

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL Y DEL
AMBIENTE**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ELABORACIÓN DEL ESPECTRO SÍSMICO DE DISEÑO PARA LA
CIUDAD DE AREQUIPA MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE LOS
EVENTOS SÍSMICOS MÁS SEVEROS DEL PERÚ Y SU APLICACIÓN
AL DISEÑO SISMORRESISTENTE”**

Tesis presentada por las bachilleres:

**JEAQUELINE KAROL PACSI ARENAS
YESENIA SOFÍA CONTRERAS MALLMA**

Para optar el título de:

INGENIERO CIVIL

AREQUIPA – PERÚ

2016

DEDICATORIA

“Dedico especialmente este proyecto culminado a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional a lo largo de estos años, a mi asesor por el tiempo y esfuerzo invertido en este proyecto”

Jeaqueline Karol Pacsi Arenas

“A mis padres Yolanda y Alejandro, por haber sido mi más grande fortaleza y mi guía durante todo este tiempo; a mis abuelos, que fueron como unos padres para mí y son mi motivación para cumplir mis objetivos; a mi tía Eulalia, quien fue una madre para mí y me ha acompañado y apoyado durante toda mi vida; a mi hermana Astrid, quien me brindó su apoyo incondicional cada día; a mi amiga de la infancia Mariana quien ha sido como una hermana y siempre me animó a seguir adelante; a mis amigos Joel, Jimmy, Wilson, Ever, Gustavo, Verónica, Bolton, Santiago, Joselynn, Diego, Richard, Marco por todos estos años siendo compañeros de estudio, años que me ayudaron a crecer como persona y como profesional. A mi asesor por haber dedicado tiempo para enseñarnos adecuadamente y siempre resolver nuestras dudas durante esta etapa. Y a todas las personas que nos apoyaron durante este tiempo. Gracias por todo.”

Yesenia Sofía Contreras Mallma

INDICE

Introducción	8
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	9
1.1. Problema de investigación	9
1.2. Hipótesis	9
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
1.4. Delimitación.....	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Microzonificación Sísmica de Arequipa	11
2.1.1 Historia Sísmica de Arequipa.....	11
2.1.2. GEOMORFOLOGÍA	15
2.1.3. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS Y CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS	16
2.1.4. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL SUELO	18
2.2. Acelerogramas.....	20
2.3. Intensidad de Arias	20
2.4. Densidad de Energía	21
2.5. Duración.....	21
2.6 Periodo Predominante (Tp).....	21
2.7. Series de Fourier	22
2.7.1. Transformada rápida de Fourier	22
2.7.2. Espectro de Amplitud de Fourier.....	22
2.8. Espectros de Respuesta Sísmica	23
2.8.1. Introducción.....	23
2.8.2. Espectro de Respuesta de Sistemas lineales	23
Obtención del Espectro de Respuesta.....	25
2.8.3. Espectro de Respuesta de Sistemas Inelásticos	27
2.9. Espectro Sísmico de Diseño	28
2.10. Leyes de Atenuación.....	28
2.11. Funciones de Transferencia.....	30
2.12. Peligrosidad Sísmica	31

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

CAPÍTULO 3. DATOS Y PROCEDIMIENTO	32
3.1. Área de Estudio	32
3.1.1. Datos Estratigráficos	32
3.2. Registros Sísmicos	33
3.3. Software DEEPSOIL	90
CAPITULO 4: Resultados y Espectro de diseño	96
4.1 Resultados análisis en Deepsoil	96
4.2 Espectros de Respuesta	101
4.3 Coeficiente De Amplificación Del Suelo Y Periodo Predominante	107
4.4 Espectro de Diseño	111
CAPÍTULO 5. EJEMPLO DE APLICACIÓN	113
5.1 Análisis estático	114
5.2 Análisis Dinámico	116
5.3. Resultados del Análisis	121
5.4. Diseño de Losa Aligerada	129
5.8. Diseño de Vigas	131
5.9. Diseño de Columnas	136
5.10. Diseño de placas	141
5.11 Diseño de Cimentación	146
CONCLUSIONES	148
BIBLIOGRAFÍA	149

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Mapa Geomorfológico de la Ciudad de Arequipa	15
Ilustración 2	Mapa Geotécnico de la Ciudad de Arequipa	17
Ilustración 3	Mapa de Microzonificación Sísmica Arequipa	19
Ilustración 4	Periodo Predominante Espectro de Amplitud de Fourier Sismo Arequipa 2001 componente horizontal EW	21
Ilustración 5	Espectro de Respuesta de Deformación, Sismo Ancash 1970 EW	24
Ilustración 6	Espectro de Respuesta de Velocidad, Sismo Ancash 1970 EW	24
Ilustración 7	Espectro de Respuesta de Aceleración, Sismo Ancash 1970 EW	24
Ilustración 8	Propagación de la Energía Sísmica(Bertero 1992)	31
Ilustración 9	Ubicación de Calicatas de Área de Estudio	32
Ilustración 10	Epícentros de los Sismos Considerados	33
Ilustración 11	Datos de Entrada Sismo Ancash 1966 EW	35
Ilustración 12	Datos de Entrada Sismo Ancash 1966 NS	36
Ilustración 13	Datos de Entrada Sismo Ancash 1966 UD	37
Ilustración 14	Datos de Entrada Sismo Ancash 1970 EW	39
Ilustración 15	Datos de Entrada Sismo Ancash 1970 NS	40
Ilustración 16	Datos de Entrada Sismo Ancash 1970 UD	41
Ilustración 17	Datos de Entrada Sismo Lima 1974 EW	43
Ilustración 18	Datos de Entrada Sismo Lima 1974 NS	44
Ilustración 19	Datos de Entrada Sismo Lima 1974 UD	45
Ilustración 20	Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 EW	47
Ilustración 21	Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 NS	48
Ilustración 22	Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 UD	49
Ilustración 23	Datos de Entrada Sismo Moquegua 2001 EW	51
Ilustración 24	Datos de Entrada Sismo Moquegua 2001 NS	52
Ilustración 25	Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 UD	53
Ilustración 26	Datos de Entrada Sismo Pisagua 2005 EW	55
Ilustración 27	Datos de Entrada Sismo Pisagua 2005 NS	56
Ilustración 28	Datos de Entrada Sismo Pisagua 2005 UD	57
Ilustración 29	Datos de Entrada Sismo Ica 2007 EW	59
Ilustración 30	Datos de Entrada Sismo Ica 2007 NS	60
Ilustración 31	Datos de Entrada Sismo Ica 2007 UD	61
Ilustración 32	Datos de Entrada Sismo Tacna 2010 EW	63
Ilustración 33	Datos de Entrada Sismo Tacna 2010 NS	64
Ilustración 34	Datos de Entrada Sismo Tacna 2010 UD	65
Ilustración 35	Datos de Entrada Sismo Tacna 2012 EW	67
Ilustración 36	Datos de Entrada Sismo Tacna 2012 NS	68
Ilustración 37	Datos de Entrada Sismo Tacna 2012 UD	69
Ilustración 38	Datos de Entrada Sismo Arequipa 2012 EW	71
Ilustración 39	Datos de Entrada Sismo Arequipa 2012 NS	72
Ilustración 40	Datos de Entrada Sismo Arequipa 2012 UD	73
Ilustración 41	Datos de Entrada Sismo Iquique 2014 EW	75
Ilustración 42	Datos de Entrada Sismo Iquique 2014 NS	76

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Ilustración 43	Datos de Entrada Sismo Iquique 2014 UD	77
Ilustración 44	Datos de Entrada Sismo Iquique 01-04-2014 EW	79
Ilustración 45	Datos de Entrada Sismo Iquique 01-04-2014 NS	80
Ilustración 46	Datos de Entrada Sismo Iquique 01-04-2014 NS	81
Ilustración 47	Datos de Entrada Sismo Arica 2015 EW.....	83
Ilustración 48	Datos de Entrada Sismo Arica 2015 NS.....	84
Ilustración 49	Datos de Entrada Sismo Arica 2015 UD	85
Ilustración 50	Datos de Entrada Sismo Mauloe 2010 EW	87
Ilustración 51	Datos de Entrada Sismo Maule 2010 NS.....	88
Ilustración 52	Datos de Entrada Sismo Maule 2010 UD	89
Ilustración 53	Espectros de Respuesta Simos EW	96
Ilustración 54	Espectros de Respuesta Sismos NS.....	97
Ilustración 55	Espectro Promedio, Envoltente y Promedio + Desviación Estándar.....	100
Ilustración 56	Espectros de Respuesta Sismo EW Estrato 1	101
Ilustración 57	Espectros de Respuesta Sismo NS Estrato 1	102
Ilustración 58	Espectro Normalizado	106
Ilustración 59	Funciones de Transferencia Sismos Aplicados al Estrato 1	107
Ilustración 60	Determinación del Parámetro de Suelo mediante la Función de Transferencia	110
Ilustración 61	Espectro de Diseño Final	111
Ilustración 62	Comparación del Espectro considerando el parámetro "C"	112
Ilustración 63	Comparación de Epectros Considerando todos los factores	112

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características Dinámicas Estimadas	16
Tabla 2	Leyes de atenuación Empíricas	30
Tabla 3	Características del Suelo	32
Tabla 4	Registros Sísmicos Empleado.....	33
Tabla 5	Cálculo del Espectro Promedio y Desviación Estándar	100
Tabla 6	Cálculo Promedio y Desviación Estándar Sismos en Estrato 1	105
Tabla 7	Espectro Envolvente, Promedio y Promedio + Desviación Estándar para Estrato 1	105
Tabla 8	Datos de Entrada para Función de Transferencia Promedio.....	108



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Introducción

El presente trabajo consiste en la elaboración de un espectro de diseño elástico para la ciudad de Arequipa basada en las características geológicas y dinámicas del suelo.

Se llevó a cabo el análisis de la respuesta del suelo con ayuda del software “Deepsoil”, el cual nos ayudara a simular el comportamiento de los estratos de suelo al ser sometidos a algunos de los sismos más fuertes ocurridos en el Perú y algunos en el vecino país de Chile.

Posteriormente se llevó a cabo el análisis de los resultados, pudiendo así elaborar nuestro espectro de respuesta y obteniendo algunos de los datos más importantes de la investigación como son el valor del factor de suelo S y el periodo de retorno nuestro suelo T_p .

Para la aplicación de la investigación se realizó el modelamiento del Pabellón C de la Universidad Católica De Santa María con el espectro obtenido y también con el espectro de la actual norma e-030 comparándose sus respectivas derivas.

Finalmente se llevó a cabo el diseño de los elementos estructurales usando los datos de nuestra investigación, observándose así que esta es funcional y podría ser utilizada posteriormente.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Problema de investigación

Actualmente el diseño sísmico se realiza de acuerdo a la “Norma Técnica Peruana E.030 de Diseño Sismo resistente”, esta concibe en su estructura al sismo dinámico, el cual es aplicado mediante el espectro sísmico, que supone el movimiento del terreno frente a futuros eventos sísmicos.

Como es sabido, la respuesta sísmica se verá afectada según el tipo de terreno sobre el cual se sitúe, no habiendo un estudio específico para nuestra zona, el diseño espectral de la norma y los factores que considera están basados en el reglamento AASHTO.

1.2. Hipótesis

A través del análisis lineal equivalente de una columna estratigráfica de Arequipa, se puede obtener un factor de amplificación del suelo y un espectro de diseño que se ajusta más a la realidad de la zona de estudio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Elaborar un Espectro de Diseño Local, adaptando los sismos más severos de los que se tiene registro, al suelo de la ciudad de Arequipa mediante un software de “Análisis de respuesta lineal sísmica equivalente de capas de suelo horizontales”, para predecir de esta manera el comportamiento del terreno ante tales eventos considerando factores que permitan obtener resultados más cercanos a la realidad del lugar de estudio.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener información sobre los sismos más severos que afectaron al país.
- Estudio de comportamiento de sismo aplicado al suelo de Arequipa
- Aplicación de software de análisis sísmico para evaluación de respuesta del suelo frente a los eventos sísmicos más severos sufridos en el país.
- Comparación de Espectro obtenido frente al Espectro de la Norma vigente.
- Aplicación del espectro de diseño obtenido para el diseño de una edificación.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

1.4. Delimitación

Para la elaboración del Espectro de Diseño, se modificará el factor de amplificación del suelo “S” a través de un análisis lineal equivalente de una columna estratigráfica en la zona C del mapa de microzonificación Sísmica de Arequipa.

Para el análisis, será necesario realizar una recopilación de tiempo historia de eventos sísmicos severos registrados en la base de Datos CISMID, y los datos estratigráficos se obtendrán del estudio de suelos realizado para el “Proyecto Puente Chilina”. Estos datos serán cargados al software de análisis Deepsoil para obtener el coeficiente de amplificación y los espectros de respuesta en la superficie, necesarios para la elaboración del espectro de Diseño.

Al no contar con datos suficientes para abarcar un área mayor, no se realizó el estudio de microzonificación sísmica por lo cual se tomó la aceleración máxima esperada “Z” correspondiente a la norma E-030 vigente a la fecha por lo tanto, los resultados de esta investigación solo se aplican a una determinada área con las características del suelo local y la aceleración máxima dada por el estudio de macrozonificación sísmica.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Microzonificación Sísmica de Arequipa

La ciudad de Arequipa se encuentra ubicada en el departamento y provincia del mismo nombre, a una altitud promedio de 2335 msnm en la región central occidental del continente sudamericano. El río Chili atraviesa la parte central de la ciudad, formando de esta manera un valle denominado Valle del Chili.

Su territorio es accidentado debido a la cercanía de la Cordillera de los Andes hacia el norte y la presencia de cadenas bajas de cerros hacia el sur y oeste. Se observa desde la ciudad, una serie de volcanes que forman nevados como el Misti, Chachani y Pichu Pichu, por lo que grandes extensiones de su geografía se encuentran cubiertas por gruesas capas de lava volcánica.

La ciudad, ha sido escenario de grandes eventos sísmicos a lo largo de su historia, motivo por el cual, para definir la delimitación de zonas de mayor riesgo, se han realizado estudios de microzonificación basados en criterios geotécnicos empíricos y analíticos para la determinación de las características dinámicas del suelo y su comportamiento sísmico.

2.1.1 Historia Sísmica de Arequipa

De acuerdo al INDECI la historia sísmica de Arequipa presenta los siguientes eventos más representativos:

- ❖ **Entre los años de 1471 - 1490.-** Época del Inca Túpac Yupanqui, un gran terremoto que destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa, perecieron todos sus habitantes y se dio la erupción del volcán Misti, alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **Entre los años de 1513 - 1515.-** Grandes sismos acompañados de formidables deslizamientos de tierra de algunos cerros altos, en la costa. El mar sobrepasó muchas veces la línea de playa. En Arequipa alcanzó intensidades de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **22 de Enero 1582.-** Terremoto que destruyó la Ciudad de Arequipa, ocurrido a las 11:30 horas. El movimiento se percibió en Lima. Perecieron más de 30 personas sepultadas entre los escombros, tuvo una magnitud de 8.1. (750 Km. al NE de Arequipa), el movimiento sísmico alcanzó una intensidad de X en la Escala Modificada de Mercalli, en Socabaya; en Arequipa se sintió con una intensidad de IX.
- ❖ **En el año de 1590.-** Sismo de magnitud considerable en casi toda la Costa del Sur del Perú, destruyó el pueblo de Camaná debido a la salida del mar y el represamiento del río.
- ❖ **24 de Noviembre de 1604.-** A las 13:30 horas, la conmoción sísmica arruinó las ciudades de Arequipa y Arica. Un Tsunami destruyó la ciudad de Arica y el puerto de Pisco, como consecuencia del Tsunami murieron 23 personas en Arica. Tuvo una magnitud de 7.8, y alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli, en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna y Arica.
- ❖ **22 de Agosto de 1715.-** A las 19:00 horas, en la ciudad de Arequipa ocurrió un gran terremoto que sepultó a pequeños pueblos, por los derrumbes de las partes altas de los cerros, alcanzando una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli, el movimiento se sintió en Arica.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

- ❖ **08 de Enero de 1725.-** A las 08:00 horas, fuerte temblor remeció la ciudad de Arequipa destruyendo la mayor parte de sus viviendas, este movimiento sísmico tuvo una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli, como consecuencia del sismo se levantó una gran polvareda que cubrió la ciudad.
- ❖ **27 de Marzo de 1725.-** Gran sismo que se sintió en toda la costa sur del Perú, llegándose a sentir hasta el Callao, el pueblo de Camaná fue el que sufrió grandes daños, el mar salió sobrepasando la línea de playa.
- ❖ **13 de Mayo de 1784.-** A las 07:35 horas terremoto que arruinó la ciudad de Arequipa, ocasionando graves daños en sus templos, murieron 54 personas, 500 heridos, tuvo una magnitud de 8.4, en Arequipa alcanzó una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **10 de Julio de 1821.-** A las 05:00 horas terremoto que causó graves daños en los pueblos de Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y valle de Majes. Se sintió en Lima. Murieron 70 personas en Camaná y Ocoña, 60 en Chuquibamba y 32 en Caravelí, tuvo una magnitud de 7.9, y una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **08 de Octubre de 1831.-** A las 21:15 horas fuerte sismo en Tacna, Arica y en el interior del departamento de Arequipa, ocasionó algunas víctimas y alrededor de 32 heridos.
- ❖ **13 de Agosto de 1868.-** A las 16:45 horas este terremoto alcanzó una intensidad de grado XI y fue acompañado de tsunami. Según el historiador Toribio Polo (1904), este terremoto es uno de los mayores que se han verificado en el Perú desde su conquista. El epicentro posiblemente estuvo en el Puerto de Arica, se sintió hasta unos 1400 Km. al norte y hacia el sur. Ocasionó fuerte destrucción en Arica, Tacna, Moquegua, Ilo, Torata, Iquique y Arequipa. La agitación del océano llegó hasta California, Hawái, Yokohama, Filipinas, Sidney y Nueva Zelanda. Se contaron como 300 movimientos sísmicos o réplicas hasta el 25 de agosto, tuvo una magnitud de 8.6.
- ❖ **03 de Noviembre de 1869.-** A las 19:30 horas se produjo un fuerte temblor local en Arequipa que causó deterioros en los edificios, alcanzando una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **13 de Agosto de 1868.** Terremoto de XI grados en la escala de Mercalli Modificada, a las 17:30 horas, destruyó todo Arequipa, más de 350 muertos.
- ❖ **09 de Mayo de 1877.-** A las 20:28 horas un violento sismo que sacudió y averió las poblaciones de Ilo, Arica, Mollendo y otras. Se produjo un tsunami que inundó el puerto de Ilo y destruyó parte del ferrocarril. En la ciudad de Arica el mar avanzó más de 600 metros. Esa misma noche se produjeron como 100 réplicas. La ola sísmica originada por esa conmoción se extendió casi por todo el Pacífico, llegando hasta las costas de Nueva Zelanda y Yokohoma, en Japón.
- ❖ **28 de Julio de 1913.-** A las 01:40 horas este movimiento sísmico afectó gran parte de la costa sur situada entre Chala y Mollendo, causando roturas de tres cables submarinos frente a la costa, lo que se atribuyó a un deslizamiento del talud submarino. La posición geográfica del epicentro fue de -17º Lat. S. y -74º Long. W, y alcanzó una magnitud de 7.0.
- ❖ **06 de Agosto de 1913.-** A las 17:13 horas terremoto que destruyó la ciudad de Caravelí, produjo desplome de todos los edificios de dicha ciudad y derrumbes de las laderas del valle. Afectó otras poblaciones situadas más al Sur como la de Chuquibamba, Atico, Ocoña. En la ciudad de Arequipa ocasionó daños en algunos edificios. El epicentro se le ubicó en el Océano

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Pacífico frente al litoral, siendo su posición geográfica de -17° Lat. y -74° Long. W., y su magnitud de 7.7, en Caravelí y Chuquibamba alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli, en Ocoña y Caylloma se sintió con una intensidad de VI.

- ❖ **11 de Setiembre de 1914.**- A las 06:48 horas se repitió en Caravelí reedificada después de la catástrofe en 1913, otro violento movimiento que la volvió a dejar en escombros, ocasionando derrumbes en los cerros que bordeaban esa ciudad.
- ❖ **17, 18 de Diciembre de 1915.** Movimientos sísmicos sentidos en Cañete, Mollendo y Caravelí.
- ❖ **21 de Mayo de 1917.** A las 03:56 horas, afectó a Caylloma, Arequipa quedó en ruinas por un violento terremoto que dejó 22 muertos, y muchos heridos.
- ❖ **24 de Agosto de 1924.**- A las 17:51 horas, movimiento sentido en los departamentos de Ica y Arequipa, causando gran destrucción, murieron 30 personas por desplome de casas.
- ❖ **11 de Octubre de 1939.**- A las 09:59 horas se registró un fuerte sismo que causó graves daños en el pueblo de Chuquibamba y Caravelí, y provocó daños en las ciudades de Arequipa y Moquegua. Se sintió con gran intensidad en las localidades de Puquio, Quicacha, Palpa, Chala y Mollendo, alcanzando intensidades de VII en Chuquibamba, en Arequipa y Mollendo se sintió con una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **24 de Agosto de 1942.**- A las 17:51 horas terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, alcanzando intensidades de grado IX de la Escala Modificada de Mercalli, el epicentro fue, situado entre los paralelos de 14° y 16° de latitud Sur. Se sintió fuertemente en las poblaciones de Camaná, Chuquibamba, Aplao y Mollendo. Su posición geográfica fue -15° Lat. S. y -76° Long. W. y una magnitud de 8.4, en Arequipa tuvo una intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **11 de Mayo de 1948.**- A las 03:56 horas Fuerte movimiento sísmico en la región sur afectó parte de los Dptos. de Arequipa, Moquegua y Tacna. Los efectos destructores fueron máximos dentro de un área aproximada de 3,500 Km². En el área central alcanzó el grado VII en la Escala Modificada de Mercalli. La posición geográfica del epicentro fue, de -17.4° Lat. S. y -71° Long. W. La profundidad focal se estimó en unos 60-70 Km., con una magnitud de 7.1, en Moquegua se sintió con una intensidad de VII y en Arequipa alcanzó una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.
- ❖ **20 de Julio de 1948.**- A las 06:03 horas sismo ligeramente destructor en las poblaciones de Caravelí y Chuquibamba. En el área epicentral alcanzó el grado VI-VII en la Escala Modificada de Mercalli. La posición geográfica del sismo fue de -16.6° Lat. S. y -73.6° Long. W., la magnitud fue de 7.1.
- ❖ **04 de Marzo de 1951.**- A las 06:18 horas, sismo originado en las cercanías de Chala, y ligeramente destructor en Caravelí.
- ❖ **21 de Julio de 1955.**- En las ciudades de Caravelí, Ica y Arequipa, ocasionó algunos agrietamientos de paredes y el derrumbe de la Iglesia del Beaterio.
- ❖ **15 de Enero de 1958.**- A las 14:14:29 horas terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Alcanzó una intensidad del grado VII en la Escala Modificada de Mercalli, y de grado VIII en la escala internacional de intensidad sísmica M.G.S.K. (Medvedev, Sponheuer y Karnik). Por efectos del sismo, se desprendieron enormes bloques de rocas tanto del volcán Misti como de los cerros circunvecinos. La posición geográfica del epicentro fue localizado en las siguientes coordenadas: -16.479° Lat. S. y -71.648° Long. W., con una profundidad focal de 60 Km. y una magnitud 6.2.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

- ❖ **13 de Enero de 1960.**- A las 10:40:34 horas fuerte terremoto en el departamento de Arequipa que dejó un saldo de 63 muertos y centenares de heridos. El pueblo de Chuquibamba quedó reducido a escombros, siendo igualmente destructor en Caravelí, Cotahuasi, Omate, Puquina, Moquegua y la ciudad de Arequipa, advirtiéndose gigantescos derrumbes de las faldas del volcán Misti. El radio de perceptibilidad fue, de aproximadamente 750 Km. sintiéndose en toda la extensión de los departamentos de Cusco, Apurímac y Ayacucho. En el área epicentral la intensidad fue del grado VIII, en la escala internacional de intensidad sísmica M.S.K. Este sismo fue percibido en la ciudad de Lima con una intensidad del grado III y en la ciudad de la Paz con el grado III-IV. La posición geográfica del epicentro fue de: -16.145º Lat. S. y -72.144º Long. W. La profundidad focal se estima en 60 Km., y una magnitud de 6.2.
- ❖ **09 de Marzo de 1960.**- A las 18:54 horas, se produjo una violenta réplica del terremoto del 13 de Enero, en la ciudad de Arequipa se cayeron las cornisas removidas, este sismo fue, sentido en Puno, en los Puertos de Matarani y Mejía tuvo una intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli, en la ciudad de Arequipa se sintió con una magnitud de 6.0; El epicentro se ubicó a -16º Lat. S. y -72º Long. W.
- ❖ **26 de Enero de 1964.**- A las 04:00 horas se produjo un sismo en el sur del Perú, en Arequipa como producto del violento movimiento se registró cuatro heridos, y daños en las viviendas que ya se encontraban remecidas por anteriores sismos, este sismo tuvo una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli en la ciudad de Arequipa, en Mollendo y Ubinas alcanzó una intensidad de V.
- ❖ **16 de Febrero de 1979.**- A las 05:08 horas fuerte terremoto en el departamento de Arequipa. Este sismo produjo severos daños en las localidades de Chuquibamba y pueblos del valle de Majes. Alcanzó una intensidad máxima del grado VII en la Escala Internacional de Intensidad Sísmica M.S.K. En la ciudad de Arequipa el sismo fue del grado VI habiendo afectado seriamente algunas viviendas de sillar. La posición geográfica del epicentro fue localizada en las siguientes coordenadas: -16.515º latitud S. y -72.599º Longitud W. La profundidad focal se estima en 52.5 Km., y la magnitud de 6.2.
- ❖ **23 de Julio de 1988.**- 14:30 horas terremoto de 6.2 grados en la escala de Richter. Afectó Maca, Lare y otras localidades del Valle del Colca en Arequipa. 12 muertos. 70 heridos, 800 damnificados, 323 viviendas derrumbadas 5 locales públicos destruidos.
- ❖ **5 de Octubre de 1995.**- Un sismo de 4.2 grados se registró a las 3 de la mañana en Arequipa. El epicentro fue localizado en el Océano Pacífico.
- ❖ **19 de Octubre de 1995.**- Un nuevo sismo de magnitud 3.7 grados en la escala de Richter soportaron esta mañana las ciudades de Arequipa y Mollendo. El epicentro fue localizado en el Océano Pacífico. Se produjo a las 06:49 horas.
- ❖ **26 de Octubre de 1995.**- Arequipa soportó un nuevo sismo de magnitud 4.1 en la escala de Richter que generó alarma en los pobladores.
- ❖ **12 de Noviembre de 1996.**- (11:59 horas) Se produjo un violento Terremoto en el Sur del país provincias de Ica, Pisco, Nazca y Palpa en el departamento de Ica; Caravelí y Caylloma en el Departamento de Arequipa, Lucanas y Coracora en Ayacucho, Huaytará en Huancavelica. Magnitud 6.4 en la escala de Richter. 17 muertos, 1,591 heridos, 94,047 damnificados, 5,346 viviendas destruidas, 12,700 viviendas afectadas.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

- ❖ **23 de Junio de 2001.-** A las 15 horas 33 minutos, terremoto destructor que afectó el Sur del Perú, particularmente los Departamentos de Moquegua, Tacna y Arequipa. Este sismo tuvo características importantes entre las que se destaca la complejidad de su registro y ocurrencia. El terremoto ha originado varios miles de post-sacudidas o réplicas y alcanzó una intensidad máxima de VIII. Las localidades más afectadas por el terremoto fueron las ciudades de Moquegua, Tacna, Arequipa, Valle de Tambo, Caravelí, Chuquibamba, Ilo, algunos pueblos del interior y Camaná por el efecto del Tsunami.

2.1.2. GEOMORFOLOGÍA

Presenta tres unidades geomorfológicas mayores:

- a) Cordillera de Laderas (GM-cl): Presenta un relieve de cerros moderadamente conspicuos, afectados por quebradas secas, superficie de terreno rocosa.
- b) Cadena de Barroso (GM-cB): Superficie inclinada cortada por numerosas quebradas de paredes empinadas.
- c) Perillanura de Arequipa (GM-pA): Superficie ligeramente plana, conformada por materiales tufáceos hacia el Oeste y materiales detríticos hacia el Este.

En el siguiente gráfico se muestra el mapa geomorfológico de la ciudad de Arequipa (Yanqui 1990)

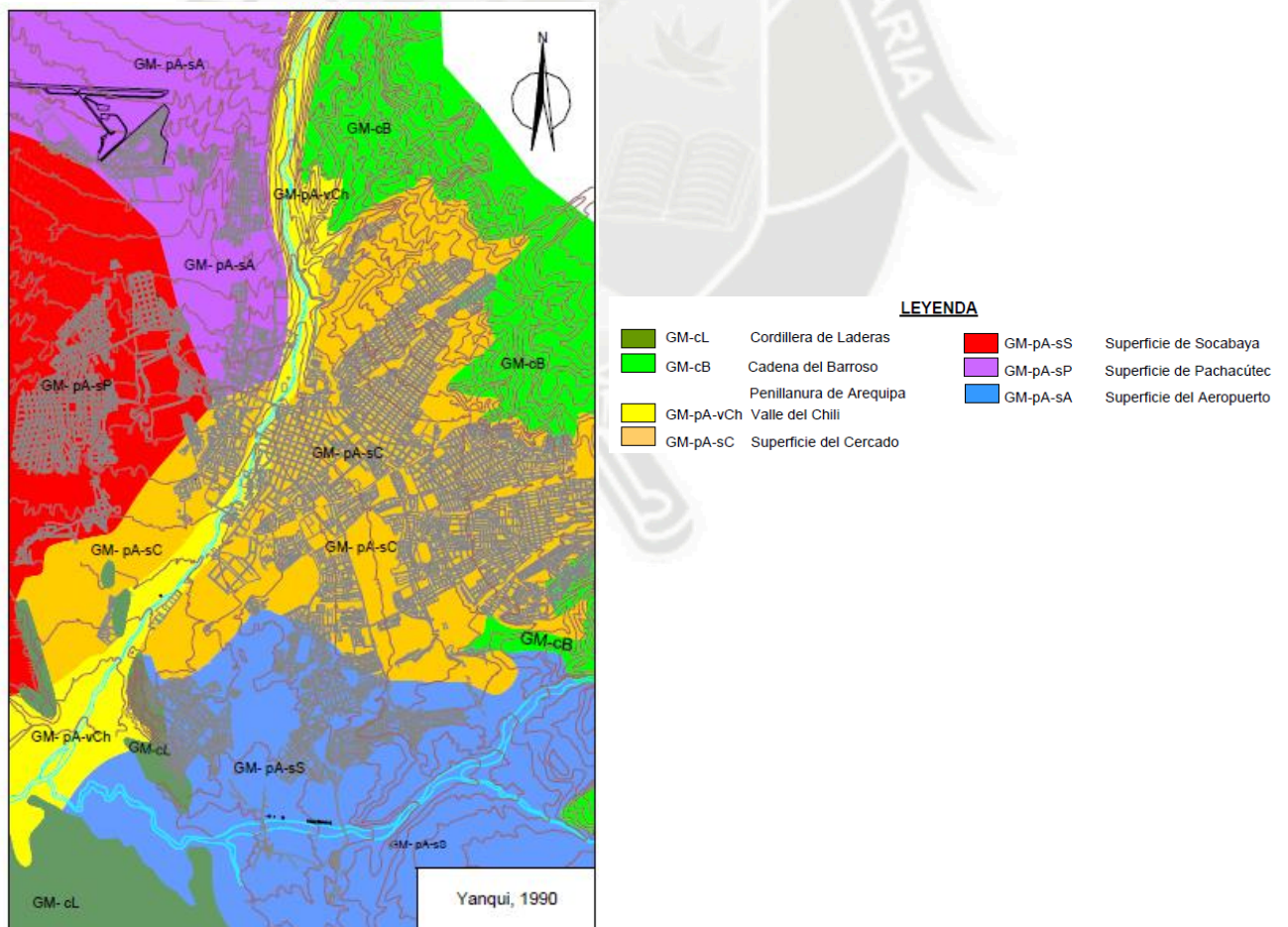


Ilustración 1 Mapa Geomorfológico de la Ciudad de Arequipa

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

2.1.3. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS Y CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

- a) Rocas pre terciarias (G1-rpt): Rocas plutónicas de la Caldera y rocas sedimentarias mesozoicas, constituyen el basamento rocoso de la ciudad de Arequipa. Capacidad portante estimada 4806 kc/cm²
- b) Rocas Volcánicas de Chila (G2-rvchi): Unidad fundamentalmente andesítica. Capacidad portante estimada 21 kg/cm²
- c) Sillar (G3-si): Puede ser clasificado como roca por su alta Resistencia. Capacidad portante 8 kg/cm².
- d) Suelo de Acequia Alta (G4-saa): Gravas y arenas, regularmente graduadas, cementadas por limos y ceniza volcánica. Capacidad portante 2.8 kg/cm²
- e) Flujo de barro del Barroso (G5-fbb): Cantizal gravo-arenoso mal graduado. Capacidad portante 2.7 kg/cm²
- f) Flujo de Barro de Socabaya (G6-fbs): Características idénticas a la unidad anterior.
- g) Suelo Puzolánico de Pachacútec (G7-spp): Arena limosa mal graduada, capacidad portante 2 kg/cm²
- h) Flujo de barro Puzolánico (G8-fbp): Gravas arenosas mal gradadas y arenas gravosas con pocos finos. Capacidad portante 1.4 kg/cm²
- i) Suelo Aluvial de Umacollo (G9-sau): Gravas arenosas y arenas gravosas de fragmentos redondeados, capacidad portante 1.1 kg/cm²
- j) Suelo Aluvial de Miraflores (G10-sam): Gravas arenosas y arenas gravosas pobremente graduadas, capacidad portante mínima 0.7 kg/cm²
- k) Suelo Tobáceo compresible (G11-stc): Arena gravosa pobremente graduada, abundantes finos. Capacidad portante 0.30 kg/cm²
- l) Suelo Paludial Reciente (G12-spr): Arenas de origen eólico, arenas finas. Capacidad portante mínima de 0.12 kg/cm²

Características dinámicas estimadas

(Yanqui 1990)

Unidad Geotécnica	Espesor (m)	Módulo Inicial (kg/cm ²)	Módulo Dinámico Promedio (kg/cm ²)	Peso volumétrico mínimo (g/cm ³)	Velocidad de onda de corte (m/s)	Factor de amortiguamiento (%)
G1-rpt		140000	140000	2.20	2497	0.8
G2-rvchi	10	60000	60000	2	1715	1.2
G3-si	50	20000	20000	1.30	1247	1.6
G4-saa	10	700	2556	1.40	423	4.7
G5-fbb	50	675	3182	1.40	472	4.2
G6-fbs	30	675	2464	1.40	415	4.8
G7-spp	30	500	1825	1.10	403	4.9
G8-fbp	10	350	738	1.50	219	9.1
G9-sau	25	275	917	1.50	245	8.0
G10-sam	20	175	521	1.40	191	10.5
G11-stc	6	75	122	0.60	141	14.2
G12-spr	5	62	93	1.30	84	16.5

Tabla 1 Características Dinámicas Estimadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

MAPA GEOTÉCNICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA (YANQUI 1990)

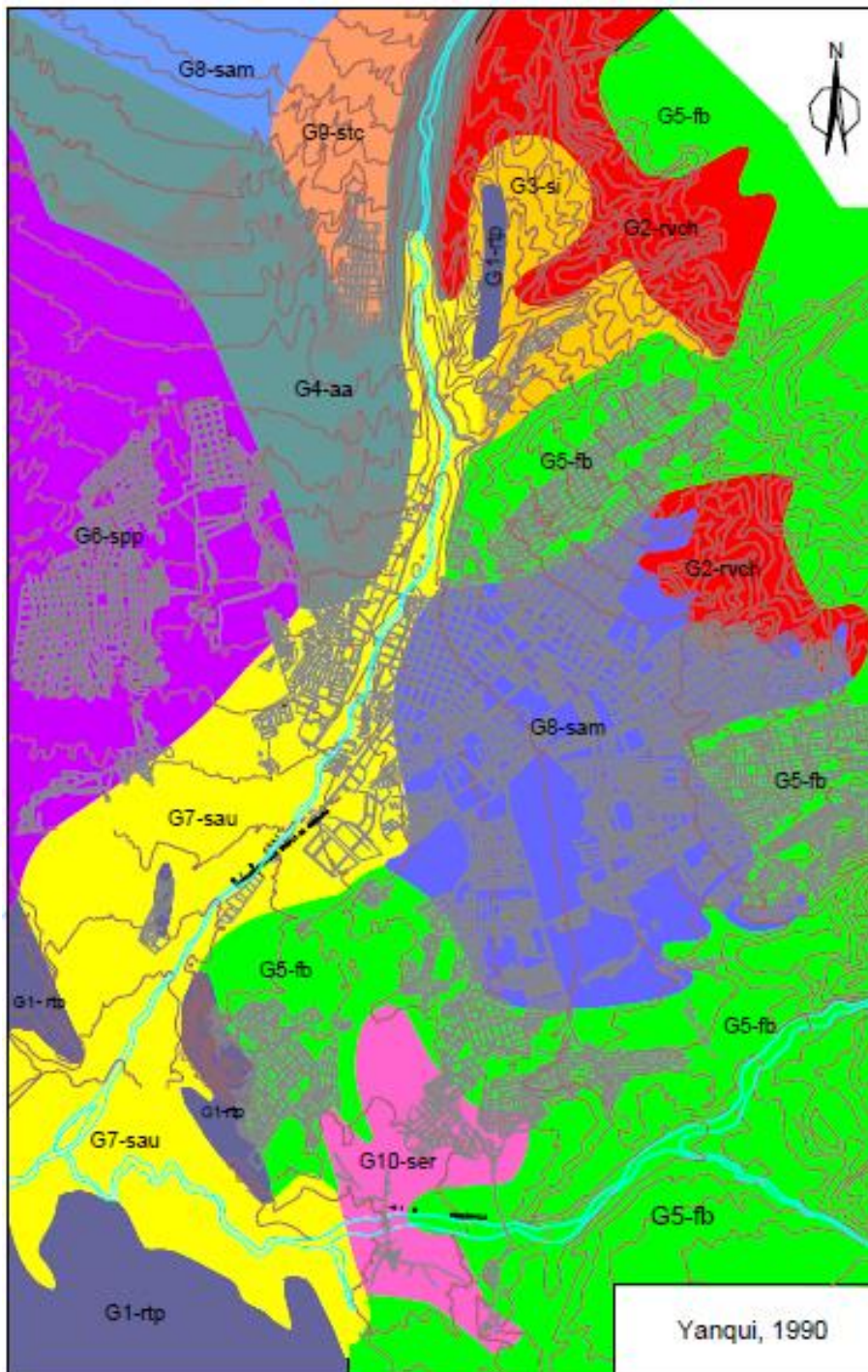


Ilustración 2 Mapa Geotécnico de la Ciudad de Arequipa

LEYENDA

	q_s (Kg/m ²)		q_s (Kg/m ²)
G1-rpt Rocas Preterciarias	30.0	G6-spp Suelo Puzolánico de Pachacútec	2.0
G2-rvch Rocas Volcánicas de Chila	15.0	G7-sau Suelo Aluvial de Umacollo	1.5
G3-si Sillar	5.0	G8-sam Suelo Aluvial de Miraflores	1.0
G4-saa Suelo de Acequia Alta	3.5	G9-stc Suelo Tobáceo Compresible	0.5
G5-fb Flujos del Barro	3.0	G10-ser Suelo Aluvial Reciente	0.5

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

2.1.4. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL SUELO

En 1990 se realizó el estudio preliminar de microzonificación Sísmica de Arequipa (Seminario Internacional de Microzonificación y Seguridad de Sistemas de Servicios Públicos Vitales), que consideró 5 microrregiones sísmicas: Zona Ia, Ib, II, III y IV basándose en los estudios geológicos y geofísicos anteriormente descritos.

Posteriormente, en 1991 el estudio de microzonificación Sísmica de Arequipa, realizó la clasificación considerando 4 zonas: Zona A (agrupa la zona Ia y Ib), zona B (zona II), zona C (zona III) y zona D (zona IV); las cuales se describen a continuación:

- ZONA A: Conformada por las rocas ígneas intrusivas de la Cordillera de Laderas que ocupan la parte sur oeste de la ciudad y por las rocas ígneas del Volcánico Chila que afloran en la parte norte, en la margen izquierda del río Chili. Periodo predominante varía entre 0.15 y 0.25 s, capacidad portante superior a 10 Kg/cm²
- ZONA B: Conformada por los afloramientos de sillar, parte de los suelos puzolánicos de Pachacútec y parte de los flujos de barro que constituyen las laderas de la Cadena del Barroso. Periodos predominantes varían de 0.20 a 0.30 s, llegando hasta 0.35 s en los flujos de barro.
Presenta valores de capacidad portante entre 2.0 y 3.5 Kg/cm².
- ZONA C: Conformada por la mayor parte del casco urbano, entre las que se encuentran los distritos de Cayma, Yanahuara, el Cercado, parte de Cerro Colorado y las partes bajas de los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata. Características geotécnicas bastante erráticas, encontrándose valores de capacidad portante entre 1.0 y 2.5 Kg/cm². Periodos predominantes en el rango de 0.30 a 0.45 s
- ZONA D: Conformada por material piroclástico que cubre las urbanizaciones Alto Cayma y Francisco Bolognesi, y por suelos eluviales de Bellapampa. Presenta condiciones geotécnicas desfavorables, capacidad portante de 0.50 Kg/cm². Periodos predominantes en el rango de 0.30 a 0.45 s.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA (AGUILAR 1991)

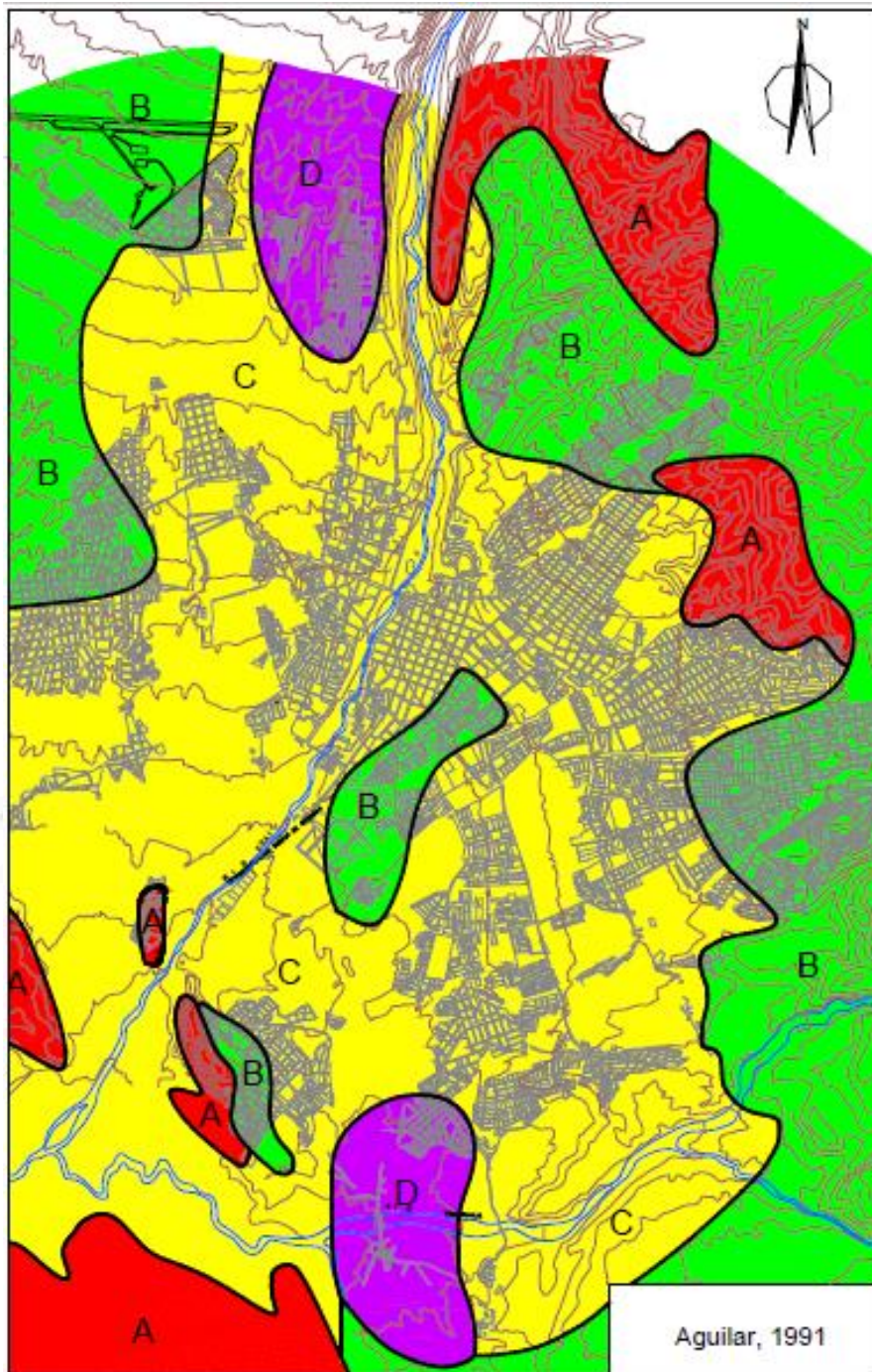


Ilustración 3 Mapa de Microzonificación Sísmica Arequipa

LEYENDA

ZONA A		ZONA C	
ZONA B		ZONA D	

2.2. Acelerogramas

Los acelerogramas tienen una especial importancia en ingeniería pues estos sirven para caracterizar el movimiento de un terreno en un determinado punto, estos acelerogramas tienen un comportamiento muy errático es por eso que los intervalos de tiempo deben ser pequeños pues así se obtendrán datos más exactos. Estos datos serán registrados por un aparato denominado acelerógrafo, cuya parte principal es el elemento transductor que esencialmente es un sistema masa-resorte que posee una frecuencia y una fracción de amortiguamiento viscoso.

Los primeros acelerógrafos fueron los analógicos que poseían el sistema masa resorte y no grababan de manera continua, esto suponía un problema pues la grabación no era iniciada hasta que se alcanzara la aceleración mínima de arranque. Posteriormente aparecieron los acelerógrafos digitales que realizaban una grabación continua, cuyo sistema es el uso de una fuerza balanceada registrándose así desde inicio del movimiento telúrico e incluso algunos minutos previos.

Para realizar la corrección del acelerograma se realizara primero la corrección por línea base y luego se filtrara los datos.

La corrección por línea base se debe a que puede ocurrir que el acelerograma se encuentre desfasado de su aceleración cero, ocasionando esto que se acumule un error al integrar el valor para obtener la velocidad y el desplazamiento, el método más común para llevar a cabo la corrección por línea base es ajustar la una línea recta al registro de la aceleración y se ira ajustando por mínimos cuadrados.

$$y(t) = c_0 + c_1 t$$

$$r = a(t) - y(t) = a(t) - c_0 - c_1 t$$

$$R = \sum r^2$$

$$\frac{dR}{dc_0} = 0 \text{ y } \frac{dR}{dc_1} = 0$$

Luego se realiza el filtrado de señales esto significa que se considerara el acelerograma como la suma del ruido más la señal sísmica entonces se utilizaran filtro de pasa baja y pasa alta de frecuencias para filtrar el ruido que sea de baja o alta frecuencia.

2.3. Intensidad de Arias

Es también conocida como Intensidad sísmica instrumental es un parámetro que sirve para determinar los daños que un sismo produce en las edificaciones, es relacionada con la energía total del acelerograma, esta permite determinar un patrón de atenuación o amplificación de ondas sísmicas.

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^t a^2(t) dt$$

2.4. Densidad de Energía

Es la energía total por unidad de área, es el flujo total de energía que pasa a través de una estación.

$$E = S\rho \int_0^t v^2(t)dt$$

Donde $v(t)$ es la velocidad de la partícula, t el tiempo de duración total del movimiento, S es la velocidad del grupo de ondas y ρ es la densidad del medio

2.5. Duración

La duración es un aspecto que determina la magnitud de daños que puede causar un movimiento sísmico; así, entre un sismo de corta duración y altos valores de amplitud comparado a un sismo de larga duración y moderada amplitud, el movimiento sísmico más perjudicial sería el segundo.

Un acelerograma, generalmente contiene todas las aceleraciones ocurridas durante todo el proceso de movimiento del suelo. Para propósitos de ingeniería, la porción de datos de mayor movimiento sísmico es de especial importancia. Se han desarrollado diferentes métodos de aproximación para abordar el problema de hallar la duración de un movimiento sísmico tomando en cuenta diversos criterios; la “duración entre corchetes” es el más aceptable en ingeniería para indicar la influencia de la duración en el daño potencial del sismo.

2.6 Período Predominante (T_p)

Está definido como el periodo de vibración correspondiente al máximo valor del espectro de Amplitud de Fourier, para evitar la influencia innecesaria de picos individuales, este se halla de Espectros Suavizados.

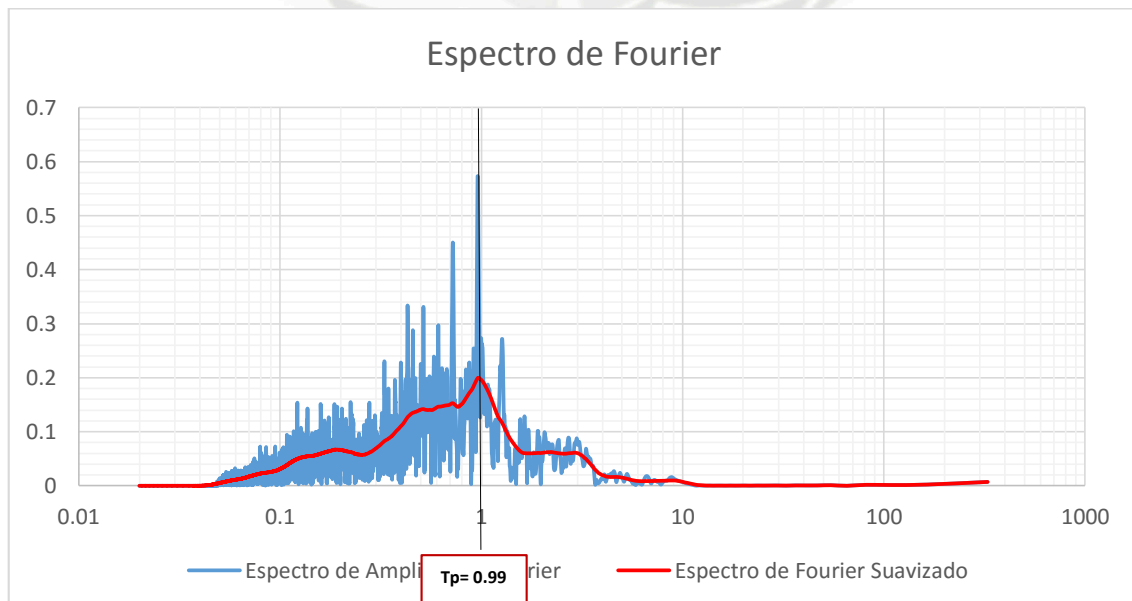


Ilustración 4 Período Predominante Espectro de Amplitud de Fourier Sismo Arequipa 2001 componente horizontal EW

2.7. Series de Fourier

Cualquier función periódica, puede ser expresada utilizando el análisis de Fourier como la suma de una serie de funciones armónicas de diferentes frecuencias, amplitud, y fase. Las series de Fourier como función periódica puede ser representada en su forma trigonométrica como:

$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(\omega_n t + \phi_n)$$

Donde $c_0 = a_0$, $c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, y $\phi_n = \tan^{-1}(a_n/b_n)$. Se entiende por ϕ_n fase y c_n amplitud para el n -ésimo armónico. La representación gráfica de los coeficientes ϕ_n vs ω_n nos da el Espectro de Fase de Fourier, mientras que c_n vs ω_n obtenemos el Espectro de amplitud de Fourier el cual es muy útil para el análisis sísmico del suelo.

Las series de Fourier también pueden ser representadas en su forma exponencial:

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a_n - ib_n}{2} e^{i\omega_n t} + \frac{a_n + ib_n}{2} e^{-i\omega_n t} \right)$$

Teniendo los nuevos coeficientes complejos de Fourier:

$$\begin{aligned} c_0^* &= a_0 \\ c_n^* &= \frac{a_n - ib_n}{2} \\ c_{-n}^* &= \frac{a_n + ib_n}{2} \end{aligned}$$

En esta forma, la mitad de la amplitud está relacionada con frecuencias positivas y la otra mitad con frecuencias negativas. Estos coeficientes rara vez utilizados en ingeniería sísmica, se emplean para representar gráficamente un espectro de dos cuadrantes, relacionado al comúnmente utilizado espectro de cuadrante positivo.

2.7.1. Transformada rápida de Fourier

Para aplicaciones al análisis sísmico, los parámetros sísmicos son descritos por un número finito de datos en lugar de una función analítica, en estos casos los coeficientes son hallados por sumatoria en lugar de integración. Para este fin, se empleó la Transformada discreta de Fourier

$$X(\omega_n) = \Delta t \sum_{k=1}^N x(t_k) e^{-i\omega_n t_k}$$

Sin embargo, este procedimiento era extremadamente extenso, por lo que con la llegada de las computadoras digitales en 1960, se desarrolló un algoritmo computacional conocido como la Transformada Rápida de Fourier (FFT). El tiempo requerido para completar la transformada es proporcional a $N \log_2 N$, consecuentemente, la transformada Rápida de Fourier es más eficiente que la Transformada Discreta de Fourier.

2.7.2. Espectro de Amplitud de Fourier

El espectro de Fourier es la representación gráfica de la amplitud de Fourier vs la Frecuencia. El espectro de amplitud de Fourier muestra cómo se distribuye la amplitud en función a la frecuencia, puede ser estrecho o extenso. Si el espectro es estrecho, el movimiento sísmico posee una frecuencia dominante, lo que indica que el tiempo historia del sismo tiende a una

forma sinusoidal.; por otra parte, en caso de que el espectro de Fourier sea extenso, indica que el movimiento sísmico contiene una gran variedad de frecuencias produciendo un tiempo historia irregular con más picos.

2.8. Espectros de Respuesta Sísmica

2.8.1. Introducción

La primera idea de Espectro de respuesta surgió en 1920, gracias al invento del Director del Instituto de Investigaciones de la Universidad de Tokyo, Kyoji Suyehiro, el cual consistía en un instrumento de medición conformado por 6 péndulos con diferentes periodos de vibración, con el objetivo de registrar el comportamiento de cada uno ante algún evento sísmico.

En la Tesis Doctoral de M. A. Biot (Instituto Tecnológico de California) en 1932, se enunció formalmente el concepto de espectros de Respuesta Elástica; sin embargo, esta propuesta no recibió amplia aceptación inicialmente debido a que en aquella época, la respuesta de las estructuras ante el movimiento sísmico del suelo requería de cálculos complicados y además se contaba con escasos registros de acelerogramas que podrían ser empleados para ese propósito.

La llegada de la era digital en los años de 1960, así como la accesibilidad comercial de nuevos acelerógrafos, contribuyeron formidablemente al estudio de este concepto. De este modo, entre los años de 1960 y 1970, la digitalización de registros de acelerógrafos analógicos y el cálculo digital del movimiento sísmico y el espectro de respuesta, fueron completamente desarrollados y comprobados.

2.8.2. Espectro de Respuesta de Sistemas lineales

El Espectro de Respuesta, es la representación gráfica de los valores máximos de respuesta evaluados en función a distintos periodos de vibración natural u otro parámetro (frecuencia circular ω_n o frecuencia cíclica f_n) y con una razón de amortiguamiento crítico constante.

De tal manera; es posible demostrar que en el espectro de aceleraciones, la ordenada para una estructura con periodo de vibración natural $T=0$ s, corresponde a la máxima aceleración del terreno; mientras que la abscisa correspondiente para el mayor valor de la ordenada de las aceleraciones, se denomina Periodo Predominante T_p

Esta herramienta es útil para comparar acelerogramas de diversos registros sísmicos, mediante la comparación de sus espectros normalizados (espectros adimensionales que resultan de dividir las ordenas con la aceleración máxima del terreno).

En función a la respuesta, es posible obtener diversos tipos de Espectro:

- Espectro de Respuesta de Deformación: $u_0(T_n, \xi) \equiv \max_t |u(t, T_n, \xi)|$
- Espectro de Respuesta de Velocidad : $\dot{u}_0(T_n, \xi) \equiv \max_t |\dot{u}(t, T_n, \xi)|$
- Espectro de Respuesta de Aceleraciones: $\ddot{u}_0^t(T_n, \xi) \equiv \max_t |\ddot{u}^t(t, T_n, \xi)|$

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”



Ilustración 5 Espectro de Respuesta de Deformación, Sismo Ancash 1970 EW

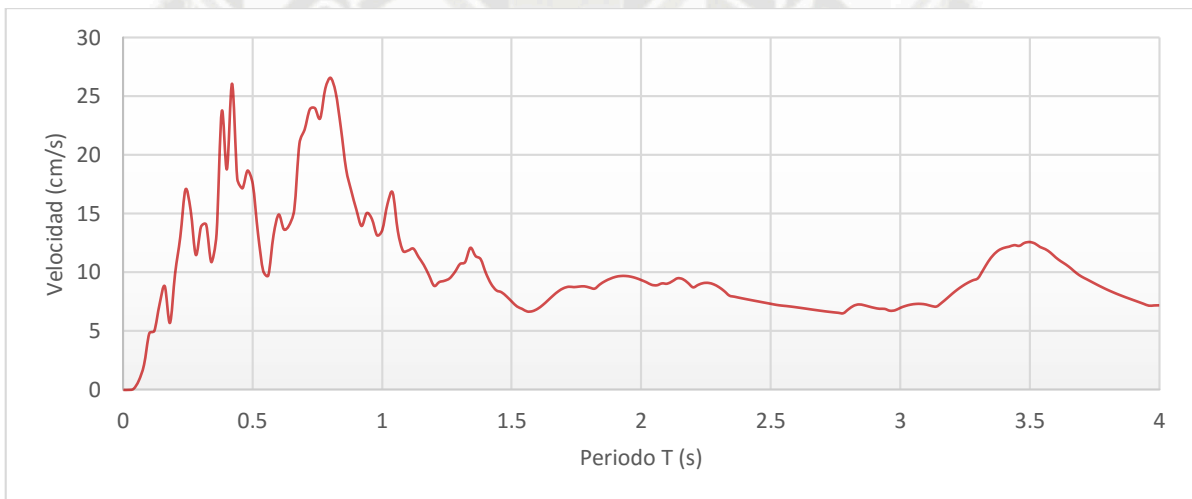


Ilustración 6 Espectro de Respuesta de Velocidad, Sismo Ancash 1970 EW

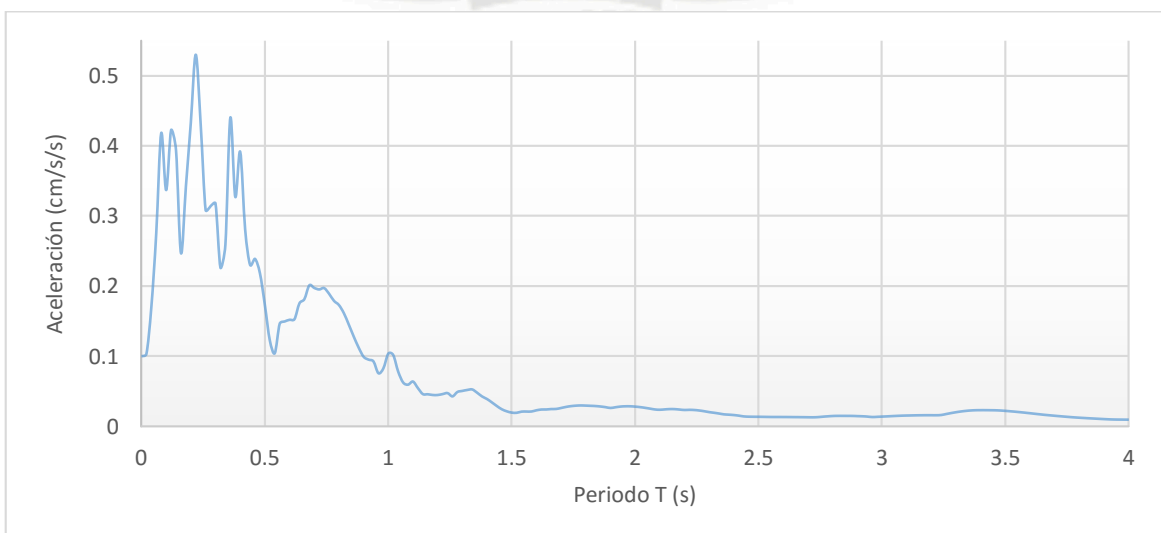


Ilustración 7 Espectro de Respuesta de Aceleración, Sismo Ancash 1970 EW

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Obtención del Espectro de Respuesta

Para la obtención del espectro de respuesta, se tienen los siguientes pasos:

- a) Definir la aceleración del terreno a través de los registros sísmicos, en los acelerogramas se observará la relación de aceleraciones vs tiempo (cuyo intervalo varía en función a la frecuencia del sismógrafo)
- b) El valor máximo en el acelerograma, corresponde al primer punto como la aceleración máxima del terreno
- c) Determinar para el análisis del sistema de 1 GDL el periodo de vibración natural y el amortiguamiento para el siguiente punto en el espectro.
- d) Mediante métodos numéricos, calcular la respuesta de deformación para el periodo y amortiguamiento seleccionado.
- e) Para el espectro de respuesta, las ordenadas pueden ser $D = u_0$ para desplazamiento, $V = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right) D$ velocidad o $A = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D$ para expresar aceleraciones.
- f) Es necesario realizar numerosas iteraciones con este procedimiento, de tal manera que satisfice los datos que se requieran para todos los periodos fundamentales necesarios.

2.8.2.1. Métodos para la obtención de la Respuesta Dinámica de Sistemas de 1GDL

Existen diversos procedimientos numéricos para determinar los valores de respuesta, en este capítulo se describen a continuación:

2.8.2.1.1 Método de Newmark

Este método se basa en las ecuaciones que expresan la velocidad \dot{u}_{i+1} y el desplazamiento u_{i+1} en el instante t_{i+1}

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\ddot{u}_i + \gamma\ddot{u}_{i+1}]\Delta t \dots\dots\dots (a)$$

$$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \beta\right)\ddot{u}_i + \beta\ddot{u}_{i+1}\right]\Delta t^2 \dots\dots\dots (b)$$

Donde los coeficientes γ y β se determinan a través de las condiciones de estabilidad y precisión de la solución.

Con la finalidad de dar solución a las ecuaciones (a) y (b) sin iteración, la formulación de Newmark fue modificada específicamente para sistemas lineales; por lo tanto, la ecuación que rige el movimiento de una estructura con varios grados de libertad en el rango lineal elástico, se discretiza para $t=t+1$ con la forma:

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + ku_{i+1} = p_{i+1}$$

A partir de las ecuaciones (a) y (b) de Newmark, se obtiene:

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{1}{\beta\Delta t^2} [\ddot{u}_{i+1} - u_i - \dot{u}_i\Delta t] - \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right)\ddot{u}_i \dots\dots\dots (c)$$

$$\dot{u}_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t} [u_{i+1} - u_i] + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right)\dot{u}_i - \left(1 + \frac{\gamma}{2\beta}\right)\Delta t\ddot{u}_i \dots\dots\dots (d)$$

Al aplicar (c) y (d) en la ecuación discretizada, se expresa:

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

$$\hat{k}u_{i+1} = \hat{p}_{i+1} \dots\dots\dots (e)$$

Donde se tiene,

$$\hat{k} = k + \frac{1}{\beta \Delta t^2} m + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c \dots\dots\dots (f)$$

$$\hat{p}_{i+1} = p_{i+1} + m \left[\frac{1}{\beta(\Delta t)^2} u_i + \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{u}_i + \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \ddot{u}_i \right] + c \left[\frac{\gamma}{\beta \Delta t} u_i + \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) \dot{u}_i + \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \Delta t \ddot{u}_i \right]$$

- Para el primer intervalo de tiempo, es necesario conocer u_i , \dot{u}_i y \ddot{u}_i . Generalmente para la velocidad y el desplazamiento, los valores son nulos en este punto.
- A partir de las propiedades del sistema (m , k y c), se conocen \hat{k} y \hat{p}_{i+1}
- Definidos los datos necesarios, resolviendo la ecuación (d) para el tiempo $i+1$, se obtiene el vector de desplazamiento u_{i+1}

$$u_{i+1} = \frac{\hat{p}_{i+1}}{\hat{k}}$$

- Una vez calculado el desplazamiento u_{i+1} , se reemplaza en (c) y (d) para calcular aceleraciones y velocidades para t_{i+1}
- La aceleración \ddot{u}_{i+1} debe cumplir con la ecuación del movimiento, por lo cual se tiene,

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{p_{i+1} - cu_{i+1} - ku_{i+1}}{m}$$

- Se demuestra un esquema incondicionalmente estable si γ y β cumplen las siguientes condiciones:

$$\gamma \geq \frac{1}{2} \qquad \beta \geq \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} + \gamma \right)^2$$

El parámetro γ determina el grado de amortiguamiento artificial del esquema de integración, para un sistema sin amortiguamiento con un solo grado de libertad, los valores que habitualmente se utilizan $\gamma = 0.5$ y $\beta = 0.25$, hacen que el amortiguamiento artificial aplicado al algoritmo sea nulo

2.8.2.1.2 Método de la Integral de Duhamel

La Integral de Duhamel, es una forma especial de la integral de convolución.

Proporciona la respuesta en el dominio del tiempo para un sistema con un grado de libertad sometido a una carga arbitraria, se restringe a sistemas lineales ya que se basa en el principio de superposición.

La solución en términos de velocidades y desplazamientos es:

$$\dot{u}_{i+1} = A'u_i + B'u_i + C'(-m\ddot{u}_{g_i}) + D'(-m\ddot{u}_{g_{i+1}})$$

$$u_{i+1} = A'u_i + B'u_i + C'(-m\ddot{u}_{g_i}) + D'(-m\ddot{u}_{g_{i+1}})$$

Donde:

$$A = e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left(\frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin(\omega_D \Delta t) + \cos(\omega_D \Delta t) \right)$$

$$B = e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left(\frac{1}{\omega_D} \sin(\omega_D \Delta t) \right)$$

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

$$C = \frac{1}{k} \left\{ \frac{2\xi}{\omega_n \Delta t} + e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left[\left(\frac{1 - 2\xi^2}{\omega_D \Delta t} - \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \right) \sin(\omega_D \Delta t) - \left(1 + \frac{2\xi}{\omega_n \Delta t} \right) \cos(\omega_D \Delta t) \right] \right\}$$

$$D = \frac{1}{k} \left[1 - \frac{2\xi}{\omega_n \Delta t} + e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left(\frac{2\xi^2 - 1}{\omega_D \Delta t} \sin(\omega_D \Delta t) + \frac{2\xi}{\omega_n \Delta t} \cos(\omega_D \Delta t) \right) \right]$$

$$A' = -e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left(\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin(\omega_D \Delta t) \right)$$

$$B' = -e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left(\cos(\omega_D \Delta t) - \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin(\omega_D \Delta t) \right)$$

$$C' = \frac{1}{k} \left\{ -\frac{1}{\Delta t} + e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left[\left(\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \xi^2}} + \frac{\xi}{\Delta t \sqrt{1 - \xi^2}} \right) \sin(\omega_D \Delta t) + \frac{1}{\Delta t} \cos(\omega_D \Delta t) \right] \right\}$$

$$D' = \frac{1}{k \Delta t} \left[1 - e^{-\xi \omega_n \Delta t} \left(\frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin(\omega_D \Delta t) + \cos(\omega_D \Delta t) \right) \right]$$

2.5.2.1.3. Método del Dominio de la Frecuencia

A través de este método, el Espectro de Amplitud de Fourier, es modificado mediante una función de transferencia:

$$H(f) = \frac{-f_n^2}{(f^2 - f_n^2) - 2i\xi f f_n}$$

Donde f_n es la frecuencia natural de oscilación calculada como $f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m}$ y ξ es el amortiguamiento calculado como $\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}$.

La solución del método del dominio de la frecuencia, requiere de la Transformada de Fourier para moverse entre; el dominio de la frecuencia, donde la función de transferencia de oscilación es aplicada, y el dominio del periodo donde la respuesta máxima de oscilación es estimada.

2.8.3. Espectro de Respuesta de Sistemas Inelásticos

Algunos códigos consideran la incursión del sistema en el rango inelástico es por eso que consideran que la fuerza sísmica se divide por un factor de ductilidad μ . Los espectros de respuesta inelásticos son similares a los elásticos pero en este caso el sistema presenta un comportamiento no lineal.

Estos espectros son muy útiles a la hora de realizar el diseño sismorresistente, para lo cual se requerirá de la resistencia de cedencia f_y o la deformación de cedencia μ_y del sistema para así poder delimitar la ductilidad.

Se puede definir la resistencia a la cedencia por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{f}_y = \frac{f_y}{f_o} = \frac{u_y}{u_o}$$

Siendo la inversa el factor de reducción R_y :

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

$$R_y = \frac{1}{f_y} = \frac{f_o}{f_y}$$

La ductilidad se relaciona con la deformación pico μ_m :

$$\mu = \frac{u_m}{u_y}$$

Para que se incurra en el rango elástico u_m debe ser mayor que u_y y por tanto la ductilidad deberá ser mayor que 1. La frecuencia natural de la estructura ω_n solo es conocida cuando la deformación es menor que la deformación de cedencia u_y si se sobrepasa este valor los valores de la frecuencia son desconocidos.

Y de manera análoga al espectro de respuesta elástico las ecuaciones vienen a ser:

$$D_y = u_y$$

$$V_y = \omega_n u_y$$

$$A_y = \omega_n^2 u_y$$

2.9. Espectro Sísmico de Diseño

El espectro de diseño se basa en el análisis estadístico de los espectros de respuesta para un conjunto de movimientos del terreno. Cada movimiento del terreno se normaliza (escalado hacia arriba o hacia abajo) de manera que todos los movimientos del terreno tengan la misma aceleración máxima, es decir \ddot{u}_{go} ; también es posible elegir otras bases para la normalización.

El análisis estadístico de estos datos proporciona la distribución de probabilidad para la ordenada espectral, su valor medio y su desviación estándar en cada periodo T_n . Las distribuciones de probabilidad se muestran en forma esquemática en valores seleccionados de T_n , lo que indica que el coeficiente de variación (= desviación estándar ÷ valor medio) varía con T_n . Al conectar todos los valores medios, se obtiene el espectro de respuesta promedio. Asimismo, si se conectan todos los valores medios más una desviación estándar, se obtiene el espectro de respuesta media más una desviación estándar. Estos dos espectros de respuesta son mucho más uniformes que el espectro de respuesta para un movimiento de tierra individual.

2.10. Leyes de Atenuación

Las leyes de atenuación son fundamentalmente la capacidad del terreno para amortiguar el movimiento generado por las ondas sísmicas a medida que estas se alejan del foco, son ecuaciones semi-empíricas que relacionan la magnitud-distancia-intensidad sísmica (desplazamiento, velocidad y aceleración), se puede decir que las leyes de atenuación están fundamentalmente basadas en dos principios:

- A una misma distancia del R del hipocentro se espera la misma intensidad sísmica.
- La intensidad sísmica disminuye conforme la distancia al foco aumenta.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

La disminución de las amplitudes de ondas a través del terreno se debe principalmente a los siguientes factores:

- **Expansión geométrica del frente de onda.**- este principio se fundamenta en la primera ley de la termodinámica “Principio de la Conservación de la Energía”, donde se establece que la energía irradiada por ondas debe conservarse en un medio isotrópico, uniforme y homogéneo; algunas investigaciones dicen que la relación de la amplitud de onda en un medio circular es $1/R$ siendo R la distancia hipocentral.
- **Absorción anelástica (atenuación intrínseca).**- la sismología está basada en la teoría de elasticidad que asemeja la tierra a un medio elástico continuo, siendo esta afirmación falsa pues la tierra se asemeja más a un medio visco-elástico, siendo de este modo la energía absorbida por el medio en forma de calor dependiendo de la composición tectónica y geológica del suelo.
- **Esparcimiento o scattering (atenuación extrínseca).**- este es otro mecanismo de atenuación que se basa principalmente en la anisotropía de la tierra, siendo así que esta heterogeneidad da lugar a la generación de ondas secundarias con focos propios que a veces interfieren entre ellos, se puede decir que esencialmente el esparcimiento es la redistribución de la energía.

El cálculo de las leyes de atenuación se realiza fundamentalmente por métodos dinámicos complementado con estudios de movimientos fuertes y secundarios, ayudando estos a obtener parámetros para establecer la atenuación de ondas sísmicas a medida se alejan del hipocentro. Para determinar la atenuación se hace por lo general uso de regresiones lineales siendo el modelo más común el siguiente:

$$\ln(y) = C1 + C2M + C3M^{C4} + C5\ln[R + C6 \exp(C7M)] + C8R + f(\text{source}) + f(\text{site})$$

Donde y es una medida de interés (aceleración, velocidad o desplazamiento), M es la magnitud del sismo y R es la distancia al foco.

Este modelo puede ser simplificado de diversas maneras tomando en consideración el tipo de sismo, magnitud y tipo de terreno muchas simplificaciones han sido realizadas a través de tiempo siendo alguna de ellas las siguientes:

REGIÓN	LEY DE ATENUACIÓN	AUTOR
Chile-Argentina	$\ln A_{max} = 8.54 + 0.57M - 1.73 \ln(R + 60)$	Saragoni
Perú	$\ln A_{max} = 8.18 + 0.68M - 1.63 \ln(R + 60)$	Saragoni
Perú	$\ln A_{max} = 4.23 + 0.8M - \ln(R + 25)$ $\ln A_{max} = 6.35 + 0.99M - 1.76 \ln(R + 40) \pm 0.6$	Casaverde
Ecuador	$\ln A_{max} = 3.75 + 0.47M - 1.57 \ln(R + 10) \pm 0.67$	Aguiar
Venezuela- Transcurrentes	$\ln A_{max} = 6.98 + 0.5M - 1.25 \ln(R + 25)$	Grases
USA-Transcurrentes	$\ln A_{max} = 0.14I_{MM} + 0.24m - 0.68 \log R + \beta$	Donovan

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

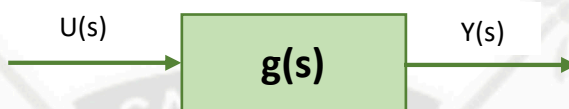
“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

USA-Japón-Europa	$\beta = 0.60$ Costa Occidental USA $\beta = 0.69$ Japón $\beta = 0.88$ Europa	Goula
------------------	--	-------

Tabla 2 Leyes de atenuación Empíricas

2.11. Funciones de Transferencia

Se puede definir a la función de transferencia como un sistema lineal e invariante el tiempo que relaciona la transformada de Laplace de entrada y de salida.



De tal manera que $U(s) \times g(s) = Y(s)$

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

$$H(s) = L\{h(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} h(t) dt$$

El grado del denominador determinará el orden del sistema, el denominador también es conocido como la ecuación característica del sistema pues determina muchas de sus propiedades físicas.

Para un sistema masa amortiguador resorte se obtiene:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky(t) = r(t)$$

Su transformada de Laplace viene a ser:

$$Ms^2 Y(s) + b s Y(s) + K Y(s) = R(s)$$

Por ende la función de transferencia es:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + K}$$

2.12. Peligrosidad Sísmica

Se puede definir la peligrosidad sísmica como la descripción de los efectos provocados por un sismo en un área determinada, estos efectos generalmente son representados por espectros de pseudo-velocidad, pseudo-aceleración y desplazamiento, etc.

Para poder realizar el estudio de peligrosidad sísmica de una determinada zona se debe llevar a cabo el análisis de las ondas sísmicas hasta alcanzar la zona de interés. Como se puede apreciar en la figura lo primero a llevarse a cabo sería un estudio a escala regional para determinar la probabilidad de que un sismo de determinada magnitud y con determinado periodo de retorno llegue al basamento rocoso de nuestra área de estudio.

Posteriormente se realiza un estudio a escala local para poder determinar el efecto que produciría en el área de estudio luego de ser filtrado por las capas de suelo que se encuentran sobre el basamento rocoso, en el presente trabajo se llevara a cabo el estudio a escala regional determinado la función de transferencia de las ondas sísmicas en una área determinada de la provincia de Arequipa.

Como se planteó anteriormente el depósito de suelo podría considerarse como un filtro de las ondas sísmicas cuya función de transferencia depende de las propiedades dinámicas del suelo

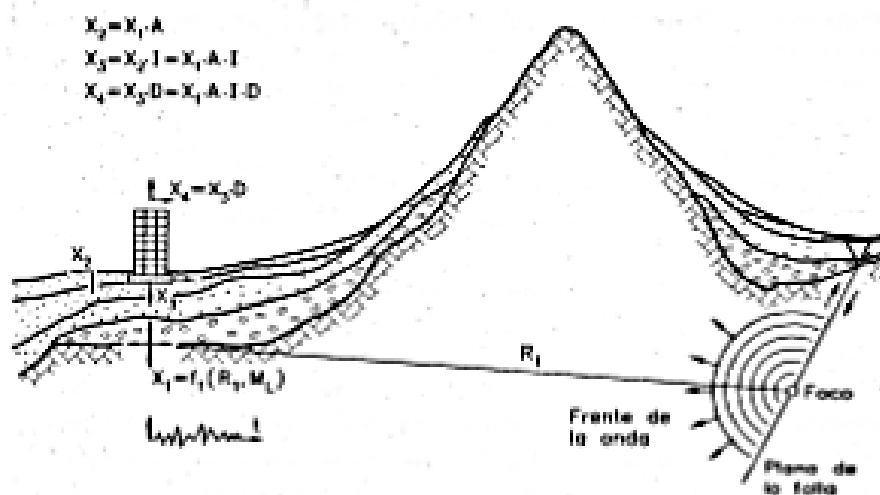


Ilustración 8 Propagación de la Energía Sísmica (Bertero 1992)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

CAPÍTULO 3. DATOS Y PROCEDIMIENTO

3.1. Área de Estudio

Los datos necesarios para la investigación, fueron obtenidos tomando como base los estudios de prospección sísmica del Proyecto Puente Chilina, se consideró como área de estudio la Zona C del mapa de microzonificación Sísmica de la ciudad de Arequipa correspondiente a la ubicación de las calicatas que se estudiaron.

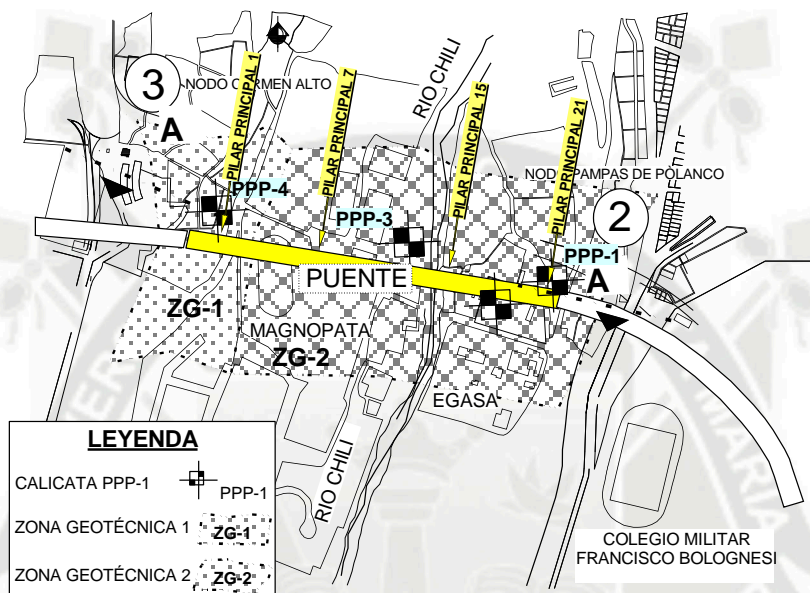


Ilustración 9 Ubicación de Calicatas de Área de Estudio

3.1.1. Datos Estratigráficos

Se consideraron los siguientes datos de la columna Estratigráfica:

Capa	Clasificación SUCS	Espesor	Peso Unitario	Vs (m/s)
1.00	Suelo de chacra	1.50	1.45	195.00
2.00	GW	2.00	1.71	276.00
3.00	GP	4.00	1.80	397.00
4.00	SP	16.00	1.60	568.00
5.00	SP	6.00	1.89	802.00

Tabla 3 Características del Suelo

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

3.2. Registros Sísmicos

En el presente trabajo se seleccionaron catorce sismos entre los cuales se encuentran algunos de los eventos sísmicos más fuertes ocurridos en el Perú y también algunos de los ocurridos en el vecino país de Chile. Los sismos seleccionados para llevar a cabo nuestra investigación fueron:

SISMOS	ESTACIÓN	EPICENTRO	MAGNITUD	UNIDAD	PROFUNDIDAD
17/10/1966	PRQ	Mar (entre Lima y Ancash)	8.1	Mw	24
31/05/1970	PRQ	Mar (Ancash)	6.6	Mb	64
03/10/1974	PRQ	Lima	6.6	Mb	13
23/06/2001	MOQ001	Arequipa	6.9	mb	33
07/07/2001	TAC001	Arequipa y Moquegua (Mar)	6.5	mb	33
13/06/2005	TAC001	Pisagua (Chile)	7.2	ML	146
15/08/2007	ICA002	Ica (Mar)	7	ML	40
05/05/2010	TAC001	Entre Tacna y Arica (Mar)	6.5	ML	36
14/05/2012	TAC002	Tacna	6.1	ML	98
07/06/2012	TAC002	Arequipa	6.1	ML	110
23/03/2014	TAC002	Iquique (Mar de Chile)	6.3	ML	45
01/04/2014	TAC001	Iquique (Mar de Chile)	8.2	Mw	38.9
22/03/2015	TAC001	Arica	6.2	ML	125
27/02/2010	CHN1	Maule	8.8	Mw	47.4

Tabla 4 Registros Sísmicos Empleado

Como se puede observar preciar en siguiente mapa sus epicentros están distribuidos de la siguiente manera:

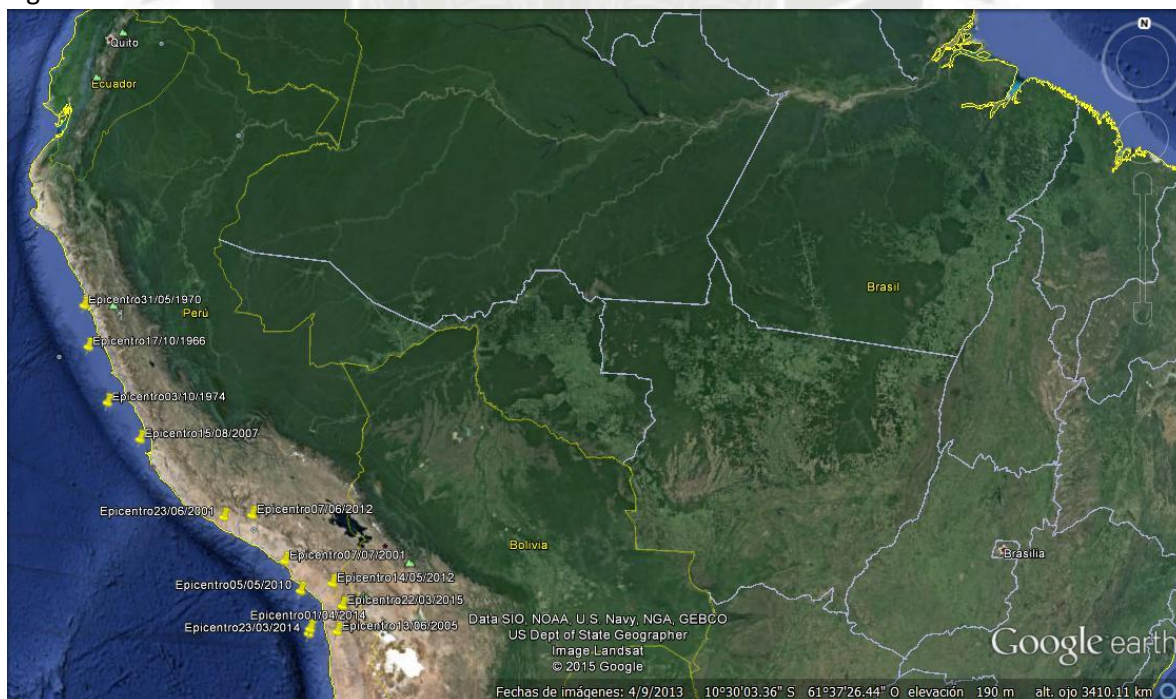


Ilustración 10 Epicentros de los Sismos Considerados

A continuación se presenta mayor detalle de los sismos utilizados así como también su representación tiempo historia y su correspondiente espectro de pseudo-aceleración.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

1 Sismo **17/10/1966 Ancash 1966**

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Parque de la Reserva
STATION CODE : PRQ
STATION LOCATION : Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima
LATITUDE : -12.07
LONGITUDE : -77.04
ALTITUDE (m) : 130
ACCELEROMETER MODEL : Acelerógrafo Analógico
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 50

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : October 17, 1966
ORIGIN TIME (Local) : 16:41:00
LATITUDE : -10.70
LONGITUDE : -78.70
DEPTH (km) : 24.00
MAGNITUDE : 8.1 Mw
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 16:41:00
NUMBER OF SAMPLES : 3283
MAXIMUM ACCELERATION : -180.56 -268.24 94.29
DATA UNITS : cm/s²

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

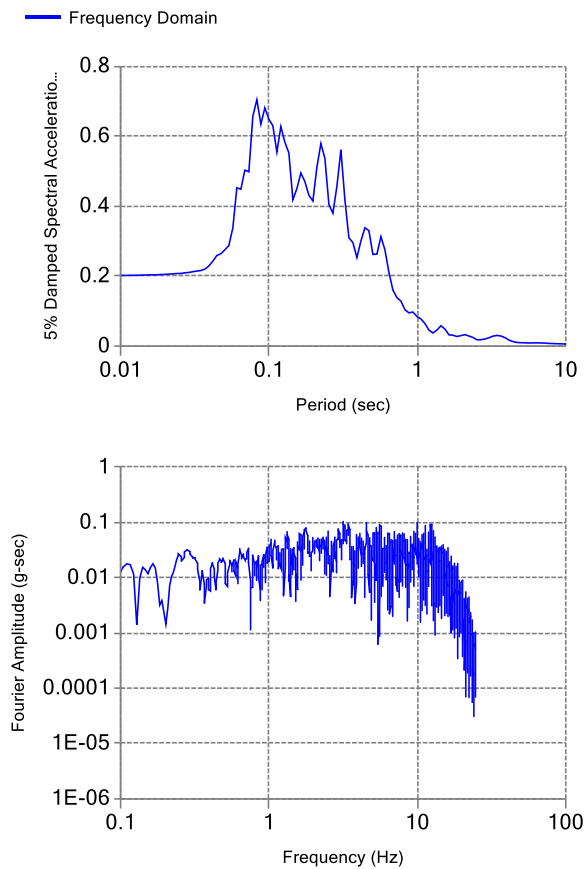
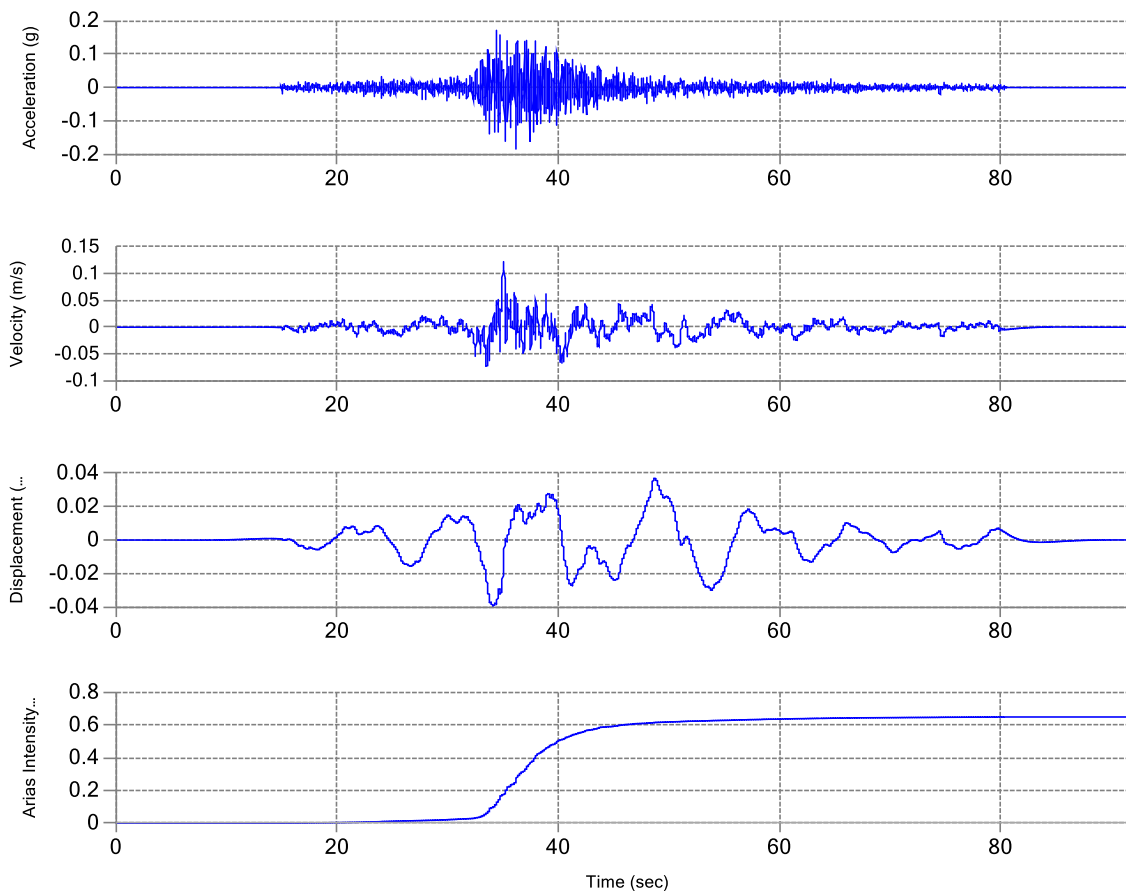


Ilustración 11 Datos de Entrada Sismo Ancash 1966 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.1837 g
- Velocidad pico: 0.1224 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0398 m
- Este sismo tuvo una duración aproximada de 45 s pero siendo la duración significativa 16.58s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.703 g en 0.08s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

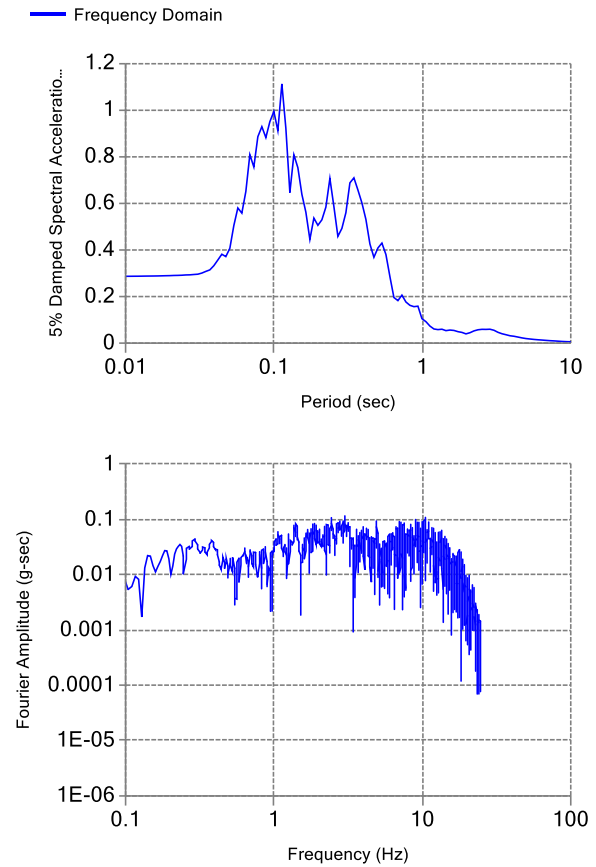
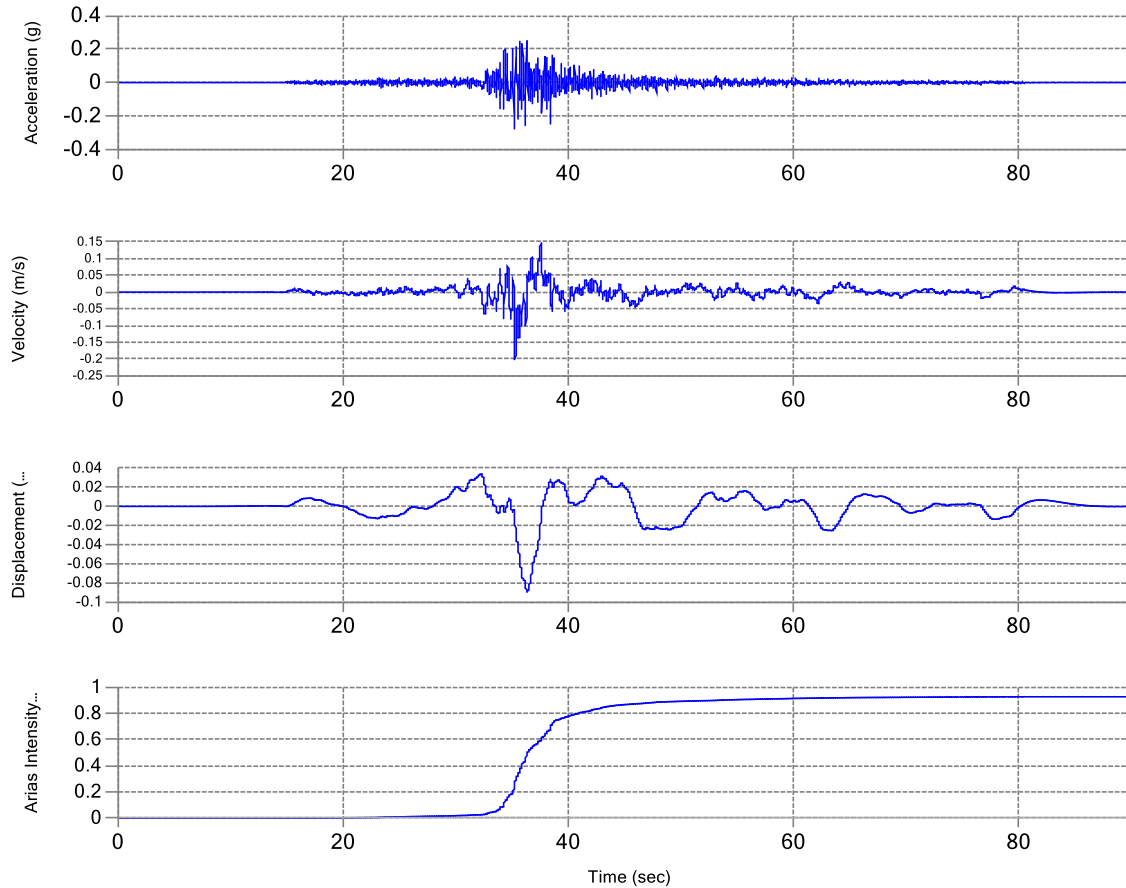


Ilustración 12 Datos de Entrada Sismo Ancash 1966 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.2764 g
- Velocidad pico: 0.2014 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0898 m
- Este sismo tuvo una duración aproximada de 45 s pero siendo la duración significativa 13.72s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 1.11 g en 0.11s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

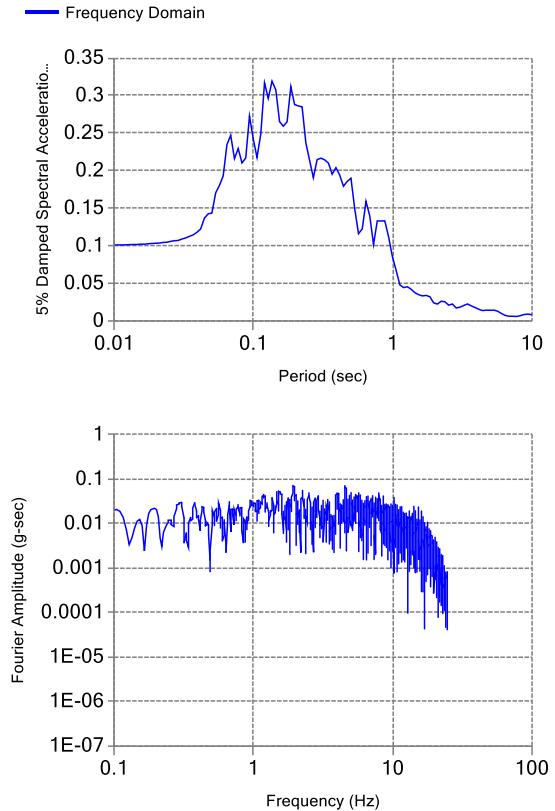
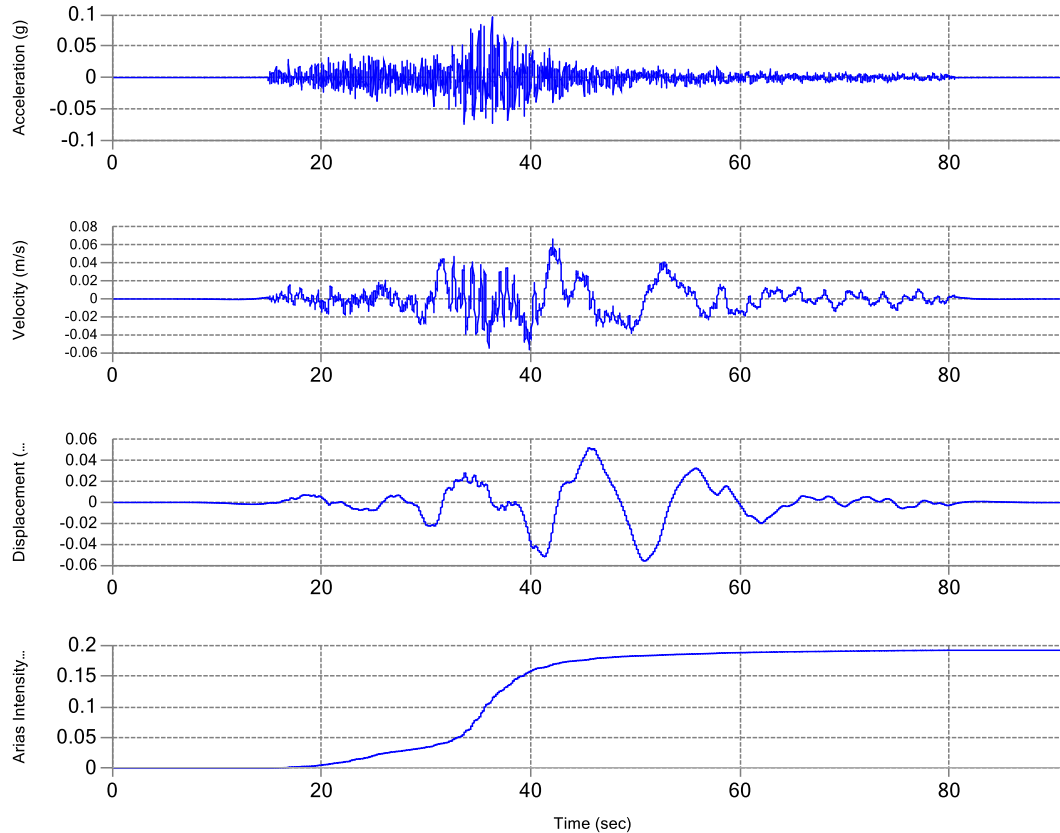


Ilustración 13 Datos de Entrada Sismo Ancash 1966 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0963 g
- Velocidad pico: 0.0669 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0559 m
- Este sismo tuvo una duración aproximada de 45 s pero siendo la duración significativa 27.48s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.32 g en 0.14s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

2 Sismo **31/05/1970 Ancash 1970**

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Parque de la Reserva
STATION CODE : PRQ
STATION LOCATION : Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima
LATITUDE : -12.07
LONGITUDE : -77.04
ALTITUDE (m) : 130
ACCELEROMETER MODEL : Acelerógrafo Analógico
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 50

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : May 31, 1970
ORIGIN TIME (Local) : 15:23:00
LATITUDE : -9.36
LONGITUDE : -78.87
DEPTH (km) : 64.00
MAGNITUDE : 6.6 Mb
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 15:23:00
NUMBER OF SAMPLES : 2255
MAXIMUM ACCELERATION : -105.05 -97.81 74.03
DATA UNITS : cm/s²

Este sismo enterró el pueblo de Yungay matando a más del 70% de la población debido al huayco que ocasiono.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

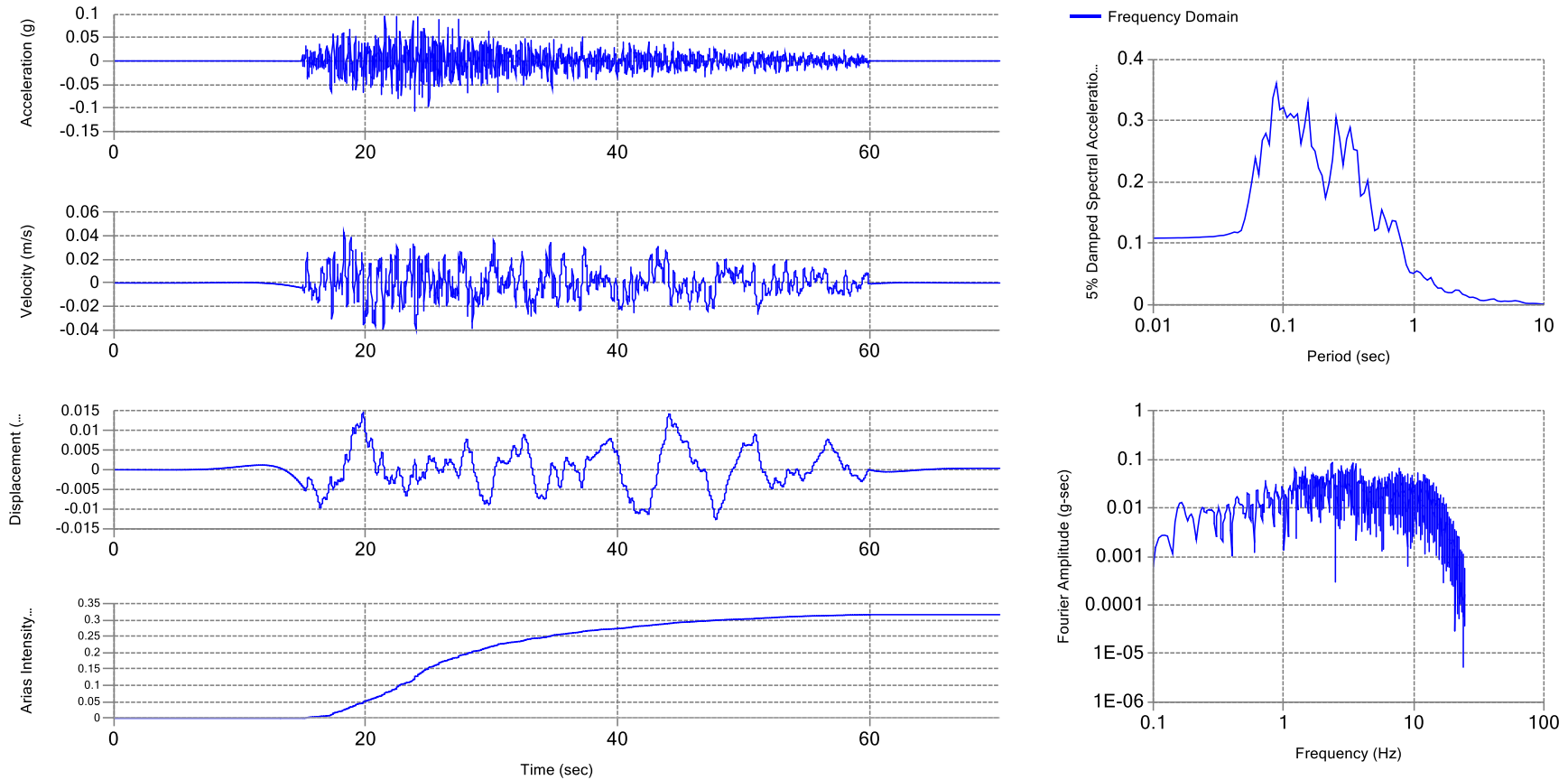


Ilustración 14 Datos de Entrada Sismo Ancash 1970 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.1069 g
- Velocidad pico: 0.4321 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0147 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 30.94s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.36 g en

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

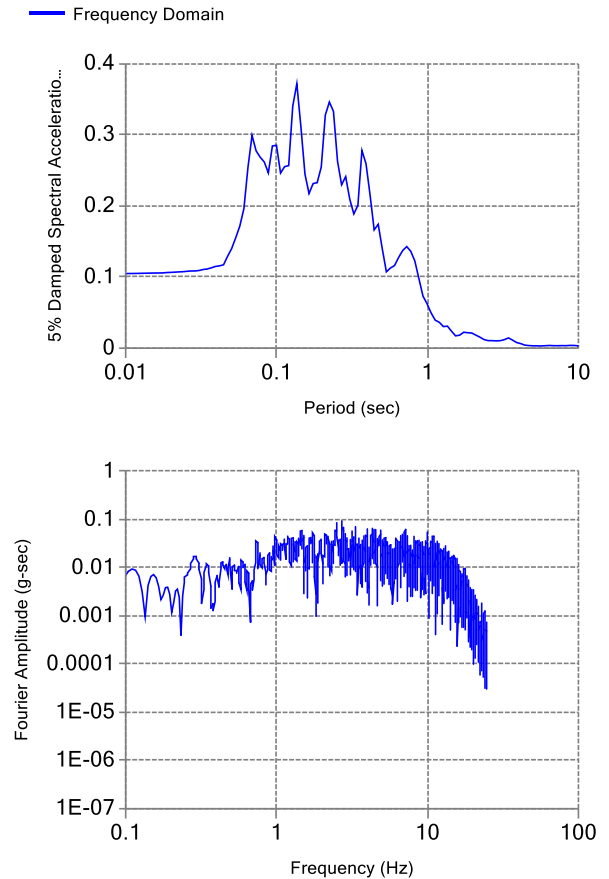
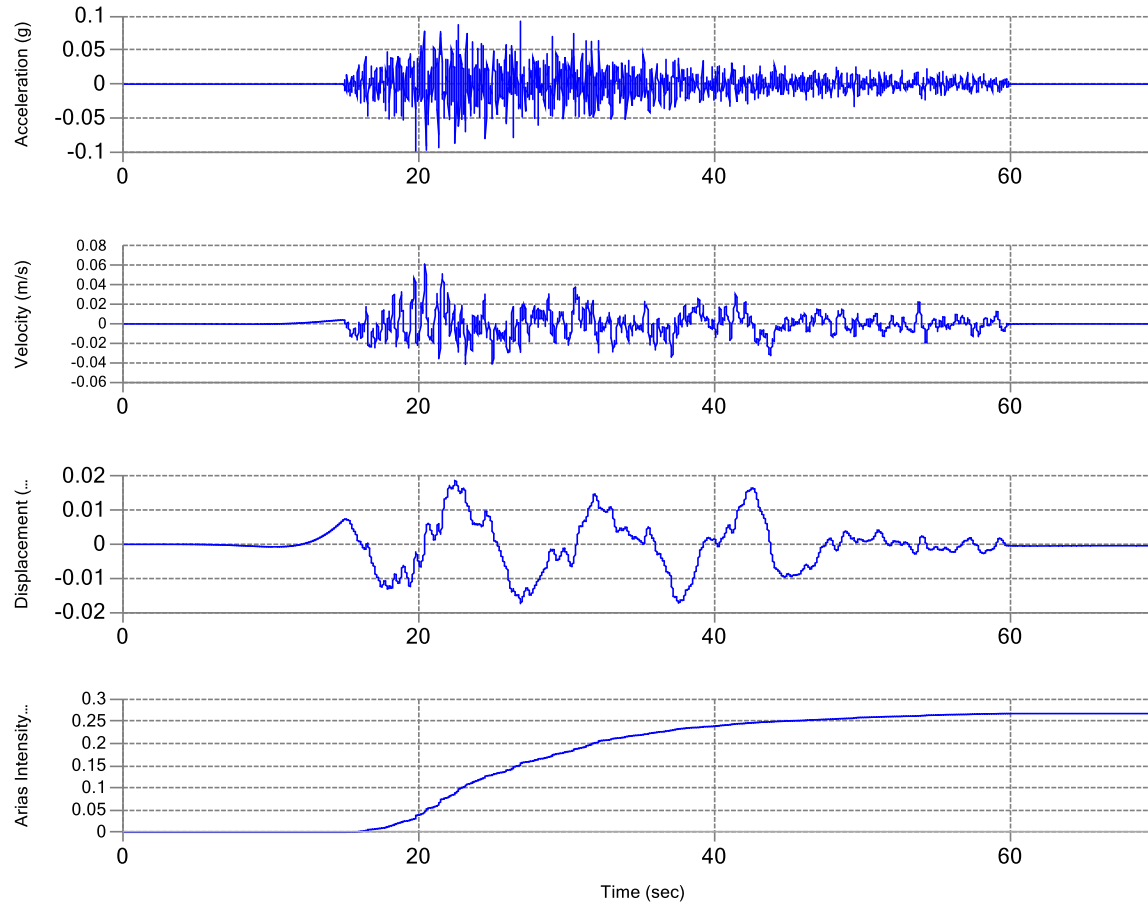


Ilustración 15 Datos de Entrada Sismo Ancash 1970 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.9973 g
- Velocidad pico: 0.0616 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0187 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 29.22s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.37 g en 0.14s

Dirección UD

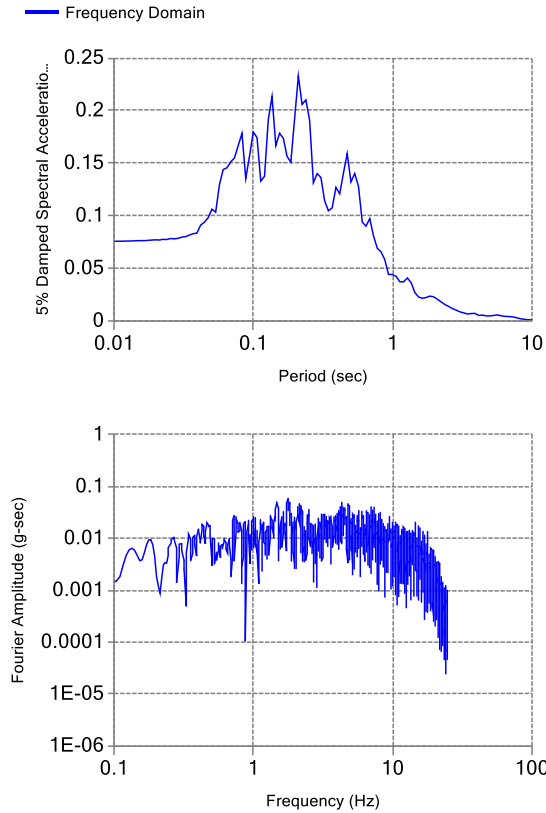
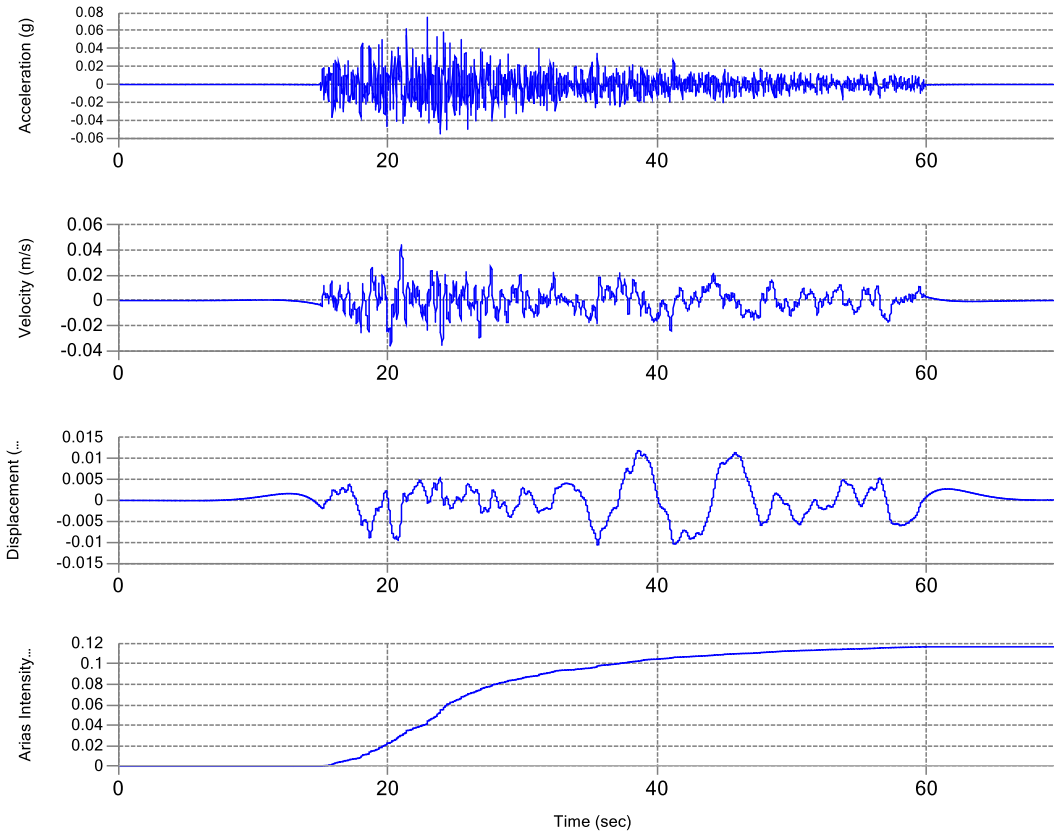


Ilustración 16 Datos de Entrada Sismo Ancash 1970 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.075 g
- Velocidad pico: 0.0444 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0119 m
- Este sismo tuvo una duración duración significativa 30.62s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.23 g en 0.21s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

3 Sismo **03/10/1974 Lima 1974**

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Parque de la Reserva
STATION CODE : PRQ
STATION LOCATION : Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima
LATITUDE : -12.07
LONGITUDE : -77.04
ALTITUDE (m) : 130
ACCELEROMETER MODEL : Acelerógrafo Analógico
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 50

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : October 03, 1974
ORIGIN TIME (Local) : 09:21:00
LATITUDE : -12.50
LONGITUDE : -77.98
DEPTH (km) : 13.00
MAGNITUDE : 6.6 mb
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 09:21:00
NUMBER OF SAMPLES : 4899
MAXIMUM ACCELERATION : -194.21 180.09 100.30
DATA UNITS : cm/s²

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

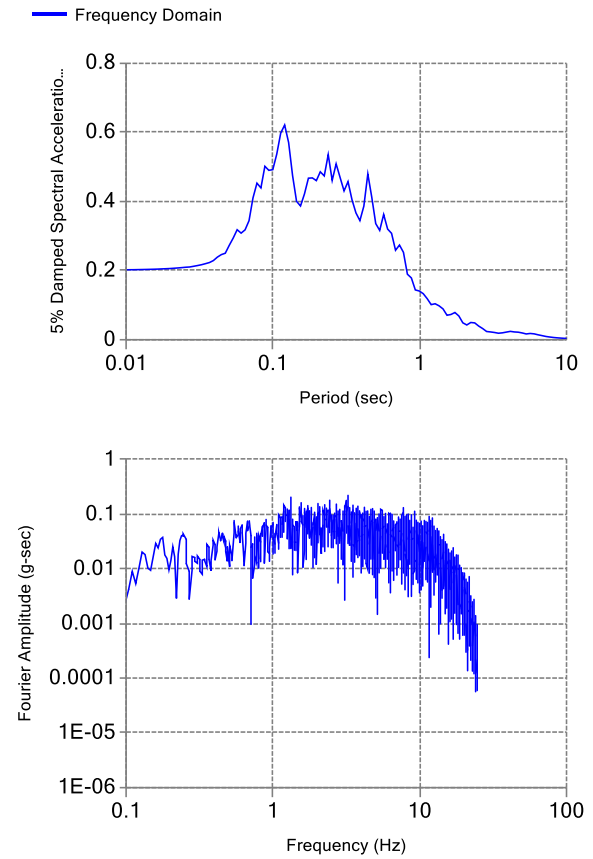
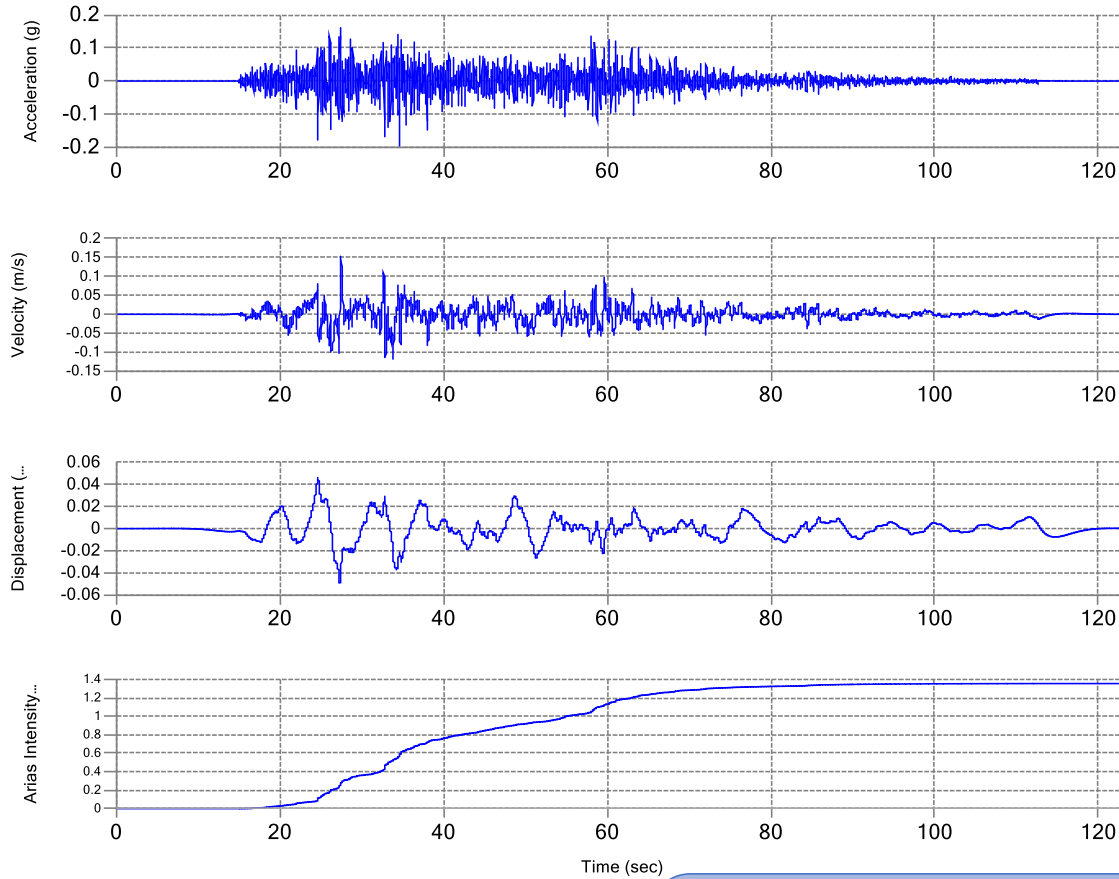


Ilustración 17 Datos de Entrada Sismo Lima 1974 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.1964 g
- Velocidad pico: 0.1533 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0491 m
- Este sismo tuvo una duración de más de 90 siendo la duración significativa de 47.78s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.62 g en 0.12s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

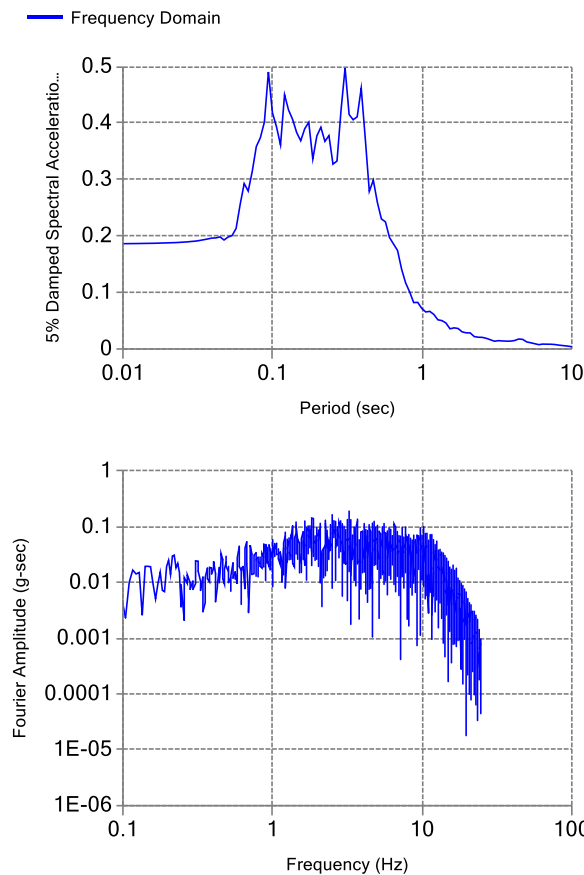
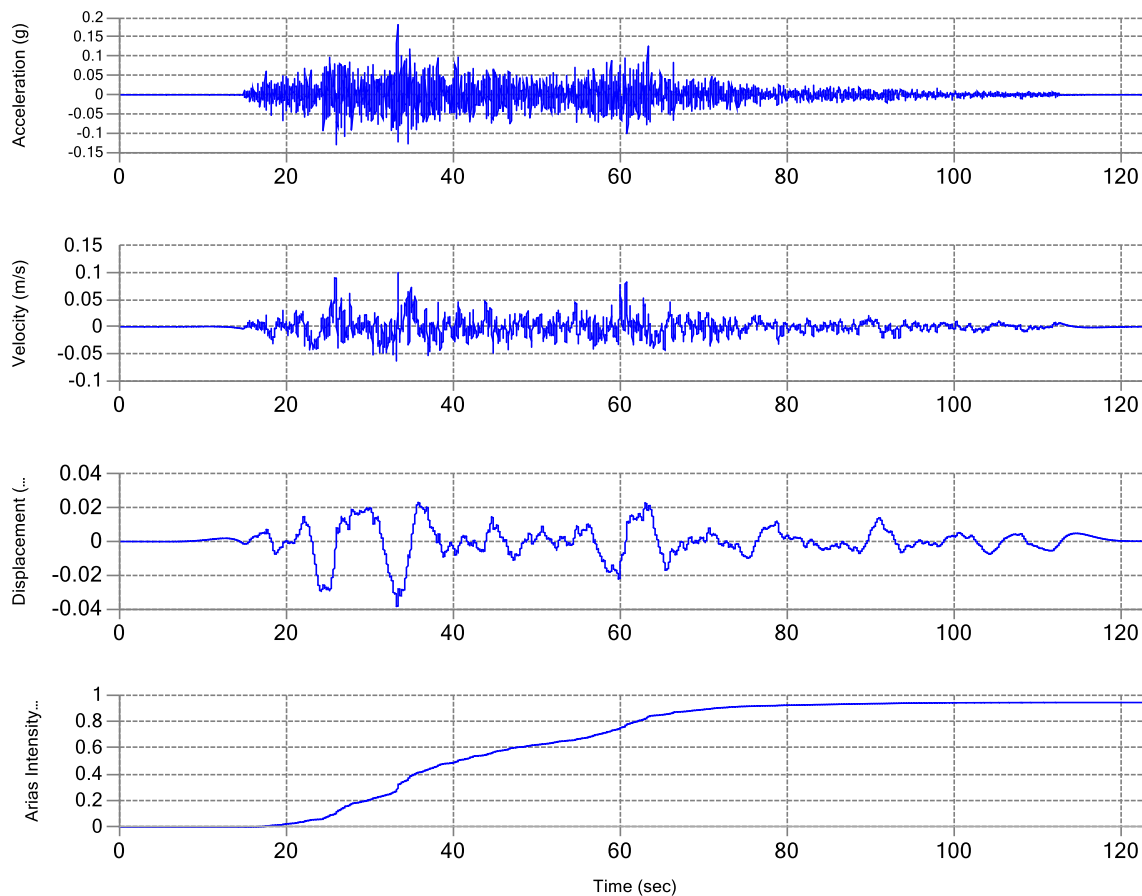


Ilustración 18 Datos de Entrada Sismo Lima 1974 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.1816 g
- Velocidad pico: 0.1006 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0385 m
- Este sismo tuvo una duración de más de 90 siendo la duración significativa de 48.4s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta dos picos con valor 0.5 g en 0.31s

Dirección UD

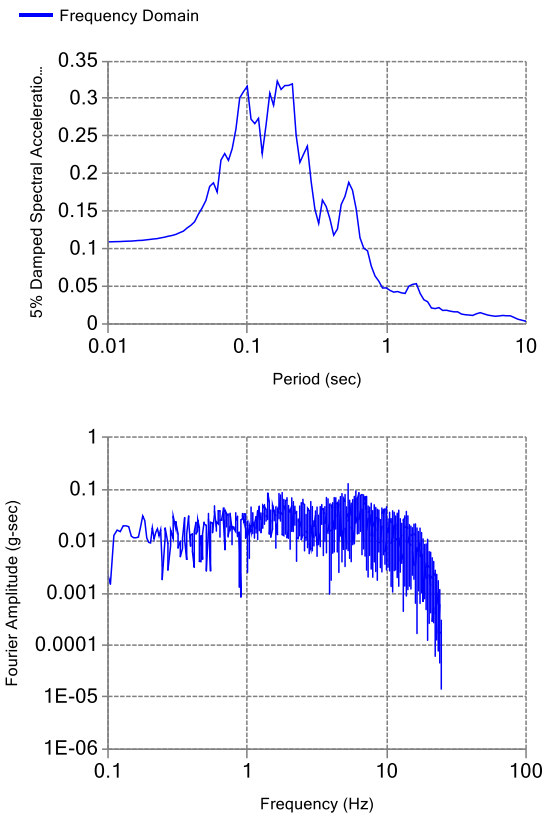
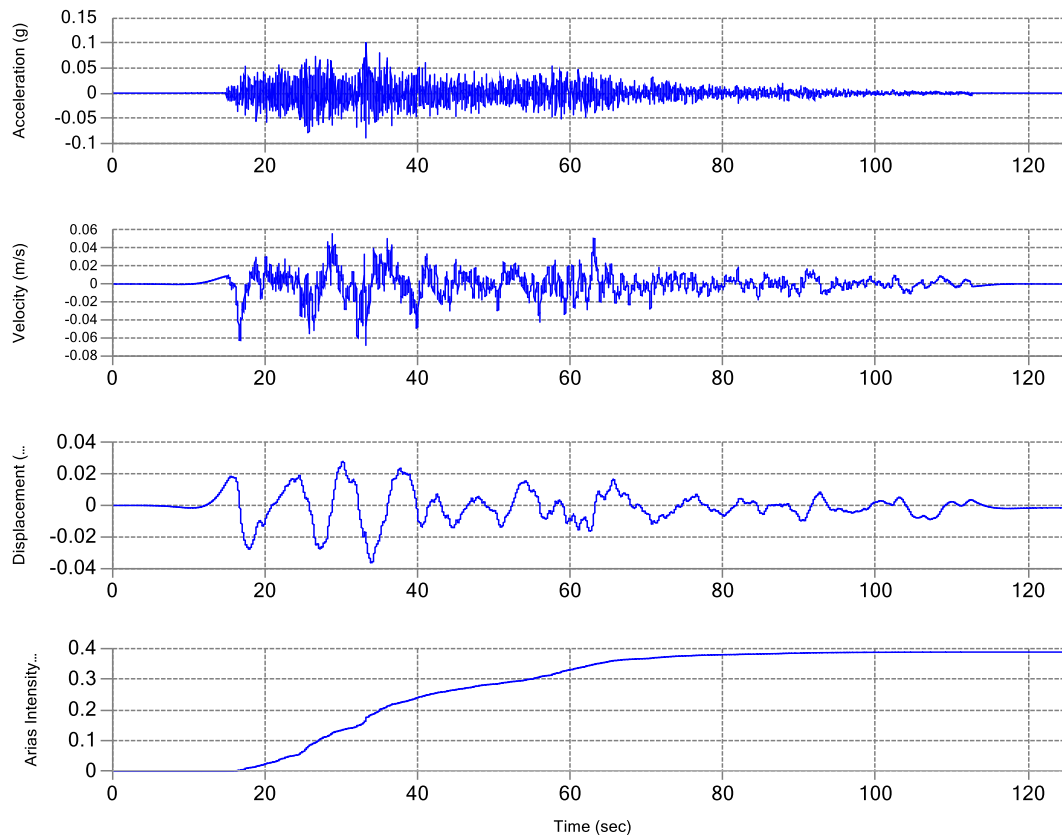


Ilustración 19 Datos de Entrada Sismo Lima 1974 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.1009 g
- Velocidad pico: 0.0683 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0364 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 51.26s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.32 g en 0.16s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

4 Sismo

23/06/2001 Arequipa 2001

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : César Vizcarra Vargas

STATION CODE : MOQ001

STATION LOCATION : Rolando Catacora Sports Complex - Regional Government of Moquegua, Moquegua, Mariscal Nieto

LATITUDE : -17.186

LONGITUDE : -70.928

ALTITUDE (m) : 1461

ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics

SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 100

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : June 23, 2001

ORIGIN TIME (Local) : 15:33:00

LATITUDE : -16.08

LONGITUDE : -73.77

DEPTH (km) : 33.00

MAGNITUDE : 6.9 mb

INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 15:33:00

NUMBER OF SAMPLES : 19892

MAXIMUM ACCELERATION : -295.15 219.99 160.74

DATA UNITS : cm/s²

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

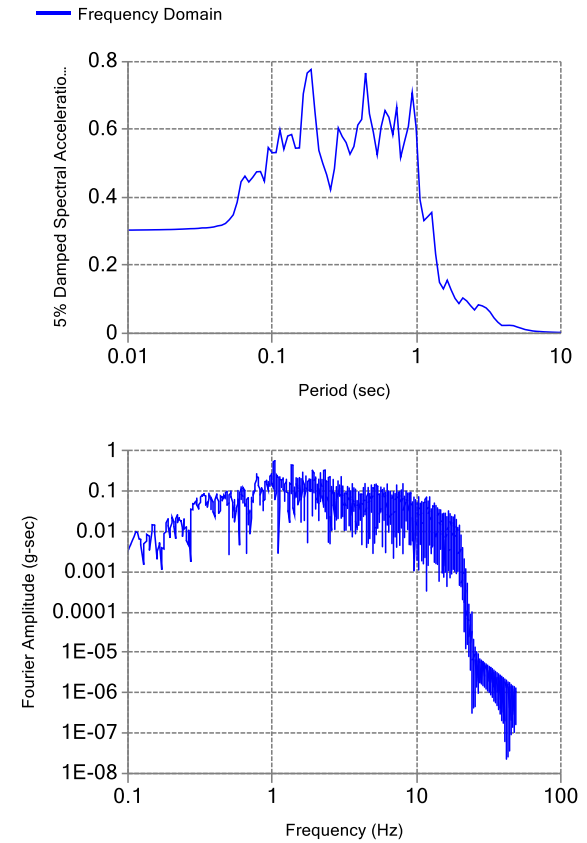
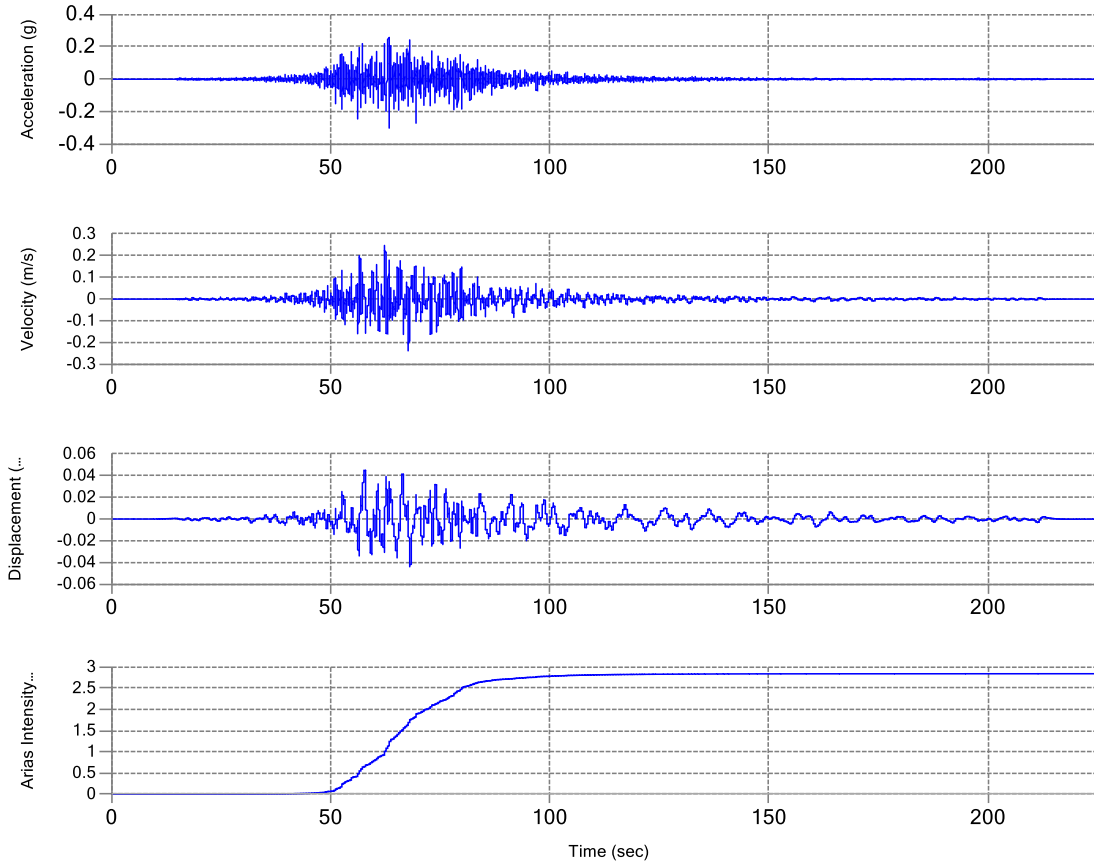


Ilustración 20 Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.3008 g
- Velocidad pico: 0.2475 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0449 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 35.84s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta dos picos con valor 0.78 g en 0.19s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

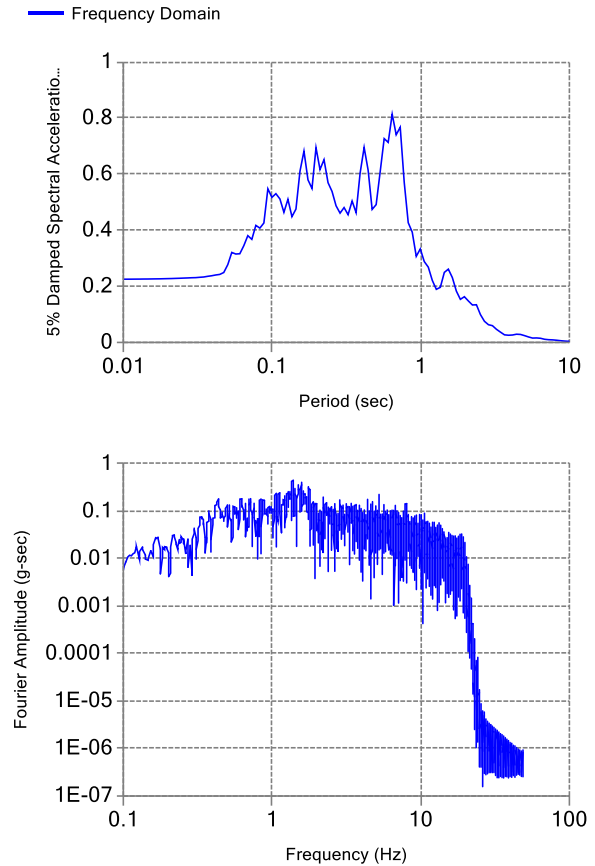
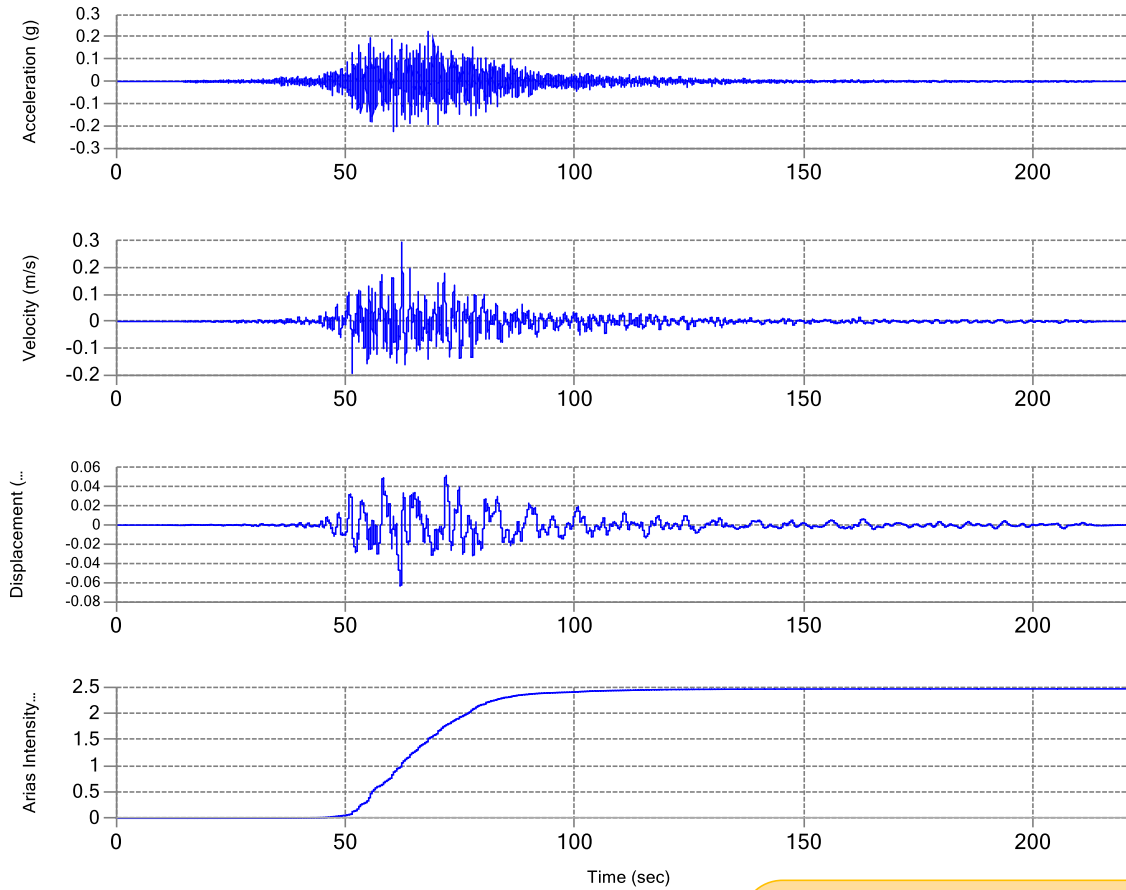


Ilustración 21 Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 NS

- Dirección NS**
- Aceleración pico: 0.224 g
 - Velocidad pico: 0.2958 m/S
 - Desplazamiento pico: 0.0637 m
 - Este sismo tuvo una duración significativa de 35.84s
 - En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.81 g en 0.64s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

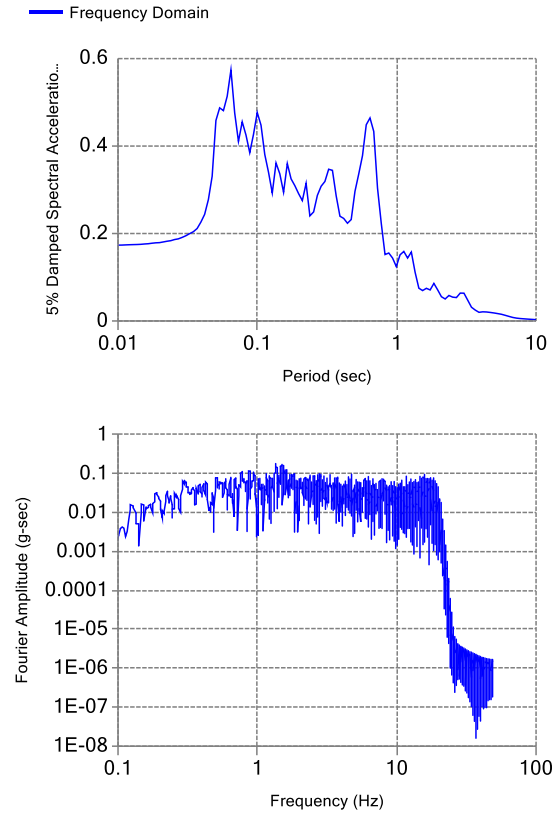
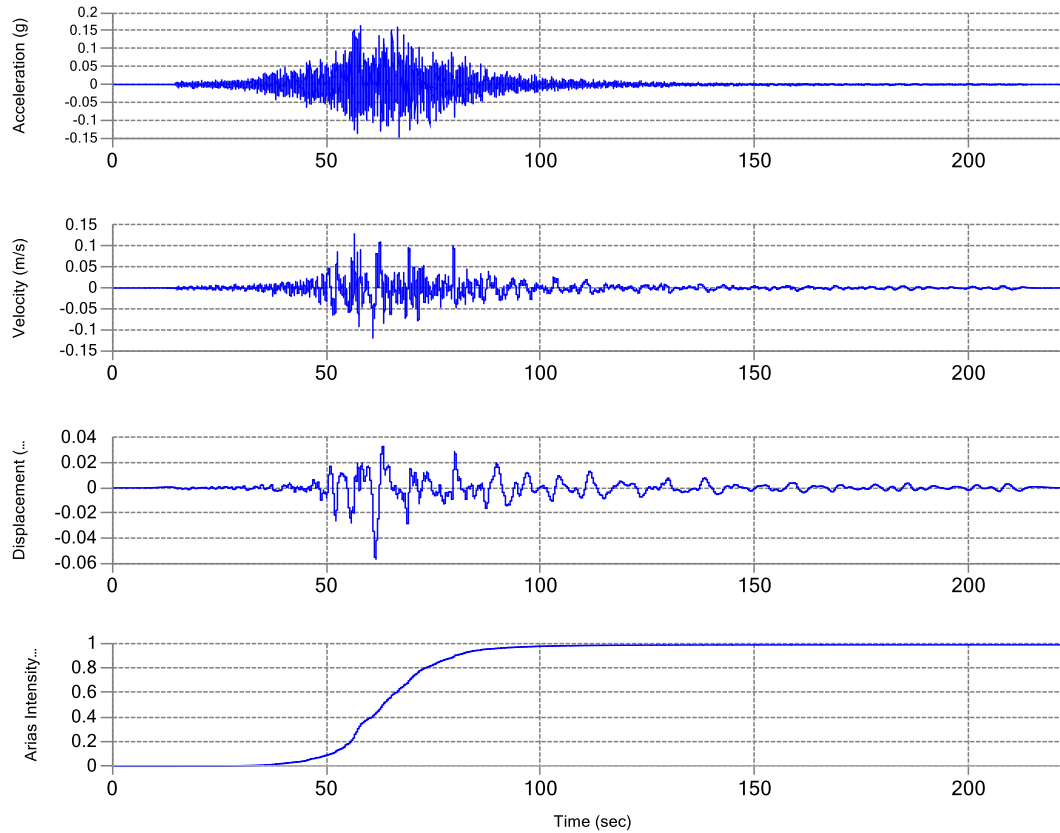


Ilustración 22 Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.1639 g
- Velocidad pico: 0.1295 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0568 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 38.8s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.57 g en 0.06s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

5 Sismo

07/07/2001 Moquegua 2001

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University
STATION CODE : TAC001
STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.024
LONGITUDE : -70.249
ALTITUDE (m) : 585
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 100

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : July 07, 2001
ORIGIN TIME (Local) : 04:38:00
LATITUDE : -17.40
LONGITUDE : -71.67
DEPTH (km) : 33.00
MAGNITUDE : 6.5 mb
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 04:38:00
NUMBER OF SAMPLES : 12868
MAXIMUM ACCELERATION : 35.93 40.42 21.33
DATA UNITS : cm/s²

Dirección EW

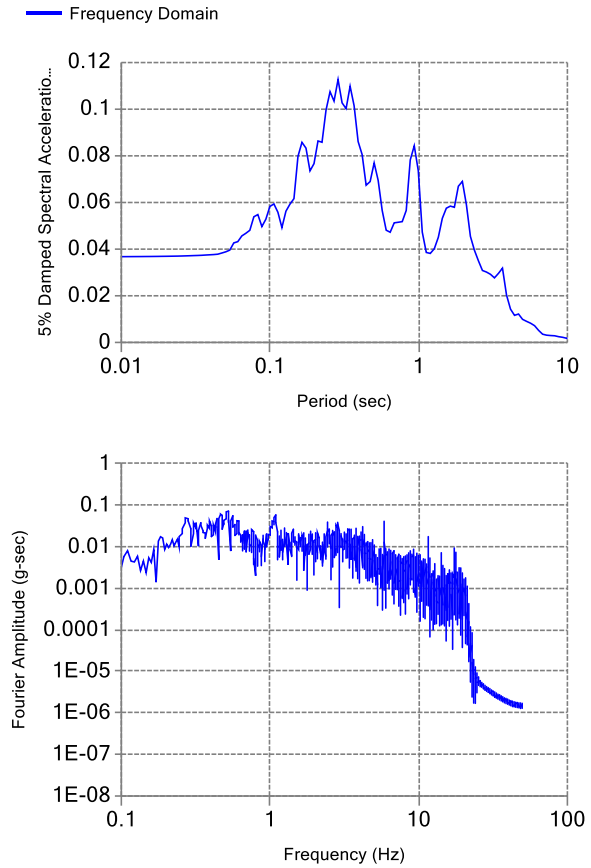
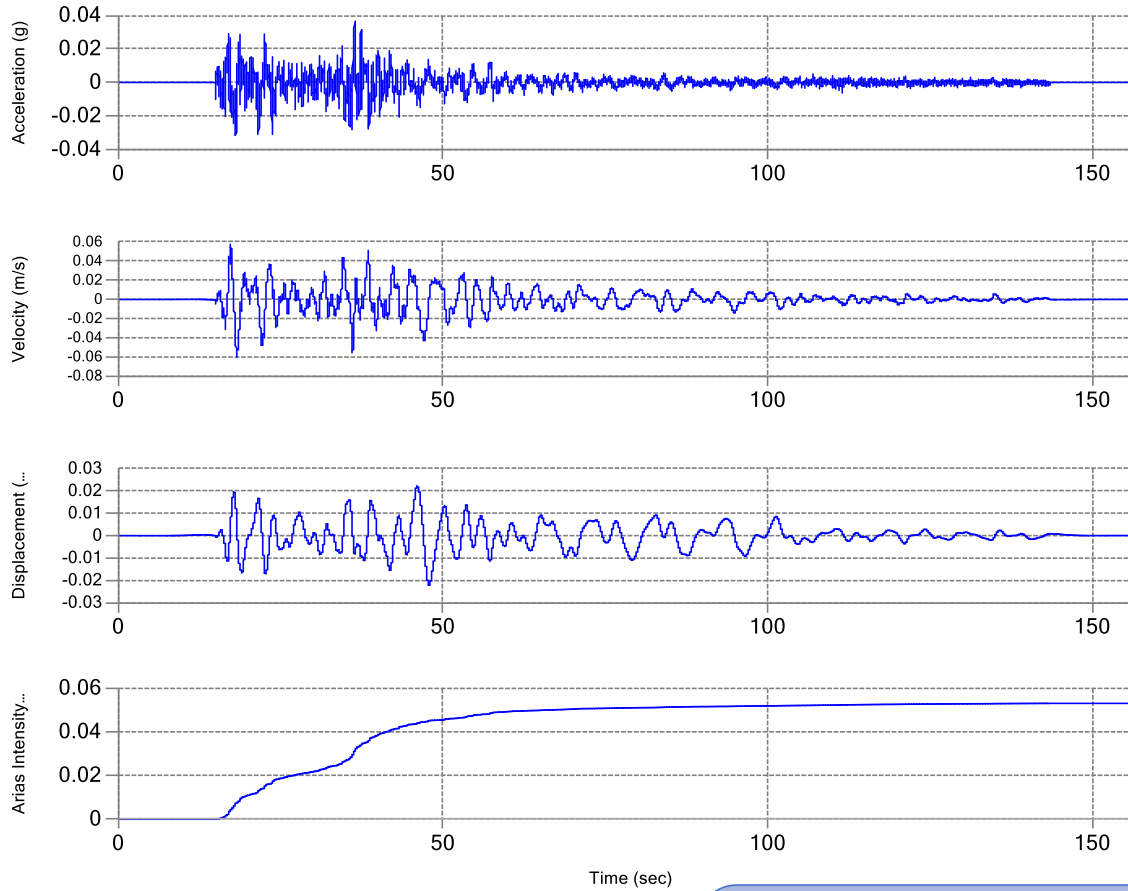


Ilustración 23 Datos de Entrada Sismo Moquegua 2001 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.0366 g
- Velocidad pico: 0.0604 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0223 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 52.95s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.11 g en 0.29s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

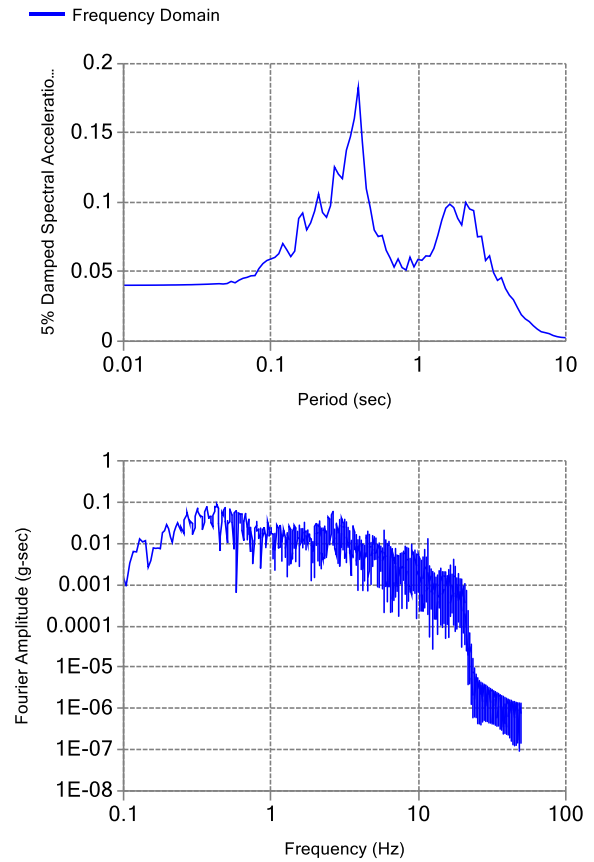
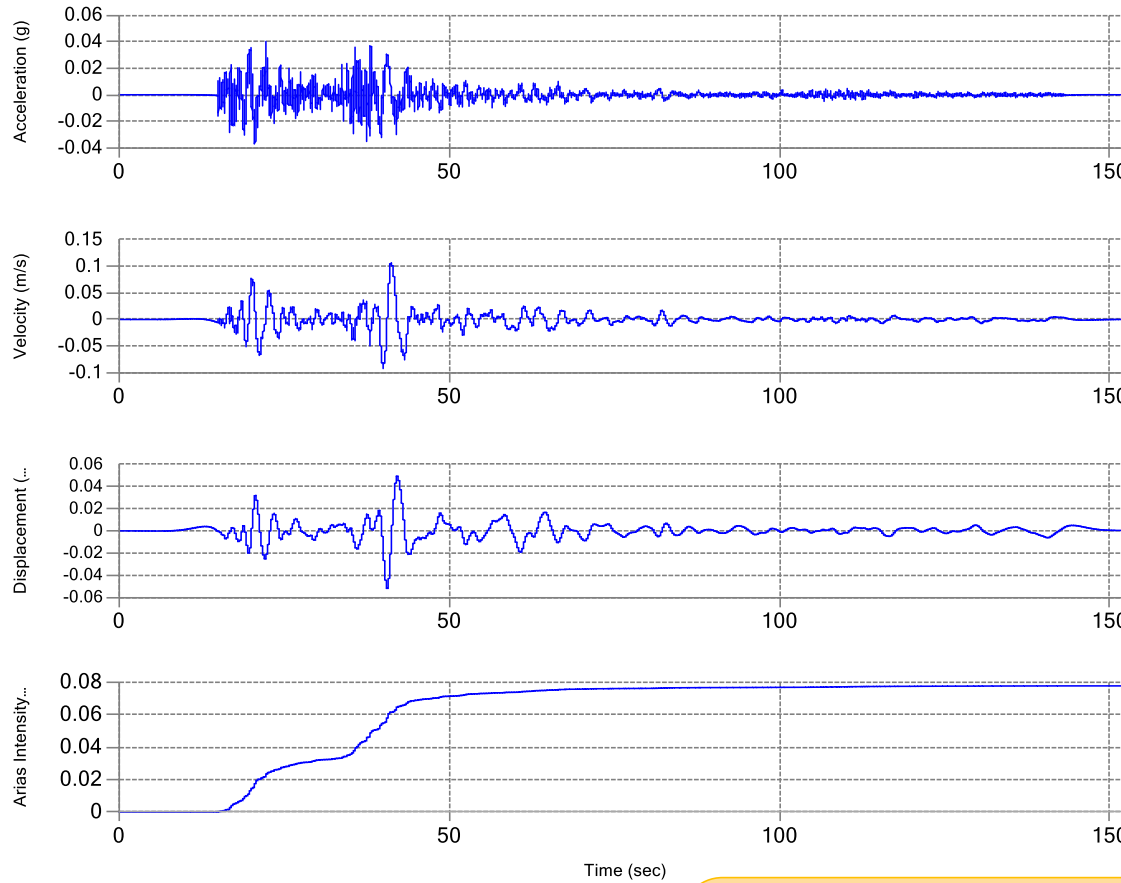


Ilustración 24 Datos de Entrada Sismo Moquegua 2001 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.0401 g
- Velocidad pico: 0.1067 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0519 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 43.37s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.18 g en 0.39s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

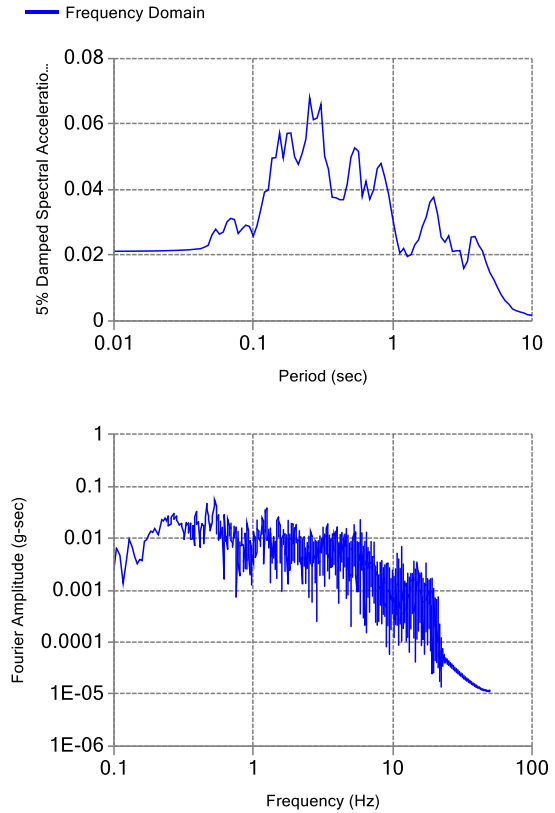
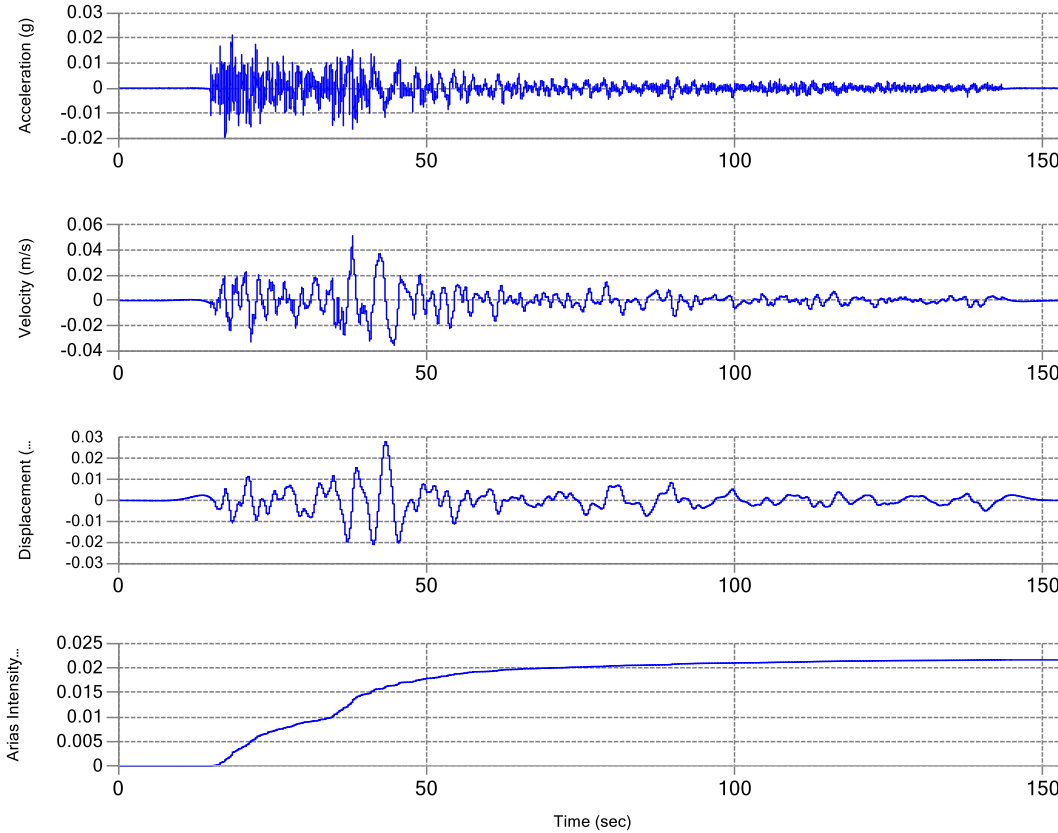


Ilustración 25 Datos de Entrada Sismo Arequipa 2001 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0211 g
- Velocidad pico: 0.0516 m/s
- Desplazamiento pico: 0.028 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 67.74s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.07 g en 0.25s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

6 Sismo

13/06/2005 Pisagua 2005

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University
STATION CODE : TAC001
STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.024
LONGITUDE : -70.249
ALTITUDE (m) : 585
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : June 13, 2005
ORIGIN TIME (Local) : 17:44:33
LATITUDE : -19.61
LONGITUDE : -69.97
DEPTH (km) : 146.00
MAGNITUDE : 7.2 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 17:44:54
NUMBER OF SAMPLES : 36400
MAXIMUM ACCELERATION : 85.54 -94.18 -76.20
DATA UNITS : cm/s²

Dirección EW

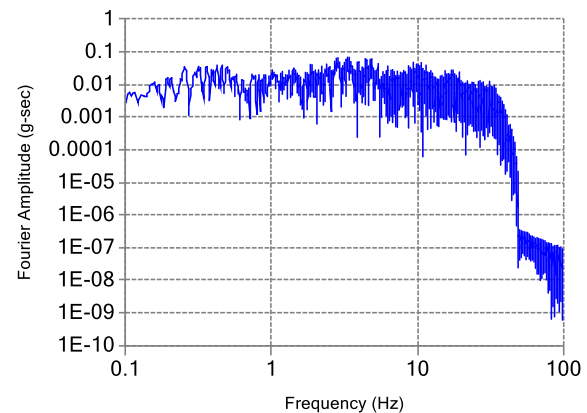
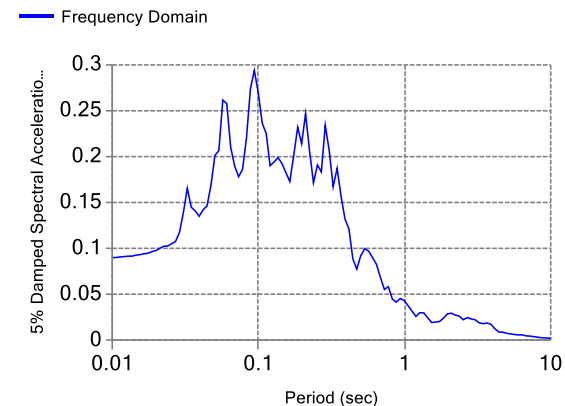
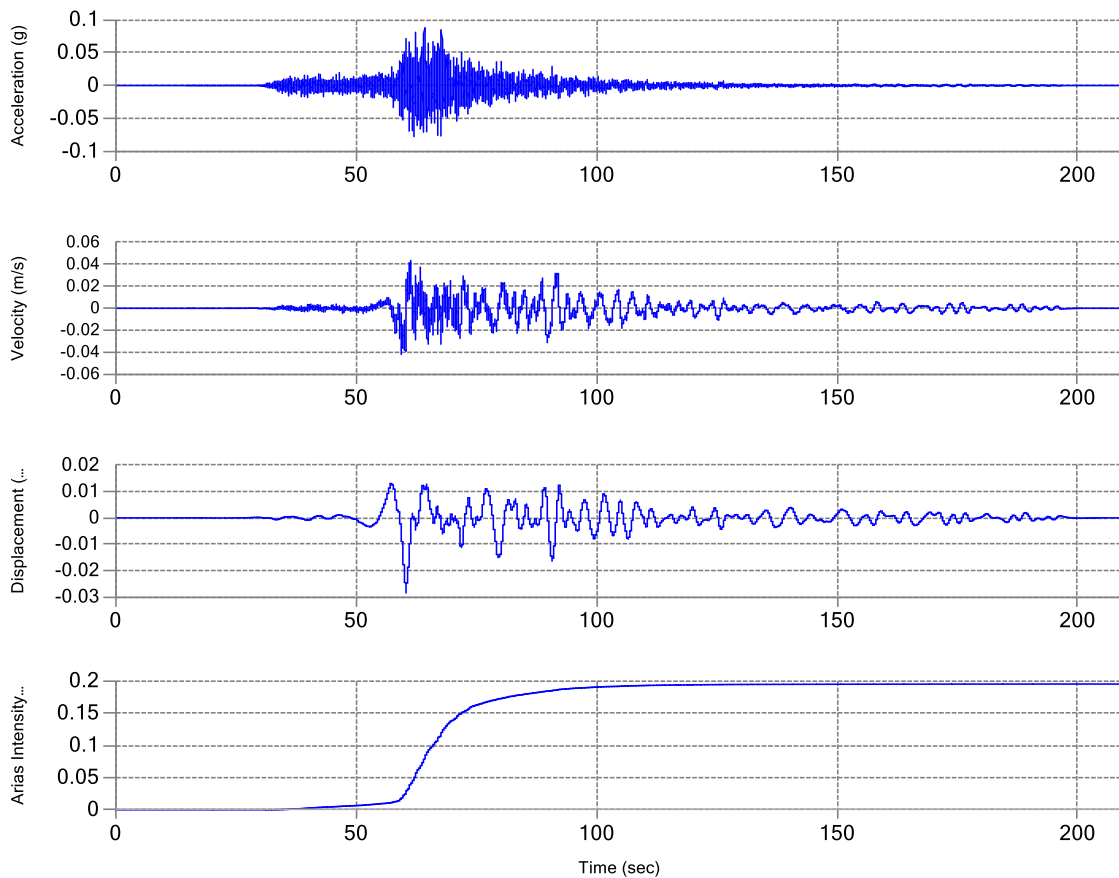


Ilustración 26 Datos de Entrada Sismo Pisagua 2005 EW

- Dirección EW**
- Aceleración pico: 0.0875 g
 - Velocidad pico: 0.0436 m/S
 - Desplazamiento pico: 0.0285 m
 - Este sismo tuvo una duración significativa de 35.1s
 - En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.29 g en 0.09s

Dirección NS

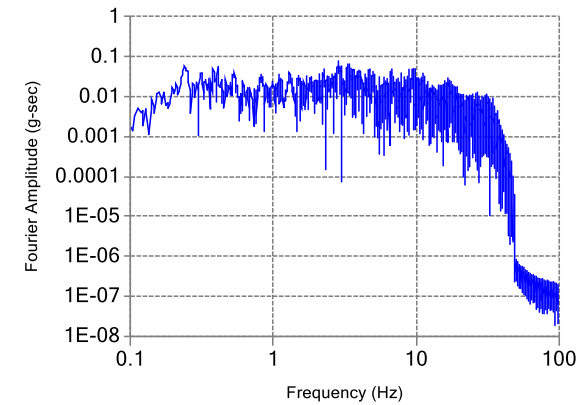
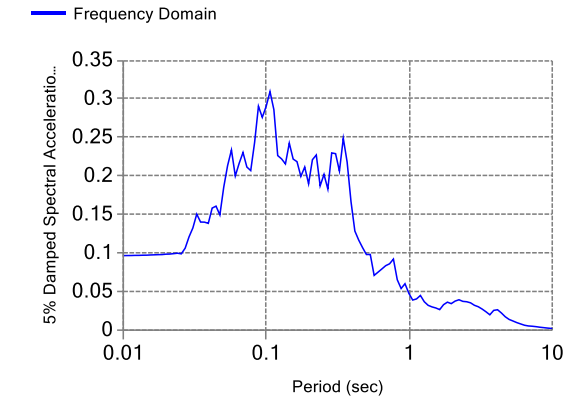
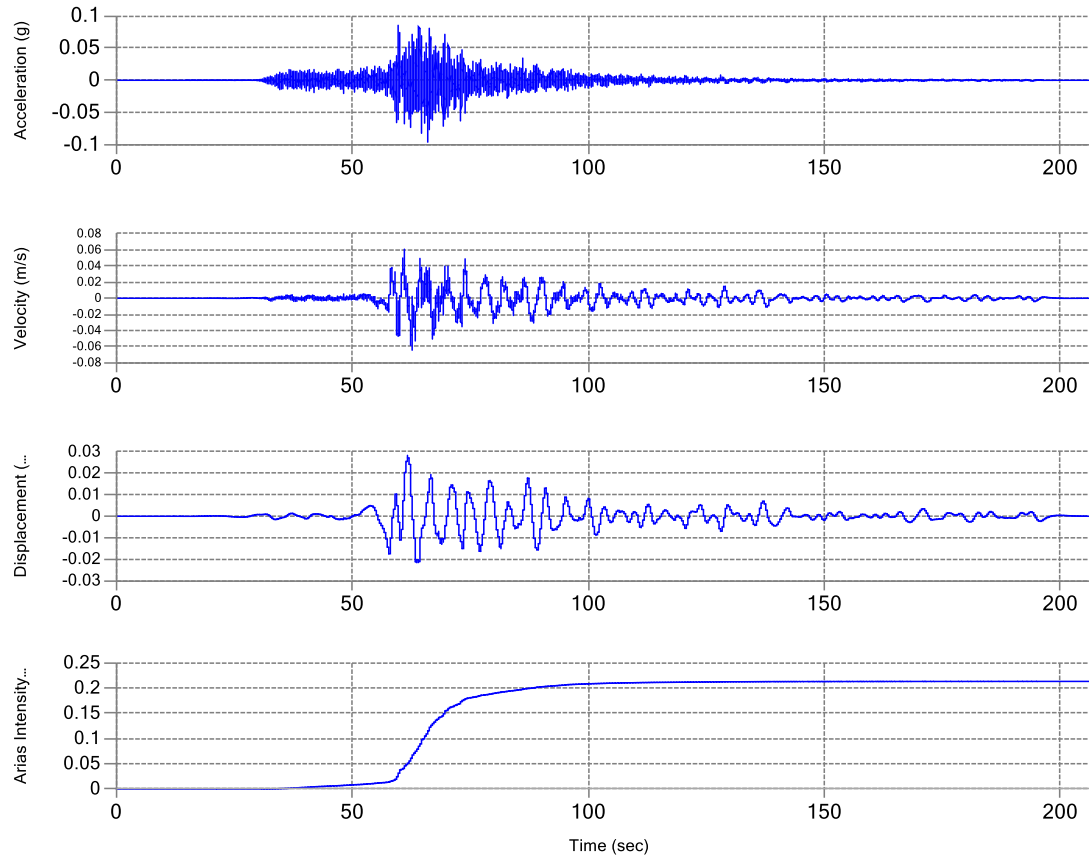


Ilustración 27 Datos de Entrada Sismo Pisagua 2005 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.096 g
- Velocidad pico: 0.0645 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0283 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 35.915s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.31 g en 0.11s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

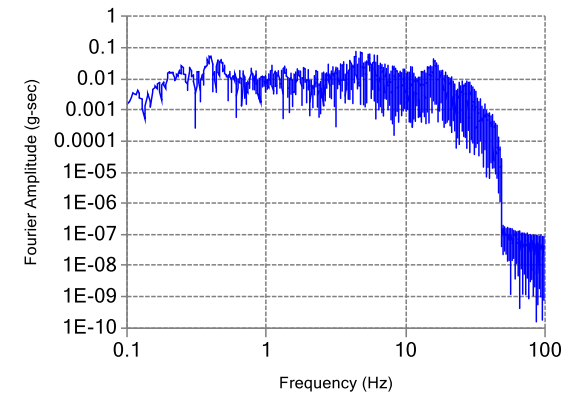
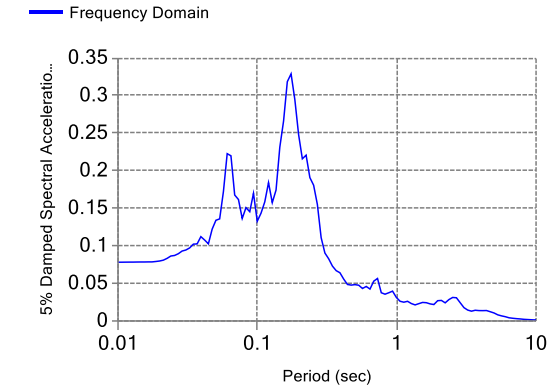
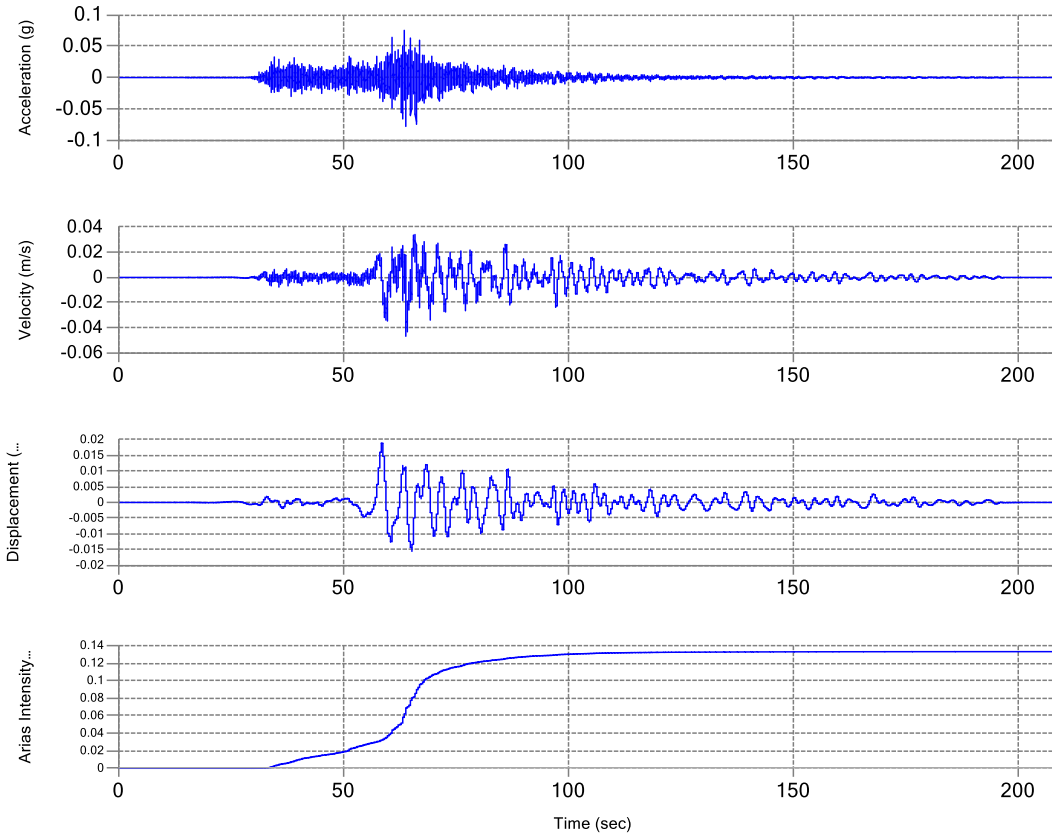


Ilustración 28 Datos de Entrada Sismo Pisagua 2005 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0778 g
- Velocidad pico: 0.0468 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0189 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 50.275s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.33 g en 0.17s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

7 Sismo **15/08/2007 Ica 2007**

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : UNICA
STATION CODE : ICA002
STATION LOCATION : San Luis Gonzaga National University, Ica, Ica
LATITUDE : -14.088
LONGITUDE : -75.732
ALTITUDE (m) : 409
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 100

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : August 15, 2007
ORIGIN TIME (Local) : 18:40:58
LATITUDE : -13.67
LONGITUDE : -76.76
DEPTH (km) : 40.00
MAGNITUDE : 7.0 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 18:40:58
NUMBER OF SAMPLES : 21807
MAXIMUM ACCELERATION : -272.82 333.66 192.04
DATA UNITS : cm/s²

Dirección EW

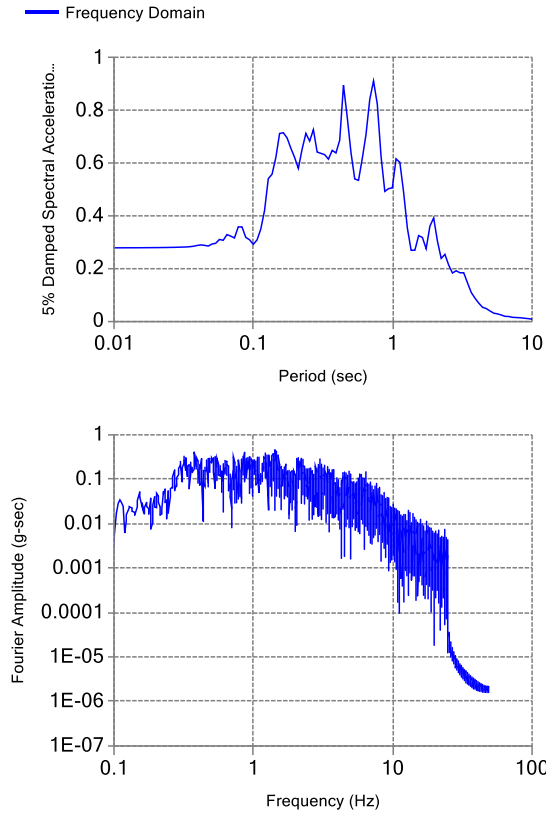
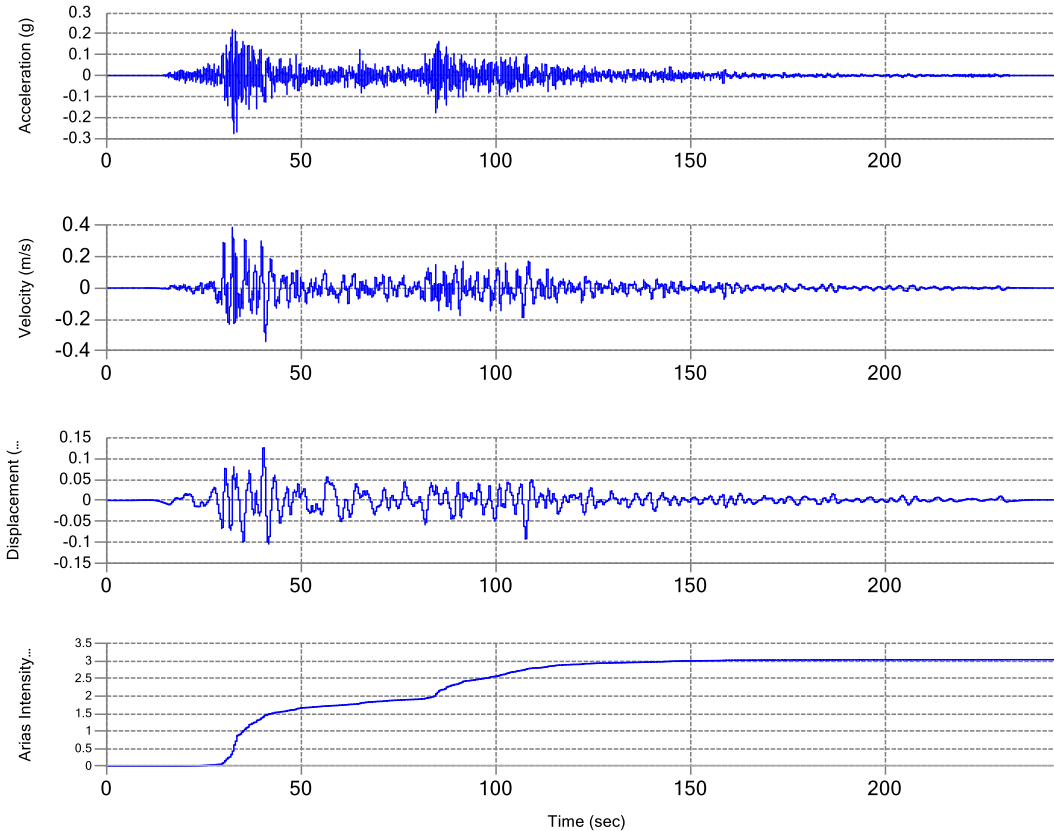


Ilustración 29 Datos de Entrada Sismo Ica 2007 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.2772 g
- Velocidad pico: 0.386 m/S
- Desplazamiento pico: 0.1256 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 86.73s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.91 g en 0.73s

Dirección NS

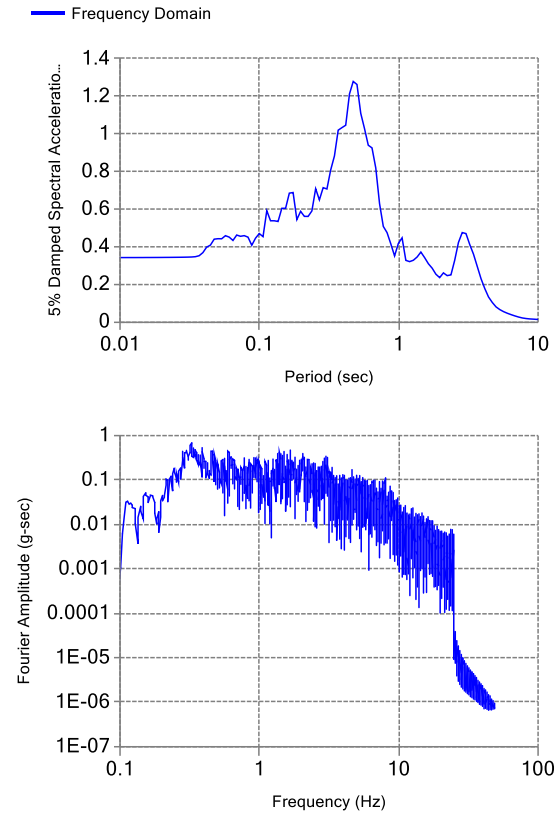
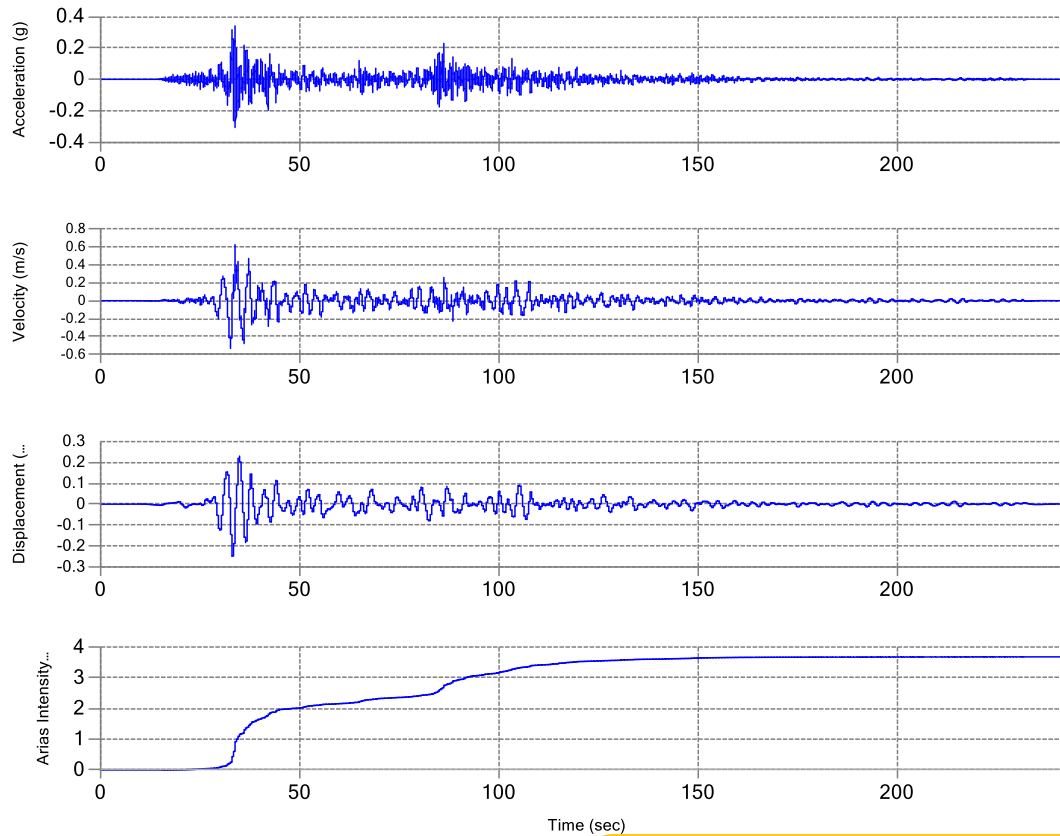


Ilustración 30 Datos de Entrada Sismo Ica 2007 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.34 g
- Velocidad pico: 0.6294 m/S
- Desplazamiento pico: 0.2488 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 85.47s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 1.28 g en 0.47

Dirección UD

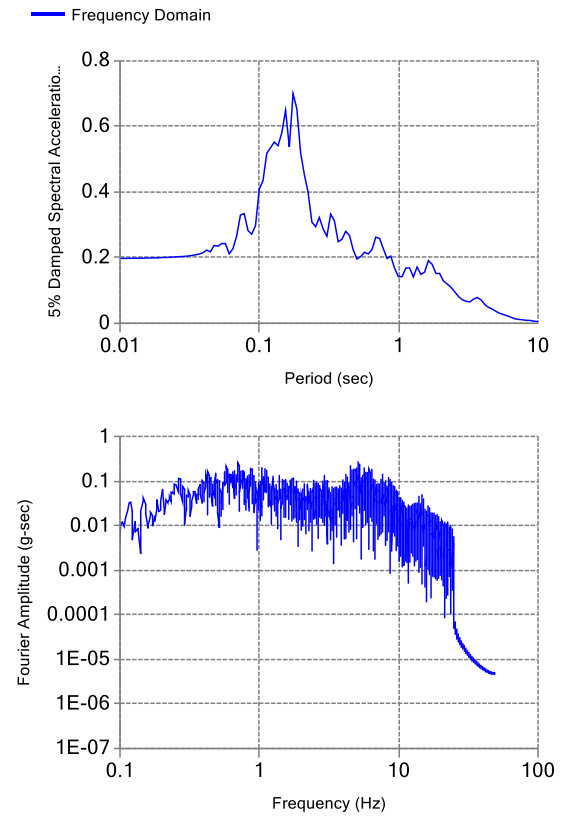
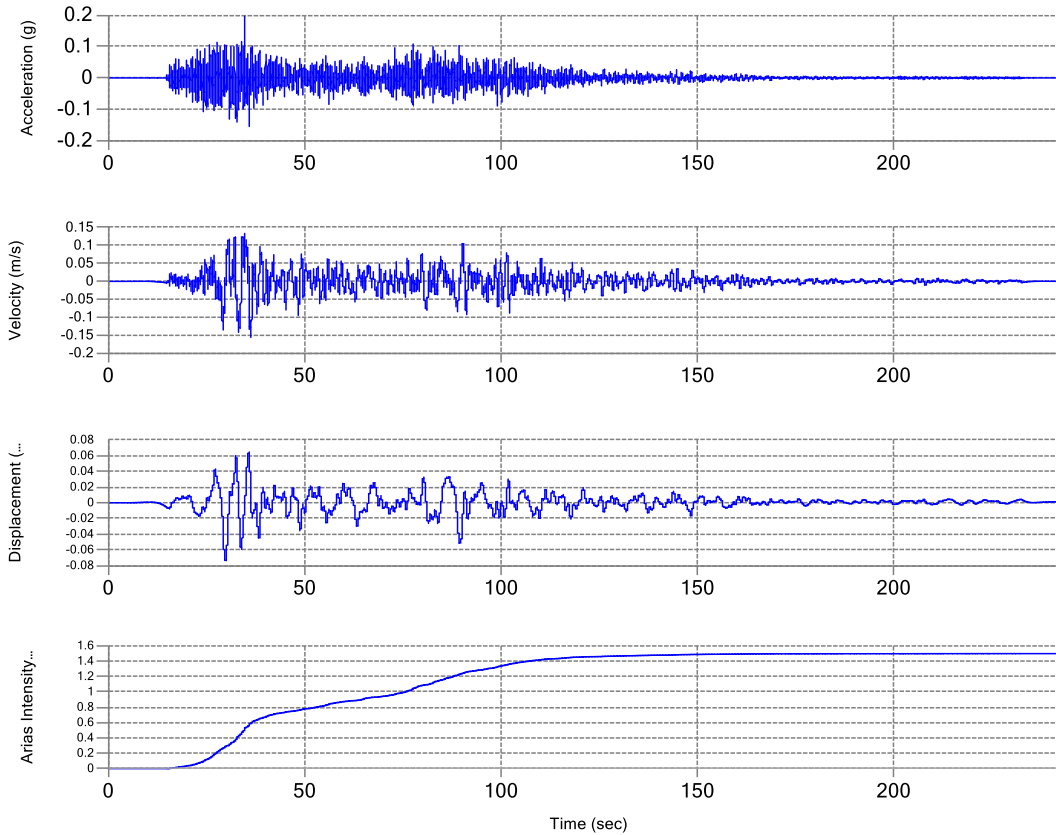


Ilustración 31 Datos de Entrada Sismo Ica 2007 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.1962 g
- Velocidad pico: 0.1561 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0737 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 87.8s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.7 g en 0.17s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

8 Sismo

05/05/2010 Tacna 2010

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University
STATION CODE : TAC001
STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.024
LONGITUDE : -70.249
ALTITUDE (m) : 585
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : May 05, 2010
ORIGIN TIME (Local) : 21:42:00
LATITUDE : -18.34
LONGITUDE : -71.17
DEPTH (km) : 36.00
MAGNITUDE : 6.5 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 21:42:46
NUMBER OF SAMPLES : 23600
MAXIMUM ACCELERATION : -154.00 -190.00 -108.00
DATA UNITS : cm/s²

Dirección EW

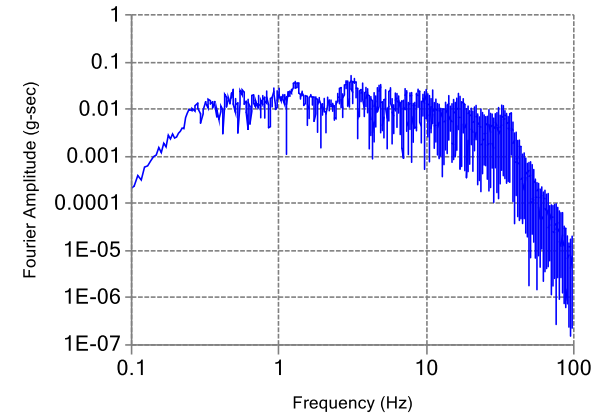
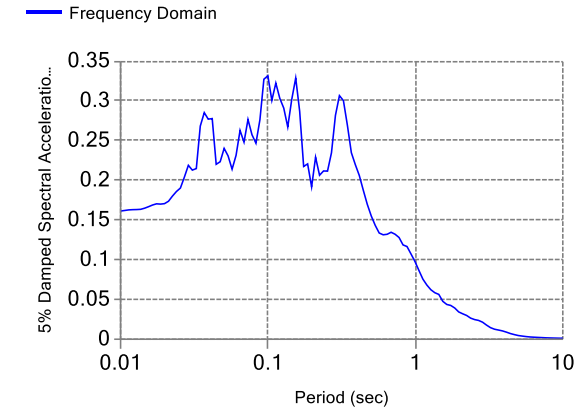
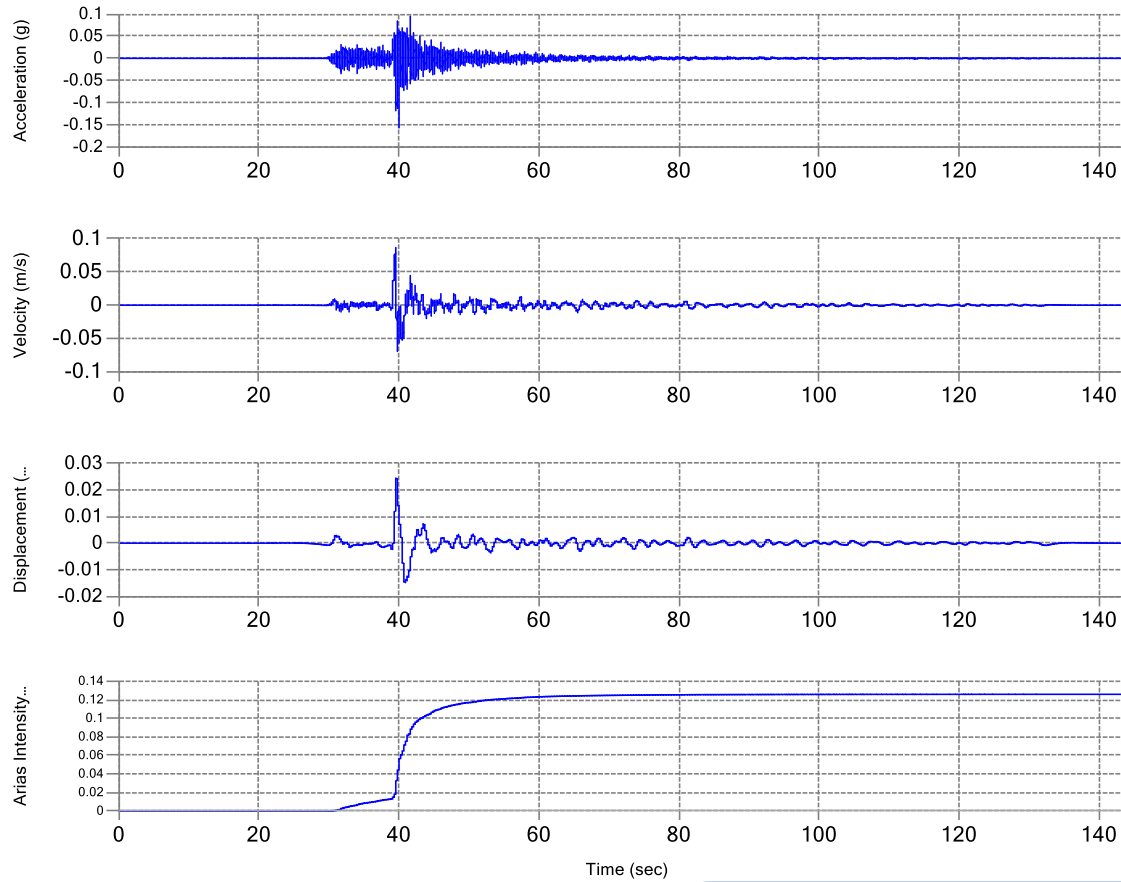


Ilustración 32 Datos de Entrada Sismo Tacna 2010 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.1569 g
- Velocidad pico: 0.0868 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0245 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 18.605s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.33 g en 0.1s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

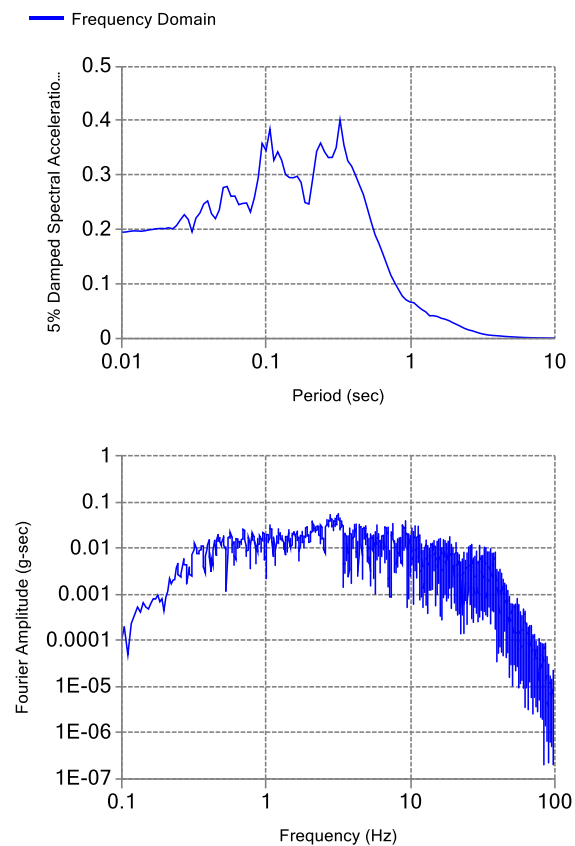
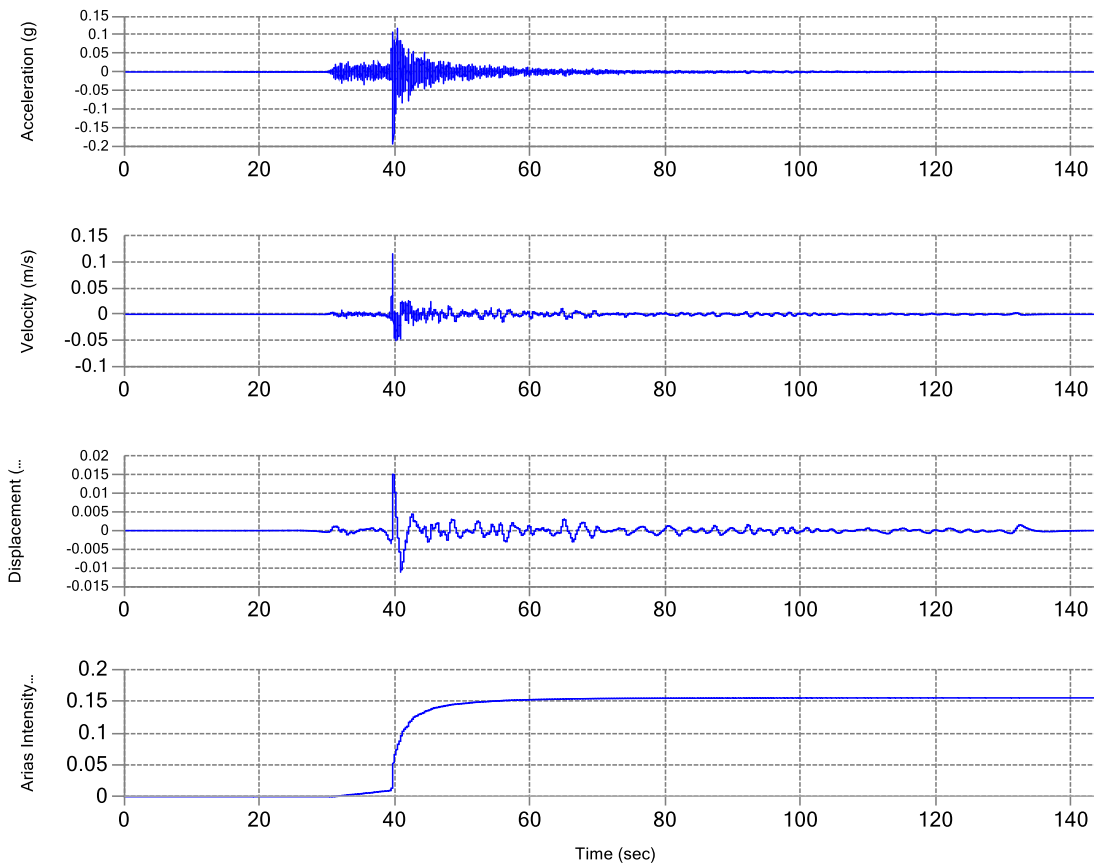


Ilustración 33 Datos de Entrada Sismo Tacna 2010 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.1937 g
- Velocidad pico: 0.1162 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0151 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 13.445s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.4 g en 0.32s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

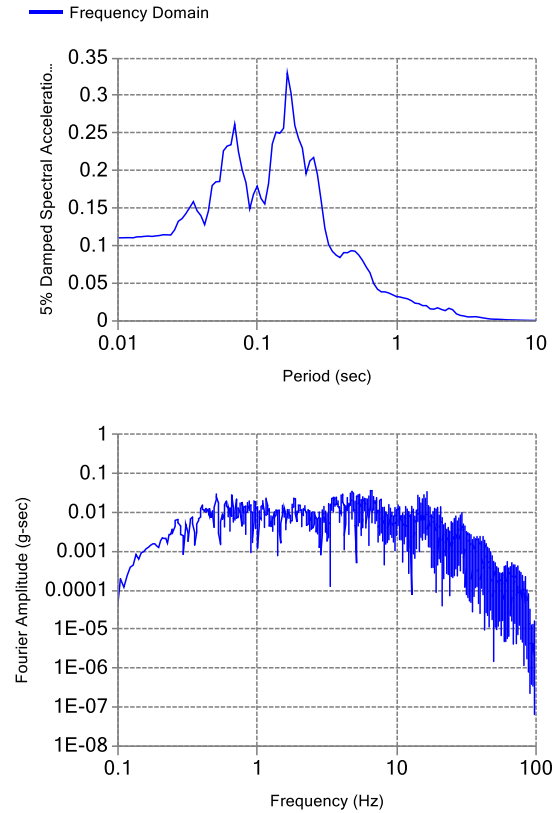
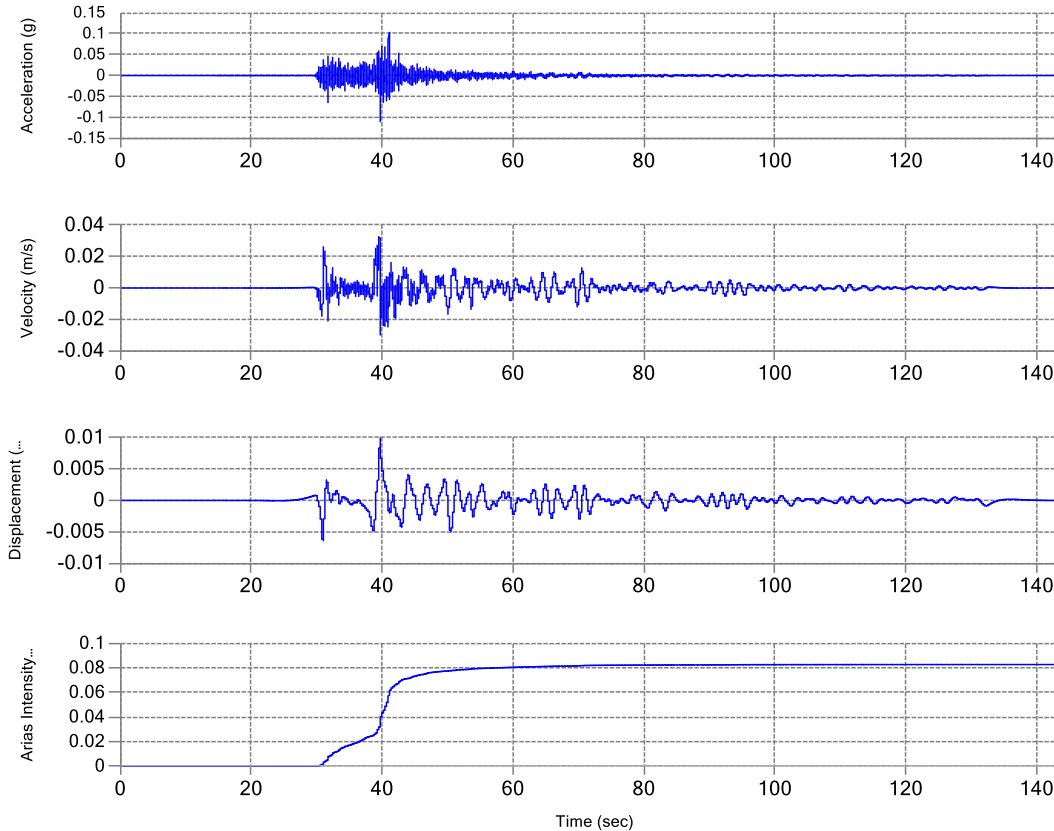


Ilustración 34 Datos de Entrada Sismo Tacna 2010 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.11 g
- Velocidad pico: 0.0327 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0099 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 21.085s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.33 g en 0.16s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

9 Sismo **14/05/2012 Tacna 2012**

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Alberto Giesecke Matto
STATION CODE : TAC002
STATION LOCATION : Private University of Tacna, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.005
LONGITUDE : -70.226
ALTITUDE (m) : 672
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : May 14, 2012
ORIGIN TIME (Local) : 05:00:00
LATITUDE : -18.05
LONGITUDE : -70.06
DEPTH (km) : 98.00
MAGNITUDE : 6.1 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 05:00:40
NUMBER OF SAMPLES : 22000
MAXIMUM ACCELERATION : 180.00 85.60 -81.70
DATA UNITS : cm/s²

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

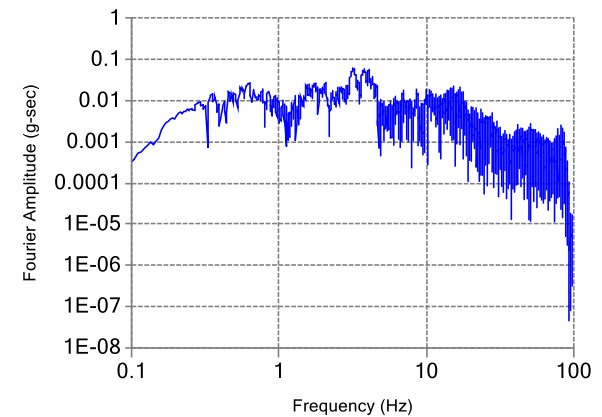
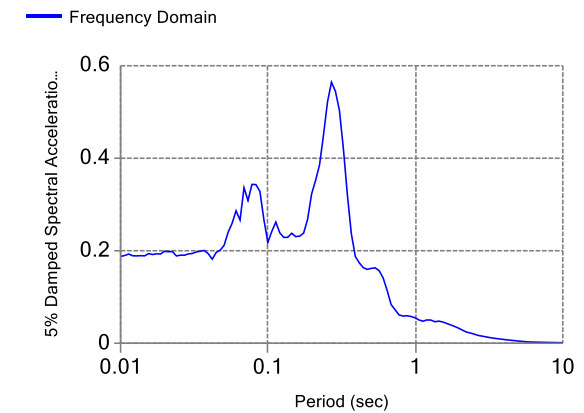
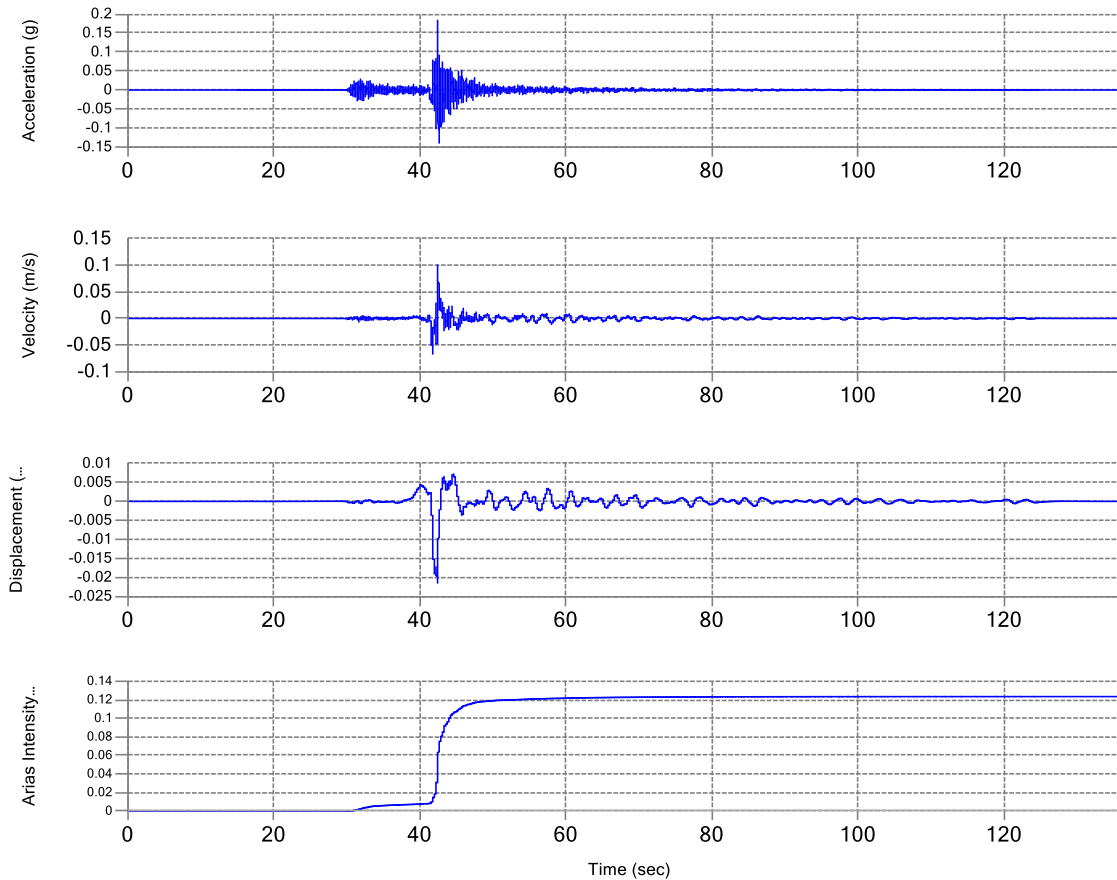


Ilustración 35 Datos de Entrada Sismo Tacna 2012 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.1843 g
- Velocidad pico: 0.1005 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0215 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 12.07 s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.56 g en 0.27s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

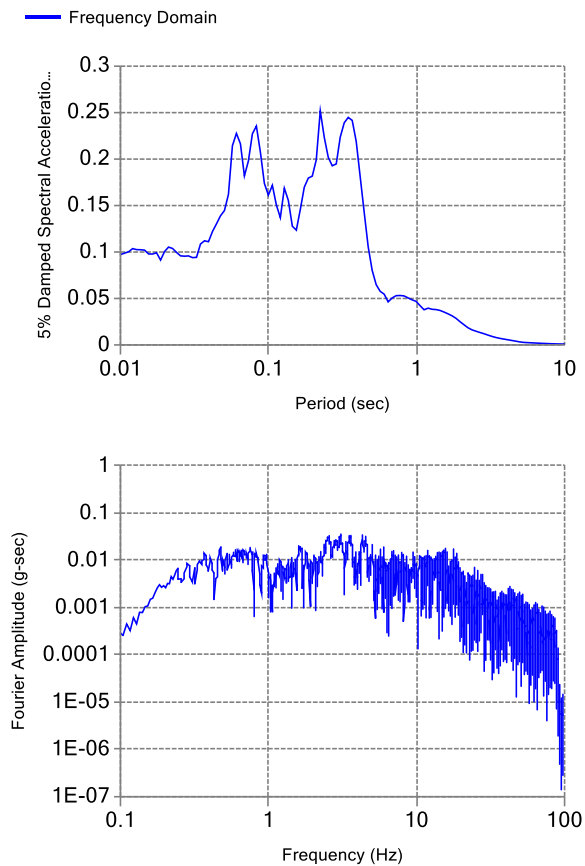
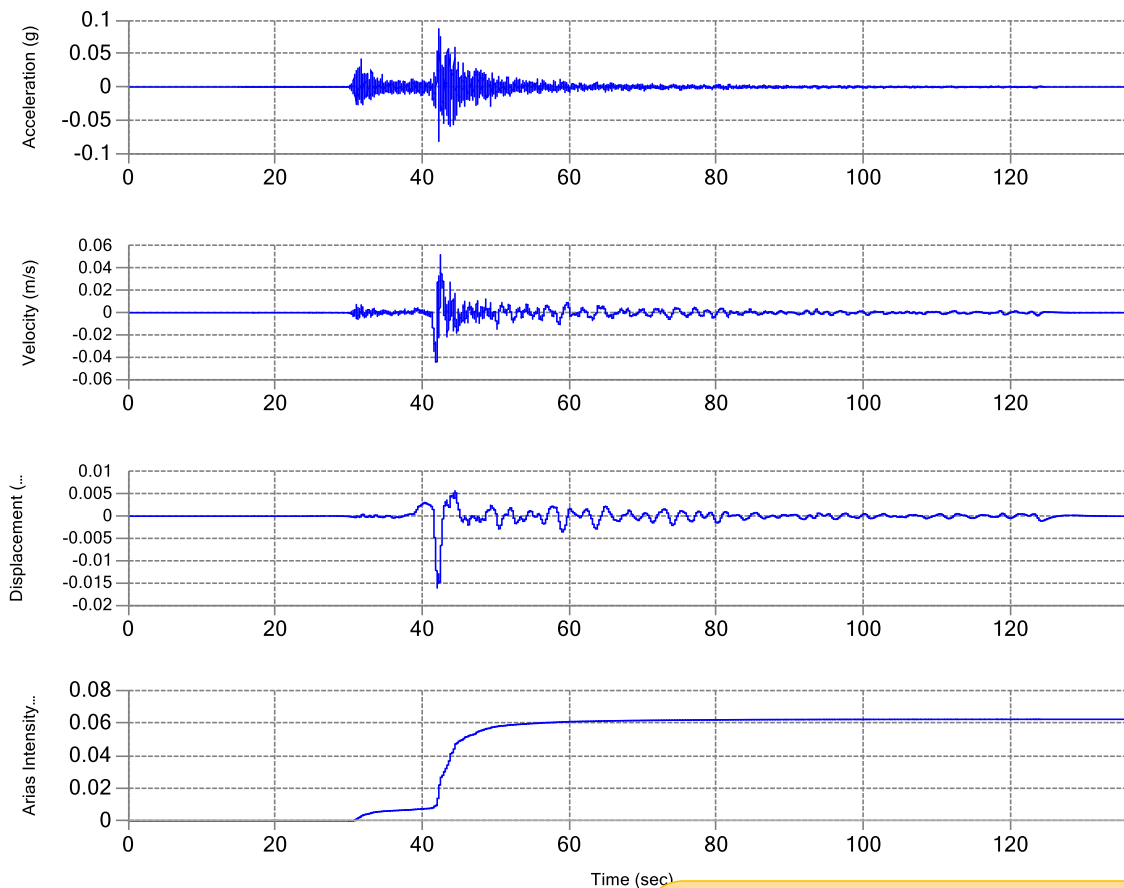


Ilustración 36 Datos de Entrada Sismo Tacna 2012 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.0872 g
- Velocidad pico: 0.0521 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0162 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 28.185s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.25 g en 0.22 s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

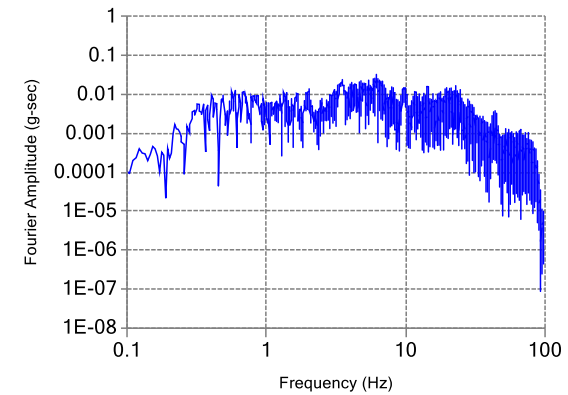
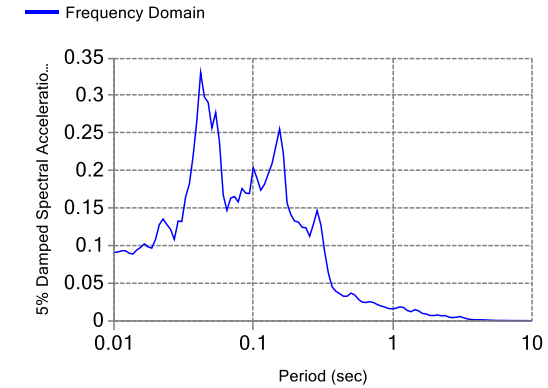
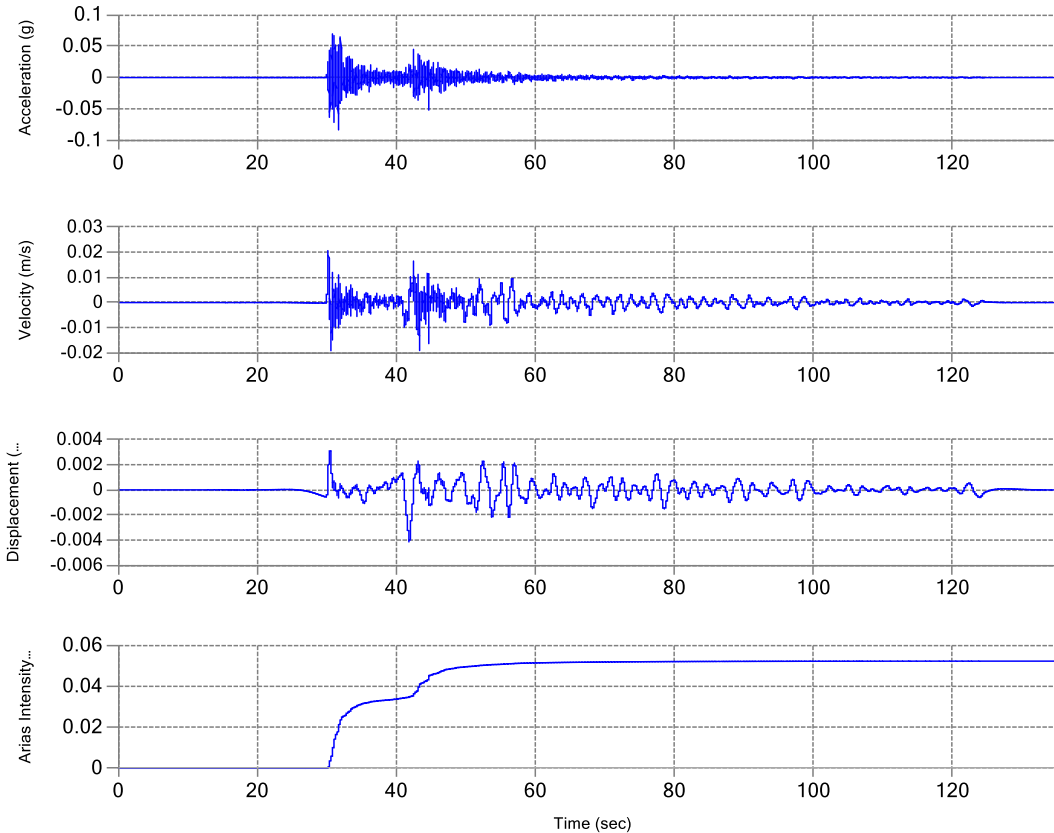


Ilustración 37 Datos de Entrada Sismo Tacna 2012 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0833 g
- Velocidad pico: 0.0207 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0041 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 20.09s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.33 g en 0.42s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

10 Sismo

07/06/2012 Arequipa 2012

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Alberto Giesecke Matto
STATION CODE : TAC002
STATION LOCATION : Private University of Tacna, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.005
LONGITUDE : -70.226
ALTITUDE (m) : 672
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : June 07, 2012
ORIGIN TIME (Local) : 11:03:14
LATITUDE : -15.98
LONGITUDE : -72.75
DEPTH (km) : 110.00
MAGNITUDE : 6.1 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 11:03:51
NUMBER OF SAMPLES : 18000
MAXIMUM ACCELERATION : 7.24 -4.42 -10.40
DATA UNITS : cm/s²

Dirección EW

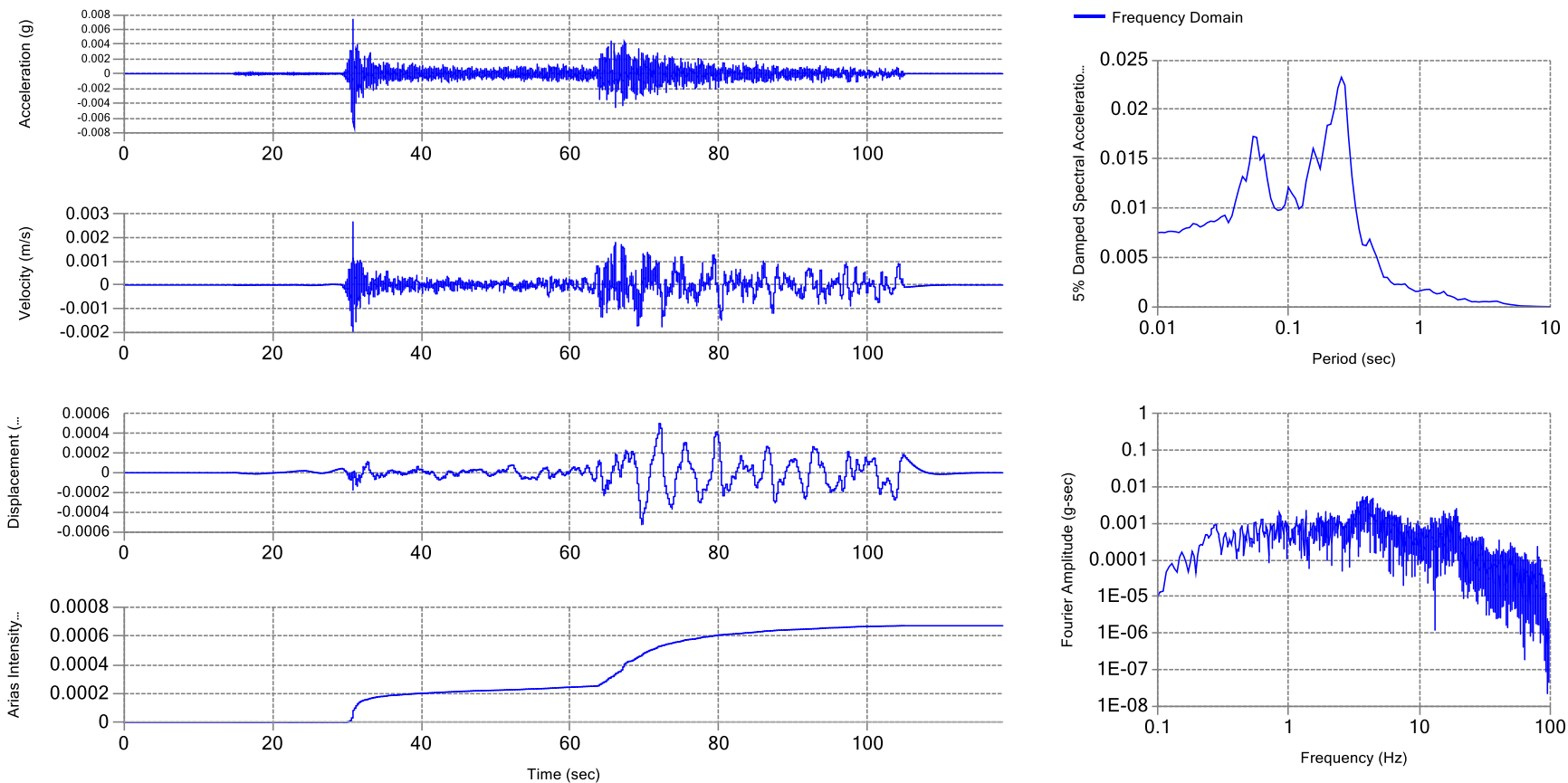


Ilustración 38 Datos de Entrada Sismo Arequipa 2012 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.0074 g
- Velocidad pico: 0.0027 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0005 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 56.605 s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.023 g en 0.25s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

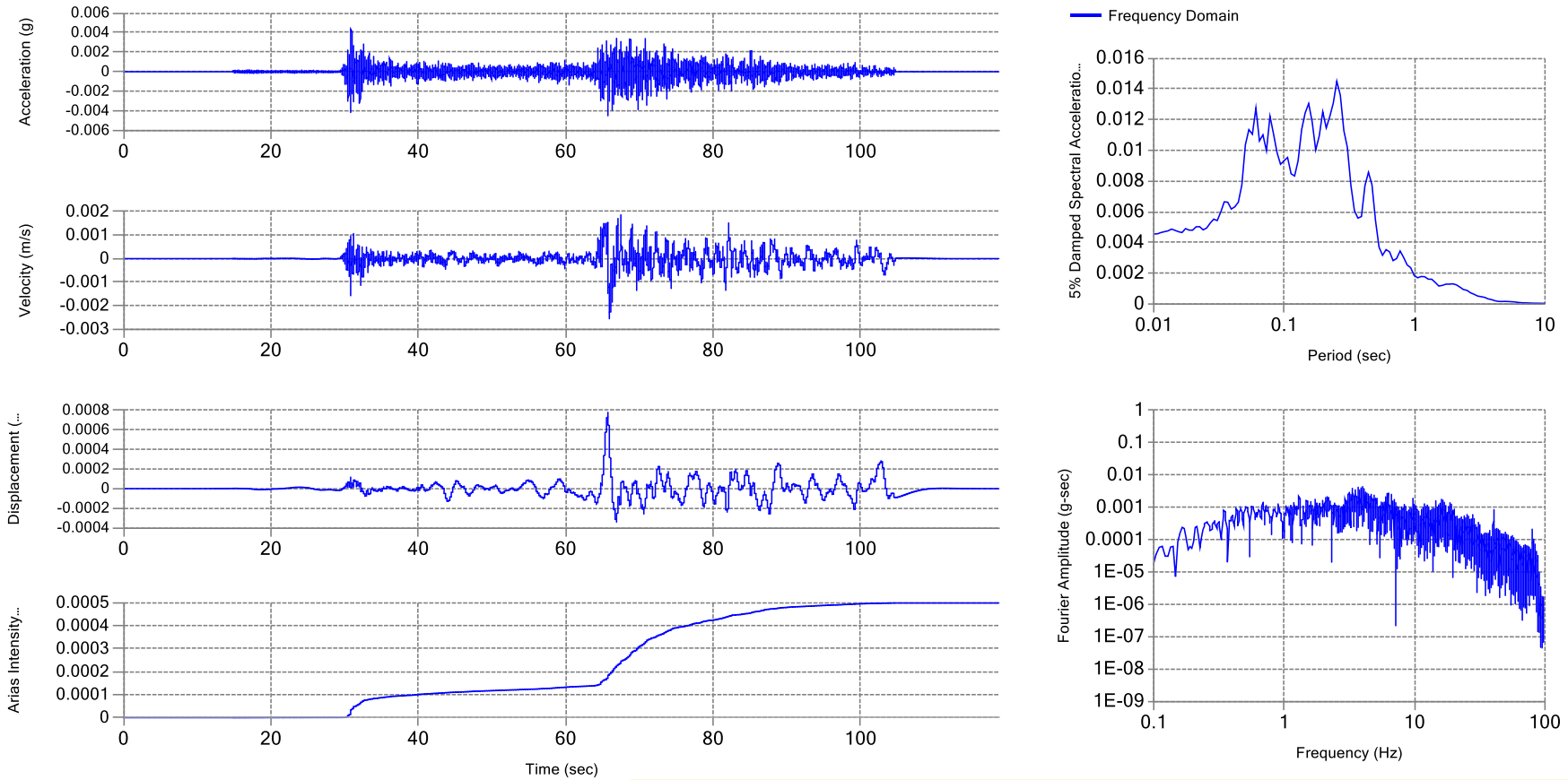


Ilustración 39 Datos de Entrada Sismo Arequipa 2012 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.0045 g
- Velocidad pico: 0.0026 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0008 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 57.51s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.014 g en 0.25s

Dirección UD

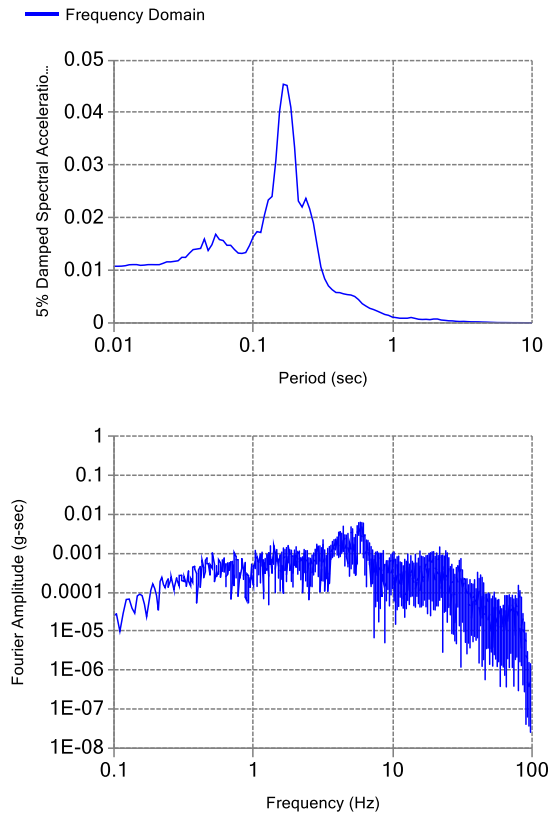
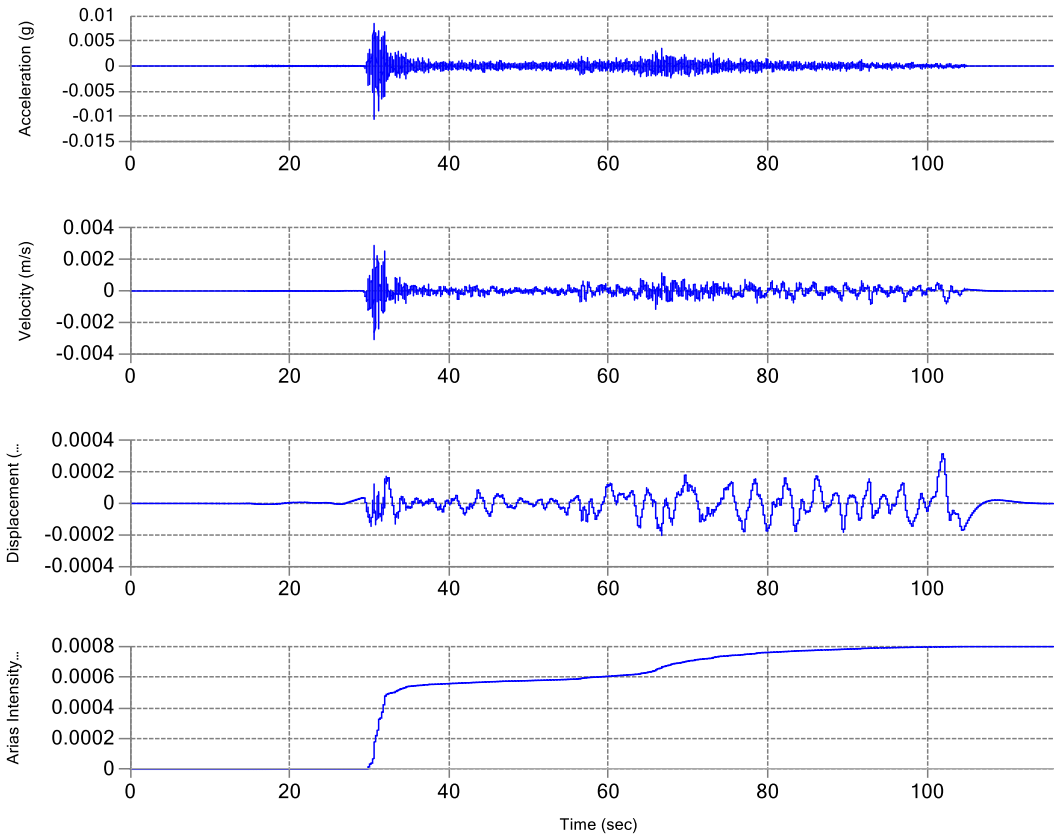


Ilustración 40 Datos de Entrada Sismo Arequipa 2012 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0106 g
- Velocidad pico: 0.0031 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0003 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 48.835s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.045 g en 0.16s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

11 Sismo **23/03/2014 Iquique 2014**

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Alberto Giesecke Matto
STATION CODE : TAC002
STATION LOCATION : Private University of Tacna, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.005
LONGITUDE : -70.226
ALTITUDE (m) : 672
ACCELEROMETER MODEL : CV-374A2 Tokyo Sokushin
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : March 23, 2014
ORIGIN TIME (Local) : 13:20:03
LATITUDE : -19.73
LONGITUDE : -70.97
DEPTH (km) : 45.00
MAGNITUDE : 6.3 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 13:20:22
NUMBER OF SAMPLES : 27001
MAXIMUM ACCELERATION : 6.56 -5.26 -4.70
DATA UNITS : cm/s²

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

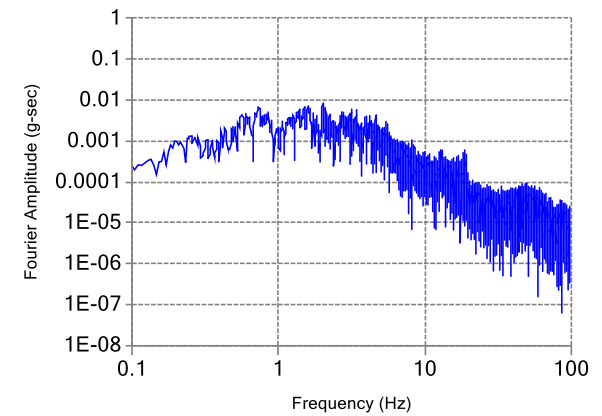
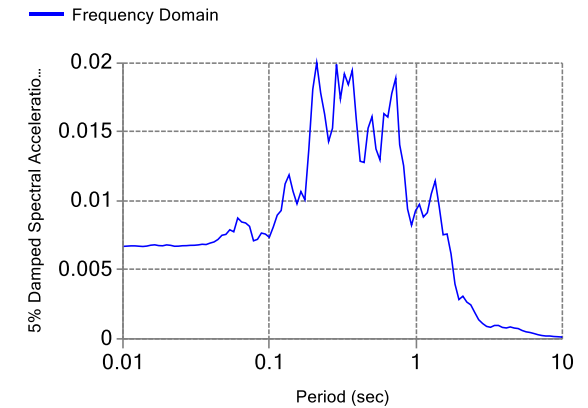
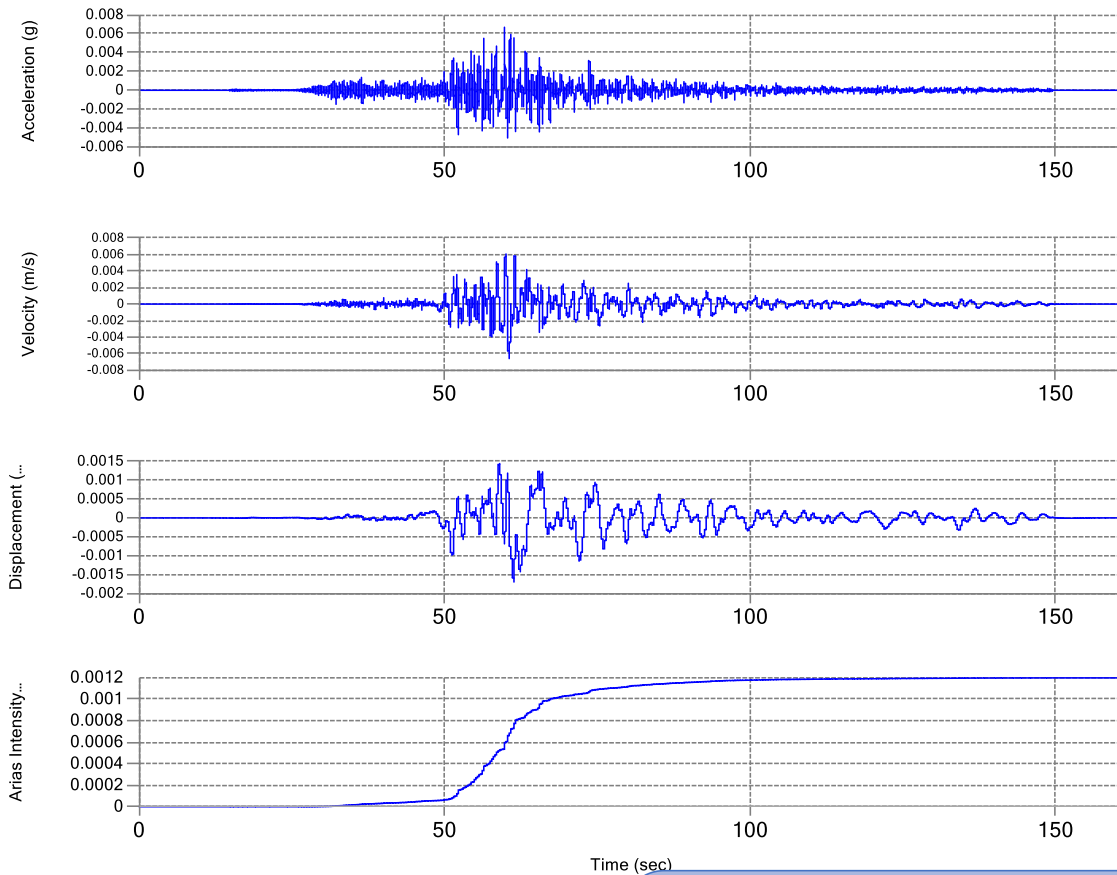


Ilustración 41 Datos de Entrada Sismo Iquique 2014 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.0067 g
- Velocidad pico: 0.0066 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0017 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 34.445 s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta dos picos con valor 0.02 g en 0.21s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

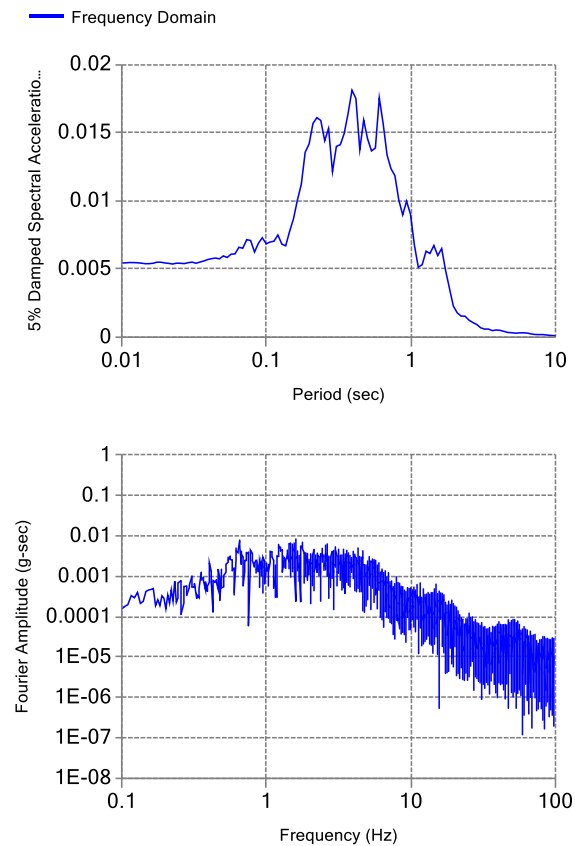
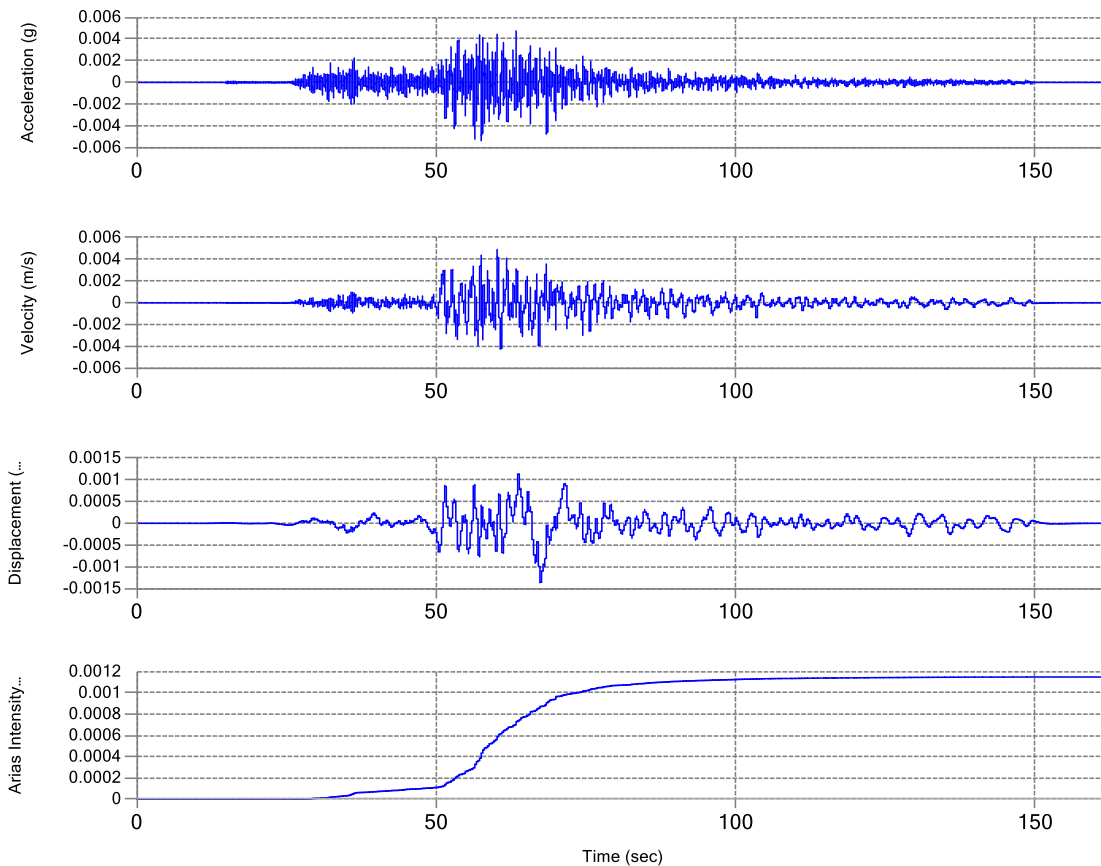


Ilustración 42 Datos de Entrada Sismo Iquique 2014 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.0054 g
- Velocidad pico: 0.0049 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0014 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 48.825s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.018 g en 0.39s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

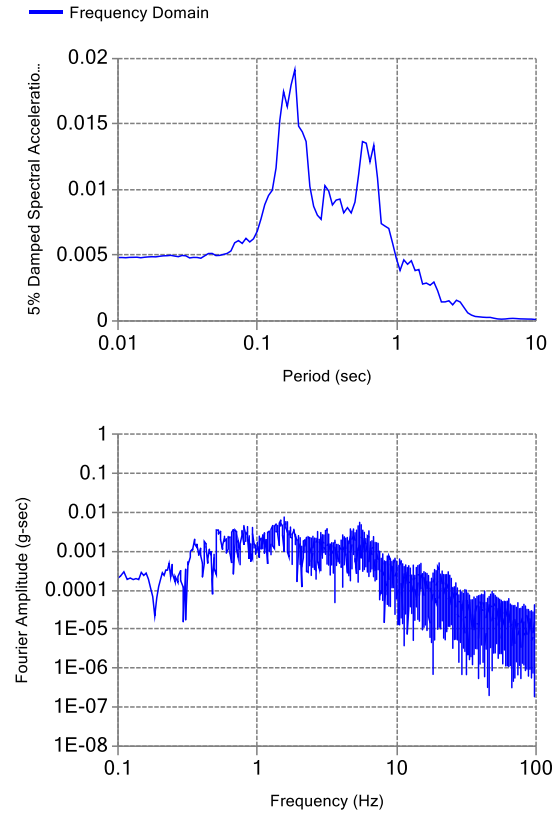
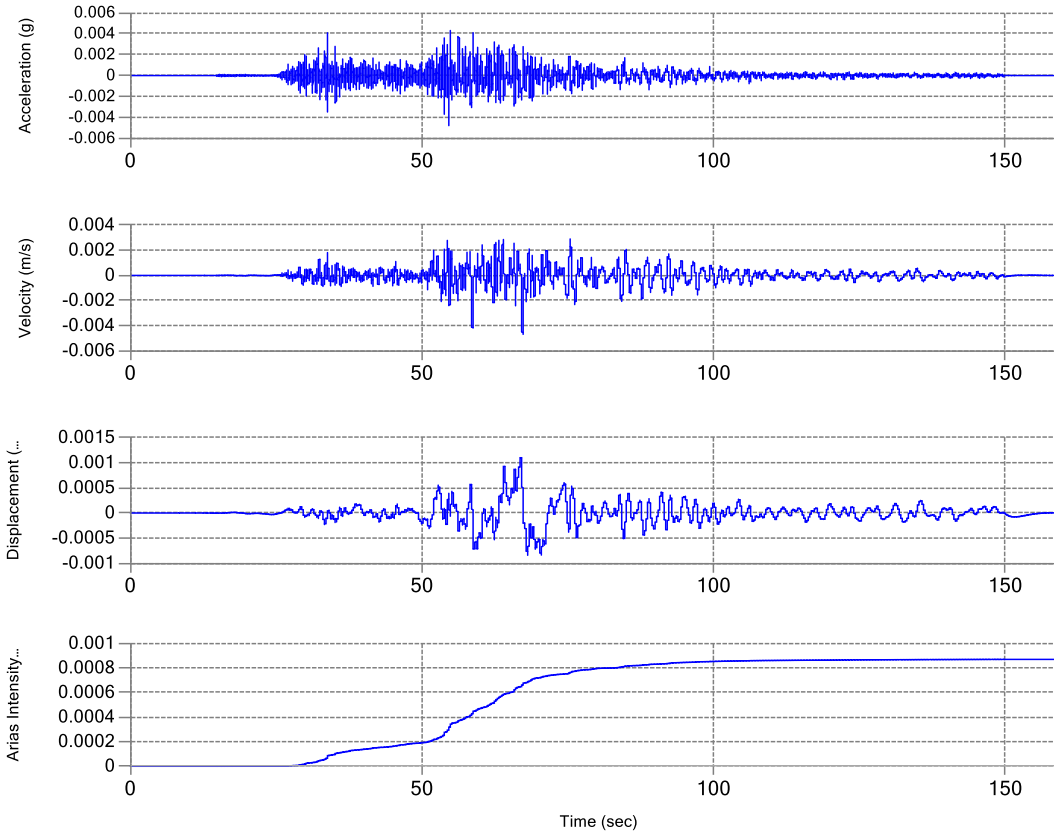


Ilustración 43 Datos de Entrada Sismo Iquique 2014 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0048 g
- Velocidad pico: 0.0047 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0011 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 56.51s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.019 g en 0.19s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

12 Sismo

01/04/2014 Iquique 01-04-2014

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University
STATION CODE : TAC001
STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.024
LONGITUDE : -70.249
ALTITUDE (m) : 585
ACCELEROMETER MODEL : CV-374A2 Tokyo Sokushin
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : April 01, 2014
ORIGIN TIME (Local) : 18:46:45
LATITUDE : -19.57
LONGITUDE : -70.91
DEPTH (km) : 38.90
MAGNITUDE : 8.2 Mw
INFORMATION SOURCE : CSMUCH

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 18:47:17
NUMBER OF SAMPLES : 30442
MAXIMUM ACCELERATION : 72.49 -69.51 -40.72
DATA UNITS : cm/s²

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

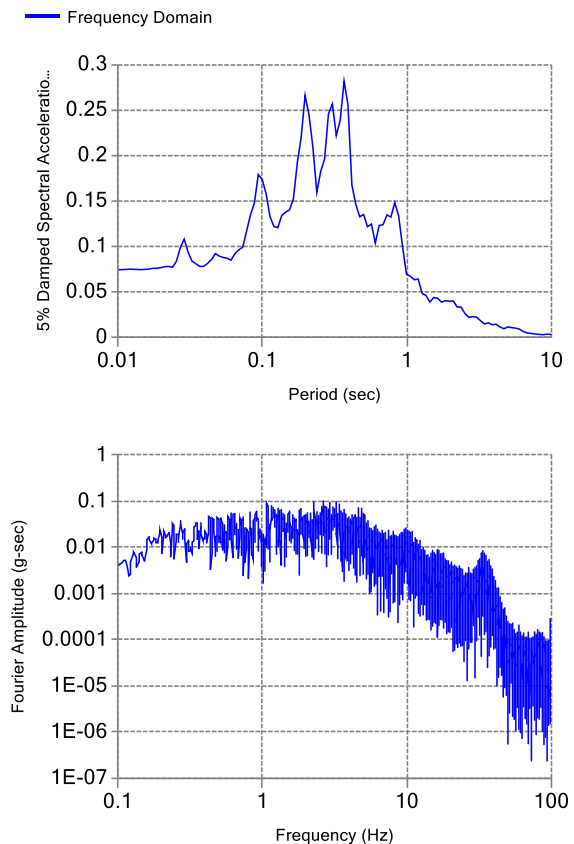
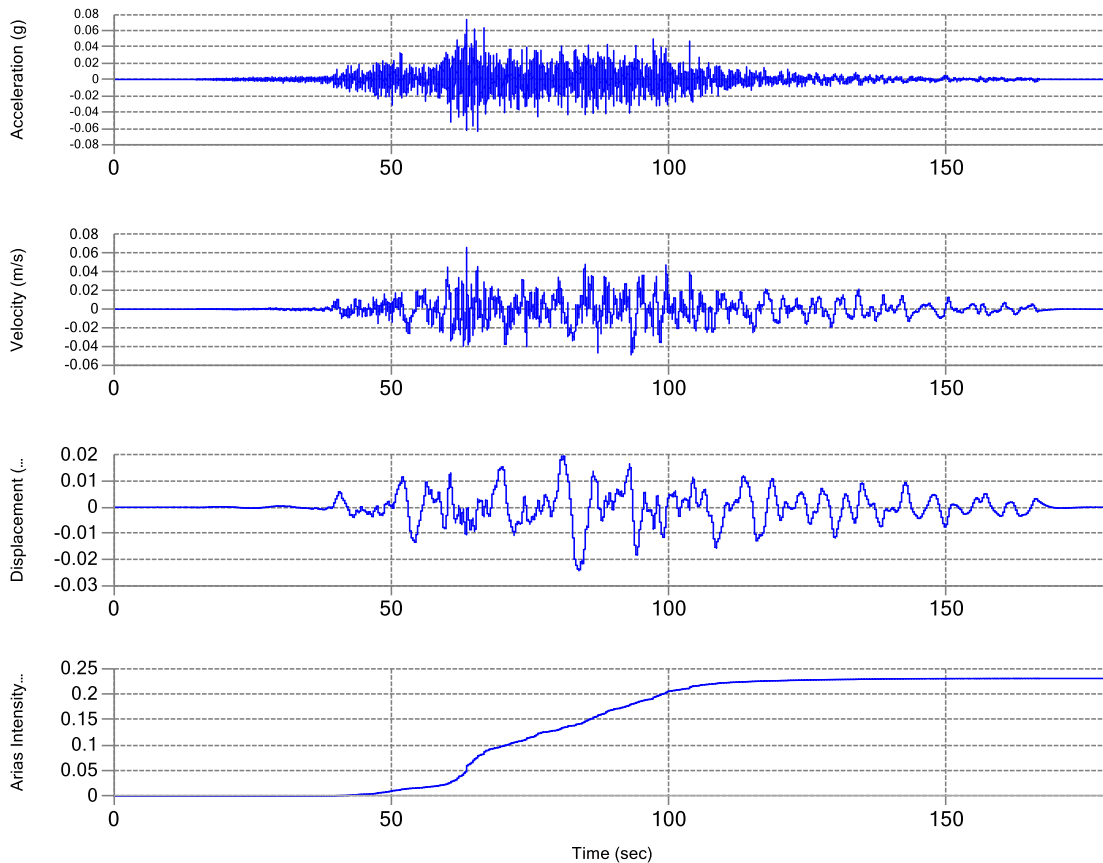


Ilustración 44 Datos de Entrada Sismo Iquique 01-04-2014 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.0736 g
- Velocidad pico: 0.0663 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0244 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 55.885 s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta dos picos con valor 0.28 g en 0.37s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

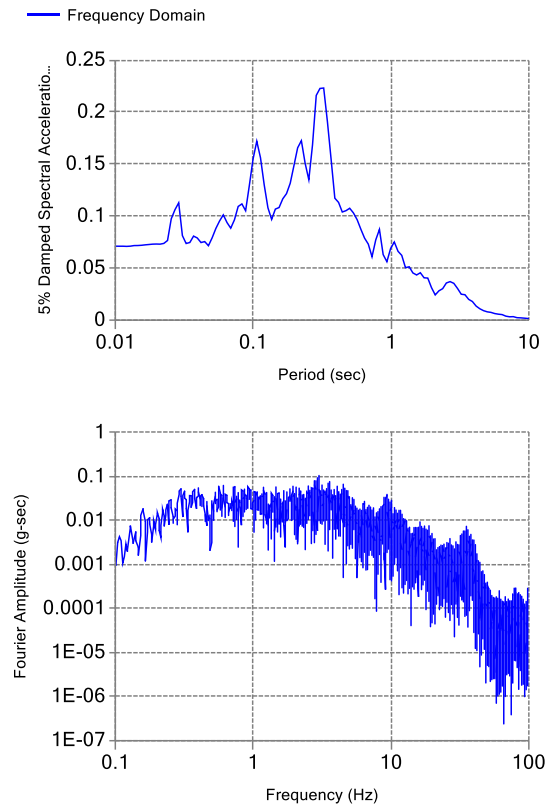
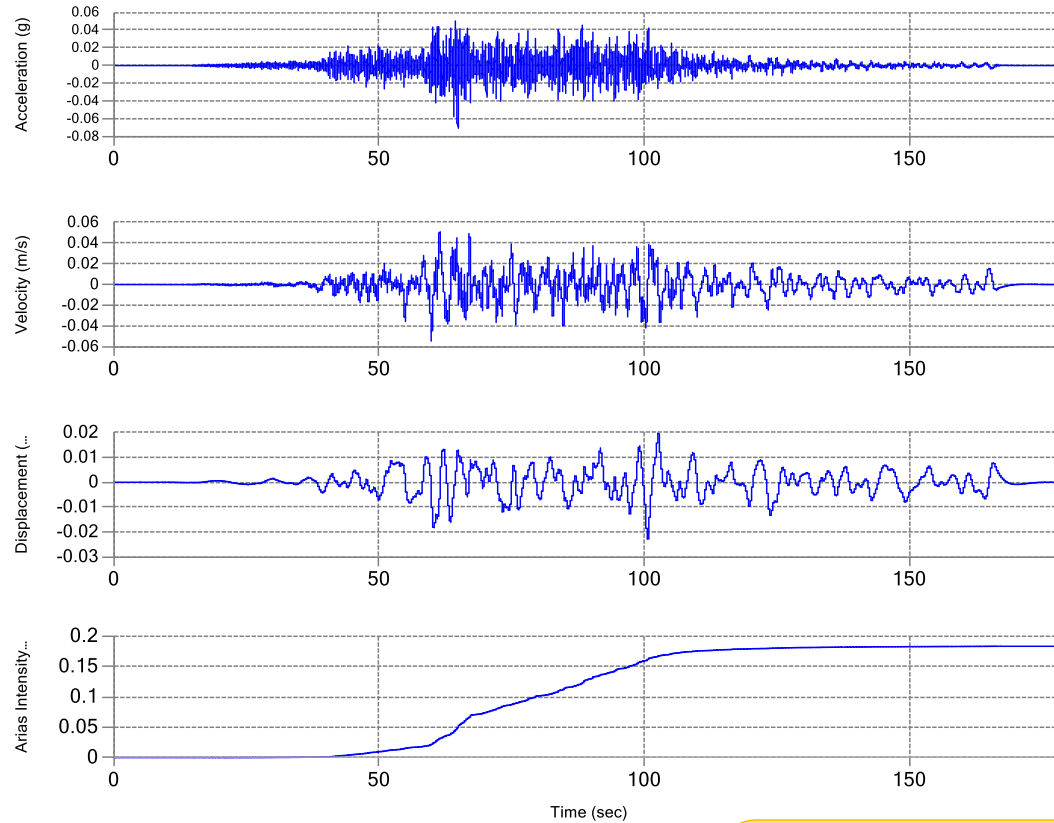


Ilustración 45 Datos de Entrada Sismo Iquique 01-04-2014 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.0706 g
- Velocidad pico: 0.0546 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0228 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 58.435s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.22 g en 0.32s

Dirección UD

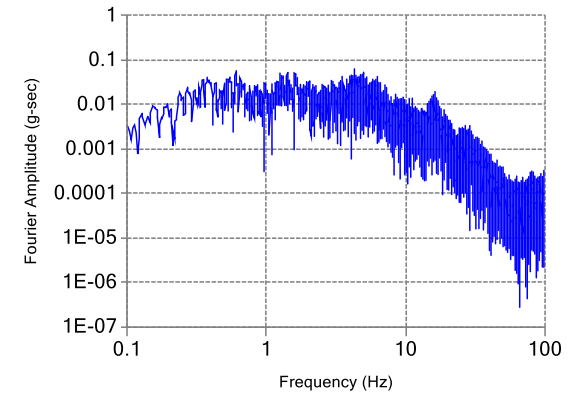
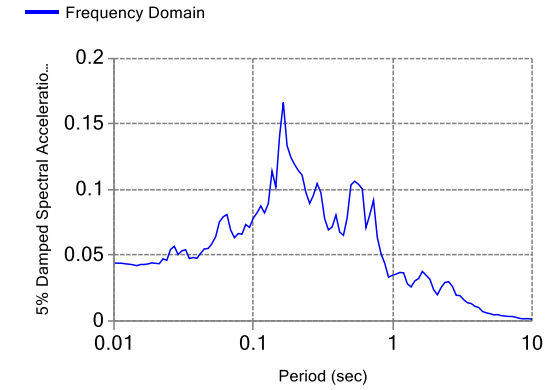
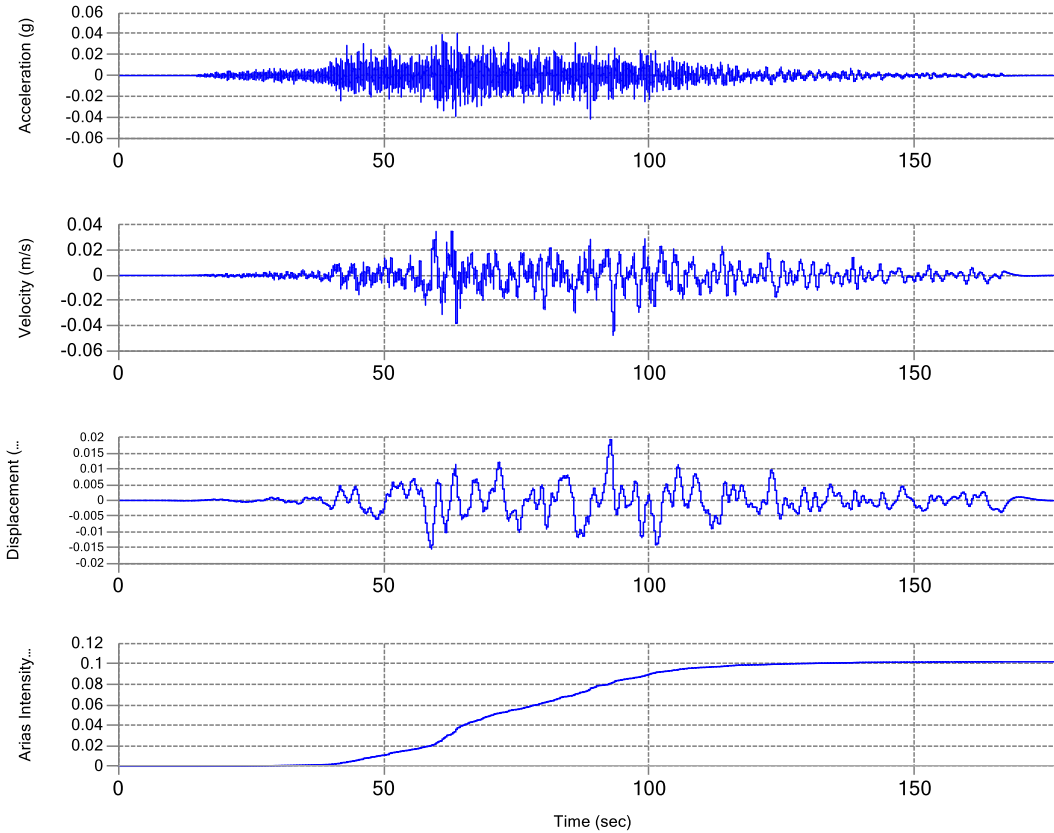


Ilustración 46 Datos de Entrada Sismo Iquique 01-04-2014 NS

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0416 g
- Velocidad pico: 0.0477 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0194 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 67.205s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.17 g en 0.16s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

13 Sismo

22/03/2015 Arica 2015

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University
STATION CODE : TAC001
STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna
LATITUDE : -18.024
LONGITUDE : -70.249
ALTITUDE (m) : 585
ACCELEROMETER MODEL : CV-374A2 Tokyo Sokushin
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : March 22, 2015
ORIGIN TIME (Local) : 23:51:37
LATITUDE : -18.76
LONGITUDE : -69.75
DEPTH (km) : 125.00
MAGNITUDE : 6.2 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (Local) : 23:51:48
NUMBER OF SAMPLES : 26000
MAXIMUM ACCELERATION : 34.50 32.23 -27.34
DATA UNITS : cm/s²

Dirección EW

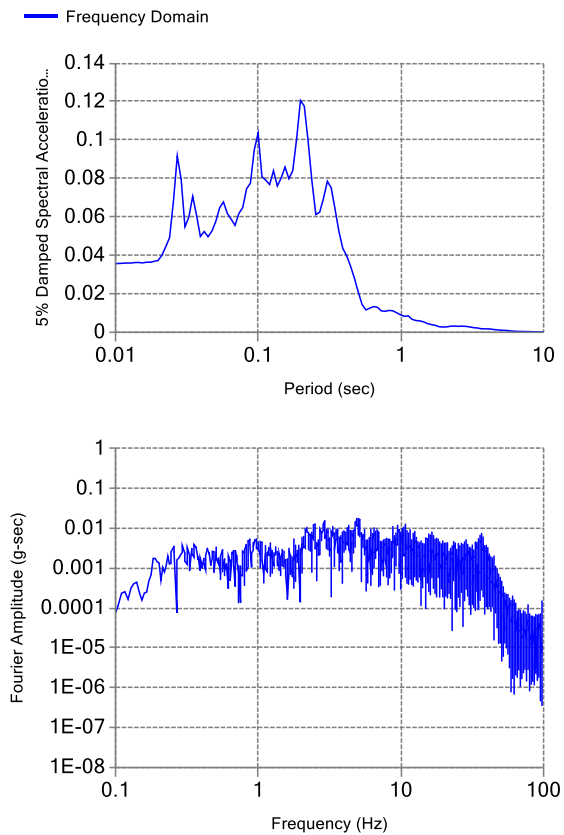
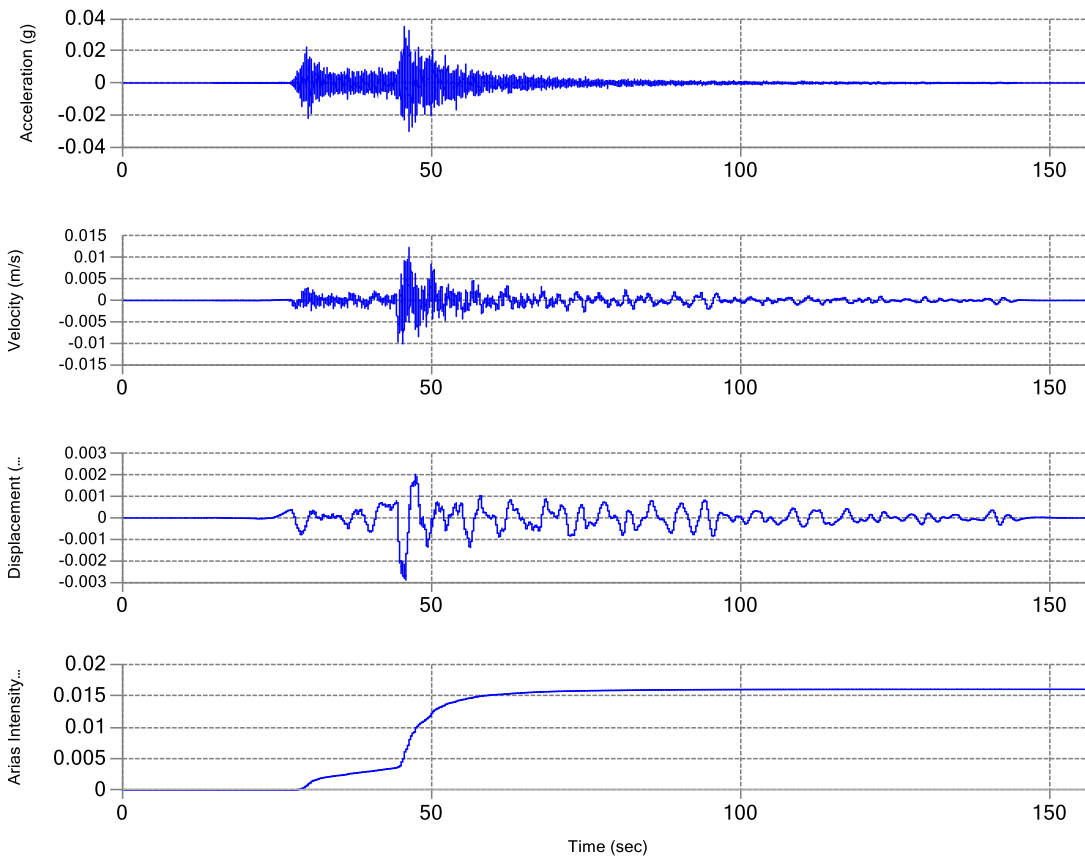


Ilustración 47 Datos de Entrada Sismo Arica 2015 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.0315 g
- Velocidad pico: 0.0124 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0029 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 31.525 s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta dos picos con valor 0.12 g en 0.20s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

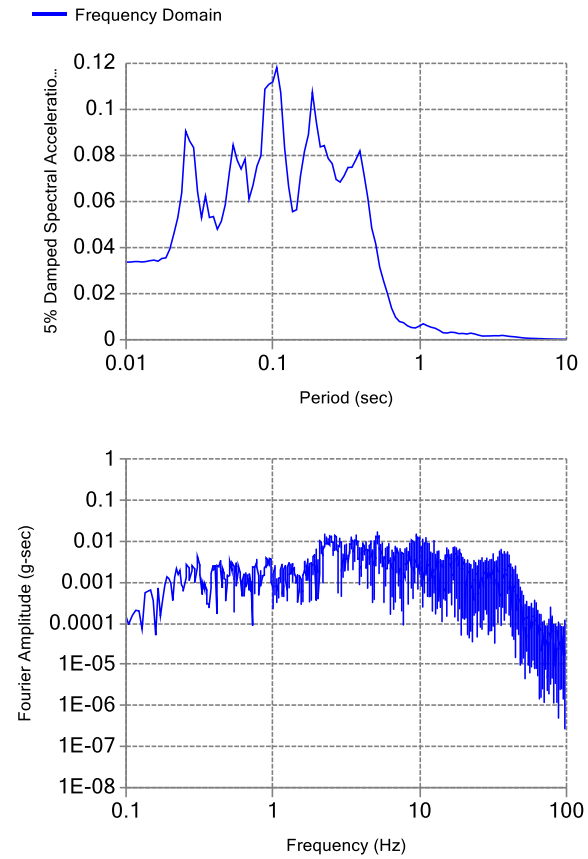
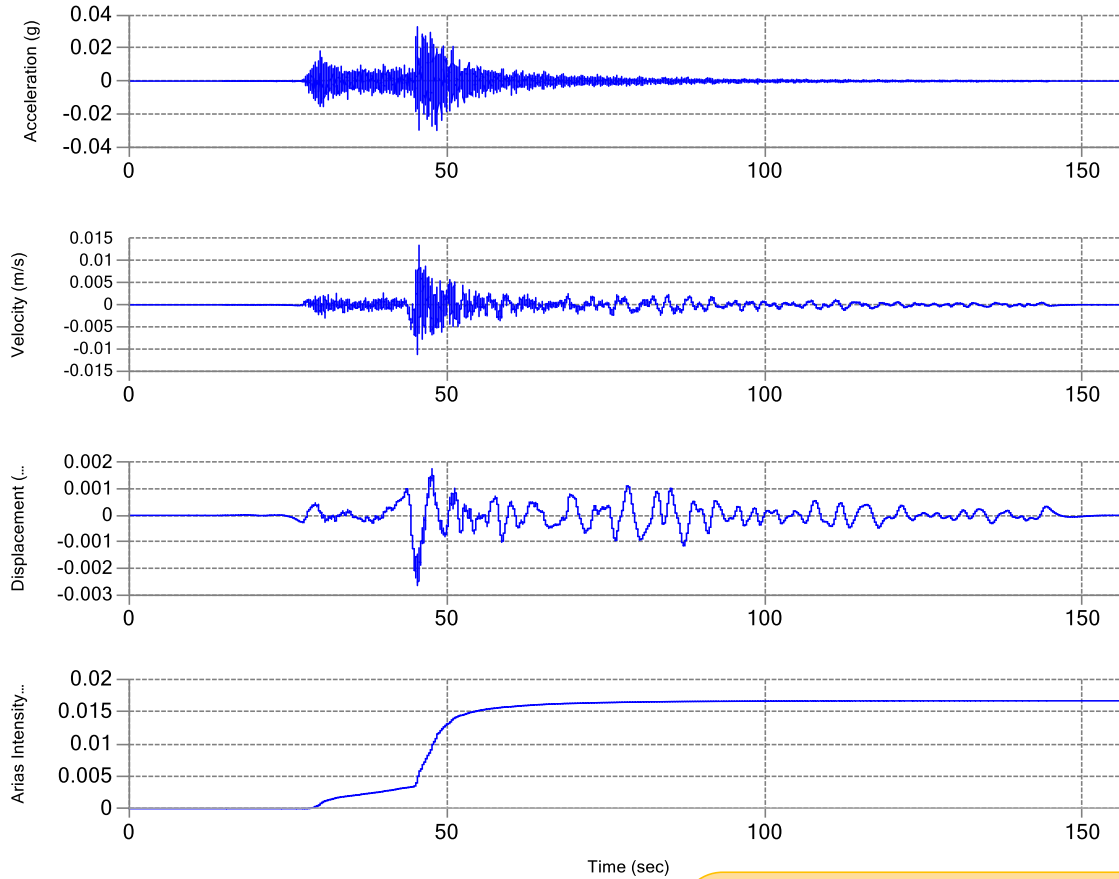


Ilustración 48 Datos de Entrada Sismo Arica 2015 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.0328 g
- Velocidad pico: 0.0135 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0026 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 30.71s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 0.12 g en 0.11s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

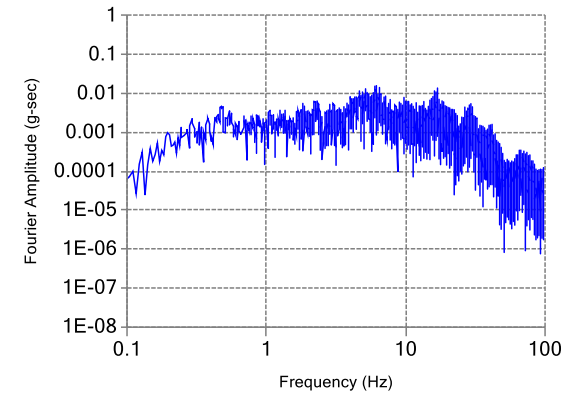
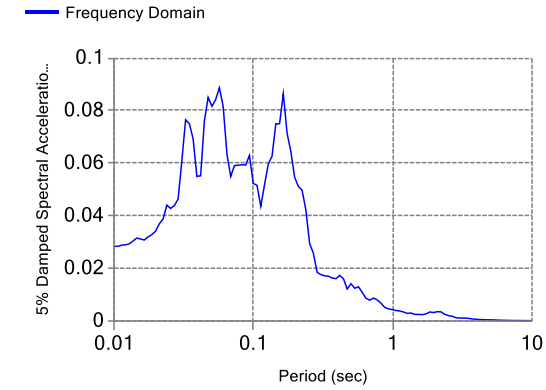
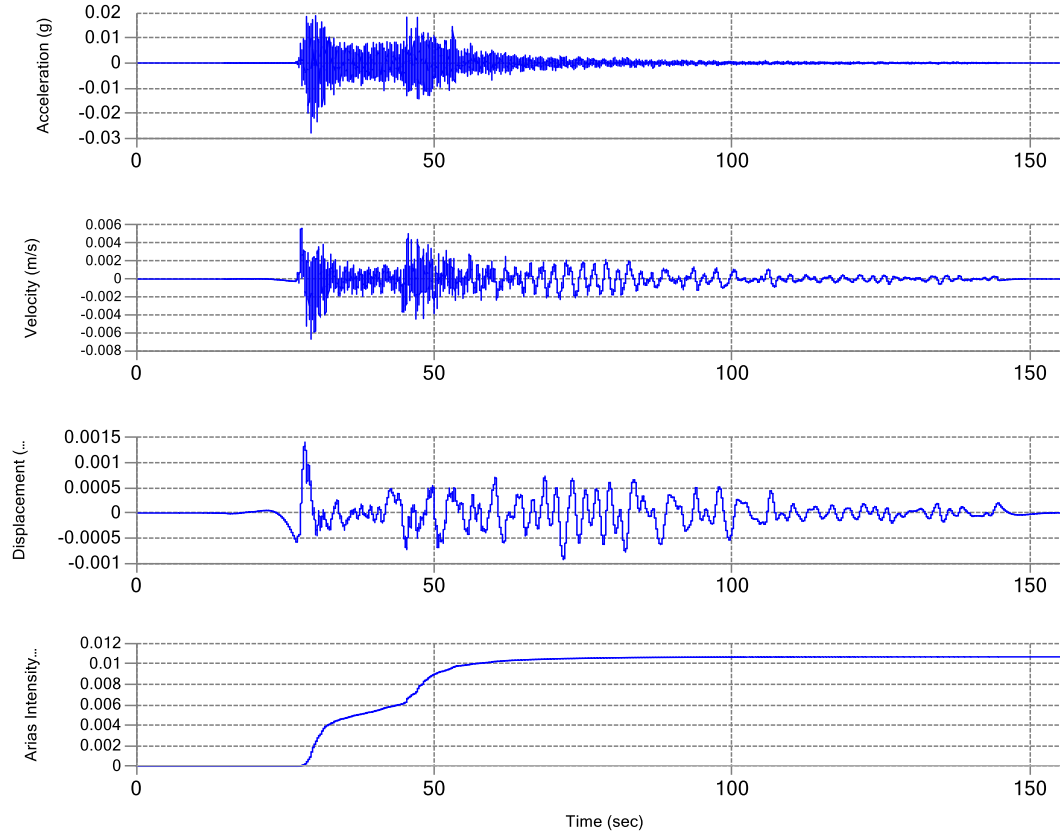


Ilustración 49 Datos de Entrada Sismo Arica 2015 UD

Dirección UD

- Aceleración pico: 0.0279 g
- Velocidad pico: 0.0067 m/s
- Desplazamiento pico: 0.0014 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 30.37s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 0.09 g en 0.05s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

14 Sismo

27/02/2010 Maule 2010

MAULE 2010

01/01/1980 0:00:00 (GMT) (ORIGIN: 01/01/1980 0:00:00 GMT)

TRIGGER TIME: 1/1/1980 0:00:00.000 GMT

STATION NO. 0.000N 0.000E SMA S/N 0 (3 CHNS OF 3 AT STA)

TALCA S/N 4568

CHAN 1: L (STA CHN: 1)

UNIVERSIDAD DE CHILE - RENADIC

HYPOCENTER: 0.000N 0.000E H= 0.0KM MW=8.8

INSTR PERIOD = 0.0380 SEC, DAMPING =0.6000, SENSITIVITY =1.000 VDC/G

RECORD LENGTH =148.040 SEC

UNCOR MAX = -0.477 G, AT 82.730 SEC

RMS ACCEL OF (UNCOR) RECORD = 0.071 G

ACCELEROGRAM BANDPASS FILTERED WITH RAMPS AT 0.150-0.250 AND 23.00-25.00

CYC/SEC

29608 POINTS OF INSTRUMENT- AND BASELINE-CORRECTED ACCEL, VELOC, AND DISPL
DATA

AT EQUALLY-SPACED INTERVALS OF 0.005 SEC.

PEAK ACCELERATION = 462.265 CM/SEC/SEC AT 82.720 SEC.

PEAK VELOCITY = 27.348 CM/SEC AT 19.690 SEC.

PEAK DISPLACEMENT = 3.584 CM AT 24.780 SEC.

INITIAL VELOCITY = 0.408 CM/SEC; INITIAL DISPLACEMENT = 0.021 CM

UNIVERSIDAD DE CHILE - RENADIC

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección EW

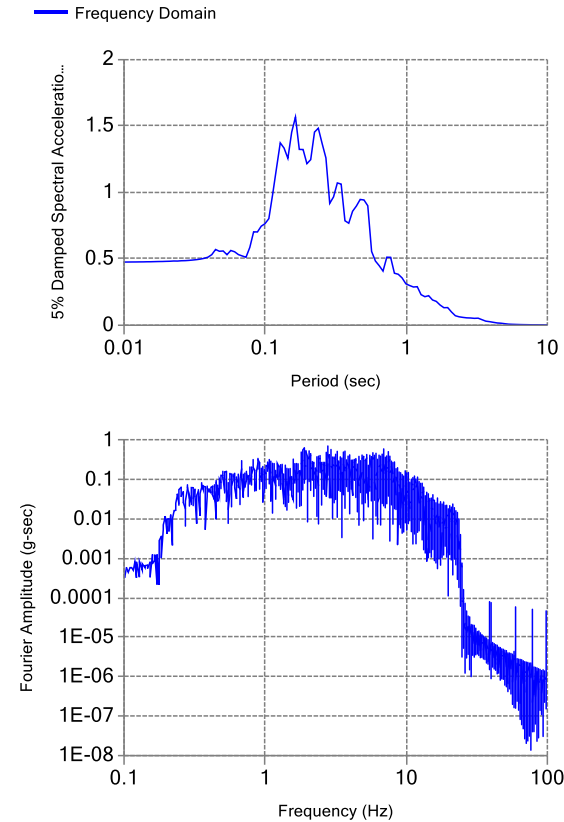
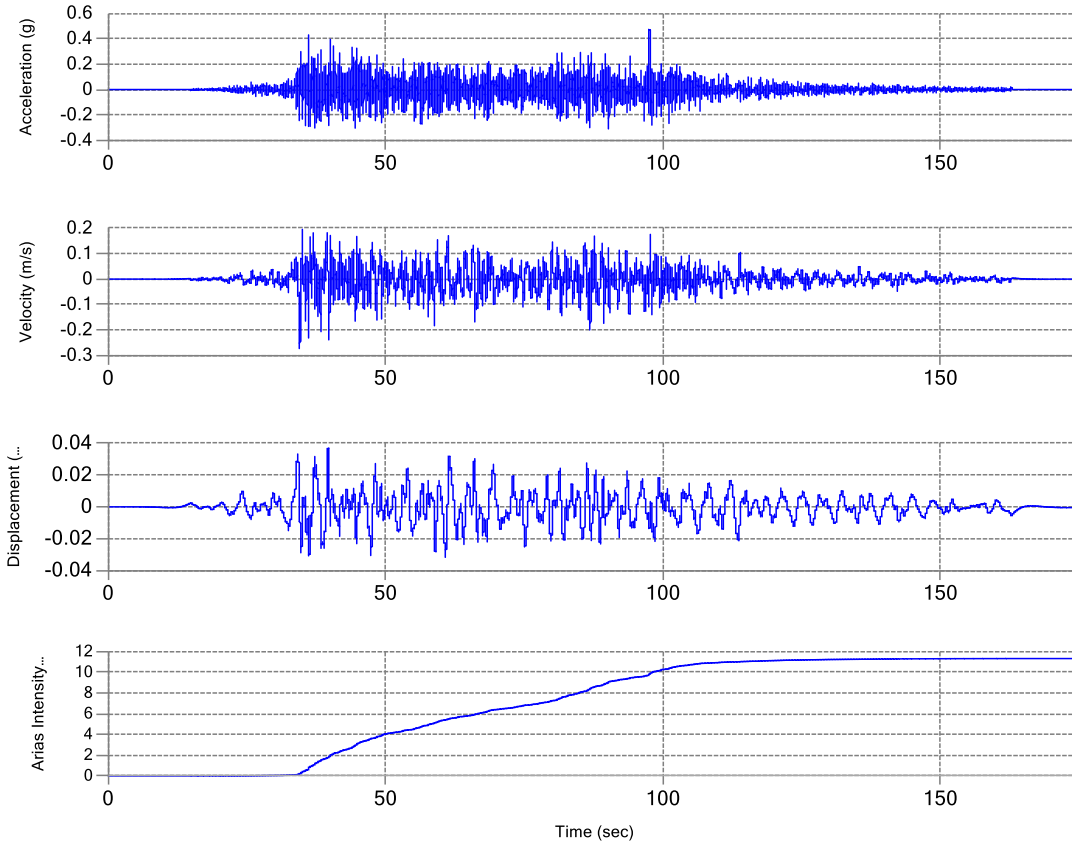


Ilustración 50 Datos de Entrada Sismo Mauloe 2010 EW

Dirección EW

- Aceleración pico: 0.4712 g
- Velocidad pico: 0.273 m/S
- Desplazamiento pico: 0.037 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 69.85s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta un pico con valor 1.56 g en 0.16s

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección NS

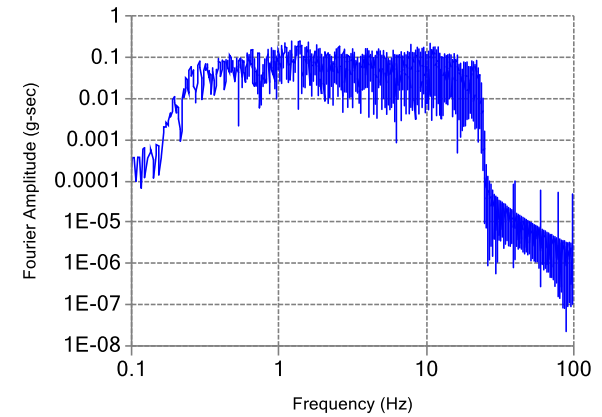
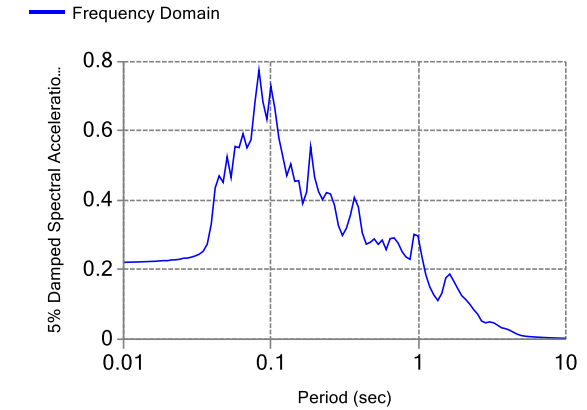
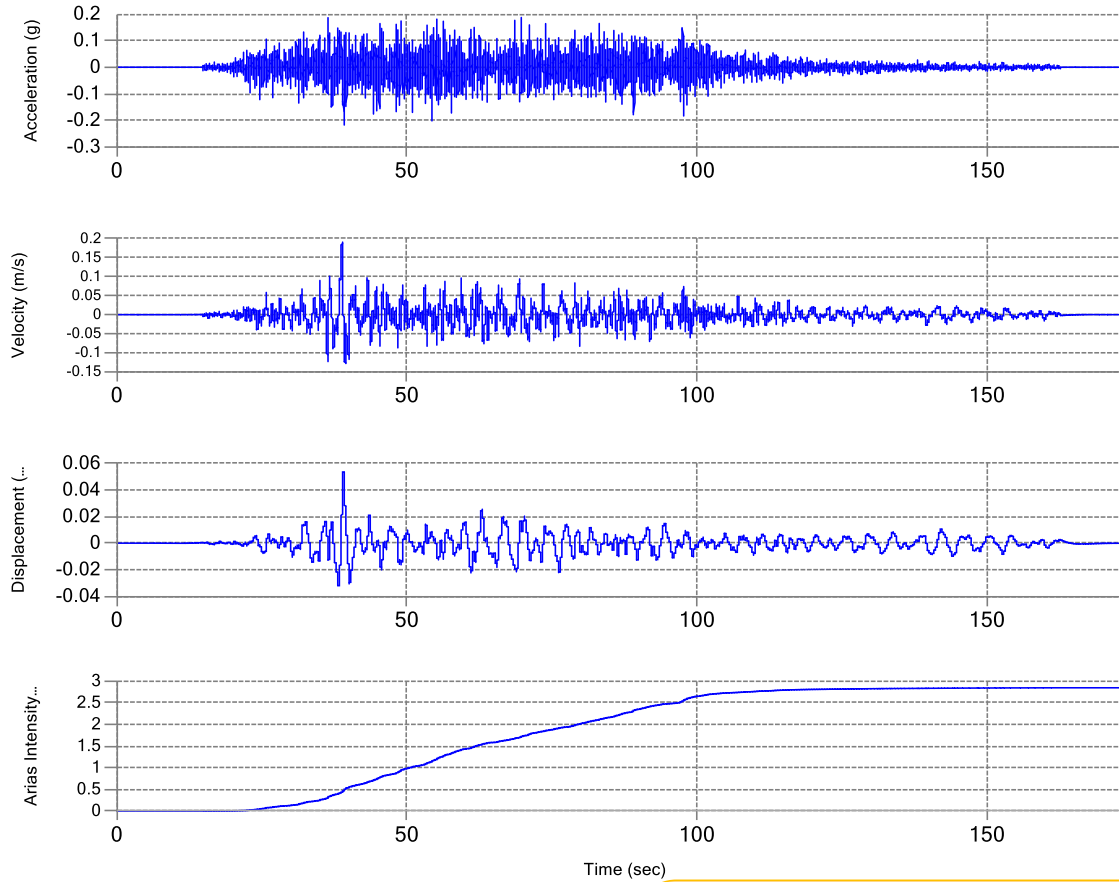


Ilustración 51 Datos de Entrada Sismo Maule 2010 NS

Dirección NS

- Aceleración pico: 0.2176 g
- Velocidad pico: 0.1911 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0535 m
- Este sismo tuvo una duración significativa de 71.92 s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta dos picos con valor 0.77 g en 0.08

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dirección UD

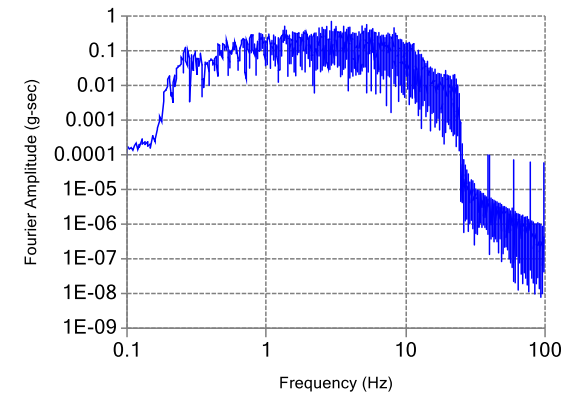
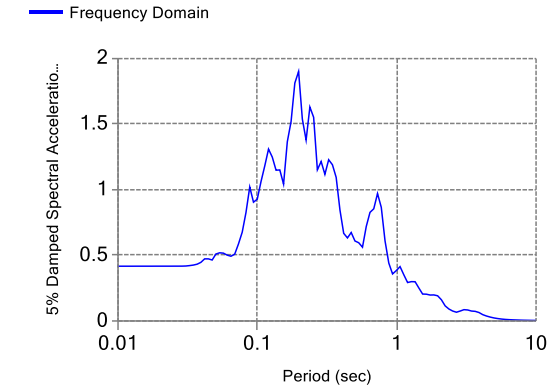
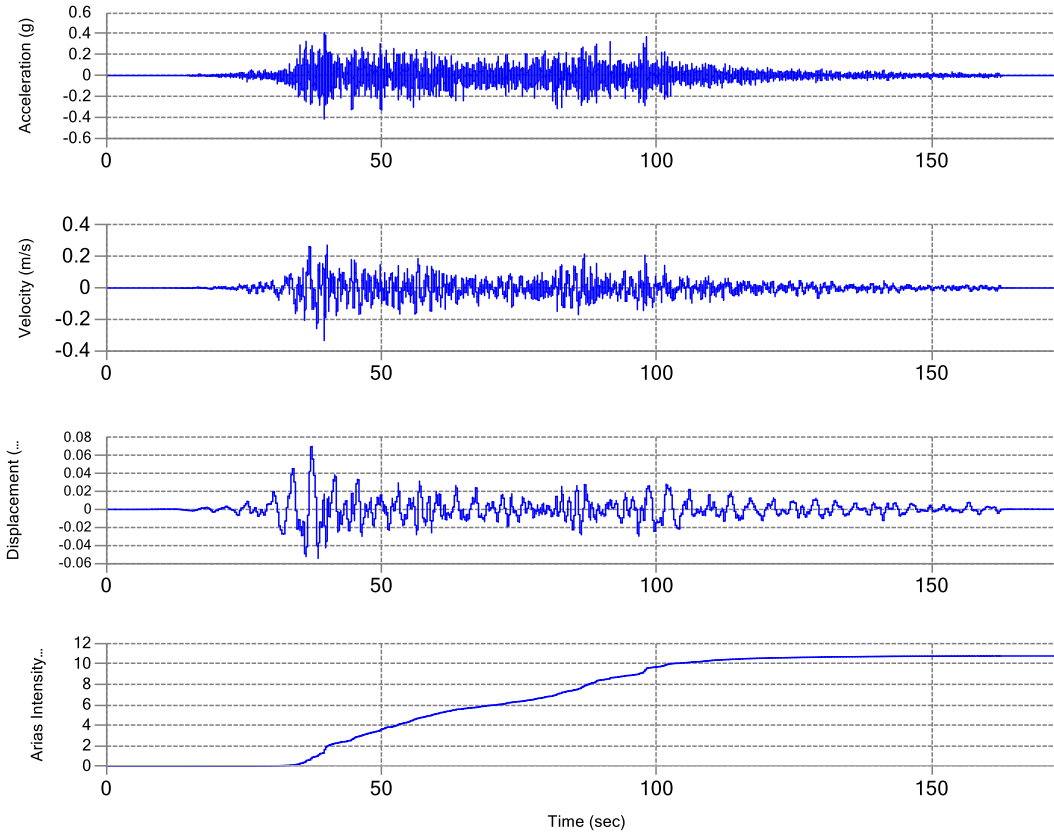


Ilustración 52 Datos de Entrada Sismo Maule 2010 UD

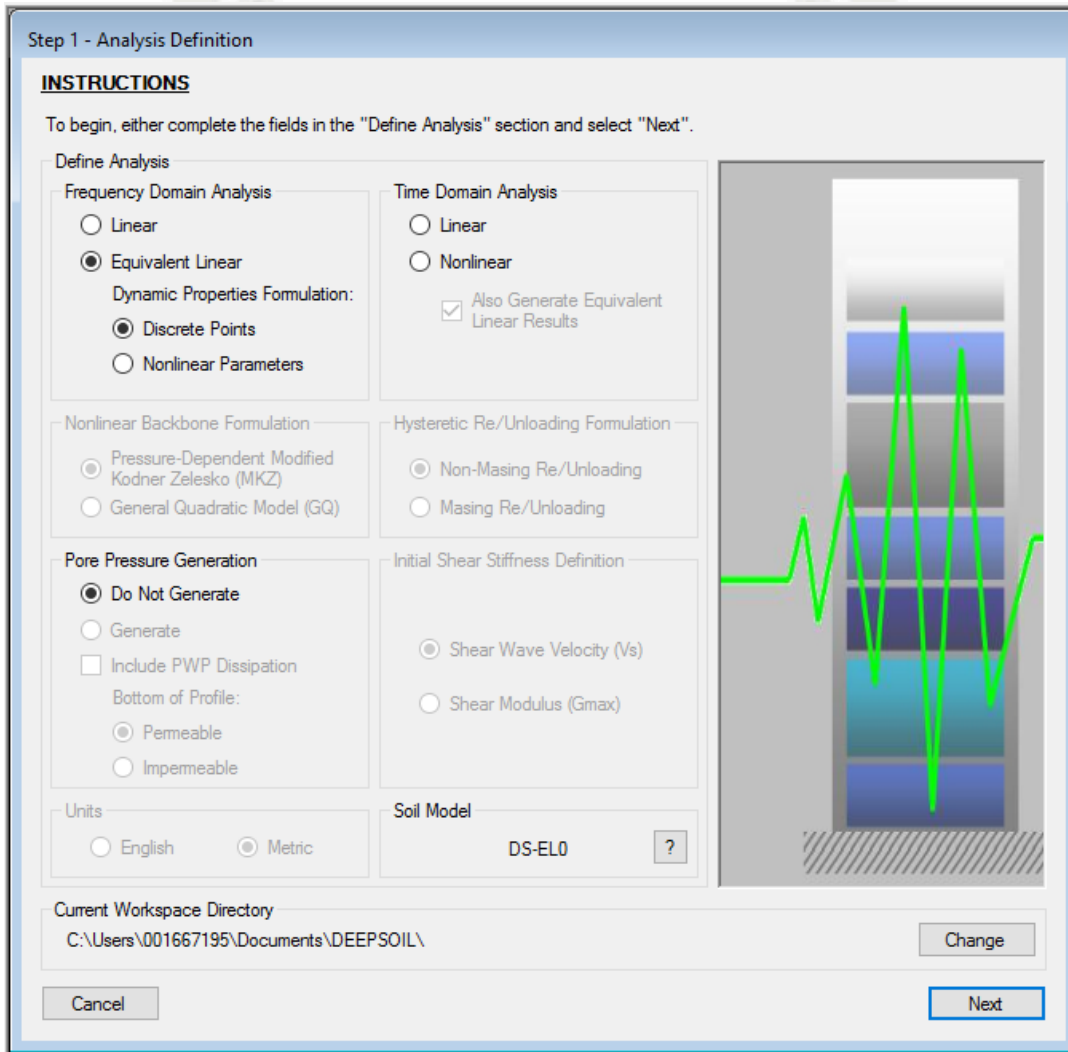
Dirección UD

- Aceleración pico: 0.4155 g
- Velocidad pico: 0.3345 m/S
- Desplazamiento pico: 0.0703 m
- Este sismo tuvo una duración significativa 71.94s
- En su espectro de respuesta correspondiente presenta hasta un valor máximo de 1.9 g en 0.2s

3.3. Software DEEPSOIL

Este programa realiza análisis unidimensionales en el dominio del periodo así como en el dominio de las frecuencias; también es posible elegir el tipo de análisis (lineal, lineal equivalente, no lineal)

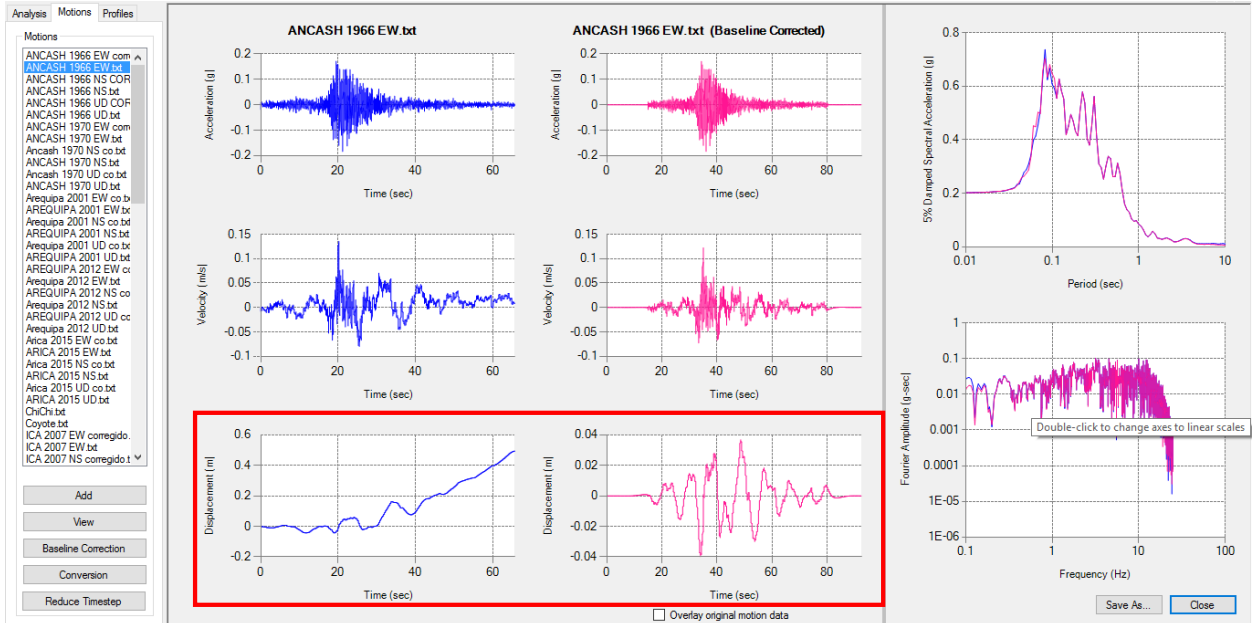
En este caso se realizó un análisis lineal equivalente, la opción más adecuada para considerar el comportamiento no lineal de suelo, para lo cual se emplea un procedimiento iterativo en la selección de sus propiedades (módulo cortante, amortiguamiento).



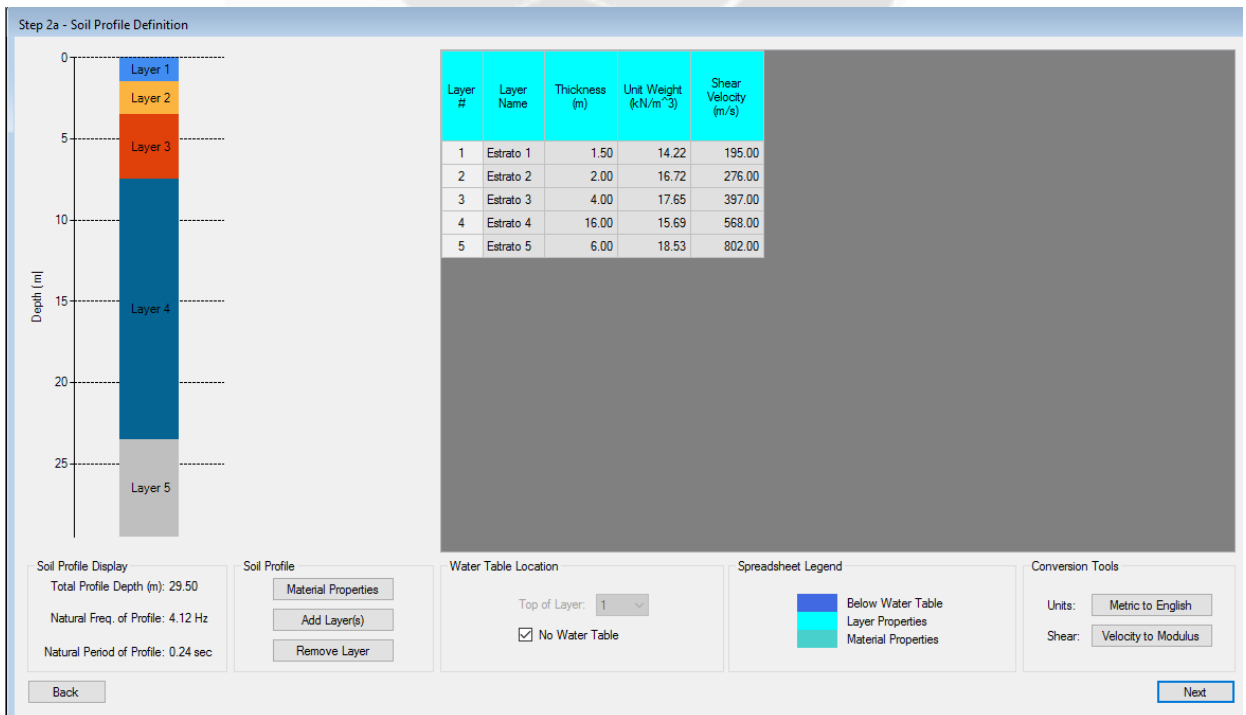
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Los registros sísmicos se cargaron al programa, y en algunos casos, fue necesario aplicar corrección por línea base para ajustar los datos.



Conociendo la estratigrafía a analizar, se colocan los datos requeridos (espesor de capa, peso unitario, velocidad de onda Vs):

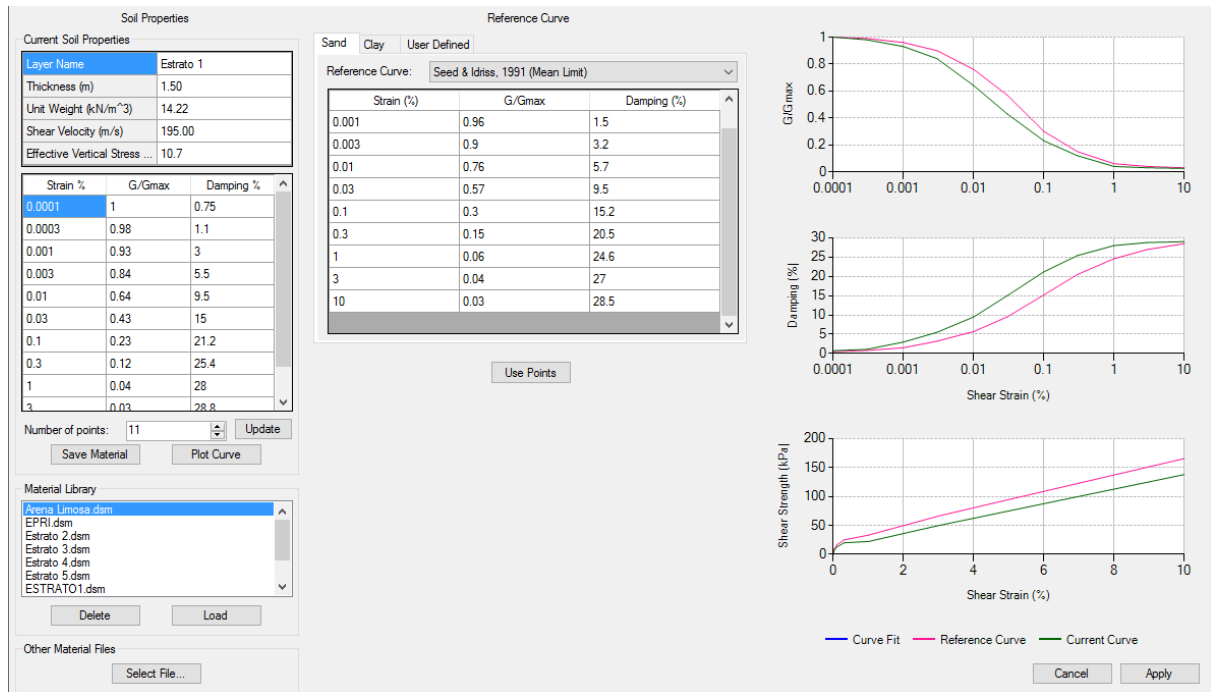


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

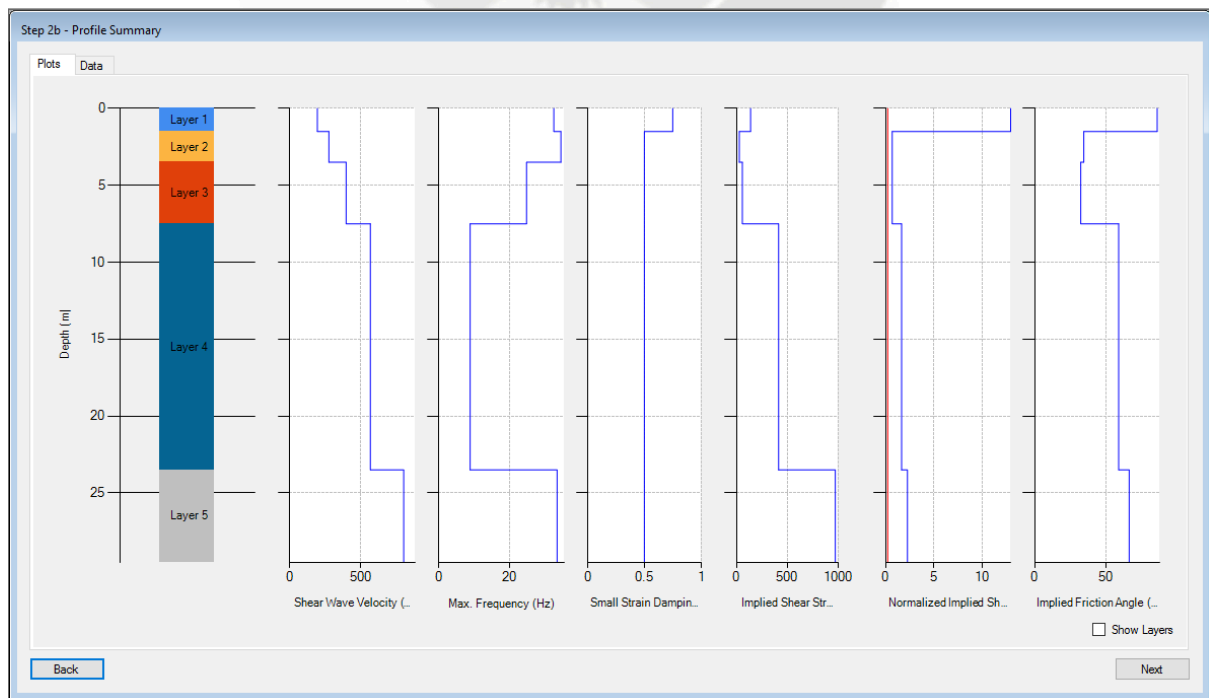
“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Para cada estrato, se especifican las propiedades del material.

Las curvas de amortiguamiento empleadas para los diferentes estratos, fueron extraídas de



En función a los datos del suelo, el programa presenta los diagramas de Velocidad de Corte, Frecuencia, Amortiguamiento, etc.



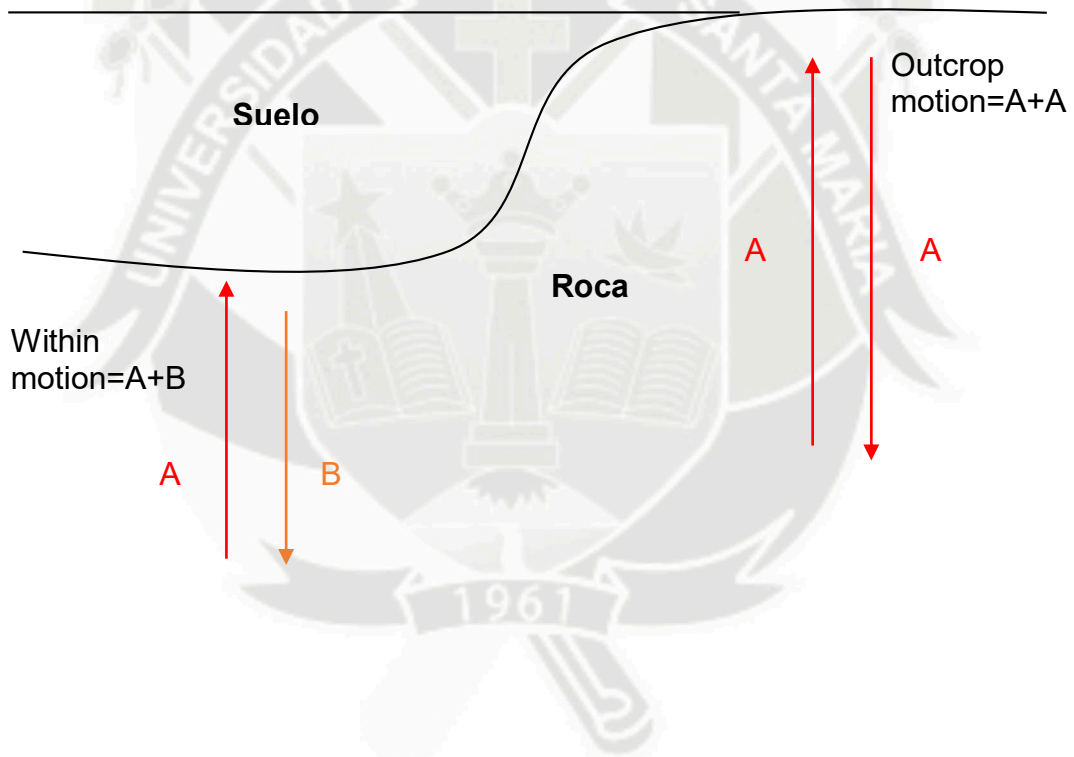
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Para análisis del comportamiento del suelo, se debe elegir entre considerar una base rocosa elástica o rígida. Esto dependerá de los registros sísmicos:

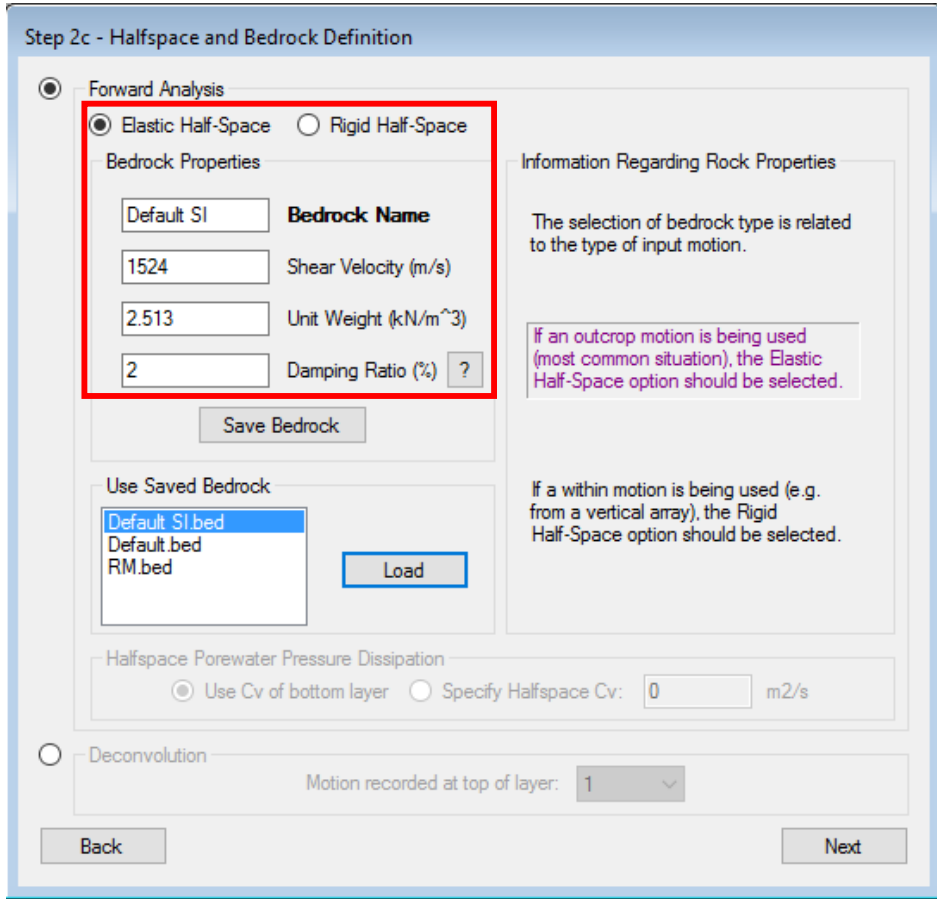
Outcrop Motion, se considera a los movimientos registrados en la superficie rocosa libre, este tipo de registros no consideran la interacción suelo-roca (el programa removerá el efecto de superficie libre), consecuentemente, es necesario utilizar una base rocosa con características elásticas. Estas condiciones, se aplican a todos los registros tomados en una superficie libre y sus amplitudes son descritas como dos veces la amplitud de la onda de subida.

Within Motion, se lo considera al tipo de movimiento cuyos datos han sido tomados en profundidad (perforaciones), en este caso los registros no consideran el efecto de la superficie libre, por tanto es necesario modelar la base rocosa como rígida para evitar considerar la interacción suelo-roca dos veces.

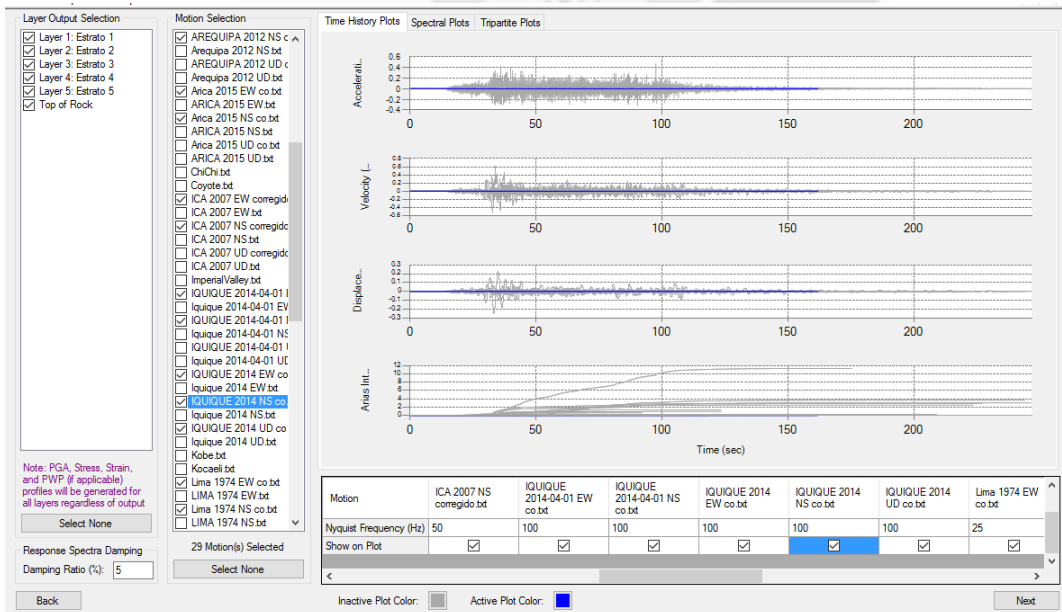


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”



Para el análisis, se seleccionan los eventos sísmicos que se desea simular en las capas de suelo seleccionadas



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

El método escogido para analizar el comportamiento del suelo con los registros sísmicos previo, fue el método independiente de la frecuencia, y el programa realizó 15 iteraciones.

Step 5 - Analysis Control

Frequency Domain
Number of Iterations: 15
Effective Shear Strain Definition
$$SSR = \frac{M-1}{10}$$
Effective Shear Strain Ratio (SSR): 0.65
Complex Shear Modulus Formulation
 Frequency Independent (recommended)
$$G^* = G(1+j2\xi)$$

 Frequency Dependent (use with caution)
$$G^* = G(1-2\xi^2 + j2\xi\sqrt{1-\xi^2})$$

 Simplified
$$G^* = G(1-\xi^2 + j2\xi)$$

Time Domain
Step Control
 Flexible Fixed
Maximum Strain Increment: 0.005
of Sub-increments: 1
Time-history Interpolation Method
 Linear interpolation
 Zero-padded frequency-domain interpolation

Back Analyze

Finalmente, se lleva a cabo el análisis para cada estrato y cada sismo.

Batch Analysis Running...

Remaining Analyses:	Running Analyses:	Completed Analyses:
arica 2015 ud co ica 2007 ud corregido iquique 2014-04-01 ud co iquique 2014 ud co lima 1974 ud co maule 2010 ud corregido moquegua 2001 ud co pisagua 2005 ud co tacna 2010 ud co tacna 2012 ud co	arequipa 2001 ud co 81% arequipa 2012 ud co 81%	ancash 1966 ud corregido ancash 1970 ud co

Overall Progress: 26%

Cancel

CAPITULO 4: Resultados y Espectro de diseño

4.1 Resultados análisis en Deepsoil

Se procesaron inicialmente los datos de registros sísmicos, de los cuales se obtuvieron los espectros de respuesta.

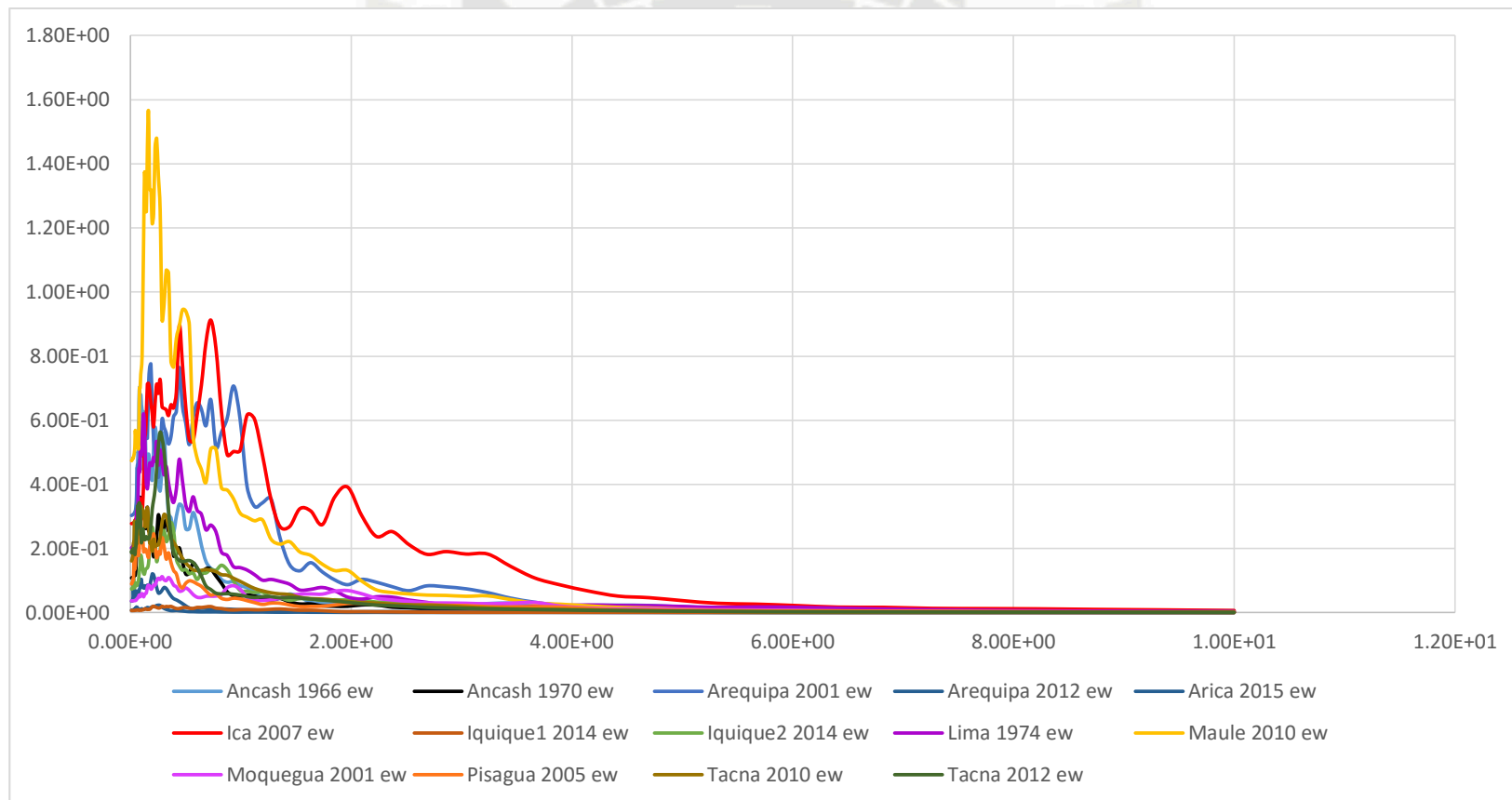


Ilustración 53 Espectros de Respuesta Simos EW

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

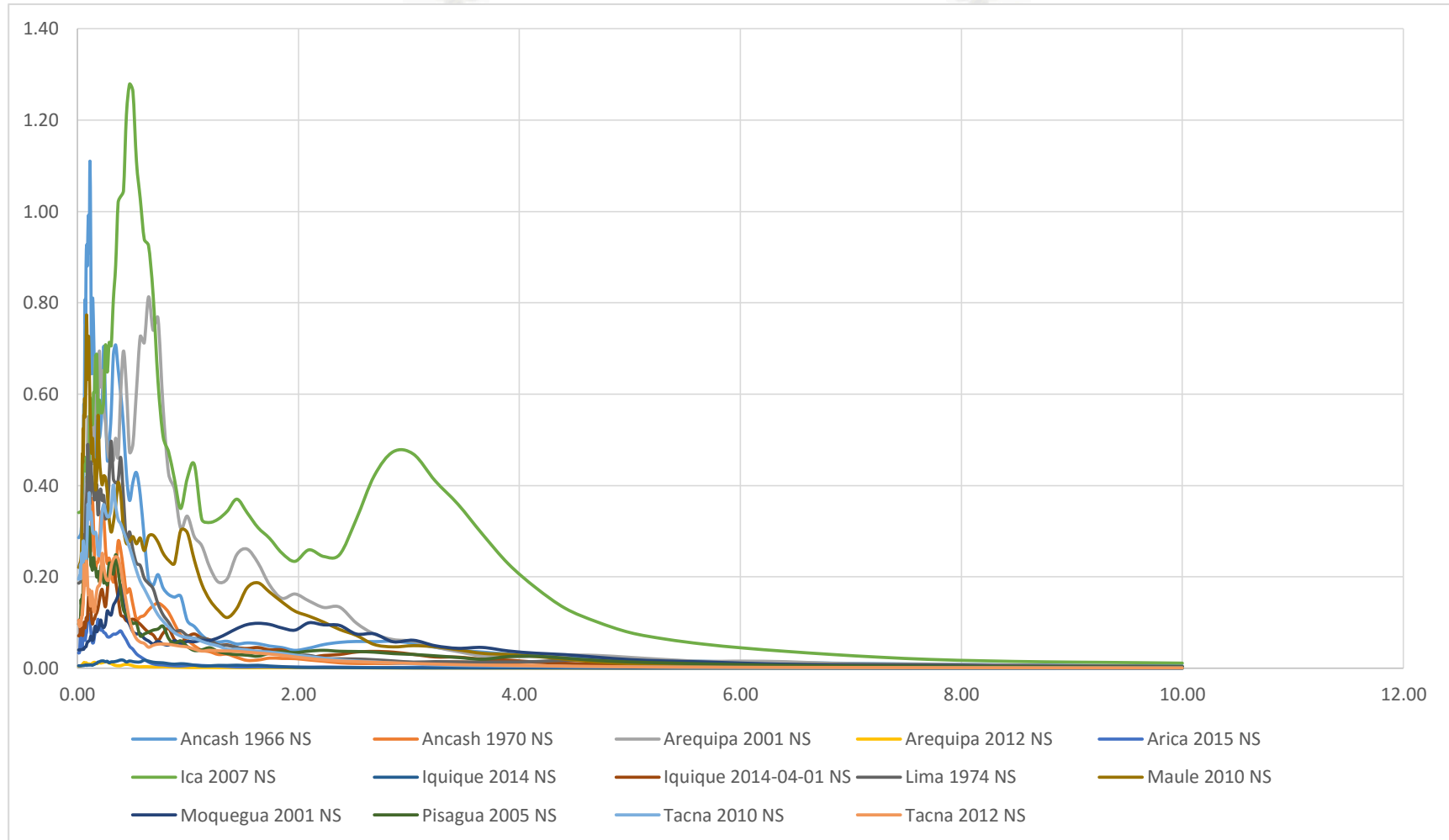


Ilustración 54 Espectros de Respuesta Sismos NS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Con los datos obtenidos del espectro de respuesta se calculó el promedio y desviación.

Period (sec)	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV	PROM.+DESV.	PROM.-DESV.	SEGUNDO CÁLCULO			
						PROM 2	DESV 2	PROM+DESV2	PROM-DESV2
0.010	0.474	0.145	0.119	0.264	0.027	0.195	0.104	0.299	0.091
0.011	0.474	0.146	0.119	0.264	0.027	0.195	0.104	0.299	0.092
0.011	0.475	0.146	0.119	0.265	0.027	0.196	0.104	0.300	0.092
0.012	0.475	0.146	0.119	0.265	0.027	0.196	0.104	0.300	0.092
0.013	0.475	0.146	0.119	0.265	0.027	0.196	0.104	0.300	0.092
0.014	0.475	0.146	0.119	0.265	0.028	0.196	0.104	0.300	0.092
0.015	0.476	0.146	0.119	0.265	0.028	0.196	0.104	0.300	0.093
0.015	0.476	0.147	0.119	0.266	0.028	0.197	0.104	0.301	0.093
0.016	0.477	0.147	0.119	0.266	0.028	0.197	0.104	0.301	0.093
0.017	0.478	0.147	0.119	0.267	0.028	0.198	0.104	0.302	0.094
0.019	0.478	0.147	0.119	0.267	0.028	0.198	0.104	0.302	0.093
0.020	0.479	0.148	0.119	0.268	0.029	0.199	0.104	0.302	0.095
0.021	0.480	0.149	0.119	0.268	0.030	0.200	0.104	0.303	0.096
0.022	0.482	0.150	0.119	0.269	0.031	0.200	0.104	0.304	0.097
0.024	0.481	0.151	0.119	0.270	0.032	0.201	0.104	0.304	0.097
0.025	0.484	0.155	0.118	0.272	0.037	0.203	0.103	0.306	0.101
0.027	0.484	0.158	0.117	0.275	0.040	0.206	0.101	0.307	0.105
0.029	0.487	0.159	0.117	0.277	0.042	0.210	0.099	0.309	0.110
0.031	0.489	0.157	0.119	0.276	0.037	0.208	0.101	0.309	0.107
0.033	0.492	0.159	0.121	0.280	0.038	0.212	0.102	0.314	0.111
0.035	0.496	0.163	0.123	0.286	0.040	0.216	0.104	0.320	0.112
0.037	0.502	0.166	0.126	0.292	0.039	0.221	0.106	0.327	0.115
0.039	0.511	0.169	0.132	0.301	0.037	0.226	0.112	0.338	0.114
0.042	0.529	0.177	0.142	0.319	0.035	0.237	0.123	0.360	0.114
0.044	0.568	0.180	0.149	0.329	0.032	0.242	0.132	0.374	0.110
0.047	0.555	0.183	0.147	0.331	0.036	0.245	0.129	0.374	0.117
0.050	0.557	0.197	0.156	0.353	0.042	0.264	0.134	0.398	0.130
0.054	0.529	0.207	0.156	0.362	0.051	0.275	0.129	0.404	0.147
0.057	0.579	0.225	0.172	0.397	0.052	0.301	0.143	0.444	0.158
0.061	0.557	0.233	0.176	0.409	0.058	0.314	0.142	0.455	0.172
0.065	0.649	0.240	0.185	0.425	0.055	0.323	0.152	0.475	0.171
0.069	0.807	0.251	0.202	0.454	0.049	0.340	0.172	0.511	0.168
0.073	0.754	0.253	0.199	0.452	0.054	0.341	0.165	0.506	0.176
0.078	0.884	0.279	0.232	0.511	0.046	0.376	0.203	0.580	0.173
0.083	0.927	0.296	0.249	0.545	0.047	0.400	0.220	0.620	0.180
0.088	0.880	0.295	0.234	0.529	0.060	0.396	0.198	0.595	0.198
0.094	0.948	0.314	0.250	0.563	0.064	0.422	0.212	0.634	0.209
0.100	0.992	0.313	0.256	0.569	0.057	0.420	0.224	0.644	0.195
0.106	0.910	0.308	0.248	0.556	0.060	0.414	0.214	0.628	0.200
0.113	1.110	0.321	0.285	0.606	0.037	0.433	0.262	0.695	0.171

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

0.120	1.177	0.316	0.289	0.604	0.027	0.426	0.270	0.696	0.156
0.128	1.370	0.316	0.295	0.611	0.021	0.427	0.280	0.706	0.147
0.136	1.330	0.311	0.296	0.607	0.015	0.421	0.282	0.703	0.139
0.145	1.253	0.302	0.280	0.582	0.022	0.407	0.265	0.672	0.142
0.154	1.450	0.314	0.308	0.622	0.006	0.421	0.303	0.724	0.118
0.164	1.563	0.324	0.332	0.657	-0.008	0.435	0.333	0.768	0.101
0.174	1.321	0.312	0.296	0.608	0.016	0.418	0.287	0.705	0.131
0.186	1.319	0.313	0.289	0.602	0.023	0.417	0.280	0.697	0.136
0.197	1.213	0.309	0.271	0.580	0.038	0.410	0.257	0.667	0.154
0.210	1.243	0.314	0.265	0.578	0.049	0.416	0.245	0.661	0.171
0.224	1.451	0.328	0.300	0.628	0.028	0.438	0.288	0.726	0.150
0.238	1.479	0.332	0.312	0.644	0.019	0.443	0.303	0.747	0.140
0.253	1.364	0.317	0.291	0.607	0.026	0.423	0.279	0.702	0.144
0.269	1.256	0.309	0.273	0.582	0.036	0.411	0.259	0.669	0.152
0.287	0.915	0.310	0.234	0.544	0.075	0.412	0.197	0.609	0.215
0.305	0.963	0.318	0.243	0.561	0.075	0.424	0.204	0.628	0.220
0.325	1.068	0.318	0.260	0.578	0.059	0.423	0.232	0.656	0.191
0.345	1.060	0.311	0.261	0.573	0.050	0.414	0.240	0.653	0.174
0.368	1.019	0.300	0.250	0.550	0.051	0.399	0.228	0.626	0.171
0.391	1.033	0.292	0.259	0.551	0.033	0.387	0.247	0.634	0.140
0.416	1.046	0.285	0.275	0.559	0.010	0.379	0.271	0.650	0.109
0.443	1.212	0.289	0.315	0.604	-0.026	0.388	0.322	0.711	0.066
0.471	1.279	0.269	0.309	0.578	-0.039	0.363	0.321	0.683	0.042
0.502	1.263	0.252	0.298	0.551	-0.046	0.340	0.313	0.653	0.028
0.534	1.109	0.237	0.276	0.513	-0.038	0.321	0.286	0.607	0.035
0.568	1.028	0.229	0.255	0.483	-0.026	0.310	0.260	0.570	0.051
0.604	0.939	0.215	0.246	0.462	-0.031	0.292	0.253	0.546	0.039
0.643	0.925	0.212	0.257	0.469	-0.045	0.289	0.269	0.557	0.020
0.684	0.843	0.202	0.248	0.449	-0.046	0.274	0.260	0.534	0.014
0.728	0.913	0.203	0.252	0.455	-0.050	0.275	0.266	0.541	0.009
0.775	0.824	0.177	0.211	0.388	-0.034	0.240	0.220	0.460	0.020
0.825	0.626	0.154	0.176	0.330	-0.023	0.207	0.182	0.390	0.025
0.878	0.607	0.142	0.164	0.305	-0.022	0.189	0.171	0.360	0.018
0.934	0.707	0.137	0.170	0.307	-0.032	0.184	0.181	0.365	0.003
0.994	0.604	0.130	0.162	0.292	-0.032	0.174	0.173	0.347	0.001
1.057	0.616	0.120	0.153	0.273	-0.034	0.160	0.165	0.325	-0.004
1.125	0.603	0.106	0.138	0.244	-0.032	0.142	0.149	0.291	-0.008
1.197	0.490	0.096	0.122	0.219	-0.026	0.128	0.132	0.260	-0.003
1.274	0.355	0.086	0.105	0.191	-0.020	0.113	0.113	0.226	0.000
1.356	0.344	0.078	0.089	0.167	-0.011	0.102	0.094	0.196	0.007
1.443	0.370	0.078	0.093	0.171	-0.015	0.101	0.100	0.200	0.001
1.535	0.340	0.077	0.095	0.172	-0.018	0.099	0.103	0.202	-0.004
1.634	0.317	0.075	0.090	0.165	-0.016	0.095	0.097	0.193	-0.002
1.738	0.284	0.067	0.078	0.145	-0.011	0.085	0.084	0.169	0.001
1.850	0.360	0.064	0.082	0.146	-0.017	0.082	0.089	0.171	-0.008

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

1.968	0.391	0.062	0.085	0.147	-0.023	0.079	0.094	0.172	-0.015
2.095	0.303	0.058	0.074	0.132	-0.016	0.073	0.080	0.153	-0.008
2.229	0.245	0.052	0.063	0.115	-0.012	0.065	0.068	0.133	-0.003
2.372	0.253	0.050	0.065	0.115	-0.015	0.063	0.071	0.134	-0.008
2.524	0.326	0.047	0.070	0.117	-0.023	0.060	0.078	0.137	-0.018
2.686	0.421	0.047	0.083	0.130	-0.035	0.060	0.094	0.154	-0.034
2.858	0.474	0.047	0.092	0.139	-0.045	0.061	0.105	0.166	-0.044
3.041	0.469	0.045	0.091	0.136	-0.045	0.059	0.104	0.163	-0.045
3.236	0.411	0.041	0.081	0.122	-0.040	0.053	0.093	0.146	-0.040
3.444	0.359	0.035	0.069	0.105	-0.034	0.045	0.080	0.125	-0.034
3.665	0.294	0.030	0.056	0.086	-0.026	0.037	0.064	0.102	-0.027
3.900	0.229	0.025	0.043	0.068	-0.019	0.031	0.050	0.081	-0.018
4.150	0.176	0.021	0.034	0.054	-0.013	0.027	0.038	0.064	-0.011
4.416	0.131	0.017	0.025	0.042	-0.008	0.022	0.028	0.050	-0.006
4.699	0.102	0.015	0.020	0.035	-0.006	0.018	0.022	0.041	-0.004
5.000	0.078	0.012	0.016	0.028	-0.004	0.015	0.017	0.032	-0.002
5.321	0.064	0.010	0.013	0.023	-0.003	0.013	0.014	0.026	-0.001
5.662	0.053	0.009	0.011	0.019	-0.002	0.011	0.012	0.023	-0.001
6.025	0.044	0.008	0.009	0.017	-0.001	0.010	0.010	0.020	0.000
6.411	0.037	0.007	0.008	0.014	-0.001	0.008	0.008	0.017	0.000
6.822	0.030	0.006	0.006	0.012	-0.001	0.007	0.007	0.014	0.000
7.260	0.024	0.005	0.005	0.010	0.000	0.006	0.005	0.012	0.001
7.725	0.019	0.004	0.004	0.009	0.000	0.005	0.005	0.010	0.001
8.220	0.016	0.004	0.004	0.007	0.000	0.005	0.004	0.009	0.001
8.747	0.014	0.003	0.003	0.006	0.000	0.004	0.003	0.007	0.001
9.308	0.013	0.003	0.003	0.006	0.000	0.004	0.003	0.007	0.001
9.905	0.011	0.002	0.003	0.005	0.000	0.003	0.003	0.006	0.000
10.000	0.011	0.002	0.002	0.005	0.000	0.003	0.003	0.006	0.000

Tabla 5 Cálculo del Espectro Promedio y Desviación Estándar

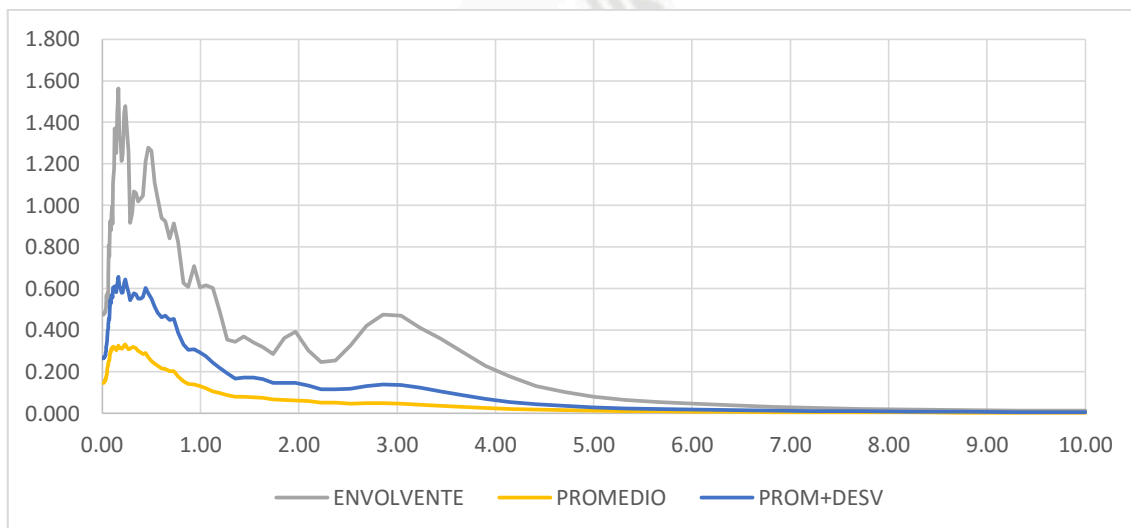


Ilustración 55 Espectro Promedio, Envolvente y Promedio + Desviación Estándar

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

4.2 Espectros de Respuesta

Se procesaron los datos del Estrato 1 obtenidos mediante el análisis con el software Deepsoil para la elaboración del nuevo espectro de diseño.

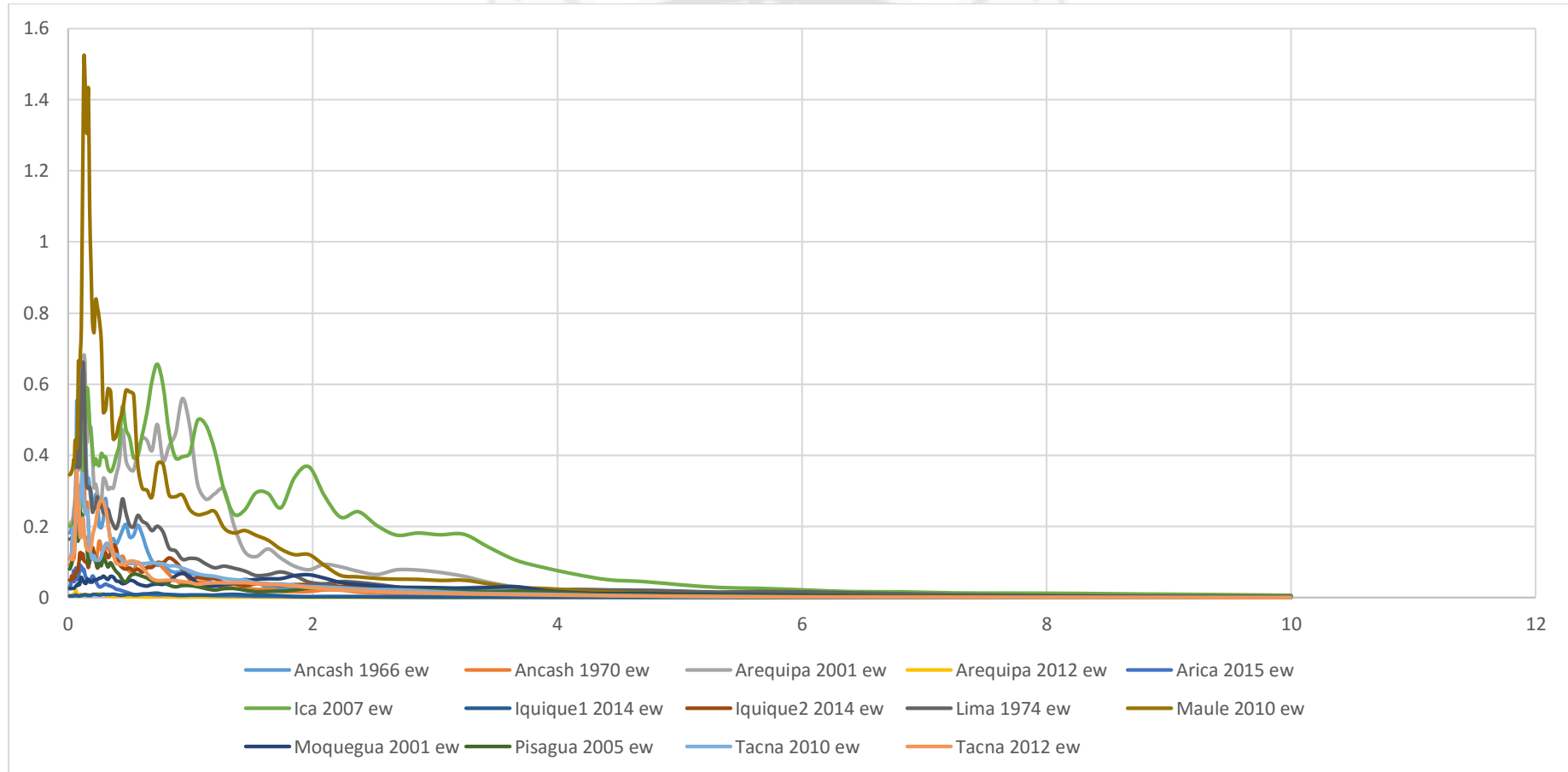


Ilustración 56 Espectros de Respuesta Sismo EW Estrato 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

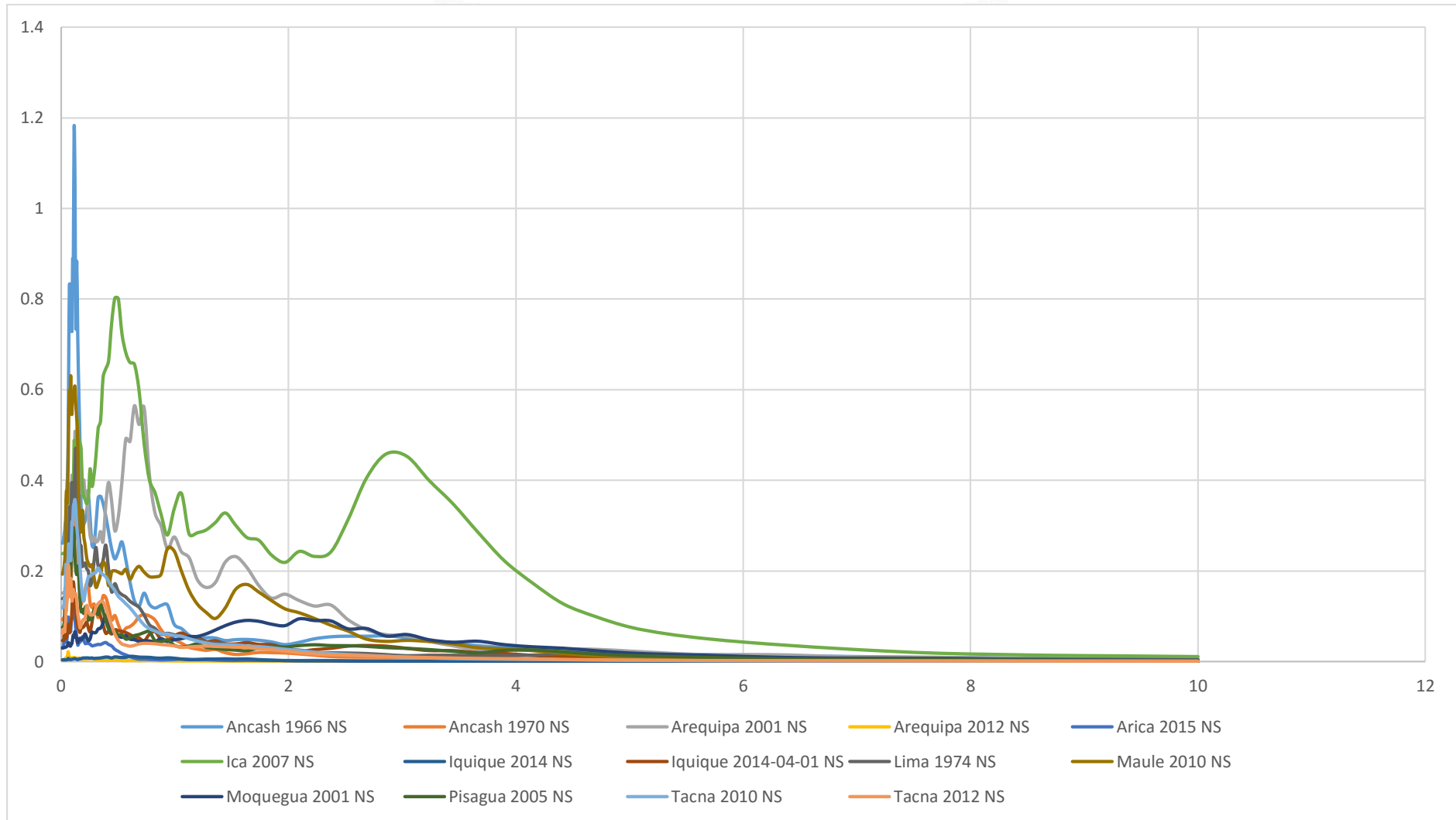


Ilustración 57 Espectros de Respuesta Sismo NS Estrato 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Con los datos del estrato 1 se halló la envolvente, promedio y desviación.

Period (sec)	Promedio	Desv. Est	Pr+De	Pr-Ds	Maximos	2 CÁLCULO			
						Promedio	Desv. Est	Pr+De	Pr-Ds
0.0100	0.1089	0.0889	0.1978	0.0200	0.3451	0.1458	0.0784	0.2242	0.0673
0.0106	0.1090	0.0889	0.1979	0.0201	0.3452	0.1459	0.0784	0.2244	0.0675
0.0113	0.1092	0.0890	0.1982	0.0202	0.3455	0.1462	0.0784	0.2246	0.0677
0.0120	0.1095	0.0890	0.1985	0.0205	0.3457	0.1466	0.0782	0.2248	0.0684
0.0128	0.1097	0.0891	0.1988	0.0206	0.3457	0.1468	0.0783	0.2251	0.0685
0.0136	0.1096	0.0892	0.1989	0.0204	0.3458	0.1467	0.0786	0.2253	0.0682
0.0145	0.1099	0.0893	0.1993	0.0206	0.3465	0.1471	0.0786	0.2258	0.0685
0.0155	0.1103	0.0894	0.1998	0.0209	0.3466	0.1476	0.0785	0.2262	0.0691
0.0164	0.1106	0.0895	0.2001	0.0211	0.3473	0.1480	0.0786	0.2266	0.0694
0.0175	0.1110	0.0896	0.2007	0.0214	0.3476	0.1485	0.0786	0.2271	0.0699
0.0186	0.1113	0.0898	0.2012	0.0215	0.3476	0.1488	0.0789	0.2277	0.0699
0.0198	0.1118	0.0900	0.2017	0.0218	0.3487	0.1492	0.0791	0.2283	0.0701
0.0211	0.1126	0.0901	0.2027	0.0225	0.3490	0.1501	0.0791	0.2292	0.0710
0.0224	0.1135	0.0902	0.2037	0.0234	0.3505	0.1510	0.0792	0.2302	0.0718
0.0239	0.1148	0.0898	0.2046	0.0251	0.3503	0.1520	0.0788	0.2308	0.0732
0.0254	0.1162	0.0899	0.2062	0.0263	0.3520	0.1534	0.0788	0.2322	0.0747
0.0270	0.1173	0.0907	0.2080	0.0266	0.3537	0.1554	0.0787	0.2341	0.0767
0.0288	0.1186	0.0914	0.2100	0.0272	0.3553	0.1573	0.0788	0.2361	0.0786
0.0306	0.1209	0.0921	0.2130	0.0288	0.3572	0.1601	0.0789	0.2389	0.0812
0.0326	0.1253	0.0939	0.2192	0.0314	0.3594	0.1666	0.0781	0.2447	0.0884
0.0347	0.1266	0.0961	0.2227	0.0305	0.3621	0.1686	0.0806	0.2492	0.0880
0.0369	0.1285	0.0979	0.2264	0.0307	0.3658	0.1708	0.0829	0.2537	0.0879
0.0392	0.1341	0.1017	0.2358	0.0325	0.3710	0.1784	0.0855	0.2639	0.0929
0.0418	0.1433	0.1085	0.2519	0.0348	0.3793	0.1903	0.0915	0.2818	0.0987
0.0444	0.1449	0.1121	0.2570	0.0328	0.3879	0.1935	0.0950	0.2885	0.0986
0.0473	0.1434	0.1116	0.2550	0.0319	0.3775	0.1917	0.0947	0.2864	0.0970
0.0503	0.1479	0.1130	0.2609	0.0348	0.3934	0.1975	0.0947	0.2921	0.1028
0.0535	0.1592	0.1174	0.2766	0.0418	0.4283	0.2116	0.0963	0.3079	0.1152
0.0570	0.1799	0.1272	0.3070	0.0527	0.4458	0.2385	0.1000	0.3385	0.1385
0.0606	0.2003	0.1371	0.3374	0.0632	0.5092	0.2648	0.1045	0.3694	0.1603
0.0645	0.2182	0.1617	0.3799	0.0564	0.6324	0.2914	0.1307	0.4221	0.1607
0.0687	0.2364	0.1939	0.4303	0.0426	0.7781	0.3194	0.1668	0.4862	0.1526
0.0731	0.2369	0.2043	0.4413	0.0326	0.8337	0.3205	0.1827	0.5032	0.1377
0.0777	0.2347	0.2008	0.4354	0.0339	0.7710	0.3177	0.1779	0.4956	0.1398
0.0827	0.2394	0.2115	0.4508	0.0279	0.7704	0.3242	0.1919	0.5161	0.1322
0.0880	0.2385	0.1990	0.4375	0.0395	0.7600	0.3209	0.1757	0.4966	0.1453
0.0937	0.2481	0.1981	0.4463	0.0500	0.7317	0.3331	0.1693	0.5024	0.1638
0.0997	0.2647	0.2187	0.4833	0.0460	0.8890	0.3535	0.1953	0.5488	0.1583
0.1061	0.2846	0.2330	0.5177	0.0516	0.8922	0.3795	0.2074	0.5869	0.1721

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

0.1129	0.3165	0.2898	0.6063	0.0268	1.1798	0.4254	0.2736	0.6990	0.1517
0.1201	0.3328	0.3155	0.6483	0.0173	1.2739	0.4502	0.3003	0.7506	0.1499
0.1278	0.3314	0.3309	0.6622	0.0005	1.5176	0.4500	0.3215	0.7715	0.1285
0.1360	0.3103	0.3252	0.6356	-0.0149	1.4637	0.4226	0.3220	0.7446	0.1006
0.1447	0.2726	0.2896	0.5622	-0.0169	1.3541	0.3715	0.2881	0.6596	0.0834
0.1540	0.2507	0.2725	0.5231	-0.0218	1.3065	0.3398	0.2758	0.6155	0.0640
0.1639	0.2406	0.2907	0.5312	-0.0501	1.4288	0.3257	0.3052	0.6309	0.0205
0.1744	0.2086	0.2314	0.4400	-0.0228	1.0964	0.2815	0.2374	0.5189	0.0442
0.1856	0.1944	0.2012	0.3956	-0.0068	0.9329	0.2608	0.2027	0.4635	0.0580
0.1975	0.1813	0.1725	0.3537	0.0088	0.7768	0.2418	0.1690	0.4108	0.0728
0.2101	0.1769	0.1606	0.3375	0.0163	0.7452	0.2358	0.1538	0.3896	0.0819
0.2236	0.1825	0.1756	0.3581	0.0069	0.8368	0.2444	0.1718	0.4162	0.0725
0.2379	0.1781	0.1732	0.3513	0.0048	0.8160	0.2390	0.1698	0.4088	0.0692
0.2532	0.1708	0.1665	0.3373	0.0043	0.7820	0.2289	0.1638	0.3926	0.0651
0.2694	0.1673	0.1557	0.3230	0.0116	0.7191	0.2233	0.1507	0.3740	0.0726
0.2867	0.1674	0.1339	0.3013	0.0335	0.5205	0.2232	0.1175	0.3407	0.1057
0.3051	0.1733	0.1397	0.3130	0.0335	0.5285	0.2315	0.1227	0.3541	0.1088
0.3247	0.1720	0.1491	0.3211	0.0228	0.5873	0.2297	0.1382	0.3679	0.0915
0.3455	0.1701	0.1485	0.3186	0.0215	0.5793	0.2267	0.1387	0.3655	0.0880
0.3676	0.1673	0.1468	0.3141	0.0206	0.6268	0.2224	0.1382	0.3606	0.0843
0.3912	0.1676	0.1566	0.3242	0.0110	0.6457	0.2226	0.1525	0.3751	0.0701
0.4163	0.1651	0.1675	0.3326	-0.0023	0.6636	0.2206	0.1680	0.3886	0.0526
0.4430	0.1711	0.1911	0.3623	-0.0200	0.7465	0.2306	0.1967	0.4274	0.0339
0.4714	0.1650	0.1913	0.3562	-0.0263	0.8019	0.2221	0.1994	0.4215	0.0228
0.5016	0.1592	0.1897	0.3489	-0.0305	0.8003	0.2147	0.1992	0.4138	0.0155
0.5338	0.1555	0.1811	0.3366	-0.0255	0.7231	0.2103	0.1880	0.3984	0.0223
0.5680	0.1532	0.1715	0.3247	-0.0184	0.6808	0.2074	0.1756	0.3830	0.0319
0.6044	0.1469	0.1716	0.3185	-0.0246	0.6595	0.1992	0.1779	0.3771	0.0213
0.6431	0.1478	0.1816	0.3294	-0.0338	0.6559	0.2007	0.1909	0.3916	0.0099
0.6844	0.1433	0.1783	0.3216	-0.0350	0.6095	0.1946	0.1881	0.3827	0.0065
0.7283	0.1480	0.1850	0.3329	-0.0370	0.6562	0.2010	0.1953	0.3963	0.0057
0.7750	0.1311	0.1554	0.2865	-0.0244	0.5959	0.1775	0.1621	0.3396	0.0155
0.8246	0.1163	0.1333	0.2495	-0.0170	0.4624	0.1567	0.1382	0.2949	0.0185
0.8775	0.1094	0.1264	0.2358	-0.0170	0.4619	0.1461	0.1324	0.2785	0.0137
0.9338	0.1092	0.1354	0.2446	-0.0262	0.5595	0.1458	0.1445	0.2903	0.0013
0.9937	0.1044	0.1302	0.2345	-0.0258	0.4801	0.1393	0.1392	0.2786	0.0001
1.0574	0.0979	0.1251	0.2230	-0.0273	0.4981	0.1311	0.1344	0.2655	-0.0033
1.1252	0.0881	0.1135	0.2017	-0.0254	0.4847	0.1177	0.1223	0.2400	-0.0046
1.1973	0.0816	0.1043	0.1859	-0.0228	0.4135	0.1085	0.1125	0.2210	-0.0039
1.2741	0.0741	0.0910	0.1650	-0.0169	0.3037	0.0975	0.0978	0.1953	-0.0003
1.3558	0.0684	0.0782	0.1465	-0.0098	0.3066	0.0889	0.0830	0.1720	0.0059
1.4427	0.0686	0.0823	0.1509	-0.0137	0.3277	0.0886	0.0886	0.1772	0.0000
1.5352	0.0689	0.0854	0.1543	-0.0164	0.3001	0.0886	0.0925	0.1811	-0.0039
1.6336	0.0674	0.0816	0.1489	-0.0142	0.2926	0.0861	0.0880	0.1741	-0.0019
1.7384	0.0615	0.0723	0.1338	-0.0108	0.2673	0.0781	0.0775	0.1556	0.0006

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

1.8498	0.0594	0.0763	0.1356	-0.0169	0.3373	0.0752	0.0833	0.1585	-0.0081
1.9685	0.0576	0.0792	0.1368	-0.0216	0.3675	0.0729	0.0875	0.1604	-0.0146
2.0947	0.0540	0.0693	0.1234	-0.0153	0.2864	0.0676	0.0755	0.1431	-0.0078
2.2290	0.0483	0.0598	0.1081	-0.0115	0.2318	0.0604	0.0645	0.1249	-0.0040
2.3719	0.0472	0.0626	0.1098	-0.0154	0.2419	0.0593	0.0683	0.1276	-0.0090
2.5240	0.0445	0.0668	0.1113	-0.0223	0.3137	0.0566	0.0746	0.1311	-0.0180
2.6858	0.0449	0.0793	0.1243	-0.0344	0.4050	0.0574	0.0901	0.1475	-0.0327
2.8580	0.0451	0.0886	0.1337	-0.0435	0.4579	0.0585	0.1017	0.1602	-0.0432
3.0413	0.0436	0.0875	0.1312	-0.0439	0.4524	0.0564	0.1006	0.1570	-0.0442
3.2363	0.0395	0.0785	0.1180	-0.0390	0.3993	0.0513	0.0901	0.1414	-0.0389
3.4438	0.0341	0.0673	0.1014	-0.0332	0.3485	0.0439	0.0774	0.1212	-0.0335
3.6646	0.0287	0.0544	0.0831	-0.0258	0.2854	0.0361	0.0624	0.0985	-0.0263
3.8995	0.0240	0.0422	0.0662	-0.0182	0.2218	0.0305	0.0481	0.0786	-0.0175
4.1496	0.0203	0.0328	0.0531	-0.0126	0.1725	0.0258	0.0370	0.0628	-0.0112
4.4156	0.0165	0.0246	0.0411	-0.0080	0.1273	0.0209	0.0274	0.0483	-0.0064
4.6987	0.0141	0.0196	0.0337	-0.0055	0.0992	0.0178	0.0217	0.0395	-0.0039
5.0000	0.0116	0.0152	0.0268	-0.0036	0.0761	0.0146	0.0166	0.0313	-0.0020
5.3206	0.0097	0.0122	0.0219	-0.0025	0.0613	0.0122	0.0133	0.0255	-0.0011
5.6617	0.0084	0.0103	0.0188	-0.0019	0.0507	0.0106	0.0112	0.0218	-0.0006
6.0248	0.0075	0.0088	0.0162	-0.0013	0.0425	0.0095	0.0094	0.0189	0.0001
6.4110	0.0064	0.0073	0.0137	-0.0009	0.0354	0.0082	0.0078	0.0160	0.0004
6.8221	0.0054	0.0061	0.0115	-0.0008	0.0289	0.0070	0.0065	0.0135	0.0005
7.2595	0.0046	0.0050	0.0096	-0.0004	0.0230	0.0059	0.0052	0.0112	0.0007
7.7250	0.0041	0.0042	0.0083	-0.0002	0.0182	0.0052	0.0043	0.0096	0.0009
8.2203	0.0035	0.0037	0.0073	-0.0002	0.0157	0.0046	0.0039	0.0084	0.0007
8.7474	0.0031	0.0032	0.0062	-0.0001	0.0136	0.0040	0.0033	0.0073	0.0007
9.3082	0.0027	0.0029	0.0056	-0.0001	0.0125	0.0035	0.0030	0.0065	0.0006
9.9051	0.0023	0.0025	0.0048	-0.0002	0.0111	0.0030	0.0026	0.0056	0.0004
10.0000	0.0023	0.0024	0.0047	-0.0002	0.0109	0.0029	0.0025	0.0054	0.0004

Tabla 6 Cálculo Promedio y Desviación Estándar Sismos en Estrato 1

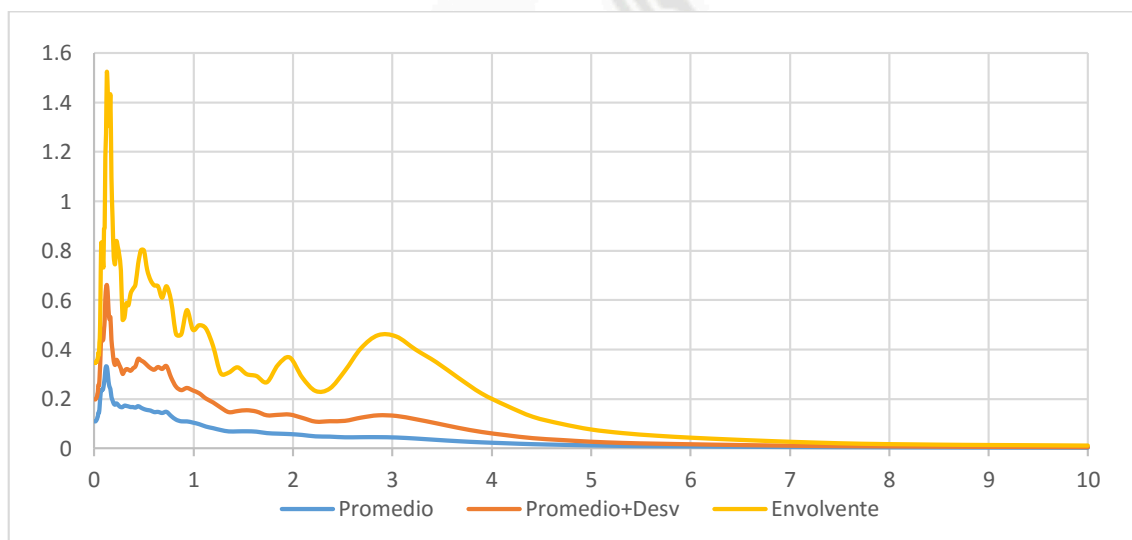


Tabla 7 Espectro Envolvente, Promedio y Promedio + Desviación Estándar para Estrato 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Para el nuevo espectro de diseño, se tomaron como base los datos de la gráfica promedio y envolvente:



Ilustración 58 Espectro Normalizado

4.3 Coeficiente De Amplificación Del Suelo Y Periodo Predominante

Para cada caso de sismo, se obtuvieron funciones de transferencia, mediante las cuales se realiza el análisis para hallar el coeficiente de amplificación del suelo en estudio.

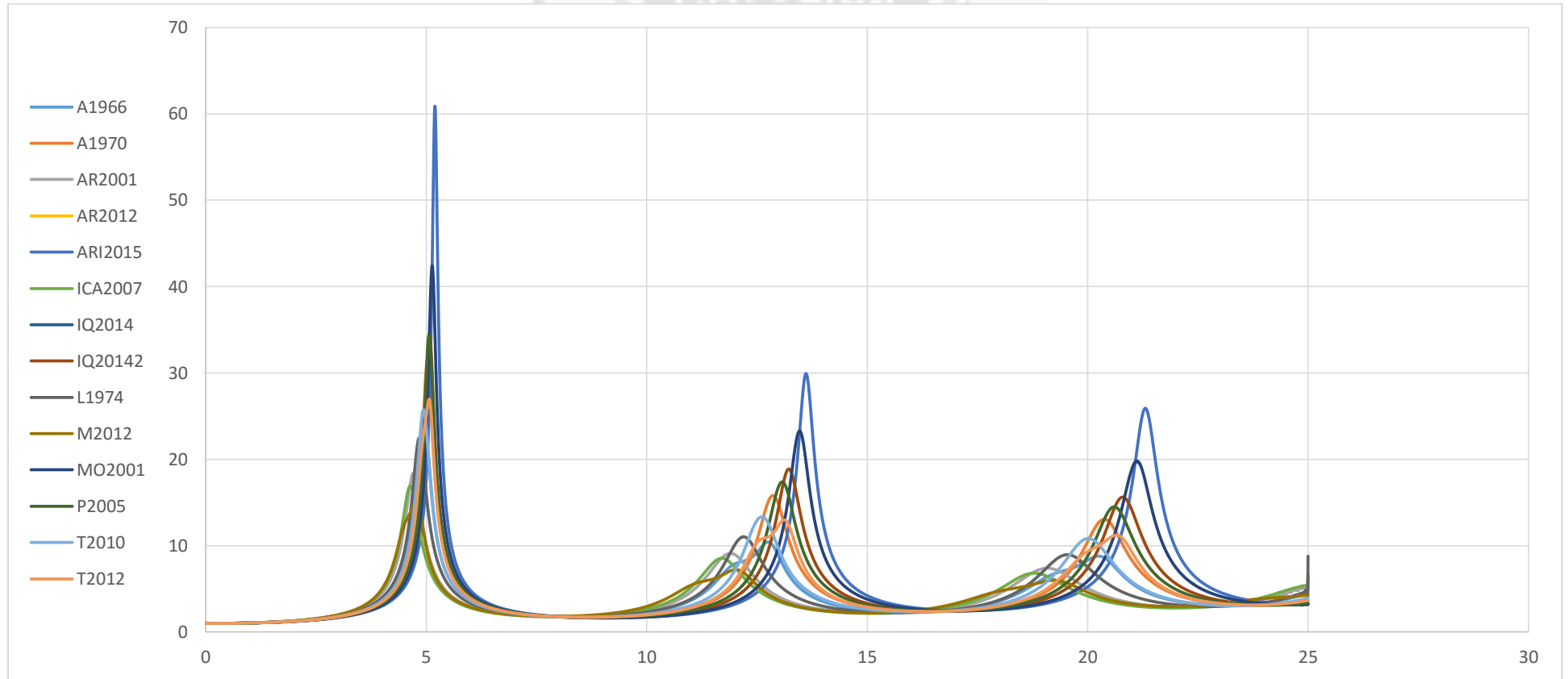


Ilustración 59 Funciones de Transferencia Sismos Aplicados al Estrato 1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

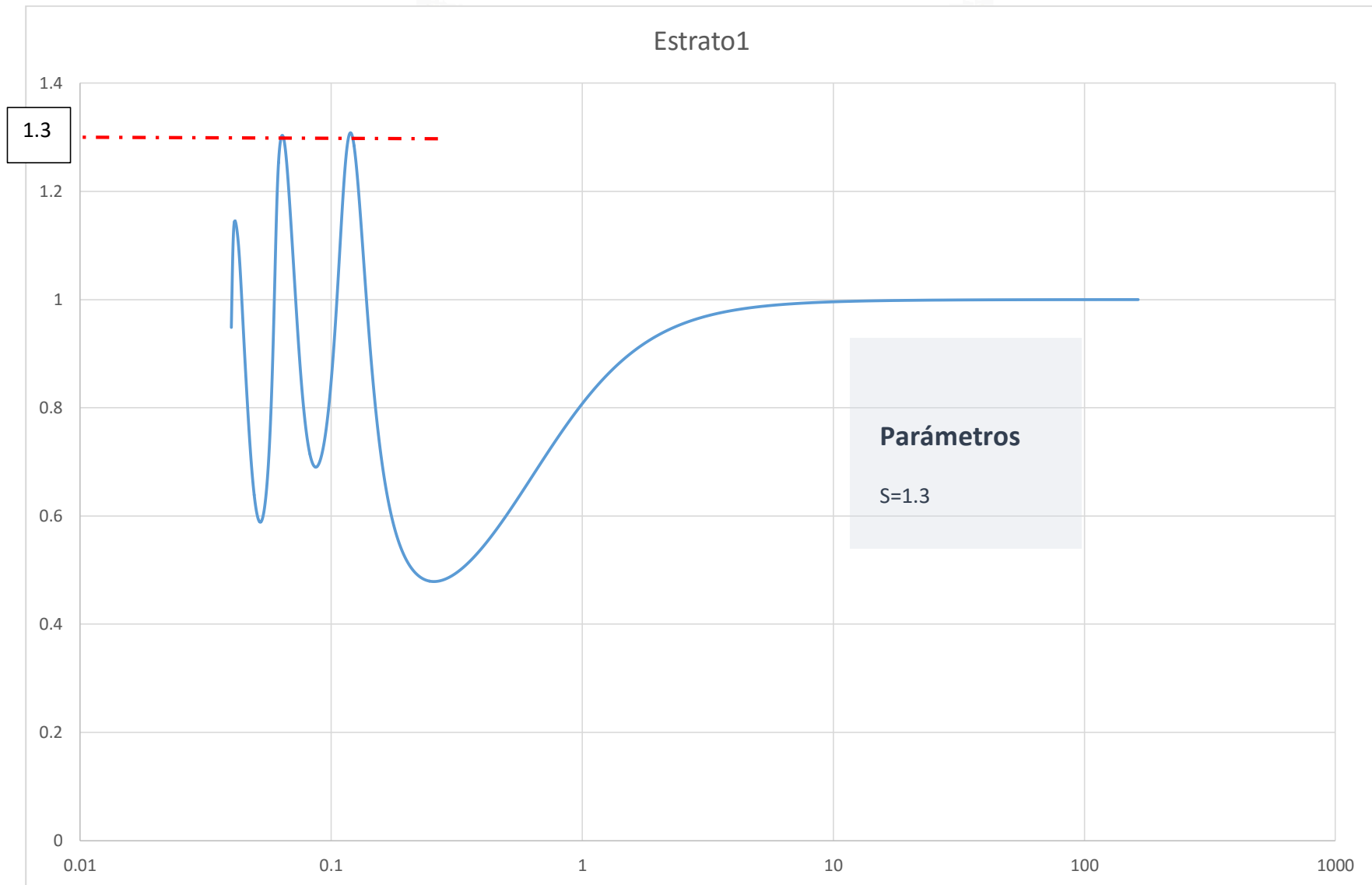
“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

	Ancash 1966	Ancash 1970	Arequipa 2001	Arequipa 2012	Arica 2015	Ica 2007	Iquique 2014	Iquique2014 -04-01	Lima 1974	Maule 2012	Moquegua 2001	Pisagua 2005	Tacna 2010	Tacna 2012	Prom
PERIOD	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM	FT PROM
163.8399	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
81.9202	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
54.6135	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996
40.9599	0.9995	0.9995	0.9995	0.9994	0.9994	0.9995	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995
32.7680	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993	0.9993
27.3067	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991	0.9991
23.4057	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9989	0.9988	0.9988	0.9988	0.9989	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988
20.4800	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986
18.2045	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9984	0.9983	0.9983	0.9983	0.9984	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983
16.3840	0.9980	0.9980	0.9981	0.9980	0.9980	0.9981	0.9980	0.9980	0.9981	0.9981	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980
14.8945	0.9977	0.9977	0.9978	0.9977	0.9977	0.9978	0.9977	0.9977	0.9978	0.9978	0.9977	0.9977	0.9977	0.9977	0.9977
13.6533	0.9974	0.9974	0.9975	0.9974	0.9974	0.9975	0.9974	0.9974	0.9974	0.9975	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974	0.9974
12.6031	0.9971	0.9971	0.9971	0.9970	0.9970	0.9971	0.9970	0.9971	0.9971	0.9971	0.9971	0.9971	0.9971	0.9971	0.9971
11.7029	0.9967	0.9967	0.9968	0.9967	0.9967	0.9968	0.9967	0.9967	0.9967	0.9968	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967
10.9227	0.9964	0.9963	0.9964	0.9963	0.9963	0.9964	0.9963	0.9963	0.9964	0.9964	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963
10.2400	0.9960	0.9959	0.9960	0.9959	0.9959	0.9960	0.9959	0.9959	0.9960	0.9960	0.9959	0.9959	0.9959	0.9959	0.9959
9.6376	0.9955	0.9955	0.9956	0.9955	0.9955	0.9956	0.9955	0.9955	0.9956	0.9956	0.9955	0.9955	0.9955	0.9955	0.9955
9.1022	0.9951	0.9951	0.9952	0.9950	0.9950	0.9952	0.9950	0.9951	0.9951	0.9952	0.9950	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951
8.6231	0.9947	0.9946	0.9947	0.9945	0.9946	0.9948	0.9945	0.9946	0.9947	0.9947	0.9946	0.9946	0.9946	0.9946	0.9946
8.1920	0.9942	0.9941	0.9942	0.9941	0.9941	0.9943	0.9941	0.9941	0.9942	0.9943	0.9941	0.9941	0.9942	0.9941	0.9942

Tabla 8 Datos de Entrada para Función de Transferencia Promedio

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”



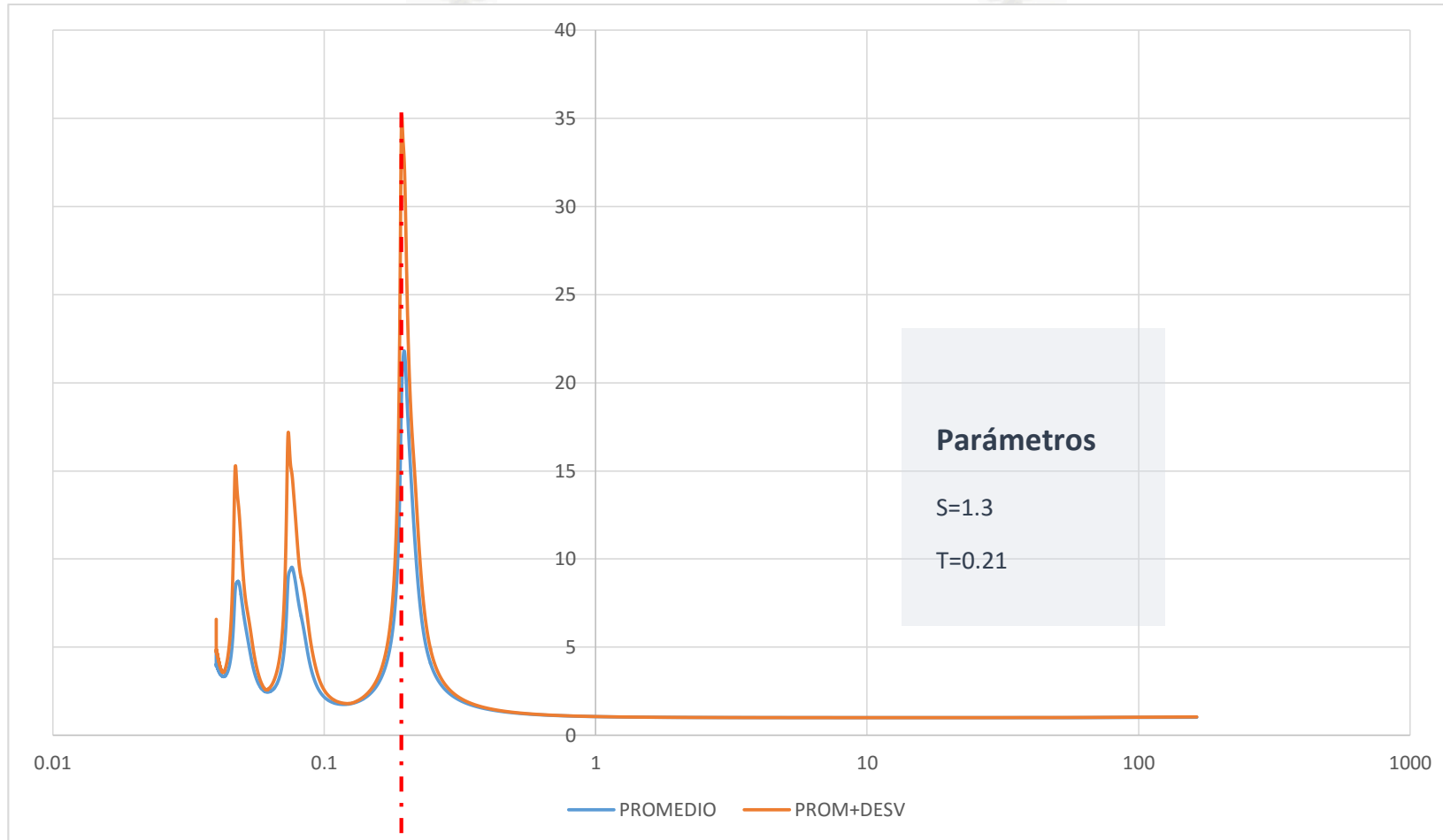


Ilustración 60 Determinación del Parámetro de Suelo mediante la Función de Transferencia

0.21

4.4 Espectro de Diseño

Se realiza el ajuste del espectro con los periodos previamente hallados con la envolvente y el promedio, y se obtiene:

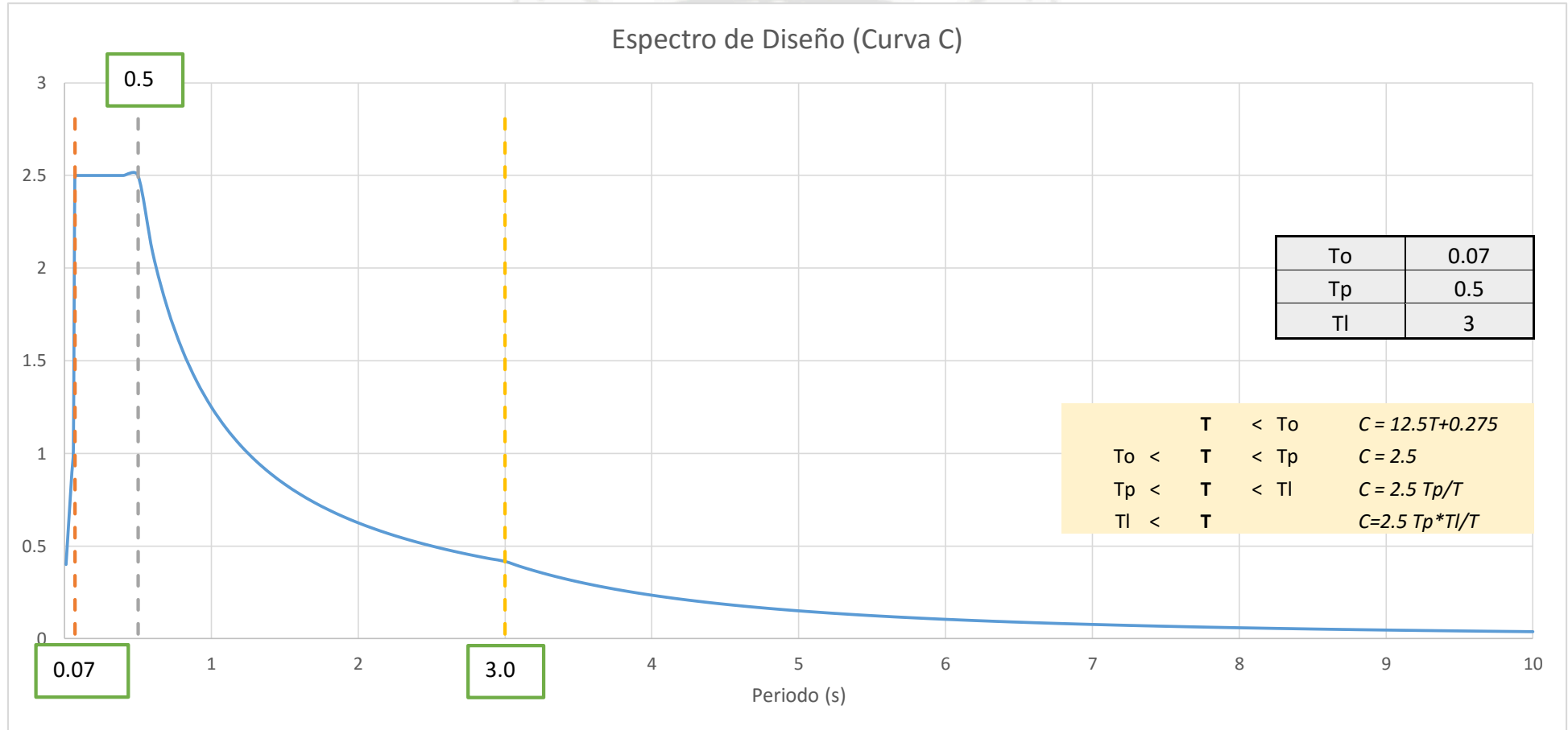


Ilustración 61 Espectro de Diseño Final

Con relación al Espectro de la norma E 030 se tiene:

Comparación espectro Investigación y Norma E030

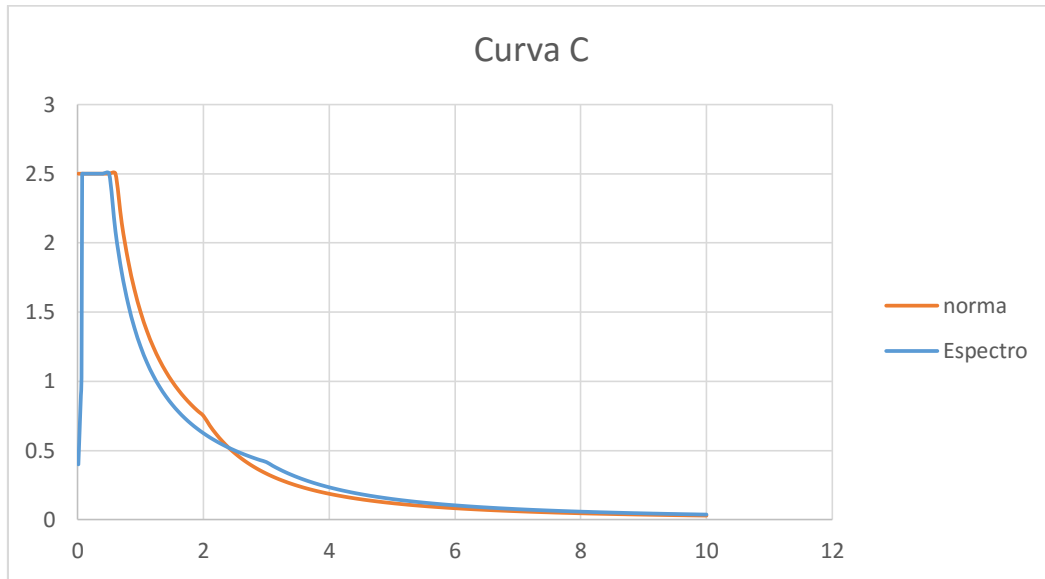


Ilustración 62 Comparación del Espectro considerando el parámetro "C"

Los espectros para considerar el parámetro C son similares, existiendo solo diferencia entre los periodos T_p y T_l además de la existencia de un periodo T_o (tramo inicial)

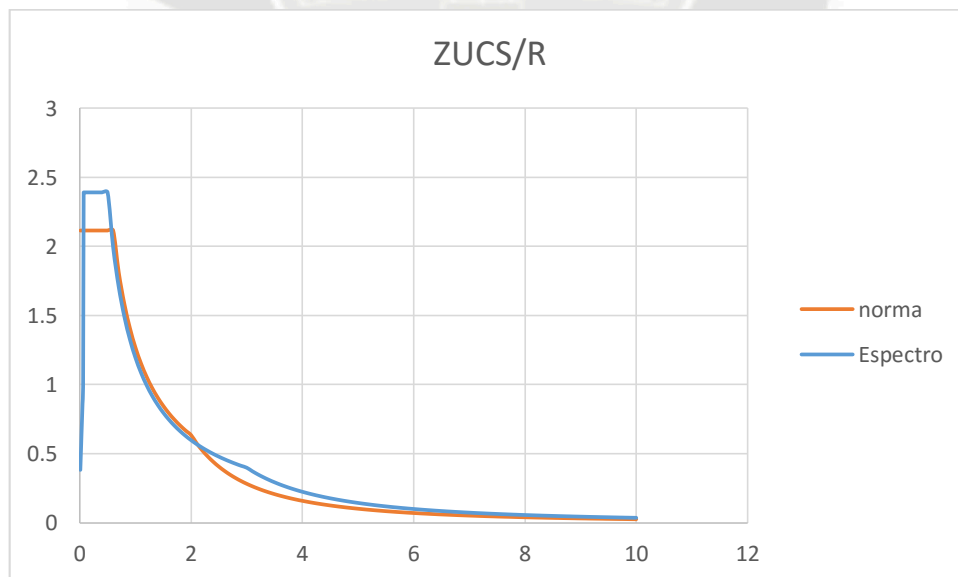
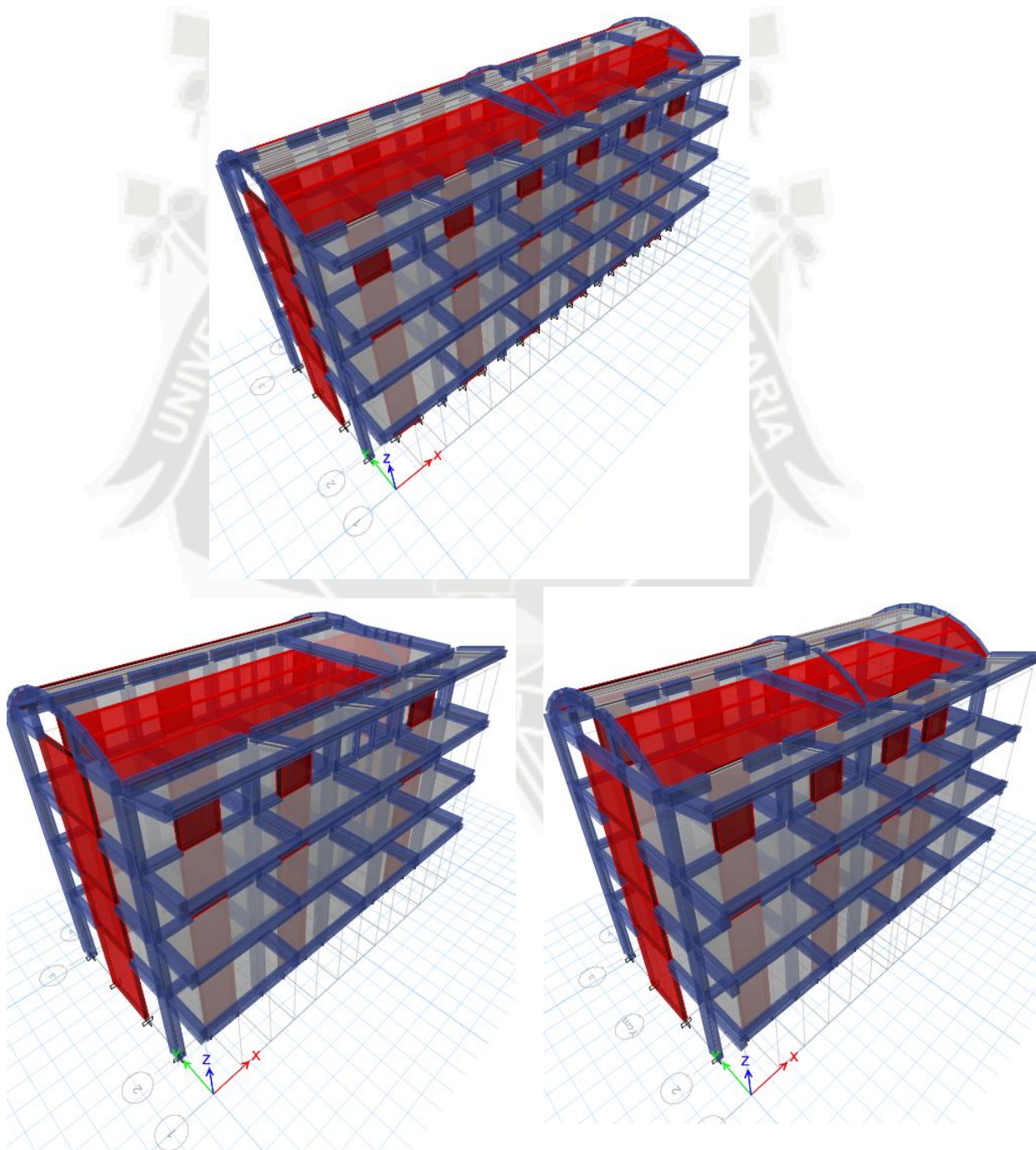


Ilustración 63 Comparación de Espectros Considerando todos los factores

Al amplificar la curva con el factor de suelo, se observa mayor diferencia debido a que en la norma el factor considerado es de 1.15 mientras que en la investigación se consideró un $S=1.3$

CAPÍTULO 5. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Para realizar el correspondiente análisis se realizó el modelamiento estructural del pabellón “C” de la universidad católica de Santa María en el programa Etabs2015 Para lo cual se consideró un aligerado unidireccional de 20 cm, se consideraron las medidas de los elementos basados en los planos arquitectónicos, se realizó el análisis de tres bloques por separado teniendo en cuenta la existencia de dos juntas sísmicas.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

5.1 Análisis estático

Se realizó el análisis, considerando sistemas estructurales diferentes para cada eje: Sistema de muros estructurales (Eje X); sistema aporticado (Eje Y).

Z	0.35	Zona 3	
U	1.5		
C	2.5	Factor de Amplificación Sísmica	
S	1.3	Factor de Suelo	
R0x	6	Coeficiente Básico de Reducción	(Sistema Muros Estructurales)
R0y	8	Coeficiente Básico de Reducción	(Sistema Aporticado)
Ia	0.9	Factor de Irregularidad Estructural en Altura	
Ip	1	Factor de Irregularidad Estructural en Planta	
Rx	5.4	Coeficiente de Reducción e Fuerzas Sísmicas	
Ry	7.2	Coeficiente de Reducción e Fuerzas Sísmicas	

To	0.05
Tp	0.5
Tl	3

$$\left. \begin{array}{l} T < T_0 \\ T_0 < T < T_p \\ T_p < T < T_l \\ T > T_l \end{array} \right\} \begin{array}{l} C = 12.5T + 0.275 \\ C = 2.5 \\ C = 2.5 T_p / T \\ C = 2.5 T_p * T_l / T \end{array}$$

Datos obtenidos de la investigación

X		Y	
S. estruct.	Muros de C.	S. estruct.	Aporticado
Hn =	13.285	Hn =	13.285
Ct =	60	Ct =	35
T =	0.22141667	T =	0.37957143
C calc =	2.5	C calc =	2.5

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Peso del Edificio

PISO	PESO (tonf)	Mx	My	XCM (m)	YCM (m)
4	241.898	1682.122	-4115.562	14.178	5.684
3	285.181	1725.998	-4541.915	14.177	5.511
2	277.513	1725.998	-4541.916	14.177	5.483
1	288.248	1866.629	-4846.338	14.164	5.522

P	1092.840	Peso de la Estructura
----------	----------	-----------------------

Cortante Basal:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Vx	345.307169	31.60% del peso total del edificio
Vy	258.980376	23.70% del peso total del edificio

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

5.2 Análisis Dinámico

Sentido X

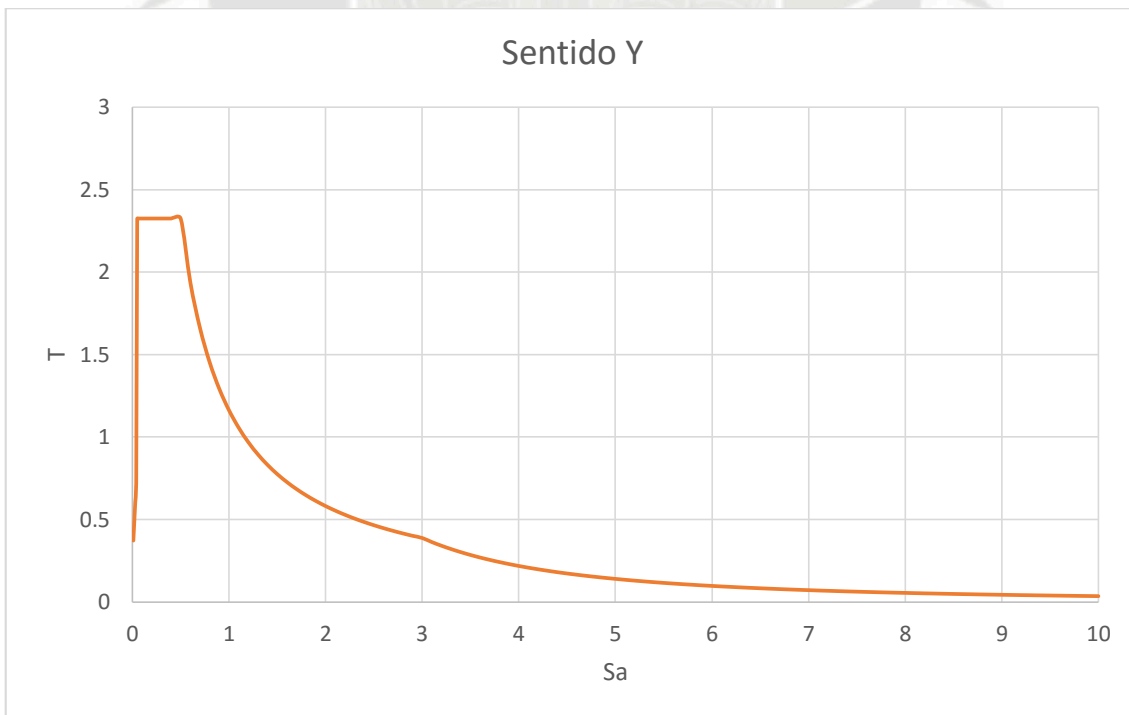
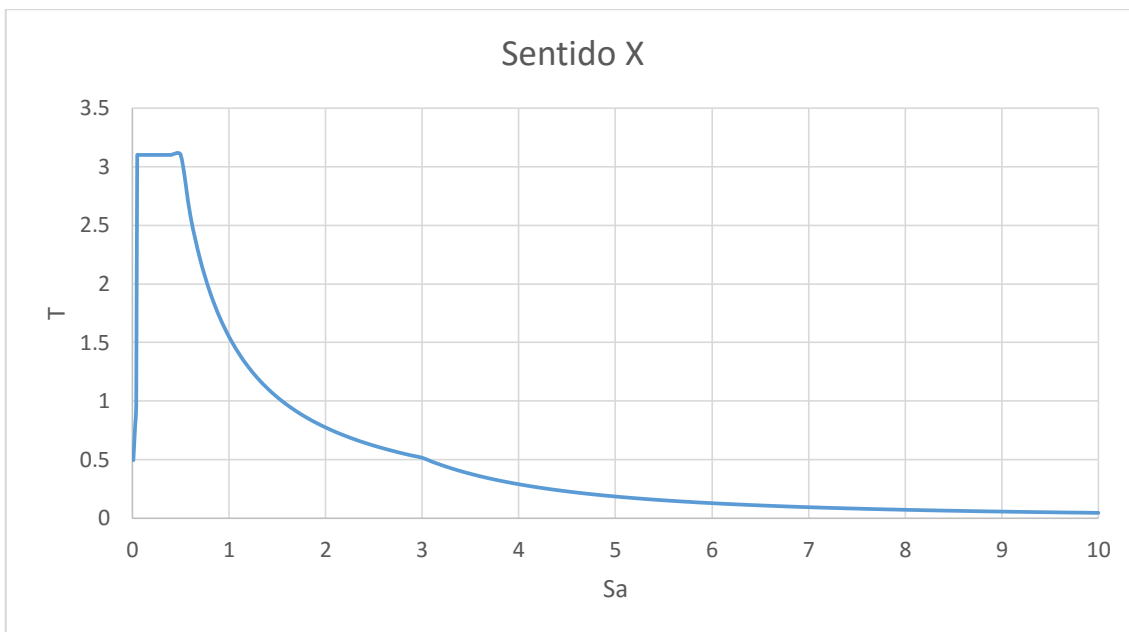
T	C	Sa
0.01	0.4	0.49595
0.02	0.525	0.65093438
0.03	0.65	0.80591875
0.04	0.775	0.96090313
0.05	2.5	3.0996875
0.06	2.5	3.0996875
0.07	2.5	3.0996875
0.08	2.5	3.0996875
0.09	2.5	3.0996875
0.1	2.5	3.0996875
0.2	2.5	3.0996875
0.3	2.5	3.0996875
0.4	2.5	3.0996875
0.5	2.5	3.0996875
0.6	2.08333333	2.58307292
0.7	1.78571429	2.2140625
0.8	1.5625	1.93730469
0.9	1.38888889	1.72204861
1	1.25	1.54984375
1.5	0.83333333	1.03322917
2	0.625	0.77492188
2.5	0.5	0.6199375
3	0.41666667	0.51661458
3.5	0.30612245	0.37955357
4	0.234375	0.2905957
4.5	0.18518519	0.22960648
5	0.15	0.18598125
5.5	0.12396694	0.15370351
6	0.10416667	0.12915365
6.5	0.0887574	0.11004808
7	0.07653061	0.09488839
7.5	0.06666667	0.08265833
8	0.05859375	0.07264893
8.5	0.05190311	0.06435337
9	0.0462963	0.05740162
9.5	0.04155125	0.05151835
10	0.0375	0.04649531

Sentido Y

T	C	Sa
0.01	0.4	0.3719625
0.02	0.525	0.48820078
0.03	0.65	0.60443906
0.04	0.775	0.72067734
0.05	2.5	2.32476563
0.06	2.5	2.32476563
0.07	2.5	2.32476563
0.08	2.5	2.32476563
0.09	2.5	2.32476563
0.1	2.5	2.32476563
0.2	2.5	2.32476563
0.3	2.5	2.32476563
0.4	2.5	2.32476563
0.5	2.5	2.32476563
0.6	2.08333333	1.93730469
0.7	1.78571429	1.66054688
0.8	1.5625	1.45297852
0.9	1.38888889	1.29153646
1	1.25	1.16238281
1.5	0.83333333	0.77492188
2	0.625	0.58119141
2.5	0.5	0.46495313
3	0.41666667	0.38746094
3.5	0.30612245	0.28466518
4	0.234375	0.21794678
4.5	0.18518519	0.17220486
5	0.15	0.13948594
5.5	0.12396694	0.11527763
6	0.10416667	0.09686523
6.5	0.0887574	0.08253606
7	0.07653061	0.07116629
7.5	0.06666667	0.06199375
8	0.05859375	0.05448669
8.5	0.05190311	0.04826503
9	0.0462963	0.04305122
9.5	0.04155125	0.03863876
10	0.0375	0.03487148

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

ANÁLISIS MODAL

MODO	T	f	Masa efec. X	Masa Efec Y
1	0.421	2.374	0	0.8172
2	0.302	3.311	0.4218	0
3	0.274	3.646	0.3914	0
4	0.15	6.652	0	0.1272
5	0.097	10.286	0.0085	0
6	0.079	12.715	0.1146	0
7	0.068	14.719	0	0.0444
8	0.044	22.688	0.0019	0
9	0.036	28.149	0	0.0113
10	0.032	30.949	0.044	0
11	0.022	44.792	0.0007	0
12	0.015	64.89	0.017	0

	xx	yy
T	0.302	0.421
%masa	0.4218	0.8172
C	2.5	2.5

CORTANTE

	Estático	Dinámico	Porcentaje	Factor	Dinámico	Porcentaje
Vx	345.307169	248.3159	71.91%	1.2515	310.7765	90.00%
Vy	258.980376	214.7724	82.93%	1.0853	233.0823	90.00%

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Chequeo por Desplazamiento

SISMO DINÁMICO X

E. INVESTIGACIÓN

PISO	CASO	DESP.(m)	D*0.75R	ALTURA	D ENTREPISO	DERIVA	VERIFICACIÓN
1	SDX	0.001879	0.00986475	4.3	0.00986475	0.0023	PASA
2	SDX	0.004428	0.023247	3.25	0.01338225	0.0041	PASA
3	SDX	0.006661	0.03497025	3.25	0.01172325	0.0036	PASA
4	SDX	0.008621	0.04526025	4	0.01029	0.0026	PASA

E. NORMA

PISO	CASO	DESP.(m)	D*0.75R	ALTURA	D ENTREPISO	DERIVA	VERIFICACIÓN
1	SDX	0.001659	0.00870975	4.3	0.00870975	0.0020	PASA
2	SDX	0.003909	0.02052225	3.25	0.0118125	0.0036	PASA
3	SDX	0.00588	0.03087	3.25	0.01034775	0.0032	PASA
4	SDX	0.007611	0.03995775	4	0.00908775	0.0023	PASA

PISO	D. INV	D. NORMA	Δ	
1	0.0023	0.0020	0.0003	11.71%
2	0.0041	0.0036	0.0005	11.73%
3	0.0036	0.0032	0.0004	11.73%
4	0.0026	0.0023	0.0003	11.68%
				11.71%

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

SISMO DINÁMICO Y

E. INVESTIGACIÓN

PISO	CASO	DESP.	D*0.75R	ALTURA	D ENTREPISO	DERIVA %	VERIFICACIÓN
1	SDY	0.003358	0.0176295	4.3	0.0176295	0.0041	PASA
2	SDY	0.007037	0.03694425	3.25	0.01931475	0.0059	PASA
3	SDY	0.010255	0.05383875	3.25	0.0168945	0.0052	PASA
4	SDY	0.014492	0.076083	4	0.02224425	0.0056	PASA

E. NORMA

PISO	CASO	DESP.	D*0.75R	ALTURA	D ENTREPISO	DERIVA %	VERIFICACIÓN
1	SDY	0.002969	0.01558725	4.3	0.01558725	0.0036	PASA
2	SDY	0.006223	0.03267075	3.25	0.0170835	0.0053	PASA
3	SDY	0.009068	0.047607	3.25	0.01493625	0.0046	PASA
4	SDY	0.012816	0.067284	4	0.019677	0.0049	PASA

PISO	D. INV	D. NORMA	Δ	
1	0.0041	0.0036	0.0005	11.58%
2	0.0059	0.0053	0.0007	11.55%
3	0.0052	0.0046	0.0006	11.59%
4	0.0056	0.0049	0.0006	11.54%
				11.57%

JUNTA SÍSMICA

$$s = 3 + 0.004(h - 500)$$

$$S = 6.08 \text{ cm}$$

S = 6 cm

5.3. Resultados del Análisis

Bloque1

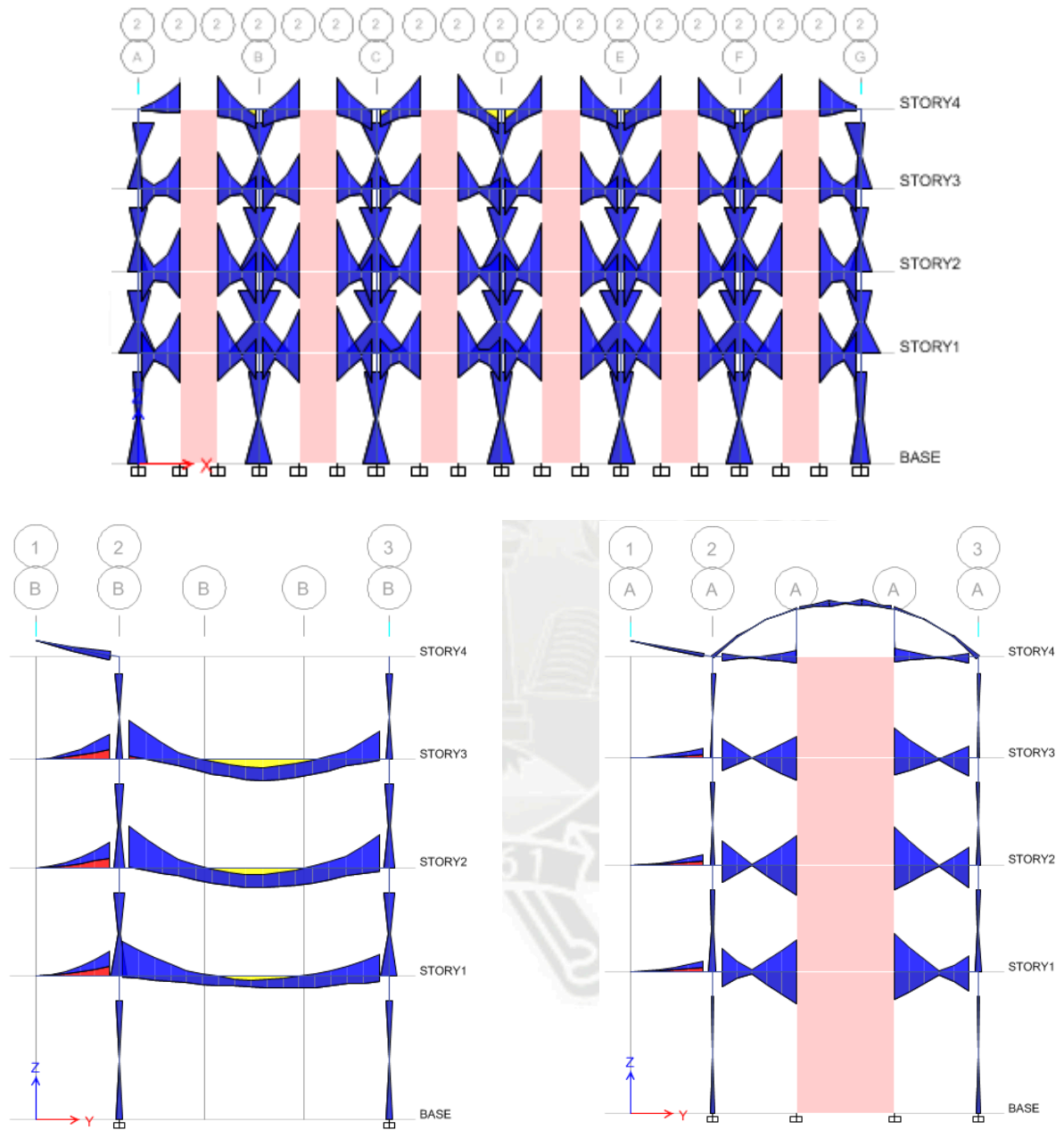


Diagrama de momentos flectores envolventes

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

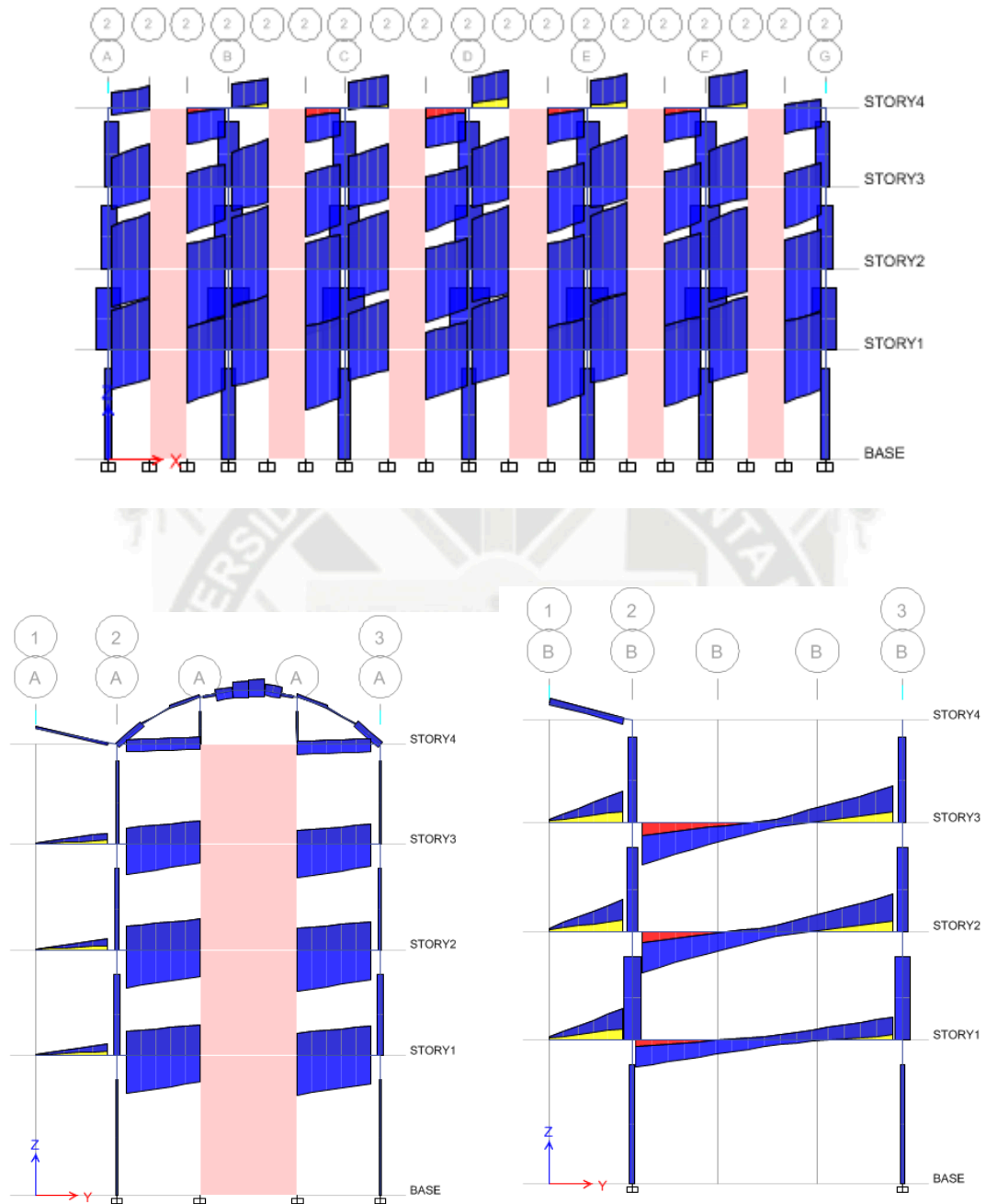
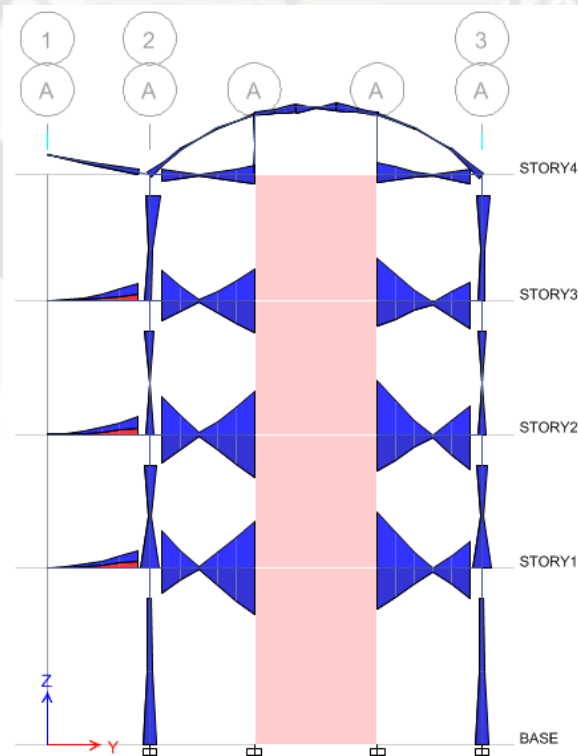
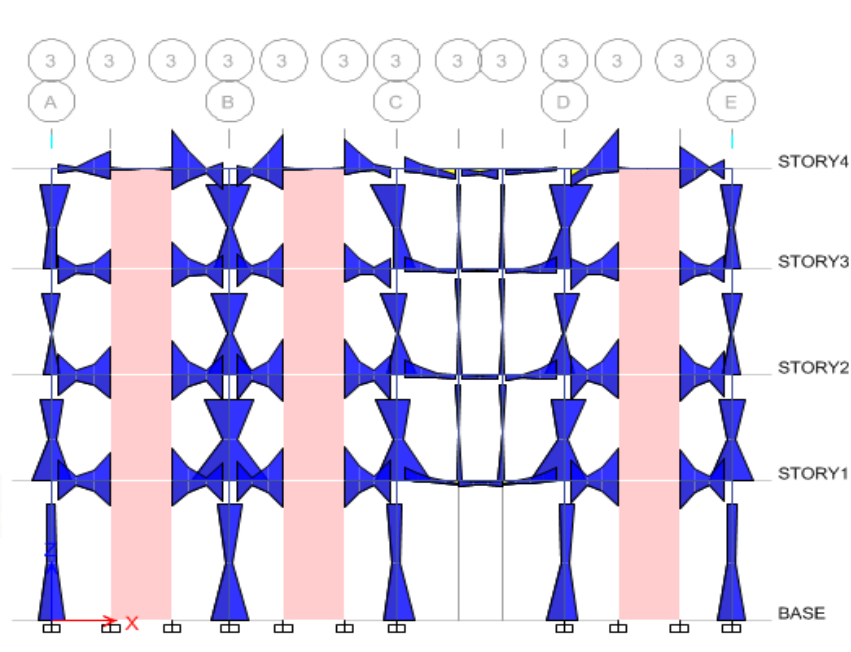


Diagrama de cortante envolvente

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

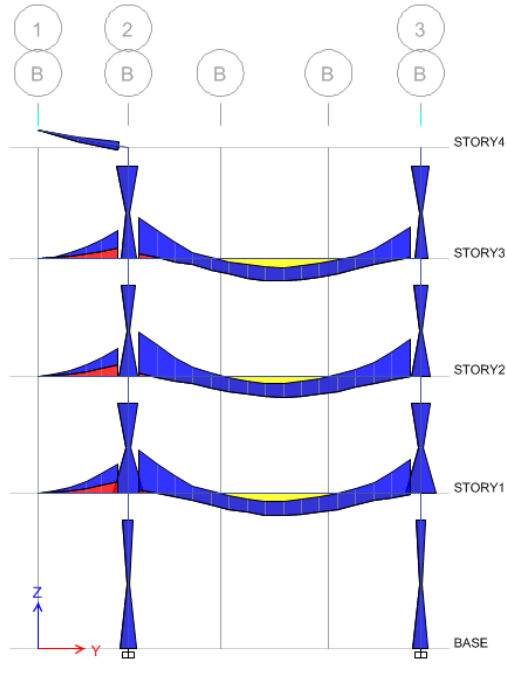
“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Bloque2

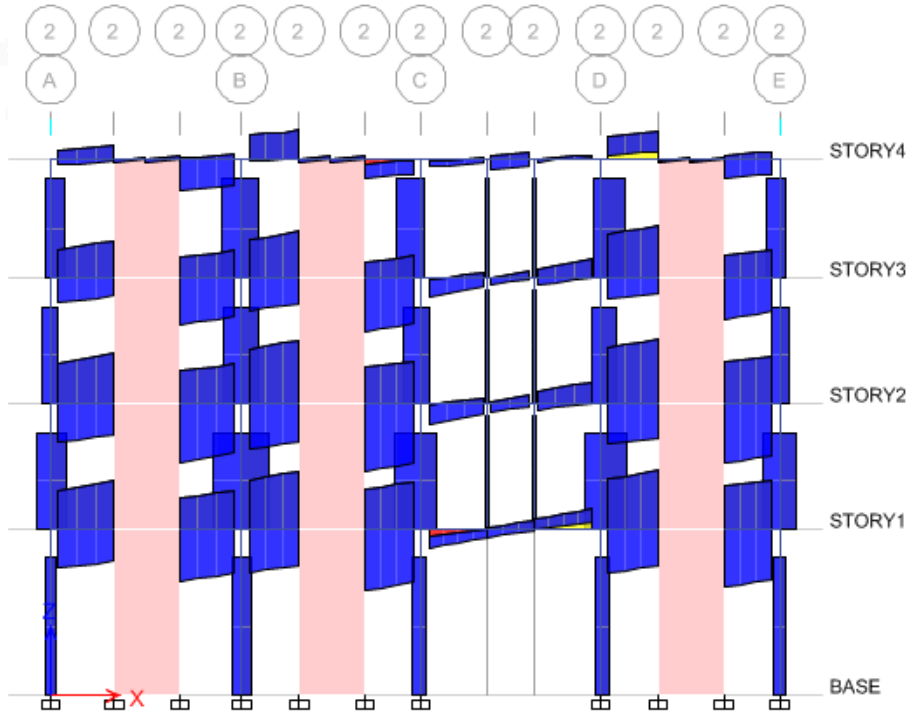


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”



Diagramas de momentos flectores



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

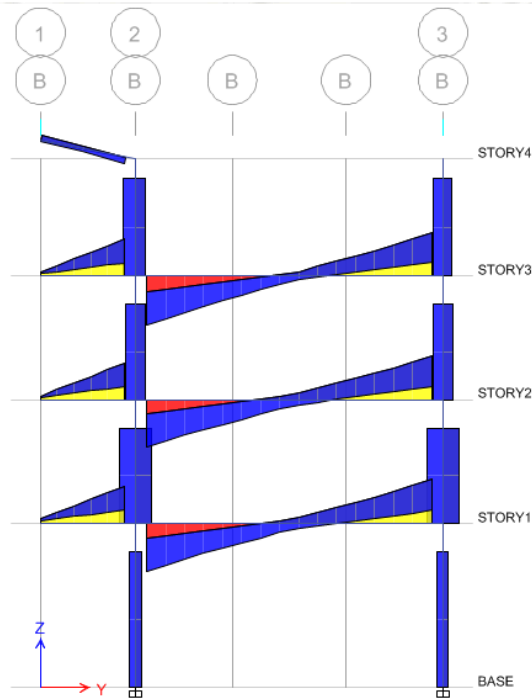
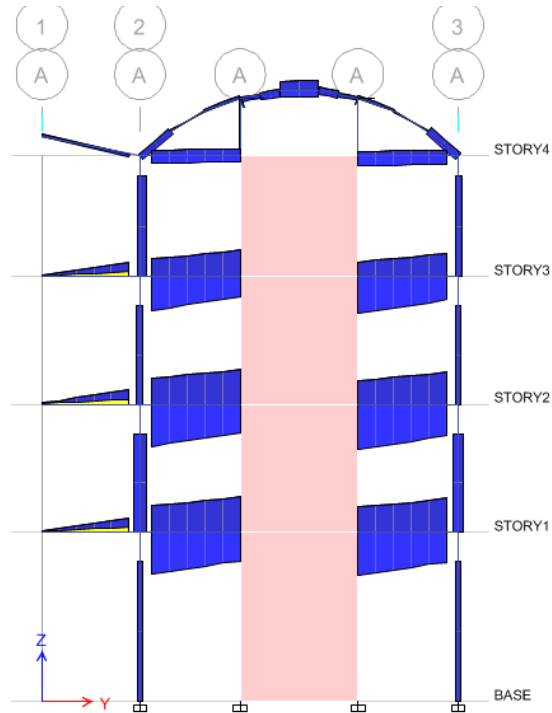
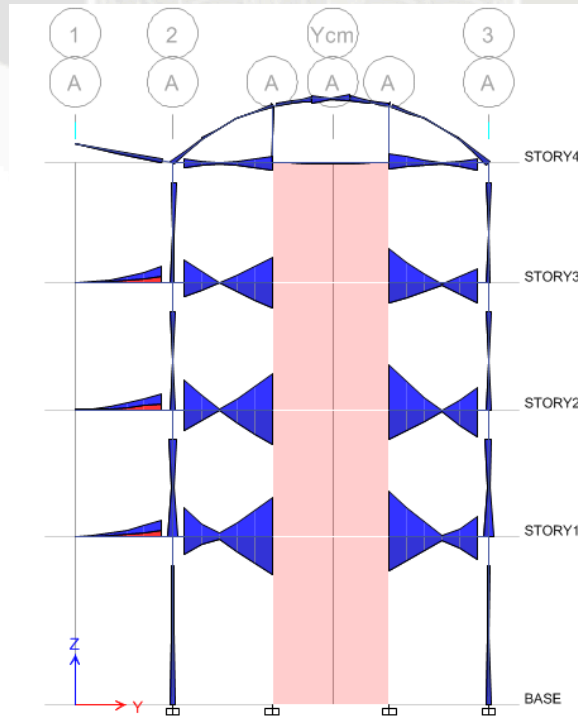
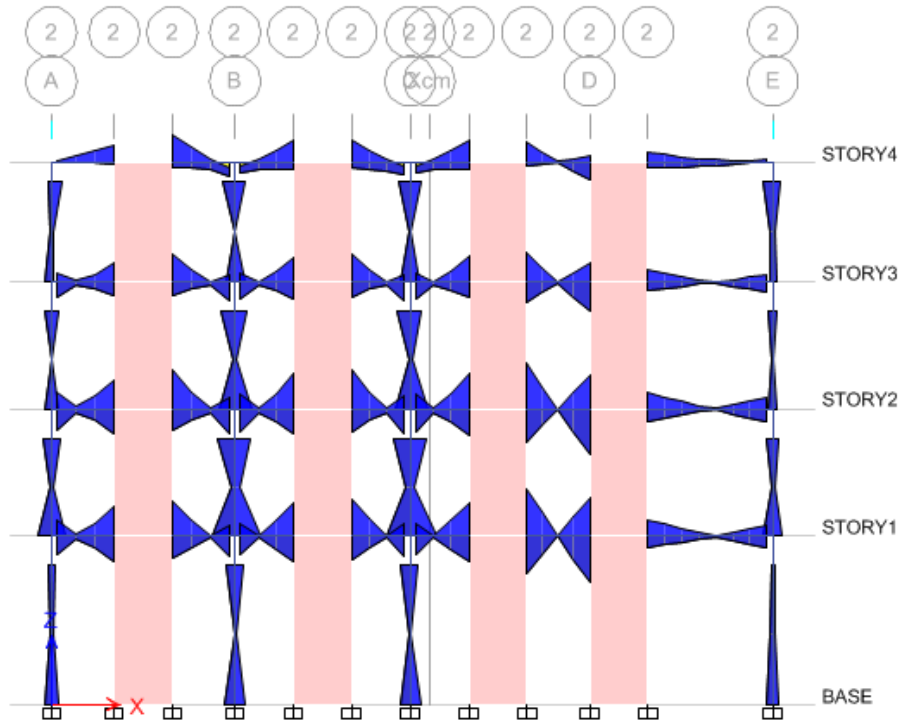


Diagrama de cortante envolvente

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Bloque3



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

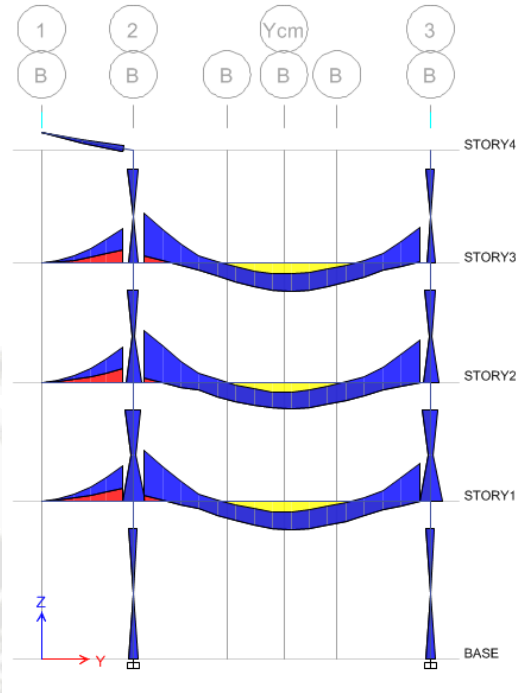
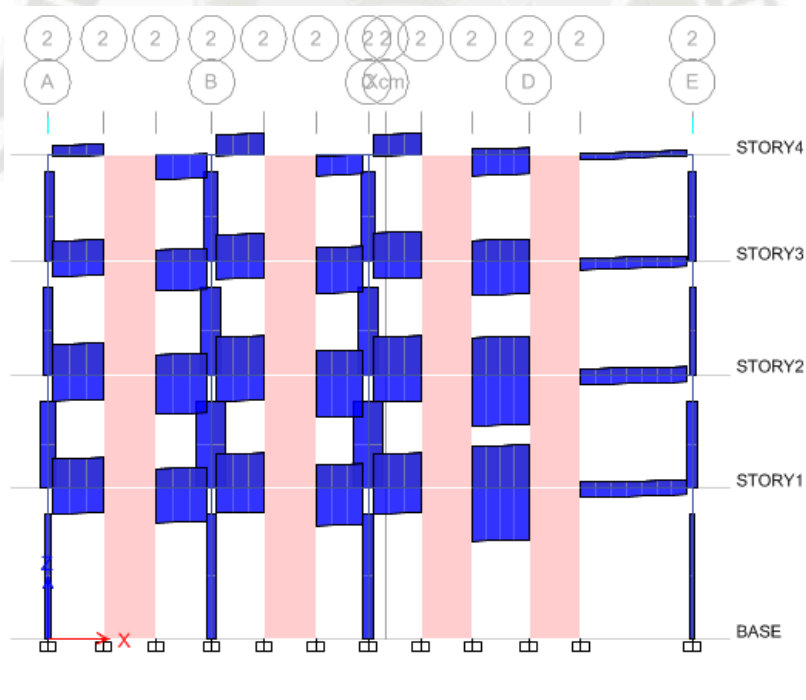


Diagrama de momentos flectores envolventes



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

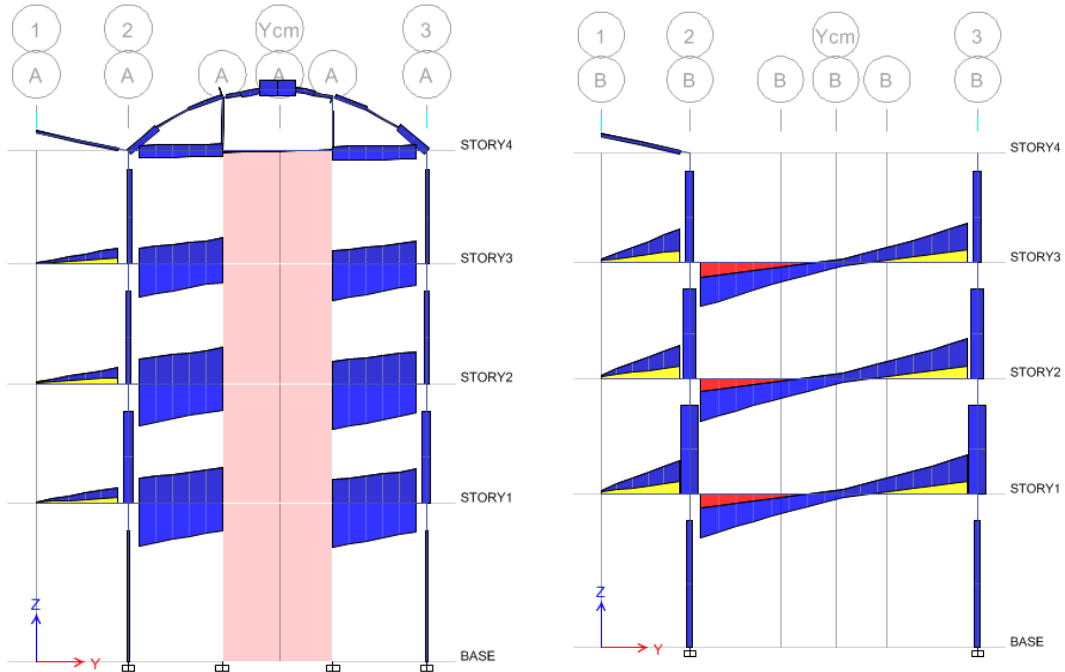


Diagrama de cortante envolvente

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

5.4. Diseño de Losa Aligerada

Se utilizarán losas aligeradas unidireccionales de 20 cm del primer al tercer piso siendo el sentido de dichas losas en “x” para las aulas y “y” para el pasillo. Para tal efecto se mostrara un ejemplo de diseño de las losas de las aulas

Diseño de losa aulas:

Cargas:

A continuación se muestra las cargas por metro cuadrado para una losa de 20 cm.

Carga muerta

Peso Propio 0.3 tnf/m²
Piso Terminado 0.1 tnf/m²

Carga viva

Aulas 0.25 tnf/m²

Posteriormente se calculara la carga en una vigueta multiplicando la carga por el ancho de una de las viguetas (40 cm).

Carga muerta

PP 0.12 tnf/m
PT 0.04 tnf/m
CM 0.16 tnf/m

Carga viva

Aulas 0.1 tnf/m

Con estas cargas se procede a realizar el cálculo de momentos flectores utilizando únicamente la combinación 1 (1.4 CM+1.7 CV) y obteniéndose los siguientes resultados:



Una vez realizado el análisis se procederá a realizar el diseño por momento flector.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Diseño por flexión:

Se diseña el acero para la losa como se diseñaría el acero para una viga y se utilizan las siguientes formulas:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi 0.85 f'c b}} \quad A_s = \frac{Mu}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

Posteriormente se realiza diseño indicándonos que el diseño final será 1ø5/8" arriba y abajo.

	Positivo(+)	Negativo(-)
b(cm)	10	40
Mmax	0.91	-1.2
As(cm2)	1.539066196	1.91499867
Ascolocado	1ø5/8"	1ø5/8"
Asreal(cm2)	1.99	1.99
p	0.011705882	0.00292647

Refuerzo por temperatura:

El refuerzo de temperatura se calculara usando la cuantía de

Refuerzo por temperatura

Astemperatura= 0.36 cm2/m

se usara fierro de 1/4"

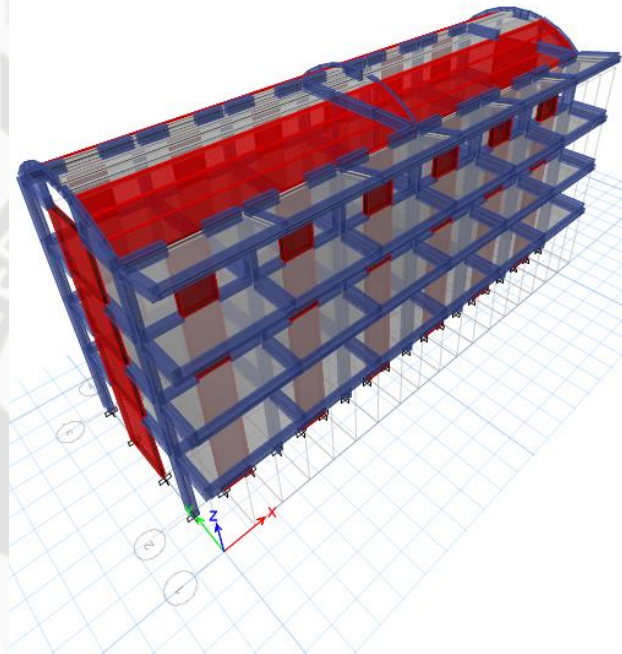
S= 88.8888889 cm Smin= 25 cm

5.8. Diseño de Vigas

Las vigas son elementos estructurales generalmente de sección rectangular que soportan el peso de las losas y transmiten este a las columnas. Estos elementos se ven principalmente afectados por los efectos de flexión pero la cortante también juega un papel importante a la hora de realizar el diseño, A continuación se muestra como ejemplo el diseño de una viga.

Análisis:

Se modelo el edificio en el programa ETABS 2015 para así poder sacar los momentos y cortantes en vigas. A continuación se muestran los resultados:



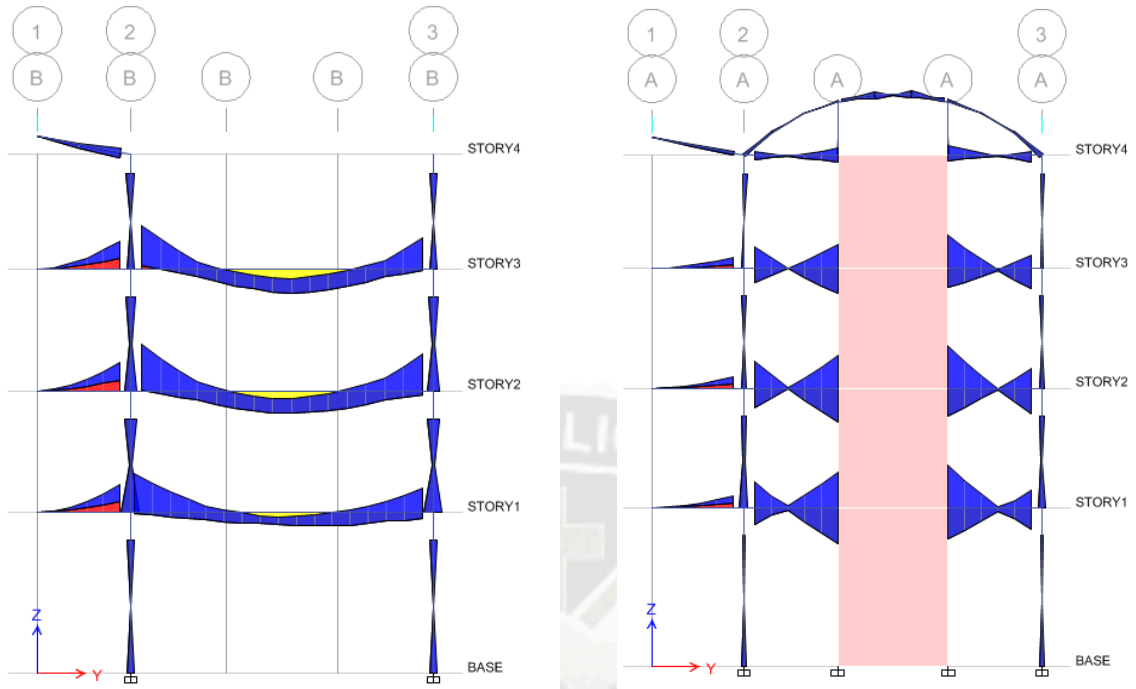
Para la obtención de momentos flectores y cortantes se aplicó sismo en ambas direcciones y se utilizó principalmente tres combinaciones de carga:

$$U = 1.4CM + 1.7CV$$

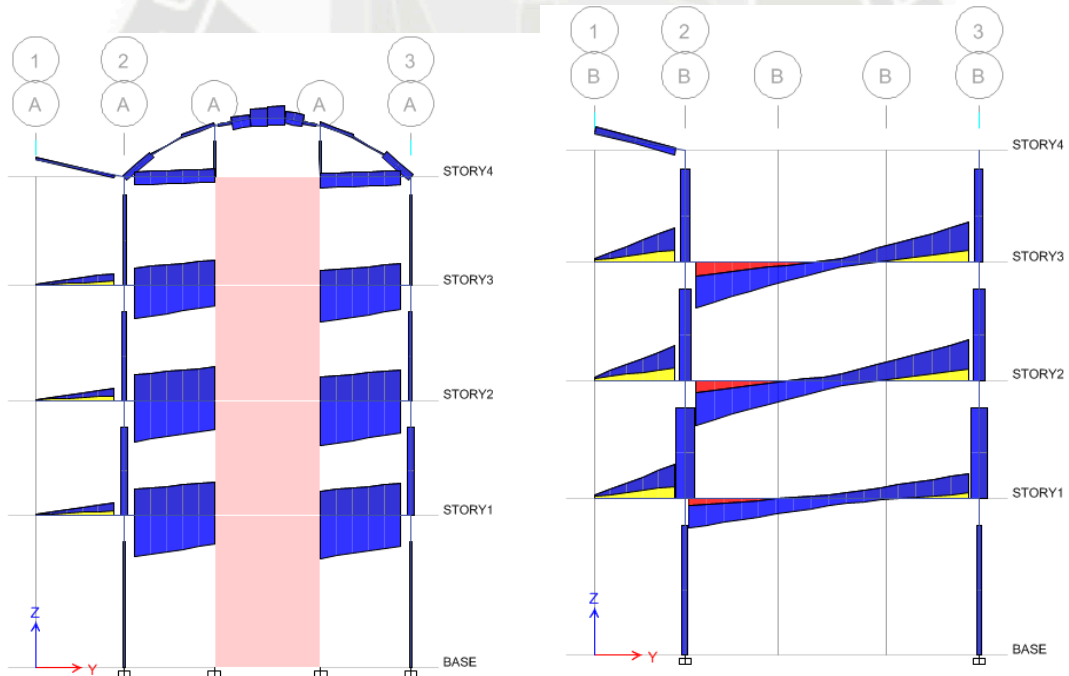
$$U = 1.25(CM + CV) \pm CS$$

$$U = 0.9CM \pm CS$$

Se corre el programa para poder obtener la envolvente:



Envolvente de Momentos flectores



Envolvente de cortantes

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Diseño por momento flector:

Para el cálculo de acero en vigas se utilizó las siguientes expresiones:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi 0.85 f'c b}} \quad As = \frac{Mu}{\phi fy \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

V1

Acero negativo porticos extremos

Mu= -46.8316 tn.m
 b= 30 cm
 h= 75 cm
 r= 9 cm
 d= 66 cm
 d'= cm
 f'c= 280 kgf/cm2
 fy= 4200 kgf/cm2
 φ= 0.9

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi 0.85 f'c b}}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi fy \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

a= 12.1628951 cm
 As= 20.6769217 cm2
 β= 0.85
 ρbal= 0.02833333
 ρmax= 0.02125
 ρmin= 0.00333333
 ρ= 0.01024242

Cantidad	Varilla	Area	Sub total
0	3/8"	0.71	0
0	1/2"	1.29	0
0	5/8"	1.99	0
0	3/4"	2.85	0
4	1"	5.07	20.28
0	1 3/8"	10.08	0
Total			20.28

Acero positivo portico extremo

Mu= 40.8936 tn.m
 b= 30 cm
 h= 75 cm
 r= 9 cm
 d= 66 cm
 d'= cm
 f'c= 280 kgf/cm2

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|Mu|}{\phi 0.85 f'c b}}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi fy \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

fy= 4200 kgf/cm2
 φ= 0.9
 a= 10.4730195 cm

Cantidad	Varilla	Area	Sub total
0	3/8"	0.71	0
0	1/2"	1.29	0

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

As= 17.8041331 cm²

β = 0.85

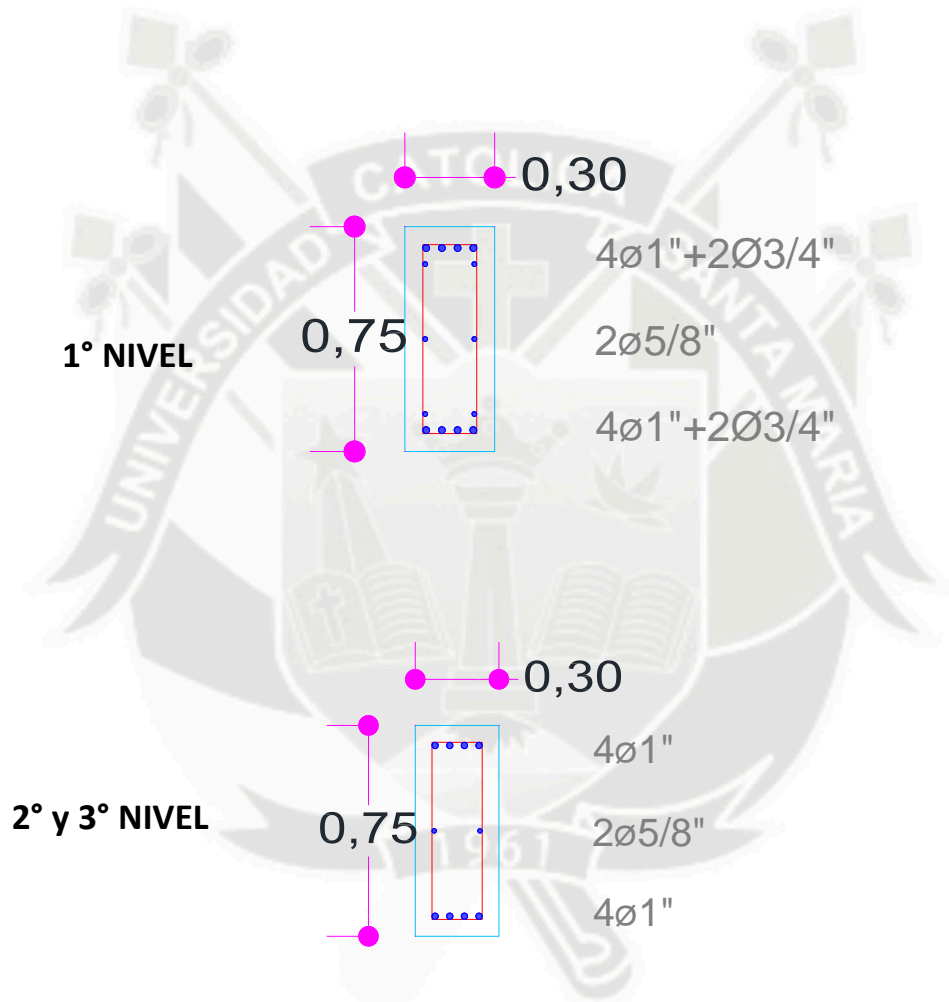
ρ_{bal} = 0.02833333

ρ_{max} = 0.02125

ρ_{min} = 0.00333333

ρ = 0.01024242

0	5/8"	1.99	0
0	3/4"	2.85	0
4	1"	5.07	20.28
0	1 3/8"	10.08	0
Total			20.28



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Diseño por cortante:

V1

Estribos en vigas V1 porticos extremos L=8.1

$V_{ud} = 37.8645 \text{ tn}$
 $b = 30 \text{ cm}$
 $h = 75 \text{ cm}$
 $r = 6 \text{ cm}$
 $d = 69 \text{ cm}$
 $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$
 $\phi_c = 0.85$
 $V_c = 18.3579943 \text{ tn}$
 $V_s = 26.1884763 \text{ tn}$
 $S = 15.713629 \text{ cm}$
 $V_{slim} = 38.1014976 \text{ tn}$
 72.7392227 OK
 $7.80214758 \text{ Requiere estribo}$
 $S_{real} = 15 \text{ cm}$

$$V_c = 0.53\sqrt{f'c}bd$$

$$S = \frac{Avfyd}{V_s}$$

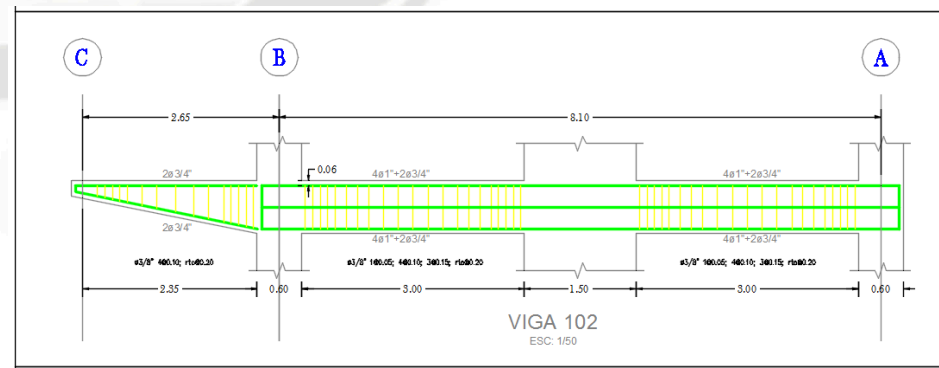
$$V_s \leq 2.1\sqrt{f'c}bd$$

$$V_s = \frac{V_{ud}}{\phi} - V_c$$

$$V_{slim} = 1.1\sqrt{f'c}bd$$

	Av	6 mm	8 mm	3/8"	1/2"	Escoger
2 ramas	2Ae	0.56	1	1.42	2.54	
3 ramas	3Ae	0.85	1.51	2.13	7.62	
4 ramas	4Ae	1.12	2.01	2.84	5.08	
Av						1.42

$\phi 3/8''$ [1@0.05,4@0.1,3@0.15,Rto@0.2](#)



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

5.9. Diseño de Columnas

Diseño por Flexo compresión

Para el diseño de la columna C-1, se tienen las combinaciones de carga:

	Pier	Combinación	P tonf	T tonf-m	M2 tonf-m	M3 tonf-m	P(-)
PISO 1 y 2	C1	COMB1	-58.4888	1.044E-06	0.2138	-0.2295	58.4888
	C1	COMB2 Max	-15.6889	0.1215	2.9645	8.0252	15.6889
	C1	COMB2 Min	-83.6835	-0.1215	-2.6263	-8.4061	83.6835
	C1	COMB3 Max	7.9471	0.00000745	0.5738	15.6342	-7.9471
	C1	COMB3 Min	-107.3195	-5.979E-06	-0.2355	-16.015	107.3195
	C1	COMB4 Max	6.7441	0.1215	2.844	8.1271	-6.7441
	C1	COMB4 Min	-61.2505	-0.1215	-2.7468	-8.3042	61.2505
	C1	COMB5 Max	30.3801	6.584E-06	0.4533	15.736	-30.3801
	C1	COMB5 Min	-84.8865	-6.845E-06	-0.356	-15.9132	84.8865

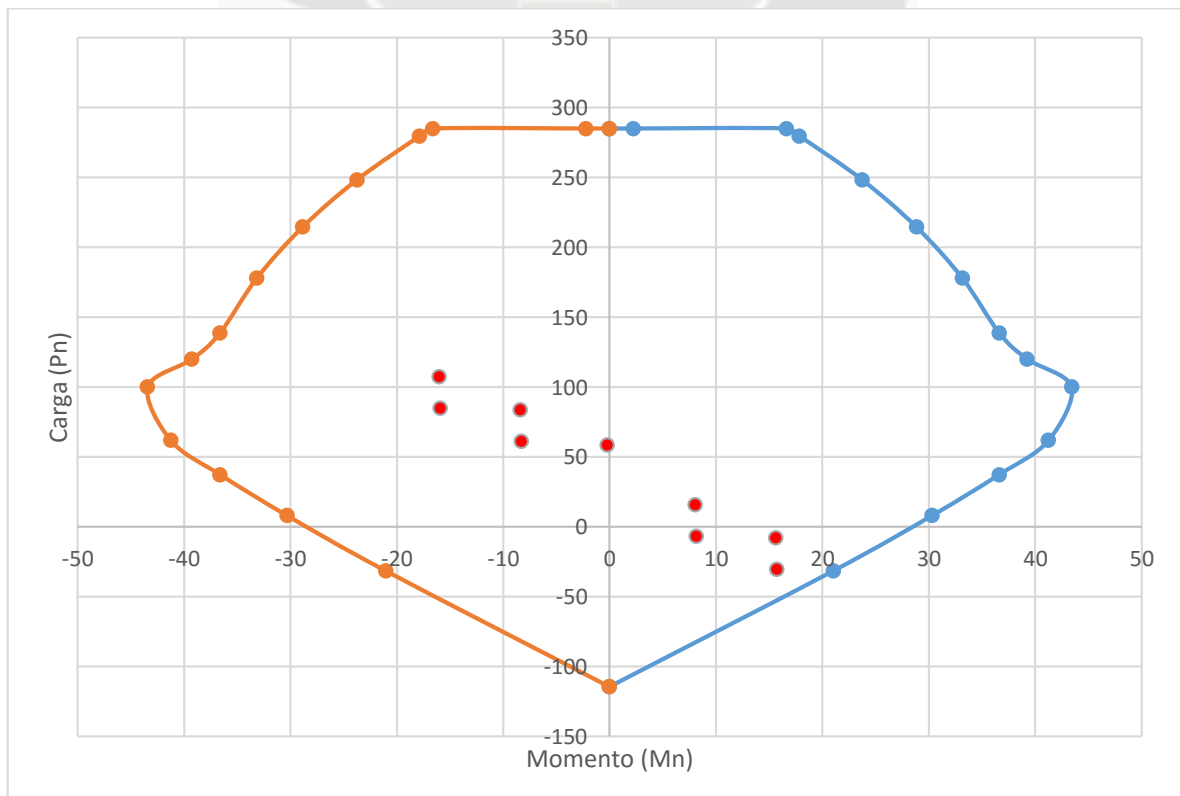
PISO 3 y 4	C1	COMB1	-25.5781	2.376E-06	0.2449	-0.2421	25.5781
	C1	COMB2 Max	-11.1003	0.1624	3.5607	6.628	11.1003
	C1	COMB2 Min	-32.9023	-0.1624	-3.2064	-7.0983	32.9023
	C1	COMB3 Max	-5.7519	0.00001186	1.6686	10.81	5.7519
	C1	COMB3 Min	-38.2507	-8.642E-06	-1.3144	-11.2804	38.2507
	C1	COMB4 Max	-2.1301	0.1624	3.3715	6.6299	2.1301
	C1	COMB4 Min	-23.9321	-0.1624	-3.3957	-7.0963	23.9321
	C1	COMB5 Max	3.2183	9.698E-06	1.4794	10.812	-3.2183
	C1	COMB5 Min	-29.2805	0.00001081	-1.5036	-11.2784	29.2805

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Para un refuerzo de $4\phi 1'' + 4\phi 3/4''$ (piso 1 y 2) se obtiene el siguiente diagrama de interacción:

COLUMNA 1					
	Load (ton)	M (ton-m)		Load (ton)	M (ton-m)
1	-114.34	0	16	284.9	0
2	-31.43	21.05	17	284.9	-2.21
3	8.06	30.32	18	284.9	-16.6
4	37.27	36.61	19	279.51	-17.85
5	61.79	41.26	20	248.33	-23.73
6	99.99	43.43	21	214.48	-28.85
7	120.03	39.26	22	177.89	-33.17
8	138.51	36.65	23	138.51	-36.65
9	177.89	33.17	24	120.03	-39.26
10	214.48	28.85	25	99.99	-43.43
11	248.33	23.73	26	61.79	-41.26
12	279.51	17.85	27	37.27	-36.61
13	284.9	16.6	28	8.06	-30.32
14	284.9	2.21	29	-31.43	-21.05
15	284.9	0	30	-114.34	0

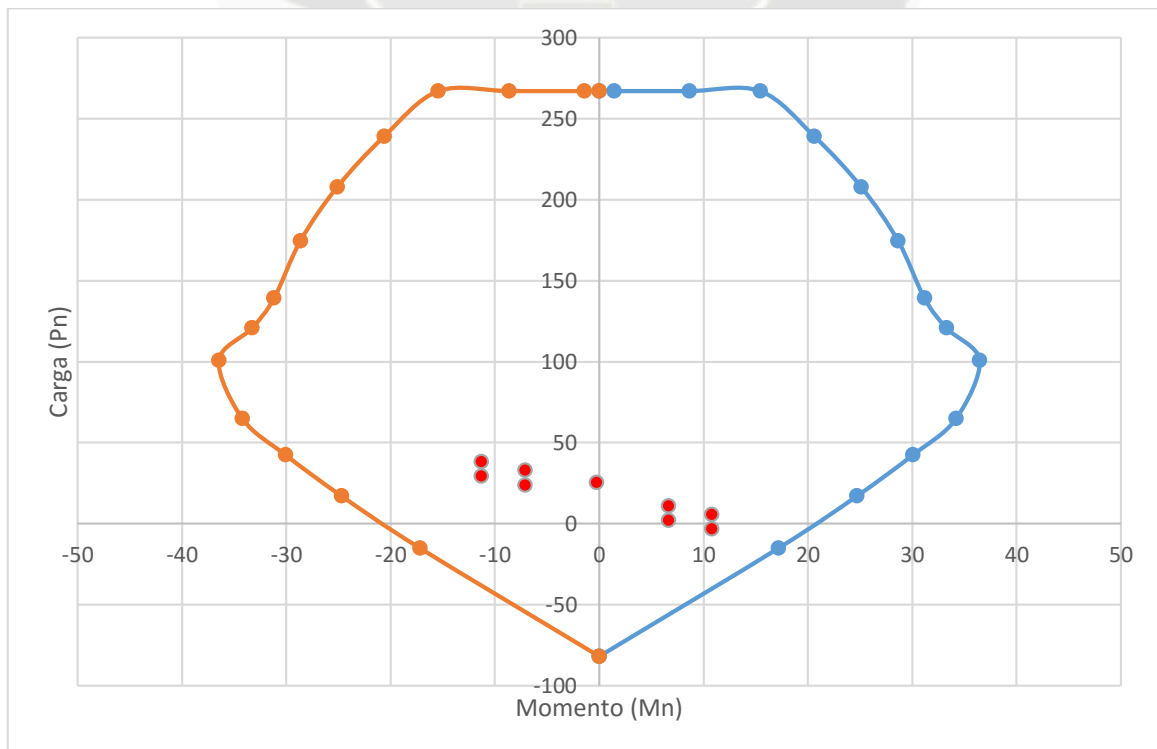


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Para un refuerzo de $8\phi 3/4$ " (piso 3 y 4) se tiene el siguiente diagrama de interacción:

COLUMNA 1					
	Load (ton)	M (ton-m)		Load (ton)	M (ton-m)
1	-81.792	0	16	267.214	0
2	-14.969	17.19	17	267.214	-1.443
3	17.166	24.699	18	267.214	-8.626
4	42.581	30.077	19	267.214	-15.422
5	64.929	34.199	20	239.177	-20.624
6	100.88	36.46	21	207.874	-25.127
7	120.791	33.3	22	174.597	-28.657
8	139.213	31.178	23	139.213	-31.178
9	174.597	28.657	24	120.791	-33.3
10	207.874	25.127	25	100.88	-36.46
11	239.177	20.624	26	64.929	-34.199
12	267.214	15.422	27	42.581	-30.077
13	267.214	8.626	28	17.166	-24.699
14	267.214	1.443	29	-14.969	-17.19
15	267.214	0	30	-81.792	0



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Diseño por corte

Para obtener la cortante de diseño, se tiene el momento nominal máximo del diagrama de interacción:

$$M = 43.43 \text{ Tnf}\cdot\text{m}$$

$$V_u = \frac{M_n \text{ inf} + M_n \text{ sup}}{h_n}$$

$$V_u = \frac{43.43}{2.7} = 32.17 \text{ Tnf}$$

La contribución del concreto

$$V_c = \left(0.53 * \sqrt{f'c} * \left(1 + \frac{Nu}{140 * Ag} \right) * b_w * d \right) * \frac{1}{1000}$$

$$V_c = \left(0.53 * \sqrt{280} * \left(1 + \frac{99.99}{140 * 30 * 60} \right) * 30 * 54 \right) * \frac{1}{1000}$$

$$V_c = 17.058 \text{ Tnf}$$

Aporte del refuerzo

$$V_s = V_u - V_c$$

$$V_s = 15.11 \text{ Tnf}$$

$$V_s = \frac{A_v * f_y * d}{S}$$

	Av	6 mm	8 mm	3/8"	1/2"
2 ramas	2Ae	0.56	1	1.42	2.54
3 ramas	3Ae	0.85	1.51	2.13	7.62
4 ramas	4Ae	1.12	2.01	2.84	5.08
Av			1.42		

$$A_v = 1.42 \text{ (2 ramas)}$$

$$S = 21.31 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Longitud de Confinamiento:

- Un sexto de la luz libre de de la columna

$$\frac{H_n}{6} = \frac{270}{6} \approx 45 \text{ cm}$$

- Máxima sección transversal: 60 cm
- 50 cm

$$L_o = 60 \text{ cm}$$

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Dentro de la zona de confinamiento:

- $8 * 2.54 * \frac{3}{4} = 15.24 \text{ cm}$
- Mitad de la dimensión menor: $\frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$
- 10 cm

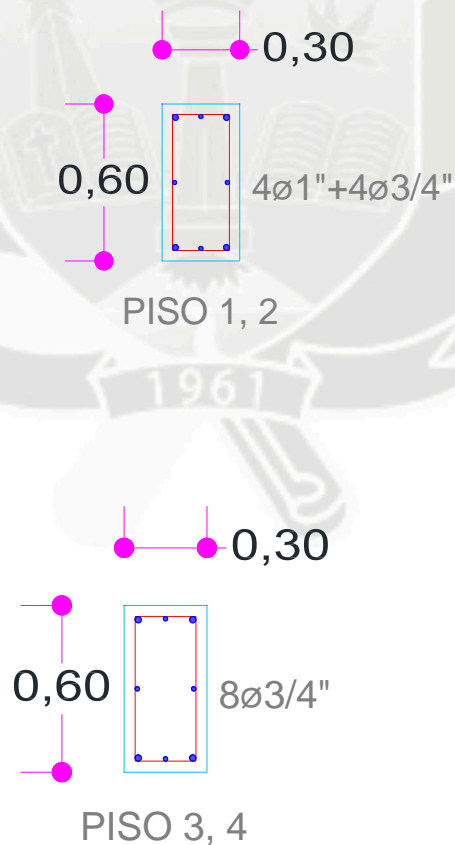
$$S_o = 10 \text{ cm}$$

Espaciamiento máximo:

- 16 veces el diámetro menor: $16 * 2.54 * \frac{3}{4} = 30.48 \text{ cm}$
- 48 veces el diámetro de los estribos: $48 * 2.54 * \frac{3}{8} = 45.72$
- 50 cm
- 30 cm

$$S_{max} = 30 \text{ cm}$$

El armado de la columna C-1



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

5.10. Diseño de placas

Diseño pos Flexo compresión

Para el diseño de la placa P-02, se tienen las combinaciones de carga:

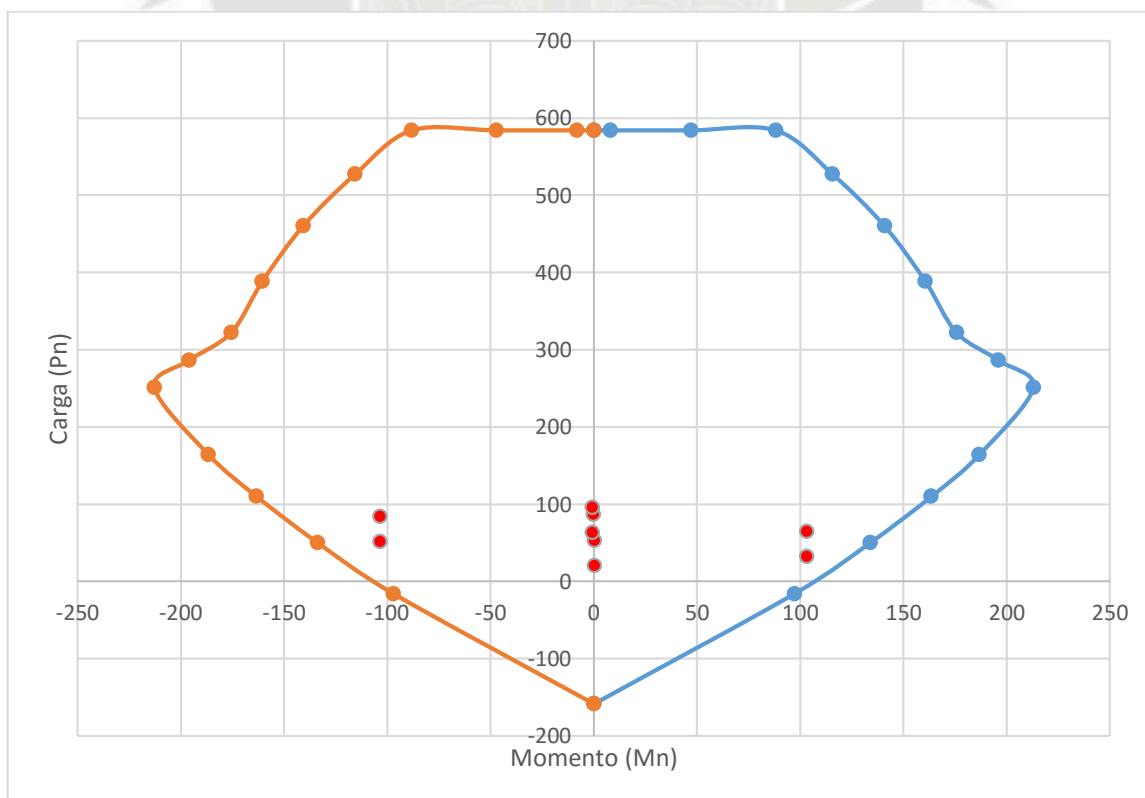
Story	Pier	Load Case/Combo	P tonf	T tonf-m	M2 tonf-m	M3 tonf-m	P(-)
PISO 1	PLACA 2	COMB1	-86.8136	0.0143	-0.5183	-0.285	86.8136
	PLACA 2	COMB2 Max	-64.4437	0.4729	1.8328	103.0975	64.4437
	PLACA 2	COMB2 Min	-83.7034	-0.4486	-2.6922	-103.5789	83.7034
	PLACA 2	COMB3 Max	-52.7164	0.0316	5.0333	0.265	52.7164
	PLACA 2	COMB3 Min	-95.4307	-0.0074	-5.8927	-0.7464	95.4307
	PLACA 2	COMB4 Max	-32.1495	0.4671	2.0643	103.2112	32.1495
	PLACA 2	COMB4 Min	-51.4092	-0.4543	-2.4607	-103.4652	51.4092
	PLACA 2	COMB5 Max	-20.4222	0.0259	5.2647	0.3787	20.4222
	PLACA 2	COMB5 Min	-63.1365	-0.0131	-5.6612	-0.6327	63.1365
PISO 2@4	PLACA 2	COMB1	-68.467	0.0369	-0.4237	2.7298	68.467
	PLACA 2	COMB2 Max	-50.2517	0.7555	0.1805	27.8141	50.2517
	PLACA 2	COMB2 Min	-66.7132	-0.6927	-0.8891	-23.2428	66.7132
	PLACA 2	COMB3 Max	-40.4205	0.076	0.3216	6.0584	40.4205
	PLACA 2	COMB3 Min	-76.5444	-0.0133	-1.0302	-1.487	76.5444
	PLACA 2	COMB4 Max	-24.9764	0.7413	0.3605	26.6645	24.9764
	PLACA 2	COMB4 Min	-41.4379	-0.7069	-0.709	-24.3924	41.4379
	PLACA 2	COMB5 Max	-15.1452	0.0619	0.5016	4.9087	15.1452
	PLACA 2	COMB5 Min	-51.2692	-0.0274	-0.8501	-2.6367	51.2692

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Para un refuerzo de $24\phi 1''$ (piso 1) se obtiene el siguiente diagrama de interacción:

PLACA 2					
	Load (ton)	M (ton-m)		Load (ton)	M (ton-m)
1	-158.62	0.04	16	584.03	0
2	-16.05	97.14	17	584.03	-8.17
3	49.89	133.87	18	584.03	-47.12
4	109.88	163.52	19	584.03	-88.21
5	163.69	186.67	20	527.09	-115.72
6	250.68	212.97	21	460.14	-140.86
7	286.33	196.01	22	388.47	-160.62
8	322.11	175.71	23	322.21	-175.71
9	388.39	160.61	24	286.48	-196
10	460.07	140.84	25	250.82	-212.95
11	527.02	115.69	26	163.8	-186.63
12	584.03	88.15	27	110.01	-163.48
13	584.03	47.08	28	49.89	-133.79
14	584.03	8.12	29	-16.05	-97.06
15	584.03	0	30	-158.62	-0.04

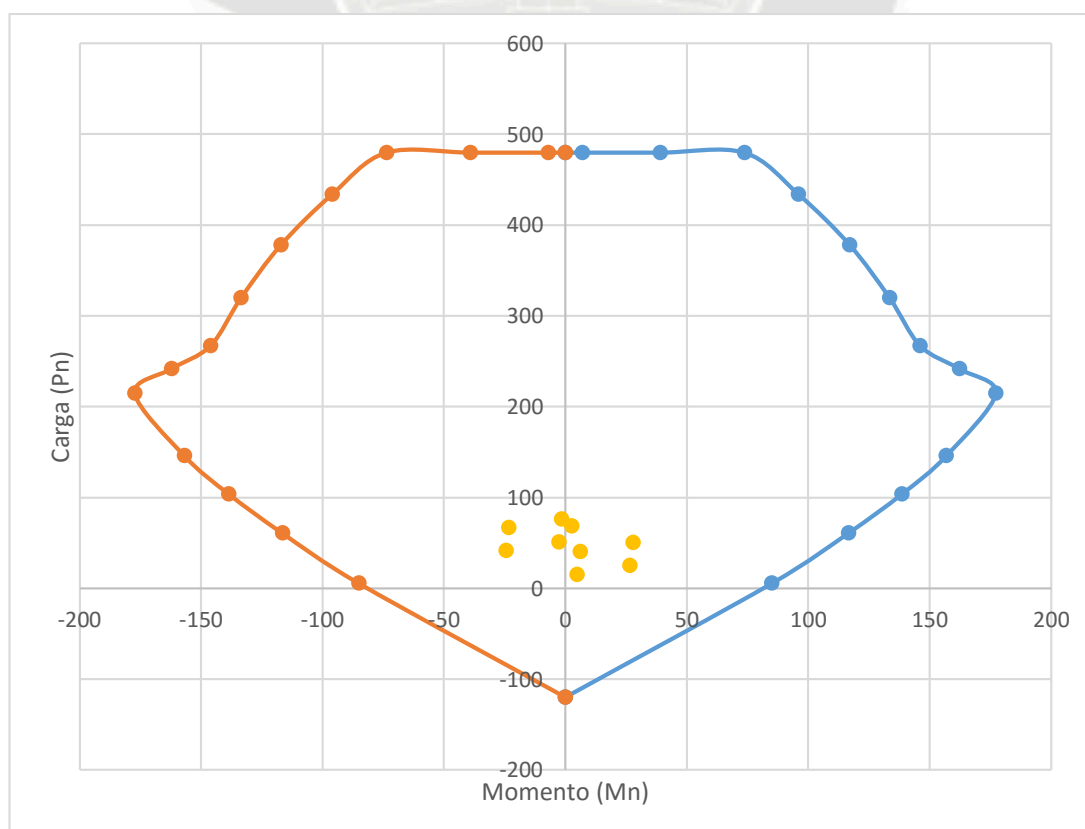


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Para un refuerzo de $12\phi 3/4'' + 12\phi 5/8''$ (piso 2@4) se obtiene el siguiente diagrama de interacción:

PLACA 2					
	Load (ton)	M (ton-m)		Load (ton)	M (ton-m)
1	-119.88	0.02	16	479.96	0
2	5.56	85.09	17	479.96	-6.96
3	60.73	116.52	18	479.96	-39.14
4	103.91	138.65	19	479.96	-73.7
5	145.99	156.89	20	434.1	-95.98
6	214.61	177.24	21	378.3	-117.08
7	241.83	162.21	22	319.79	-133.56
8	267.1	146.15	23	267.1	-146.15
9	319.79	133.56	24	241.83	-162.21
10	378.3	117.08	25	214.61	-177.24
11	434.1	95.98	26	145.99	-156.89
12	479.96	73.7	27	103.91	-138.65
13	479.96	39.14	28	60.73	-116.52
14	479.96	6.96	29	5.56	-85.09
15	479.96	0	30	-119.88	-0.02



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

Diseño por corte

Para obtener la cortante de diseño, se tiene el momento nominal máximo del diagrama de interacción:

$$M = 212.97 \text{ Tnf}\cdot\text{m}$$

$$V_u = \frac{M_n \text{ inf} + M_n \text{ sup}}{h_n}$$

$$V_u = \frac{212.97}{2.7} = 157.76 \text{ Tnf}$$

La contribución del concreto

$$V_c = (0.53 * \sqrt{f'c} * t * d) * \frac{1}{1000}$$

$$V_c = (0.53 * \sqrt{280} * 30 * 125) * \frac{1}{1000}$$

$$V_c = 29.4 \text{ Tnf}$$

Aporte del refuerzo

$$V_s = V_u - V_c$$

$$V_s = 128.36 \text{ Tnf}$$

$$V_s = \frac{A_v * f_y * d}{S}$$

	Av	6 mm	8 mm	3/8"	1/2"
2 ramas	2Ae	0.56	1	1.42	2.54
3 ramas	3Ae	0.85	1.51	2.13	7.62
4 ramas	4Ae	1.12	2.01	2.84	5.08
Av			2.84		

$$A_v = 2.84 \text{ (4 ramas)}$$

$$S = 12.08 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

Espaciamiento de refuerzo horizontal:

- $L/5 = 150/5 = 30 \text{ cm}$
- $3 * 30 = 90 \text{ cm}$
- 40 cm

Espaciamiento : 40 cm

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

- Núcleos confinados:

Longitud de Confinamiento:

- Un sexto de la luz libre

$$\frac{H_n}{6} = \frac{270}{6} \approx 45 \text{ cm}$$

- 50 cm

$$L_o = 50 \text{ cm}$$

Dentro de la zona de confinamiento:

- $8 * 2.54 = 20.32 \text{ cm}$
- Mitad de la dimensión menor: $\frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$
- 10 cm

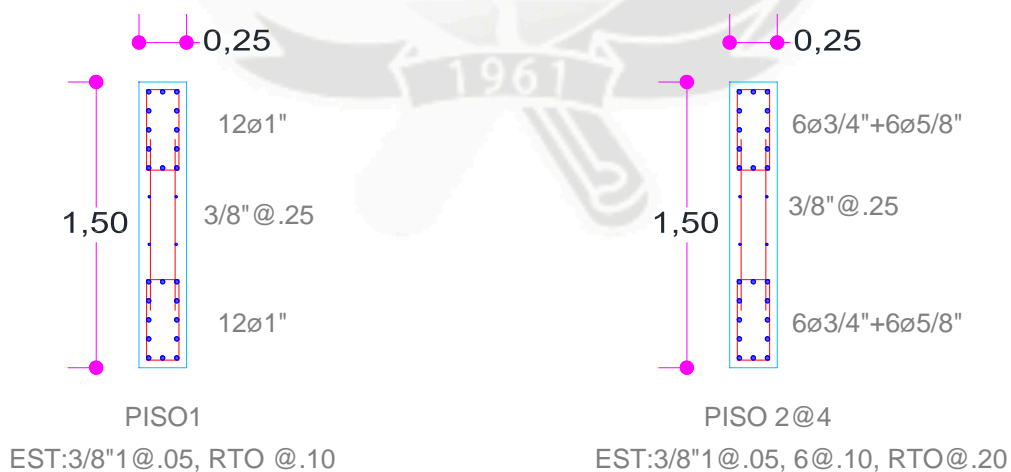
$$S_o = 10 \text{ cm}$$

Espaciamiento máximo:

- $16 * 2.54 = 40.64 \text{ cm}$
- 48 veces el diámetro de los estribos: $48 * 2.54 * \frac{3}{8} = 45.72$
- 50 cm
- 30 cm

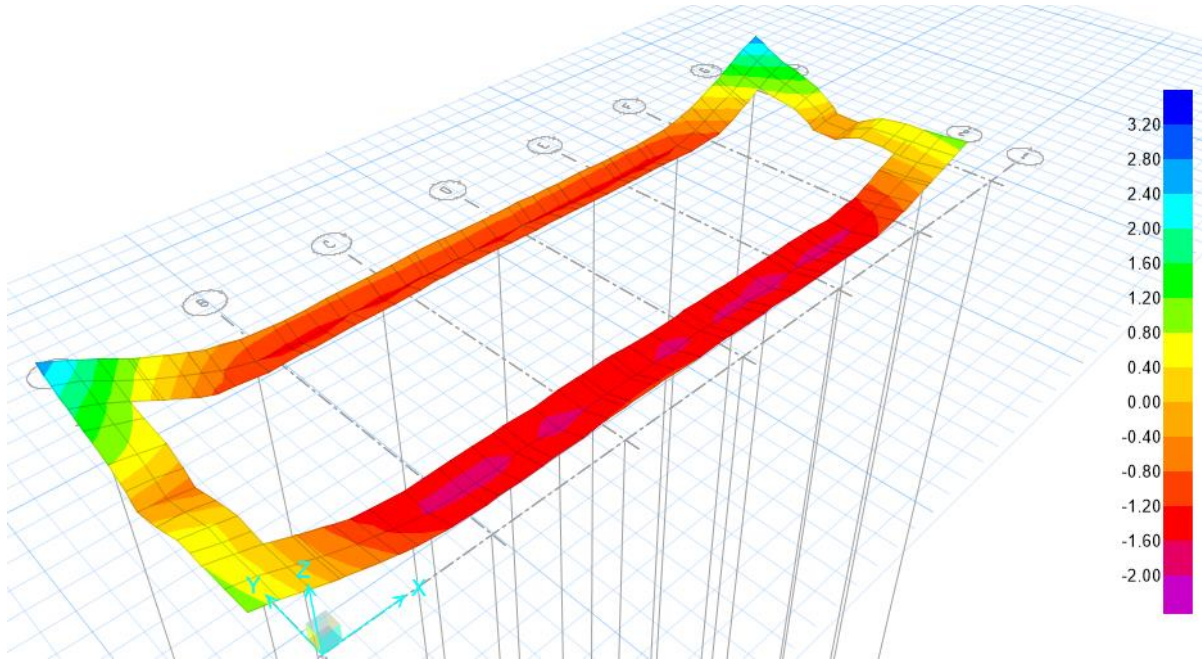
$$S_{max} = 30 \text{ cm}$$

El armado de la placa P-02

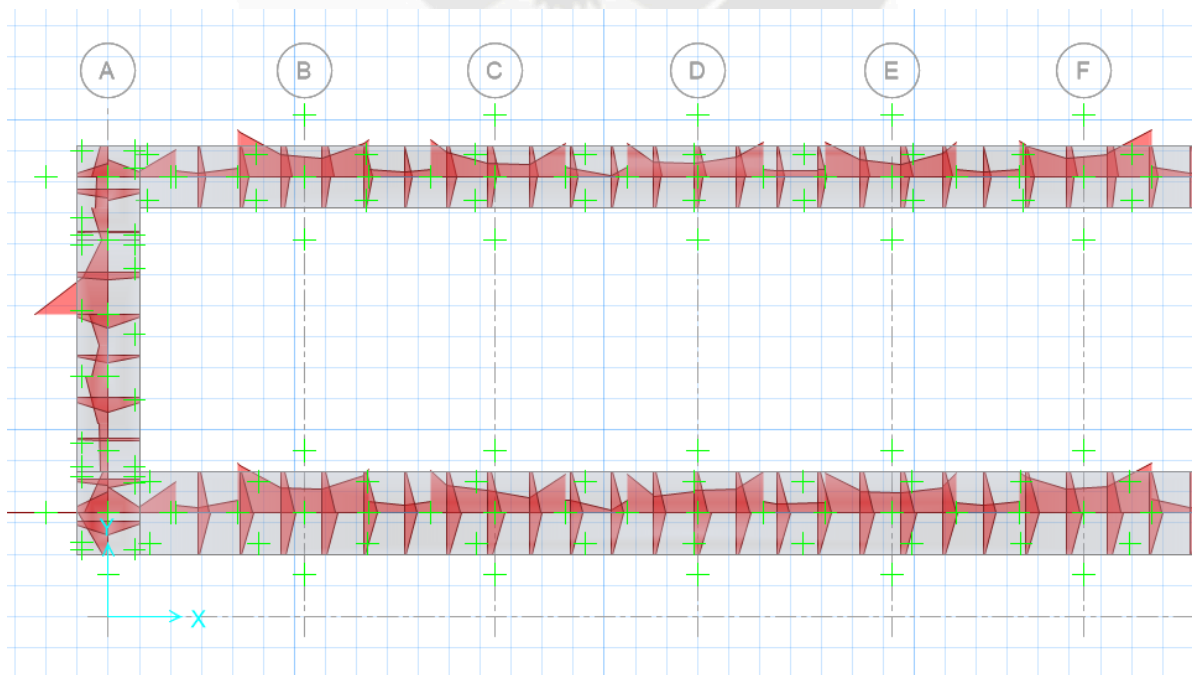


5.11 Diseño de Cimentación

Se realizó la importación del modelo de Etabs al programa SAFE para modelar el anillo de cimentación.



Con los momentos obtenidos en el programa, se realizó el diseño por flexión de cada una de las secciones del anillo de cimentación.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

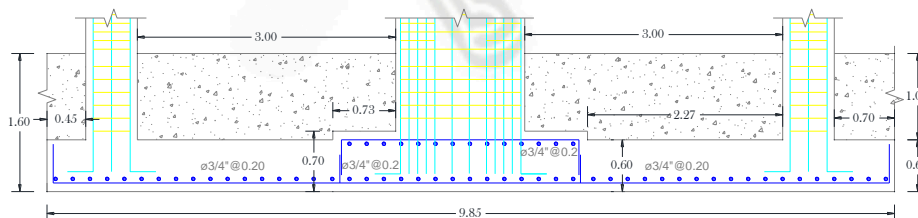
Diseño por flexión de la sección del Eje 1-1 de la cimentación:

Eje 1			
Dirección X-X		Dirección Y-Y	
Mux(+)=	65.43 Tnf-m	Muy(+)=	12.10 Tnf-m
b=	150.00 cm	b=	100.00 cm
h=	70.00 cm	h=	70.00 cm
r=	10.00 cm	r=	10.00 cm
d=	60.00 cm	d=	60.00 cm
f'c=	280 kgf/cm ²	f'c=	280 kgf/cm ²
fy=	4200 kgf/cm ²	fy=	4200 kgf/cm ²
φ=	0.9	φ=	0.9
a=	3.4959	a=	0.9490
As⁻=	29.71 cm²	As⁻=	5.38 cm²
Asmax	223.13 cm ²	Asmax	148.75 cm ²
Asmin	18.90 cm ²	Asmin	12.60 cm ²

Eje 1			
Dirección X-X		Dirección Y-Y	
Mux(-)=	49.70 Tnf-m	Muy(-)=	7.30 Tnf-m
b=	150.00 cm	b=	100.00 cm
h=	70.00 cm	h=	70.00 cm
r=	10.00 cm	r=	10.00 cm
d=	60.00 cm	d=	60.00 cm
f'c=	280 kgf/cm ²	f'c=	280 kgf/cm ²
fy=	4200 kgf/cm ²	fy=	4200 kgf/cm ²
φ=	0.9	φ=	0.9
a=	2.6360	a=	0.5707
As⁺=	22.41 cm²	As⁺=	3.23 cm²
Asmax	223.13 cm ²	Asmax	148.75 cm ²
Asmin	18.90 cm ²	Asmin	12.60 cm ²

- **Dirección X:**
As(+) inf: φ3/4@0.10m
As(-) sup: φ3/4@0.20m

- **Dirección Y:**
As(+) inf: φ3/4@0.10m
As(-) sup: φ3/4@0.20m



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

CONCLUSIONES

- El área estudiada corresponde a la zona C de la ciudad de Arequipa, presentado este suelo características principalmente gravosas.
- No se llevó a cabo el estudio del valor Z, pues este pertenece a un estudio macro-regional.
- Se requiere un estudio de microzonificación sísmica actualizado con curvas de isoaceleraciones para considerar un factor de aceleración máxima esperada del suelo que se ajuste más a la realidad.
- El factor de suelo utilizado para el espectro de diseño es $S=1.3$, se consideró un valor empírico obtenido de la relación entre la amplitud de Fourier del espectro del sismo teórico y el de la superficie, valor que difiere de la anterior norma e030 y la actual, siendo 1.2 y 1.15 sus valores respectivos.
- El periodo característico del suelo obtenido es de $T=0.21$ s
- Se encontraron los periodos para el espectro $T_0=0.07$, $T_p=0.5$ y $T_l=3$
- El estudio de prospección sísmica, facilitó la obtención de los parámetros dinámicos necesarios del suelo; por lo tanto es importante realizar más estudios de ese tipo para una mejor caracterización del mismo.
- La deriva de los edificios con la norma e030 actual y los datos de la investigación difiere 11.60%.
- El suelo en mención presenta características favorables para la cimentación.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

“Elaboración de Espectro de Diseño para la Ciudad de Arequipa mediante la simulación de los eventos sísmicos más severos del Perú y su Aplicación al Diseño Sismorresistente”

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- Anil K. Chopra. *Dinamica de estructuras*.
- Enrique Bazan, Roberto Meli. *Manual de diseño sísmico de edificios*.
- Luis M. Bozzo, Alex H. Barbat. *Diseño sismorresistente de edificios*.
- Mario Paz, *Dinamica de estructuras*.
- N. M. Newmark, W. J. Hall. *Earthquake and spectra design*.
- Roberto Morales Morales. *Diseño en Concreto Armado*.
- Roberto Aguilar. *Análisis sísmico de edificios*.
- Rubén Boroschek. *Dinámica avanzada de estructuras*
- Reglamento Nacional de edificaciones (RNC).
- Steven L Kramer, *Geotechnical Earthquake Engineering*

ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN

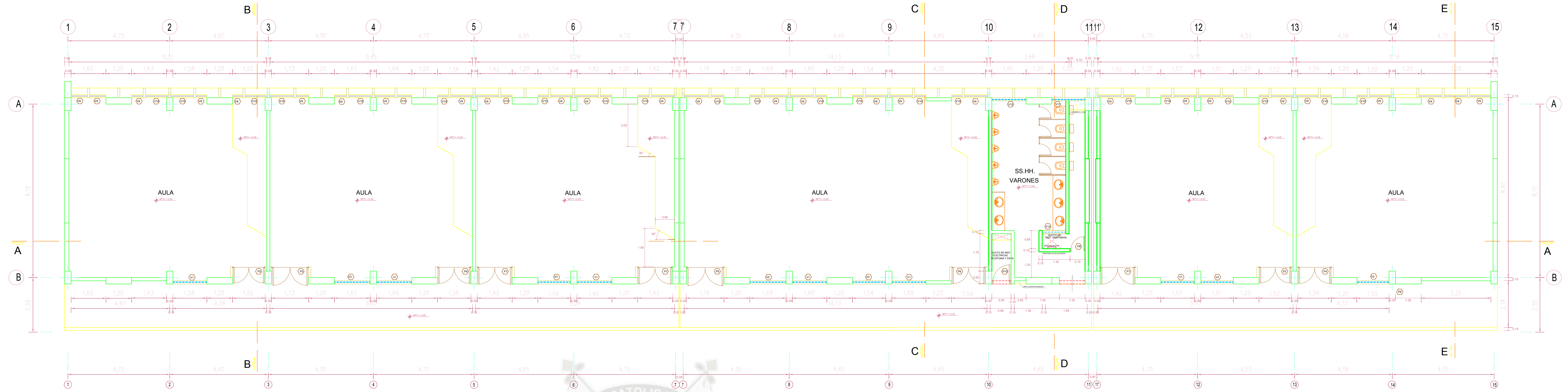
- Carlos Reyes & Eduardo Miranda & Mario Ordaz & Roberto Meli, *Estimación de espectros de aceleraciones correspondientes a diferentes periodos de retorno para las distintas zonas sísmicas de la ciudad de México*, Revista de Ingeniería Sísmica 2002.
- Calixtro Yanqui Murillo *“Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Arequipa”* (1991)
- Eder Keith Paz Tiguilla, *Procedimiento de cálculo para la elaboración de Espectros Sísmicos para el Diseño Sismorresistente de Estructuras*, Universidad San Carlos de Guatemala, Noviembre 2012.
- Fabio Sabetta & Antonio Pugliese, *Estimation of Response Spectra and Simulation of Nonstationary Earthquake Ground Motions*, Bulletin of the Seismological Society of America, Abril 1996.
- Francisco Crisafulli & Elbio Villafane, *Espectro de respuesta y Diseño*, Universidad nacional de Cuyo 22 Mayo.
- Jesús Angulo Adrianzen & Williams Martin Azañedo Martinez, *Propuesta para la modificación del espectro elástico de la actual norma peruana de diseño sismo resistente*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Noviembre 2013.
- Mihailo D. Trifunac, *Early history of the response spectrum method*, Department of civil and environmental Engineering University of Southern California, 21 Octubre 2007.



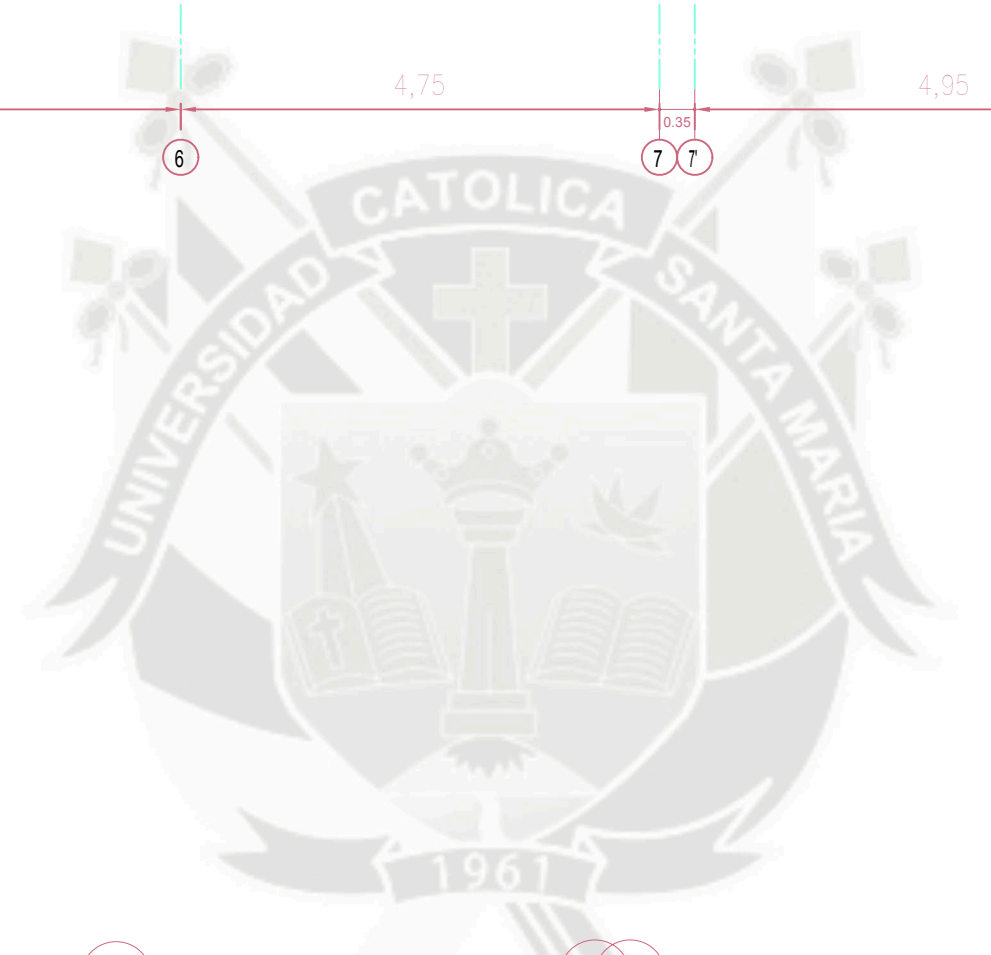
PLANOS

PUERTAS		
TIPO	LARGO	ALTURA
P1	1.62	2.00
P2	1.52	2.00
P3	1.75	2.00
P4	1.66	2.00
P5	1.74	2.00
P6	1.66	2.00
P7	1.74	2.00
P8	1.74	2.00
P9	1.66	2.00
P10	1.66	2.00
P11	1.66	2.00
P12	1.75	2.00
P13	1.62	2.00
P14	1.66	2.00
P15	1.62	2.00

VENTANAS			
TIPO	LARGO	ALTURA	ALFEIZO
V1	1.60	0.825	2.175
V2	1.67	0.825	2.175
V3	1.50	0.825	2.175
V4	1.57	0.825	2.175
V5	1.57	0.825	2.175
V6	1.50	0.825	2.175
V7	1.60	0.825	2.175
V8	1.67	0.825	2.175
V9	1.50	0.825	2.175
V10	1.57	0.825	2.175
V11	1.57	0.825	2.025
V12	1.60	0.825	2.025
V13	1.67	0.825	2.025
V14	1.50	0.825	1.975
V15	1.57	0.825	1.975
V16	1.57	0.825	1.975
V17	1.57	0.825	1.975
V18	1.50	1.00	0.75
V19	1.60	1.00	0.75
V20	1.67	1.00	0.75
V21	1.60	1.00	0.75
V22	1.50	1.00	0.75
V23	1.57	1.00	0.75
V24	1.57	1.00	0.75
V25	1.50	1.00	0.75
V26	1.57	1.00	0.75
V27	1.57	1.00	0.75
V28	1.50	1.00	0.75
V29	1.57	1.00	0.75
V30	1.57	1.00	0.75
V31	1.50	1.00	0.75
V32	1.57	1.00	0.75
V33	1.57	1.00	0.75
V34	1.50	1.00	0.75
V35	1.57	1.00	0.75
V36	1.57	1.00	0.75
V37	1.50	1.00	0.75
V38	1.57	1.00	0.75
V39	1.57	1.00	0.75
V40	1.50	1.00	0.75
V41	1.57	1.00	0.75
V42	1.57	1.00	0.75
V43	1.50	1.00	0.75
V44	1.57	1.00	0.75
V45	1.57	1.00	0.75
V46	1.50	1.00	0.75
V47	1.57	1.00	0.75
V48	1.57	1.00	0.75
V49	1.50	1.00	0.75
V50	1.57	1.00	0.75
V51	1.57	1.00	0.75
V52	1.50	1.00	0.75
V53	1.57	1.00	0.75
V54	1.57	1.00	0.75
V55	1.50	1.00	0.75
V56	1.57	1.00	0.75
V57	1.57	1.00	0.75
V58	1.50	1.00	0.75
V59	1.57	1.00	0.75
V60	1.57	1.00	0.75
V61	1.50	1.00	0.75
V62	1.57	1.00	0.75
V63	1.57	1.00	0.75
V64	1.50	1.00	0.75
V65	1.57	1.00	0.75
V66	1.57	1.00	0.75
V67	1.50	1.00	0.75
V68	1.57	1.00	0.75
V69	1.57	1.00	0.75
V70	1.50	1.00	0.75
V71	1.57	1.00	0.75
V72	1.57	1.00	0.75
V73	1.50	1.00	0.75
V74	1.57	1.00	0.75
V75	1.57	1.00	0.75
V76	1.50	1.00	0.75
V77	1.57	1.00	0.75
V78	1.57	1.00	0.75
V79	1.50	1.00	0.75
V80	1.57	1.00	0.75
V81	1.57	1.00	0.75
V82	1.50	1.00	0.75
V83	1.57	1.00	0.75
V84	1.57	1.00	0.75
V85	1.50	1.00	0.75
V86	1.57	1.00	0.75
V87	1.57	1.00	0.75
V88	1.50	1.00	0.75
V89	1.57	1.00	0.75
V90	1.57	1.00	0.75
V91	1.50	1.00	0.75
V92	1.57	1.00	0.75
V93	1.57	1.00	0.75
V94	1.50	1.00	0.75
V95	1.57	1.00	0.75
V96	1.57	1.00	0.75
V97	1.50	1.00	0.75
V98	1.57	1.00	0.75
V99	1.57	1.00	0.75
V100	1.50	1.00	0.75

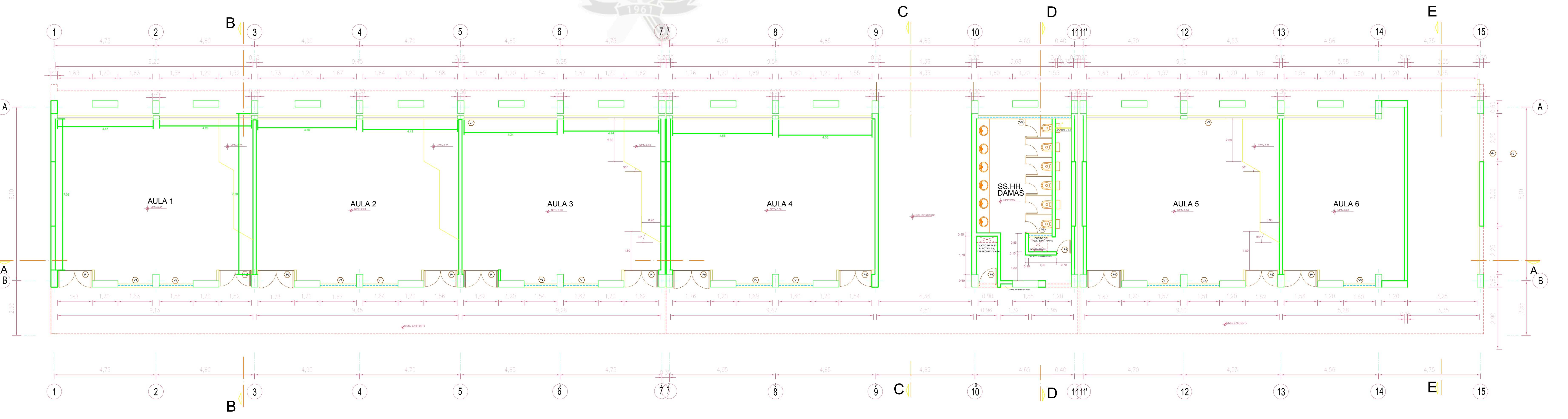


PABELLON C - SEGUNDO Y TERCER PISO



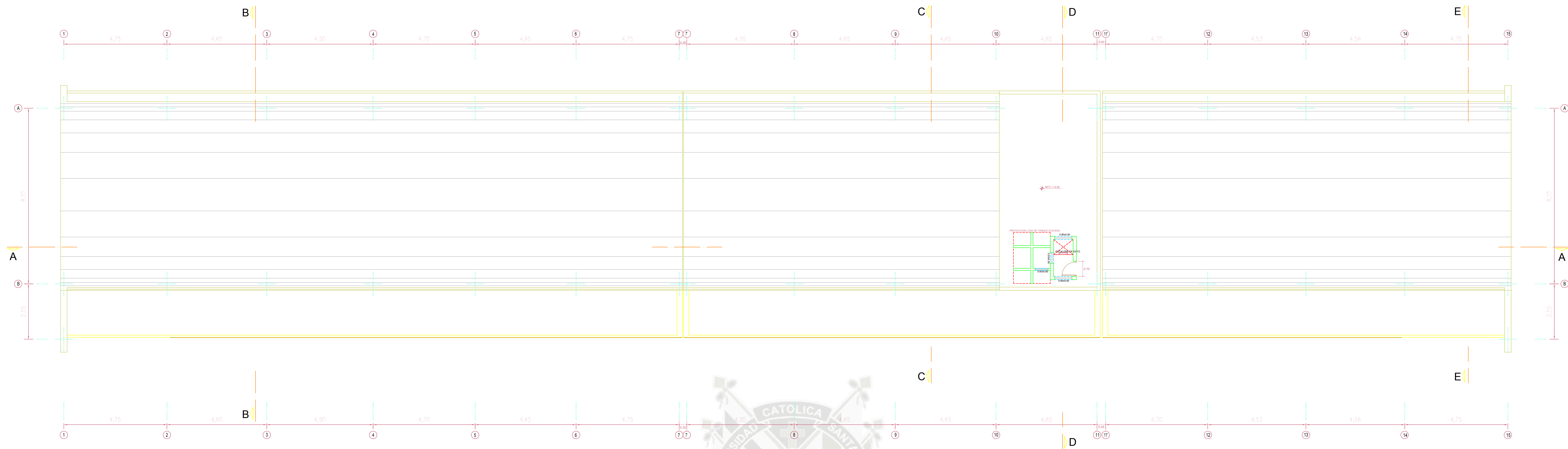
PUERTAS		
TIPO	LARGO	ALTURA
P1	1.62	2.00
P2	1.52	2.00
P3	1.75	2.00
P4	1.66	2.00
P5	1.74	2.00
P6	1.66	2.00
P7	1.74	2.00
P8	1.66	2.00
P9	1.66	2.00
P10	1.66	2.00
P11	1.66	2.00
P12	1.75	2.00
P13	1.62	2.00
P14	1.66	2.00
P15	1.62	2.00

VENTANAS			
TIPO	LARGO	ALTURA	ALFEIZO
V1	1.60	0.825	2.175
V2	1.67	0.825	2.175
V3	1.50	0.825	2.175
V4	1.57	0.825	2.175
V5	1.57	0.825	2.175
V6	1.50	0.825	2.175
V7	1.60	0.825	2.175
V8	1.67	0.825	2.175
V9	1.50	0.825	2.175
V10	1.57	0.825	2.175
V11	1.57	0.825	2.025
V12	1.60	0.825	2.025
V13	1.67	0.825	2.025
V14	1.50	0.825	1.975
V15	1.57	0.825	1.975
V16	1.57	0.825	1.975
V17	1.57	0.825	1.975
V18	1.50	1.00	0.75
V19	1.60	1.00	0.75
V20	1.67	1.00	0.75
V21	1.60	1.00	0.75
V22	1.50	1.00	0.75
V23	1.57	1.00	0.75
V24	1.57	1.00	0.75
V25	1.50	1.00	0.75
V26	1.57	1.00	0.75
V27	1.57	1.00	0.75
V28	1.50	1.00	0.75
V29	1.57	1.00	0.75
V30	1.57	1.00	0.75
V31	1.50	1.00	0.75
V32	1.57	1.00	0.75
V33	1.57	1.00	0.75
V34	1.50	1.00	0.75
V35	1.57	1.00	0.75
V36	1.57	1.00	0.75
V37	1.50	1.00	0.75
V38	1.57	1.00	0.75
V39	1.57	1.00	0.75
V40	1.50	1.00	0.75
V41	1.57	1.00	0.75
V42	1.57	1.00	0.75
V43	1.50	1.00	0.75
V44	1.57	1.00	0.75
V45	1.57	1.00	0.75
V46	1.50	1.00	0.75
V47	1.57	1.00	0.75
V48	1.57	1.00	0.75
V49	1.50	1.00	0.75
V50	1.57	1.00	0.75
V51	1.57	1.00	0.75
V52	1.50	1.00	0.75
V53	1.57	1.00	0.75
V54	1.57	1.00	0.75
V55	1.50	1.00	0.75
V56	1.57	1.00	0.75
V57	1.57	1.00	0.75
V58	1.50	1.00	0.75
V59	1.57	1.00	0.75
V60	1.57	1.00	0.75
V61	1.50	1.00	0.75
V62	1.57	1.00	0.75
V63	1.57	1.00	0.75
V64	1.50	1.00	0.75
V65	1.57	1.00	0.75
V66	1.57	1.00	0.75
V67	1.50	1.00	0.75
V68	1.57	1.00	0.75
V69	1.57	1.00	0.75
V70	1.50	1.00	0.75
V71	1.57	1.00	0.75
V72	1.57	1.00	0.75
V73	1.50	1.00	0.75
V74	1.57	1.00	0.75
V75	1.57	1.00	0.75
V76	1.50	1.00	0.75
V77	1.57	1.00	0.75
V78	1.57	1.00	0.75
V79	1.50	1.00	0.75
V80	1.57	1.00	0.75
V81	1.57	1.00	0.75
V82	1.50	1.00	0.75
V83	1.57	1.00	0.75
V84	1.57	1.00	0.75
V85	1.50	1.00	0.75
V86	1.57	1.00	0.75
V87	1.57	1.00	0.75
V88	1.50	1.00	0.75
V89	1.57	1.00	0.75
V90	1.57	1.00	0.75
V91	1.50	1.00	0.75
V92	1.57	1.00	0.75
V93	1.57	1.00	0.75
V94	1.50	1.00	0.75
V95	1.57	1.00	0.75
V96	1.57	1.00	0.75
V97	1.50	1.00	0.75
V98	1.57	1.00	0.75
V99	1.57	1.00	0.75
V100	1.50	1.00	0.75

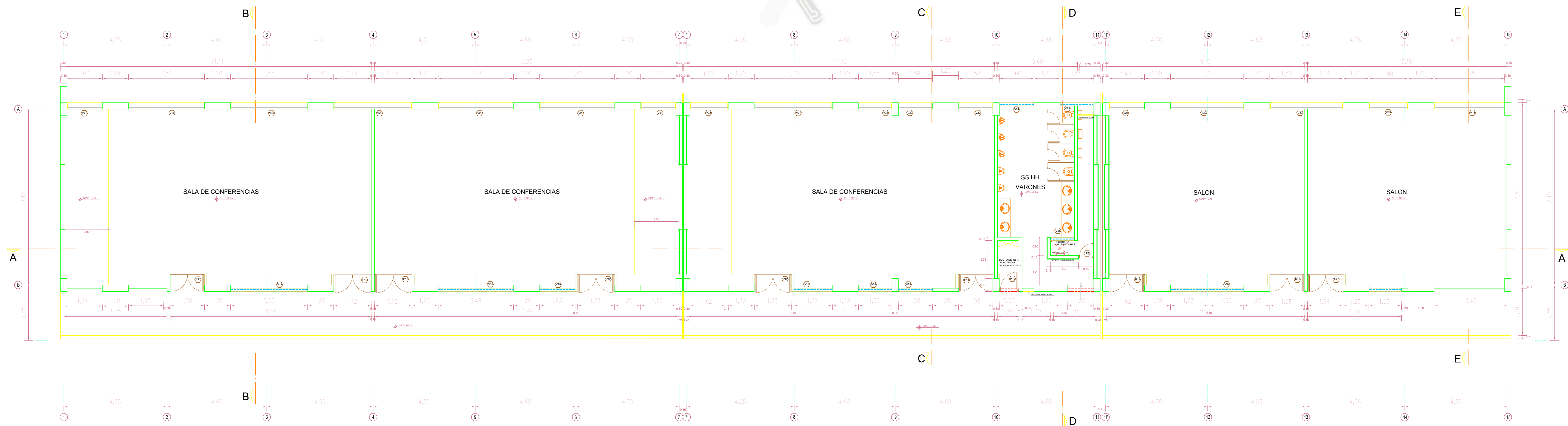


PABELLON C - PRIMER PISO

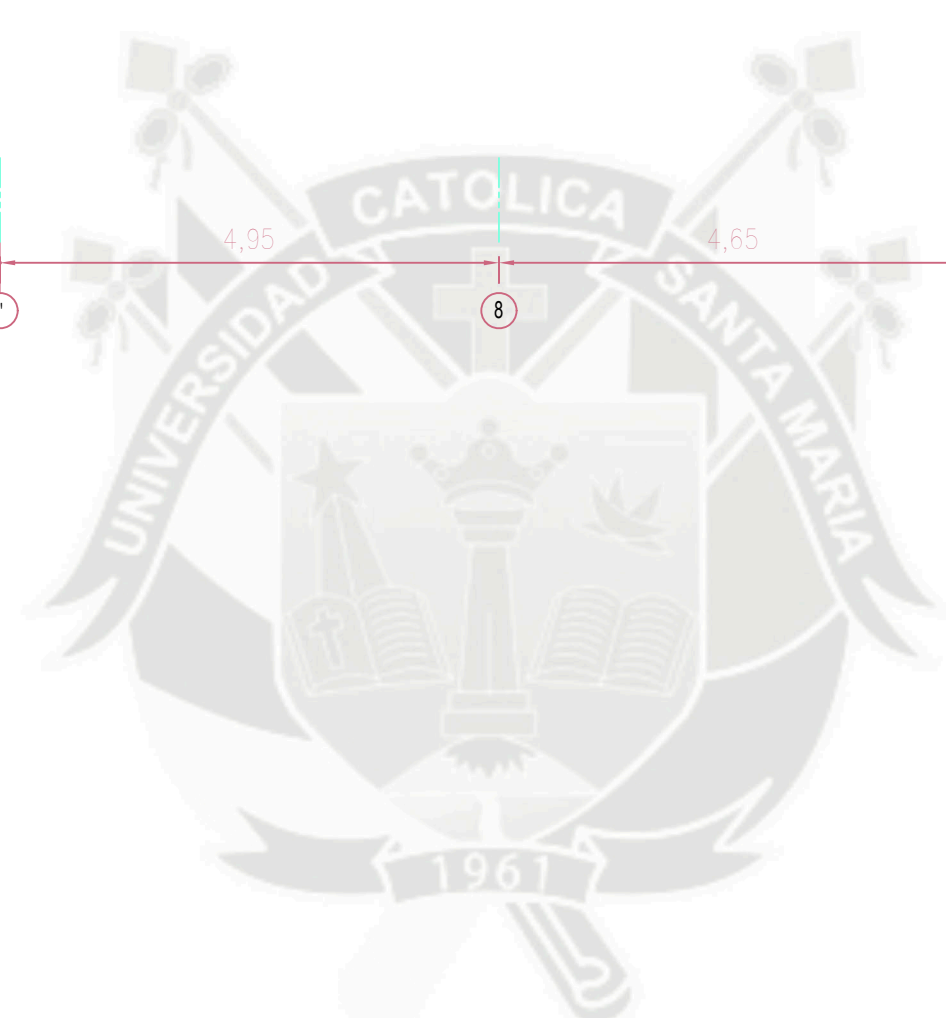
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		AUTORES BACH. JEAQUELINE KAROL PADRI ARENAS BACH. YEBENIA SOFIA CONTRERAS MALLMA	
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE		DIRECTOR DE TESIS ING. OSCAR FELIX CHÁVEZ	
PLANO DISTRIBUCIÓN 1, 2 Y 3 PLANTA	ESD 1/75	FECHA: 13-07-2014	A-1



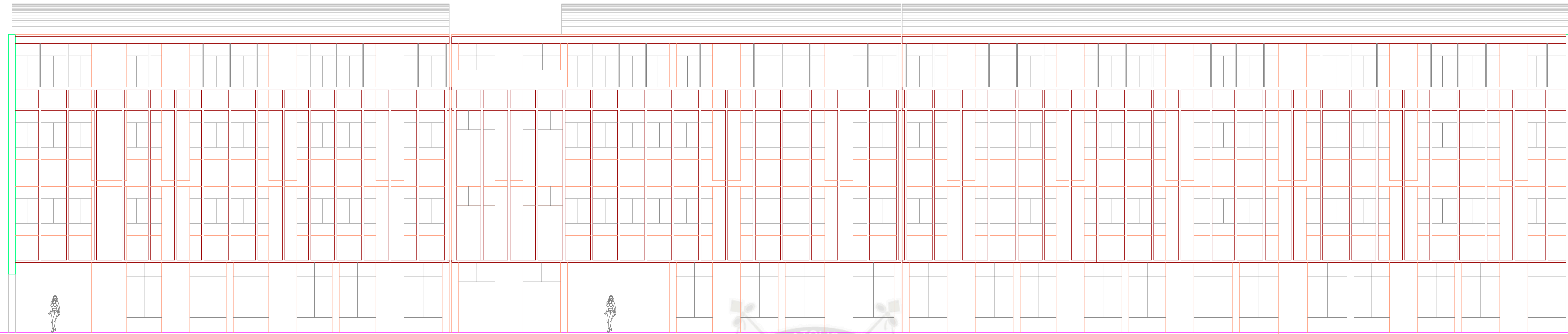
PABELLON C - PLANTA DE TECHOS



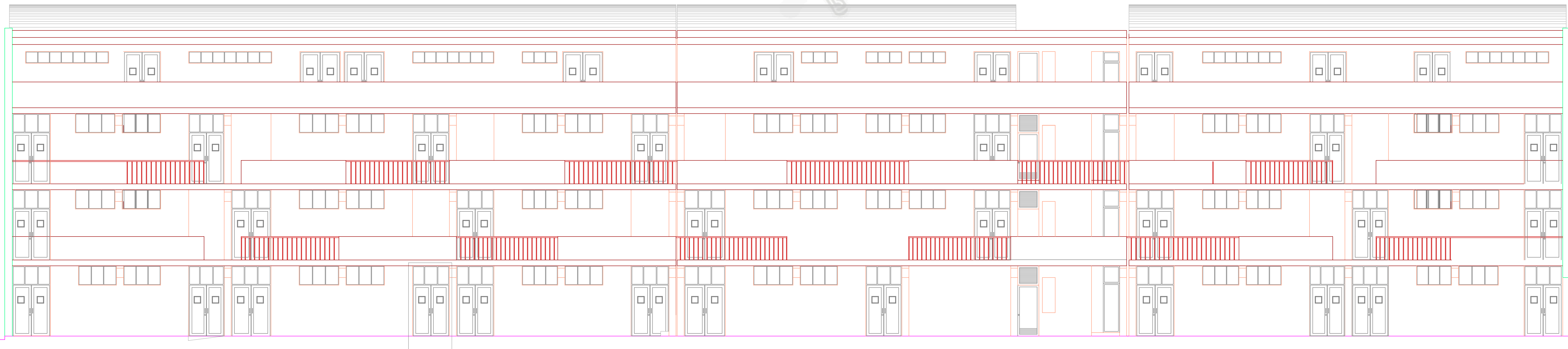
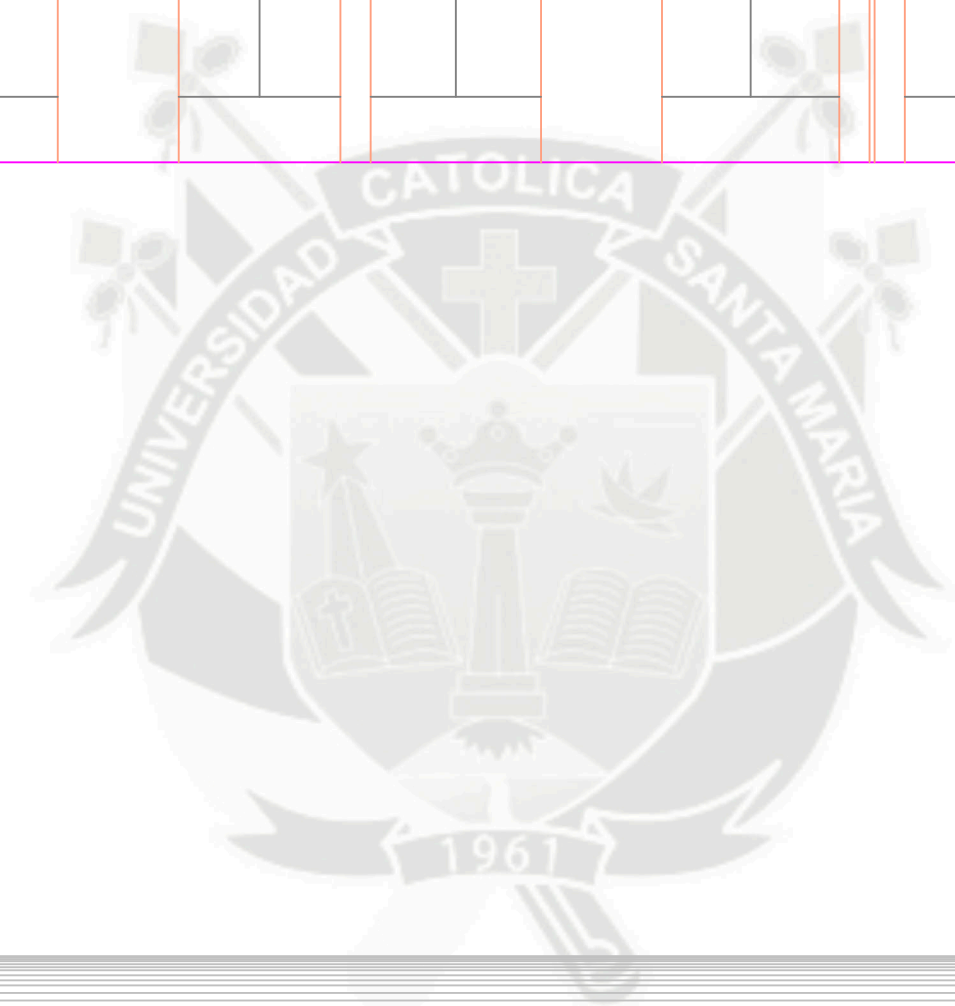
PABELLON C - CUARTO PISO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		AUTORES	
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE		BACH. ISAQUELINE KAROL PADSI ARENAS BACH. YEBENIA SOFÍA CONTRERAS MALLMA	
PLANO	ESG 1/75	FECHA:	13-07-2018
DISTRIBUCIÓN 4 PLANTA Y TECHO		DIRECTOR DE TESIS ING. OSCAR FÉLIX CHÁVEZ	



PABELLON C - ELEVACION PRINCIPAL

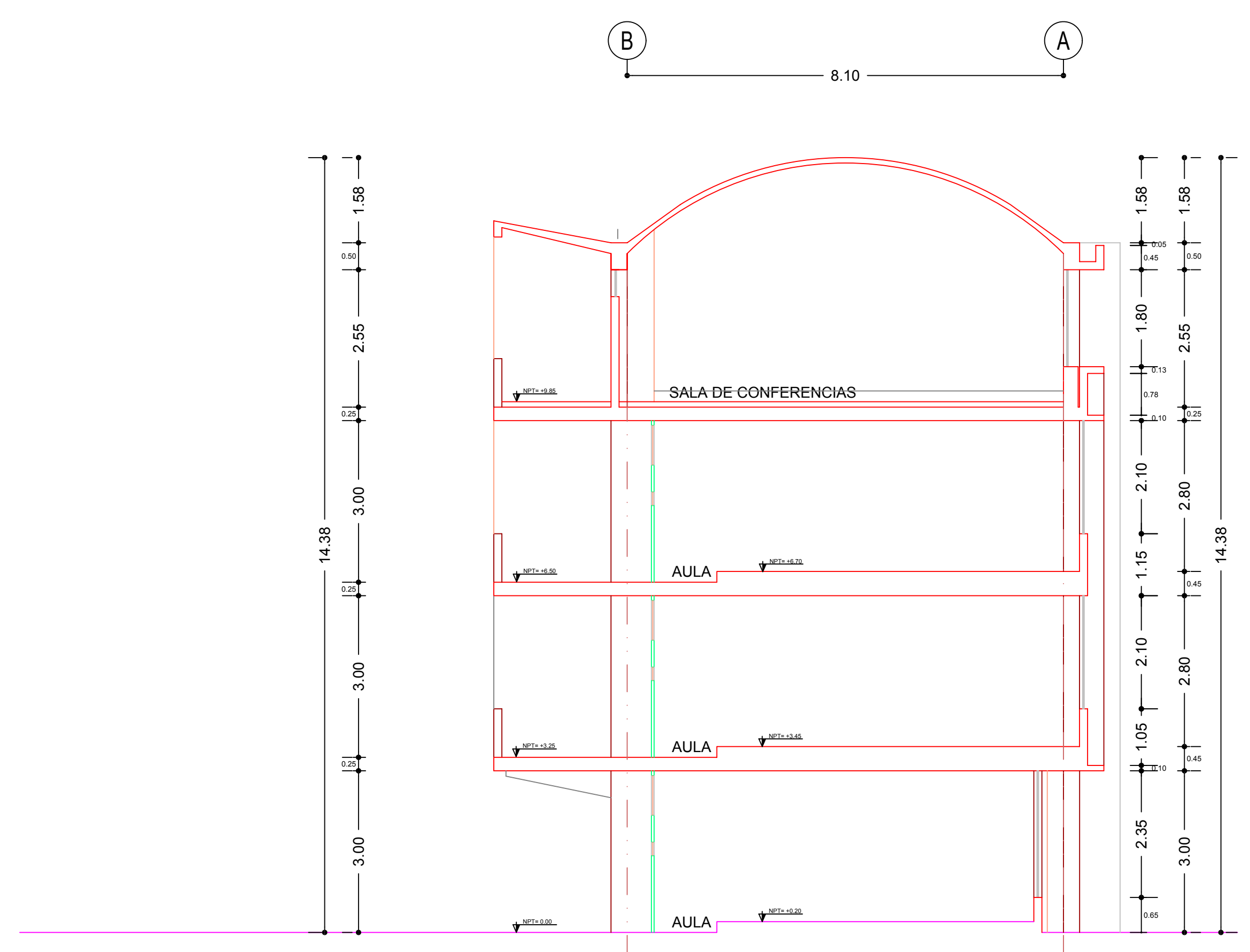


PABELLON C - ELEVACION POSTERIOR

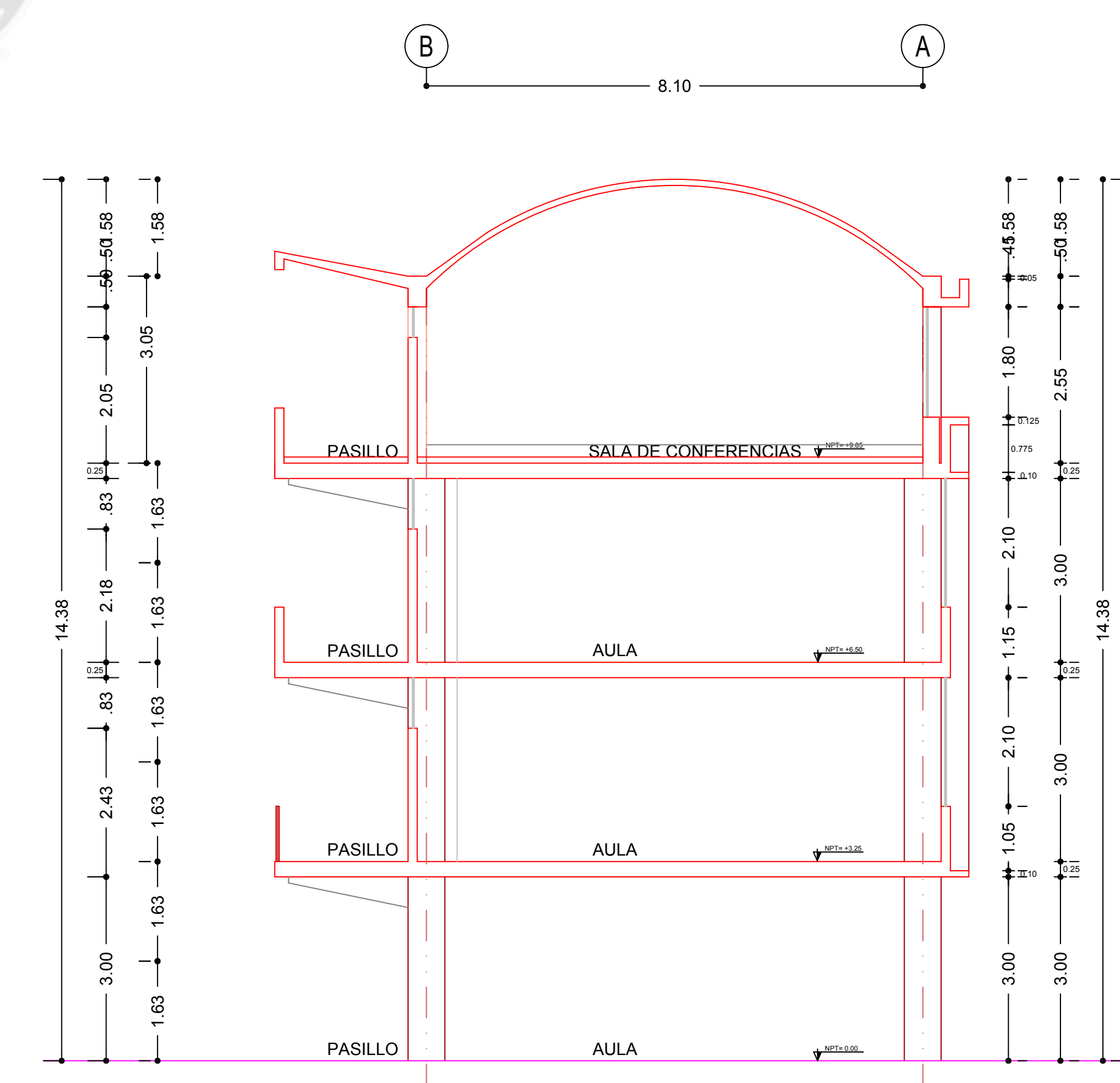
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA			AUTORES BACH. JEQUELINE KAROL PACSI ARENAS BACH. YESÉNIA SOFÍA CONTRERAS MALLMA	A-3
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE				
PLANO ELEVACIÓN PRINCIPAL Y POSTERIOR	ESC 1/75	FECHA: 13-07-2016	DIRECTOR DE TESIS ING. OSCAR FÉLIX CHÁVEZ	



PABELLON C - SECCION A - A

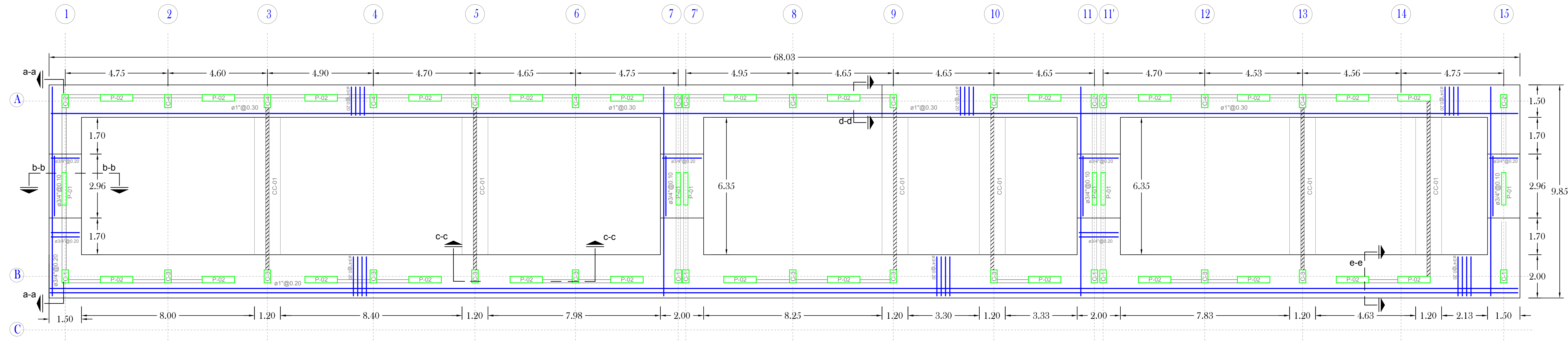


PABELLON C - SECCION B - B

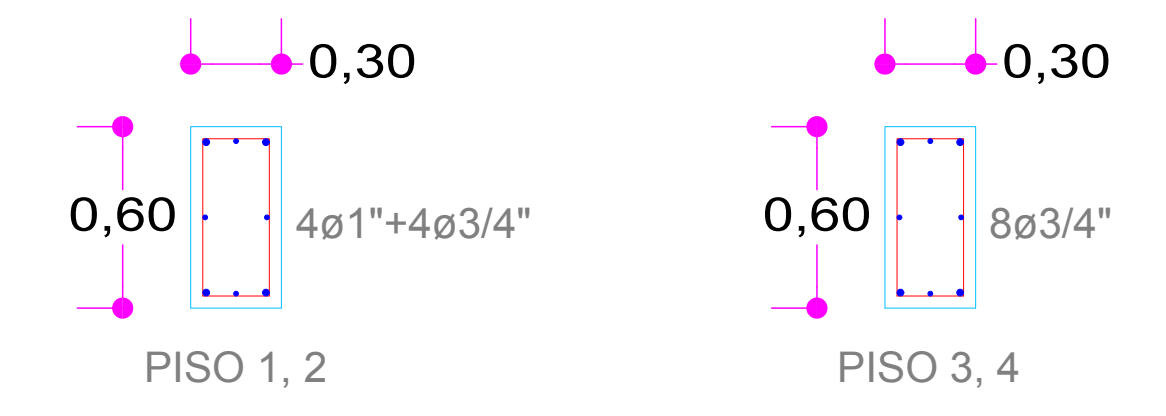
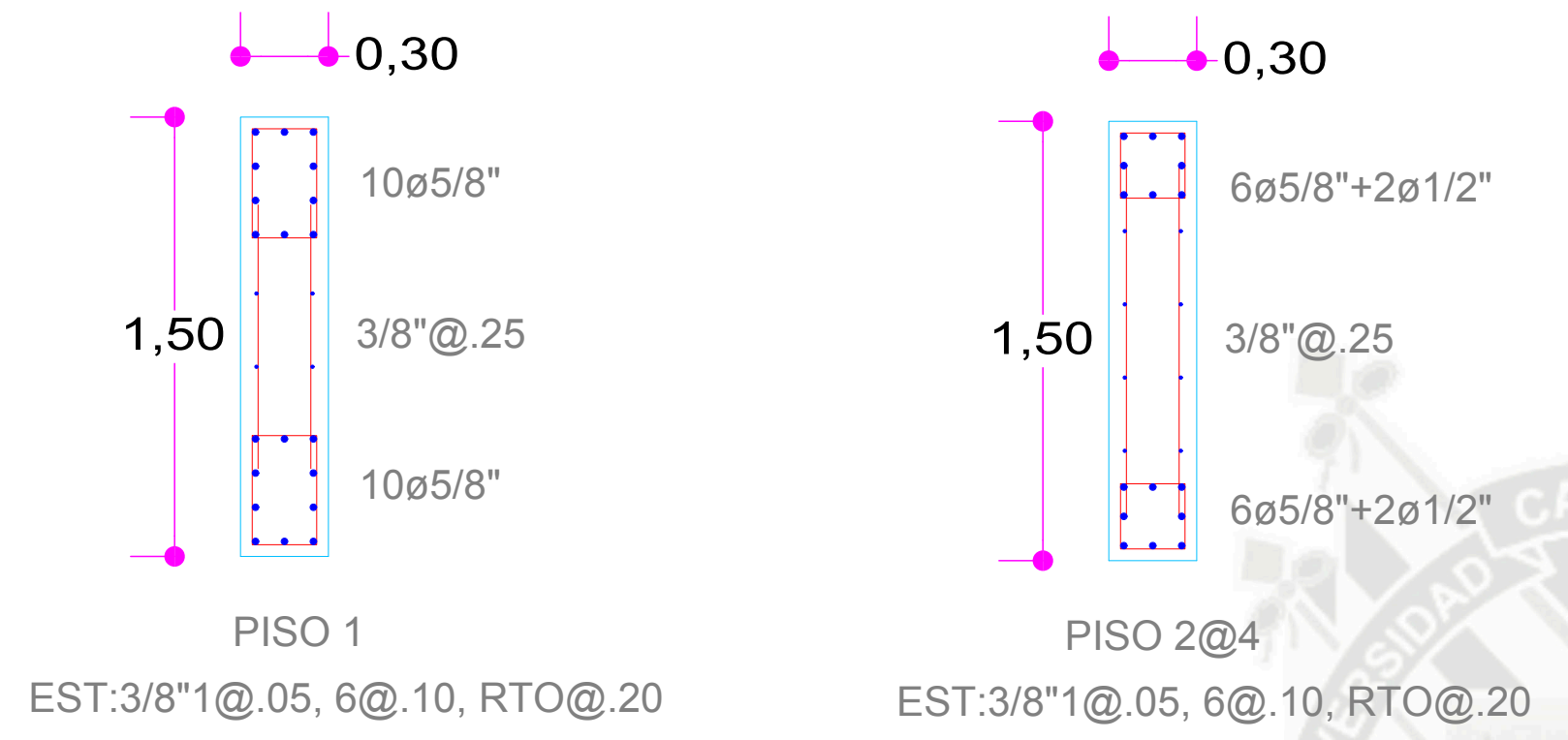
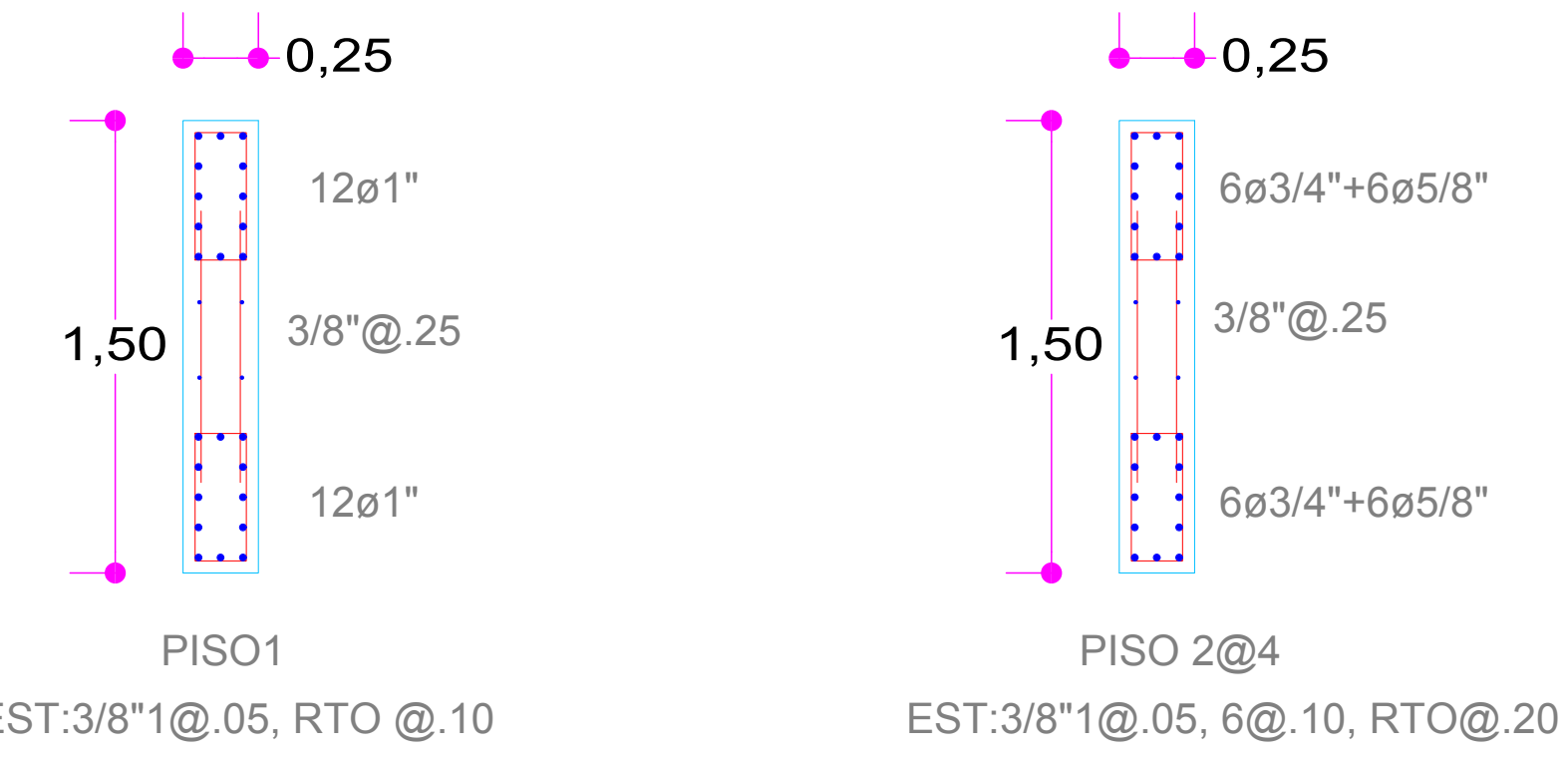
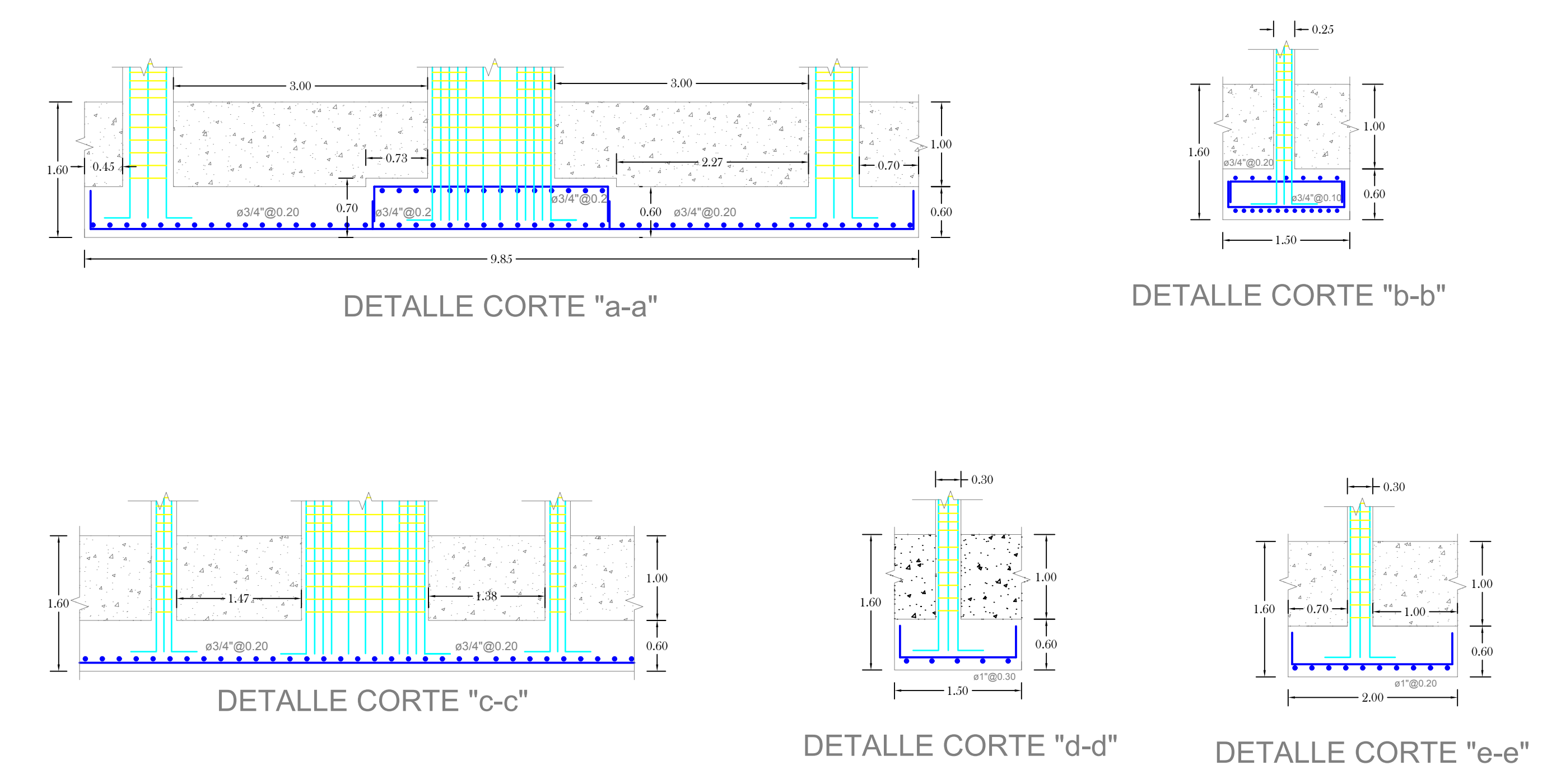


PABELLON C - SECCION C - C

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		AUTORES		A-4
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE		BACH. JEAQUELINE KAROL PAGSI ARENAS BACH. YESENIA SOTÍA CONTRERAS MALLMA		
PLANO CORTES	ESC 1/75	FECHA: 13-07-2016	DIRECTOR DE TESIS ING. OSCAR FÉLIX CHÁVEZ	



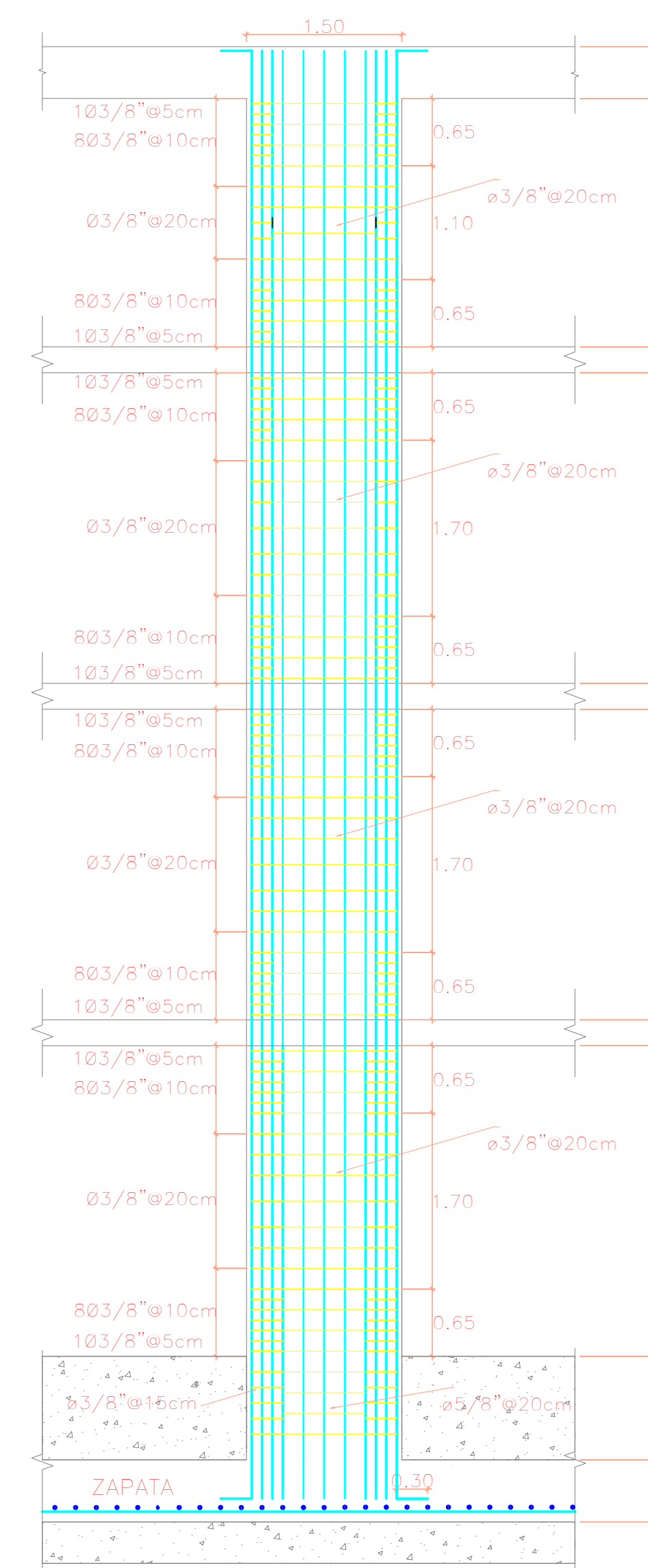
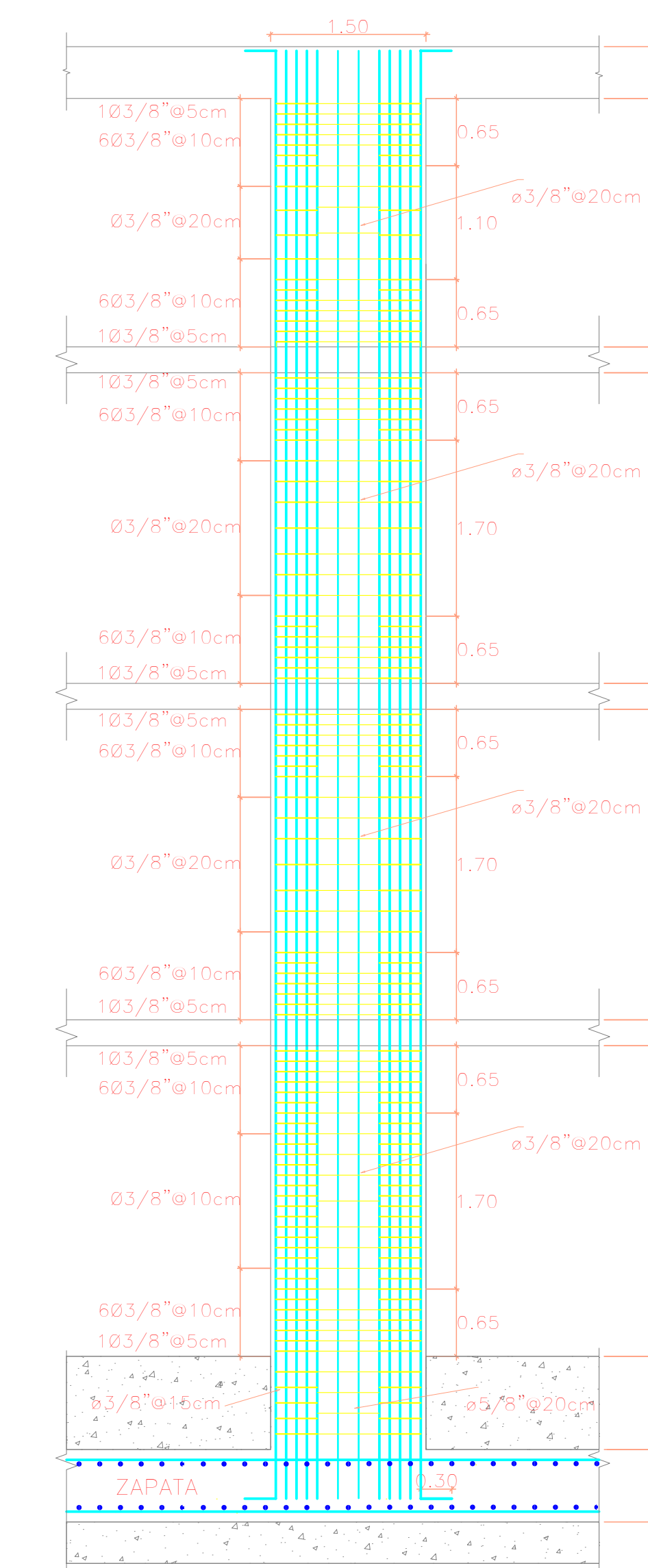
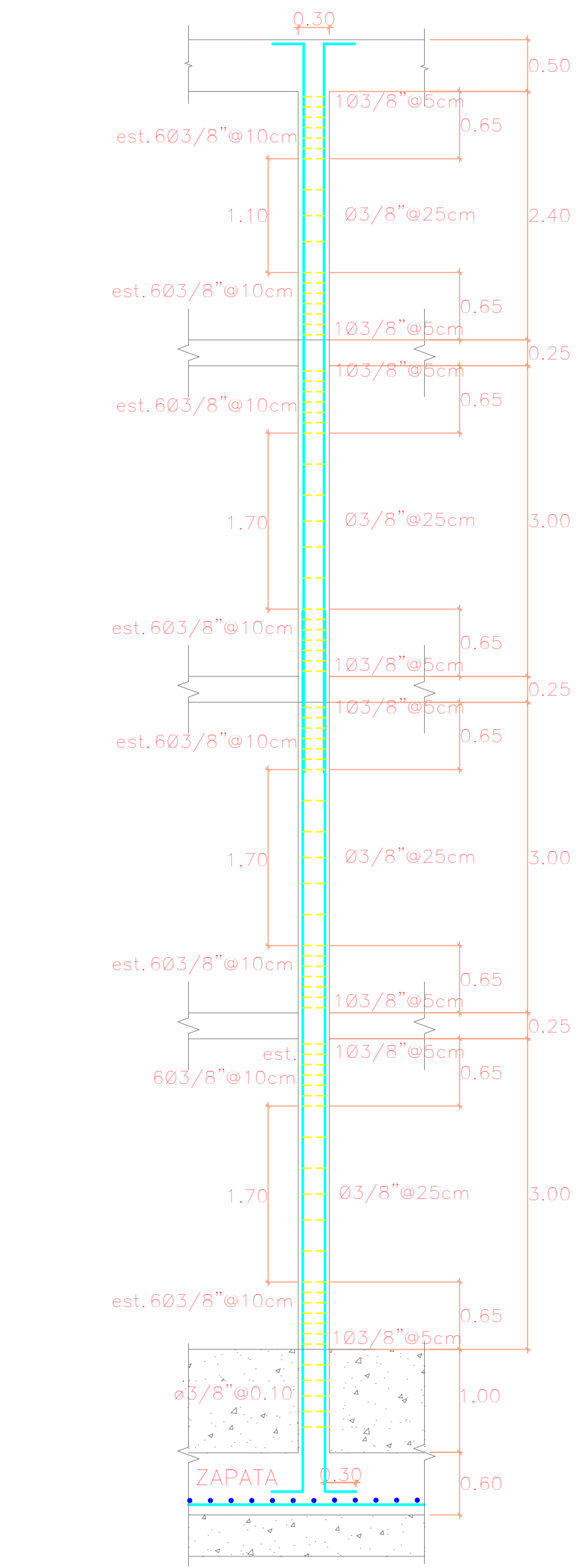
PLANO DE CIMENTACIÓN
Esc 1/100



COLUMNA C-1
VER CUADRO DE ESTRIBOS
ESC 1/25

PLACA 1
ESC 1/50

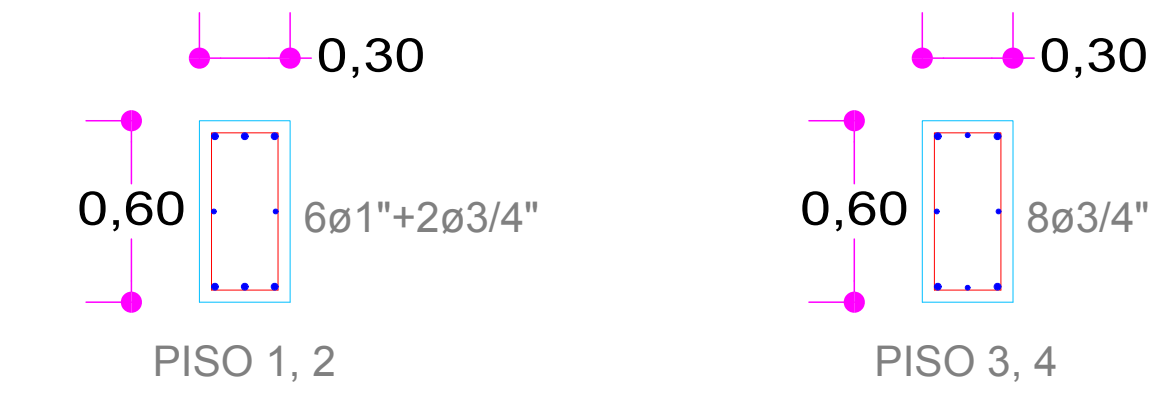
PLACA 2
ESC 1/50



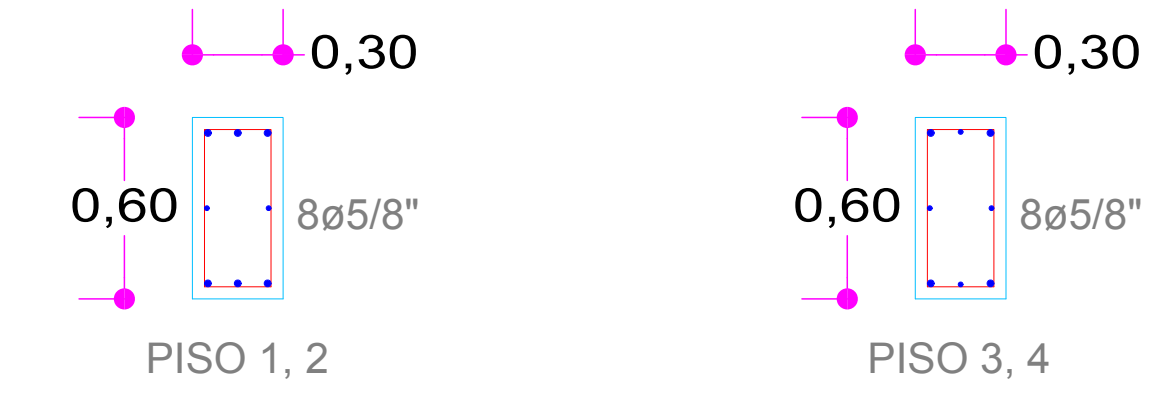
DETALLE COLUMNAS
ESC 1/50

DETALLE PLACA P-01
ESC 1/50

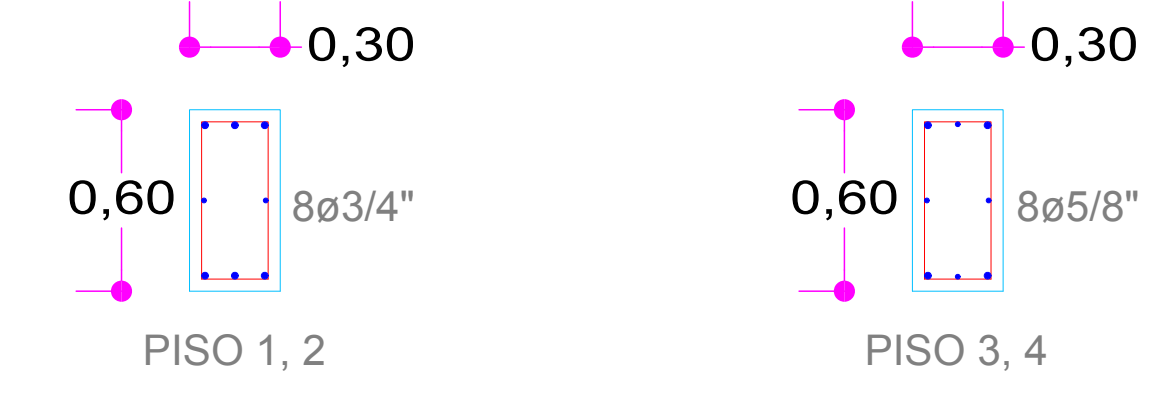
DETALLE PLACA P-02
ESC 1/50



COLUMNA C-2
VER CUADRO DE ESTRIBOS
ESC 1/25



COLUMNA C-3
VER CUADRO DE ESTRIBOS
ESC 1/25

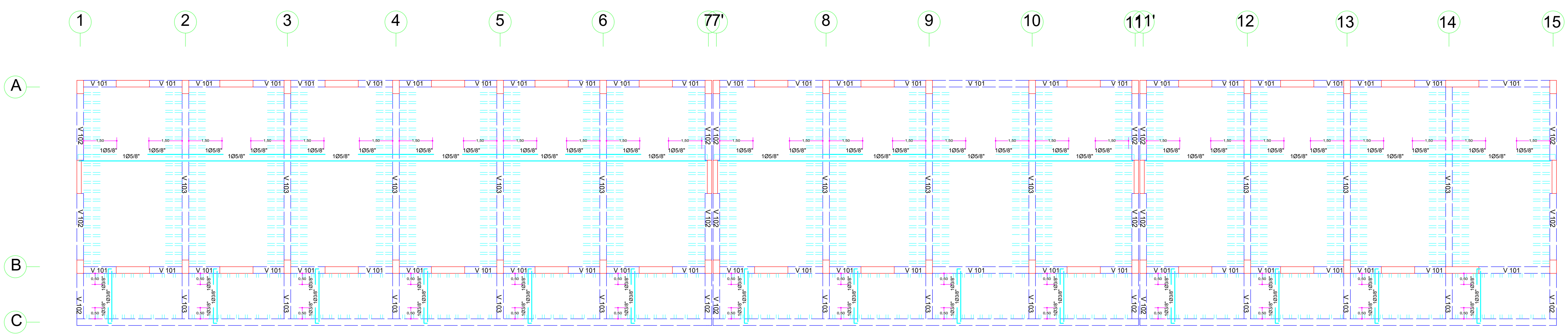


COLUMNA C-4
VER CUADRO DE ESTRIBOS
ESC 1/25

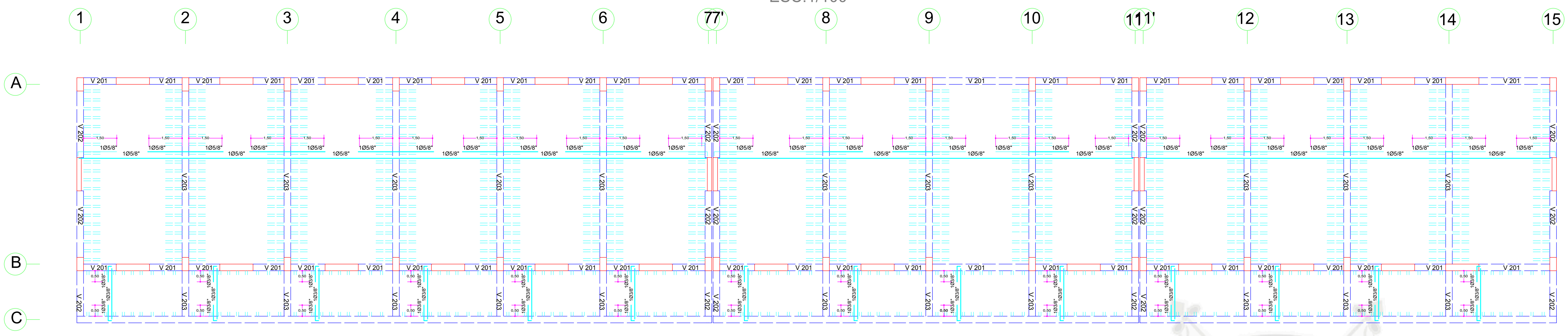
ESPECIFICACIONES TECNICAS

- A) **CONCRETO ARMADO**
 VIGAS Y COLUMNAS : f_c = 280 Kg/cm²
 PLACAS : f_c = 280 Kg/cm²
 ANILLO DE CIMENTACIÓN : f_c = 280 Kg/cm²
 ALIGERADO : f_c = 210 Kg/cm²
- B) **CONCRETO CICLOPEO**
 SOBRECIMENTOS C^o C^o : f_c = 140 Kg/cm² MAX.
 FALSO PISO C^o S^o : 1:10 (CHI) e = 4"
- C) **ACERO**
 : f_y = 4,200 kg/cm²
 ASTM - A615 GRADO 60
- D) **CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE**
 : f = 4,00 Kg/cm²
- E) **ALBANILERIA**
 : LADRILLO KK = TIPO P = 180 Kg/cm²
 MORTERO = P1 : 1/4:3 1/2 CEMENTO: CAL: ARENA
- F) **CARGAS**
 ACABADOS Y PISOS : 100 Kg/m²
 EQUIVALENTE TABIQUERIA : 100 Kg/m²
 AULAS : 250 Kg / m²
 PASILLOS : 400 Kg / m²
- G) **RECUBRIMIENTOS MINIMOS**
 VIGAS Y COLUMNAS : 3.0 cm
 LOSAS : 2.5 cm
 ZAPATAS : 4.0 cm
 MUROS C^o A^o : 4.0 cm
- H) **TRASLAPES**
 ø3/8" = 45 cm
 ø1/2" = 50 cm
 ø5/8" = 60 cm
 ø3/4" = 70 cm
 ø1" = 125 cm

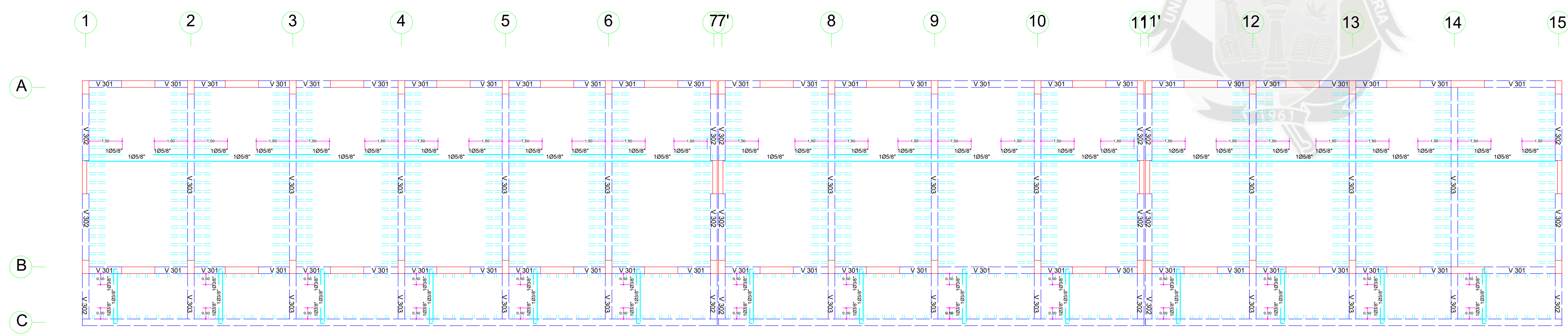
CUADRO DE ESTRIBOS		
SECCION	PISO	ESTRIBOS
C-1	PISO 1 y 2	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
C-1	PISO 3 y 4	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
C-2	PISO 1 y 2	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
C-2	PISO 3 y 4	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
C-3	PISO 1 y 2	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
C-3	PISO 3 y 4	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
C-4	PISO 1 y 2	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
C-4	PISO 3 y 4	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
P-01	PISO 1	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
P-01	PISO 2@4	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
P-02	PISO 1	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20
P-02	PISO 2@4	ø3/8" 1@0.05; 6@0.10; rto@0.20



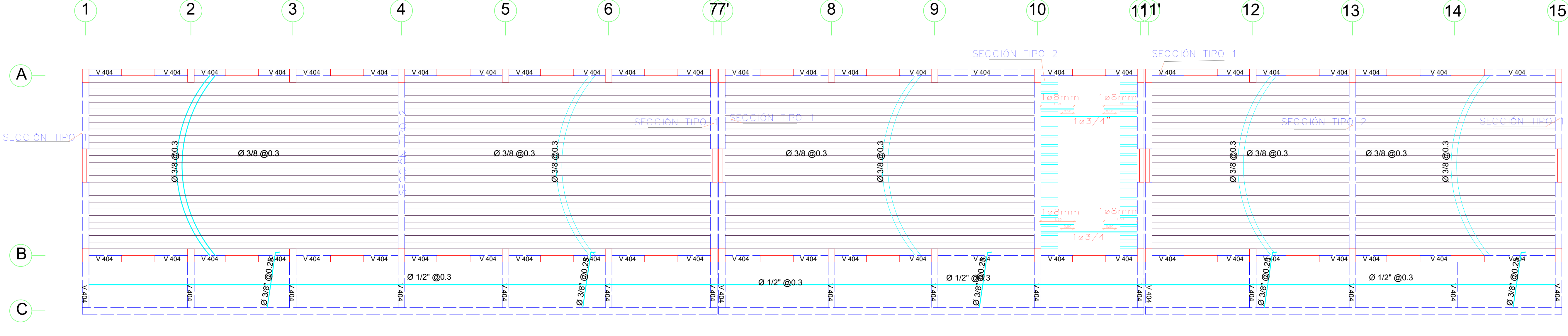
ALIGERADO PRIMER PISO
ESP: 20 cm
ESC: 1/100



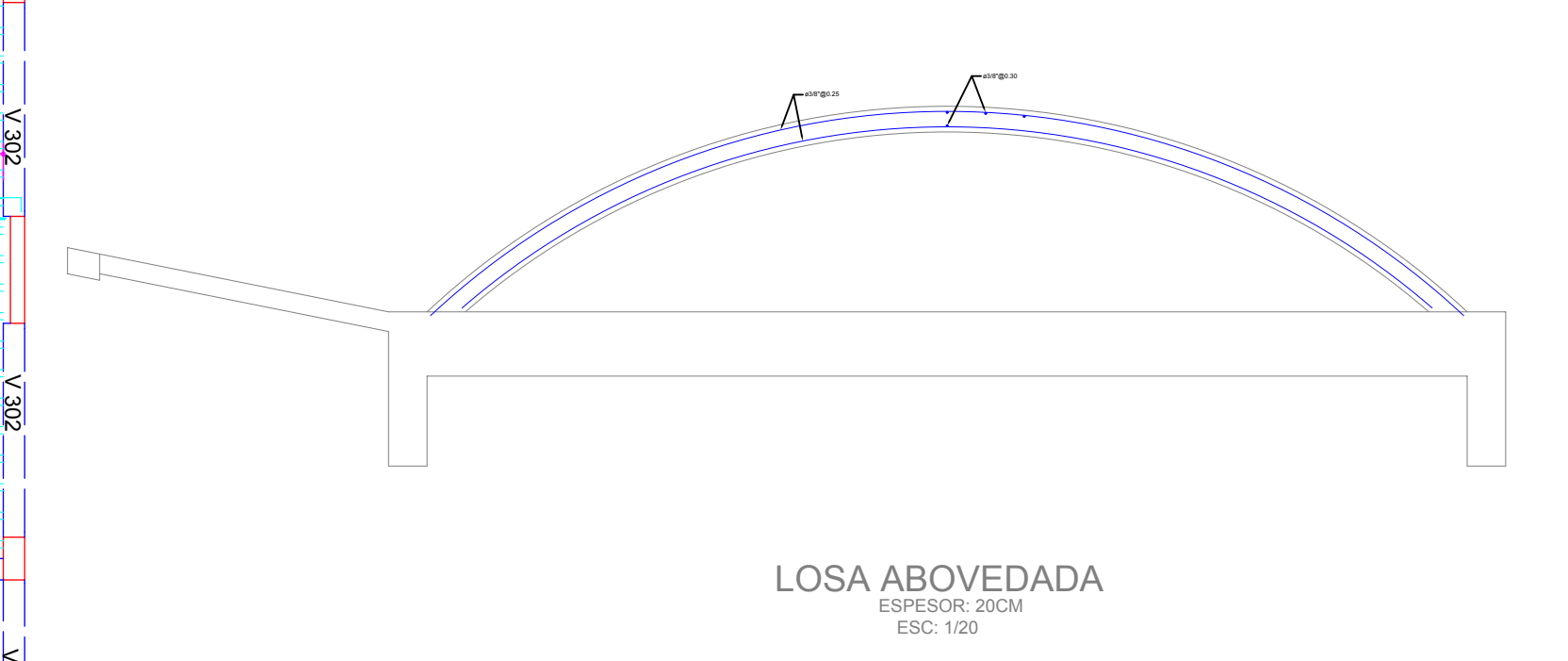
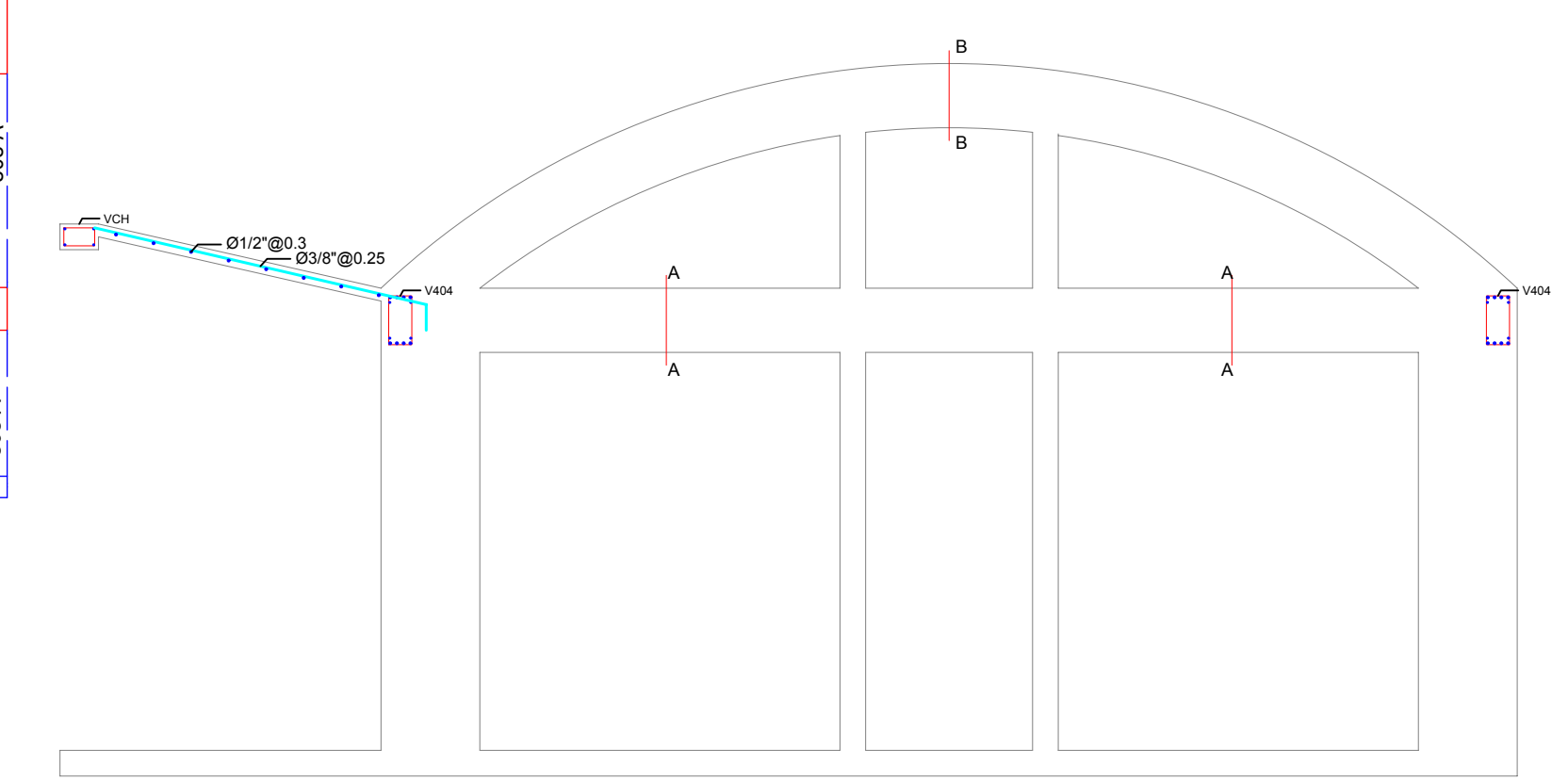
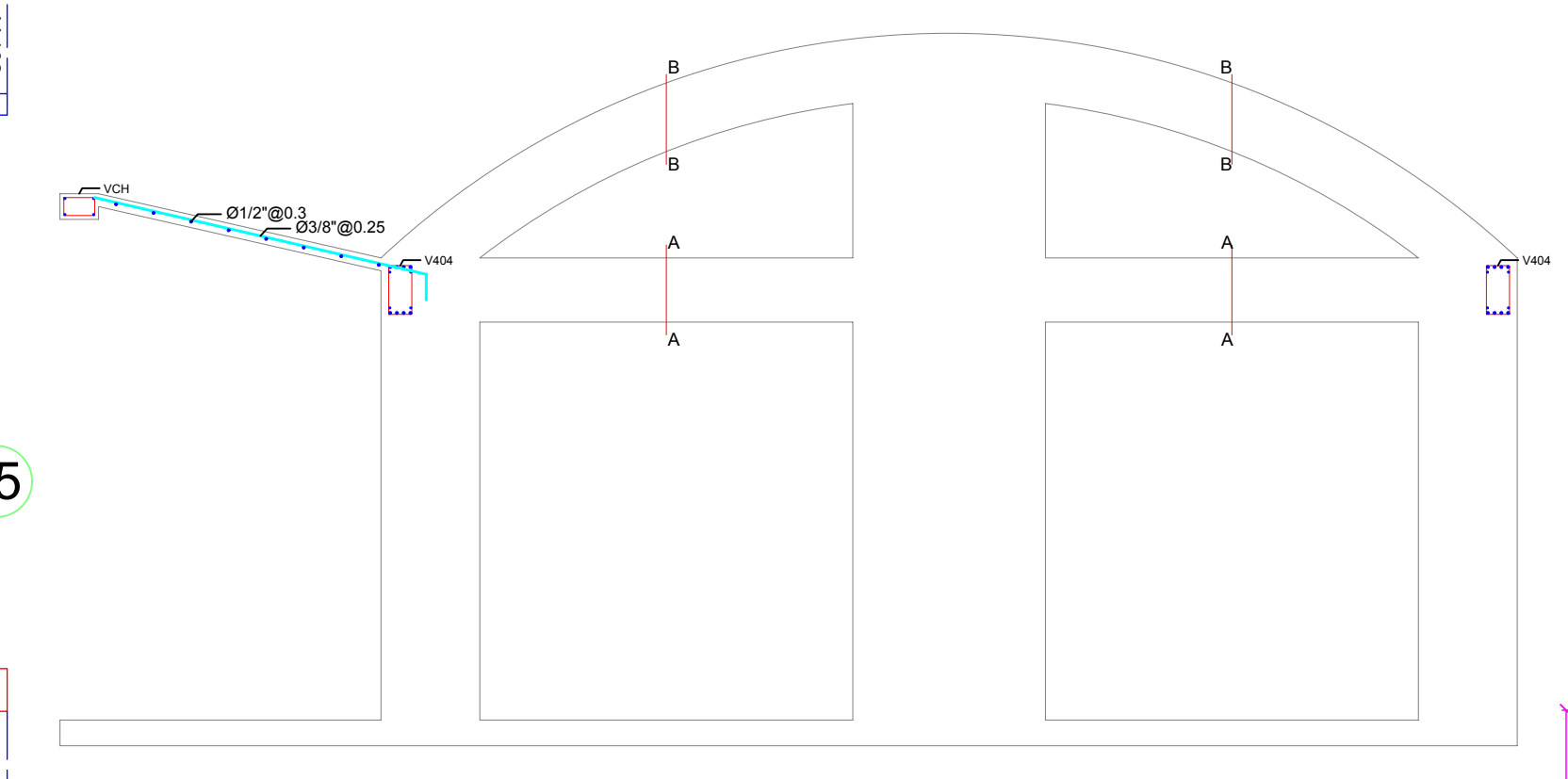
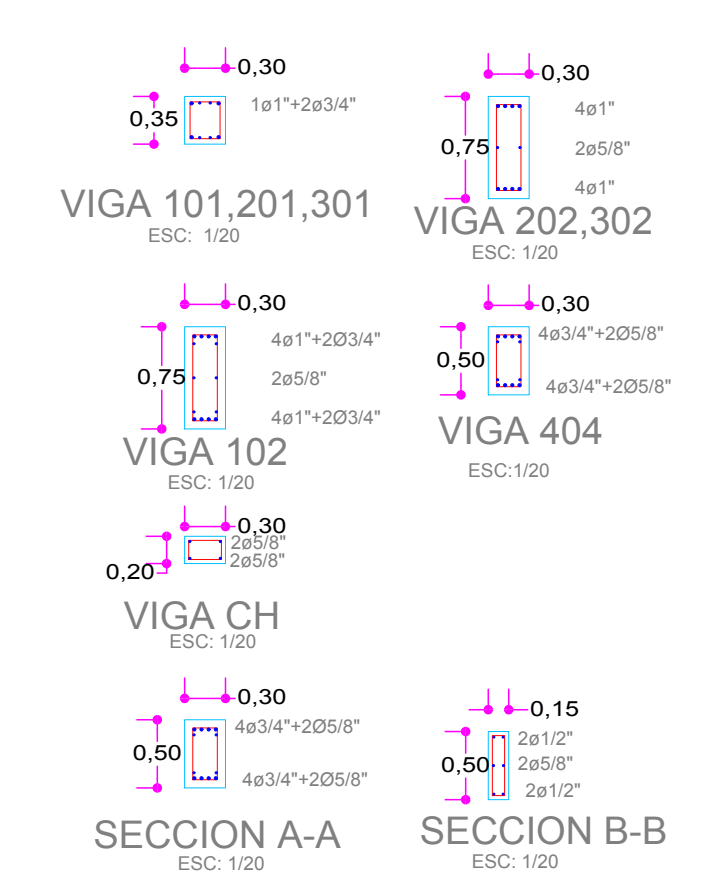
ALIGERADO SEGUNDO PISO
ESP: 20 cm
ESC: 1/100



ALIGERADO TERCER PISO
ESP: 20 cm
ESC: 1/100



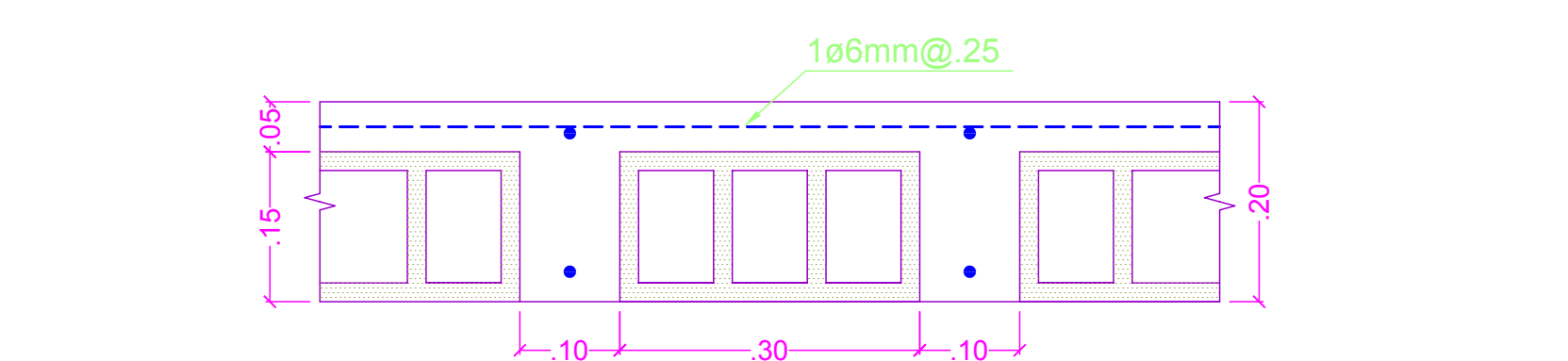
ALIGERADO CUARTO PISO
ESP: 20 cm
ESC: 1/100



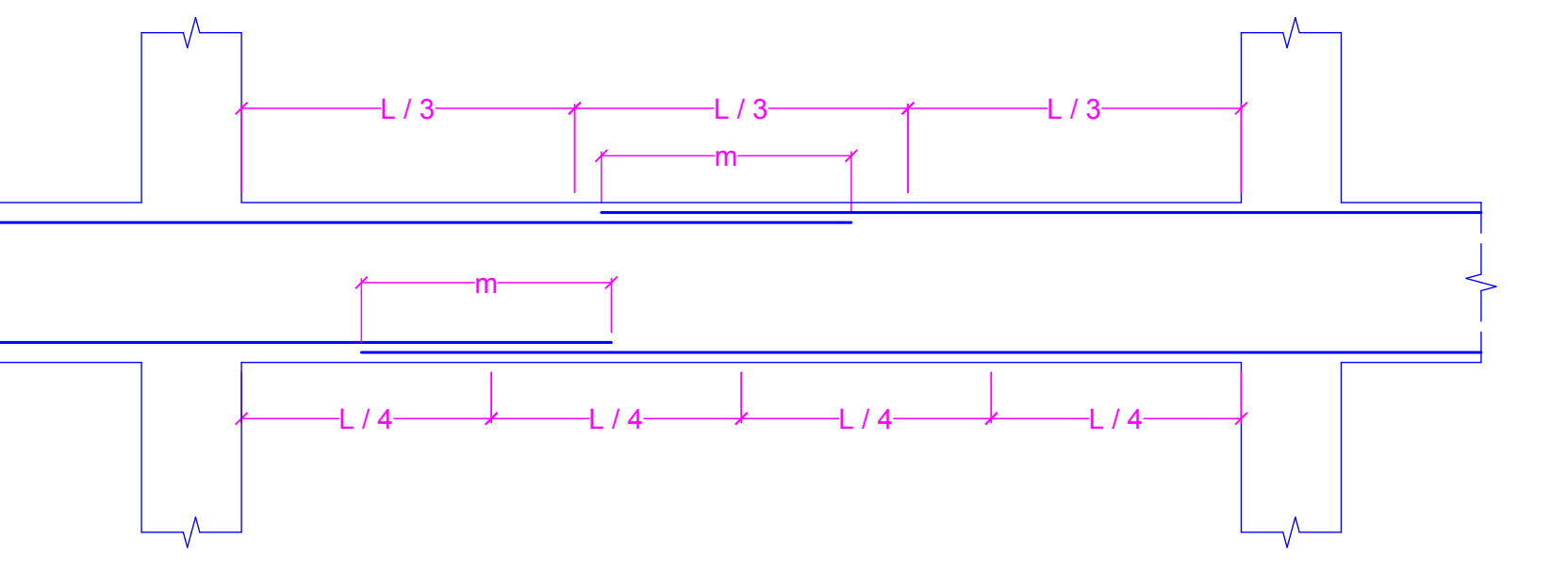
CHATAS

Ø	6
1/2"	25
5/8"	30
3/4"	35

ANCLAJE DE VIGAS



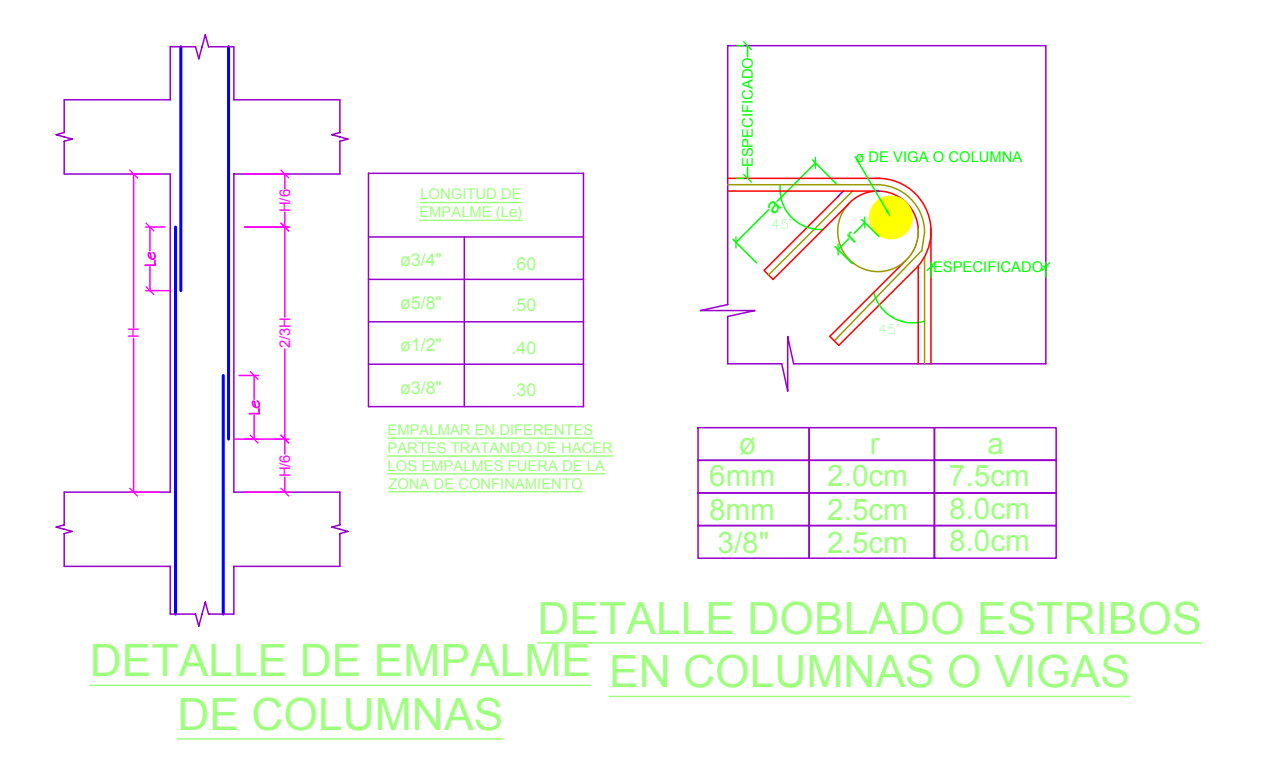
EMPALMES TRASLAPADOS PARA VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS



NOTA:
1) NO EMPALMAR MAS DEL 50% DEL AREA TOTAL EN UNA MISMA SECCION.
10) EN CASO DE NO EMPALMARSE EN LAS ZONAS INDICADAS CON LAS MEDIDAS ESPECIFICADAS, AUMENTAR LA LONGITUD DE EMPALME EN 30% O CONSULTAR AL PROYECTISTA.

VALORES DE m

Ø	Reforzo inferior		Reforzo superior	
	H cualquiera	H < 35	H >= 35	H >= 35
3/8"	.40	.40	.50	.50
1/2"	.50	.50	.60	.60
5/8"	.60	.60	.80	.80
3/4"	.70	.70	.90	.90



ESPECIFICACIONES TECNICAS

<p>CONCRETO ARMADO</p> <p>VIGAS Y COLUMNAS : f_c = 280 kg/cm²</p> <p>PLACAS : f_c = 280 kg/cm²</p> <p>ANILLO DE CIMENTACION : f_c = 280 kg/cm²</p> <p>ALIGERADO : f_c = 210 kg/cm²</p>	<p>CONCRETO CICLOPEO:</p> <p>SORRETIMIENTOS C' C' : f_c = 140 kg/cm²</p> <p>FALSO PISO C' S' : f_c = 110 kg/cm²</p>	<p>CACERO</p> <p>f_y = 4,200 kg/cm²</p> <p>ASTM - A413 GRADO 40</p>	<p>CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE:</p> <p>f = 4,200 kg/cm²</p>	<p>ALBAÑILERIA</p> <p>ADREJO KE = FC20 = 180 kg/cm²</p> <p>MORTERO = P1 : 1/4 : 3 1/2 CEMENTO : CAL : ARENA</p>	<p>CARGAS</p> <p>JACARADOS Y PISOS : 100 kg/m²</p> <p>EQUIVALENTE TABUQUERIA : 100 kg/m²</p> <p>AGUA : 200 kg/m²</p> <p>PASELO : 400 kg/m²</p>	<p>RECURRIMIENTOS MINIMOS</p> <p>VIGAS Y COLUMNAS : 3.0 cm</p> <p>LOSAS : 2.5 cm</p> <p>ZAPATAS : 4.0 cm</p> <p>MARGEN C' A' : 4.0 cm</p>	<p>TRASLAPES</p> <p>Ø 3/8" = 40 cm</p> <p>Ø 1/2" = 50 cm</p> <p>Ø 5/8" = 60 cm</p> <p>Ø 3/4" = 70 cm</p> <p>Ø 1" = 100 cm</p>	<p>SEMO 'X'</p> <p>f = 0.35 U = 1.50</p> <p>f = 1.30 f = 0.25</p> <p>f = 0.51 f = 0.05</p> <p>Sistema Estructural Simposiente:</p> <p>Muros Estructurales</p> <p>C : +2.5</p> <p>H : +13.25 m</p> <p>CI : +0</p> <p>T : +0.2</p> <p>R : +4.2</p> <p>Altura Nivel : +0.30 m</p> <p>Abastio : +0.20 m</p> <p>V x : +310.78 m</p>
---	--	---	--	---	---	--	--	---

