENCICO, difieren entre sí como se mostró en las figuras anteriores siendo coherentes puesto que son diferentes eventos sísmicos, sin embargo, realizado la relación espectral HVSR se aprecia que delimitan una tendencia.

4.2. Constancia de Hipótesis general

Como se mostró en la presente tesis, el análisis de respuesta de sitio mediante el método lineal equivalente permitió convolucionar los acelerogramas ajustados al espectro de peligro uniforme hacia la superficie del suelo, para que a partir de estos se obtuvieran los espectros de respuesta en superficie, este efecto debido al análisis se aprecia en los gráficos presentados donde se comparó el espectro de respuesta del acelerograma de ingreso antes del análisis y el espectro de respuesta en superficie después del análisis, donde efectivamente tiene una influencia, conllevando a admitir lo propuesto en la hipótesis general, la aplicación del análisis de respuesta de sitio influye en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María de Ica.

4.3. Constancia de Hipótesis específicas

En los resultados se apreció la variedad en los valores de las amplitudes máximas de los espectros de respuesta, esto se debe al aporte de las características propias de los registros sísmicos empleados habiendo hecho el análisis con cinco eventos sísmicos de magnitudes grandes, apreciándose la diferencias y semejanzas en los espectros de respuesta por lo consiguiente se podría decir que se obtienen resultados que tienen tendencias similares mas no son idénticos, conllevando a admitir lo propuesto en la primera hipótesis específica, la selección de los registros sísmicos influye en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María de Ica.

Los espectros de peligro uniforme calculados permitieron ajustar los acelerogramas previamente filtrados y corregidos por línea base y así obtener un acelerograma que se ajusta a las características de un evento sísmico cuyo periodo de retorno seria correspondiente al de 475 años, con estos nuevos acelerogramas ajustados se procedió a realizar el análisis para obtener los espectros de respuesta en superficie, por lo tanto eh ahí su influencia, conllevando a admitir lo propuesto en la segunda hipótesis específica, los espectros de peligro uniforme influyen en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María de Ica.

En cada sitio se obtuvo sus propias características, desde su perfil de velocidades de ondas de corte hasta sus respectivas curvas de degradación de rigidez y relación de amortiguamiento, en los gráficos de desplazamientos máximos y deformación cortante mostrados se puede apreciar que cada uno de los sitios tiene un comportamiento único, conllevando a admitir lo propuesto en la tercera hipótesis específica, las características del sitio influyen en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María de Ica.

DISCUSIÓN

Los espectros de respuesta obtenidos se compararon con la norma E.030 del reglamento nacional de edificaciones de nuestro país.

A continuación, se muestra cómo se obtuvo el espectro de la norma E.030 (2018.)

Primero la aceleración espectral definida por la norma depende de la siguiente ecuación:

$$S_a = \frac{Z U C S}{R} g$$

El factor de zona(Z). Según el artículo 10, ítem 10.2 de la norma E.030 (2018), este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Tabla 17

Factor de zona de la norma E.030 (2018)

FACTOR DE ZONA	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: Norma E.030 (2018).

Para este estudio al encontrarnos en Ica le corresponde zona 4, entonces Z=0.45.

El factor de suelo(S) se obtiene a partir del siguiente cuadro:

Tabla 18

Clasificación de los perfiles de suelo según la norma E.030 (2018)

Perfil	Clasificación de los perfiles de suelo		
	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	>1500m/s	-	-
S_1	500m/s a 1500 m/s	>50	>100kpa
S_2	180m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kpa a 100 kpa
S_3	<180 m/s	<15	25kpa a 50 kpa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: Norma E.030 (2018).

Comparando con los VS30 obtenidos tenemos una clasificación tipo S2.

Tabla 19*Vs30 de los sitios estudiados en la presente tesis*

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5
Vs30(m/s)	331.729	327.207	306.774	280.792	278.916

Fuente: Elaboración propia.

Después ingresando a la siguiente tabla se obtendrá un valor de $S = 1.05$.**Tabla 20***Factor suelo según la norma E.030 (2018)*

Factor de suelo "S"				
Suelo/Zona	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.8	1.0	1.05	1.1
Z_3	0.8	1.0	1.15	1.2
Z_2	0.8	1.0	1.20	1.4
Z_1	0.8	1.0	1.60	2.0

Fuente: Norma E.030 (2018).

Tabla 21*Periodo según la norma E.030 (2018)*

	Períodos " T_P " y " T_L "			
	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_P(S)$	0.3	0.4	0.6	1.0
$T_L(S)$	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma E.030 (2018).

El factor U y el factor de reducción (R) no participaría pues estamos evaluando a nivel de la superficie del suelo, no de la respuesta estructural. El factor C va ir variando de acuerdo a los periodos.

$$T < T_P \quad C = 2.5$$

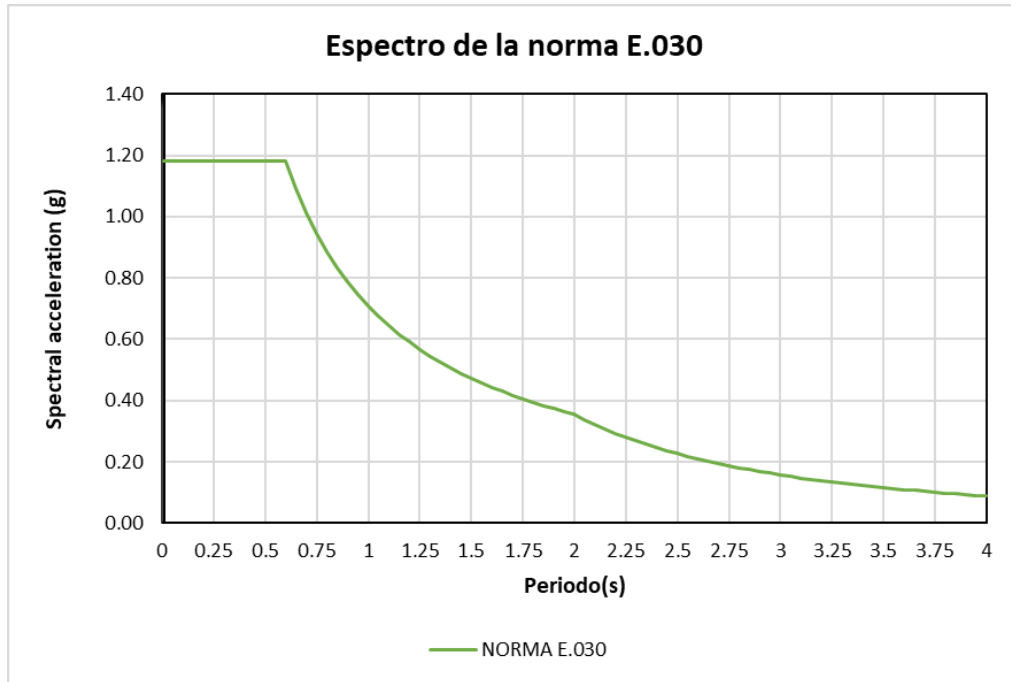
$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 \frac{T_P}{T}$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \frac{T_P T_L}{T}$$

A continuación, se muestra su gráfica:

Figura 128

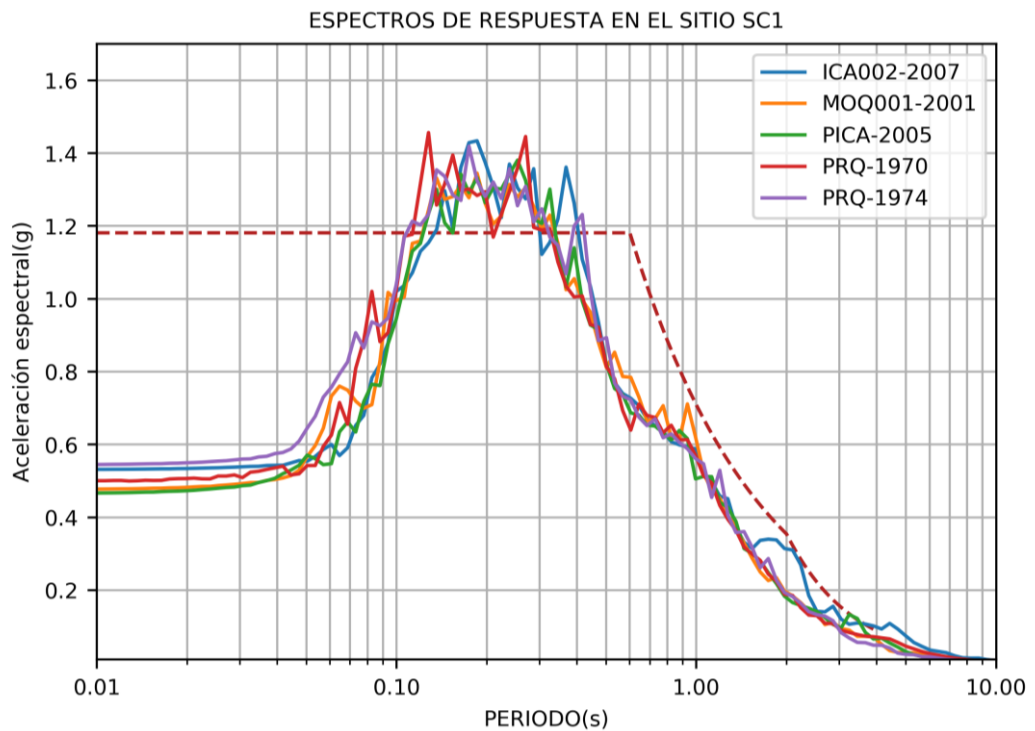
Espectro de la norma E.030 (2018)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 129

Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC1 con la norma E.030

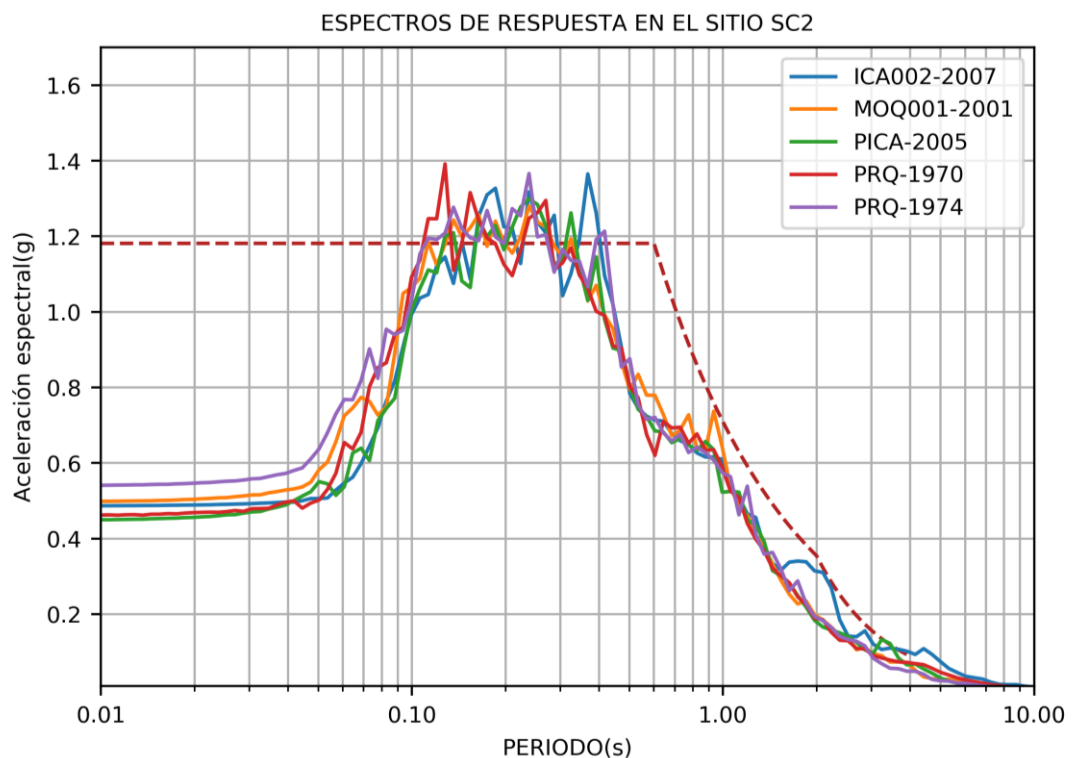


Fuente: Elaboración propia.

Para el sitio SC1, los espectros de respuesta calculados fueron envueltos por el espectro de aceleración de la norma E.030 (2018) excepto en el rango de periodos de 0.12s a 0.41s superando en amplitudes el valor de 1.18g que delimita la norma.

Figura 130

Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC2 con la norma E.030-2018

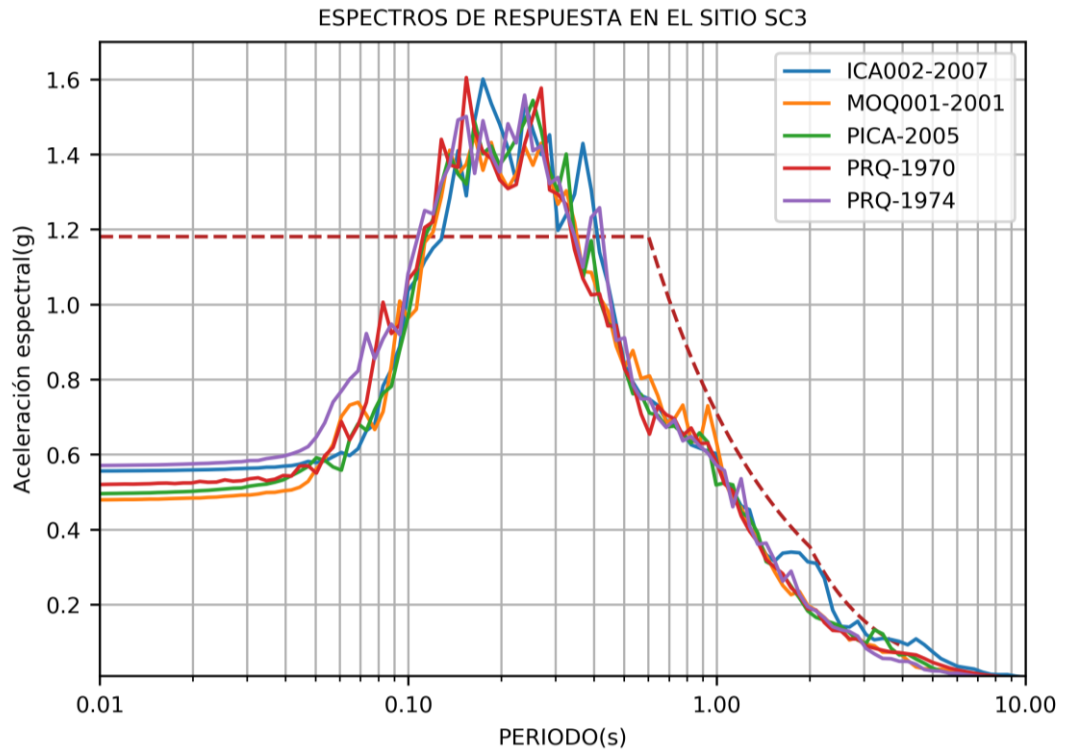


Fuente: Elaboración propia.

Para el sitio SC2, los espectros de respuesta calculados fueron envueltos por el espectro de aceleración de la norma E.030 (2018) excepto en el rango de periodos de 0.11s a 0.40s superando en amplitudes el valor de 1.18g que delimita la norma.

Figura 131

Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC3 con la norma E.030 (2018)

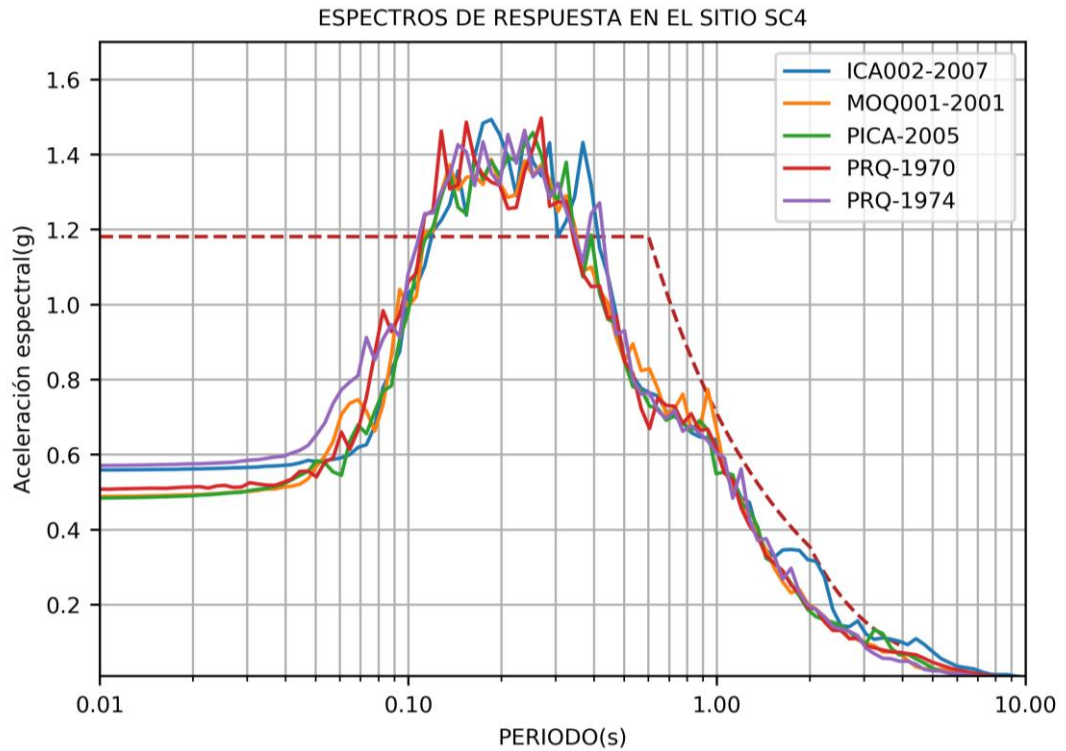


Fuente: Elaboración propia.

Para el sitio SC3, los espectros de respuesta calculados fueron envueltos por el espectro de aceleración de la norma E.030 (2018) excepto en el rango de periodos de 0.12s a 0.41s superando en amplitudes el valor de 1.18g que delimita la norma.

Figura 132

Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SC4 con la norma E.0.30-2018

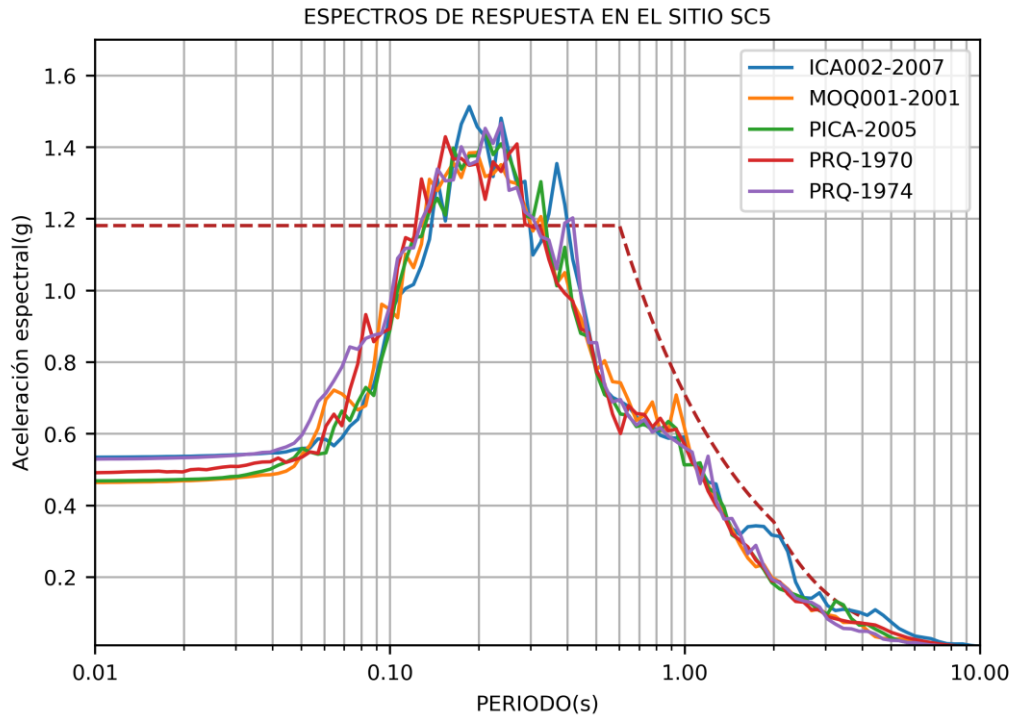


Fuente: Elaboración propia.

Para el sitio SC4, los espectros de respuesta calculados fueron envueltos por el espectro de aceleración de la norma E.030 (2018) excepto en el rango de periodos de 0.12s a 0.41s superando en amplitudes el valor de 1.18g que delimita la norma.

Figura 133

Comparación de los espectros de respuesta en el sitio SCC5 con la norma E.030 (2018)



Fuente: Elaboración propia.

Para el sitio SC5, los espectros de respuesta calculados fueron envueltos por el espectro de aceleración de la norma E.030 (2018) excepto en el rango de periodos de 0.13s a 0.40s superando en amplitudes el valor de 1.18g que delimita la norma.

Tabla 22

Aceleración espectral máxima de los espectros de respuesta para los sitios de estudio en la presente tesis

Sitio	Etiqueta	Periodo(s)	Aceleración espectral máxima(g)	Media	Desviación estándar
SC1	ICA002-2007	0.186	1.434		
SC1	MOQ001-2001	0.186	1.345		
SC1	PICA-2005	0.253	1.381	1.407	0.044142
SC1	PRQ-1970	0.128	1.456		
SC1	PRQ-1974	0.174	1.419		
SC2	ICA002-2007	0.368	1.365		
SC2	MOQ001-2001	0.238	1.28		
SC2	PICA-2005	0.238	1.299	1.3402	0.047913
SC2	PRQ-1970	0.128	1.391		
SC2	PRQ-1974	0.238	1.366		
SC3	ICA002-2007	0.174	1.601		
SC3	MOQ001-2001	0.164	1.451		
SC3	PICA-2005	0.253	1.544	1.5518	0.062271
SC3	PRQ-1970	0.154	1.605		
SC3	PRQ-1974	0.238	1.558		
SC4	ICA002-2007	0.186	1.493		
SC4	MOQ001-2001	0.186	1.387		
SC4	PICA-2005	0.253	1.459	1.4602	0.044195
SC4	PRQ-1970	0.269	1.497		
SC4	PRQ-1974	0.238	1.465		
SC5	ICA002-2007	0.186	1.514		
SC5	MOQ001-2001	0.197	1.385		
SC5	PICA-2005	0.21	1.445	1.448	0.047582
SC5	PRQ-1970	0.154	1.429		
SC5	PRQ-1974	0.238	1.467		

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla, el sitio SC3 fue el que dio como resultado el mayor valor de aceleración espectral máxima con 1.5518 g, el sitio SC2 fue el que obtuvo el menor valor con 1.3402 g, de los sitios restante el SC4 y el SC5 obtuvieron valores muy cercanos de 1.4602g y 1.448g, conjuntamente con SC1 cuyo valor fue de 1.407g.

Tabla 23*PGA máximo para los sitios de estudio en la presente tesis*

Sitio	Etiqueta	Time(s)	PGA máximo(g)	Media	Desviación estándar
SC1	ICA002-2007	21.31	0.529		
SC1	MOQ001-2001	49.1	0.472		
SC1	PICA-2005	33.79	0.464	0.4998	0.033417
SC1	PRQ-1970	10.44	0.495		
SC1	PRQ-1974	10.06	0.539		
SC2	ICA002-2007	21.29	0.486		
SC2	MOQ001-2001	49.09	0.497		
SC2	PICA-2005	33.775	0.447	0.4816	0.028997
SC2	PRQ-1970	10.42	0.459		
SC2	PRQ-1974	10.04	0.519		
SC3	ICA002-2007	21.31	0.551		
SC3	MOQ001-2001	49.11	0.477		
SC3	PICA-2005	33.795	0.493	0.5182	0.037599
SC3	PRQ-1970	10.44	0.506		
SC3	PRQ-1974	10.08	0.564		
SC4	ICA002-2007	21.31	0.555		
SC4	MOQ001-2001	49.11	0.486		
SC4	PICA-2005	38.495	0.483	0.5162	0.038101
SC4	PRQ-1970	10.44	0.497		
SC4	PRQ-1974	10.08	0.56		
SC5	ICA002-2007	21.31	0.534		
SC5	MOQ001-2001	49.1	0.457		
SC5	PICA-2005	38.49	0.467	0.492	0.031694
SC5	PRQ-1970	10.44	0.49		
SC5	PRQ-1974	10.06	0.512		

Fuente: Elaboración propia.

Como lo mostrado en la tabla, el sitio SC3 fue el que dio como resultado el mayor valor de PGA con 0.518 g, el sitio SC2 fue el que obtuvo el menor valor con 0.481 g, los sitios como SC1, SC4 y SC5 llegaron obtenerse un PGA cercano entre sí de 0.4998 g, 0.5162g y 0.492 g. En contraste con los espectros de respuesta los sitios SC3 y SC2 volvieron a dar el valor máximo y mínimo también en el comparativa de PGA.

Tabla 24*Desplazamiento máximos para los sitios de estudio en la presente tesis*

Sitio	Etiqueta	Profundidad a la que se encontró (m)	Desplazamiento Máximo(m)	Media	Desviación estándar
SC1	ICA002-2007	0	0.057742		
SC1	MOQ001-2001	0	0.050509		
SC1	PICA-2005	0	0.057849	0.053823	0.00393
SC1	PRQ-1970	0	0.053577		
SC1	PRQ-1974	0	0.049435		
SC2	ICA002-2007	0	0.056549		
SC2	MOQ001-2001	0	0.049612		
SC2	PICA-2005	0	0.055199	0.052151	0.00370
SC2	PRQ-1970	0	0.051652		
SC2	PRQ-1974	0	0.047742		
SC3	ICA002-2007	0	0.058297		
SC3	MOQ001-2001	0	0.050934		
SC3	PICA-2005	0	0.058629	0.054609	0.00378
SC3	PRQ-1970	0	0.054291		
SC3	PRQ-1974	0	0.050892		
SC4	ICA002-2007	0	0.059148		
SC4	MOQ001-2001	0	0.051761		
SC4	PICA-2005	0	0.059121	0.055191	0.00377
SC4	PRQ-1970	0	0.054379		
SC4	PRQ-1974	0	0.051547		
SC5	ICA002-2007	0	0.058111		
SC5	MOQ001-2001	0	0.051065		
SC5	PICA-2005	0	0.05794	0.054023	0.00406
SC5	PRQ-1970	0	0.053984		
SC5	PRQ-1974	0	0.049017		

Fuente: Elaboración propia.

Como se apreció en la tabla, el sitio SC4 fue el que dio como resultado el mayor valor desplazamiento máximo con 5.52 cm, el sitio SC2 fue el que obtuvo el menor valor con 5.21 cm, los sitios restantes SC1, SC3 y el SC5 obtuvieron valores muy cercanos de 5.38 cm, 5.46 cm, 5.40 cm respectivamente, es de mencionar que estos desplazamientos máximos se presentaron a una profundidad de cero metros ósea en la superficie del suelo, la variación de los desplazamientos máximos a lo largo del perfil se puede apreciar en la sección de presentación de resultados.

Tabla 25*Deformación cortante máxima para los sitios de estudio en la presente tesis*

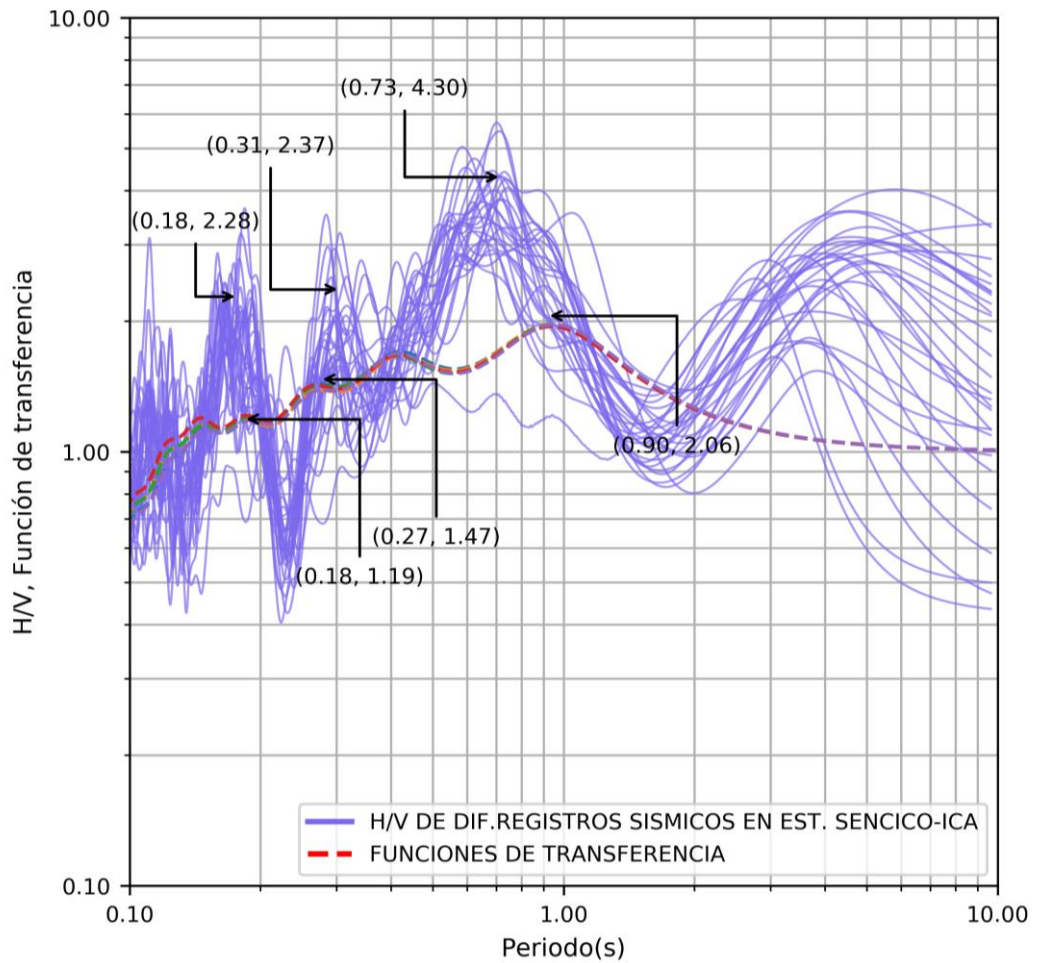
Sitio	Etiqueta	Profundidad(m)	Deformación cortante máxima (%)
SC1	ICA002-2007	7	0.0894802
SC1	MOQ001-2001	17.91	0.0881595
SC1	PICA-2005	17.91	0.0764252
SC1	PRQ-1970	17.91	0.0751458
SC1	PRQ-1974	17.91	0.0859881
SC2	ICA002-2007	17.355	0.0925341
SC2	MOQ001-2001	17.355	0.0924164
SC2	PICA-2005	17.355	0.0797171
SC2	PRQ-1970	17.355	0.0807816
SC2	PRQ-1974	17.355	0.08702
SC3	ICA002-2007	5	0.1259776
SC3	MOQ001-2001	16.15	0.1024049
SC3	PICA-2005	5	0.0999888
SC3	PRQ-1970	16.15	0.0845297
SC3	PRQ-1974	5	0.1153353
SC4	ICA002-2007	5	0.1104808
SC4	MOQ001-2001	16.2	0.1060884
SC4	PICA-2005	16.2	0.0901305
SC4	PRQ-1970	16.2	0.0918731
SC4	PRQ-1974	16.2	0.1037722
SC5	ICA002-2007	7	0.1101706
SC5	MOQ001-2001	7	0.080028
SC5	PICA-2005	7	0.0808203
SC5	PRQ-1970	7	0.0711553
SC5	PRQ-1974	7	0.1008259

Fuente: Elaboración propia.

Como lo mostrado en la tabla, para el sitio SC1 la máxima deformación cortante obtenida predominantemente se encuentra a los 17.91 m de profundidad, para el sitio SC2 a los 17.355 m, en cambio para el sitio SC3 se aprecia dos posibles profundidades máximas predominantes a 5 m y a 16.15m, para SC4 a 16.2 m y finalmente para SC5 a 7 m de profundidad.

Figura 134

Comparación de las funciones de transferencias en el sitio SC1 con el HVSR de registros sísmicos de la estación SENCICO en Ica

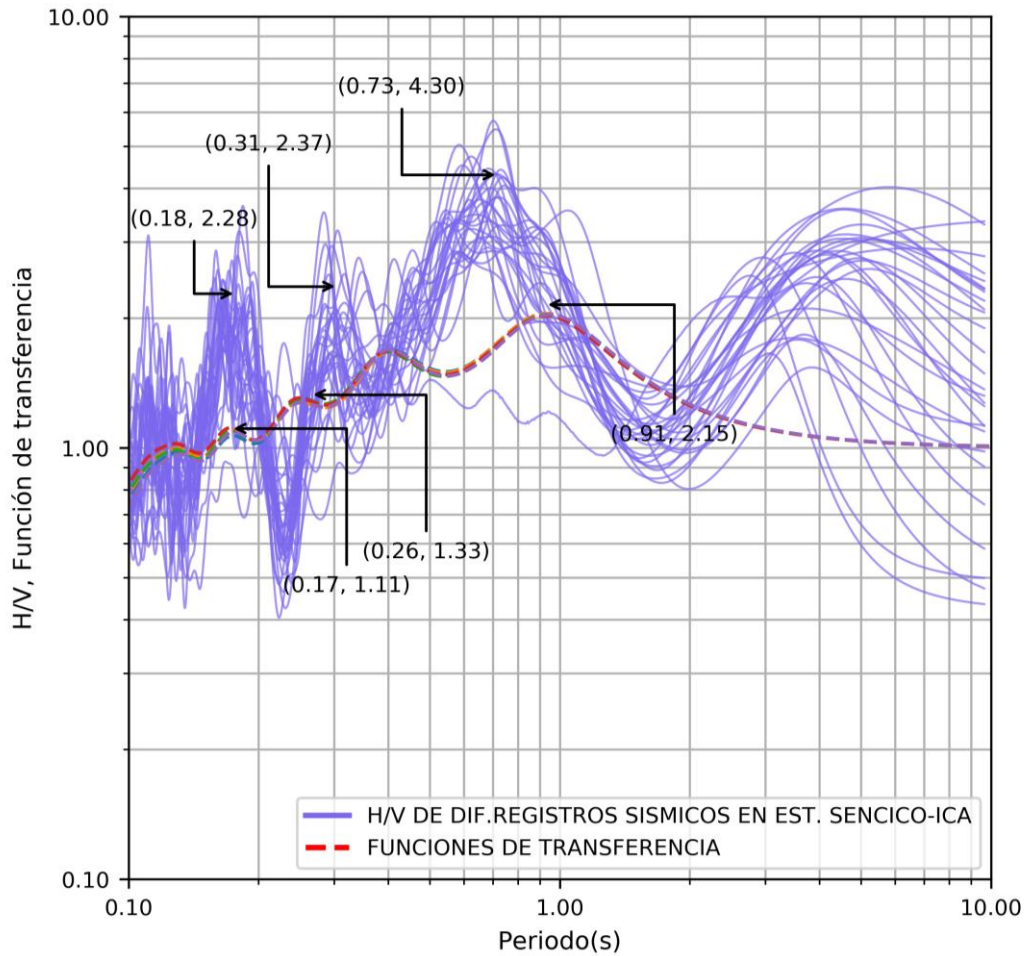


Fuente: Elaboración propia.

De las figuras presentadas, se apreció una similitud entre el HVSR de los registros sísmicos en la estación de SENCICO en Ica y las funciones de transferencia especialmente en los periodos de 0.73 con 0.9, 0.31 con 0.27 y 0.18 con 0.18 en el sitio SC1.

Figura 135

Comparación de las funciones de transferencias en el sitio SC2 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en Ica

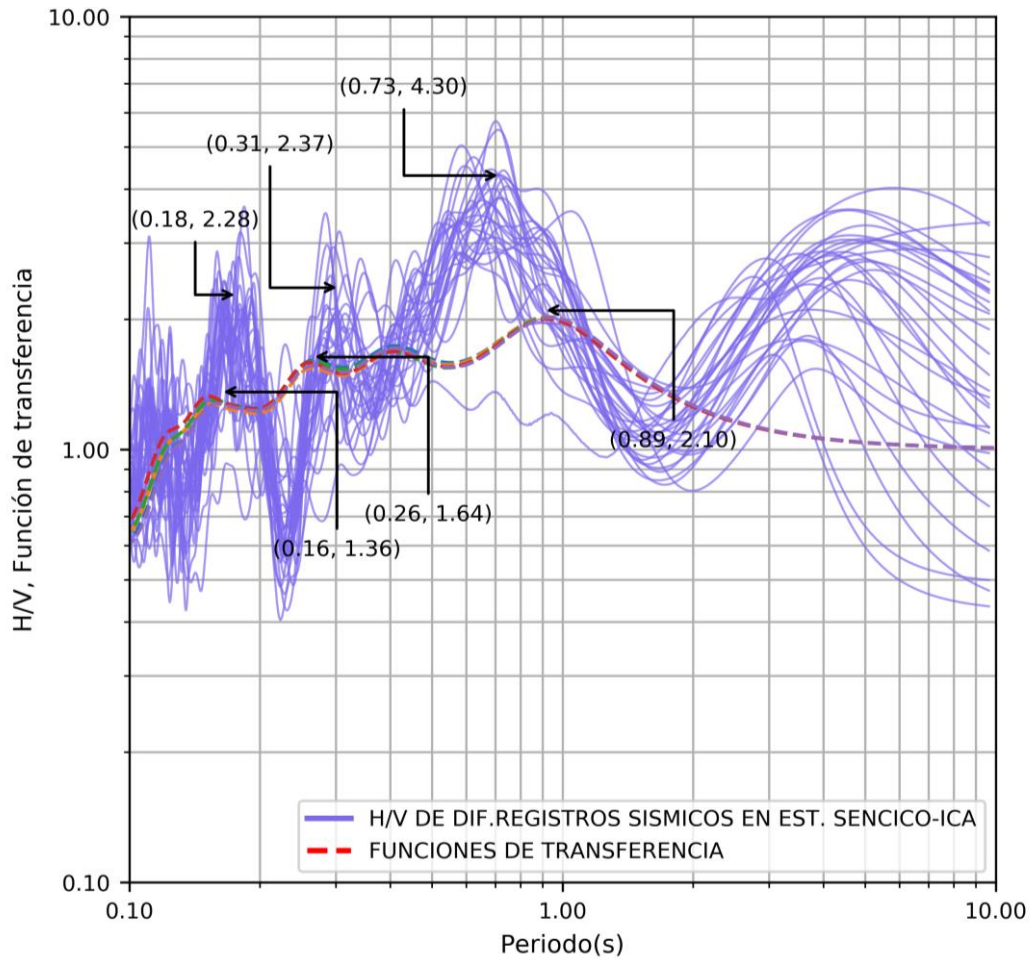


Fuente: Elaboración propia.

De las figuras presentadas, se apreció una similitud entre el HVSR de los registros sísmicos en la estación de SENCICO en Ica y las funciones de transferencia especialmente en los periodos de 0.73 con 0.91, 0.31 con 0.26 y 0.18 con 0.17 en el sitio SC2.

Figura 136

Comparación de las funciones de transferencia en el sitio SC3 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en Ica

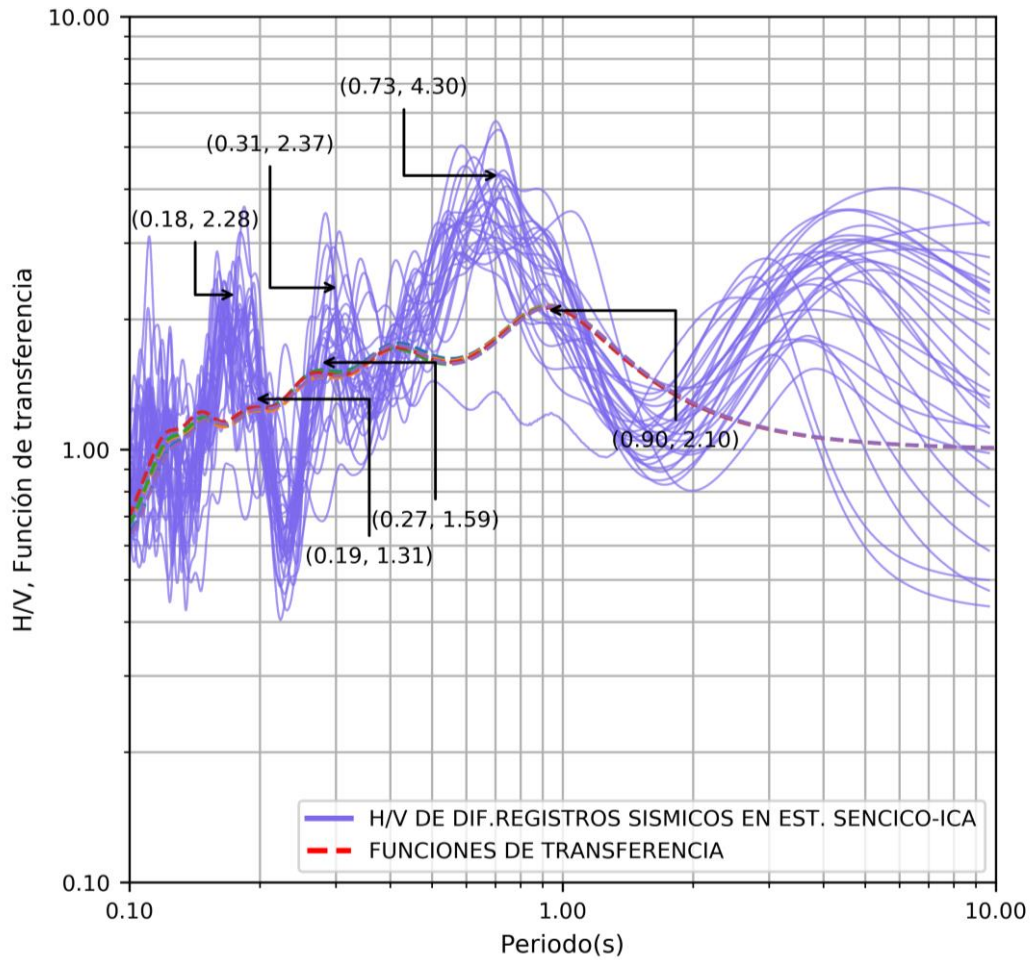


Fuente: Elaboración propia.

De las figuras presentadas, se apreció una similitud entre el HVSR de los registros sísmicos en la estación de SENCICO en Ica y las funciones de transferencia especialmente en los periodos de 0.73 con 0.89, 0.31 con 0.26 y 0.18 con 0.16 en el sitio SC3.

Figura 137

Comparación de las funciones de transferencia en el sitio SC4 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en Ica

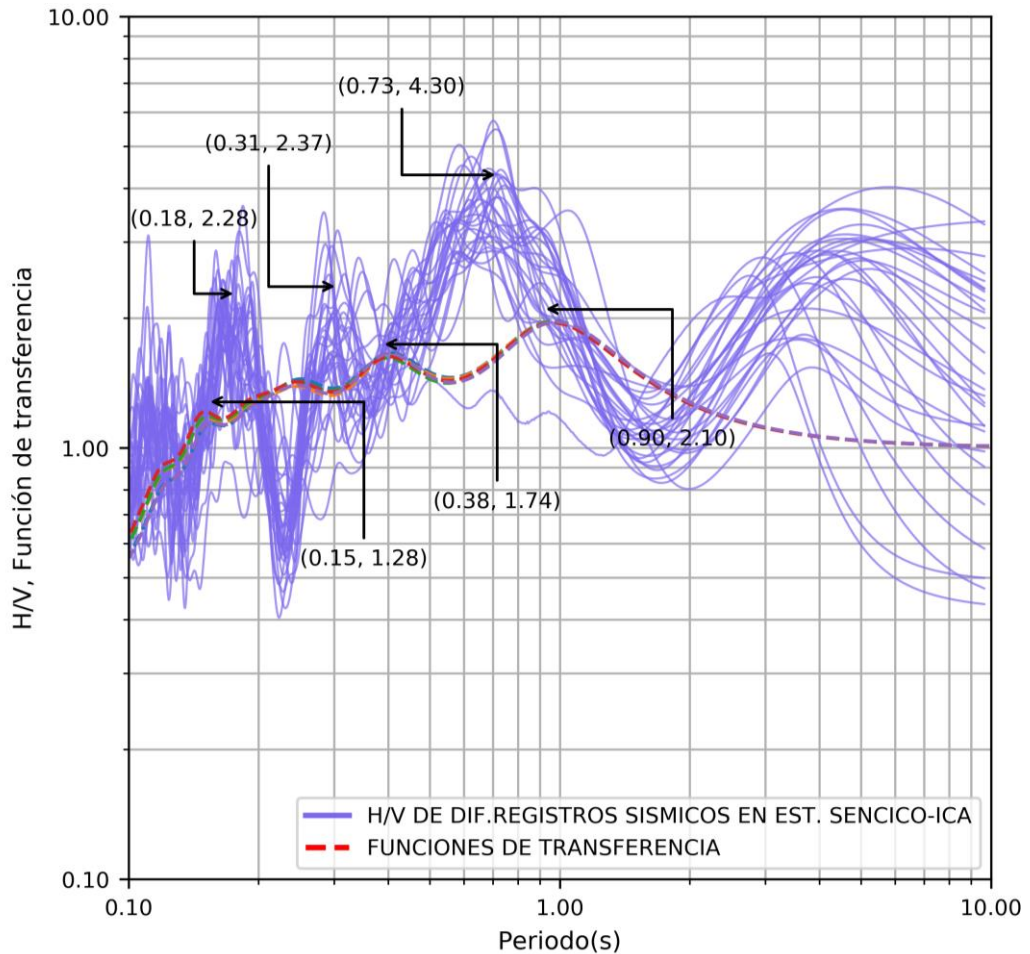


Fuente: Elaboración propia.

De las figuras presentadas, se apreció una similitud entre el HVSR de los registros sísmicos en la estación de SENCICO en Ica y las funciones de transferencia especialmente en los periodos de 0.73 con 0.90, 0.31 con 0.27 y 0.18 con 0.19 en el sitio SC4.

Figura 138

Comparación de las funciones de transferencia en el sitio SC5 con el HVSR de registros sísmicos en la estación SENCICO en ICA



Fuente: Elaboración propia.

De las figuras presentadas, se apreció una similitud entre el HVSR de los registros sísmicos en la estación de SENCICO en Ica y las funciones de transferencia especialmente en los periodos de 0.73 con 0.90, 0.31 con 0.38 y 0.18 con 0.15 en el sitio SC5.

Cabe mencionar las diferencias entre las curvas comparadas. Primeramente, el nivel de deformaciones, la curva de la función de transferencia estaría relacionada a mayores deformaciones en comparación con las curvas de la relación HVSR, ya que estas últimas son registros de sismos de baja a mediana magnitudes. Segundo la profundidad, la curva de función de transferencia representa la relación espectral de un espectro de superficie con el espectro de ingreso el cual se definió a una profundidad aproximada de los 90 m, en cambio la

relación HVSR realiza la relación de espectro de Fourier, en un registro sísmico, de sus componentes horizontales entre los verticales del acelerógrafo que está instalado en la superficie, los cuales han registrado ondas que viajan desde la profundidad del epicentro del sismo hacia este, cuya relación es representativa de una mayor profundidad.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que la aplicación del análisis de respuesta de sitio influyó en la obtención de espectros de respuesta sísmica en la superficie del suelo del sector Santa María de Ica, ya que en el análisis de respuesta de sitio se vio reflejada la variabilidad de las amplitudes de espectro de respuesta de los acelerogramas de ingreso, esto se aprecia en las gráficas comparativas del espectro de respuesta en superficie y el espectro de ingreso antes del análisis, de los resultados referente a los espectros de respuesta, proponiéndose un valor de aceleración espectral máxima para el sitio SC1 de $1.407g \pm 0.044g$, para el sitio SC2 de $1.34g \pm 0.048g$, para el sitio SC3 de $1.55g \pm 0.062g$, para el sitio SC4 de $1.46g \pm 0.044g$ y para el sitio SC5 de $1.448g \pm 0.048g$.
2. Se determinó que la selección de los registros sísmicos influyó en la obtención de espectros de respuesta sísmica en la superficie del suelo del sector Santa María de Ica, ya que a partir del empleo de cinco eventos sísmicos diferentes, se obtuvo una variedad en los valores de las amplitudes en los espectros de respuesta, también se vio la tendencia que en los acelerogramas en superficie los valores de PGA obtenidos en sitio SC3, tienden a ser ligeramente mayores a los obtenidos a partir del resto de registros, se obtuvo un valor de PGA promedio para el sitio SC1 de $0.4998g$ con una desviación estándar de $\pm 0.033417g$, para el sitio SC2 de $0.4816g$ con una desviación estándar de $\pm 0.028997g$, para el sitio SC3 de $0.5182g$ con una desviación estándar de $\pm 0.037599g$, para el sitio SC4 de $0.5162g$ con una desviación estándar de $\pm 0.038101g$ y para el sitio SC5 de $0.492g$ con una desviación estándar de $\pm 0.031694g$.
3. Se determinó que el espectro de peligro uniforme influyó en la obtención de espectros de respuesta sísmica en la superficie del suelo del sector Santa María de Ica, ya que al ajustar los registros sísmicos al espectro de peligro uniforme, se añadió las características de un sismo de 475 años de periodo de retorno a nivel de profundidad en un estrato rígido, partiendo de estos registros ajustados se procedió al análisis de respuesta de sitio obteniéndose valores de PGA y espectros de respuesta en superficie correspondientes a esta intensidad apreciándose

en la comparación con el espectro de la norma del reglamento nacional de edificaciones E.030 los sitios SC1, SC2 tendían a superarlo ligeramente en el rango de periodos de 0.10 a 0.40, en cambio los sitios SC3, SC4 y SC5 lo superan con una amplitud mayor en el rango de 0.12 a 0.41 de periodos

4. Se determinó que las características de sitio, influyeron en la obtención de los espectros de respuesta sísmica en la superficie del suelo del sector Santa María de Ica, ya que para cada sitio se obtuvo un perfil de velocidades de ondas de corte único, igualmente con las curvas de degradación de rigidez y relación de amortiguamiento, esto se vio reflejado al final del análisis, viéndose en las gráficas de desplazamientos máximos y deformación cortante del perfil, por cada sitio, por otra parte los desplazamiento máximo promedio serian para el sitio SC1 de 5.38 cm con una desviación estándar de ± 0.39 , SC2 de 5.21 cm con una desviación estándar de ± 0.37 , SC3 de 5.46 cm con una desviación estándar de ± 0.38 , SC4 de 5.52 cm con una desviación estándar de ± 0.38 y SC5 de 5.40cm con una desviación estándar de ± 0.41 , estos máximos desplazamientos se dieron en la superficie del suelo.

RECOMENDACIONES

1. Que SENCICO ICA, proponga la implementación del análisis de respuesta de sitio en el modelado de edificaciones vitales o sustanciales, tomando como antecedente la presente tesis.
2. Que CISMID continúe con la instalación de estaciones de registro acelerográficos a lo largo del departamento y la ciudad de Ica dando así información para futuras investigaciones.
3. Que el CIP ICA en convenio con las universidades locales, promuevan la realización de ensayos de arreglos de microtemores para la obtención de perfiles de velocidad de ondas de corte para grandes profundidades.
4. Que INDECI ICA planifique la realización de una microzonificación sísmica actualizada de la ciudad de Ica viéndose la delimitación de zonas con comportamiento dinámico similares.

REFERENCIAS

1. Abrahamson, N., Gregor, N., & Addo, K. (2016). BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(1), 23-44.
<https://doi.org/10.1193/051712EQS188MR>
2. Aguilar, Z. y Gamarra, C. (2009). *Nuevas fuentes sismogénicas para la evaluación del peligro sísmico y generación de espectros de peligro uniforme en el Perú*. Tesis de ingeniero civil. Universidad Nacional de Ingeniería.
3. Al Atik, L., & Abrahamson, N. (2010). An improved method for nonstationary spectral matching. *Earthquake Spectra*, 26(3), 601-617.
<https://doi.org/10.1193/1.3459159>
4. Astroza, Rodrigo & Pasten, Cesar & Ochoa-Cornejo, Felipe. (2017). Site response analysis using one-dimensional equivalent-linear method and Bayesian filtering. *Computers and Geotechnics*. 89. 43-54.
<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.04.004>
5. Athanasiou, A., Oliveto, G., & Ponzo, F. (2018). *Baseline correction of digital accelerograms from field testing of a seismically isolated building*. *Earthquake Spectra*, 34(2), 915-939.
<https://doi.org/10.1193/022817EQS040M>
6. Ayes, J. C., & Flores, F. A. (2015). Time-History Modification and Spectral Matching Oriented to Dynamic Geotechnical Analysis. In *From Fundamentals to Applications in Geotechnics* (pp. 1033-1040). IOS Press.
<https://doi.org/10.3233/978-1-61499-603-3-1033>
7. Bihari, B. K., Rao, N. P., Gupta, M., & Murthy, K. P. S. (2017). A study on creep behavior of composite solid propellants using the kelvin-Voigt model. *Central European Journal of Energetic Materials*, 14(3).
<https://doi.org/10.22211/cejem/74195>
8. Boore, D. M., & Bommer, J. J. (2005). Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(2), 93-115.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.10.007>
9. Chávez-García, F. J., & Montalva, G. A. (2014). Efectos de sitio para Ingenieros Geotécnicos, estudio del valle Parkway. *Obras y proyectos*, (16), 6-30.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132014000200001>

10. Charca O. y Gamarra C. [Anddes]. (28 de agosto de 2020). *Evaluación del peligro sísmico para instalaciones mineras: Fundamentos y problemas en la práctica* [Archivo de video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=8KM8SCIFm9E&ab_channel=Anddes.
11. Charca, O., Gamarra, C., & Parra, D. (2019). Selection of Subduction Ground Motion Prediction Equations for Seismic Hazard Assessment in Peru. *In Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges* (pp. 1981-1990). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/STAL190258>
12. Chong, J., Ni, S., Chu, R., & Somerville, P. (2016). Joint inversion of body-wave receiver function and rayleigh-wave ellipticity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(2), 537-551. <https://doi.org/10.1785/0120150075>
13. E 0.30 (2018). Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones
14. Elia G. (2015) Site Response for Seismic Hazard Assessment. In: Beer M., Kougiumtzoglou I.A., Patelli E., Au SK. (eds) *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35344-4_241
15. Godoy, L. C. (2013). *Estudio de la respuesta de sitio en Santiago mediante el método lineal equivalente*. Memoria Para Optar al título profesional de Ingeniero Civil, departamento de ingeniería civil, Facultad de ciencias física y matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile - Chile.
16. Gregori, S. D., & Christiansen, R. (2018). Seismic hazard analysis for central-western Argentina. *Geodesy and Geodynamics*, 9(1), 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.07.006>
17. Hancock, J., Watson-Lamprey, J., Abrahamson, N. A., Bommer, J. J., Markatis, A., McCOY, E. M. M. A., & Mendis, R. (2006). An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *Journal of earthquake engineering*, 10(spec01), 67-89. <https://doi.org/10.1142/S1363246906002736>

18. IBC. (2015). *International Building Code*, International Code Council, Washington, DC.
19. Kaklamanos, J., Baise, L. G., Thompson, E. M., & Dorfmann, L. (2015). Comparison of 1D linear, equivalent-linear, and nonlinear site response models at six KiK-net validation sites. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 69, 207-219.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.10.016>
20. Kokusho, T. (2017). *Innovative earthquake soil dynamics*. CRC PRESS.
21. Kortström, J., Uski, M., & Tiira, T. (2016). Automatic classification of seismic events within a regional seismograph network. *Computers & Geosciences*, 87, 22-30.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.11.006>
22. Kramer, S. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*.
23. Lermo-Samaniego, J. (2020). Ground motion prediction model for southeastern México removing site effects using the Earthquake horizontal-to-vertical ratio (EHVSR). *Geofísica Internacional*, 59(4), 257-272.
DOI:10.22201/igeof.00167169p.2020.59.4.1894
24. Olafsdottir, E. A., Bessason, B., & Erlingsson, S. (2018). Combination of dispersion curves from MASW measurements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113, 473-487.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.05.025>.
25. Olivares Hernández Luis y Quintana Mendoza Osman (2014). *Análisis lineal equivalente de la respuesta sísmica de sitio en los recintos: Rubén Darío-Managua, FAREM-Chontales y FAREM-Carazo*, de la UNAN-Managua. Trabajo monográfico para optar el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias e Ingenierías, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
26. Poggi, V., Fäh, D., Burjanek, J., & Giardini, D. (2012). The use of Rayleigh-wave ellipticity for site-specific hazard assessment and microzonation: application to the city of Lucerne, Switzerland. *Geophysical Journal International*, 188(3), 1154-1172.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05305.x>.

27. Rahman, M. Z., Siddiqua, S., & Kamal, A. M. (2020). Seismic source modeling and probabilistic seismic hazard analysis for Bangladesh. *Natural Hazards*, 103(2), 2489-2532.
<https://doi.org/10.1007/s11069-020-04094-6>
28. REDACIS - Red acelerografica del CISMID/FIC/UNI. Cismid.uni.edu.pe. Retrieved setiembre 2020, from <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>.
29. Régnier, J., Bonilla, L. F., Bard, P. Y., Bertrand, E., Hollender, F., Kawase, H., ... & Boldini, D. (2016). International benchmark on numerical simulations for 1D, nonlinear site response (PRENOLIN): Verification phase based on canonical cases. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(5), 2112-2135.
<https://doi.org/10.1785/0120150284>.
30. Rubaiyn, A., Priyono, A., & Yudistira, T. (2019, August). Near-surface S-wave Estimation base on Inversion of Rayleigh Wave Dispersion Curve Using Genetic Algorithm. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 318, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
[doi:10.1088/1755-1315/318/1/012013](https://doi.org/10.1088/1755-1315/318/1/012013)
31. Sadigh, K., Chang, C. Y., Egan, J. A., Makdisi, F., & Youngs, R. R. (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological research letters*, 68(1), 180-189.
<https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.180>
32. Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., & Tokimatsu, K. (1986). Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. *Journal of geotechnical engineering*, 112(11), 1016-1032.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1986\)112:11\(1016\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1986)112:11(1016)) .
33. SENCICO. (2019). *Estudio de Caracterización Geotécnica de Estaciones Acelerométricas de SENCICO-Characterización geotécnica y geofísica de la estación acelerográficas de Ica.*
34. SENCICO. (2016). *Actualización del programa de cómputo orientado a la determinación del peligro sísmico en el país.*
35. Stanko, D., Markušić, S., Gazdek, M., Sanković, V., Slukan, I., & Ivančić, I. (2019). *Assessment of the seismic site amplification in the City of Ivanec (NW*

- Part of Croatia) using the microtremor HVSR method and equivalent-linear site response analysis. Geosciences, 9(7), 312.*
<https://doi.org/10.3390/geosciences9070312>
36. Soto, J. (2016). *Evaluación de espectros de respuesta mediante el análisis de respuesta de sitio unidimensional en siete distritos de Lima*. Tesis de grado, facultad de ingeniería civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
37. Terremotos.ing.uchile.cl. Retrieved Setiembre 2020, from <http://terremotos.ing.uchile.cl/registros/110>.
38. Vrochidou, Eleni & Alvanitopoulos, Petros & Andreadis, I & Elenas, Anaxagoras & Mallousi, Katerina. (2014). Synthesis of artificial spectrum-compatible seismic accelerograms. *Measurement Science and Technology*. 25. 10.1088/0957-0233/25/8/085002.
<https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/8/085002>
39. Umbarkar, A. J., & Sheth, P. D. (2015). Crossover operators in genetic algorithms: a review. *ICTACT journal on soft computing*, 6(1).
DOI: 10.21917/ijsc.2015.0150.
40. Uy, E. E. S., Paringit, M. C. R., Cutora, M. D., Galupino, J. G., Garciano, L. E. O., & Dungca, J. R. (2020, June). Characterization of Cebu Province Municipalities using Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA) And Geographic Information System (GIS). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 479, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
doi:10.1088/1755-1315/479/1/012001
41. Zhang, J., Andrus, R. D., & Juang, C. H. (2005). Normalized shear modulus and material damping ratio relationships. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(4), 453-464.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:4\(453\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:4(453)) .
42. Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., ... & Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898-913.
<https://doi.org/10.1785/0120050122>

ANEXOS

- I. Cuadro de operacionalización de la variable.
- II. Matriz de consistencia.
- III. Panel fotográfico.
- IV. Captura de la pagina web <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>
- V. Plano de ubicación.
- VI. Ensayos ejecutados.
- VII. Material y ensayos recopilado.

ANEXO 1. Cuadro de operacionalización de la variable.

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTOS
Variable independiente: Aplicación del análisis de respuesta de sitio	El análisis de respuesta de sitio del método lineal equivalente unidimensional estima los efectos locales del suelo, condicionados a un terremoto, basado en la teoría de la propagación de onda unidimensional. Stanko et al (2019)	Método que permite obtener una estimación aceptable de un sismo, a través del uso de acelerogramas obtenidos para la superficie del suelo.	Tratamiento de registros sísmicos	La selección de los registros sísmicos.	razón	Softwares especializados.
			Análisis probabilístico de peligro sísmico	Los espectros de peligro uniforme		Obtención mediante softwares
			Caracterización mediante perfil de velocidades de ondas de corte	Las características del sitio.		Software y equipo de medición y procesamiento, para la obtención de perfiles velocidades de ondas de corte.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2. Matriz de consistencia.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVO ESTUDIO	DE	HIPÓTESIS INVESTIGACIÓN	DE	VARIABLES DE ESTUDIO	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿En qué medida influye la aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS - ¿En qué medida influye la selección de los registros sísmicos para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021?</p> <p>-¿En qué medida influyen los espectros de peligro uniforme para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021?</p> <p>-¿En qué medida influyen las características del sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL. Determinar la influencia de la aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS. - Determinar el grado de influencia de la selección de los registros sísmicos para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p> <p>- Determinar el grado de influencia de los espectros de peligro uniforme para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p> <p>- Determinar el grado de influencia de las características del sitio para la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p>		<p>HIPÓTESIS GENERAL. La aplicación del análisis de respuesta de sitio influye en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS. - La selección de los registros sísmicos influye en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p> <p>- Los espectros de peligro uniforme influyen en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p> <p>- Las características del sitio influyen en la obtención de espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p>		<p>Variable independiente. Aplicación del análisis de respuesta de sitio.</p> <p>variable dependiente Espectros de respuesta del sector Santa María - Ica 2021.</p>	<p>De la Variable independiente. - La selección de los registros sísmicos. - Los espectros de peligro uniforme. - Las características del sitio</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Investigación aplicada. DISEÑO DE LA INVESTIGACION: No experimental – Transversal. POBLACION: Tenemos los diversos registros sísmicos, así como la variedad de curvas teóricas de degradación de rigidez y amortiguamiento. MUESTRA: Registros sísmicos relacionados a la zona de estudio, Curva de degradación de rigidez y amortiguamiento que mejor se ajusten a las características de sitio. TECNICA: Observación de registro de resultados obtenidos de los ensayos masw. Observación de resultados de diferentes softwares de procesamiento y análisis de datos. INSTRUMENTOS: ensayos para la obtención del perfil Vs (ensayo masw).</p>

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3. Panel fotográfico

Fotografía del ensayo MASW en el sitio SC1



Fotografía de la línea de geófonos para el ensayo MASW en el sitio SC1



Figura de un shoot del ensayo MASW en el sitio SC1



Ensayo MASW en el sitio SC2



Fotografía de la línea de geófonos para el ensayo MASW en el sitio SC2



Fotografía de un shoot del ensayo MASW en el sitio SC2



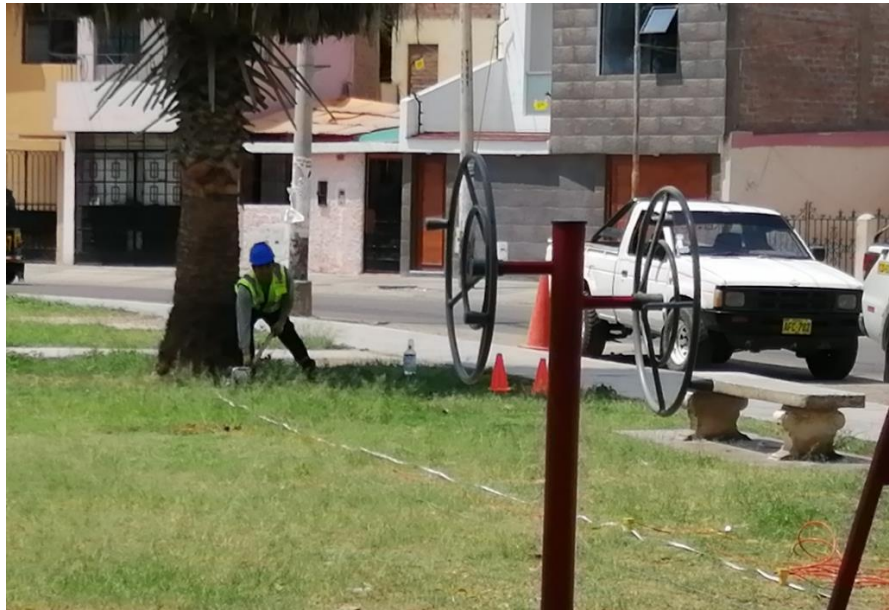
Fotografía del ensayo MASW en el sitio SC3



Fotografía de la línea de geófonos del ensayo MASW en el sitio SC3



Fotografía de un shoot del ensayo MASW en el sitio SC3



Fotografía del ensayo MASW en el sitio SC4



Fotografía de la línea de geófonos para el ensayo MASW en el sitio SC4



Fotografía de un shoot para el ensayo MASW en el sitio SC4



Fotografía del ensayo MASW en el sitio SC5



Fotografía de la línea de geófonos para el ensayo MASW en el sitio SC5



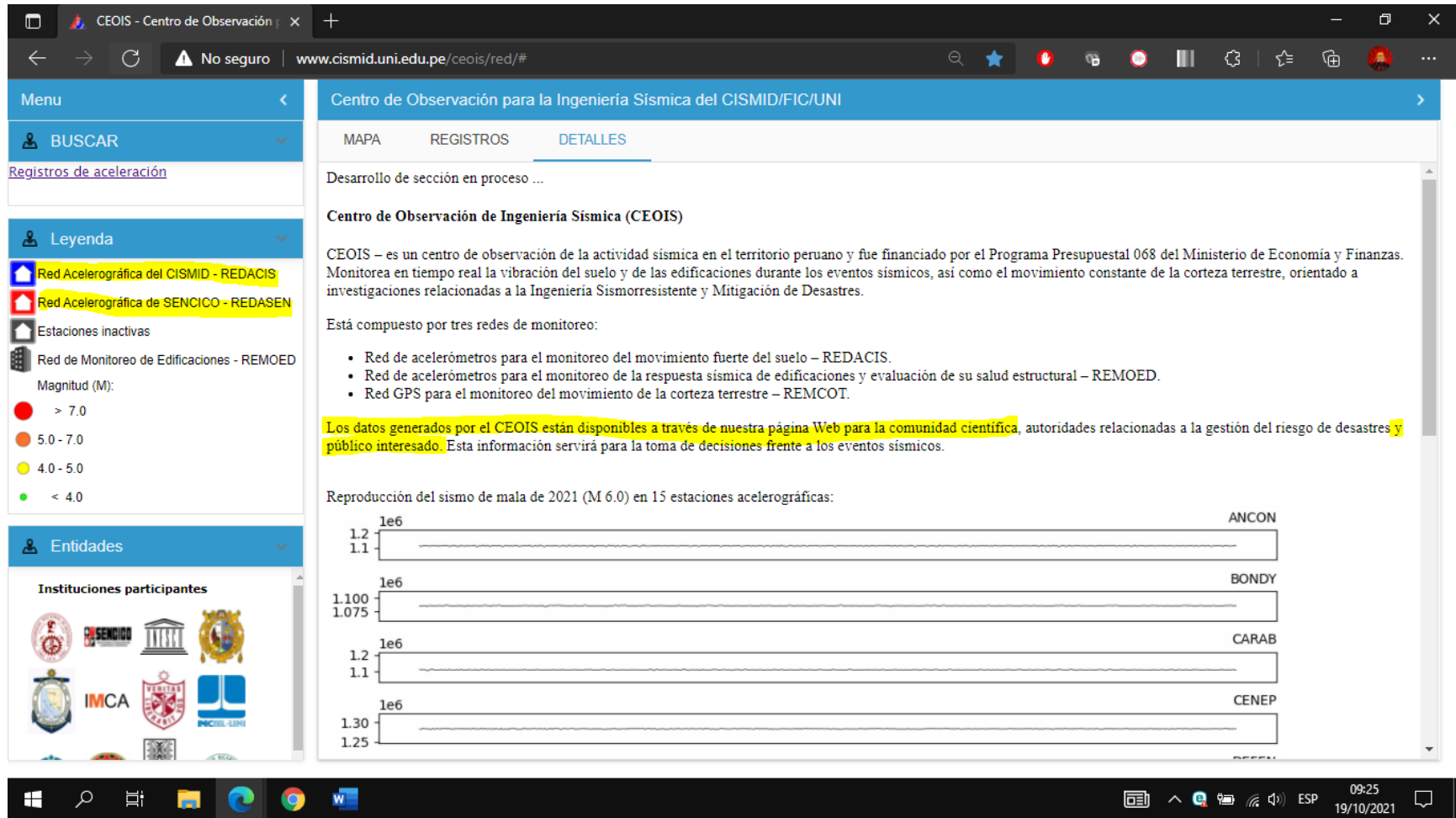
Fotografía de un shoot para el ensayo MASW en el sitio SC5



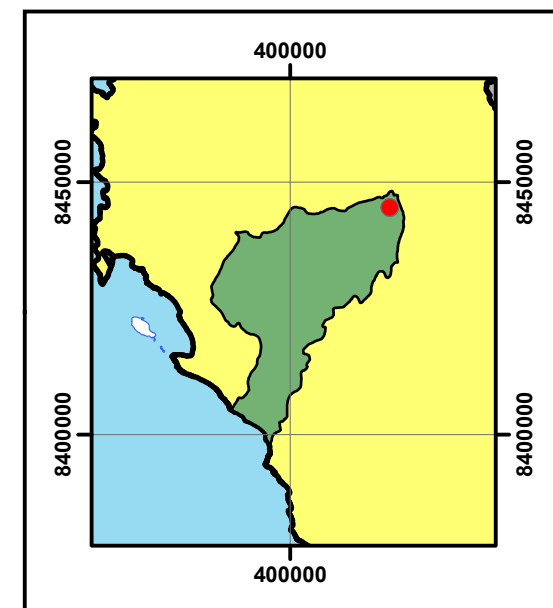
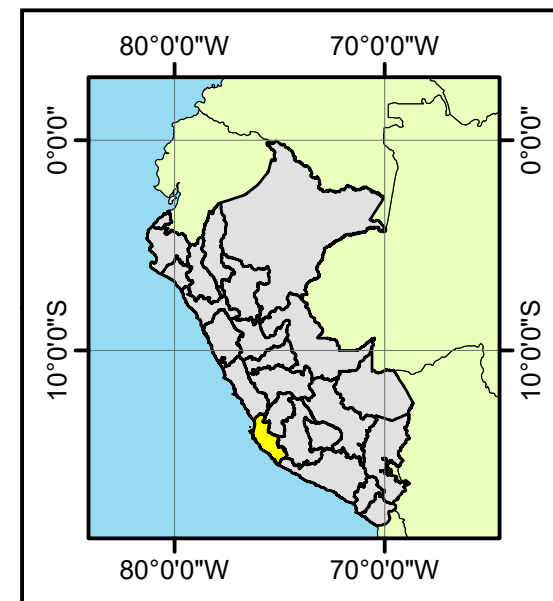
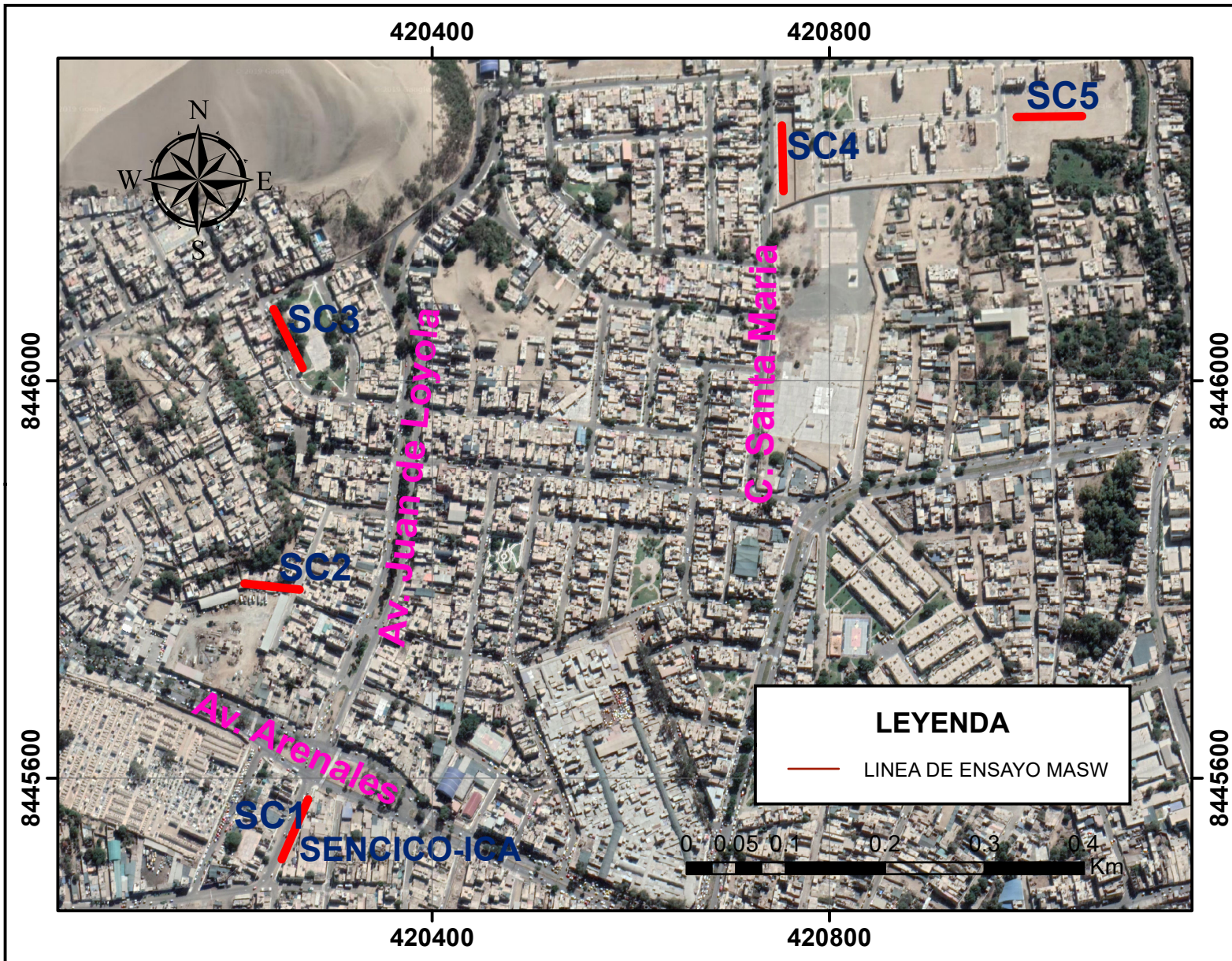
Fotografía de los testistas en la zona de estudio



ANEXO 4. Captura de la pagina web <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>



ANEXO 5. Plano de ubicación.



TITULO: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO PARA LA OBTENCIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA DEL SECTOR SANTA MARÍA - ICA 2021

PLANO: UBICACIÓN DE LINEAS DE ENSAYOS MASW

ELABORADO: Bach. Ing. Goitia Calderon, Cayse Martin y Bach. Ing. Vargas Ore Axel Ronaldo

REVISADO: Dr. Guevara Bendezú, José Claudio

FECHA: JUNIO, 2021

ESCALA: INDICADA

DISTRITO: ICA

PROVINCIA: ICA

DEPARTAMENTO: ICA

CORDENADAS UTM

WGS 84 ZONA 18S

PLANO:

U-01

ANEXO 6. Ensayos ejecutados.

ING. LUIS ALBERTO ORDOÑEZ FUENTES

Maestría en Ingeniería Geotécnica
REG. CIP 64667 Reg. Consucode € 7885



INFORME DE ESTUDIO DE GEOFISICA DE ENSAYO MASW

PROYECTO DE TESIS "APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE
RESPUESTA DE SITIO PARA LA OBTENCIÓN DE ESPECTROS
DE RESPUESTA SÍSMICA EN SENCICO – ICA 2021"



Solicitado por:

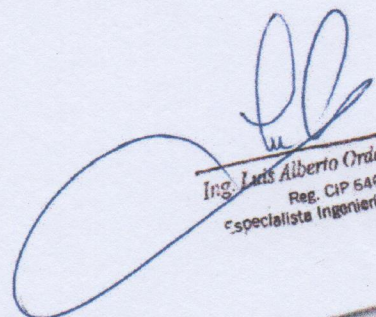
Bach. Goitia Calderon Cayse Martin

Bach. Vargas Ore Axel Ronaldo

Preparado por:

Ing. Ordoñez Fuentes Luis Alberto

ICA-2021


Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

ÍNDICE

1. GENERALIDADES DEL ESTUDIO	3
1.1. Objetivo	3
1.2. Ubicación del área de estudio	3
1.3. Fundamentos del ensayo MASW	3
2. EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	4
3. PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.....	5
4. PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.....	5
5. CONCLUSIONES.....	6
6. ANEXOS.....	7
6.1. Anexo I.....	7



Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

1. GENERALIDADES DEL ESTUDIO

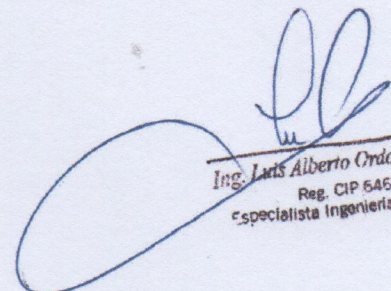
1.1. Objetivo

El presente informe tiene por objetivo principal, la realización de líneas de sondaje mediante el ensayo MASW para el proyecto de tesis "APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO PARA LA OBTENCIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA SÍSMICA EN SENCICO – ICA 2021"

1.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se da a conocer a través de las siguientes coordenadas en las cuales se ejecutaron las líneas geofísicas de sondaje MASW

	Latitud Sur	Longitud Oeste
SC1	14°03'14.6"	75°44'18.7"
SC2	14°03'0.6"	75°44'19.5"
SC3	14°02'58.5"	75°44'18.9"
SC4	14°02'52.7"	75°44'02.3"
SC5	14°02'51.3"	75°43'53.3"



Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

1.3. Fundamentos del ensayo MASW

El Ensayo MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (Vs) para el punto central de dicha línea.

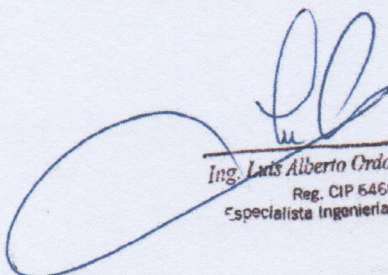
la interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que son estas ondas las que predominan en el grupo de ondas, poseyendo alrededor del 70% de la energía del tren de ondas. Además, la velocidad de fase de estas ondas tiene un valor que varía entre el 90% al 95% del valor de la velocidad de propagación de las ondas S (V_s). Luego mediante un procedimiento de cálculo inverso iterativo (método de inversión) y a partir de la curva de dispersión calculada se obtiene el perfil sísmico del terreno en función de V_s para cada punto de estudio

2. EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para realizar el ensayo MASW se conto con un equipo de prospección geofísica GEA24, el cual tiene las siguientes características:

- a) 24 canales (pudiendo emplear hasta 48 canales) con tarjeta de adquisición de 24 bits
- b) 24 sensores o geófonos de 4.5 Hz de frecuencia
- c) Computadora portátil, Lap Top con procesador Intel Core i7
- d) Un cable de conectores de geófonos de 180 m.

Los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración pueden ser procesados en el campo en forma preliminar y en forma definitiva en el gabinete, utilizando para ello programas de cómputo que permiten


Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

obtener las velocidades de propagación de las ondas P y S así como el perfil sísmico del terreno.

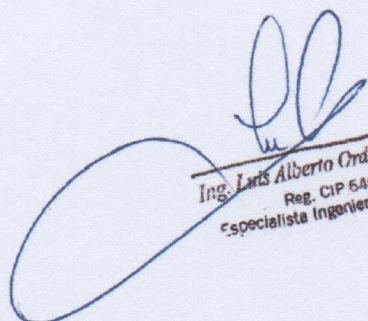
3. PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

En los ensayos de campo que se realizaron se define el punto central y dirección del eje de la línea geofísica, luego se procede a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos.

Se ejecutaron 05 sondajes MASW de 48 m de longitud, con el empleo de 24 geófonos separados 2m, se aplicaron los shoot a 5 y 10 m de los extremos respectivamente, haciendo un total de 4 shoots. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas en el caso del ensayo MASW, fue una comba de 25 lbs. el cual se golpea sobre un plato metálico generándose las ondas de corte en el terreno.


4. PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

Los registros de las ondas sísmicas de los ensayos de ondas MASW se presentan en el Anexo conjuntamente con las curvas de dispersión del sondaje MASW. Esta información se puede utilizar para la interpretación de los modelos unidimensionales de velocidades de ondas de corte.


Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

5. CONCLUSIONES

- Las líneas geofísicas han sido ubicadas estratégicamente de acuerdo a al objetivo del estudio.
- Se logro obtener el registro de ondas sísmicas con bajo ruido externo.
- Se logro obtener las curvas de dispersión representativas para cada una de las ubicaciones.



Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

6. ANEXOS

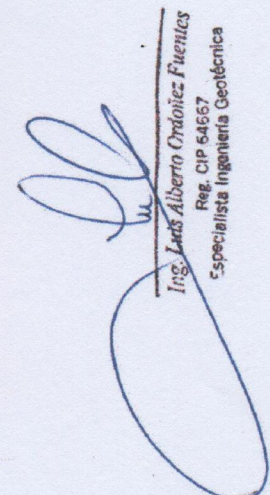
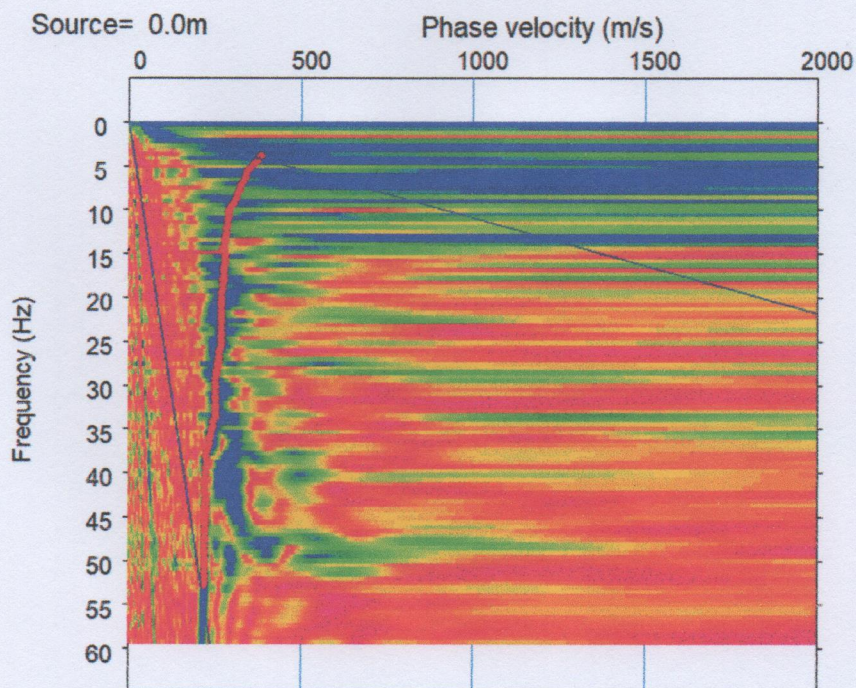
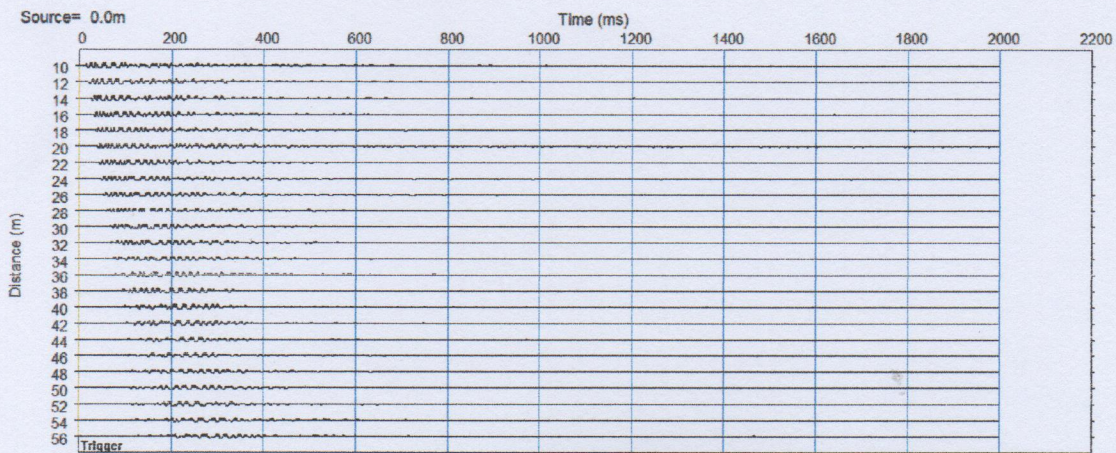
6.1. Anexo I

Proyecto: Tesis de grado “Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta sísmica en SENCICO – Ica 2021”

Ensayo: MASW

Línea: SC1

Fecha: Julio, 2021



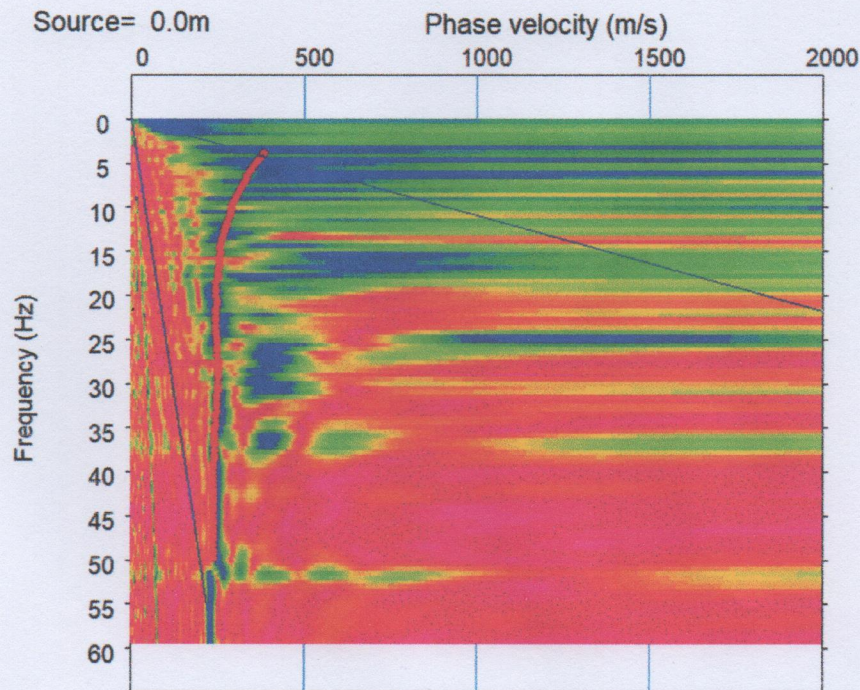
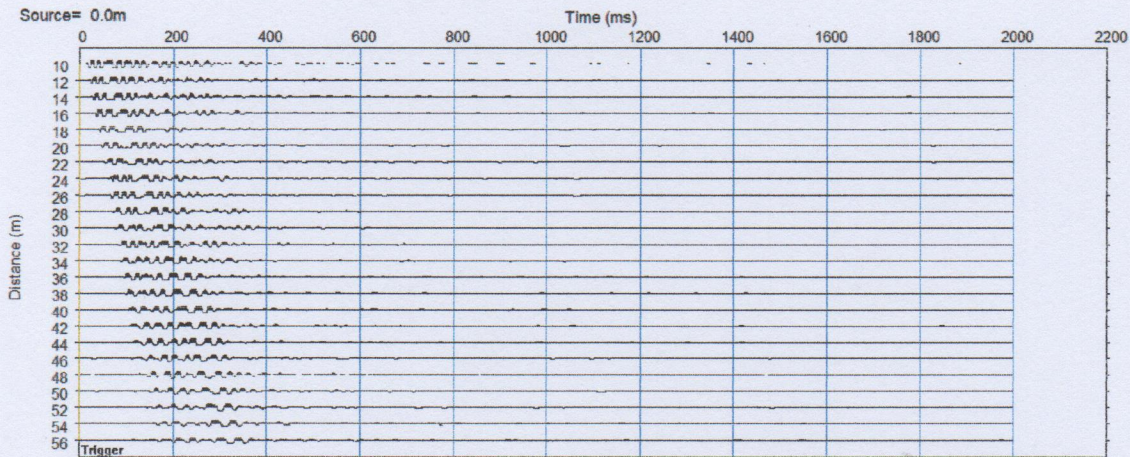
Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

Proyecto: Tesis de grado "Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta sísmica en SENCICO – Ica 2021"

Ensayo: MASW

Línea: SC2

Fecha: Julio, 2021



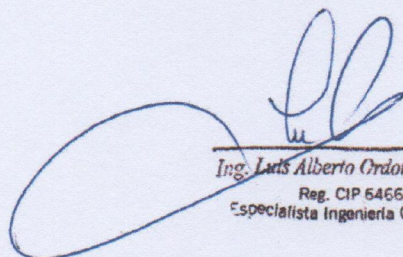
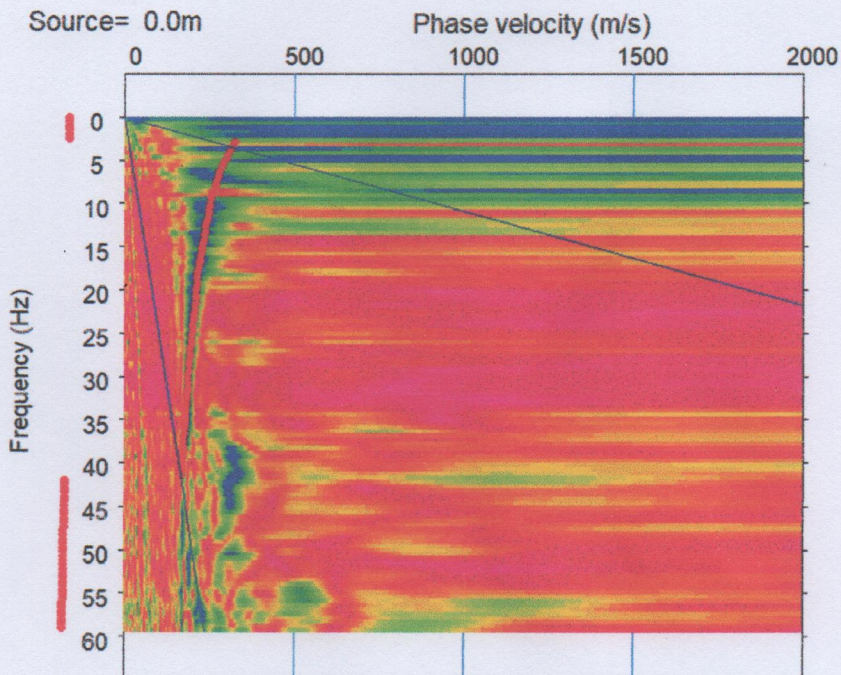
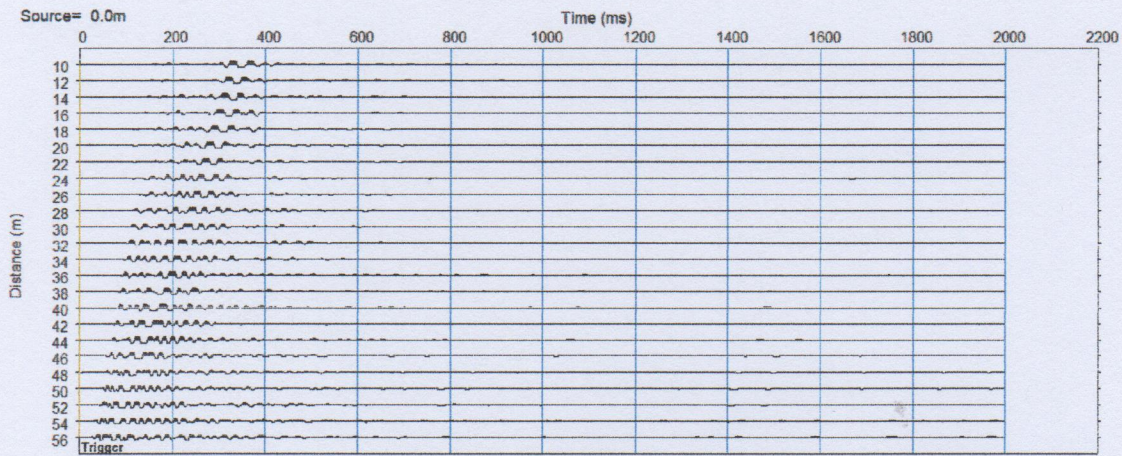
Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

Proyecto: Tesis de grado "Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta sísmica en SENCICO – Ica 2021"

Ensayo: MASW

Línea: SC3

Fecha: Julio, 2021



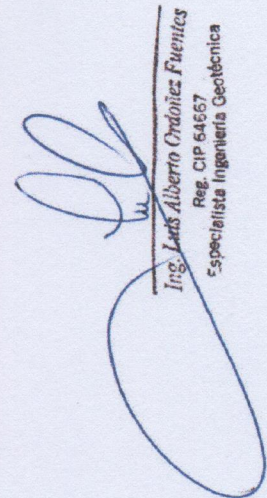
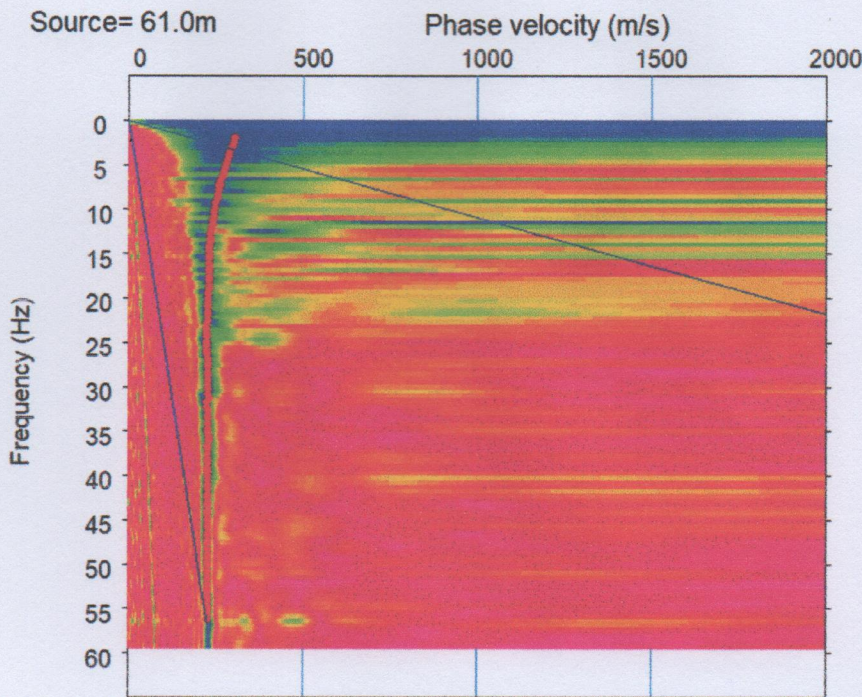
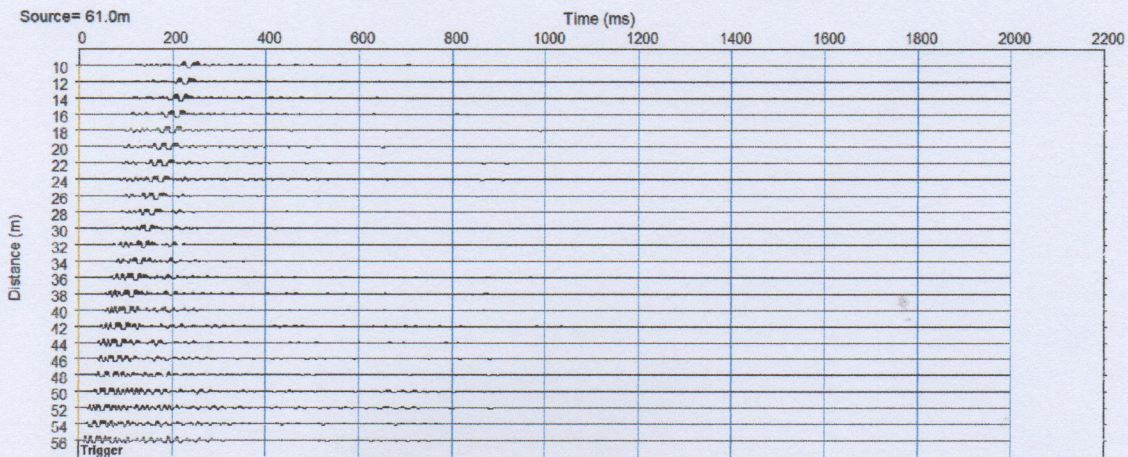
Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

Proyecto: Tesis de grado "Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta sísmica en SENCICO – Ica 2021"

Ensayo: MASW

Línea: SC4

Fecha: Julio, 2021



Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

ING. LUIS ALBERTO ORDOÑEZ FUENTES

Maestría en Ingeniería Geotécnica
REG. CIP 64667 Reg. Consucode C 7885

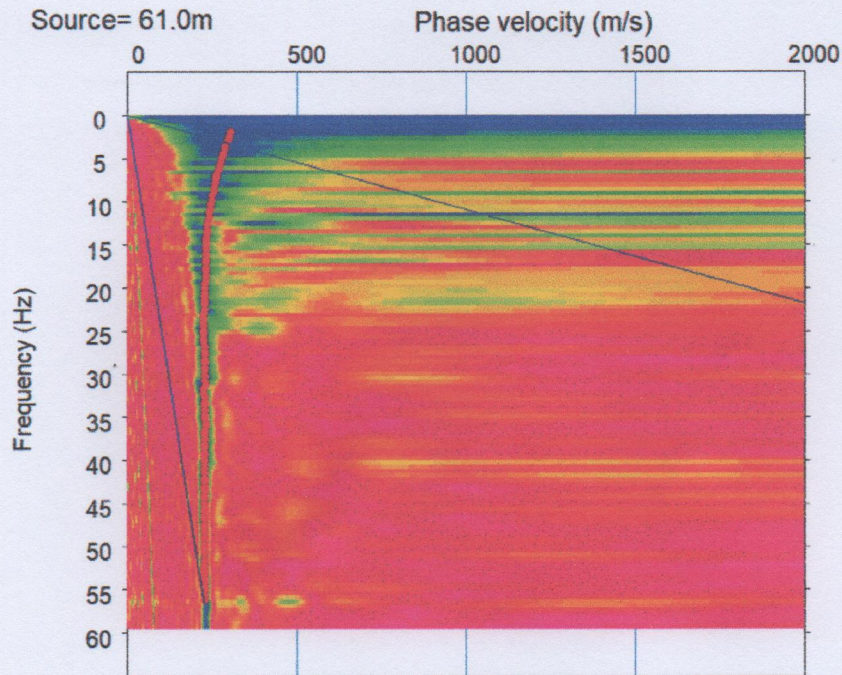
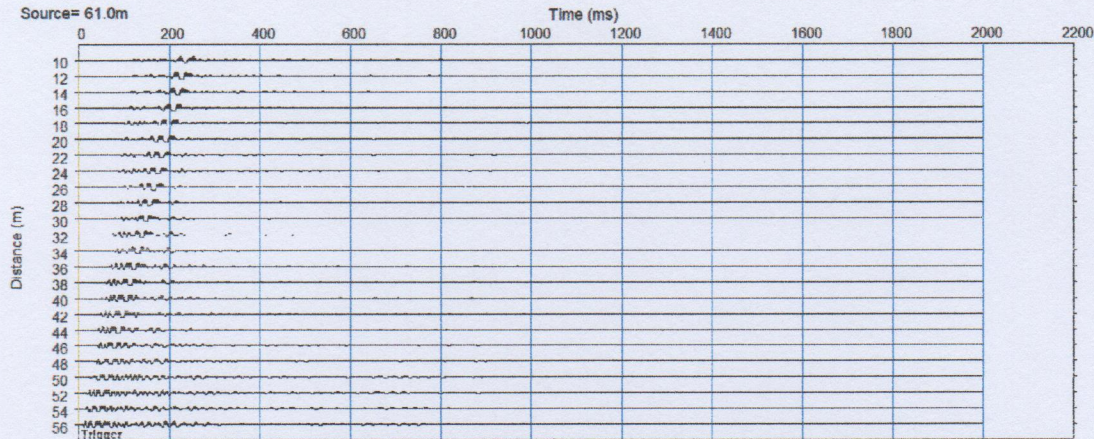


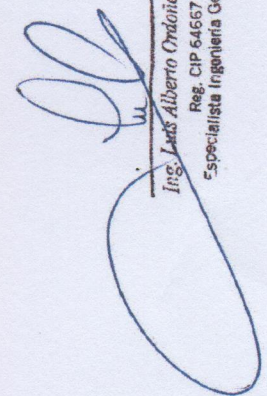
Proyecto: Tesis de grado "Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta sísmica en SENCICO – Ica 2021"

Ensayo: MASW

Línea: SC4

Fecha: Julio, 2021




Ing. Luis Alberto Ordoñez Fuentes
Reg. CIP 64667
Especialista Ingeniería Geotécnica

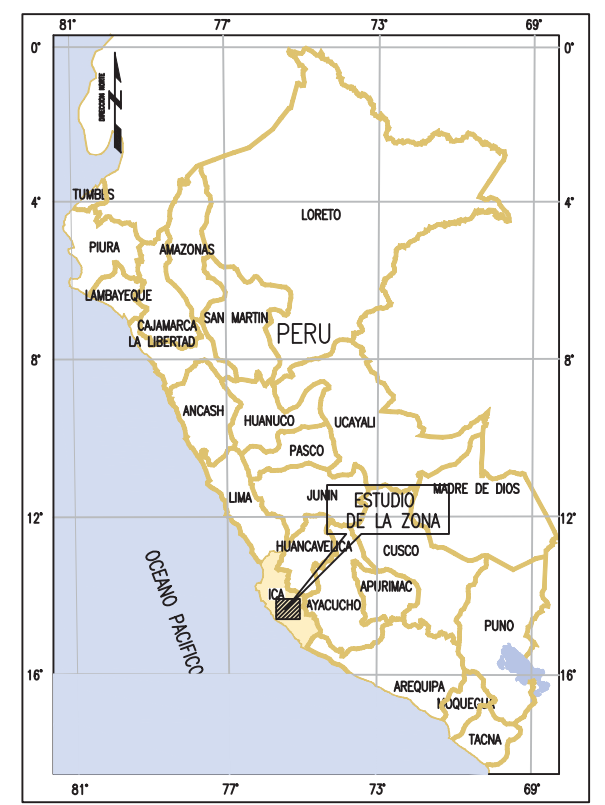
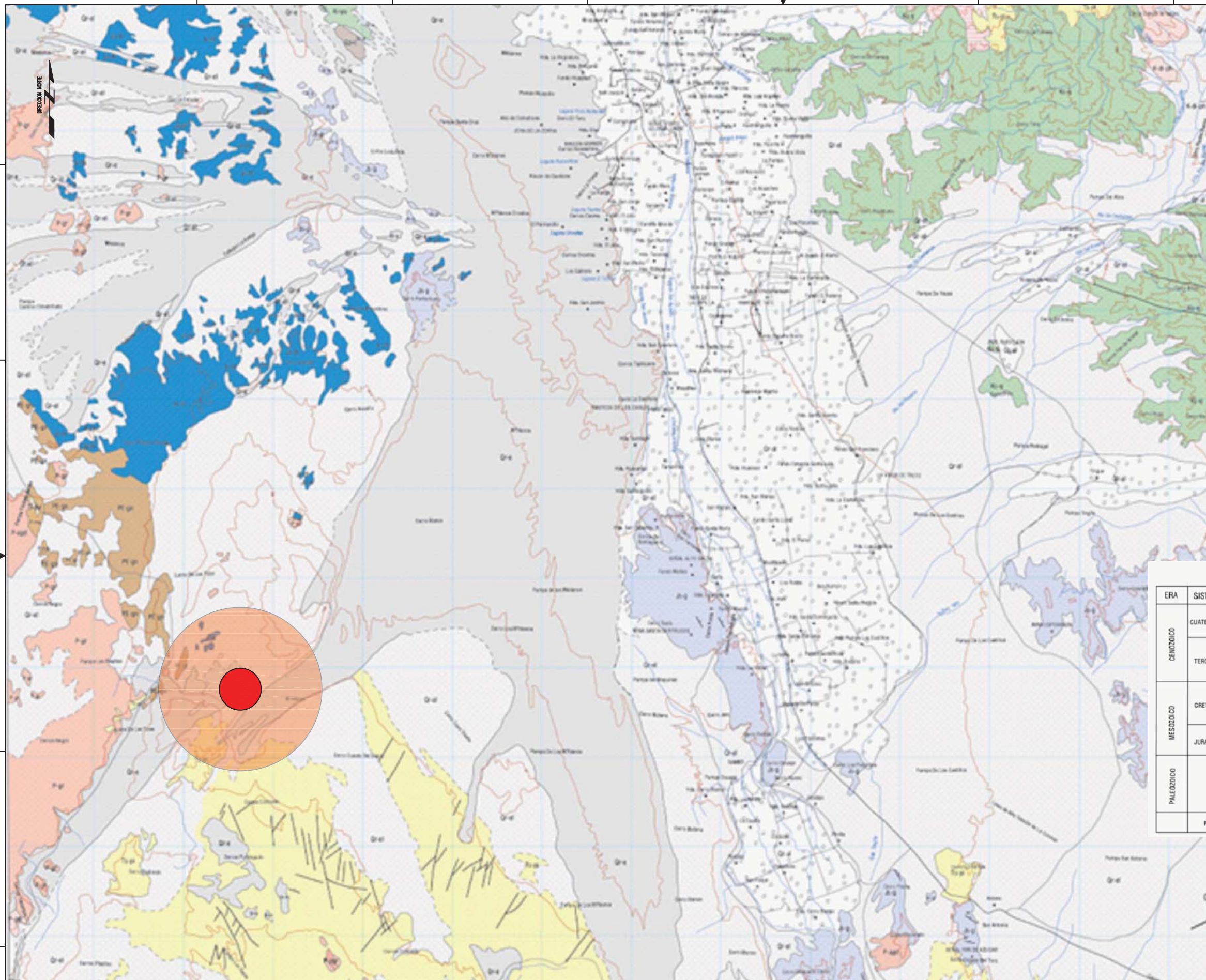
Proyecto: Tesis de grado "Aplicación del análisis de respuesta de sitio para la obtención de espectros de respuesta sísmica en SENCICO – Ica 2021"

Ensayo: MASW

Línea: SC5

Fecha: Julio, 2021

ANEXO 7. Material y ensayos recopilados.



LEYENDA

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	SUPERIOR	Dep. aluviales, edicos y aluviales Fm. Cañete	BATOLITO DE LA COSTA SUPER UNIDADES PAMPAHUASI: K-d-p Dorta LINGA: K-m-h Monzenita Humay K-g Gabros BATOLITO DE SAN NICOLAS P-pgr Pórfido granítico P-gr Granito P-agd Adamella grano diorita P-gd Gabrodiorita
		INFERIOR	Fm. Pocoto	
	TERCIARIO	INFERIOR	Fm. Pisco	
		INFERIOR	Fm. Paracas	
MESOZOICO	CRETACEO		Gpo. Guilmán	
			Gpo. Yara	
	JURASICO	SUPERIOR	Fm. Guaneros	
		INFERIOR	Fm. Chocolate	
PALEOZOICO			Fm. Marcona	
	PRE-CAMBIANO		Complejo basal de la costa	

CONFIDENCIAL:

NOTAS:

- LA INFORMACION TOPOGRAFICA ESTA EN EL SISTEMA UTM WGS84, ZONA 18 SUR.
- LA UNIDAD PARA LAS DIMENSIONES ES EN METROS Y ELEVACIONES EN M.S.N.M., SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
- LAS ESCALAS MOSTRADAS ES PARA EL FORMATO A1.
- FUENTE DE INFORMACION:

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

REV.	DESCRIPCION
A	

REVISIONES

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	PREPARÓ	APROBÓ	AUTORIZÓ
A		EMITIDO PARA REVISIÓN	L. SEBLAN	LSEBLAN	N. MORI	N. MORI
REVISIONES PREVIAS						

CLIENTE: **SENGICO**
SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

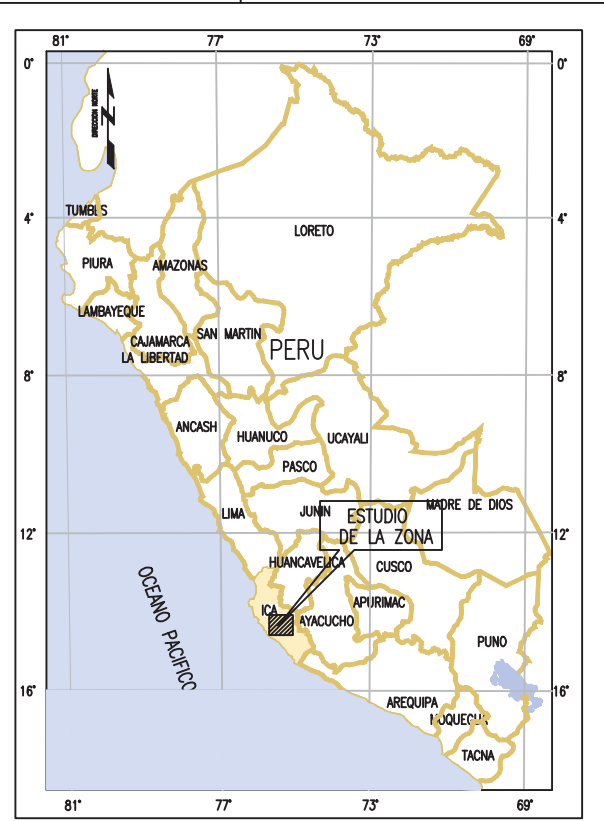
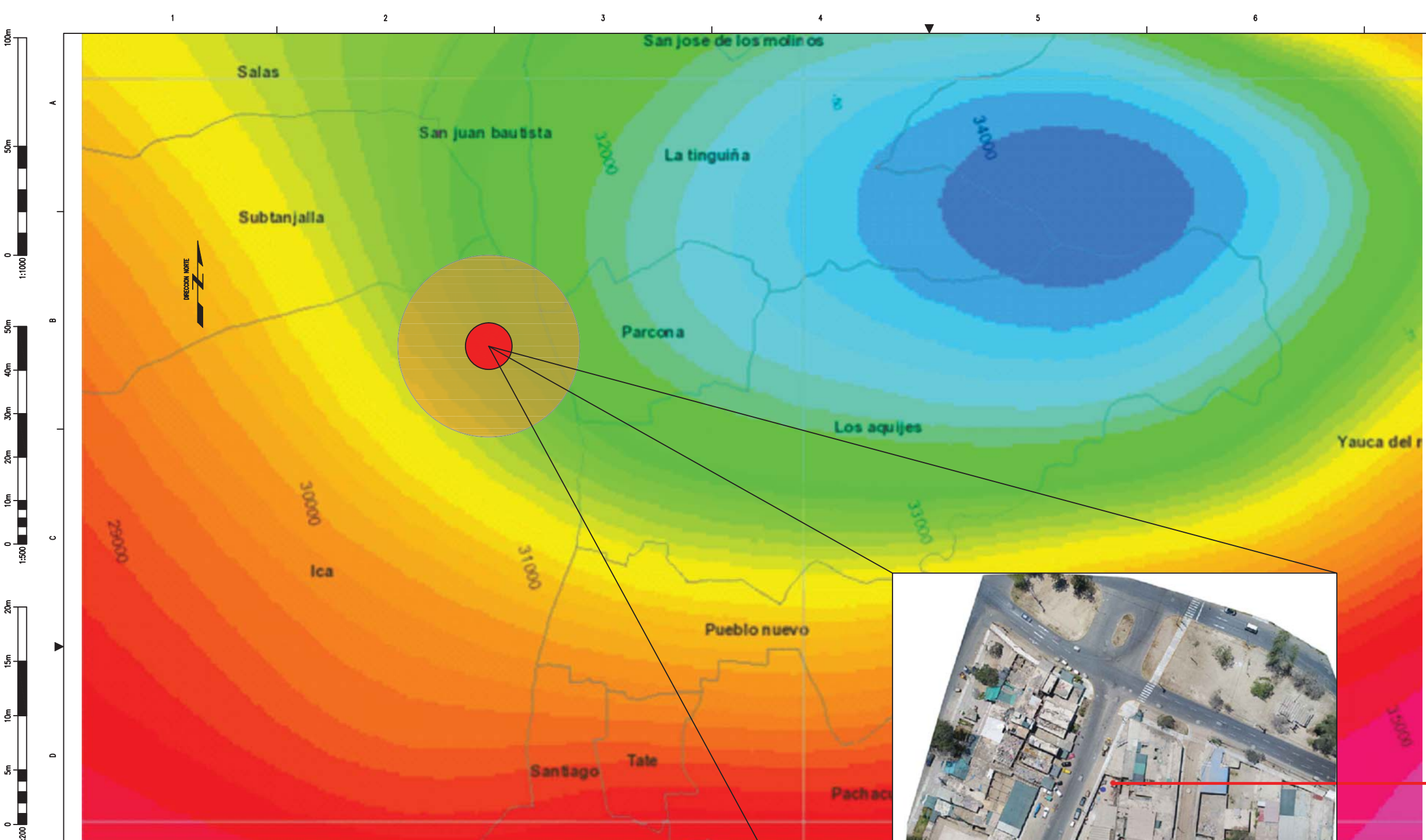
CONSULTOR: **TerraSolutions Peru**
CONSULTORES EN INGENIERÍA

PROYECTO: Servicio de consultoría para ejecución del estudio caracterización Geotécnica y Geofísica de estaciones acelerométricas del SENGICO

TITULO: MAPA GEOLOGICO DEL CUADRANGULO DE ICA

GEOLOGIA

ESCALA: S/E **PLANO N°:** **REV.:** A



ICA
18L
ESTE 420273.73 m E
NORTE 8445561.70 m S

— Isovalor c/ 25 MGal. Low : -439.914
 * Gravimetría Curvas
Anomalia_Bouguer
 High : 120.016

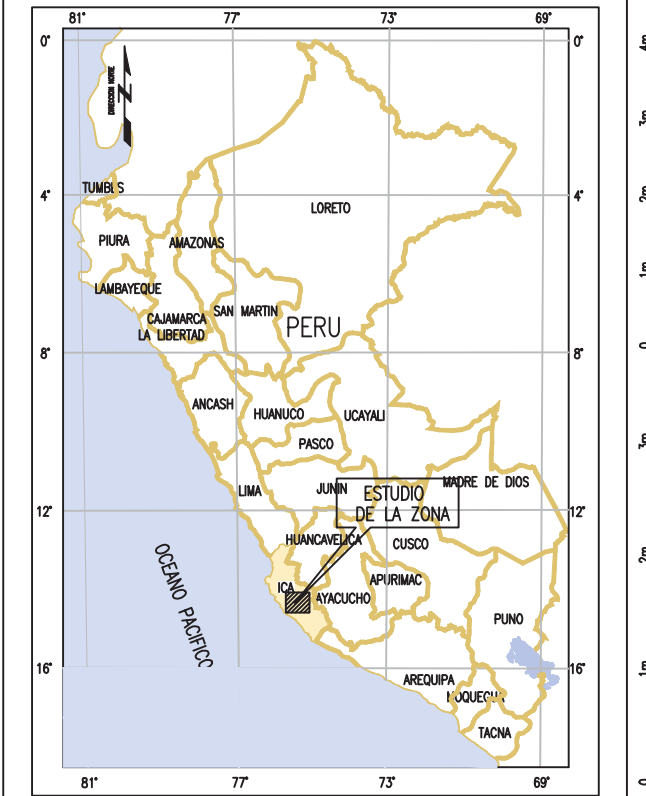
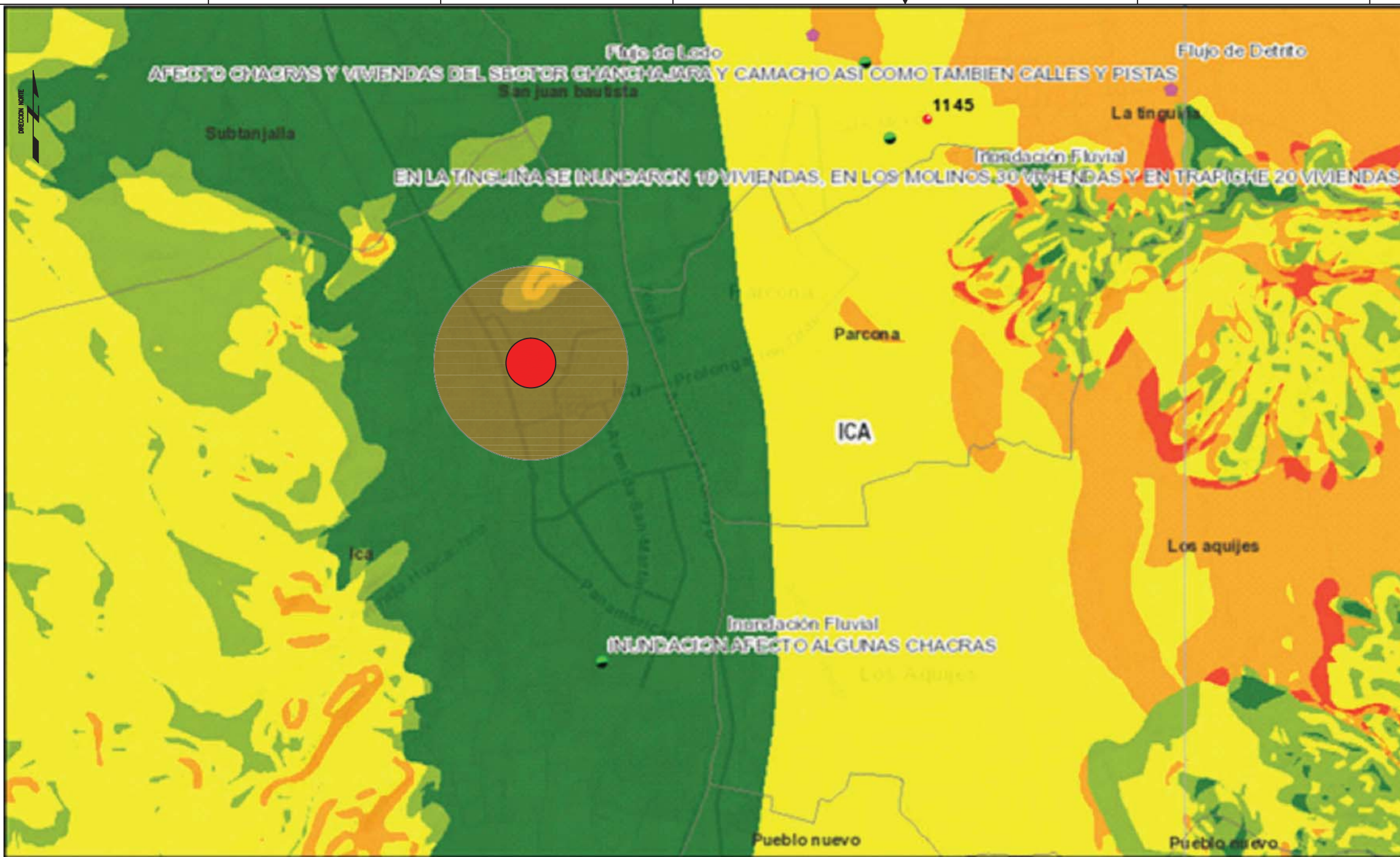
CONFIDENCIAL:
 NOTAS:
 1. LA INFORMACION TOPOGRAFICA ESTA EN EL SISTEMA UTM WGS84, ZONA 18 SUR.
 2. LA UNIDAD PARA LAS DIMENSIONES ES EN METROS Y ELEVACIONES EN M.S.N.M., SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
 3. LAS ESCALAS MOSTRADAS ES PARA EL FORMATO A1.
 4. FUENTE DE INFORMACION:

DOCUMENTOS DE REFERENCIA		REVISIONES						
REV.	DESCRIPCION	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	PREPARÓ	APROBÓ	AUTORIZÓ
A		A		EMITIDO PARA REVISIÓN	L. SEBLAN	LSEBLAN	N. MORI	N. MORI
		REVISIONES PREVIAS						

CLIENTE:
SENGICO
 SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

CONSULTOR:
Terrasolutions Perú
 CONSULTORES EN INGENIERÍA

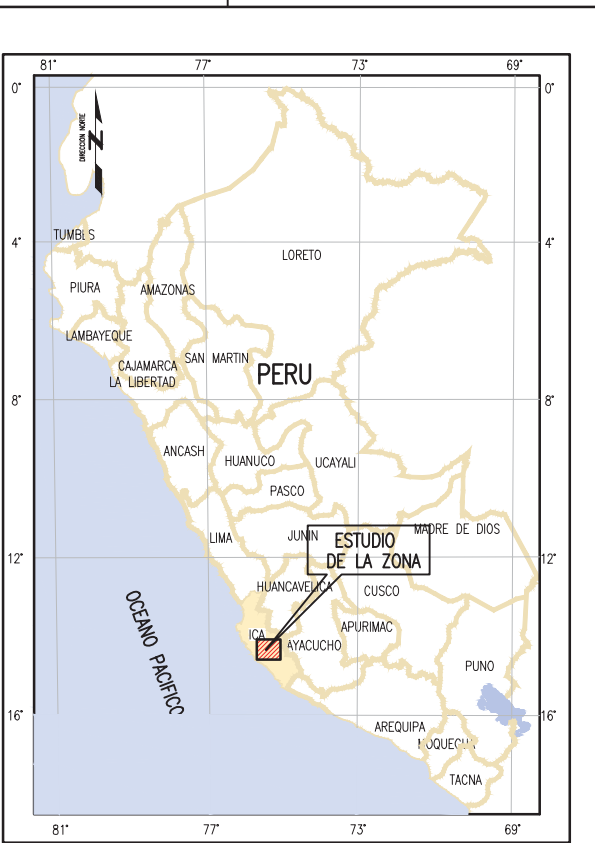
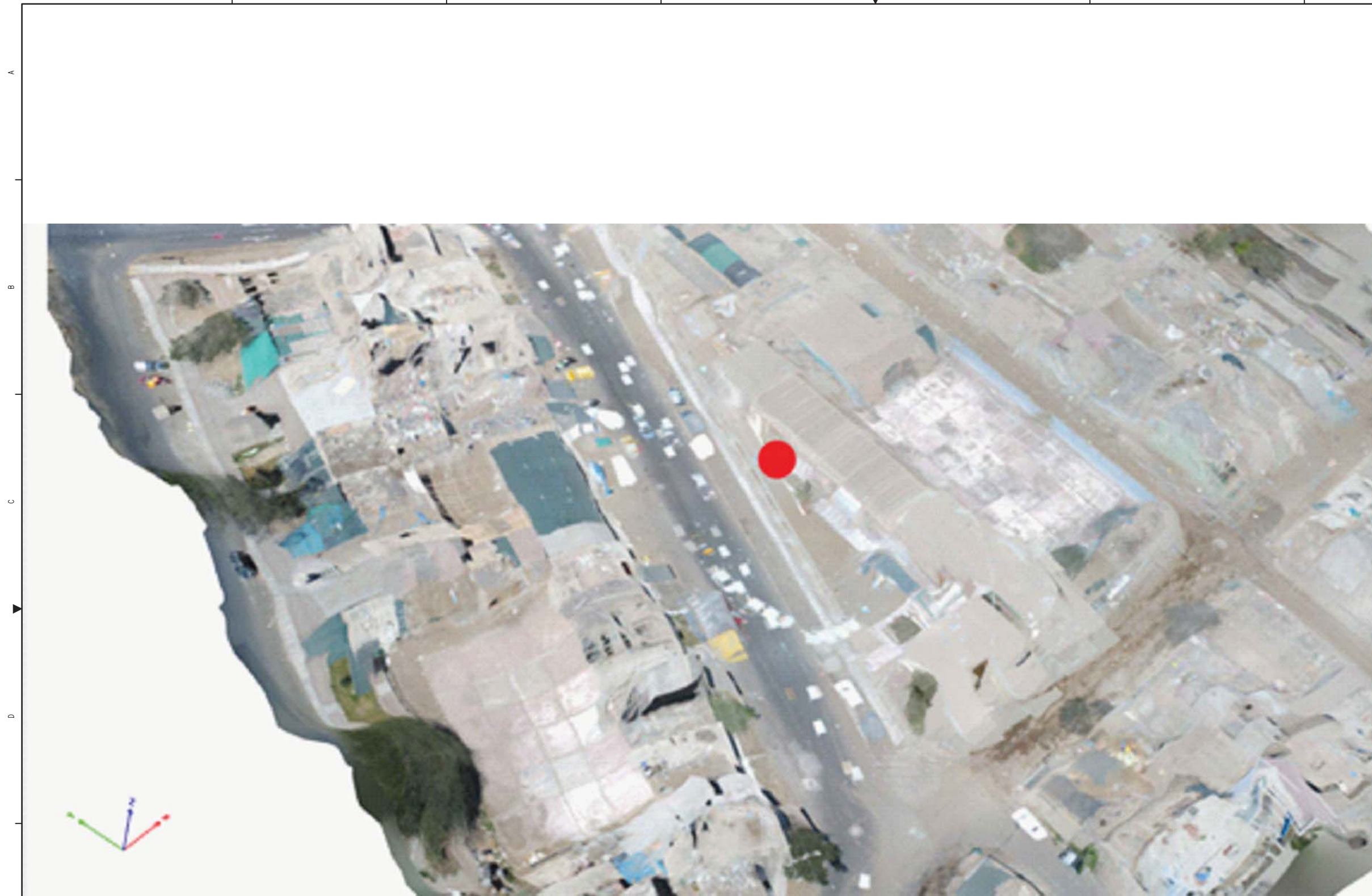
PROYECTO: Servicio de consultoría para ejecución del estudio caracterización Geotécnica y Geofísica de estaciones acelerométricas del SENGICO
 TITULO: MAPA GEOFISICO DE ICA
 GEOLOGIA
 ESCALA: S/E PLANO N°: REV. A



Peligros Geológicos		◆ Reptación	▶ Erosión Marina	□ Regiones	■ Baja
■ Caída	◆ Vuelco	★ Erosión de Laderas	■ Muy Alta	■ Susceptibilidad a Movimientos en Masa	■ Muy Baja
▲ Deslizamiento	○ Arenamiento	▼ Hundimiento	■ Alta	■ Media	
◆ Flujo	● Erosión Fluvial	● Inundación			
★ Mov. Complejo		● Zonas Críticas			

CONFIDENCIAL:	NOTAS: 1. LA INFORMACION TOPOGRAFICA ESTA EN EL SISTEMA UTM WGS84, ZONA 18 SUR. 2. LA UNIDAD PARA LAS DIMENSIONES ES EN METROS Y ELEVACIONES EN M.S.N.M., SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. 3. LAS ESCALAS MOSTRADAS ES PARA EL FORMATO A1. 4. FUENTE DE INFORMACION:	DOCUMENTOS DE REFERENCIA		REVISIONES				CLIENTE: SENCICO SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACION PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION CONSULTOR: Terrasolutions Perú CONSULTORES EN INGENIERIA			
		REV.	DESCRIPCIÓN	REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJO		PREPARÓ	APROBÓ	AUTORIZÓ
		A		A		EMITIDO PARA REVISIÓN	L. SEBLAN		L. SEBLAN	N. MORI	N. MORI
				REVISIONES PREVIAS							

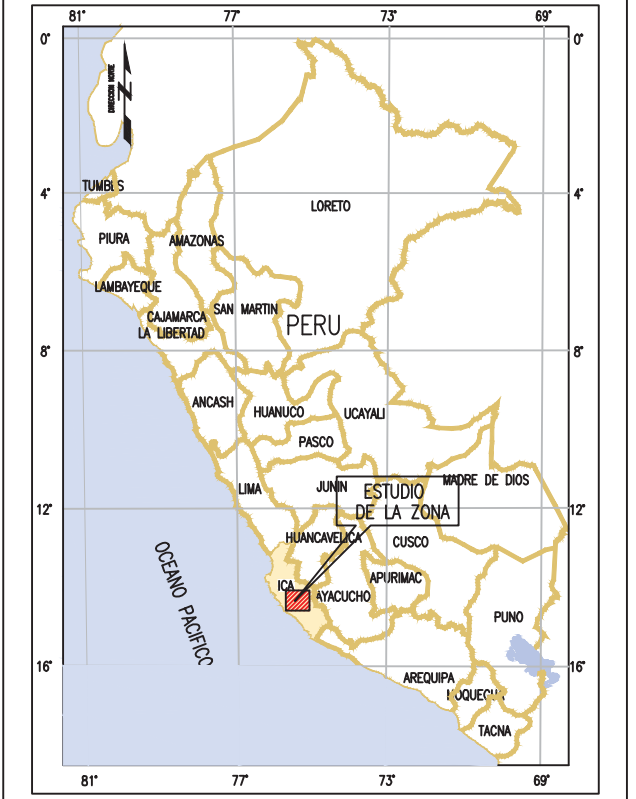
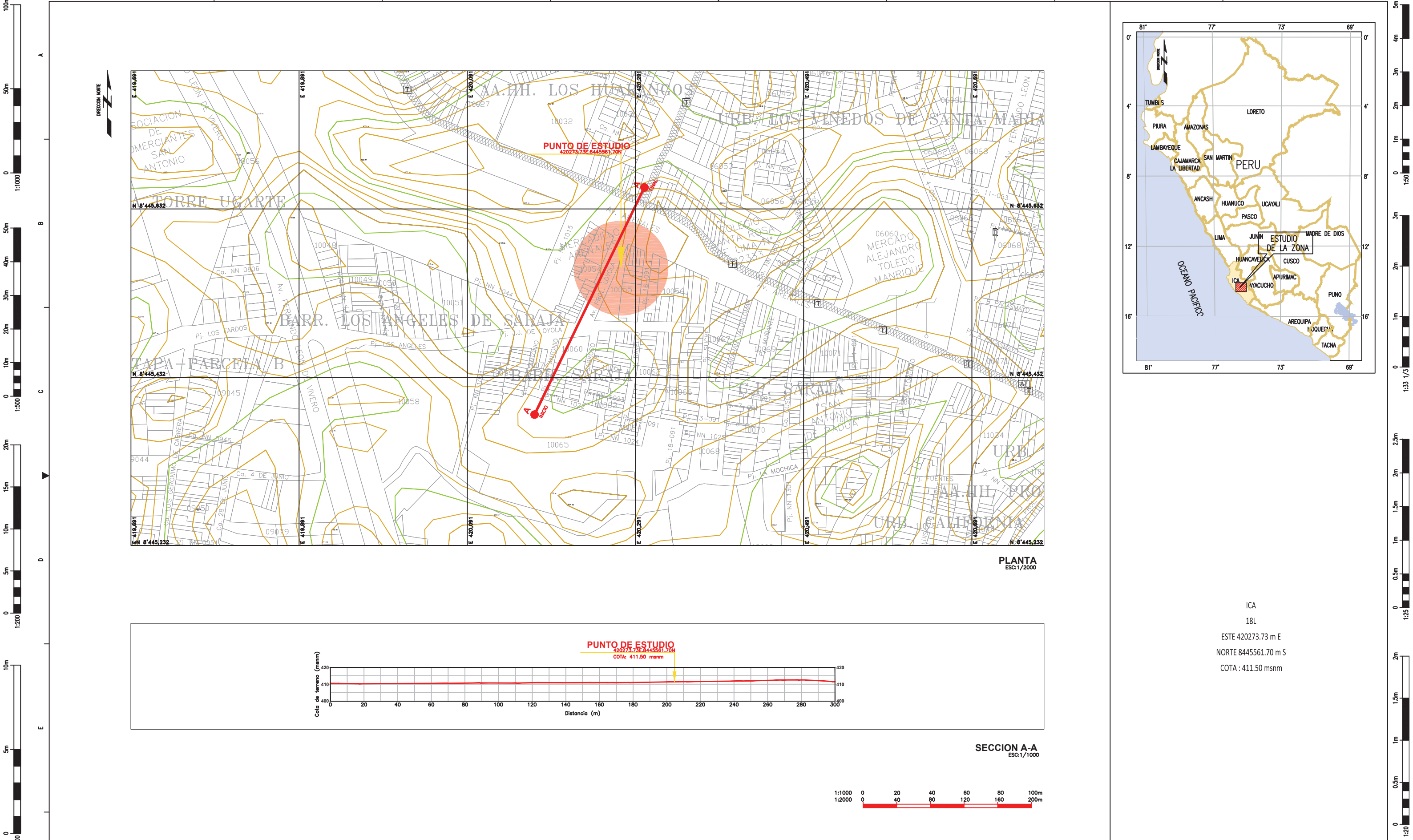
PROYECTO:	Servicio de consultoría para ejecución del estudio caracterización Geotécnica y Geofísica de estaciones acelerométricas del SENCICO	
TITULO:	MAPA PELIGRO SISMICO DE ICA	
GEOLOGIA		
ESCALA:	S/E	PLANO N°:
		REV. A



A
B
C
D
E
F



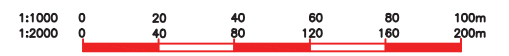
<p>CONFIDENCIAL:</p>	<p>NOTAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. LA INFORMACION TOPOGRAFICA ESTA EN EL SISTEMA UTM WGS84, ZONA 18 SUR. 2. LA UNIDAD PARA LAS DIMENSIONES ES EN METROS Y ELEVACIONES EN M.S.N.M., SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. 3. LAS ESCALAS MOSTRADAS ES PARA EL FORMATO A1. 4. FUENTE DE INFORMACION: 	DOCUMENTOS DE REFERENCIA		REVISIONES				<p>CLIENTE:</p> <p>CONSULTOR:</p>	<p>PROYECTO: Servicio de consultoría para ejecución del estudio caracterización Geotécnica y Geofísica de estaciones acelerométricas del SENCICO</p> <p>TITULO: IMAGEN SATELITAL – ICA</p>																																																																																						
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:5%;">REV.</th> <th style="width:35%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width:5%;">REV.</th> <th style="width:10%;">FECHA</th> <th style="width:35%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width:5%;">DIBUJO</th> <th style="width:5%;">PREPARÓ</th> <th style="width:5%;">APROBÓ</th> <th style="width:5%;">AUTORIZÓ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> <td>EMITIDO PARA REVISIÓN</td> <td style="text-align: center;">I. SEBLAN</td> <td style="text-align: center;">I. SEBLAN</td> <td style="text-align: center;">N. MORI</td> <td style="text-align: center;">N. MORI</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: right;">REVISIONES PREVIAS</td> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </tbody> </table>	REV.	DESCRIPCIÓN	REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN		DIBUJO	PREPARÓ	APROBÓ	AUTORIZÓ	A		A		EMITIDO PARA REVISIÓN	I. SEBLAN	I. SEBLAN	N. MORI	N. MORI																																																																REVISIONES PREVIAS									<p>ESCALA: S/E</p>	<p>PLANO N°: _____</p>
		REV.	DESCRIPCIÓN	REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJO	PREPARÓ	APROBÓ	AUTORIZÓ																																																																																					
A		A		EMITIDO PARA REVISIÓN	I. SEBLAN	I. SEBLAN	N. MORI	N. MORI																																																																																							
REVISIONES PREVIAS																																																																																															



PLANTA
ESC: 1/2000

SECCION A-A
ESC: 1/1000

ICA
18L
ESTE 420273.73 m E
NORTE 8445561.70 m S
COTA : 411.50 msnm



CONFIDENCIAL:

NOTAS:

1. LA INFORMACION TOPOGRAFICA ESTA EN EL SISTEMA UTM WGS84, ZONA 18 SUR.
2. LA UNIDAD PARA LAS DIMENSIONES ES EN METROS Y ELEVACIONES EN M.S.N.M., SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
3. LAS ESCALAS MOSTRADAS ES PARA EL FORMATO A1.
4. FUENTE DE INFORMACION:

DOCUMENTOS DE REFERENCIA		REVISIONES						
REV.	DESCRIPCION	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	PREPARÓ	APROBÓ	AUTORIZÓ
A		A		EMITIDO PARA REVISIÓN	L. SEBLAN	LSEBLAN	N. MORI	N. MORI
		REVISIONES PREVIAS						

CLIENTE:

CONSULTOR:

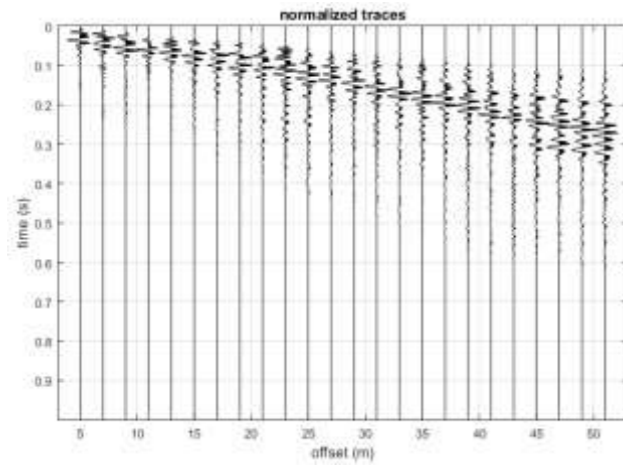
PROYECTO: Servicio de consultoría para ejecución del estudio caracterización Geotécnica y Geofísica de estaciones acelerométricas del SENCICO

TITULO: TOPOGRAFIA PUNTO DE ICA

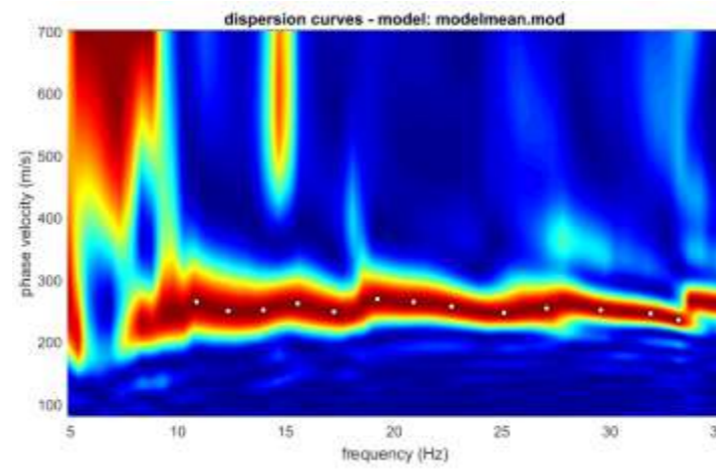
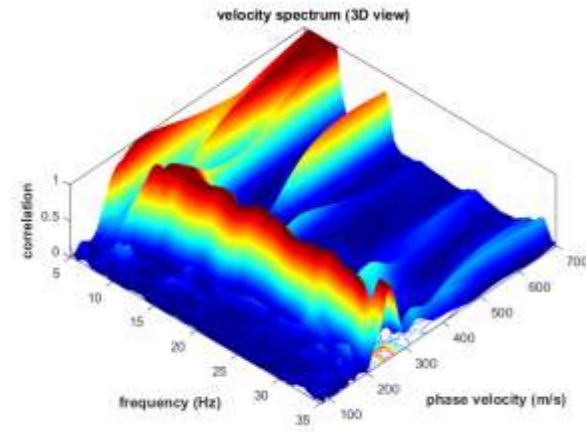
GEOLOGIA

ESCALA: S/E **PLANO N°:** **REV.:** A

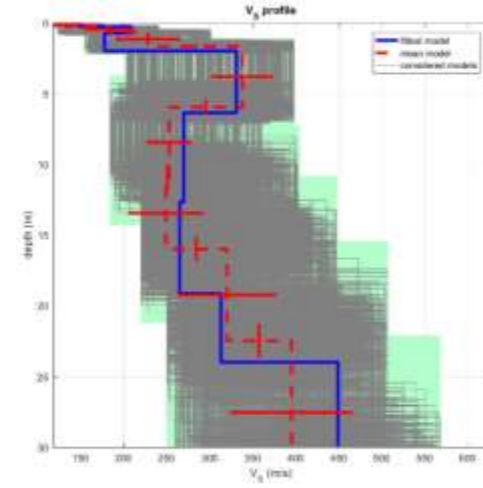
1. TRAZAS SISMICAS MASW:



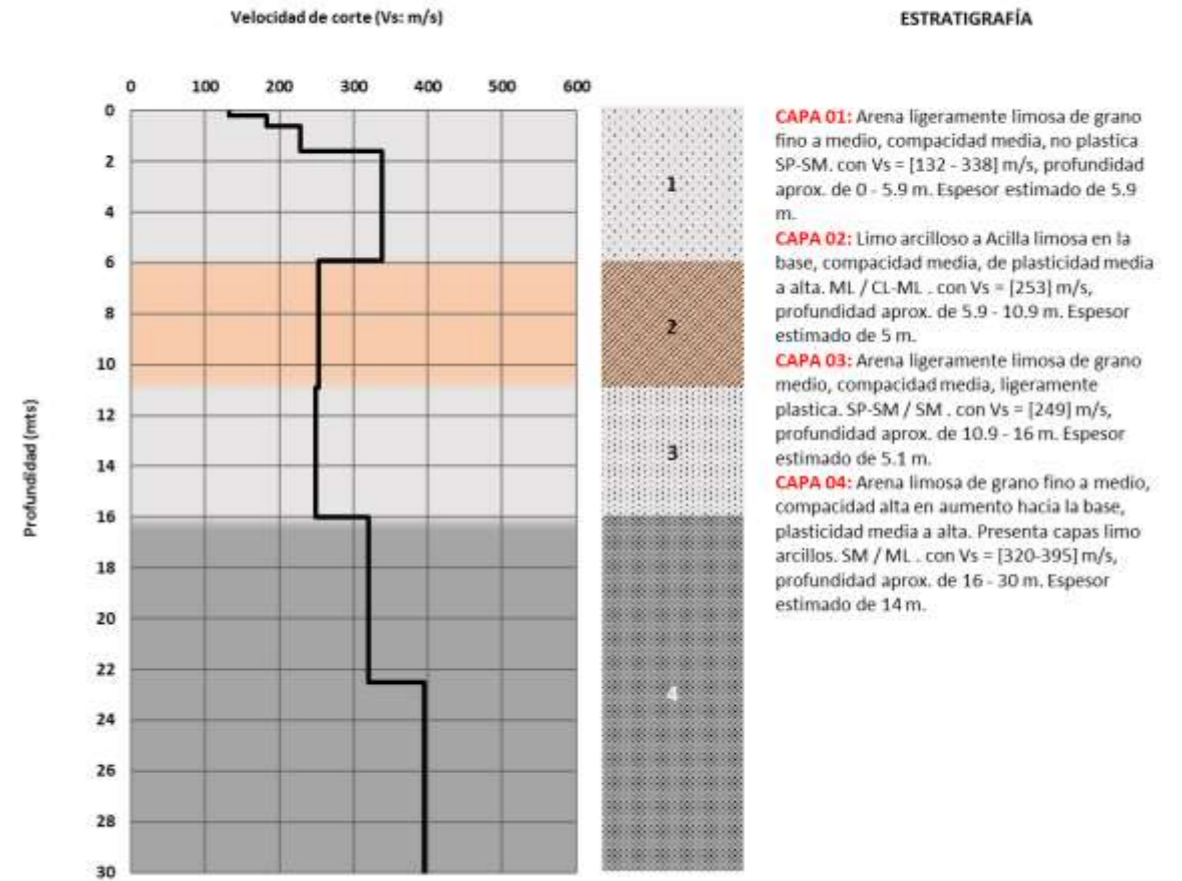
2. ESPECTRO DE VELOCIDADES MASW:



3. INVERSIÓN – PERFIL VS:



4. RESULTADOS:



Capa	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor	Profundidad (mts)
1	132	254	0.2	0
2	183	336	0.4	0.2
3	228	444	1	0.6
4	338	708	4.3	1.6
5	253	544	5	5.9
6	249	537	5.1	10.9
7	320	626	6.5	16
8	395	746	14	22.5



Vs30 (m/s)	298
Tipo de Suelo	D
Clasificación de suelos NEHRP:	Suelo duro
Clasificación de perfil de suelos E.030:	S2 (SUELOS INTERMEDIOS)

Tabla 1. Clasificación de suelos de acuerdo a la NEHRP*

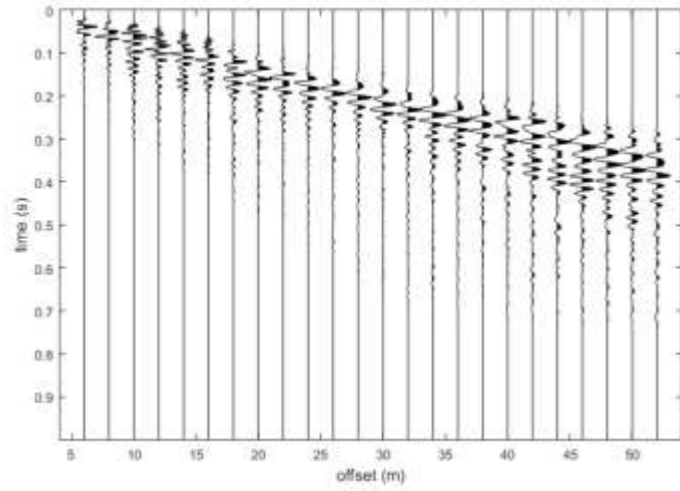
Tipo de suelo	Clasificación Roca/Suelo	Vs30 (m/s)
A	Roca dura	>1500
B	Roca	760-1500
C	Suelo muy denso o roca suave	360-760
D	Suelo duro	180-360
E	Suelo suave	<180
F	Suelos especiales que requieren evaluación específica de sitio	

*NEHRP: National Earthquake Hazard Reduction Program

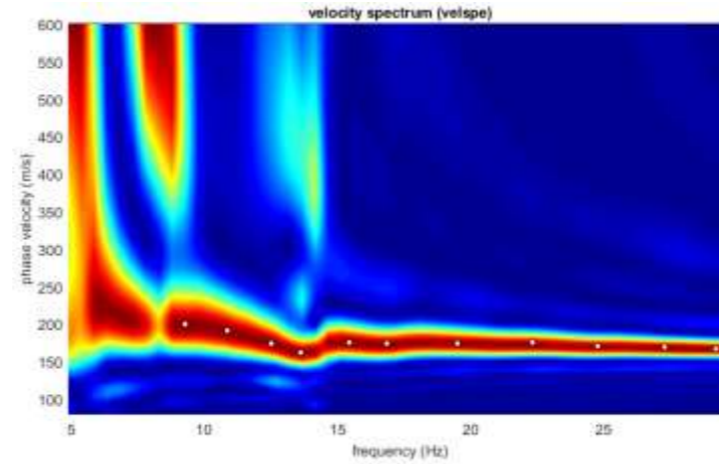
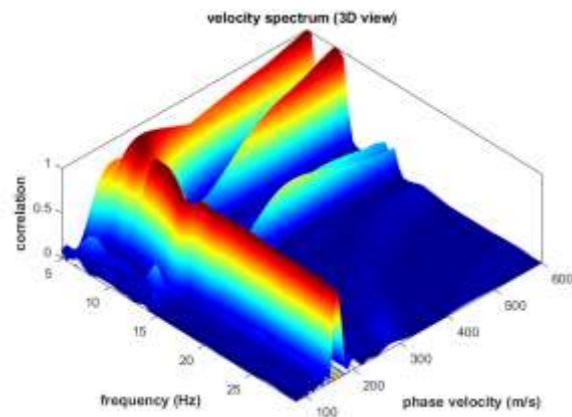
Perfil	Vs	N60	qs
S0	> 1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

CLIENTE: 	CONTRATISTA: 	REVISIONES:			PROYECTO: SERVICIO DE CONSULTORIA PARA EJECUCION DEL ESTUDIO CARACTERIZACION GEOTECNICA Y GEOFISICA DE ESTACIONES ACELEROMETRICAS DEL SENCICO	TITULO: MASW-1D 01 SEDE ICA	
		N° A	FECHA 17-12-18	DESCRIPCIÓN: AVANCE		ESCALA: SIN ESCALA	FECHA: 17-12-18
		DISEÑO: L.H.V					
		DIBUJO: L.H.V					
		REVISADO:					
		APROBADO:					

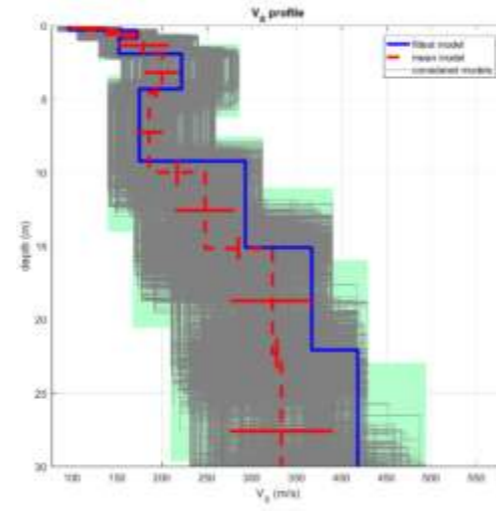
1. TRAZAS SISMICAS MASW:



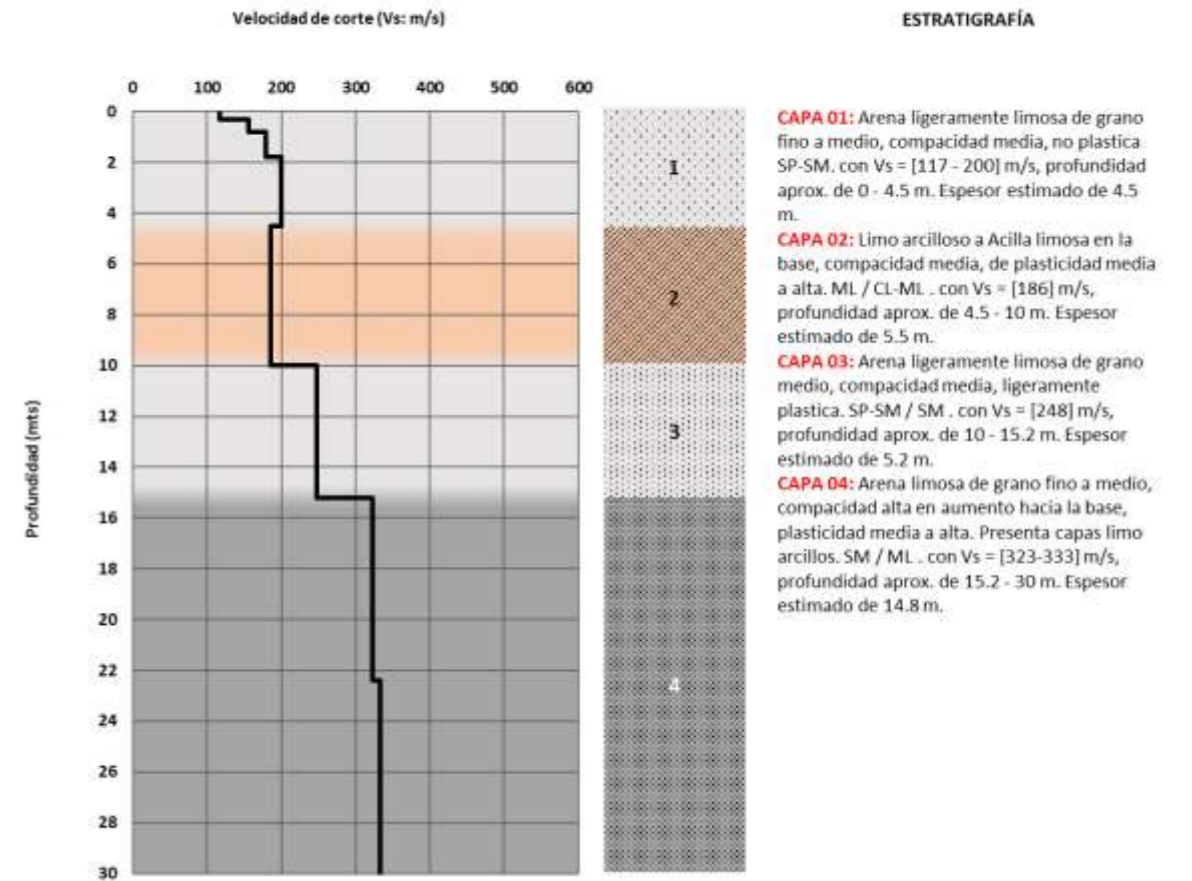
2. ESPECTRO DE VELOCIDADES MASW:



3. INVERSIÓN – PERFIL VS:



4. RESULTADOS:



ESTRATIGRAFÍA

CAPA 01: Arena ligeramente limosa de grano fino a medio, compacidad media, no plastica SP-SM. con Vs = [117 - 200] m/s, profundidad aprox. de 0 - 4.5 m. Espesor estimado de 4.5 m.

CAPA 02: Limo arcilloso a Arcilla limosa en la base, compacidad media, de plasticidad media a alta. ML / CL-ML . con Vs = [186] m/s, profundidad aprox. de 4.5 - 10 m. Espesor estimado de 5.5 m.

CAPA 03: Arena ligeramente limosa de grano medio, compacidad media, ligeramente plastica. SP-SM / SM . con Vs = [248] m/s, profundidad aprox. de 10 - 15.2 m. Espesor estimado de 5.2 m.

CAPA 04: Arena limosa de grano fino a medio, compacidad alta en aumento hacia la base, plasticidad media a alta. Presenta capas limo arcillos. SM / ML . con Vs = [323-333] m/s, profundidad aprox. de 15.2 - 30 m. Espesor estimado de 14.8 m.

Capa	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Espesor	Profundidad (mts)
1	117	236	0.3	0
2	156	332	0.5	0.3
3	179	362	1	0.8
4	200	411	2.7	1.8
5	186	419	5.5	4.5
6	248	520	5.2	10
7	323	661	7.2	15.2
8	333	604	14.8	22.4

Vs30 (m/s)	249
Tipo de Suelo	D
Clasificación de suelos NEHRP:	Suelo duro
Clasificación de perfil de suelos E.030:	S2 (SUELOS INTERMEDIOS)

Tabla 1. Clasificación de suelos de acuerdo a la NEHRP*

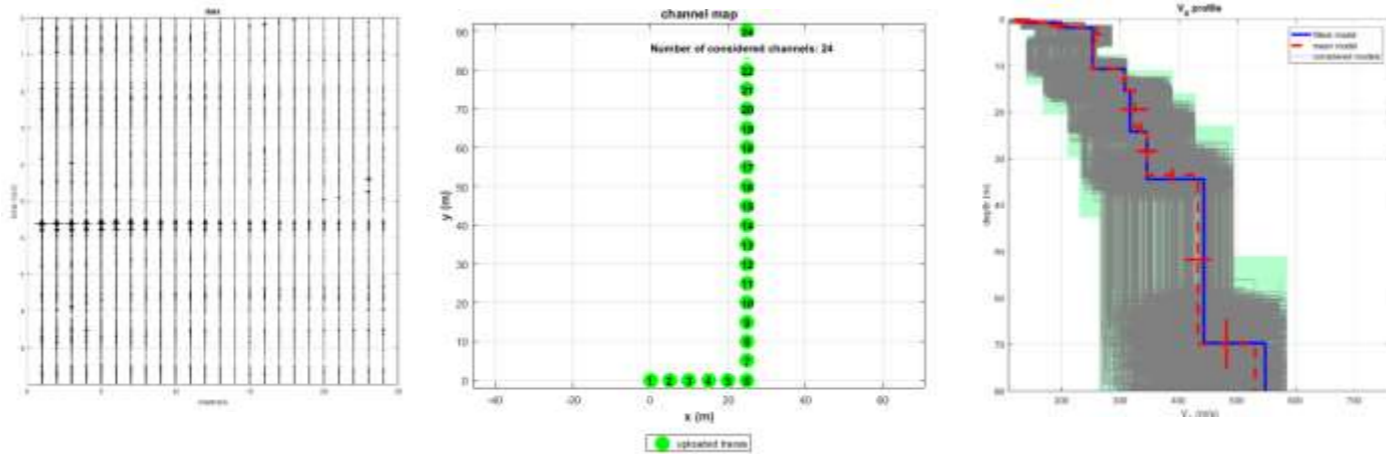
Tipo de suelo	Clasificación Roca/Suelo	V_{s30} (m/s)
A	Roca dura	>1500
B	Roca	760-1500
C	Suelo muy denso o roca suave	360-760
D	Suelo duro	180-360
E	Suelo suave	<180
F	Suelos especiales que requieren evaluación específica de sitio	

*NEHRP: National Earthquake Hazard Reduction Program

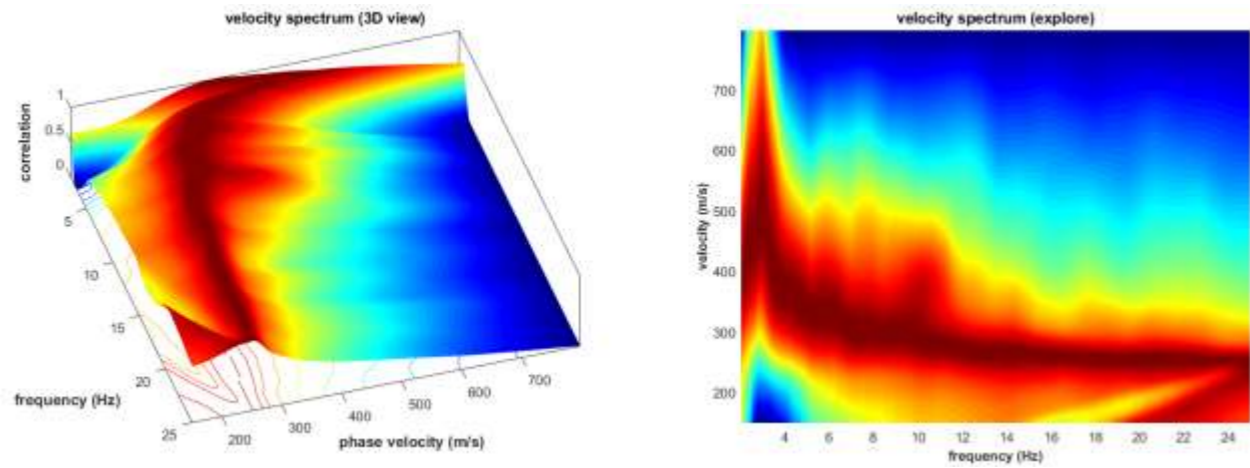
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{z}_w
S_0	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

CLIENTE: 	CONTRATISTA: 	REVISIONES:			PROYECTO: SERVICIO DE CONSULTORIA PARA EJECUCION DEL ESTUDIO CARACTERIZACION GEOTECNICA Y GEOFISICA DE ESTACIONES ACELEROMETRICAS DEL SENCICO	TITULO: MASW-1D 02 SEDE ICA	
		N°	FECHA	DESCRIPCIÓN:		ESCALA: SIN ESCALA	
		DISEÑO: L.H.V DIBUJO: L.H.V REVISADO:	A	17-12-18		AVANCE	FECHA: 17-12-18
		APROBADO:					CÓDIGO: NM-MW01-WIN-1218 REV: 0

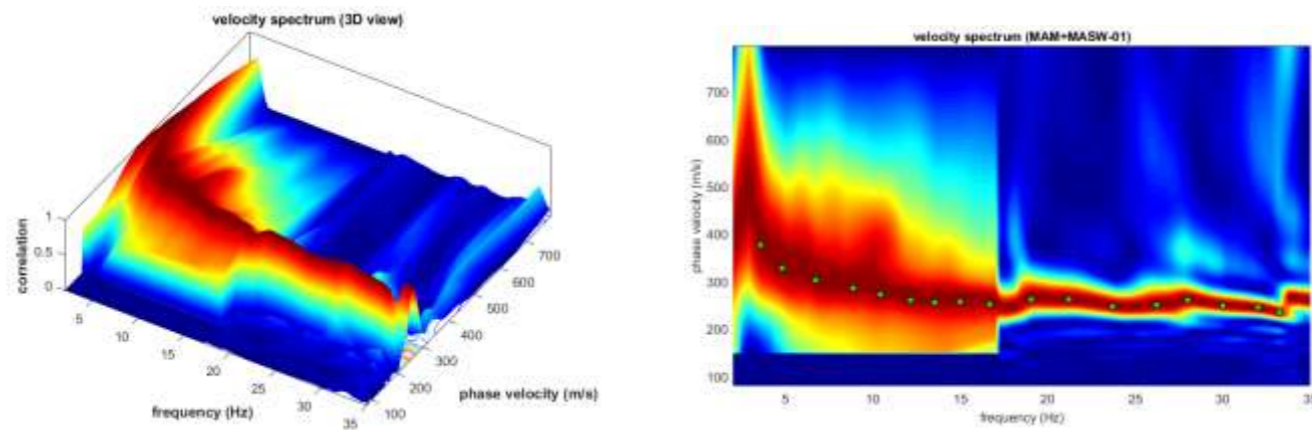
1. TRAZAS SISMICAS, GEOMETRIA E INVERSIÓN:



2. ESPECTRO DE VELOCIDADES:



3. ESPECTRO DE VELOCIDADES MAM + MASW:



4. RESULTADOS:

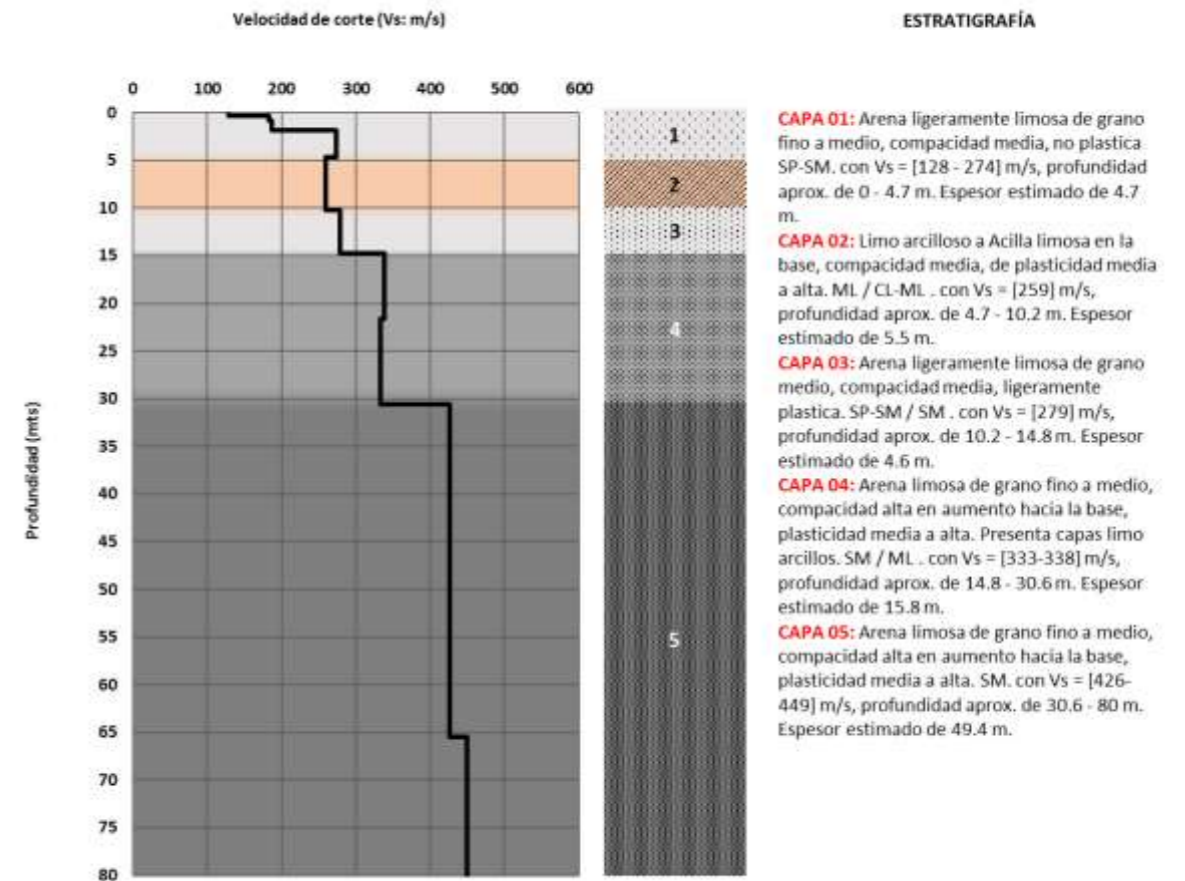


Tabla 1. Clasificación de suelos de acuerdo a la NEHRP*

Tipo de suelo	Clasificación Roca/Suelo	V_{s30} (m/s)
A	Roca dura	>1500
B	Roca	760-1500
C	Suelo muy denso o roca suave	360-760
D	Suelo duro	180-360
E	Suelo suave	<180
F	Suelos especiales que requieren evaluación específica de sitio	

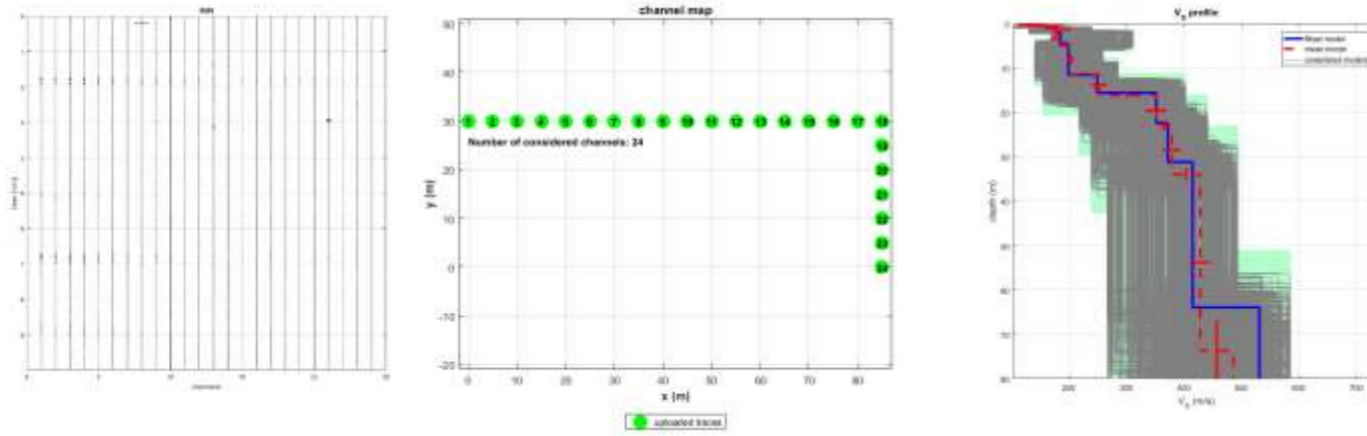
*NEHRP: National Earthquake Hazard Reduction Program

Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{s}_v
S_0	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

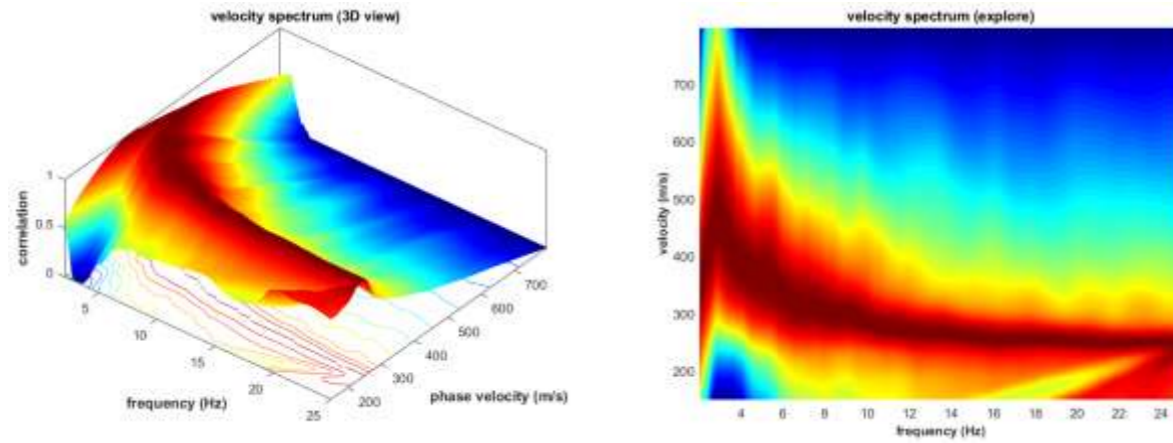
Capa	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Espesor	Profundidad (mts)
1	128	297	0.3	0
2	183	436	0.5	0.3
3	187	384	1	0.8
4	274	763	2.9	1.8
5	259	608	5.5	4.7
6	279	637	4.6	10.2
7	338	701	6.8	14.8
8	333	680	9	21.6
9	426	830	34.9	30.6
10	449	880		65.5

CLIENTE: 	CONTRATISTA: 	REVISIONES:			PROYECTO: SERVICIO DE CONSULTORIA PARA EJECUCION DEL ESTUDIO CARACTERIZACION GEOTECNICA Y GEOFISICA DE ESTACIONES ACCELEROMETRICAS DEL SENCICO	TITULO: MAM 01 SEDE ICA	
		DISEÑO: L.H.V	N° A	FECHA 17-12-18		DESCRIPCIÓN: AVANCE	ESCALA: SIN ESCALA
		DIBUJO: L.H.V					FECHA: 17-12-18
		REVISADO: APROBADO:					CÓDIGO: NM-MM01-WIN-1218

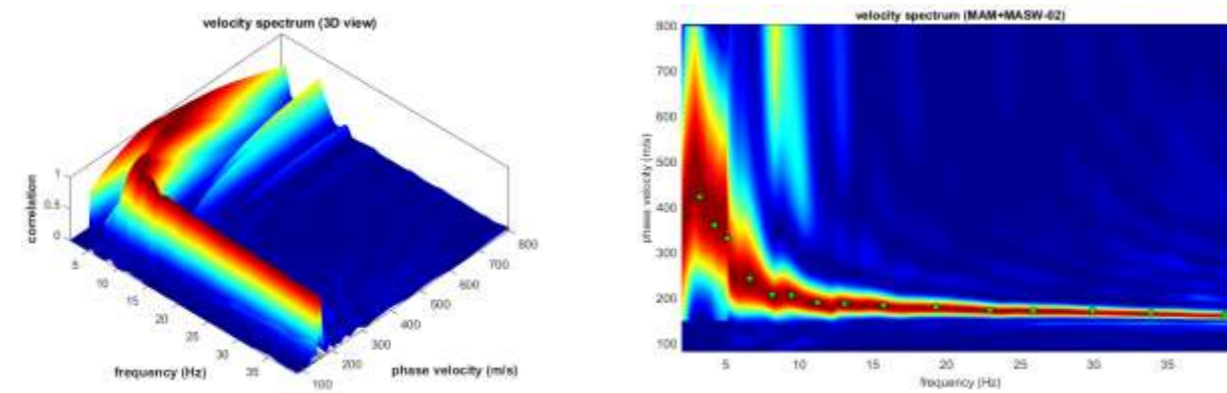
1. TRAZAS SISMICAS, GEOMETRIA E INVERSIÓN:



2. ESPECTRO DE VELOCIDADES:



3. ESPECTRO DE VELOCIDADES MAM + MASW:



4. RESULTADOS:

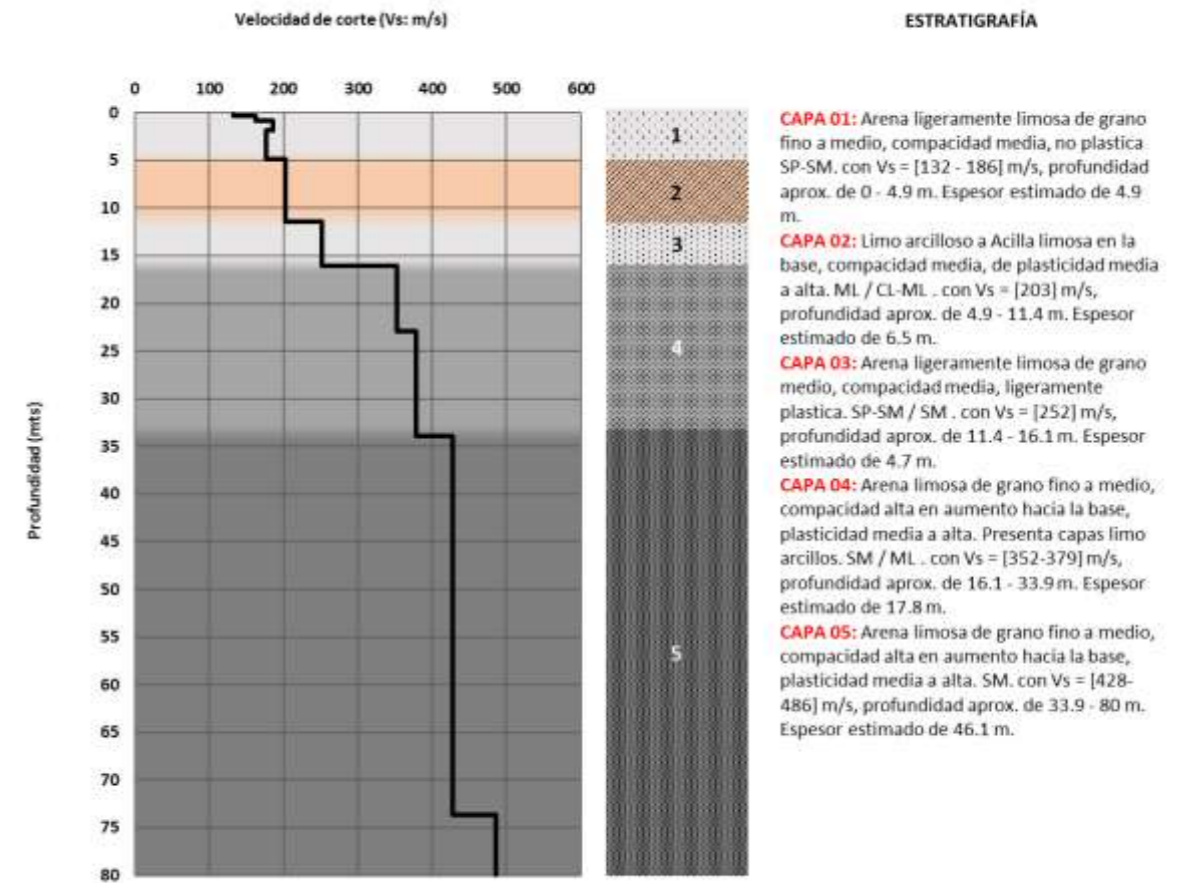


Tabla 1. Clasificación de suelos de acuerdo a la NEHRP*

Tipo de suelo	Clasificación Roca/Suelo	F_{s30} (m/s)
A	Roca dura	>1500
B	Roca	760-1500
C	Suelo muy denso o roca suave	360-760
D	Suelo duro	180-360
E	Suelo suave	<180
F	Suelos especiales que requieren evaluación específica de sitio	

*NEHRP: National Earthquake Hazard Reduction Program

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{z}_s
S ₃	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa

Clasificación basada en el EMS

Capa	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Esesor	Profundidad (mts)
1	132	246	0.3	0
2	162	328	0.5	0.3
3	186	383	1	0.8
4	177	389	3.1	1.8
5	203	391	6.5	4.9
6	252	545	4.7	11.4
7	352	780	6.8	16.1
8	379	796	11	22.9
9	428	868	39.7	33.9
10	486	888	>>>	73.6

CLIENTE: 	CONTRATISTA: 	REVISIONES: N° FECHA DESCRIPCIÓN:			PROYECTO: SERVICIO DE CONSULTORIA PARA EJECUCION DEL ESTUDIO CARACTERIZACION GEOTECNICA Y GEOFISICA DE ESTACIONES ACCELEROMETRICAS DEL SENCICO	TITULO: MAM 02 SEDE ICA	
		DISEÑO: L.H.V	A	17-12-18		AVANCE	ESCALA: SIN ESCALA
		DIBUJO: L.H.V					FECHA: 17-12-18
		REVISADO: APROBADO:					CODIGO: NM-MM02-WIN-1218

