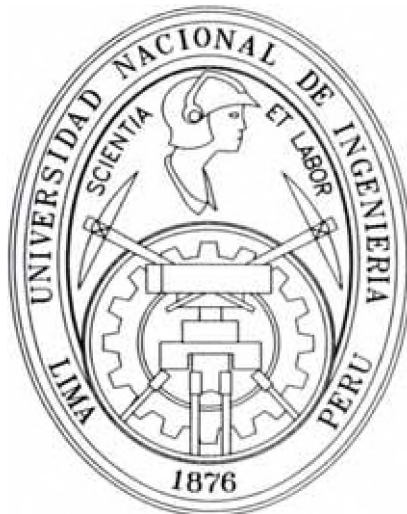


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE PISCO

TESIS

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL**

MIGUEL ANGEL DIAZ PARDAVE

LIMA – PERÚ

2010

DEDICATORIA.

A mis padres y mi hermana por la comprensión y confianza que depositaron en mí durante mis estudios en el programa de pregrado en la UNI y durante la realización de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar quisiera agradecer a Dios por ser mi fuerza cada día. Así mismo también a mi Asesor de tesis Dr. Ing. Zenón Aguilar Bardales por incentivar me en realizar la tesis cada día e impartir su conocimiento a través de sus clases de Dinámica de Suelos dictadas en el programa de postgrado en la UNI y por guiarme en mi formación como asistente de investigación en el Laboratorio Geotécnico del CISMID. También agradecerle por el apoyo incondicional, comprensión y guía brindados durante el desarrollo de esta investigación. Sin duda, sin la ayuda del Dr. Aguilar esta tesis culminada no sería una realidad.

También agradecer a mi asesor espiritual Padre Juan Luis Lazarte por ser mi guía espiritual en mi camino de Fe y a todos mi hermanos en Cristo de la comunidad Encuentro Promoción Juvenil – Capilla Francisco Javier – EPJ - UNI, por apoyarme en sus consejos y su amistad sincera.

Al Laboratorio Geotécnico del CISMID en donde se desarrolló esta investigación y a mis amigos Hortencia Flores, Henry Muñoz, Daniel Basurto, Pablo Peri, Ramiro Piedra, Jorge Chavez y Gladys Talaverano; así como también al personal que labora en este laboratorio.

Finalmente, agradecer a mis padres y hermana por el apoyo incondicional que me han brindado durante mi formación profesional.

INDICE

RESUMEN.....	IV
LISTA DE TABLAS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	IX

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES 1

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Datos geográficos del área de estudio	2
1.3.1. Ubicación geográfica.....	2
1.3.2. Población.....	3
1.3.3. Accesibilidad	3
1.3.4. Clima	3
1.4. Contenido del Estudio	4

CAPÍTULO 2: CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE LA CIUDAD DE PISCO..... 6

2.1. Características geológicas.....	6
2.2. Geomorfología.....	8
2.3. Geodinámica.....	8
2.3.1. Geodinámica interna.....	8
2.3.2. Geodinámica externa.....	9
2.4. Hidrogeología	10
2.4.1. Identificación de afloramientos de agua subterránea	10
2.4.2. Red de flujo de aguas subterráneas	10

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE PISCO..... 11

3.1. Introducción.....	11
3.2. Neotectónica de las principales fuentes sismogénicas de la región en estudio.....	11
3.2.1. Emplazamiento tectónico regional	11
3.2.2. Sistemas de fallas en la Región Centro-Sur del Perú	12
3.3. Sismotectónica regional.....	13

3.3.1. Sismicidad del área de influencia	13
3.4. Análisis de peligro sísmico probabilístico.....	15
3.4.1. Introducción.....	15
3.4.2. Evaluación y caracterización de las fuentes sismogénicas.....	16
3.4.3. Atenuación de las ondas sísmicas.....	17
3.4.4. Determinación del peligro sísmico probabilístico	17
3.4.5. Cálculo de espectros de peligro sísmico uniforme	19
3.5. Análisis de peligro sísmico determinístico.....	20

CAPÍTULO 4: CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA CIUDAD DE PISCO **22**

4.1. Introducción.....	22
4.2. Exploración de campo	23
4.3. Perfil de suelos.....	23
4.3.1. Ciudad de Pisco	23
3.1.2. San Andrés.....	25
3.1.3. Túpac Amaru	26
4.4. Microzonificación geotécnica de la ciudad de Pisco.....	27

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LOS SUELOS..... **30**

5.1. Introducción.....	30
5.2. El terremoto de Pisco del 15 de agosto del 2007.....	30
5.2.1. Tiempo historia de aceleraciones y espectros de respuesta del evento principal.	32
5.3. Medición de microtrepidaciones en la ciudad de Pisco.....	33
5.3.1. Mapa de curvas isoperiodos	35
5.4. Ensayos de medición de ondas de corte-método MASW.....	36
5.4.1. Fundamentos de los Ensayos MASW	38
5.4.2. Equipo e instrumentos utilizados.....	39
5.4.3. Procedimiento de los trabajos de campo	40
5.4.4. Procesamiento e interpretación de la información	40
5.5. Amplificación unidimensional de ondas sísmicas.....	52
5.5.1. Métodos de evaluación del efecto local.....	53

5.5.2. Teoría de la propagación unidimensional de ondas de corte.....	54
5.5.3. Descripción del programa SHAKE	54
5.5.4. Perfiles sísmicos de análisis	55
5.5.4.1. Perfil de suelo de Pisco.....	55
5.5.4.2. Perfil de Suelo de la Estación Colegio Ingenieros CDL-CIP..	55
5.5.5. Sismo de Entrada	56
5.5.6. Metodología.....	58
5.5.7. Análisis de la respuesta dinámica de los perfiles	63

CAPÍTULO 6: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE PISCO 71

6.1. Introducción.....	71
6.2. Evaluación de Inundación por tsunami en la ciudad de Pisco.....	71
6.3. Microzonificación sísmica de la ciudad de Pisco	72

CONCLUSIONES.....77

RECOMENDACIONES.....84

BIBLIOGRAFÍA.....85

ANEXOS.....92

Anexo I:	Curva de probabilidad de excedencia anual de aceleraciones espectrales.
Anexo II:	Espectros de peligro sísmico uniforme.
Anexo III:	Los resultados de ensayos de campo y laboratorio realizados.
Anexo IV:	Registros de las ondas sísmicas de ensayo MASW.
Anexo V:	Curvas de dispersión.
Anexo VI:	Sondajes sísmicos.
Anexo VII:	Perfiles Sísmicos analizados.
Anexo VIII:	Espectros de respuesta de aceleraciones en la superficie del terreno.
Anexo IX:	Relaciones Espectrales.
Anexo X:	Curvas de los Espectros de Diseño.
Anexo XI:	Panel fotográfico.
Anexo XII:	Planos

RESUMEN

La Ciudad de Pisco está ubicada en el Departamento de Ica, comprende aproximadamente el 0,6% de la superficie de la provincia de Pisco. En los últimos años esta ciudad ha experimentado un fuerte crecimiento económico debido a la actividad turística, y está en un proceso de expansión urbana, por lo tanto, el presente estudio será de gran utilidad en el ordenamiento territorial del distrito.

En su elaboración se recurrieron a los estudios básicos de geología y geomorfología, se identificó el origen de los depósitos de suelos y sus formaciones en el lugar. Para la evaluación de la sismicidad de la zona y la determinación de escenarios sísmicos se llevaron a cabo análisis de peligro sísmico mediante métodos probabilísticos y los perfiles de ondas S, distribuidos en toda la Ciudad de Pisco. Permitiendo trazar los espectros de respuesta en la superficie, este espectro se comparó con los parámetros que define la Norma sismorresistente actual.

El estudio geotécnico consistió en recopilar información de estudios de mecánica de suelos y realizar los ensayos de campo (calicatas, SPT, etc.) para densificar con los ensayos en el área de estudio. Toda esta información fue plasmada en mapas con herramientas de SIG, elaborándose mapas de distribución de suelos, también se hizo el análisis de capacidad portante en estos suelos, con estos resultados se pudo trazar el plano de microzonificación geotécnica sísmica. La caracterización dinámica de los suelos se llevó a cabo realizando mediciones de microtrepidaciones y ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW) en toda el área de estudio, y análisis de respuesta dinámica por efectos de sitio en la ciudad de Pisco. Los valores de los parámetros dinámicos (períodos) se plasmaron en los mapas y se agruparon zonas por intervalos de períodos, llegándose a realizar una Microzonificación según el comportamiento dinámico del suelo.

Finalmente, se realizó la microzonificación geotécnica sísmica en forma integral, conjugando los resultados de los mapas de distribución de suelos y de comportamiento dinámico con la geología y la geomorfología del lugar, se llegó a delimitar cuatro zonas que definen el comportamiento del terreno según la clasificación del código de diseño sismorresistente E-030.

LISTA DE TABLAS.

Tabla 3.1. Coordenadas Geográficas de las Fuentes de Subducción.....	18
Tabla 3.2. Los parámetros de sismicidad local de las fuentes sismogénicas utilizados, determinado mediante la estadística bayesiana desarrollada.....	18
Tabla 3.3. Aceleraciones máximas para el sismo máximo considerado (MCE) para Fuentes de Subducción – Método Determinístico.	21
Tabla 3.4. Aceleraciones máximas para el sismo máximo considerado (MCE) generadas por fallas normales – Método Determinístico.	21
Tabla 5.1. Distribución de puntos de microtemores.....	34
Tabla 5.2. Relación de Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW.....	37
Tabla 5.3. Resumen de los Sondajes de Velocidades de Ondas S.....	49
Tabla 5.4. Valores correspondientes de las curvas de los Espectros de Diseño propuesto para la zonas I, II y III.....	69

LISTA DE FIGURAS.

Figura 5.1. Epicentro del sismo del 15/08/07, a 74 km en dirección Oeste de la ciudad de Pisco. La esfera representa el mecanismo focal de tipo inverso (Tavera, et al 2007).....	30
Figura 5.2. Epicentro del sismo del 20/10/06, a 90 Km al Oeste de la Ciudad de Pisco. La esfera representa el mecanismo focal (Tavera, et al 2006).....	31
Figura 5.3. Registro de Aceleración y Espectro de Respuesta del Sismo del 15/08/07 en la Estación ICA2.....	32
Figura 5.4. Curva de Dispersión.....	37
Figura 5.5. Equipo de Prospección Geofísica ES- 3000.....	38
Figura 5.6. Nomenclatura de las respuestas del terreno, (Ref. Kramer, 1996).....	52
Figura 5.7. Proceso de refracción (Ref. Kramer, 1996).....	53
Figura 5.8. Registro de Aceleración – 15/08/07 en la ESTACIÓN CDL – CIP.....	57
Figura 5.9. Registro de Aceleración Escalado para un Sismo de 0.45g.....	57
Figura 5.10. Perfil Sísmico ingresando el registro del sismo en profundidad.....	58
Figura 5.11. Curvas de Módulo de Corte y Amortiguamiento para Arenas..	59
Figura 5.12. Curvas de Módulo de Corte y Amortiguamiento para Gravas..	60

Figura 5.13. Curvas de Módulo de Corte y Amortiguamiento para Roca	61
Figura 5.14. Espectros de Respuesta (h=5%), para Sismo a 0.45g, para la Zona I.....	63
Figura 5.15. Espectros de Respuesta (h=5%), para Sismo a 0.45g, para la Zona II.....	64
Figura 5.16. Espectros de Respuesta (h=5%), para Sismo a 0.45g, para la Zona III.....	64
Figura 5.17. Relación Espectral, para Sismo a 0.45g, para la Zona I.....	66
Figura 5.18. Relación Espectral, para Sismo a 0.45g, para la Zona II.....	66
Figura 5.19. Relación Espectral, para Sismo a 0.45g, para la Zona III.....	67

LISTA DE PLANOS.

Plano P-01. Ubicación geográfica de la ciudad de Pisco.

Plano P-02. Geología superficial y geomorfología local.

Plano P-03. Ubicación de las calicatas y los sondajes con ensayos SPT.

Plano P-04. Tipos de suelos a 1,0 m de profundidad.

Plano P-05. Tipos de suelos a 2,5 m de profundidad.

Plano P-06. Zonificación geotécnica de la ciudad de Pisco.

Plano P-07. Ubicación de los puntos de medición de microtrepidaciones en la ciudad de Pisco.

Plano P-08. Mapa de curvas isoperiodos.

Plano P-09. Ubicación de los ensayos MASW en la ciudad de Pisco.

Plano P-10. Microzonificación geotécnica con la ubicación de Sondajes MASW en la Ciudad de Pisco.

Plano P-11. Microzonificación sísmica de la ciudad de Pisco.

INTRODUCCIÓN

El Perú forma parte del Cinturón del Fuego del Pacífico, zona de alta actividad sísmica, y con alto riesgo de desastres, especialmente en las localidades costeras, como es el caso de la Ciudad de Pisco, objeto de esta investigación, ubicado en el Departamento de Ica.

Muchas de las áreas pobladas de este distrito han sido producto de la expansión rural que sufrió el país en los últimos años, así como de medidas políticas de turno. Estas áreas han sido pobladas y construidas informalmente, sin seguir un plan de ordenamiento territorial municipal, y casi en todos los casos sin estudios de ingeniería que califiquen el peligro del lugar. Tales condiciones hacen necesario desarrollar estudios como el presente, que permita que autoridades y pobladores conozcan las condiciones y el grado de peligro al que están expuestas sus viviendas por los sismos que han azotado la ciudad de Pisco y tomen las medidas del caso.

Para tal efecto, el presente estudio identifica y delimita zonas de mayor a menor grado de amenaza sísmica desde el punto de vista geotécnico-sísmico, describiendo para cada zona las características geotécnicas y dinámicas que definen su respuesta dinámica ante sollicitaciones sísmicas y que son necesarias para realizar el diseño sismorresistente de las edificaciones y obras de ingeniería.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Luego de la ocurrencia del Terremoto del 15 de Agosto del 2007, que generó fuertes daños en la ciudad de Pisco, la Presidencia del Consejo de Ministros a través de la Secretaría de Descentralización, solicitó al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI) realizar el estudio de "Microzonificación sísmica de las ciudades de Pisco, San Luis de Cañete y Huaytará", para ser utilizado en su reconstrucción. Basados en estos estudios, en la presente investigación se reporta los trabajos geotécnicos realizados en la ciudad de Pisco, que han conllevado a la realización del estudio de "Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Pisco.

La ciudad de Pisco se sitúa en una zona de alta actividad sísmica, habiendo a lo largo de su historia soportado numerosos terremotos de gran magnitud, que han generados desastres catastróficos, con saldos dolorosos por las pérdidas de vidas humanas y pérdidas materiales, tal como en el caso del último terremoto del 15 de agosto del 2007, ocurrido a las 18:41 h. Este evento tuvo una Magnitud $M_w = 8.0$. En las ciudades de Pisco, Ica y Chincha se reportaron intensidades máximas de VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada (MM).

El movimiento sísmico afectó las zonas más vulnerables y dejó miles de viviendas destruidas. En general, las viviendas más afectadas fueron las de adobe que en su mayoría colapsaron, en menor escala fueron afectadas las edificaciones de albañilería, algunas de las cuales se agrietaron y otras sufrieron fallas en sus tabiquerías, lo mismo ocurrió en edificios de estructuras aporticadas.

Aunque se cuenta con estudios de Mecánica de Suelos aislados y zonificación geotécnica preliminar de la ciudad, un análisis integral se hace cada vez más imperante en estos tiempos en los cuales se debe realizar la reconstrucción y la renovación urbana.

1.2. Objetivos

- Contribuir en la seguridad necesaria de la población de la ciudad de Pisco, frente a los fenómenos sísmicos al que está sometido la región sur del Perú, mediante delimitaciones de zonas más apropiadas donde habitar o construir sus viviendas.
- Definir la respuesta dinámica ante sollicitaciones sísmicas de las diferentes zonas de la ciudad, que son necesarias para realizar el diseño sismorresistente de las edificaciones y obras de ingeniería, de manera que estos fenómenos causen menos destrucción, evitando pérdidas de vidas humanas (que es lo más importante) y pérdidas materiales que afectan el desarrollo de las ciudades y la economía de nuestro país.

1.3. Datos geográficos del área de estudio

1.3.1. Ubicación geográfica

La ciudad de Pisco está ubicada en el Región Ica, geográficamente se encuentra entre los 13°42'24" de Latitud Sur y en los 76°12'00" de Longitud Oeste, a 233 km al sur de Lima y aproximadamente a 5 km al oeste de la carretera Panamericana Sur, a una altitud promedio de 17 m.s.n.m.

El distrito de Pisco, en cual se encuentra la ciudad del mismo nombre, contiene los siguientes límites:

- Por el Norte con el distrito de San Clemente, perteneciente a la provincia de Pisco.
- Por el Sur con el distrito de San Andrés, también perteneciente a la provincia de Pisco.
- Por el Este con el distrito de Túpac Amaru, de la provincia de Pisco.
- Por el Oeste con el Océano Pacífico.

La ciudad de Pisco está dentro del distrito del mismo nombre, el cual tiene una superficie territorial de 24,56 km², ocupando el 0,6% de la

superficie de la provincia de Pisco. El plano P-01 muestra la ubicación geográfica de esta ciudad.

1.3.2. Población

Según los resultados del censo 1993, la densidad poblacional promedio en el distrito de Pisco alcanzó 2118 hab/km², mientras que para el promedio provincial se obtuvo 26,4 hab/km².

1.3.3. Accesibilidad

a) Vía terrestre

La principal vía de acceso es la carretera Panamericana Sur, que une las provincias de la región Ica longitudinalmente, y que le permite a Pisco tener una fluida comunicación con la ciudad de Lima y las provincias de Chincha y Cañete, con las que tiene un fuerte intercambio comercial y de servicios.

b) Vía aérea

La Provincia de Pisco cuenta con un aeropuerto internacional de emergencia, para vuelos comerciales y particulares, localizado en el grupo aéreo N.º 9 de la FAP ubicado en el distrito de San Andrés.

c) Vía marítima

Se accede a través de dos puertos: el puerto Pisco, en la zona costera aledaña a la ciudad del mismo nombre, y el moderno puerto General San Martín, en Punta Pejerrey (en el distrito de Paracas), es un terminal con capacidad para buques de gran calado.

1.3.4. Clima

El clima en el ámbito de la ciudad de Pisco es subtropical árido con escasa o casi ausencia total de precipitación pluvial.

La información meteorológica es recopilada en la Estación Pisco que está a 6,0 m.s.n.m. y próxima al litoral, en cuyas mediciones se tiene una precipitación promedio total anual de 1,6 mm y una temperatura promedio anual de 18.7 °C.

1.4. Contenido del Estudio

En esta tesis se planificó una serie de actividades que comprendieron: la recopilación de información, el desarrollo de un programa de exploración geotécnica, la realización de ensayos de laboratorio y procesamiento de la información y el trabajo en gabinete para el análisis de la información y elaboración del mapa de microzonificación. De acuerdo al desarrollo de estas actividades se definió la organización del estudio en los siguientes capítulos:

En el Capítulo 1 se presenta la información general del área geográfica de estudio y los objetivos planteados para el desarrollo del mapa de Microzonificación Sísmica.

En el Capítulo 2 se describen las características geomorfológicas, geológicas e hidrogeológicas del área de estudio, esta información está basada en la carta geológica nacional elaborada por el INGEMMET.

En el Capítulo 3 se desarrollan los aspectos sismológicos del área de estudio, considerando los sismos históricos que se han registrado en esta región, incluyendo el terremoto del 15 de agosto del 2007. Asimismo, se evalúa el nivel de peligro sísmico por métodos probabilísticos y determinísticos. Los resultados de estos análisis permiten conocer los niveles de demanda sísmica esperados para el sismo de operación en esta ciudad, que es el evento utilizado para definir los parámetros de diseño sismorresistente.

En el Capítulo 4 se presentan los trabajos de exploración geotécnica y geofísica desarrollados para determinar las características geotécnicas del terreno de cimentación de la ciudad de Pisco. La exploración de campo ha consistido en la excavación de calicatas a cielo abierto y la ejecución de ensayos SPT en varios puntos de la ciudad. Estos trabajos conjuntamente con los estudios de mecánica de suelos recopilados, han permitido definir las características físicas y mecánicas de los diferentes suelos encontrados, así como determinar la profundidad y la capacidad de carga de las cimentaciones utilizadas convencionalmente para la construcción de edificaciones.

En el Capítulo 5 se realiza el análisis de respuesta sísmica de los suelos en la ciudad de Pisco. Para determinar los parámetros dinámicos del suelo se

ha realizado ensayos de medición de microtrepidaciones, monitoreo de réplicas del terremoto del 15 de agosto y determinación de perfiles de velocidades de ondas de corte (ondas S) mediante ensayos de Arreglos Multicanales de Ondas Superficiales (MASW). Estos perfiles fueron utilizados para definir los espectros de respuesta característicos de cada zona geotécnica, que deberán ser utilizados en el diseño sismorresistente.

En el Capítulo 6 se propone el mapa de microzonificación sísmica que incluye los resultados de todos los análisis realizados. Este mapa involucra las ciudades de San Andrés, Pisco, el CPM (Centro Poblado Menor) de San Miguel y la ciudad de Villa Túpac Amaru, que se integran en un bloque conurbano. En este mapa se considera también los peligros de inundación por tsunami, los cuales tienen influencia en una franja paralela al litoral. Históricamente, el área de inundación máxima ocurrida en esta ciudad alcanza alturas mayores a los 13,0 m (Okal et al, 2006), sin embargo, en este estudio se ha considerado como una zona de alto peligro hasta una cota de 5,0 m, que es el área de inundación más frecuente.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones alcanzadas durante el desarrollo de este estudio.

CAPÍTULO 2: CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE LA CIUDAD DE PISCO

2.1. Características geológicas

El área de estudio se encuentra en la vertiente occidental andina, la misma que se caracteriza por presentar un conjunto pétreo, un particular desarrollo geohistórico, estructuras, altitud y litología. Asimismo se caracteriza por conformar un relieve que va desde planicies aluviales o torrenciales, hasta abruptas y escarpadas vertientes montañosas o de colinas.

En el área en estudio y sus alrededores se identificaron grupos litológicos constituidos por rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios. Las formaciones geológicas a nivel local encontradas en el área de estudio y que se presentan en el plano P - 02, son las siguientes:

a) Rocas sedimentarias (Q-f) (Q-al)

Era: Cenozoico

Periodo: Cuaternario

Serie: Reciente

Depósitos Aluviales: Arena, grava, arcilla y conglomerados semiconsolidados y subhorizontales

Depósitos Eólicos

b) Rocas sedimentario-volcánicas (T-p)

Era: Cenozoico

Periodo: Terciario Superior

Formación Pisco

Areniscas tufáceas de color verde a blanco, diatomitas blancas a ligeramente amarillas

Las características litológicas de las formaciones geológicas del área de estudio son las siguientes:

a) Depósitos aluviales (Q-al)

Son acumulaciones detríticas dejadas por el río Pisco, principalmente durante el ciclo de sedimentación anterior. Estos depósitos están conformados de arenas, grava, arcillas y conglomerados y presentan sales en forma de eflorescencia y como costras salinas. Estos materiales forman suelos arenosos-arcillosos, parcialmente salobres y de permeabilidad variable.

b) Depósitos marinos (Q- ma)

Depósitos formados por arenas de grano medio a fino, gravas y rodados, sin consolidarse, ni estratificación ni evidencia de neotectonismo. Forman suelos transportados arenosos, profundos y muy permeables; además son salobres y poseen PH algo básico.

c) Depósitos eólicos (Q-e)

Son depósitos de arenas de granos medios a fino, no consolidados, que cubren la superficie. Se presentan en forma de médanos y dunas (para la cuenca de estudio no se evidencian dunas), éstas se dan más al sur y cubren parcial o totalmente los depósitos más antiguos. No presentan evidencia tectónica, sus suelos son transportados, de naturaleza arenosa con alta permeabilidad, la potencia con la que son depositados es variable.

d) Formación Pisco (T-p)

Integración de areniscas tufáceas de color verde a blanco, diatomita blanca amarillenta, blanda, de gran pureza y liviana, estratificada con capas de bentonita amarillenta a gris verdosa. No se ha identificado la base de la formación. Está conformada por suelos residuales; arcillosos y areno-arcillosos, de colores claros, parcialmente calcáreos, de profundidad y permeabilidad variable.

2.2. Geomorfología

La cuenca del río Pisco presenta una forma alargada, con fondo profundo y pronunciada pendiente, de fisiografía escarpada y abrupta en ciertos sectores, cortada por quebradas profundas y estrechas gargantas.

En las nacientes de la cuenca se encuentran numerosas lagunas de origen glaciar, mientras que en la parte inferior de la cuenca existe gran deposición de material aluviónico formando el cono de deyección.

Las unidades geomorfológicas encontradas en el área de estudio son las siguientes:

a) Ribera litoral de playa

La altitud varía entre los 0 a 10 m.s.n.m. con una topografía llana, las pendientes son inferiores a uno por ciento. Esta zona corresponde específicamente a la línea de costa, orientada en sentido SW-NE desde la península de Paracas.

b) Llano aluvial

El llano aluvial es relativamente amplio, situado en la parte más baja del valle, en donde se han depositado los sedimentos del río Pisco. Se aprecian terrazas, cauces antiguos, cauces y playones del río.

c) Cono de deyección

Los abanicos aluviales son las zonas más extensas del valle, que están constituidos principalmente por la deposición de materiales de acarreo, transportados por el curso de las aguas o torrenteras a través de las quebradas circundantes al llano aluvial, dando origen a las pampas.

2.3. Geodinámica

2.3.1. Geodinámica interna

Dada su proximidad al litoral, la ciudad de Pisco presenta un alto nivel de peligro sísmico. Históricamente en esta región se han registrado sismos de

gran magnitud, como el ocurrido el 15 de agosto del 2007, que alcanzó una magnitud de 8.0 Mw. Ante la ocurrencia de eventos sísmicos de estas características, existen zonas de la ciudad donde, debido a que están conformados por suelos arenosos de baja compacidad, con nivel freático alto, se presenta una alta probabilidad de ocurrencia de licuación de suelos, lo cual incrementa el nivel de peligro.

Asimismo, esta ciudad se encuentra expuesta a la ocurrencia de tsunamis, que según las estimaciones realizadas, pueden generar olas con alturas de más de 13 m (Okal et al, 2006), las que pueden inundar grandes áreas de la ciudad, dependiendo de su topografía. La información histórica indica que la ciudad de Pisco fue arrasada completamente por tsunamis hasta en tres oportunidades, en consecuencia, este es un peligro latente que afectará con mayor frecuencia las áreas próximas al litoral.

2.3.2. Geodinámica externa

Uno de los principales fenómenos de geodinámica externa que se presenta en la zona es la actividad del río Pisco (localizado al norte de la ciudad de Pisco). Las zonas inundables se encuentran ubicadas cerca al río Pisco y el impacto de las aguas en caso de desborde comprende aproximadamente 400 m a la margen izquierda y 100 m a la margen derecha del río, afectando principalmente a las áreas de cultivo.

Otro fenómeno que puede presentarse durante la ocurrencia de movimientos sísmicos, es el Tsunami. De acuerdo a investigaciones realizadas (Sánchez y Aguilar, 2001) la altura de la ola que puede generarse durante un evento severo alcanzaría los 10,40 m, ocasionando una inundación de una gran franja urbana próxima al litoral. Se estima que un evento más frecuente ocasionaría olas de hasta 5,0 m, por lo tanto, el área urbana comprendida entre la costa y esta cota presenta un alto peligro de inundación.

2.4. Hidrogeología

2.4.1. Identificación de afloramientos de agua subterránea

La ciudad de Pisco, por encontrarse próxima al litoral, presenta una napa freática bastante superficial, con profundidades que varían de 0,5 a 3,5 m en la mayor parte del casco urbano. La explotación del agua subterránea es limitada. Según el Estudio Hidrogeológico del INRENA-2004 en la ciudad de Pisco existen 21 pozos a tajo abierto, de los cuales 4 pozos son de uso doméstico, 3 pozos son de uso agrícola, 6 no son utilizados y 8 son no utilizables.

2.4.2. Red de flujo de aguas subterráneas

La morfología de la napa es relativamente uniforme y el flujo subterráneo sigue dos trayectorias principales, la primera de sureste a noroeste y la segunda de noreste a suroeste; mientras que su gradiente hidráulica varía de 0,64 % a 2,25%.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE PISCO

3.1. Introducción

En este capítulo se presenta un resumen del estudio de Peligro Sísmico realizado para la región Centro-Sur del Perú, específicamente en la ciudad de Pisco, distrito y provincia de Pisco, departamento de Ica, el cual se realizó mediante los métodos probabilísticos y determinísticos, proponiendo niveles de aceleraciones máximas del movimiento sísmico del terreno para un evento con periodo de retorno de 475 años, y espectros de peligro uniforme. Para el cálculo del análisis probabilístico se han establecido fuentes sismogénicas de subducción, en las cuales se han diferenciado los mecanismos de interfase y de intraplaca superficial e intermedias, considerando el patrón de comportamiento de cada una de ellas. Asimismo, se ha determinado los parámetros de sismicidad local mediante análisis estadísticos utilizando métodos bayesianos

3.2. Neotectónica de las principales fuentes sismogénicas de la región en estudio

3.2.1. Emplazamiento tectónico regional

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que hay en la Tierra, formando parte del Cinturón Circumpacífico. El marco tectónico regional a mayor escala está gobernado por la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana. Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú-Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como una consecuencia de la interacción de dos placas convergentes cuya resultante más notoria precisamente es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes.

La margen continental occidental de Sudamérica, donde la placa Oceánica de Nazca está subduciendo por debajo de la placa Continental Sudamericana, es uno de los mayores bordes de placa en la tierra.

La placa Sudamericana crece de la cadena mesoocéánica del Atlántico, avanzando hacia el Noroeste con una velocidad de dos a tres cm por año y se encuentra con la placa de Nazca en su extremo occidental, constituido por la costa Sudamericana del Pacífico. Por otro lado, la placa de Nazca crece de la cadena mesoocéánica del Pacífico Oriental y avanza hacia el Este con una velocidad de aproximadamente cinco a diez cm por año, subduciendo debajo de la placa Sudamericana con una velocidad de convergencia de siete a doce cm por año (Berrocal, 1975).

Como resultado del encuentro de la placa Sudamericana y la placa de Nazca y la subducción de esta última, han sido formadas la Cadena Andina y la Fosa Perú-Chile en diferentes etapas evolutivas. El continuo interaccionar de estas dos placas da origen a la mayor proporción de actividad sísmica de la región occidental de nuestro continente. La placa de Nazca se sumerge por debajo de la frontera Perú-Brasil y noroeste de Argentina, lo cual es confirmado por la distribución espacial de los hipocentros, aún cuando existe cierta controversia debido a la ausencia de actividad sísmica entre los 300 y 500 km de profundidad (Berrocal, 1975).

3.2.2. Sistemas de fallas en la Región Centro-Sur del Perú

Los sistemas de fallas, cuyo origen se debe a una distribución heterogénea de esfuerzos tensionales y compresionales, son la principal fuente de actividad sísmica superficial en el territorio peruano. En la región centro-sur del Perú, donde se localiza la ciudad de Pisco, se pueden reconocer los siguientes sistemas de fallas, ya sea por su manifestación en la superficie o por la distribución de sismos sobre su plano de falla (Pomachagua, 2000; Bernal, 2000).

Falla de Montejato. Esta falla se localiza al SE de San Vicente de Cañete y se orienta en la dirección N110°E y N125°E, con ángulo de

buzamiento entre 65° y 85° en la dirección Norte. Esta falla es del tipo normal y alcanza un salto vertical de siete metros.

Falla de Marcona. Esta falla se localiza al NE de San Juan de Marcona (Ica), con una orientación de N120°E y buzamiento de 70° en la dirección Norte. Es de tipo normal y presenta un salto vertical de 20 m.

3.3. Sismotectónica regional

La actividad sísmica de la región en estudio está claramente definida por la presencia de la zona de subducción, donde la placa de Nazca se introduce bajo la Placa Sudamericana generando sismos de elevadas magnitudes con relativa frecuencia, como el terremoto de Mw 8,0 del 15 de agosto del 2007. Todos los sismos en la porción oceánica corresponden a la zona de subducción, mientras que en la porción continental se incluyen los sismos de la zona de Benioff, con profundidades focales mayores de 70 km y los sismos continentales que son superficiales.

3.3.1. Sismicidad del área de influencia

Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992) realizó una recopilación de datos sobre los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú desde 1513. Este trabajo constituye una fuente de información básica para el conocimiento de las intensidades sísmicas de los sismos históricos. Según estas referencias, las intensidades máximas registradas en la costa central, donde se localiza el área de estudio, alcanzan valores de hasta X en la escala de Intensidades de Mercalli Modificada (MMI).

La mayor cantidad de información está referida a los sismos ocurridos principalmente a lo largo de la costa, de los cuales, los que han tenido mayor influencia en la zona de estudio y cuya historia se conoce son:

El sismo del 9 de julio de 1586, con intensidades de IX MMI en Lima y VI MMI en Ica.

El sismo del 12 de mayo de 1664, con intensidades de X MMI en Ica, VIII MMI en Pisco y IV MMI en Lima.

El sismo del 20 de octubre de 1687, con intensidades de IX MMI en Cañete, VIII MMI en Ica y VII MMI en Lima.

El sismo del 10 de febrero de 1716, con intensidades de IX MMI en Pisco y V MMI en Lima.

Sismo del 24 de agosto de 1942, a las 17:51 h: Terremoto ubicado entre los límites de los departamentos de Ica y Arequipa. Intensidades: Jaquí, Quincacha, Nazca y Acari IX, Chala, Atiquipa y Caravelí VIII, Ica y Coracora VII, Arequipa y Ayacucho V (MMI).

El sismo del 03 de Octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.

El sismo del 18 de Abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.

Sismo del 12 de noviembre de 1996, a las 16:59 h ocurrió un sismo de magnitud 7,7Mw que afectó principalmente a la localidad de Nasca, Departamento de Ica. Intensidades máximas de VII (MMI) en las localidades de Nazca, Palpa, Ica, Acari y Llauca.

El sismo del 23 de junio de 2001, este evento fue sentido en el centro y sur del Perú, y norte de Chile. Tuvo una magnitud de 8,4 Mw. Las intensidades máximas fueron de VII y VIII (MM) sobre un área que incluye las localidades de Ocoña, Camaná, Mollendo, Chala, Caravelí, Arequipa, Moquegua y Tacna. Este terremoto dio origen a un tsunami que afectó la localidad de Camaná con olas de cuatro a siete metros de altura, llegó a ingresar a más de un kilómetro de distancia tierra adentro, causó muerte y destrucción. Un registro del movimiento sísmico obtenido en la Estación Vizcarra (MOQ 1) de la Red Acelerográfica del CISMID, localizada a 90 km del litoral y a 60 km del plano de ruptura, alcanzó valores pico de aceleración de 0,3g en la componente EW y 0,22 g en la componente NS.

El sismo del 20 de octubre del 2006, cuyo epicentro fue ubicado a 90 km al oeste de la localidad de Pisco (Ica), en el extremo suroeste de la región central del Perú. Tuvo una magnitud de momento sísmico Mw=6,4, el cual no produjo tsunamis ni alteraciones en el nivel medio de oscilación

del mar. El sismo generó intensidades sísmicas de V en las localidades de Cañete, Chincha, Pisco, Lunahuana y Quilmaza, IV en las localidades de Ica, Mala, Chilca, Calando y Palpa.

El 15 de agosto del 2007, ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico $M_w=7,9$ de acuerdo al Instituto Geofísico del Perú y de 8,0 según el National Earthquake Information Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima. VI en las localidades de Yauyos (Lima), Huaytará (Huancavelica), IV en las ciudades de Huaraz y localidades de Canta, Puquio, Chala. Este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas, y una licuación generalizada en un área de más de 3 km de longitud por 1 km de ancho en las zonas de Canchamaná y Tambo de Mora en Chincha.

Se concluye que, de acuerdo a la historia sísmica del área de estudio, en los últimos 400 años han ocurrido sismos con intensidades de hasta X MMI en la ciudad de Pisco.

3.4. Análisis de peligro sísmico probabilístico

3.4.1. Introducción

Cornell (1968) propuso una metodología para realizar el análisis de peligro sísmico probabilísticamente. Esta metodología ha sido utilizada en el presente estudio, para ello ha empleado leyes de atenuación que permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Dada esta tendencia mundial, se han empleado los modelos de atenuación de Youngs et al, (1997) y la Ley de atenuación CISMID obtenida mediante el procesamiento estadístico bayesiano de registros de

movimientos fuertes de suelo de sismos registrados dentro del territorio peruano y captados por la Red Acelerográfica del CISMID (Chávez, 2006). Estas leyes de atenuación de aceleraciones espectrales distinguen los mecanismos de los sismos de subducción de interfase e intraplaca.

3.4.2. Evaluación y caracterización de las fuentes sismogénicas

La determinación de las fuentes sismogénicas se han basado en el mapa de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas del área de influencia. Como se ha mencionado anteriormente, la actividad sísmica en el Perú es el resultado de la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana, así como del proceso de reajustes tectónicos del aparato andino. Esto permite agrupar a las fuentes en continentales y de subducción. Las fuentes de subducción modelan la interacción de las placas Sudamericana y de Nazca. Las fuentes continentales o corticales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina.

En el presente estudio se han establecido ocho fuentes sismogénicas de subducción, en las cuales se han diferenciado los mecanismos de interfase (F1 y F5), de intraplaca superficial (F2 y F6) e intermedias (F3, F4 y F7). Las geometrías de estas fuentes se han definido en función de las características sismotectónicas de la región definida por un círculo de 350 km de radio desde el lugar de análisis, considerando el patrón de comportamiento de cada una de ellas.

Para la estimación de los parámetros de sismicidad de estas fuentes se ha utilizado el catálogo sísmico revisado y actualizado del IGP y completado hasta agosto del 2007 con los datos del National Earthquake Center (NEIC). En este catálogo, para la zona en referencia, la información instrumental de sismos comienza a principios del siglo XX, sin embargo, esta información es incompleta hasta 1963, ya que no se cuenta con valores de magnitud de ondas de cuerpo m_b y profundidad focal, además la información sísmica reportada no es homogénea. El análisis de los parámetros de sismicidad fue realizado mediante estadística bayesiana, considerando los datos del catálogo depurado a partir del 1963.

3.4.3. Atenuación de las ondas sísmicas

En este estudio se han utilizado las leyes de atenuación para ordenadas espectrales propuestas por Youngs et al (1997) y por el CISMID (2006), que diferencian los mecanismos focales para los sismos de subducción en sismos Interfase e Intraplaca.

Youngs et al (1997), desarrollaron leyes de atenuación para zonas de subducción de sismos de interfase e intraplaca, usando datos de sismos registrados en Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México, Perú (14 registros) y las islas Salomón, para distancias entre 10 y 500 km, teniendo en cuenta las características del sitio.

Por su parte, la ley de atenuación para ordenadas espectrales del CISMID (2006), fue definida en base a los trabajos realizados por Hanks y McGuire (1981), Joyner y Boore (1984, 1988), Ordaz (1992), considerando fuentes asociadas a mecanismos de subducción interfase e intraplaca en el Perú. Esta ley fue calculada utilizando técnicas de regresión lineal bayesiana, obteniéndose de esta manera valores esperados de coeficientes de acuerdo al funcional propuesto por Joyner y Boore (1988), utilizando los registros de movimientos fuertes del suelo obtenidos de la Red Acelerográfica del CISMID, dada que es la única de libre acceso.

3.4.4. Determinación del peligro sísmico probabilístico

La evaluación del peligro sísmico en el área de estudio se ha realizado por métodos probabilísticos utilizando el programa de cómputo CRISIS 2003, desarrollado por Ordaz (1999). Este programa permite evaluar el nivel de peligro sísmico en un determinado lugar utilizando leyes de atenuación de aceleraciones espectrales y considerando eventos de diversos periodos de retorno. En el análisis se ha utilizado las fuentes sismogénicas propuestas para este estudio, con sus respectivos parámetros de sismicidad determinados en base a un catálogo actualizado hasta el 2007.

La evaluación del peligro sísmico se ha realizado en tres puntos representativos de la ciudad de Pisco, cuyas coordenadas geográficas se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 : Coordenadas Geográficas de los puntos analizados en el presente proyecto

ZONA EN ESTUDIO		COORDENADAS	
		Longitud (W)	Latitud (S)
CIUDAD DE PISCO	P1 – Aeropuerto (Sur)	76.221	13.734
	P2 – Plaza de Armas (Centro)	76.203	13.710
	P3 – Terreno Libre (Norte)	76.201	13.698

La Tabla 3.2 muestra los resultados obtenidos del programa CRISIS 2003 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en los tres puntos analizados. Estos se han estimado para los modelos de atenuación del CISMID (2006) y Youngs (1997), para eventos con períodos de retorno de 200 y 475 años.

Tabla 3.2 : Aceleraciones Máximas esperadas en la Ciudad de Pisco para eventos de 200 y 475 años de periodo de retorno.

Punto de Análisis	Ubicación		Aceleración Horizontal Máxima (gal) para Periodos de Retorno de 200 y 475 años:					
	Longitud (W)	Latitud (S)	CISMID (2006) Suelo		Youngs et al (1997) - Suelo		Youngs et al (1997) - Roca	
			200	475	200	475	200	475
Aeropuerto (Sur)	76.221	13.734	388.0	565.0	328.0	444.0	208.0	285.0
Plaza de Armas (Centro)	76.203	13.710	388.0	564.0	328.0	444.0	207.0	284.0
Terreno Libre (Norte)	76.201	13.698	387.0	564.0	327.0	443.0	207.0	284.0

La Norma E.030 de Diseño Sismorresistente de Edificaciones, define como la aceleración sísmica de diseño a aquella obtenida con una probabilidad de excedencia de 10% en un periodo de exposición sísmica de 50 años, la cual corresponde a un evento sísmico de 475 años de periodo de retorno. De acuerdo a este criterio, la aceleración de

diseño para la ciudad de Pisco en suelo firme es de 0,57g de acuerdo al modelo de atenuación del CISMID (2006) y de 0,45 g de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs (1997). Considerando la alta sismicidad de la zona, se estima razonable que la aceleración máxima esperada en la ciudad de Pisco sea la determinada con la ley de atenuación del CISMID (2006), es decir, igual a 0,57g.

Para estratos de material de roca, que de acuerdo a la National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP-B) es aquel suelo que tiene una velocidad de ondas de corte mayor a 760 m/s, la aceleración máxima esperada es igual a 0,29 g.

3.4.5. Cálculo de espectros de peligro sísmico uniforme

En el presente estudio se han utilizado leyes de atenuación para aceleraciones espectrales, los cuales han permitido estimar espectros de peligro uniforme para un determinado nivel de exposición.

En el Anexo I se presenta las curvas de probabilidad de excedencia anual de aceleraciones espectrales y en el Anexo II se muestra los espectros de peligro uniforme.

Del análisis de las curvas de probabilidad de excedencia para el periodo de $T = 0,0s$, podemos observar que el modelo de atenuación del CISMID en el caso de la media (P.50), para las diferentes tasas de probabilidad de excedencia presenta mayores niveles de demanda sísmica, siendo más notorio para distancia menores a 80 km y mayores a 200 km. Así mismo, del análisis de las curvas de espectros de peligro uniforme para periodos de retorno de 475 años, podemos observar que el modelo de Young et al (1997) para la media (P.50) presenta menores niveles de demanda sísmica en comparación al modelo de atenuación del CISMID, 2006 para la media (P.50), para los diferentes periodos de vibración del sistema de un grado de libertad. La forma del espectro de peligro uniforme del modelo de atenuación del CISMID (2006) es debido a que la ley de atenuación se ha determinado en base a registros de movimientos fuertes de sismos peruanos obtenidos en suelo firme, observándose que la platea se extiende hasta 0,35 s.

3.5. Análisis de peligro sísmico determinístico

El peligro sísmico determinístico, se define como el máximo evento que puede generarse en una zona sismogénica.

De los resultados del análisis de peligro sísmico determinístico, se estimó que la aceleración máxima esperada en la ciudad de Pisco para sismos de interfase es de 0,63 g para la media (P.50) según la ley de atenuación del CISMID (2006) y de 0,64 g para la media más una desviación estándar (P.84) según la ley de atenuación de Youngs et al. (1997) para suelo. Para sismos de intraplaca superficial la aceleración máxima es de 0,84 g para la media (P.50) según la ley de atenuación del CISMID (2006) y de 0,80 g para la media más una desviación estándar (P.84) según la ley de atenuación de Youngs (1997). El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 3.3

Los resultados obtenidos del análisis de peligro sísmico por métodos determinísticos muestran que para el Sismo Máximo Considerado (MCE) teniendo en cuenta procesos de ruptura de sismos de subducción de interfase e intraplaca, los valores de aceleración máxima estimados con el valor medio más una desviación estándar (P.84) según la ley de atenuación de Youngs et al. (1997) son más consistentes con la sismicidad de la región, así como con los resultados del modelo del CISMID (2006) y con los resultados del análisis probabilístico.

Las aceleraciones máximas esperadas para el máximo sismo considerado, teniendo en cuenta procesos de ruptura de fallas normales se presenta en la Tabla 3.4. De dicha Tabla observamos que los niveles de demanda sísmica generados por estos mecanismos no revisten peligro para las estructuras en las zonas del proyecto.

Tabla 3.3: Aceleraciones máximas para el sismo máximo considerado (MCE) para Fuentes de Subducción – Método Determinístico.

Modelo de Atenuación del CISMID (2006)		
Sismos de Interfase		
Magnitud de Momento Sísmico	Mw	8.5
Distancia a la Falla	R (Km)	55
Aceleración Máxima (T=0.0 s)	Sa (P.50)	0.63 g
Sismos de Intraplaca		
Magnitud de Momento Sísmico	Mw	8.1
Distancia a la Falla	R (Km)	65
Aceleración Máxima (T=0.0 s)	Sa (P.50)	0.84g
Modelo de Atenuación de Youngs et al. (1997)		
Sismos de Interfase		
Magnitud de Momento Sísmico	Mw	8.5
Distancia a la Falla	R (Km)	55
Profundidad Focal	H (Km)	50
Desviación Estándar	□	0.65
Aceleración Máxima (T=0.0 s)	Sa (P.50)	0.33g
	Sa (P.84)	0.64g
Sismos de Intraplaca		
Magnitud de Momento Sísmico	Mw	8.1
Distancia a la Falla	R (Km)	65
Profundidad Focal	H (Km)	65
Desviación Estándar	□	0.65
Aceleración Máxima (T=0.0 s)	Sa (P.50)	0.42g
	Sa (P.84)	0.80g

Tabla 3.4: Aceleraciones máximas para el sismo máximo considerado (MCE) generadas por fallas normales – Método Determinístico.

Lugar	Fuente	Distancia (Km)	Ms	a _{max} (g)
Pisco	Falla Motejato	73	6.5	0.04

CAPÍTULO 4: CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA CIUDAD DE PISCO

4.1. Introducción

Las características geotécnicas de las ciudades de Pisco, San Andrés y Túpac Amaru y del CPM San Miguel fueron definidas sobre la base de un detallado programa de exploración de campo consistente en la excavación de calicatas y extracción de muestras de suelos para su respectivo análisis de laboratorio, realización de ensayos de penetración estándar SPT, ensayos de Cono Peck uniformemente distribuidos en todo el área urbana. Es necesario indicar que esta información fue complementada con el estudio de Microzonificación Geotécnica de Pisco (1999) y con la recopilación de estudios de mecánica de suelos con fines de cimentación e investigaciones realizadas en el área de estudio. Adicionalmente se llevó a cabo un programa de exploración geofísica para determinar perfiles de velocidad de propagación de ondas de corte en diferentes puntos de la ciudad, los cuales han permitido definir la estructura del suelo hasta profundidades de 20,0 m en promedio.

La evaluación de los resultados de los ensayos elaborados y de toda la información recopilada ha permitido determinar perfiles estratigráficos característicos de las diferentes áreas estudiadas y hallar zonas con características geotécnicas similares. Esta microzonificación geotécnica, que incluye el comportamiento dinámico del terreno para cada una de las zonas definidas, constituye el principal aporte de la presente tesis. Asimismo, con los resultados obtenidos y la cuantificación de la amenaza sísmica.

El Anexo III documenta las actividades realizadas durante la exploración geotécnica, los resultados de ensayos de campo y laboratorio realizados, así como el análisis y la evaluación de los resultados obtenidos que han permitido realizar la microzonificación geotécnica. Seguidamente se presenta un resumen de los trabajos realizados y los resultados alcanzados en estas investigaciones. Esta información ha utilizada para definir el Mapa de microzonificación geotécnica de la ciudad de Pisco.

4.2. Exploración de campo

El programa de exploración de campo se realizó entre el 27 septiembre al 15 de octubre del 2007. Los trabajos consistieron en la excavación de calicatas a cielo abierto de hasta 3 m de profundidad, ensayos de penetración estándar SPT de hasta 5 m de profundidad, los cuales se continuaron con ensayos de Cono Peck hasta encontrar el rechazo a la penetración. Las ubicaciones de estas excavaciones fueron convenientemente distribuidas, de tal forma que cubran el área de estudio. Luego de la ejecución de los sondajes se procedió a la descripción del perfil de suelos mediante la inspección visual de campo, y a la extracción de muestras disturbadas. La ubicación de los sondajes fue definida de tal manera que cubran áreas que no fueron exploradas en anteriores investigaciones y complementen, así, la información existente.

La ubicación de las calicatas y los sondajes con ensayos SPT realizados se muestran en el plano P-03.

4.3. Perfil de suelos

La información geotécnica obtenida durante la exploración de campo realizado en el presente estudio, así como los resultados de los estudios de mecánica de suelos recopilados ha permitido definir una serie de perfiles de suelos característicos de las diferentes zonas del área en estudio. Seguidamente se presenta una descripción de éstos para cada uno de los tres distritos que conforman la zona urbana de la ciudad de Pisco.

4.3.1. Ciudad de Pisco

La ciudad de Pisco presenta una configuración de suelos muy errática, pudiéndose definir cinco sectores predominantes con características geotécnicas similares las cuales se describen a continuación:

En el sector Sureste de la ciudad, conformada por las zonas de expansión comprendidas por el fundo San Luis, el asentamiento humano Dios te Ama, y la urbanización La Esperanza, el perfil de suelos está representado por los registros correspondientes a las calicatas C-1, C-3, C-4 y C-8. Este perfil muestra un relleno superficial constituido por

gravas, arena y limos contaminados con restos aislados de cascajos, de hasta 0,6 m de espesor y en estado semicompacto. Subyaciendo a este material se encuentra predominantemente la grava mal gradada con matriz arenosa (GP), que en algunas excavaciones se encuentran intercaladas con pequeños lentes de arena limosa (SM) de color *beige*, medio suelta para luego continuar con la grava mal gradada de compacidad media, cuyas partículas presentan formas subredondeadas, intercaladas con bolonerías redondeadas de T.M. 10 pulgadas. El nivel freático en este sector se ubicó a profundidades de 2,0 m en promedio y en la calicata C-3 a 1,20 m.

En la zona Sur de la ciudad, correspondiente a la urbanización Las Américas, el perfil de suelos está representado por el registro de la calicata C-1 y los registros recopilados del 1999. El perfil estratigráfico está conformado por un relleno superficial de 0,20 m de espesor, constituido por arcilla con gravas, semirígida. Luego se encuentra una arena limosa (SM), color *beige* amarillento a marrón de compacidad media, con gravas aisladas. A 0,50m se encontró el estrato de grava mal gradada con matriz arenosa (GP), de forma subredondeada y bolonerías de T.M. 12 pulgadas, cuya compacidad varía de semicompacta a compacta. El nivel freático se ubicó a 2,00 m de profundidad.

El sector Norte de la ciudad de Pisco comprendida por la urbanización Boca del Río y el asentamiento humano Manuel Gonzales Prada; está constituido por rellenos heterogéneos de hasta 0,50 m de espesor conformados por terreno de cultivo de compacidad media, como muestra la C-21 y los registros de la información recopilada del año 1999 (C-4, C-8 y C-25). El estrato subyacente a este material es predominantemente la grava mal gradada con matriz arenosa (GP), semicompacta. En algunas excavaciones se encontró lentes de arena limosa de 0,50 m de espesor en promedio, subyaciendo a 1,00 m de profundidad el material gravoso con bolonerías subredondeadas aisladas de T.M. 10 pulgadas, de compacidad semicompacta a compacta. El nivel freático se ubicó de 0,50 m a 1,00 m de profundidad.

El sector central de la ciudad de Pisco, limitado por el Norte con la urbanización Boca del Río y el asentamiento humano Manuel Gonzales Prada, por el Este con la carretera Panamericana Sur, por el Sur con la avenida Las Américas y la urbanización La Esperanza y por el Oeste con el Océano Pacífico; presenta predominantemente un relleno heterogéneo de 1,00 m a 1,80 m de espesor según los registros de las calicatas C-18, C-19, C-22 y C-23, y los sondajes S-1, S-2, S-3 y S-4. Subyaciendo a este relleno se encuentra un estrato de arena limosa (SM-SP) que llega de 3,50m hasta 4,00m de profundidad, cuya compacidad varía de suelta a media, de color gris y alto contenido de humedad. Luego se encuentra la grava compacta. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores a 2,00 m.

En el sector Este de la ciudad de Pisco, cercano a la zona industrial, se presentan afloramientos de diatomitas color *beige* amarillento, de consistencia rígida. Este mismo material también aflora en el centro poblado menor de San Miguel, tal como se observa en el registro de las calicatas C-15, C-16, C-24 y C-25.

Existen zonas focalizadas en la ciudad de Pisco que están constituidas por áreas pantanosas y que han sido rellenadas con material de desmonte heterogéneo y en algunos casos con basura, los cuales tienen espesores que varían de 3,5 m a 4,0 m. En estas zonas se han presentado daños severos y hundimientos en edificaciones de albañilería, habiéndose reportado también la ocurrencia de licuación de suelos, la que se manifestó por la emanación de aguas subterráneas. Estas áreas han sido delimitadas como zonas de alto peligro, por estar conformados por materiales de alta compresibilidad con nivel freático alto.

3.1.2. San Andrés

Esta zona está ubicada aproximadamente a 2,00 km al Sur del centro de la ciudad de Pisco. En este sector el perfil del suelo presenta arenas limosas y rellenos conformados por arenas limosas con presencia aislada de lumquelas y residuos de basura de compacidad medio suelta hasta 1,00 m de profundidad. Subyaciendo a este material se encuentra estratos potentes de gravas con matriz arenosa (GP), semicompacta, con

bolonerías aisladas de T.M. 10 pulgadas (C-6 y S-5). Las bolonerías en este sector son de forma subredondeadas y tienen adherido en su superficie algas marinas. El nivel freático en este sector varía entre 1,00 a 2,00 m de profundidad.

3.1.3. Túpac Amaru

El distrito de Túpac Amaru está ubicado al Este de la ciudad de Pisco delimitado por la Carretera Panamericana Sur. En su jurisdicción se encuentra el poblado de Casalla, el asentamiento humano L. García Nóres y el asentamiento humano Nueva Juventud. Para la exploración geotécnica de este lugar se realizaron 6 calicatas de hasta 3,00 m de profundidad y 2 Ensayos SPT. Según los registros obtenidos de estas exploraciones se determinó que el perfil estratigráfico presenta tres áreas con características geotécnicas particulares.

La primera está conformada predominantemente por arena mal gradada con limo (SP-SM), tal como se puede observar en los registros de las calicatas C-9, C-10, y C-11, donde, hasta la profundidad investigada, no se encontró del nivel freático, a diferencia de las calicatas C-12 y C-14 donde el nivel freático se encuentra a una profundidad de 1,20 m y 2,00 m respectivamente. La arena es de color *beige* claro, de una compacidad media a suelta. Presenta humedad variable desde muy baja a alta.

La segunda está conformada por un área de relleno errático y heterogéneo colocado sobre una zona pantanosa, tal como se observa en el registro de la calicata C-13 donde el nivel freático se encuentra a una profundidad de 2,20 m. En esta zona se presentaron daños severos y hundimiento de edificaciones de albañilería, por lo que se considera que en esta zona no deben construirse edificaciones.

La tercera zona está conformada por afloramiento de material diatomítico, con apariencia de una roca blanda de color *beige* amarillenta y rígida. Este mismo material aflora también en gran parte del centro poblado San Miguel y en el sector Este de la zona industrial de Pisco. Las

características de este material son competentes para la cimentación superficial de edificaciones.

4.4. Microzonificación geotécnica de la ciudad de Pisco

La microzonificación geotécnica definida en este estudio incluye las ciudades de Pisco y su CPM San Miguel, San Andrés y Túpac Amaru, las cuales prácticamente están conformando una sola área urbana.

Los perfiles de suelos elaborados para las diferentes zonas del área de estudio fueron implementados en una base de datos de un sistema de información geográfica (GIS). Con esta herramienta ha sido posible visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los diferentes tipos de suelos en el área en estudio, siendo posible elaborar mapas de suelos para varios niveles de profundidad, tal como se muestra en los planos P-04 y P-05. Esta información ha permitido delimitar con mayor precisión las cuatro zonas geotécnicas sísmicas identificadas en las ciudades de Pisco, San Andrés y Túpac Amaru.

Para la delimitación de las zonas se ha tomado en consideración las características geotécnicas definidas en este estudio, como la capacidad de carga admisible de una cimentación corrida convencional y la distribución de daños generada por el terremoto del 15 de agosto del 2007. La microzonificación geotécnica, así propuesta, está conformada por cuatro zonas, como se describe a continuación:

Zona I. Esta zona está comprendida por la ciudad de San Andrés, urbanizaciones tales como Las Américas y La Esperanza, que se encuentran en el sector Sur de la ciudad de Pisco, los asentamientos humanos Dios te Ama y Vista al Mar, San Miguel, y parte de la zona industrial al Este de Pisco, donde se encuentra el afloramiento de diatomitas.

El terreno de esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones. El sector Sur de Pisco está conformado por un estrato superficial de arena limosa suelta o relleno de espesor entre 0,50 m y 0,80 m. Debajo de este estrato se encuentra una grava aluvial compacta. El nivel freático se encuentra a profundidades

mayores a un metro. Esta zona también comprende los afloramientos de diatomita que se encuentran en el sector Este de las ciudades de Pisco y Túpac Amaru y en el centro poblado de San Miguel.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad 1,00 m a 1,20 m en esta zona varía de 2,0 kg/cm² a 3,5 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una grava compacta; es decir, se deberá atravesar el estrato de relleno superficial que es heterogéneo y se encuentra en estado suelto. En las zonas donde se presenta el afloramiento de diatomitas, el terreno de cimentación estará conformado por este material.

Zona II. Esta zona abarca el sector Norte de la ciudad de Pisco y está conformada por un lente superficial de arena limosa suelta de 0,90 m a 1,5 m de espesor. Debajo de éste se encuentra grava aluvial compacta.

El nivel freático en esta zona se encuentra a una profundidad de 0,5 m a 1,00 m. En época de avenida, cuando el acuífero se recarga, la profundidad de la napa freática disminuye, aflorando e inundando algunos sectores de esta zona.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho varía de 1,5 kg/cm² a 2.0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1,00 m a 1,50 m, sobre el material de grava compacta.

Zona III. Esta zona abarca el centro de la ciudad de Pisco (Zona III A) y la mayor parte de la ciudad de Túpac Amaru (Zona III B).

En la ciudad de Pisco (Zona III A) el terreno está conformado por un estrato superficial de relleno heterogéneo con espesor variable entre 1,0 m y 1,8 m. Debajo de este material se encuentra un estrato de arena limosa suelta que alcanza una profundidad de 3,5 m a 4,0 m, seguidamente se encuentra la grava aluvial compacta. El nivel freático de esta zona se encuentra a una profundidad mayor a 1,0 m.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho, típica para una edificación convencional no mayor a tres

pisos, varía de $0,80 \text{ kg/cm}^2$ a $1,0 \text{ kg/cm}^2$ a la profundidad de cimentación de 1,80 m a 2,00 m. Es recomendable no cimentar sobre el relleno superficial, pues sufre grandes asentamientos generando niveles de daños graves para las edificaciones. En esta zona, para construir edificaciones mayores a tres pisos se deberá exigir realizar estudios específicos de suelo para el diseño de cimentación.

En la ciudad de Túpac Amaru (Zona III B) el terreno está conformado por un estrato de arena limosa semisuelta con espesor mayor a 5,0 m. El nivel freático de esta zona se encuentra a una profundidad mayor a 1,0 m. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho de una edificación típica no mayor a tres pisos, varía de $0,60 \text{ Kg/cm}^2$ a $0,8 \text{ kg/cm}^2$ a la profundidad de cimentación de 1,50 m a 2,00 m.

Zona IV. Esta zona abarca diferentes áreas localizadas en las ciudades de Pisco y Túpac Amaru, donde el terreno está conformado áreas pantanosas y por rellenos heterogéneos con alto contenido de basura y material de desmonte colocado sobre suelos pantanosos altamente compresibles, con una profundidad mayor a 3,5 m. Estas áreas han sido definidas como zonas críticas debido al nivel de daños que han experimentado las edificaciones de albañilería construidas sobre estos terrenos, habiéndose reportado inclusive la ocurrencia de licuación de suelos. Debido a estas características desfavorables se considera que estas zonas no son aptas para la construcción de edificaciones.

El plano P-06 muestra el Mapa de Microzonificación Geotécnica para la Ciudad de Pisco, el cual ha sido generado con información geotécnica y sistema de información geográfica (GIS).

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LOS SUELOS

5.1. Introducción

En la ciudad de Pisco se ha evaluado las características dinámicas del suelo mediante ensayos geofísicos consistentes en la medición de microtrepidaciones y ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW). Estos ensayos han permitido determinar el periodo de vibración predominante del suelo y además obtener perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte, con los cuales se puede modelar la respuesta dinámica del terreno y estimar los factores de amplificación que generan a las ondas sísmicas que arriban a la superficie desde el subsuelo.

Una información importante también son los registros de aceleraciones que se puedan obtener durante los movimientos sísmicos. Desafortunadamente en la ciudad de Pisco no se pudo registrar el movimiento del terremoto del 15 de agosto del 2007, sin embargo, se consiguió marcar algunas réplicas de este movimiento, las cuales también han contribuido a entender el comportamiento dinámico del suelo en la ciudad de Pisco. A continuación la evaluación detallada de la determinación del comportamiento dinámico del suelo en la ciudad de Pisco.

5.2. El terremoto de Pisco del 15 de agosto del 2007

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) reporta los siguientes parámetros del sismo (Tavera, 2007). La Figura 5.1 muestra la ubicación del epicentro (Tavera et al 2007).

Hora origen	23 horas, 40 minutos, 53,6 segundos (GMT) 18 horas, 40 minutos, 53,6 segundo (hora local)
Ubicación	Latitud -13.49° Longitud: -76.85°

Profundidad : 26 km

Magnitud : 7,0 ML (Richter), 7,9 Mw (magnitud momento)

El sismo tuvo origen en la zona de contacto de la placa de Nazca y Sudamericana. La Figura 5.2 muestra en color rojo el área de ruptura del sismo del 15 de agosto del 2007 (Tavera, 2007) que abarcó la brecha sísmica que existía entre el área de ruptura del sismo de Lima del 3 de octubre de 1974 y del sismo de Nazca del 12 noviembre de 1996.

Figura 5.1 : Epicentro del sismo del 15/08/07, a 74 km en dirección Oeste de la ciudad de Pisco. La esfera representa el mecanismo focal de tipo inverso (Tavera, et al 2007).

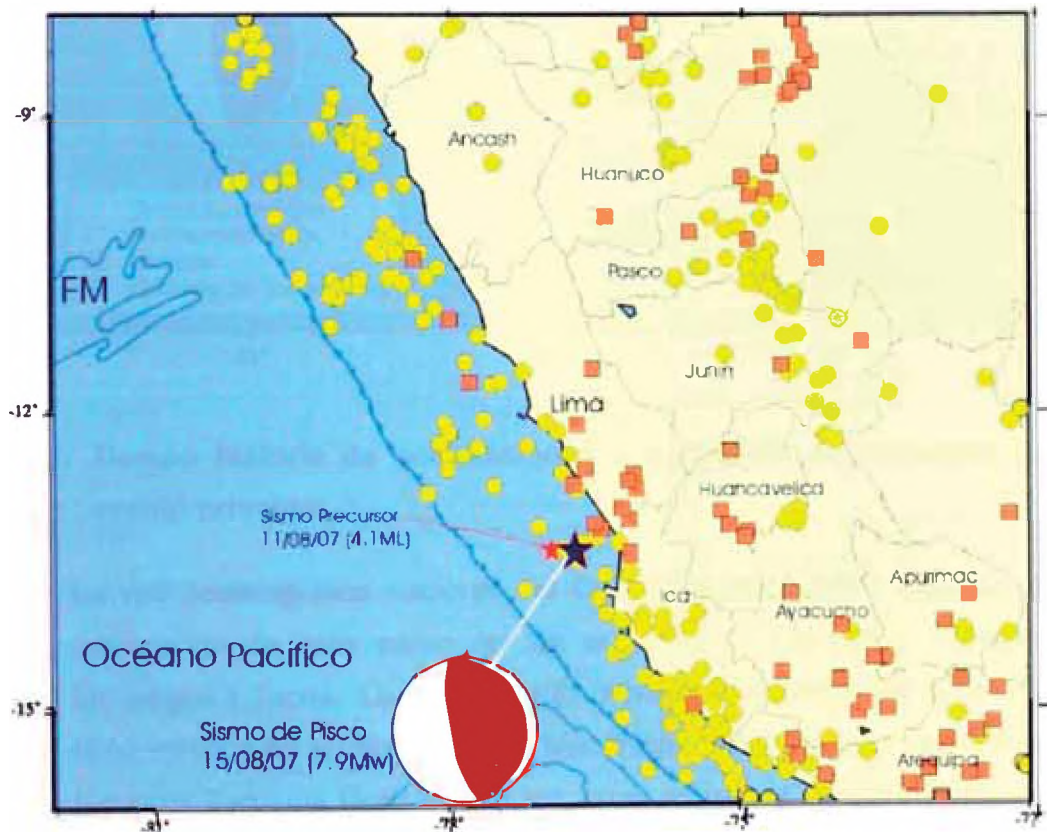
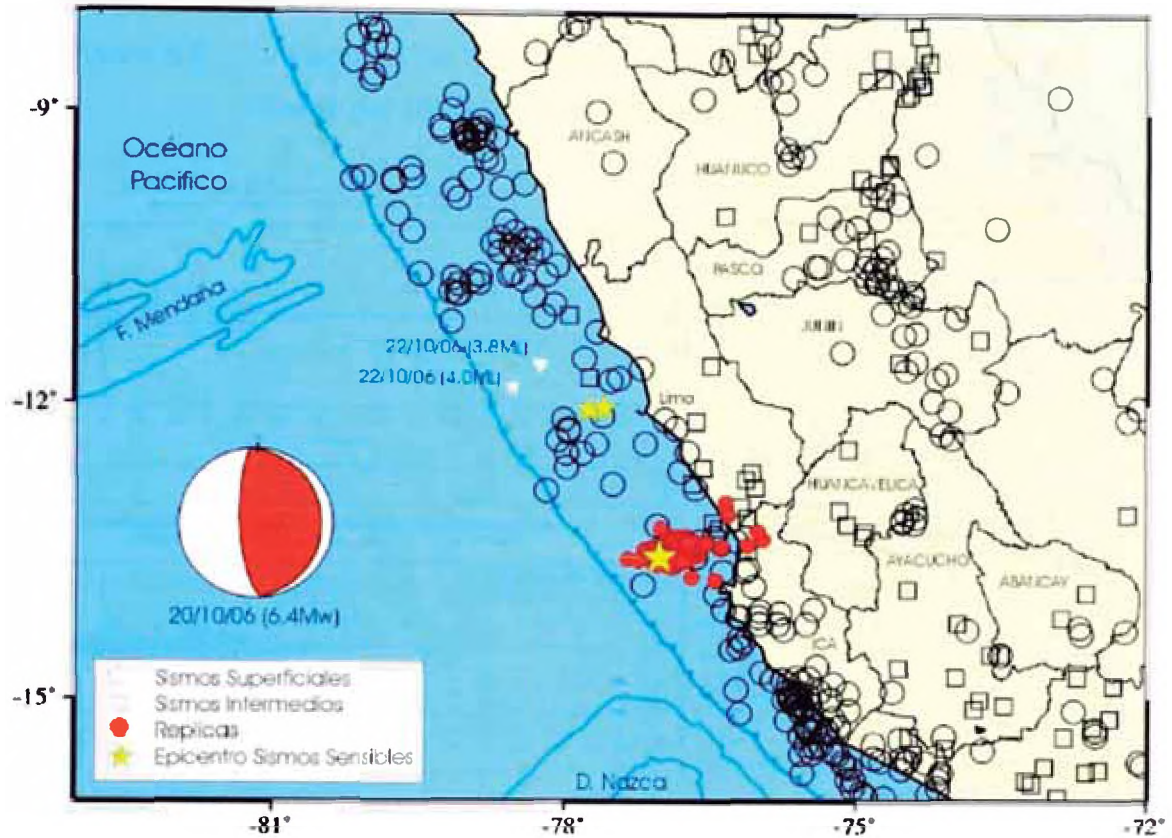


Figura 5.2 : Epicentro del sismo del 20/10/06, a 90 Km al Oeste de la ciudad de Pisco. La esfera representa el mecanismo focal (Tavera, et al 2006)

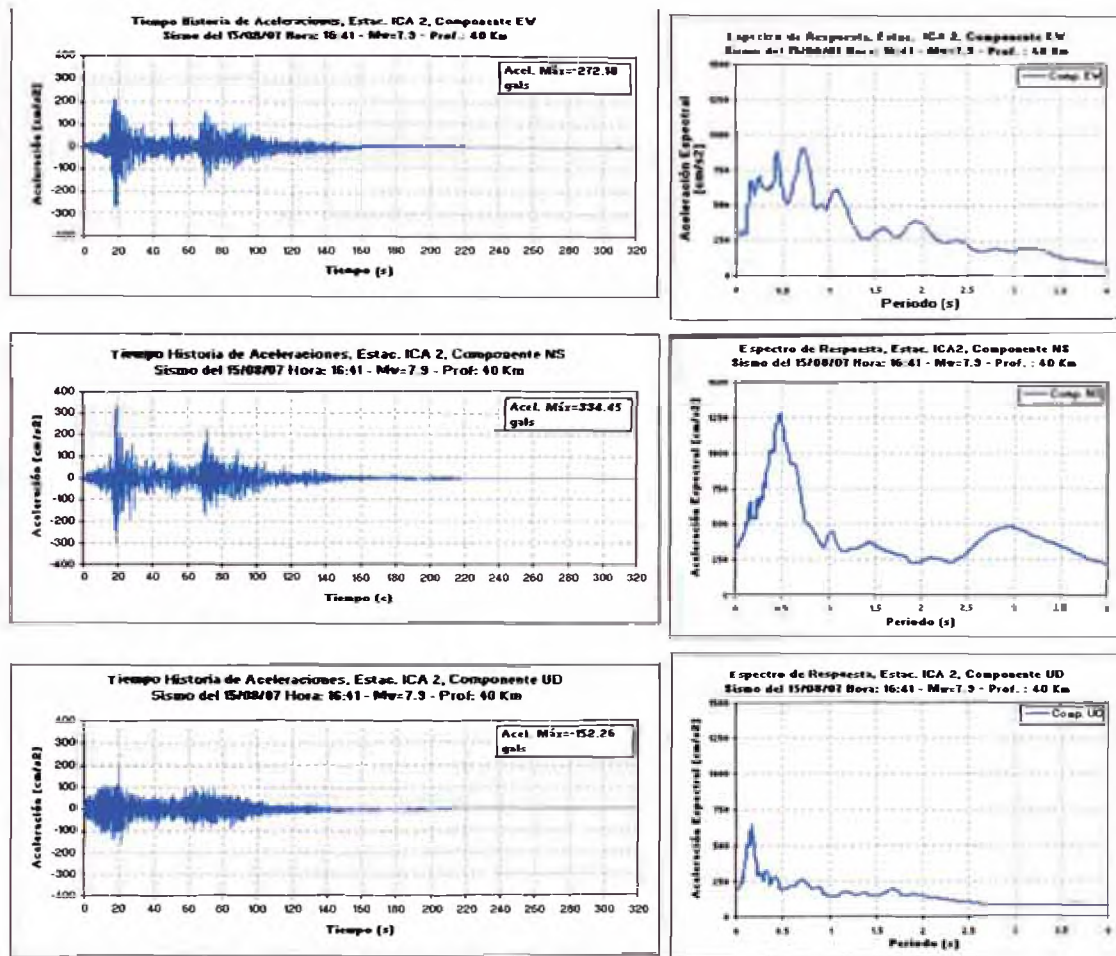


5.2.1. Tiempo historia de aceleraciones y espectros de respuesta del evento principal.

La red acelerográfica nacional del CISMID obtuvo varios registros de aceleración de este sismo en las ciudades de Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna. La estación más próxima al epicentro fue la llamada ICA2 ubicada en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, cuyo registro y su correspondiente espectro de respuesta se muestra en la Figura 5.3. De acuerdo a la exploración geotécnica realizada en este lugar, el perfil de suelo consiste en un potente estrato de arena fina suelta, con valores de velocidad de ondas de corte que varían desde 180 m/s en la superficie hasta 300 m/s a 17 m de profundidad. La aceleración máxima registrada en esta estación es de 0,34 g en la componente NS y de 0,28 g en la

componente EW. Los espectros de respuesta elásticos ($h=5\%$) muestran factores de amplificación de 3 a 4 en un rango de periodos de hasta 1,0s, lo cual muestra el comportamiento característico de un suelo suelto, como es este caso.

Figura 5.3 : Registro de Aceleración y Espectro de Respuesta del Sismo del 15/08/07 en la Estación ICA2.



5.3. Medición de microtrepidaciones en la ciudad de Pisco

La técnica de medición de microtremores ha sido utilizada desde principios del siglo XX para determinar las propiedades dinámicas del terreno. Omori (1908) inició las investigaciones sobre microtremores empleando un instrumento muy simple para observar la vibración natural del suelo que no correspondía a una vibración sísmica ni a alguna oscilación pulsatoria y encontró que dicha vibración natural podría ser causada por el viento, olas marinas o perturbaciones artificiales como el tráfico, vibración de máquinas, etc. Para

definir este tipo de vibraciones, que tiene periodos cortos y sus amplitudes son más pequeñas que las oscilaciones pulsatorias, Omori utilizó el término de “microtrepidaciones”.

Los microtremores o microtrepidaciones están conformados básicamente por ondas superficiales Rayleigh y Love, que están afectadas por la estructura geológica del sitio donde se mide. Las fuentes se encuentran distribuidas al azar y en una gran área, las cuales se clasifican según Bard (1998) en:

- a) Para bajas frecuencias (por debajo de 0,3 Hz a 0,5 Hz), que son causados por las ondas oceánicas que ocurren a grandes distancias.
- b) Para frecuencias intermedias (0.3–0.5 Hz y 1 Hz), los microtremores son generados por las olas del mar cercanas a las costas.
- c) Para altas frecuencias (mayores a 1 Hz), las fuentes están ligadas a la actividad humana.

Esta técnica de medición de microtrepidaciones ha sido utilizada en el presente estudio para determinar las características dinámicas del terreno de cimentación en la ciudad de Pisco. En esta ciudad se realizó la medición de microtremores en 82 puntos distribuidos uniformemente en toda el área urbana y las zonas de expansión. La distribución de puntos medidos, como se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 : Distribución de puntos de microtremores

Distrito	Número de puntos
Pisco (incluye San Miguel)	61
San Andrés	04
Villa Túpac Amaru	17

De los 61 puntos de microtremores ensayados en Pisco, es necesario indicar que 16 puntos corresponden a los obtenidos por el equipo de investigadores de la Universidad de Tokio (UT) que en conjunto con el equipo del CISMID compartieron dos días de trabajo en Pisco, realizando mediciones de microtremores en los puntos (en color azul) que se indican en el Plano P-07,

para ello utilizaron un equipo de medición similar al del CISMID. Con la autorización respectiva de los investigadores mencionados se incluye en este estudio los puntos de medición realizado por dicho grupo.

Esta técnica ha sido ampliamente usada en trabajos de micromicrozonificación sísmica dando muy buenos resultados. El procesamiento de la información se ha realizado utilizando el método de Nakamura, el cual consiste en determinar la relación de espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la componente vertical (relación H/V). Este método ha dado buenos resultados en la evaluación de los registros de microtemores obtenidos en esta ciudad, donde se observa que, en algunos sectores, hay importantes efectos dinámicos, además se observó considerables amplificaciones en periodos bajos e intermedios.

Los resultados obtenidos por la técnica de medición de microtemores muestran un comportamiento dinámico particular en las distintas zonas del área de estudio. Para corroborar dicho comportamiento, se ha realizado también un análisis de los registros sísmicos de réplicas del sismo del 15 de agosto del 2007 obtenidas en la ciudad de Pisco, con lo cual se ha podido validar los resultados obtenidos y definir las características dinámicas de las zonas geotécnicas identificadas.

5.3.1. Mapa de curvas isoperiodos

En el Plano P-08 se presenta las zonas de periodos predominantes del terreno determinada para la ciudad de Pisco en función del análisis de los resultados obtenidos de la medición de microtemores en diferentes puntos.

Se identifica una zona de periodos igual o menor a 0,1 s (color verde) que corresponde al distrito de San Andrés, la localidad de San Miguel y el área Sur de la ciudad de Pisco, esta área tiene como límite superior a la avenida Las Américas. También pertenece a esta zona la denominada área de expansión urbana del distrito de Pisco. Los cocientes espectrales H/V presentan baja amplificación en la mayoría de los puntos medidos en esta zona, se presentan picos de amplitud máxima en alta frecuencia, proporcionando valores muy bajos de periodo predominante. Mientras que los cocientes espectrales H/V de la localidad de San Miguel

prácticamente no presentan amplificación, los valores relativos se encuentran cercanos a la unidad, indicando una respuesta plana para el intervalo de periodo de interés, además se observan algunos picos espectrales que determinan el periodo del terreno. Entonces, las formas espectrales descritas en esta zona corresponden al comportamiento dinámico de un suelo firme.

Otra zona (color amarillo) comprende el área central y Norte del distrito de Pisco y la mayor parte del distrito de Villa Túpac Amaru, donde se presentan periodos que varían de 0,1 s a 0,14 s. Los cocientes espectrales presentan valores de amplificaciones moderadas y en algunos puntos amplificaciones altas, con picos de valores máximos bien definidos. Es importante mencionar que existen ciertos puntos ubicados en la zona centro y Este de Pisco, que presentan valores de periodos por debajo de 0,1 s. Estos valores son los más bajos se han obtenido en puntos cercanos a la zona industrial (lado Este), donde por actividad propia de la zona existe movimientos del terreno en alta frecuencia, que han sido registrados por el equipo de medición de microtrepidaciones, por lo que no reflejarían el periodo de vibración natural del sitio. El punto medido más alejado al lado Este presenta un valor de 0,12 s y se utiliza para limitar esta zona. Se concluye que esta zona presenta las características de un suelo intermedio.

En el distrito de Villa Túpac Amaru se determinaron dos zonas adicionales, una de periodo 0,24 a 0,26 s (color naranja), ubicada por el lado Este, con mayor pendiente y otro de 0,39 a 0,4 s. (color rojo) localizado en la zona central, adyacente a la ubicación de los humedales, esta zona es la que presenta los mayores periodos de vibración natural de la zona de estudio. Los valores descritos corresponden al comportamiento dinámico de un suelo blando.

5.4. Ensayos de medición de ondas de corte-método MASW

Con la finalidad de determinar la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) del terreno en el área de estudio se realizaron ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW) para la obtención de perfiles de ondas S. Con la información obtenida de este ensayo fue posible realizar una

estimación indirecta de las características estratigráficas de los suelos que se encuentran a diferentes profundidades y además determinar sus propiedades dinámicas.

En el área de estudio se han realizado 12 ensayos MASW con un total de 742 m de longitud.

La ubicación de las líneas sísmicas ejecutadas en las zonas de estudio se presenta en el Plano P-09 y en la Tabla-5.2, se presenta un listado de los sondeos realizados.

Tabla 5.2 : Relación de Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW

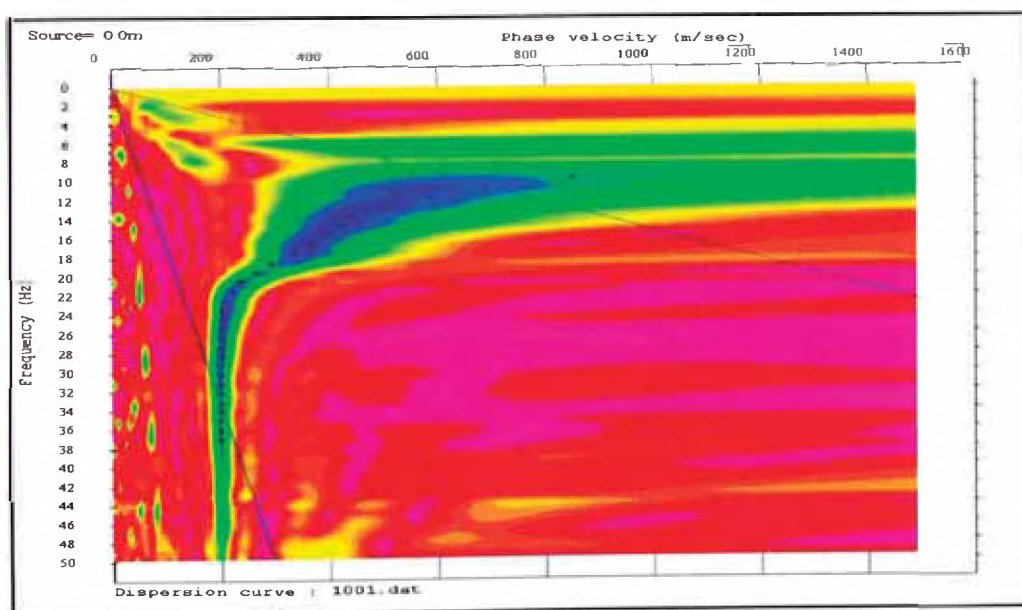
Zona	Sondaje	Longitud (m)	Tipo de Onda
Pisco	Sondaje 02	53	Onda S
	Sondaje 04	53	Onda S
	Sondaje 05	53	Onda S
	Sondaje 06	53	Onda S
	Sondaje 07	53	Onda S
	Sondaje 08	53	Onda S
	Sondaje 08	53	Onda S
	Sondaje 10	53	Onda S
	Sondaje 11	53	Onda S
	Sondaje 12	53	Onda S
	Sondaje 13	53	Onda S
	Sondaje 14	53	Onda S
	TOTAL	742	Onda S

5.4.1. Fundamentos de los Ensayos MASW

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

La interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión, la Figura 5.4 (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que su velocidad de fase se aproxima en un 90 a 95% del valor de V_s , y luego mediante un cálculo inverso iterativo (método de inversión) se obtiene el perfil V_s desde la curva de dispersión calculada para cada punto de estudio. Con los equipos utilizados, la profundidad de exploración alcanza hasta los 25 m en promedio.

Figura 5.4 : Curva de Dispersión



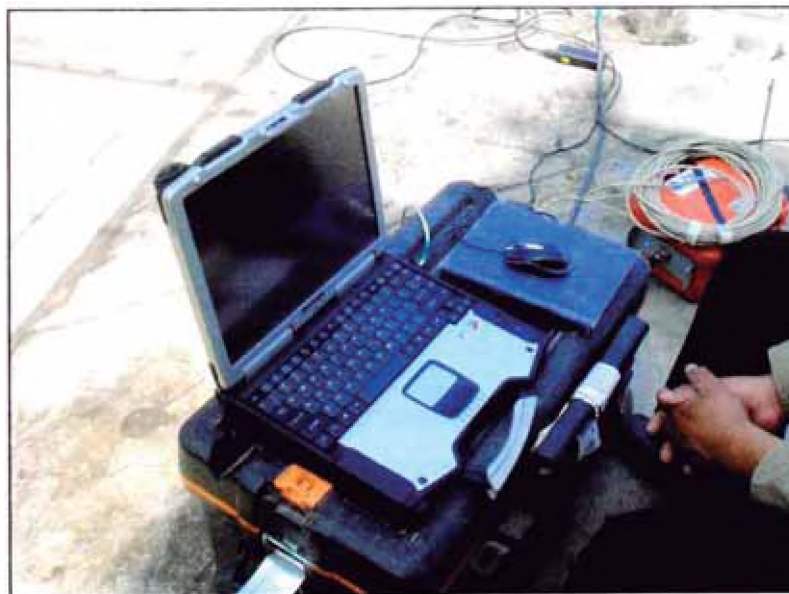
5.4.2. Equipo e instrumentos utilizados

Para realizar los ensayos de refracción sísmica y de medición se contó con un equipo de prospección geofísica ES-3000, desarrollada por la empresa GEOMETRICS, en la Figura 5.5 se muestra el equipo que tiene las siguientes características:

- a) 12 canales de entrada, cada uno de los cuales tiene un convertidor A/D individual con resolución 24 bit y alta velocidad de muestreo.
- b) 12 sensores o geófonos de 10 Hz de frecuencia, los cuales permiten registrar las vibraciones ambientales del terreno producidas por fuentes naturales o artificiales y el arribo de las ondas S generadas por las fuentes de energía.
- c) Computadora portátil, Toshiba Pentium IV.
- d) Un cable conector de geófonos de 120 m de longitud.

Los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración pueden ser procesados en el campo en forma preliminar y en forma definitiva en el gabinete, utilizando para ello programas de cómputo que permiten obtener las velocidades de propagación de las ondas S y el perfil sísmico del terreno.

Figura 5.5 : Equipo de Prospección Geofísica ES-3000



5.4.3. Procedimiento de los trabajos de campo

En los trabajos de campo realizados, en cada ensayo de MASW, primero, se definió el eje del sondaje sísmico, seguidamente, se procedió a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. El espaciamiento entre geófonos es definido en función de la profundidad de exploración requerida. En el presente trabajo, en función a la topografía y a los requerimientos del estudio, se realizaron líneas MASW de 53 m de longitud. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue un martillo de 25 lbs.

Asimismo, se realizaron en total 12 sondajes cuya longitud de separación entre sensores o geófonos fue de 3 m. La ubicación de los sondajes MASW ejecutados tanto en la zona denominada como Zona de Expansión de Pisco, en la localidad de San Andrés y en Pisco Centro se presentan en el Plano P-09, los registros de las ondas sísmicas se presentan en el Anexo IV. Además, en el Anexo XI se presenta el panel fotográfico que documenta las diferentes actividades realizadas en el trabajo de campo, durante la realización de estos ensayos.

5.4.4. Procesamiento e interpretación de la información

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidos en cada una de las líneas de exploración realizadas, que se presentan en el Anexo IV, y que representan las llegadas de las ondas superficiales a cada uno de los geófonos ubicados a distancias especificadas, se determina las curvas de dispersión, las cuales se muestran en el Anexo V. Con esta información se realizó la interpretación de los sondajes sísmicos del área investigada, que se presentan en el Anexo VI, y cuya descripción se presenta a continuación.

Sondaje 2 (S-02)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 2, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 15 m en el

punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 270 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 510 m/s de promedio, hasta una profundidad de 7 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una arena y grava limosa medianamente compacta a compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 820 m/s de promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava limosa muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 01 del Anexo VI.

Sondaje 4 (S-04)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 4, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 15 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena y grava limosas medio suelta a densa.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 610 m/s, hasta una profundidad de 7 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava arenosa limosa medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 900 m/s. Estos valores de velocidad corresponderían a un material

compuesto por una grava limosa muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 02 del Anexo VI

Sondaje 5 (S-05)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 5, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 15 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material correspondería a un material de arena y grava limosa que se encuentra suelto en superficie y ligeramente denso en profundidad.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 500 m/s, hasta una profundidad de 7 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava limosa compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 810 m/s. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava limosa muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 03 del Anexo VI

Sondaje 6 (S-06)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 6, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 160 m/s, hasta una profundidad de 1.0 m. Estratigráficamente este

material correspondería a un material de relleno de arena limosa con gravas aisladas, en estado suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s, hasta una profundidad de 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena con grava medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 510 m/s, hasta una profundidad de 13.2 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava limosa compacta.

A partir de esta profundidad los valores de velocidad se incrementan gradualmente hasta los 715 m/s, las cuales pueden corresponder a una grava limosa muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 04 del Anexo VI.

Sondaje 7 (S-07)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 7, de 53.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 166 m/s, hasta una profundidad de 1.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a un material de relleno heterogéneo predominantemente conformado por arena limosa con gravas aisladas, suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 360 m/s, hasta una profundidad de 7 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una arena y grava limosa medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 560 m/s de promedio, hasta una profundidad de 13.2 m. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava limosa compacta.

A partir de este nivel, las velocidades de ondas S alcanzan valores de 785 m/s, las cuales pueden corresponder a un material de grava muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 05 del Anexo VI.

Sondaje 8 (S-08)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 8, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 134 m/s, hasta una profundidad de 3.7 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 375 m/s de promedio, hasta una profundidad de 8.9 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una arena y grava limosa medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 571 m/s de promedio, hasta una profundidad de 18.3 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava limosa compacta.

A partir de este nivel, las velocidades de ondas S alcanzan valores de 700 m/s, las cuales pueden corresponder a un material de grava muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 06 del Anexo VI.

Sondaje 9 (S-09)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 9, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cinco estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 140 m/s, hasta una profundidad de 1.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 210 m/s, hasta una profundidad de 5.3 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 374 m/s en promedio, hasta una profundidad de 11 m. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena y grava limosa medianamente compacta.

El cuarto estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 511 m/s de promedio, hasta una profundidad de 15.6 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava limosa compacta.

A partir de este nivel, las velocidades de ondas S alcanzan valores de 635 m/s, las cuales pueden corresponder a un material de grava muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 07 del Anexo VI.

Sondaje 10 (S-10)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 10, de 53.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad

de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 140 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s, hasta una profundidad de 8.9 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 495 m/s de promedio, hasta una profundidad de 15.6 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una arena y grava limosa compacta.

A partir de este nivel, las velocidades de ondas S alcanzan valores de 626 m/s, las cuales pueden corresponder a una grava muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 08 del Anexo VI.

Sondaje 11 (S-11)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 11, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 140 m/s, hasta una profundidad de 2.30 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 450 m/s de promedio hasta una profundidad de 8.9. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena y grava compactas.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) de 648 m/s, hasta una profundidad de 13.2 m. Estratigráficamente este material correspondería a una grava arenosa muy compacta.

A partir de este nivel, las velocidades de ondas S alcanzan valores de 900 m/s de promedio, las cuales pueden corresponder a una grava o roca alterada muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 09 del Anexo VI

Sondaje 12 (S-12)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 12, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables desde 1 m hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) de 140 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material corresponde a una arena limosa suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) de 310 m/s, hasta una profundidad de 7.0 m. Estratigráficamente este material correspondería a una arena y grava medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) de 520 m/s, hasta una profundidad de 13.2 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena y grava compacta.

A partir de esta profundidad los valores de velocidad se incrementan gradualmente hasta los 700 m/s, las cuales pueden corresponder a una grava muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 10 del Anexo VI.

Sondaje 13 (S-13)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 13, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 22 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) entre 235 m/s, hasta una profundidad de 2.3 m. Estratigráficamente este material correspondería a un material de arena y grava medianamente suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 518 m/s de promedio, hasta una profundidad de 7.0 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una arena y grava compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 841 m/s de promedio, hasta una profundidad de 13.2 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava muy compacta.

A partir de este nivel, las velocidades de ondas S alcanzan valores de 1020 m/s, las cuales pueden corresponder a una grava o roca alterada muy compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 11 del Anexo VI.

Sondaje 14 (S-14)

Este sondaje corresponde a un ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 14, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 243 m/s, hasta una profundidad de 3.7 m. Estratigráficamente este material corresponde a una arena limosa medio suelta.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 321 m/s de promedio, hasta una profundidad de 11 m. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una arena y grava limosa medianamente compacta.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 430 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava compacta. Este sondaje se muestra en la Figura 12 del Anexo VI.

La Tabla 5.3 presenta el resumen de los sondajes sísmicos definidos.

Tabla 5.3 : Resumen de los Sondajes de Velocidades de Ondas S

Sondaje	Estrato	V_s	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m)	
Sondaje 02	1	270	2.3	Arena limosa media suelta
	2	510	4.7	Arena y grava limosa medianamente compacta a compacta
	3	820	--	Grava limosa muy compacta
Sondaje 04	1	300	2.30	Arena y grava limosa medio suelta a densa
	2	610	4.7	Grava arenosa medianamente compacta
	3	900	--	Grava limosa muy compacta
Sondaje 05	1	300	2.30	Arena y grava limosa suelta
	2	500	4.7	Grava limosa compacta
	3	810	--	Grava limosa compacta

Sondaje	Estrato	V _s	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m)	
Sondaje 06	1	160	1.00	Arena limosa con gravas aisladas en estado suelto
	2	300	6.00	Arena con grava medianamente compacta
	3	510	6.2	Grava limosa compacta.
	4	715	---	Grava limosa muy compacta.
Sondaje 07	1	166	1.00	Arena limosa con grava aislada suelto.
	2	360	6.00	Arena y grava limosa medianamente compacta.
	3	560	6.2	Grava limosa compacta.
	4	785	6.2	Grava limosa muy compacta.
Sondaje 08	1	134	3.7	Arena limosa suelta.
	2	375	5.2	Arena y grava limosa medianamente compacta.
	3	571	9.4	Grava limosa compacta.
	4	700	---	Grava muy compacta.
Sondaje 09	1	140	1.0	Arena suelta.
	2	210	4.3	Arena medianamente compacta.
	3	374	5.7	Arena y grava limosa medianamente compacta.
	4	511	4.6	Grava limosa compacta.
	5	635	---	Grava muy compacta.
Sondaje 10	1	140	2.3	Arena suelta.
	2	300	6.6	Arena medianamente compacta.
	3	495	6.7	Arena y grava limosa Compacta.
	4	625	---	Grava muy compacta.

Sondaje	Estrato	V_s	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m)	
Sondaje 11	1	140	2.3	Arena suelta
	2	450	6.6	Arena y grava compactas
	3	648	4.3	Grava arenosa muy compactas
	4	900	---	Grava ó roca alterada muy compacta
Sondaje 12	1	140	2.3	Arena limosa suelta
	2	310	4.7	Arena y grava medianamente compacta
	3	520	6.2	Arena y grava compacta
	4	700	---	Grava muy compacta
Sondaje 13	1	235	2.3	Arena y grava medianamente suelta
	2	518	4.7	Arena y grava compacta
	3	841	6.2	Grava muy compacta
	4	1020	---	Grava ó roca alterada muy compacta
Sondaje 14	1	243	3.7	Arena limosa medio suelta
	2	321	7.3	Arena y grava limosa medianamente compacta
	3	430	---	Grava compacta

Los resultados de estos ensayos muestran que las velocidades de ondas de corte se incrementan en profundidad, con lo cual se concluye que el estrato de grava encontrado a profundidades de 0.5 m a 4.0 m, tiene un gran espesor y su compacidad se incrementa con la profundidad. En consecuencia, el comportamiento dinámico del suelo en toda la ciudad va a estar gobernado por este material, que es un suelo rígido y por lo tanto tiene periodos predominantes cortos. Los mayores espesores del estrato superficial, conformados por arenas limosas sueltas y en algunos sectores por rellenos heterogéneos, se presentan en la zona central de Pisco, donde alcanzan de 4.0 m a 7.0 m con valores de velocidades de propagación de

ondas de corte menores a los 400 m/s. En esta zona se han registrado los mayores niveles de daños a las edificaciones debido principalmente a los asentamientos y deformaciones permanentes que ha sufrido este estrato superficial suelto y por las mayores sollicitaciones sísmicas que éstos generan.

5.5. Amplificación unidimensional de ondas sísmicas

Las teorías de amplificación se aplican para conocer el comportamiento dinámico del suelo ante el efecto de sollicitaciones sísmicas. Es conocido que las sollicitaciones sísmicas se incrementan en suelos sueltos o blandos, generando un mayor daño a las edificaciones construidas sobre ellos.

Las características del movimiento sísmico en un sitio dado durante un evento particular dependen de numerosos factores, incluyendo entre otros:

1. El mecanismo de origen del sismo y la magnitud del sismo; conocido como **efecto de fuente**.
2. La distancia del sitio a la fuente principal de liberación de energía, conocido como **efecto del medio de propagación**; que es ocasionado cuando las cuales las ondas sísmicas se propagan desde el foco hasta el basamento del sitio de análisis, a través de las diversas características geológicas de las formaciones rocosas.
3. Las condiciones geológicas, geotécnicas y topográficas del lugar de análisis, conocido como **efecto de sitio**, que consiste en la amplificación de la señal sísmica en varios órdenes de magnitud en el suelo subyacente, en ciertas frecuencias, asociadas con la frecuencia fundamental del sitio.

Dentro de estos factores, la experiencia de terremotos pasados muestra que las “**condiciones locales de sitio**” o “**efecto local**” pueden influenciar grandemente en todas las características de vibración de un lugar (como son: amplitud, contenido de frecuencia y duración de los movimientos fuertes del suelo). La extensión de su influencia depende de la geometría,

las propiedades de los materiales en la superficie, la topografía del sitio y las características del movimiento de entrada.

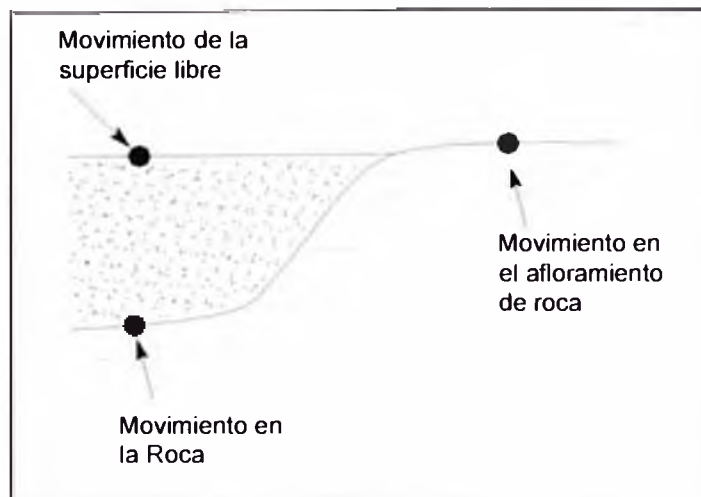
La respuesta del suelo en la superficie es influenciada por la **condición local de sitio**; esto se debe principalmente al cambio de la impedancia específica en el medio estratificado. La base para tal amplificación puede ser analíticamente ilustrada usando una simple **teoría de análisis de la respuesta del suelo**.

5.5.1. Métodos de evaluación del efecto local

Para realizar la evaluación de la respuesta dinámica del suelo existen metodologías unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales. Dadas las características de la zona de estudio, que tiene una topografía relativamente plana, en el presente estudio se ha aplicado el método unidimensional, considerando que el comportamiento del suelo puede ser representado adecuadamente con un modelo lineal equivalente.

El análisis consiste en llevar un registro-tiempo-historia de aceleraciones, obtenido en un afloramiento de roca o suelo firme, hacia la base del depósito. Como siguiente paso, este registro es trasladado a través del depósito de suelo hacia la superficie, para obtener la respuesta dinámica del suelo (Figura 5.6), la cual será función de los parámetros dinámicos del depósito y las características del registro de entrada.

Figura 5.6 : Nomenclatura de la respuesta del terreno, (Ref. Kramer, 1996)

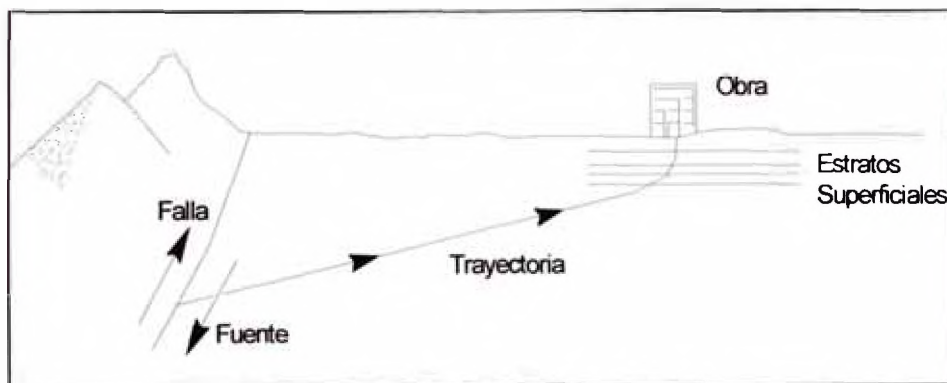


5.5.2. Teoría de la propagación unidimensional de ondas de corte

El análisis unidimensional de la respuesta del terreno asume que todos los contactos entre capas de material son horizontales y, que la respuesta de un depósito de suelo está predominantemente causada por la propagación vertical de ondas de corte horizontales SH a partir del lecho rocoso, que se extiende por debajo de las capas superficiales del terreno. Para este tipo de análisis de respuesta (Figura 5.7), el suelo y el lecho rocoso presentes en la parte más superficial del terreno se asumen como infinitamente extensos en la dirección horizontal (Kramer, 1996)..

Los procedimientos basados en esta hipótesis han sido estudiados para predecir respuestas del terreno. Uno de estos casos es el analizado en esta tesis, en el que el fenómeno de propagación de ondas en un medio estratificado se aplica al subsuelo de la Ciudad de Pisco, utilizando los perfiles sísmicos definidos mediante los ensayos de Medición de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales (MASW).

Figura 5.7 : Proceso de refracción (Ref. Kramer, 1996)



5.5.3. Descripción del programa SHAKE

Schnabel, Lysmer y Seed (1972) desarrollaron un programa de computadora para el Análisis de Respuesta Sísmica de depósitos con capas horizontales sometidos a fuerzas sísmicas, al que llamaron: "SHAKE", el cual está basado en un modelo lineal equivalente.

Con el paso de los años se han hecho cambios en el programa original con el fin de que simplifique y acelere el análisis e interpretación de la respuesta sísmica del suelo.

5.5.4. Perfiles sísmicos de análisis

5.5.4.1. Perfil de suelo de Pisco

Para realizar el análisis de respuesta sísmica del suelo se requieren tener los parámetros dinámicos del suelo. En el presente estudio, estos se han obtenido por medio del ensayo geofísico MASW. Los perfiles sísmicos considerados corresponden a los sondajes 02, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13 y 14 realizados en el proyecto: "Microzonificación Sísmica de la ciudad de Pisco". Estos perfiles están conformados por arenas limosas, medio sueltas, con gravas aisladas y gravas limosas, cuya compacidad aumenta con la profundidad.

Los perfiles sísmicos analizados presentan entre 3 a 4 estratos, así mismo el nivel freático se encuentra entre 0,5 y 2,0 m por debajo de la superficie del terreno. En el Anexo VII se presenta los perfiles sísmicos de los suelos analizados, en la cual se indican sus respectivos valores de velocidad de ondas de corte, densidades de masa y espesores de estratos considerados.

Cabe resaltar que la profundidad de investigación alcanzó de 15 a 22 m, con velocidades de ondas de corte en el último estrato correspondientes a un suelo con alta compacidad, no habiéndose alcanzado el basamento rocoso. En consecuencia, el análisis de amplificación unidimensional se ha realizado considerando al último estrato como un suelo rígido base, dado que su velocidad es similar a la de las estaciones donde se han obtenido los registros acelerográficos.

5.5.4.2. Perfil de Suelo de la Estación Colegio Ingenieros CDL-CIP

De acuerdo al estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica de los 10 distritos de Lima y Callao, realizado por el CISMID. La estación Colegio de Ingenieros CDL-CIP esta ubicada en el distrito de San

Isidro, Lima., ésta se encuentra asentada en el cono de deyección del río Rímac, estando el terreno conformado predominantemente por un estrato potente de grava fluvio-aluvial, conocido como conglomerado.

El estrato superficial está constituido por material de relleno hasta 0,7 m de profundidad, consistente en arena fina y en arcilla limosa hasta 1,40 m de profundidad, subyacente a estos estratos se encuentra el conglomerado de Lima, consistente en una grava de forma redondeada a subredondeada, pobremente gradada, de matriz arenosa, con presencia de boleos, en estado compacto y húmeda,

La información de velocidades de la ondas de corte referenciada por el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizado por el CISMID; indica que éstas varían desde 300 m/s en la superficie a 655 m/s en el conglomerado.

5.5.5. Sismo de Entrada

El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería cuenta con una red de acelerógrafos a nivel nacional, instalados en las principales ciudades del país.

En la actualidad la Ciudad de Pisco no cuenta con una estación acelerográfica para registrar sismos importantes. Sólo se cuenta con estaciones cercanas a la zona de estudio como, la estación acelerográfica Ica-1 e Ica-2, ubicada en el local de Consejo Departamental de Ica del Colegio de Ingenieros del Perú y en el local del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, ubicado en la ciudad de Ica. Así mismo en la Ciudad de Lima se cuenta con la estación acelerográfica CDL – CIP, ubicada en el Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú.

En esta investigación se utilizó como fuente de excitación sísmica del suelo, el acelerograma de la estación Colegio de Ingenieros CDL-CIP para el sismo del 15 de Agosto de 2007. Esta señal, que presenta un

perfil sísmico del suelo descrito en el ítem. 5.5.4.2, tiene similares características en profundidad al perfil estratigráfico de la ciudad de Pisco, por la cual se tomará como un registro que podrá simular una fuente de excitación sísmica en el estrato base considerado para la ciudad de Pisco.

El acelerograma de la estación CDL – CIP presenta una aceleración máxima de 0.06 g o 58.8 gals en la dirección Norte Sur, esta señal ha sido escalada a la aceleración máxima del evento de 475 años de periodo de retorno, obtenido del Estudio de Peligro Sísmico de la Ciudad de Pisco; en consecuencia sobre la base de los resultados obtenidos mediante diferentes modelos de atenuación, se estima, razonablemente, que para este evento en la ciudad de Pisco, la aceleración máxima en un suelo muy firme (suelo tipo C del IBC) fue de 0.57g de acuerdo al modelo de atenuación del CISMID y de 0.45g de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs (1997), que representa el comportamiento de un suelo firme tipo D del IBC. Para representar el efecto de movimientos sísmicos fuertes, las señales sísmicas se han evaluado a los valores indicados y se han introducido en la base de los perfiles analizados, al nivel del suelo firme.

El valor de aceleración máxima que se usó para representar el efecto de sismos fuertes en suelo firme es de 0.45 g. Las 5.8 y 5.9 presentan los registros tiempo-historia de aceleraciones del sismo de ingreso así escalado y utilizado en el análisis.

Figura 5.8 : Registro de Aceleración – 15/08/07 en la ESTACIÓN CDL.-
CIP

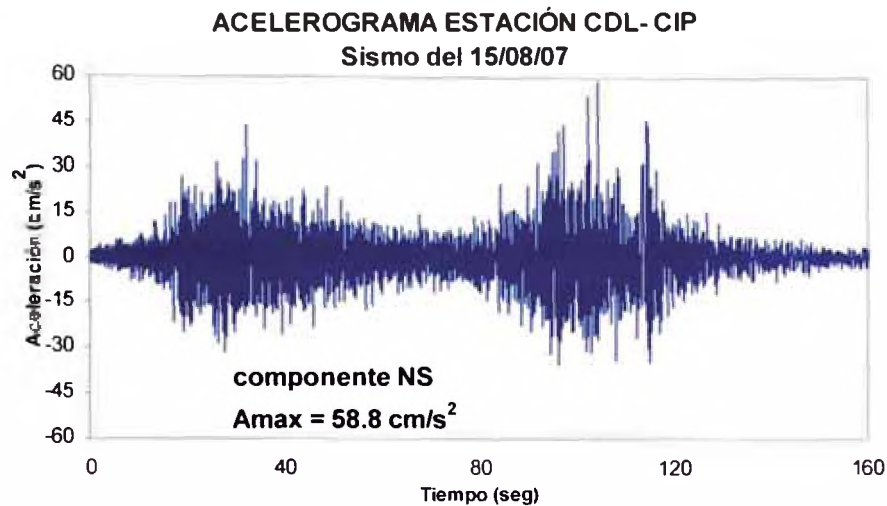
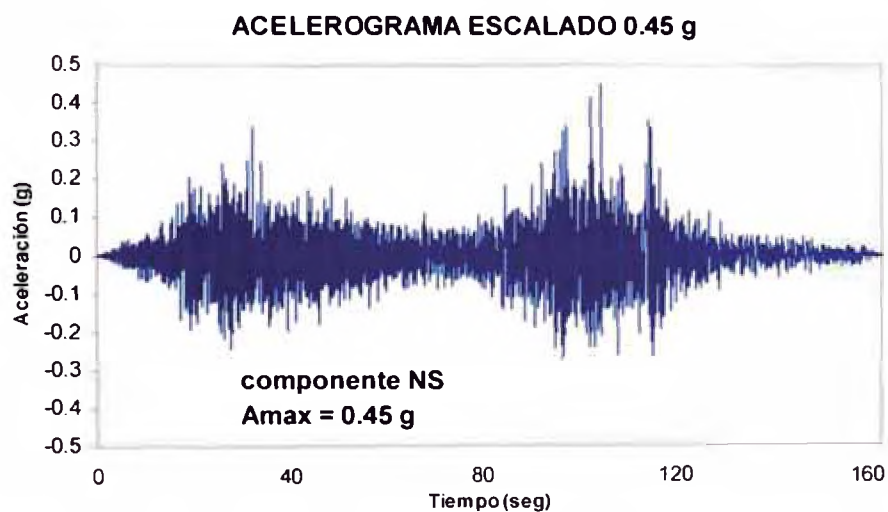


Figura 5.9: Registro de Aceleración Escalado para un Sismo de 0.45g



5.5.6. Metodología

La metodología empleada para obtener los espectros de respuesta en la superficie consistirá en definir perfiles representativos del terreno de cimentación en las diferentes zonas evaluadas. Definido el perfil se obtendrán los parámetros dinámicos de cada uno. Se construirá los perfiles sísmicos utilizados, que tienen como dato de cada estrato considerado los valores de velocidad de ondas de corte (V_s), espesor y

densidad del suelo. Así mismo, el sismo de entrada se ha introducido en un nivel de estrato base compatible con el tipo de suelo firme de la estación acelerográfica, tal como se muestra en la Figura 5.10. Para cada estrato considerado, se ha elegido curvas de módulo de corte y amortiguamiento como datos de entrada, las cuales se muestran en las Figuras 5.11, 5.12 y 5.13.

El análisis sísmico ha sido realizado utilizando el programa SHAKE, desarrollado por Schnabel Lysmer y Seed (1972), el cual está basado en un modelo lineal equivalente.

Figura 5.10 : Perfil sísmico ingresando el registro del sismo en profundidad

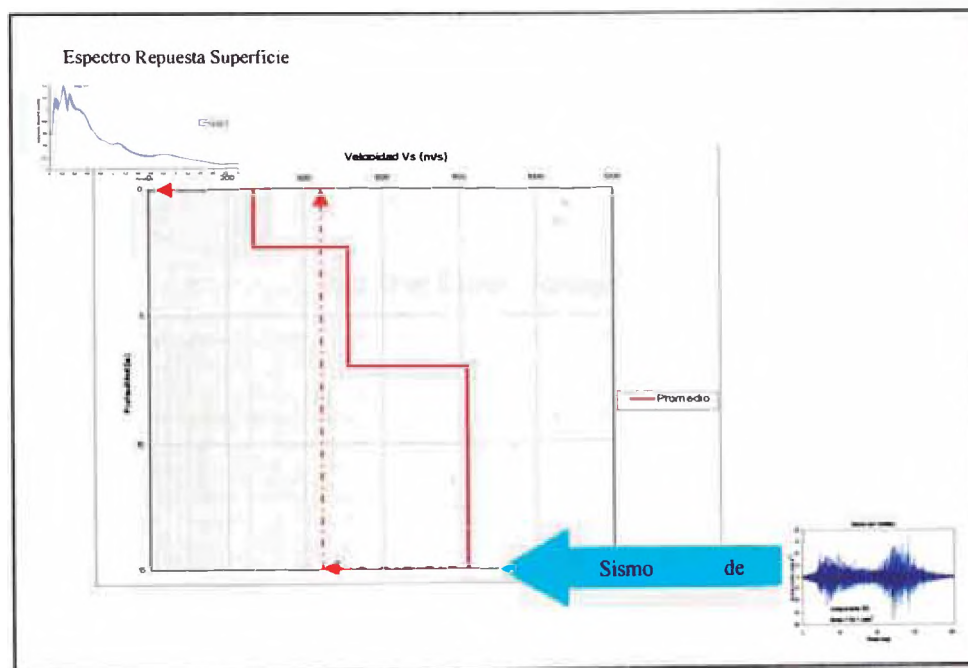


Figura 5.11 : Curvas de Módulo de Corte y Amortiguamiento para Arenas

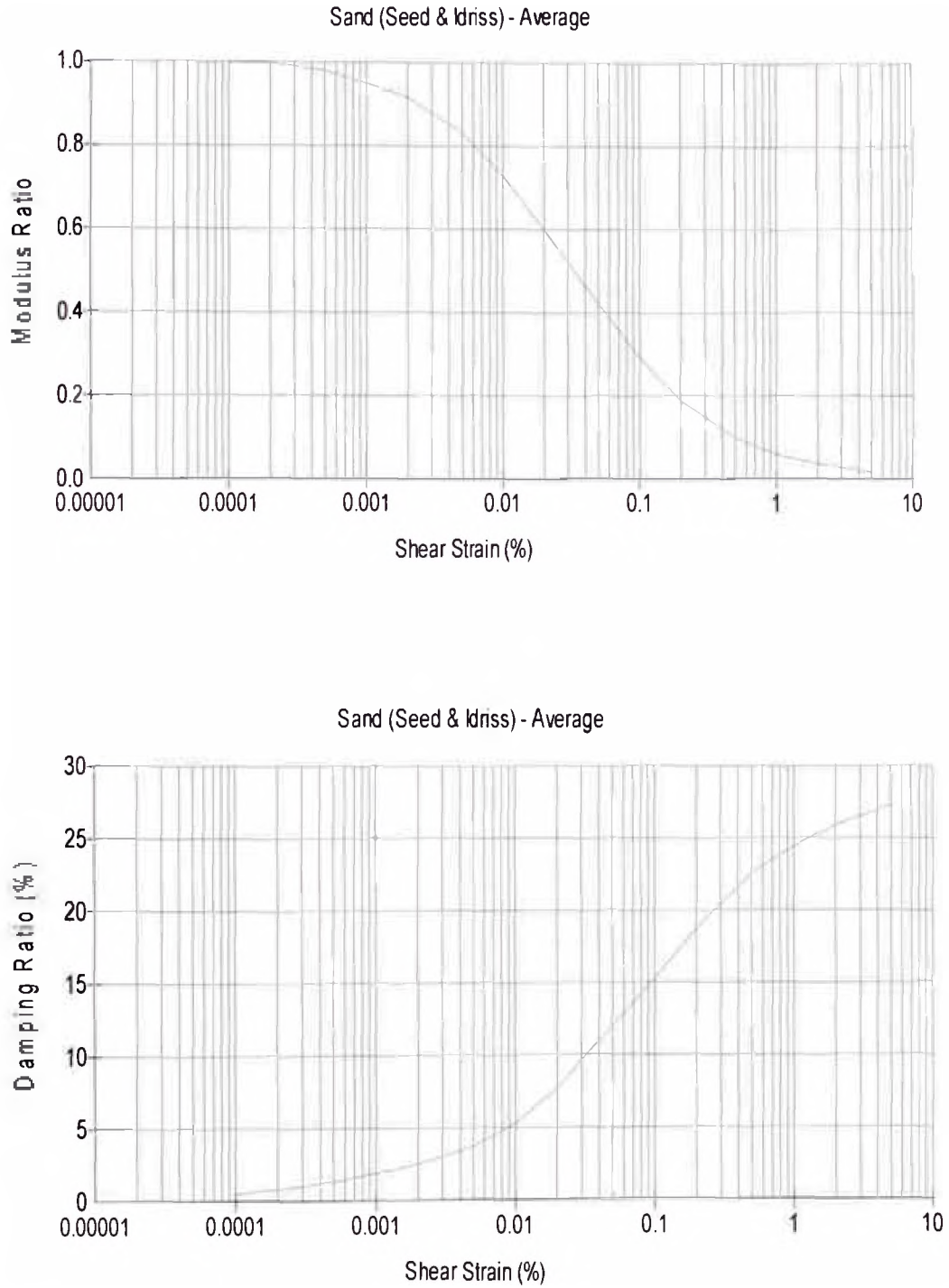


Figura 5.12 : Curvas de Módulo de Corte y Amortiguamiento para
Gravas

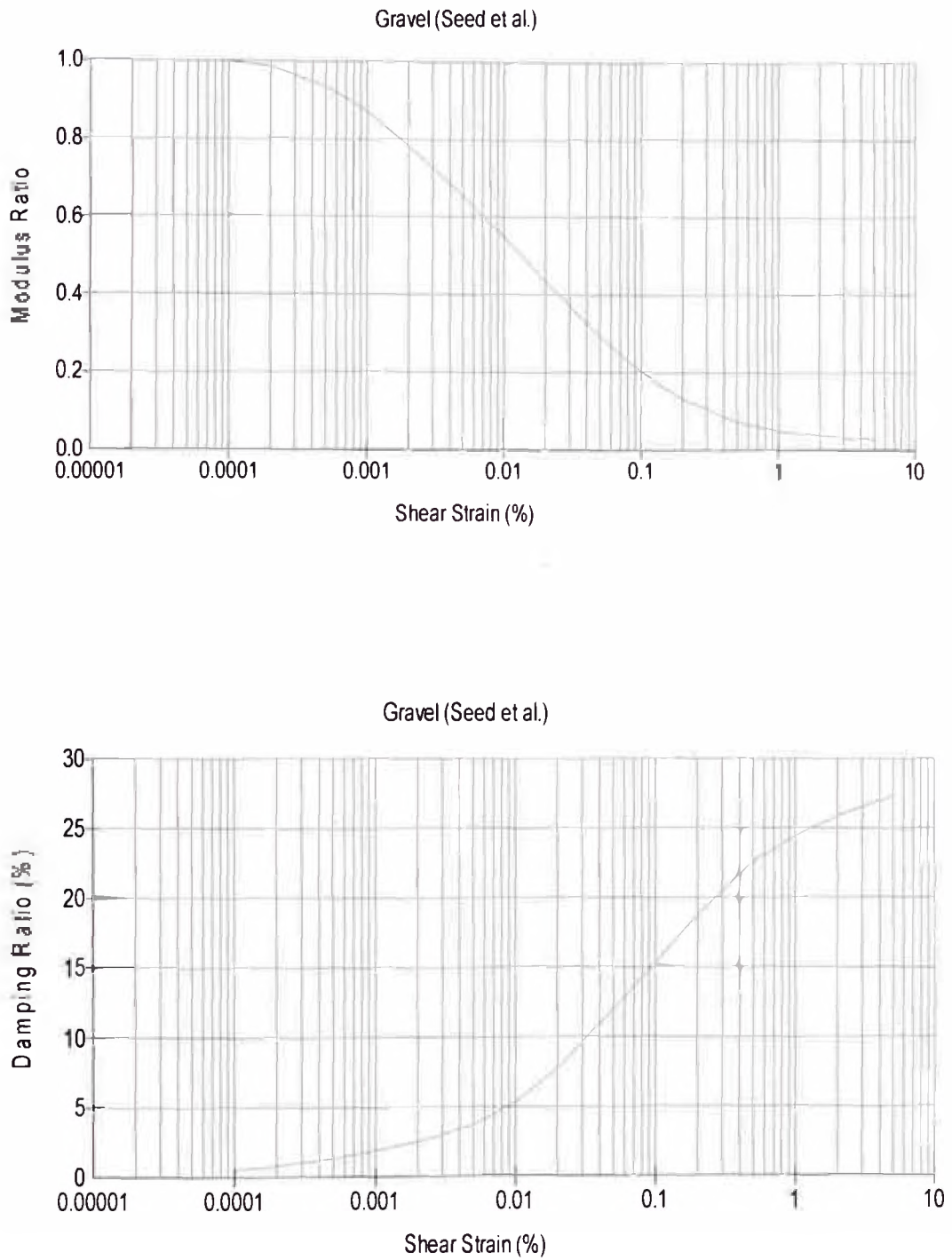
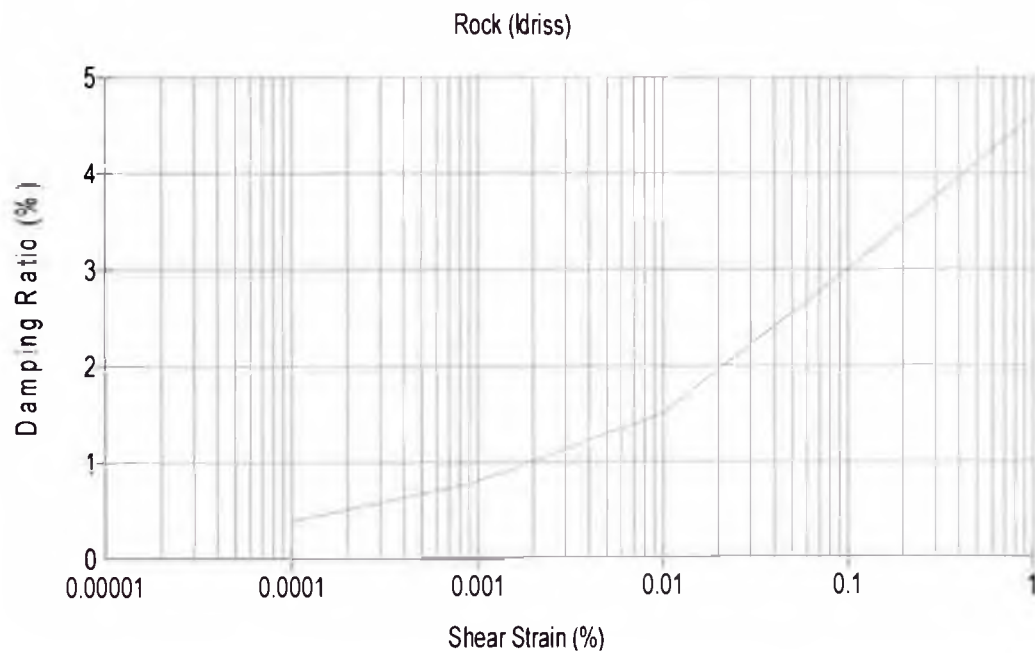
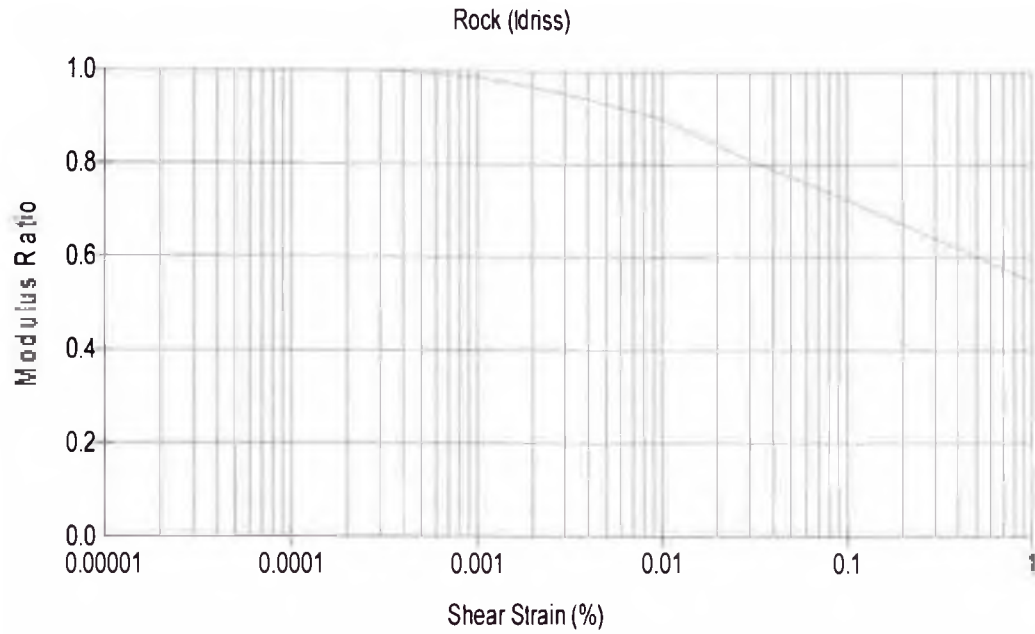


Figura 5.13 : Curvas de Módulo de Corte y Amortiguamiento para Roca



5.5.7. Análisis de la respuesta dinámica de los perfiles

Los espectros de respuesta de aceleraciones en la superficie del terreno con amortiguamiento de 5%, para los niveles de aceleración utilizados, que fueron obtenidos como resultado del análisis unidimensional se presentan en el Anexo VIII. De ellos se observa que los espectros de respuesta presentan una mayor demanda sísmica en el rango de periodos cortos.

El análisis se ha realizado agrupando los perfiles sísmicos en función a la zonificación de la Ciudad de Pisco (Zonas I, II, III), como se muestra en el Plano P-10. Para la Zona I se agrupan los sondajes 02, 05, 06, 07 y 13, para la Zona II sólo se encuentra el sondaje 11 y para la Zona III se agrupan los sondajes 08, 09, 10, 12 y 14.

Los valores máximos de aceleraciones espectrales obtenidos del análisis unidimensional presentan las siguientes características.

Para la Zona I, en la 5.14 se puede observar que las aceleraciones espectrales presentan valores mayores a 1.0g hasta un periodo de 0.4 seg., obteniéndose una aceleración espectral máxima de 1.7g para un periodo de 0.22 seg. En este rango de periodos, se puede considerar una aceleración espectral promedio de 1.2g para representar la platea de un espectro envolvente. A partir de 0.4 seg. las aceleraciones espectrales decrecen significativamente con el incremento del periodo.

Para la Zona II, en la 5.15 se observa que las aceleraciones espectrales presentan valores mayores a 1.1g hasta un periodo de 0.4 seg., obteniéndose una aceleración espectral máxima de 1.85g para un periodo de 0.22 seg. En este rango de periodos, se puede considerar una aceleración espectral promedio de 1.4g para representar la platea de un espectro envolvente. A partir de 0.4 seg. las aceleraciones espectrales decrecen significativamente con el incremento del periodo.

Para la Zona III, en la 5.16 se observa que las aceleraciones espectrales presentan valores mayores a 1.4g hasta un periodo de 0.4 seg., obteniéndose una aceleración espectral máxima de 2.6g para un periodo de 0.22 seg. En este rango de periodos, se puede considerar una aceleración espectral promedio de 2.0g para representar la platea de un espectro envolvente. A partir de 0.4 seg. las aceleraciones espectrales decrecen significativamente con el incremento del periodo.

Figura 5.14 : Espectros de Respuesta ($h=5\%$), para Sismo a 0.45 g, para la Zona I.

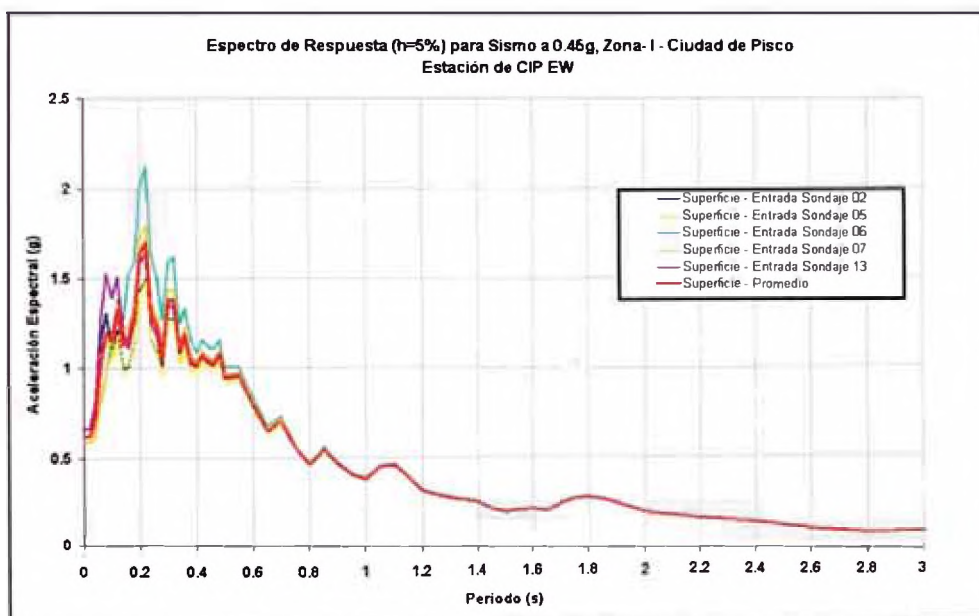


Figura 5.15 : Espectros de Respuesta ($h=5\%$), para Sismo a 0.45 g, para la Zona II.

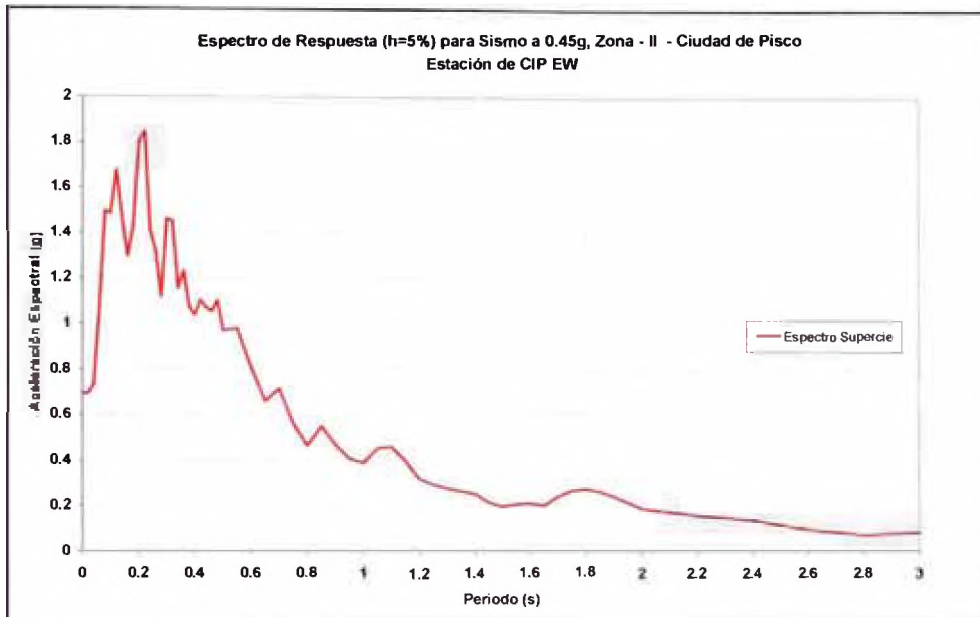
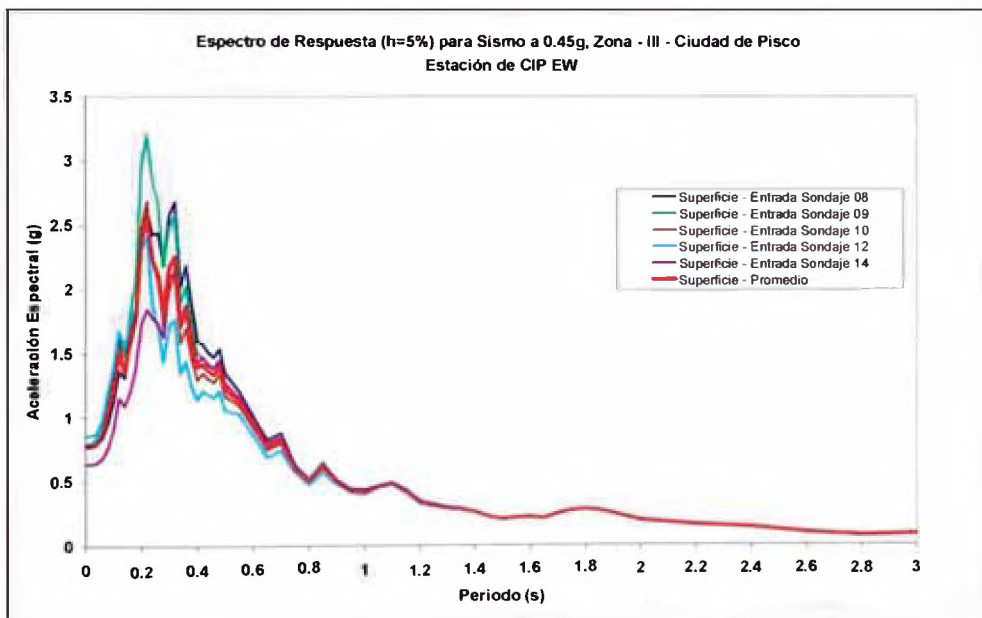


Figura 5.16 : Espectros de Respuesta ($h=5\%$), para Sismo a 0.45 g, para la Zona III.



Para evaluar en forma más directa el efecto de las condiciones locales del suelo en la modificación del movimiento sísmico al pasar desde la base, conformado por el suelo firme, hasta la superficie de la

arena limosa suelta, se han obtenido las relaciones espectrales (cociente del espectro de respuesta en la superficie del depósito con el espectro en la base), estas curvas han permitido elaborar una envolvente promedio de factores de amplificación espectral en función del periodo estructural, esperados en cada uno de los lugares analizados. Estas relaciones espectrales se muestran en el Anexo IX.

Los factores de amplificación espectral obtenidos del análisis unidimensional presentan las siguientes características.

Para la Zona I, en la 5.17 se puede observar que los factores de amplificación presentan valores mayores que 1.0, llegando hasta un máximo de 2.3 para el rango de periodos menores a 0.40 seg. Para periodos mayores a 0.40 seg, el factor de amplificación va decayendo asintóticamente hasta el valor 1.0.

Para la Zona II, en la 5.18 se puede observar que los factores de amplificación presentan valores mayores que 1.0, llegando hasta un máximo de 3.3 para el rango de periodos menores a 0.40 seg. Para periodos mayores a 0.40 seg, el factor de amplificación va decayendo asintóticamente hasta el valor 1.0.

Para la Zona III, en la 5.19 se puede observar que los factores de amplificación presentan valores mayores que 1.0, llegando hasta un máximo de 3.1 para el rango de periodos menores a 0.40 seg. Para periodos mayores a 0.40 seg, el factor de amplificación va decayendo asintóticamente hasta el valor 1.0.

Figura 5.17 : Relación Espectral, para Sismo a 0.45 g, para la Zona I.

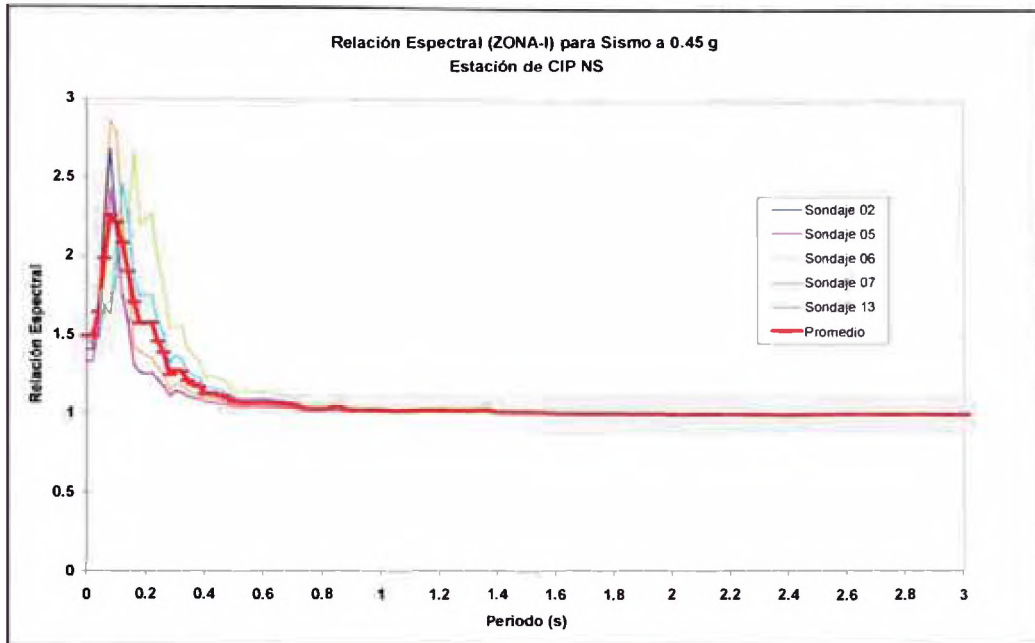


Figura 5.18 : Relación Espectral, para Sismo a 0.45 g, para la Zona II.

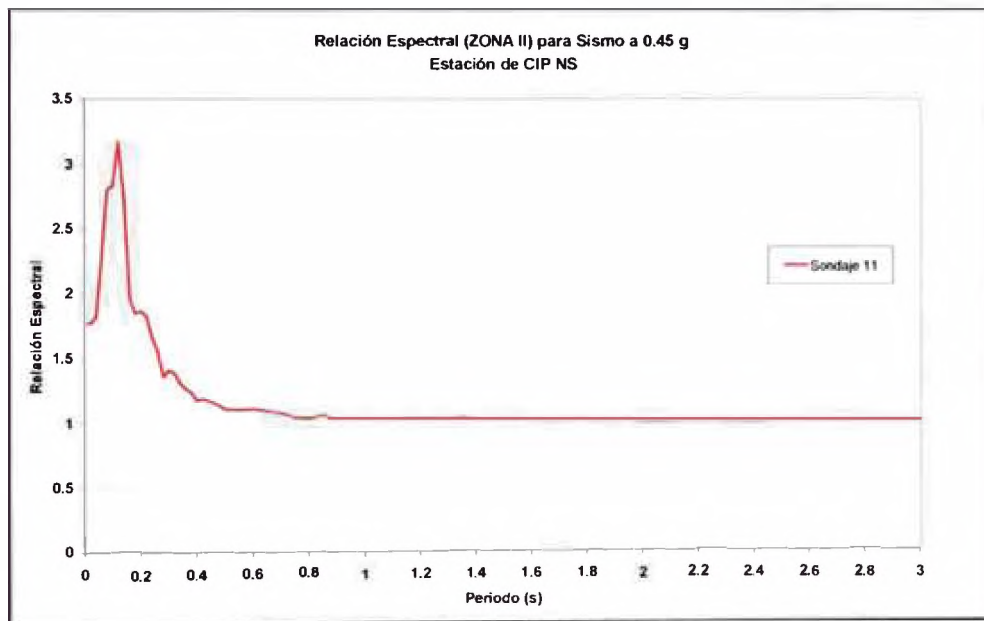
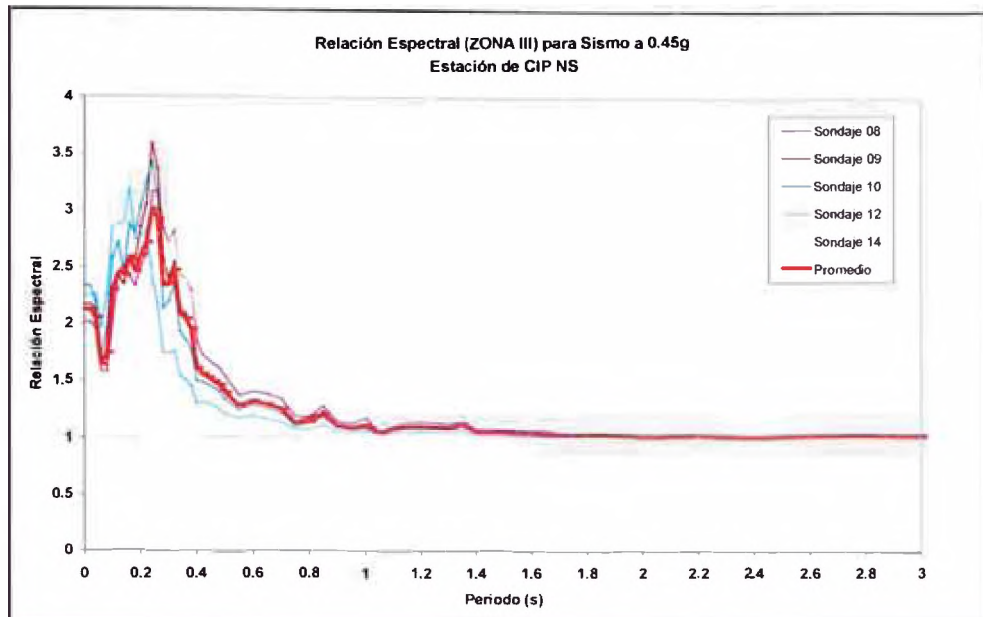


Figura 5.19 : Relación Espectral, para Sismo a 0.45 g, para la Zona III.



Para fines de diseño estructural, en base a los espectros de respuesta obtenidos, se proponen Espectros de Diseño para amortiguamientos del 5%. Estos espectros de diseño propuestos corresponden a la aceleración de respuesta de una estructura a nivel del suelo de cimentación.

Para la construcción de los Espectros de Diseño Propuestos, se ha seguido la metodología de la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 del Reglamento Nacional de Construcciones (SENCICO, 2003).

Del análisis de los espectros de respuesta obtenidos, se propone para las Zonas I, II, y III valores de periodo de 0.4 seg correspondiente al extremo derecho de la plataforma horizontal del espectro de aceleraciones propuesto.

Las máximas demandas sísmicas a las cuales estarían sometidas las estructuras proyectadas al nivel del suelo de cimentación es 1.2 g para la Zona I, 1.4 g para la Zona II y 2.0 g para la Zona III, todos para el rango de periodos de 0.0 seg a 0.4 seg. Para periodos mayores 0.4 seg la demanda sísmica de la curva del Espectro de Diseño Propuesto va

decaendo asintóticamente, siguiendo la curva propuesta por la norma E-030.

En el Anexo X, se presenta el reporte gráfico de las curvas de los Espectros de Diseño Propuesto para las diferentes zonas consideradas. Así mismo en la Tabla 5.4 se presenta los valores correspondientes de las curvas de los Espectros de Diseño Propuesto para las diferentes zonas consideradas.

Tabla 5.4 : Espectro de Diseño Propuesto

T (s)	Zona I	Zona II	Zona III
0	1.20	1.40	2.00
0.05	1.20	1.40	2.00
0.1	1.20	1.40	2.00
0.15	1.20	1.40	2.00
0.2	1.20	1.40	2.00
0.25	1.20	1.40	2.00
0.3	1.40	1.40	2.00
0.35	1.20	1.40	2.00
0.4	1.05	1.40	2.00
0.45	0.93	1.24	1.78
0.5	0.84	1.12	1.60
0.55	0.76	1.02	1.45
0.6	0.70	0.93	1.33
0.65	0.65	0.86	1.23
0.7	0.60	0.80	1.14
0.75	0.56	0.75	1.07
0.8	0.53	0.70	1.00
0.85	0.49	0.66	0.94
0.9	0.47	0.62	0.89
0.95	0.44	0.59	0.84
1	0.42	0.56	0.80
1.05	0.40	0.53	0.76
1.1	0.38	0.51	0.73
1.15	0.37	0.49	0.70
1.2	0.35	0.47	0.67
1.25	0.34	0.45	0.64
1.3	0.32	0.43	0.62
1.35	0.31	0.41	0.59
1.4	0.30	0.40	0.57
1.45	0.29	0.39	0.55
1.5	0.28	0.37	0.53
1.55	0.27	0.36	0.52
1.6	0.26	0.35	0.50

T (s)	Zona I	Zona II	Zona III
1.65	0.25	0.34	0.48
1.7	0.25	0.33	0.47
1.75	0.24	0.32	0.46
1.8	0.23	0.31	0.44
1.85	0.23	0.30	0.43
1.9	0.22	0.29	0.42
1.95	0.22	0.29	0.41
2	0.21	0.28	0.40
2.05	0.23	0.27	0.39
2.1	0.23	0.27	0.38
2.15	0.22	0.26	0.37
2.2	0.22	0.25	0.36
2.25	0.21	0.25	0.36
2.3	0.21	0.24	0.35
2.35	0.20	0.24	0.34
2.4	0.20	0.23	0.33
2.45	0.20	0.23	0.33
2.5	0.19	0.22	0.32
2.55	0.19	0.22	0.31
2.6	0.18	0.22	0.31
2.65	0.18	0.21	0.30
2.7	0.18	0.21	0.30
2.75	0.17	0.20	0.29
2.8	0.17	0.20	0.29
2.85	0.17	0.20	0.28
2.9	0.17	0.19	0.28
2.95	0.16	0.19	0.27
3	0.16	0.19	0.27

CAPÍTULO 6: MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE PISCO

6.1. Introducción

Basados en los estudios geológicos, geotécnicos y el levantamiento de daños ocasionados por el terremoto del 15 de agosto del 2007 en la ciudad de Pisco, se ha logrado delimitar cuatro zonas que presentan características similares referidas al comportamiento mecánico del suelo, definidas en función a sus parámetros de resistencia cortante y compresibilidad, que gobiernan la capacidad de carga de las cimentaciones, así como al comportamiento dinámico del suelo, definidos en función a sus parámetros elásticos, que gobiernan la respuesta del terreno a las sollicitaciones sísmicas.

La microzonificación propuesta ha sido corroborada en el campo con la distribución de daños registrados en cada una de las zonas, encontrándose una muy buena correlación entre los tipos de suelos y el nivel de daño sufrido por las edificaciones. Así, mientras en la zona de suelos más competentes se observa que las edificaciones de albañilería presentan daños leves o se encuentran sin daños, así como algunas edificaciones de adobe, que tampoco han registrado daños severos. En contraste con las zonas de suelos más desfavorables, donde se ha registrado el colapso de edificaciones de adobe y albañilería debido fundamentalmente al asentamiento registrado en el suelo de cimentación.

Asimismo, para definir el Mapa de Micromicrozonificación Sísmica de la Ciudad de Pisco, se ha incluido el peligro de inundación por tsunami, fenómeno que presenta una alta probabilidad de ocurrencia en esta ciudad, tal como lo muestra la información histórica.

6.2. Evaluación de Inundación por tsunami en la ciudad de Pisco

La ciudad de Pisco ha sido afectada por tsunamis en un gran número de veces a lo largo de su historia. De acuerdo a la información existente esta ciudad fue destruida totalmente por tsunamis generados por los siguientes

terremotos: 1687, 1746 y 1868 (Silgado, 1992) y fuertemente afectada en otros eventos como los terremotos de: 1604, 1664, 1877, 1960, 1974 entre otros, los cuales han generado olas con alturas de 3,0 m a 5,0 m en el litoral de Pisco, afectando principalmente a las edificaciones localizadas a lo largo de la costa.

Un análisis de inundación por tsunami en la ciudad de Pisco realizado por Sanchez y Aguilar (2001), muestra que un sismo escenario con magnitud Ms 7,5 y localizado a 94 km de la costa, puede generar un tsunami con olas de hasta 10,40 m de altura, el cual afectaría hasta el 40% del área urbana de esta ciudad.

En un reciente estudio, Okal et al (2006) realiza la evaluación de peligro de tsunami para terremotos regionales en la ciudad de Pisco, donde hace un análisis de las probables alturas de olas generadas por grandes terremotos históricos en el Perú. Según este estudio, terremotos como los de 1746 y 1868, habrían generado en la ciudad de Pisco tsunamis con alturas de olas de 22 m y 15 m respectivamente, generando la destrucción total de esta ciudad. Cabe mencionar que la cota promedio de la ciudad de Pisco es de 17 msnm, en consecuencia, la altura de 22 m indicada por Okal et al (2006) parece poco consistente por lo que requiere una verificación. El análisis de probabilidad de ocurrencia muestra que estos eventos catastróficos tienen un periodo de recurrencia de 140 años; sin embargo, eventos con alturas de olas de 3,0 m a 5,0 m tienen periodos de recurrencia de 50 años en promedio.

Basados en estas investigaciones, se propone como zona de alto peligro de inundación por tsunami a aquella que se encuentra entre el litoral y la cota de 5,0 m, la cual abarca básicamente las dos primeras cuadras del área urbana próximas al litoral.

6.3. Microzonificación sísmica de la ciudad de Pisco

Los estudios geotécnicos han determinado que el terreno de las ciudades de Pisco, Túpac Amaru y San Andrés se encuentra conformado superficialmente por un estrato de arena suelta o relleno de material heterogéneo con espesor variable de 0,5 m a 4 m.

Este material no es adecuado para el soporte de las edificaciones, por tal motivo en las zonas donde tiene mayor espesor se recomienda no construir edificaciones.

Debajo de este estrato se encuentra el material tipo grava compacta, cuyas características son adecuadas para soportar la cimentación de las edificaciones.

La profundidad del nivel freático en toda la ciudad varía entre 0,5 m y 2,0 m. Además, se ha encontrado material de diatomita que aflora como pequeñas colinas en sectores de las ciudades de Pisco y Túpac Amaru y en el centro poblado menor San Miguel; las características de este material son adecuadas para la cimentación.

En consecuencia, se establecen microzonas en las ciudades de Pisco, Túpac Amaru, San Andrés y en el centro poblado menor de San Miguel en relación a su comportamiento geotécnico sísmico. Las microzonas son las establecidas en el Plano P-11 de Microzonificación sísmica de la ciudad de Pisco, cuya descripción se presenta a continuación:

Zona I. Esta zona está conformada por la ciudad de San Andrés y el sector sur de la ciudad de Pisco. Los terrenos de esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones, está conformada por un estrato superficial de arena limosa suelta o relleno de espesor entre 0,50 m y 0,80 m. Debajo de este material se encuentra una grava aluvial compacta. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores a 1 m.

Esta zona también comprende los afloramientos de dolomita que se encuentran en el sector Este de las ciudades de Pisco y Túpac Amaru y en el centro poblado menor de San Miguel, indicados en el Plano P-03.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad 1,00 m a 1,20 m en esta zona varía de 2,0 kg/cm² a 3,5 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural conformado por una grava compacta; es decir, se deberá atravesar el estrato de relleno superficial que es

heterogéneo y que se encuentra en estado suelto. Los resultados de las mediciones de microtrepidaciones muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0,1 seg.; asimismo, los perfiles sísmicos de ondas de corte muestran que la grava compacta, con velocidades de propagación de ondas S mayores a 400 m/s se encuentran a profundidades entre 2,0 m y 4,0 m. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente. Entonces, en este terreno se puede construir edificaciones de más de tres pisos, considerando las sollicitaciones sísmicas propuestas por el espectro de diseño para la Zona I, es decir con una aceleración espectral de 1.2g en la platea.

Zona II. Esta zona abarca el sector norte de la ciudad de Pisco y está conformada por un estrato superficial de arena limosa suelta de 0,90 m a 1,5 m de espesor. Debajo de este estrato se encuentra grava aluvial compacta.

El nivel freático en esta zona se encuentra a una profundidad de 0,5 m a 1,00 m. En época de venida, cuando el acuífero se recarga, la profundidad de la napa freática disminuye, aflorando e inundando algunos sectores de esta zona.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho varía de 1,5 kg/cm² a 2,0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1,00 m a 1,50 m, sobre el material de grava compacta. Los resultados de las mediciones de microtrepidaciones muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0,1 seg; asimismo, los perfiles sísmicos de ondas de corte muestran que la grava compacta, con velocidades de propagación de ondas S mayores a 400 m/s se encuentran a profundidades entre 3,0 m y 4,0 m. Este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente, considerando las sollicitaciones sísmicas propuestas por el espectro de diseño para la Zona II, es decir con una aceleración espectral de 1.4g en la platea.

En síntesis, la construcción de edificaciones en esta zona deberá considerar el efecto de la napa freática alta y el ataque de las sales solubles

a la cimentación, así como el mantenimiento de las edificaciones afectadas por los afloramientos de agua.

Zona III. Esta zona abarca el centro de la ciudad de Pisco (A) y la mayor parte de la ciudad de Túpac Amaru (B).

En la ciudad de Pisco (Zona III A) el terreno está conformado por un estrato superficial de relleno heterogéneo con espesor variable entre 1,0 m y 1,8 m. Debajo de este material se encuentra un estrato de arena limosa suelta que alcanza una profundidad de 3,5 m a 4,0 m, seguidamente se encuentra la grava aluvial compacta. El nivel freático de esta zona se encuentra a una profundidad mayor a 1,0 m.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho, típica para una edificación convencional no mayor a tres pisos, varía de 0.80 kg/cm² a 1,0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1,80 m a 2,00 m. Es recomendable no cimentar en el estrato de relleno superficial, pues ha quedado demostrado que éste sufre grandes asentamientos generando niveles de daños graves para las edificaciones. Para edificaciones mayores a tres pisos, se exigirá realizar estudios específicos de suelo para el diseño de cimentación.

Los resultados de las mediciones de microtrepidaciones muestran que los periodos de vibración natural en esta zona varían entre 0,1 seg y 0,16 seg; así mismo, los perfiles sísmicos de ondas de corte muestran que la grava compacta, con velocidades de propagación de ondas S mayores a 400 m/s se encuentran a profundidades entre 4,0 m y 7,0 m. De acuerdo a estos resultados se concluye que este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente. El efecto del material de relleno y la arena suelta superficial en la respuesta dinámica del suelo está considerando en el espectro de diseño propuesto para esta zona, el cual presenta una aceleración espectral de 2.0g en la platea, extendiéndose hasta 0.4 seg.

En la ciudad de Túpac Amaru (ZONA III B) el terreno está conformado por un estrato de arena limosa semisuelta con espesor mayor a 5,0 m. El

nivel freático de esta zona se encuentra a una profundidad mayor a 1,0 m. Este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo de tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente, debiendo considerarse el espectro de diseño propuesto para esta zona, que presenta una aceleración espectral de 2.0g en la platea.

La capacidad de carga admisible para una cimentación típica convencional de una edificación no mayor a tres pisos, varía de 0,60 kg/cm² a 0,8 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1,50 m a 2,00 m.

Para edificaciones mayores a tres pisos, se exigirá realizar estudios específicos de suelo para definir la profundidad y la capacidad de carga de la cimentación.

Zona IV. Esta zona abarca diferentes áreas localizadas en las ciudades de Pisco y Túpac Amaru, donde el terreno está conformado por áreas pantanosas y por rellenos heterogéneos con alto contenido de basura y material de desmonte colocados sobre suelos pantanosos altamente compresibles, con una profundidad mayor a 3,5 m. Estas áreas han sido definidas como zonas críticas debido al nivel de daños que han experimentado las edificaciones de albañilería construidas sobre estos terrenos, habiéndose reportado inclusive la ocurrencia de licuación de suelos. Debido a estas características desfavorables se considera que estas zonas no son aptas para la construcción de edificaciones con cimentación superficial.

En esta zona crítica también se incluye a una franja del litoral, que se encuentra parcialmente conformada por rellenos, y cuya principal amenaza es la inundación por tsunamis. Si bien los tsunamis generados por grandes eventos sísmicos pueden alcanzar alturas mayores a 13,0 m, existe una mayor probabilidad de la ocurrencia de eventos menores que generarían olas de hasta 5,0 m, lo cual representa un alto peligro para esta zona, por lo cual debe evitarse la construcción de edificaciones.

CONCLUSIONES

Las conclusiones alcanzadas en el presente estudio de Microzonificación de la Ciudad de Pisco, son las siguientes:

1. Mediante el estudio de geología y geomorfología, se puede concluir que la ciudad de Pisco se encuentra entre grupos litológicos constituidos por rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios. Las características litológicas presentan depósitos aluviales, marinos, eólicos y formación Pisco.
2. Los rasgos geomorfológicos se presentan en la cuenca del río Pisco en forma alargada, con fondo profundo y pronunciadas pendientes, de fisiografía escarpada y abrupta en ciertos sectores, cortada por quebradas profundas y estrechas gargantas, como las unidades geomorfológicas, la ribera litoral de playa, llano aluvial, cono de deyección.
3. La Ciudad de Pisco dada su proximidad al litoral, presenta un alto nivel de peligro sísmico. Por los sismos históricos registrados de gran magnitud, como el ocurrido el 15 de agosto del 2007, que alcanzó una magnitud de 8.0 Mw. Asimismo, esta ciudad se encuentra expuesta a una alta probabilidad de ocurrencia de licuación de suelos y Tsunamis.
4. En el Análisis de Peligro sísmico, se utilizaron dos leyes de atenuación para ordenadas espectrales propuestas por Youngs et al (1997) y por el CISMID (2006), ambas para sismos de subducción en sismos de interfase e intraplaca. La evaluación del peligro sísmico se ha realizado en tres puntos representativos de la Ciudad de Pisco.
5. Para el diseño sismorresistente de edificaciones, se define como aceleración sísmica a aquella obtenida con una probabilidad de excedencia de 10% en un periodo de exposición sísmica de 50 años. La cual corresponde a un evento sísmico de 475 años de periodo de retorno. De acuerdo a este criterio, la aceleración de diseño para la ciudad de Pisco en suelo firme es de 0,57g de acuerdo al modelo de atenuación del CISMID (2006) y de 0,45 g de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs (1997). Considerando la alta sismicidad de la zona, se estima razonable que la aceleración máxima esperada en la ciudad de Pisco sea la determinada con la ley de atenuación del CISMID (2006), es decir, igual a 0,57g.

6. Para la evaluación geotécnica del área de estudio se ha realizado un programa de exploración geotécnica, que consisten en la excavación de calicatas con extracción de muestras de suelo, ensayos de penetración estándar SPT, ensayos de Cono Peck, así como ensayo de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW), uniformemente distribuidos en todo el área urbana. Estos trabajos han permitido definir un mapa de microzonificación geotécnica para la Ciudad de Pisco.
7. La microzonificación geotécnica definida en este estudio incluye las ciudades de Pisco y su Centro Poblado Menor San Miguel, San Andrés y Túpac Amaru, las cuales prácticamente están conformando una sola área urbana. La cual ha permitido delimitar cuatro zonas (I, II, III, IV) considerando características geotécnicas similares
8. En función a las características geotécnicas de las Zonas I, II, III y IV, se ha considerado diferentes dimensiones para la cimentación en función de la capacidad de carga admisible calculada para diversas profundidades de desplante.

En la Zona I la capacidad de carga admisible varia de $q_{adm} = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$ a $q_{adm} = 3,5 \text{ Kg/cm}^2$ para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de desplante entre 1,00 m a 1,20 m. Se considera que la cimentación deberá asentarse sobre el suelo competente conformado por una grava compacta.

Para la Zona II la capacidad de carga admisible varia de $q_{adm} = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$ a $q_{adm} = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$ para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de desplante entre 0,50 m a 1,00 m. Se considera que la cimentación deberá asentarse sobre el suelo competente conformado por una grava compacta.

Para la Zona III A la capacidad de carga admisible varia de $q_{adm} = 0,8 \text{ Kg/cm}^2$ a $q_{adm} = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$ para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de desplante entre 1,80 m a 2,00 m. Es recomendable no cimentar sobre el relleno superficial, la cimentación deberá asentarse sobre el suelo competente conformado por una grava compacta.

Para la Zona III B la capacidad de carga admisible varia de $q_{adm} = 0,6 \text{ Kg/cm}^2$ a $q_{adm} = 0,8 \text{ Kg/cm}^2$ para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de desplante entre 1,50 m a 2,00 m. Se considera que la cimentación deberá asentarse sobre el suelo competente conformado por una grava compacta.

En la Zona IV la capacidad de carga admisible es muy baja por estar clasificada como zona de suelos especiales (pantanos y rellenos heterogéneos).

9. Del ensayo geofísico se pudo obtener perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte. Estos ensayos han permitido determinar los perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte, con los cuales se puede modelar la respuesta dinámica del terreno y estimar los factores de amplificación que generan a las ondas sísmicas que arriban a la superficie desde el subsuelo.
10. Los resultados obtenidos del método geofísico MASW, presentan una adecuada correlación, en la cual se ha identificado los estratos sísmicos, correspondiente a una arena limosa suelta a medianamente suelta. El siguiente estrato consistiría en una arena y grava limosa compacta. Subyaciendo a este material se encontraría una grava limosa muy compacta y/o grava ó roca alterada muy compacta. Estos estratos se han correlacionado con la exploración geotécnica.
11. Para la zona I presenta una adecuada correlación, en la cual se ha identificado tres a cuatro estratos sísmicos, el primer estrato correspondería a una arena limosa suelta a medianamente suelta con velocidades de ondas S (V_s) que van desde los 160 m/s a los 360 m/s. El siguiente estrato consistiría en una arena y grava limosa compacta con velocidades de ondas S (V_s) que van desde los 500 m/s a los 560 m/s. Subyaciendo a este material se encontraría una grava limosa muy compacta y/o grava ó roca alterada muy compacta con velocidades de ondas S (V_s) de 715 m/s a 1020 m/s.
12. Para la zona II presenta una adecuada correlación, en la cual se ha identificado cuatro estratos sísmicos, el primer estrato correspondería a una

- arena suelta con velocidades de ondas S (V_s) de 140 m/s. El segundo estrato correspondería a una arena y grava medianamente compacta con velocidades de ondas S (V_s) de 450 m/s. El siguiente estrato correspondería a una grava arenosa muy compacta con velocidades de ondas S (V_s) de 648 m/s. Subyaciendo a este material se encontraría una grava o roca alterada muy compacta con velocidades de ondas S (V_s) de 900 m/s.
13. Para la zona III presenta una adecuada correlación, en la cual se ha identificado cuatro estratos sísmicos, El primer estrato correspondería a una arena limosa medio suelta con velocidades de ondas S (V_s) que van desde los 134 m/s a los 140 m/s. El segundo estrato correspondería a una arena y grava limosa medianamente compacta con velocidades de ondas S (V_s) que van desde los 300 m/s a los 375 m/s. El siguiente estrato consistiría en una grava limosa compacta con velocidades de ondas S (V_s) que van desde los 430 m/s a los 571 m/s. Subyaciendo a este material se encontraría una grava muy compacta con velocidades de ondas S (V_s) de 625 m/s a 700 m/s.
 14. Para el análisis unidimensional de amplificación sísmica se han tomado en cuenta once puntos de sondajes obtenidos por el método geofísico MASW que están distribuidos en toda la Ciudad de Pisco y son representativos.
 15. Como fuentes de excitación sísmica del suelo se ha utilizado el acelerograma de la estación Colegio de Ingenieros CDL-CIP una aceleración máxima de 0.06 g o 58.8 gals en la dirección Norte Sur, para el sismo del 15 de Agosto de 2007. Esta señal ha sido escalada a la aceleración máxima de 0.45g del evento de 475 años de periodo de retorno, obtenido del Estudio de Peligro Sísmico de la Ciudad de Pisco.
 16. La aceleración máxima en un suelo muy firme (suelo tipo C del IBC) fue de 0.57g de acuerdo al modelo de atenuación del CISMID y de 0.45g de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs et al (1997), que representa el comportamiento de un suelo firme tipo D del IBC. Para representar el efecto de movimientos sísmicos fuertes, las señales sísmicas se han evaluado a los valores indicados y se han introducido en la base de los perfiles analizados, al nivel del suelo firme.

17. La ventaja de utilizar un espectro de respuesta del suelo para un evento sísmico con la metodología señalada para su obtención, es poder obtener cuales serían las aceleraciones máximas a nivel de suelo que se presentarían en sistemas de diferentes grados de libertad con un mismo amortiguamiento. Estos valores serían los más recomendables para diseñar.
18. En la Ciudad de Pisco los espectros de respuesta de aceleraciones presentan una demanda sísmica considerable, en la Zona I con pico máximo de 1.7g para un periodo de 0.22 seg., para la Zona II con pico máximo de 1.85 g para periodos de 0.22 seg. y para la Zona III con pico máximo de 2.6g para un periodo de 0.22 seg.
19. Los factores de amplificación obtenidos, presentan valores máximos para la zona I de 2.3, para rango de periodos comprendidos entre 0.05 a 0.2 seg., para la zona II de 3.3 para rango de periodos comprendidos entre 0.05 a 0.2 seg. y para la zona III 3.1, para periodos menores a 0.4 seg.
20. Para el diseño sísmico de la estructura, de acuerdo a la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 del Reglamento Nacional de Construcciones (SENCICO, 2003), se considera que el depósito de suelo de cimentación, para las Zonas I, II y III corresponde a un perfil Tipo S₁, con periodo predominante de T_p = 0.4 segundos, sin embargo la aceleración espectral en la platea es de 1.2g, 1.4g y 2.0g respectivamente.
21. El espectro de Peligro Uniforme representaría el comportamiento dinámico del terreno a nivel de suelo firme. Este espectro deberá ser amplificado a nivel de superficie de acuerdo a las condiciones propias de cada zona para ser usado como espectro de diseño.
22. En la Zona II se utilizó un perfil de suelo de ondas S, con el que ha sido posible elaborar un espectro de respuesta a nivel de superficie, el cual se recomienda como espectro de diseño. Asimismo, con diversos perfiles del suelo de ondas S para las Zona II y III se obtuvieron un espectro de respuesta promedio a nivel de superficie.

23. Debido a que la Ciudad de Pisco presenta un alto nivel de peligro sísmico. Históricamente en esta región han ocurrido sismos de gran magnitud comparados como el ocurrido el 15 de agosto de 2007 que alcanzó una magnitud de 8.0 Mw, se puede concluir que la sismicidad de la Ciudad de Pisco es poco conocida. A esta limitación se suma la escasa instrumentación (acelerógrafos), por lo que se recomienda implementar de acelerógrafos al distrito.
24. La microzonificación sísmica final define 4 zona que han sido clasificadas según los tipos de suelos que señala la Norma de Diseño Sismorresistente E030, y el orden en que han sido descritos van de suelo con menor amenaza sísmica a suelo con mayor amenaza sísmica;

La Zona I conformada por la ciudad de San Andrés y el sector sur de la Ciudad de Pisco. Los terrenos de esta zona presentan el mejor suelo con características dinámicas favorables (rígido) y está conformada por un estrato superficial arena limosa suelta ó relleno de espesor entre 0.50 m y 0.80. Debajo de este material se encuentra una grava aluvial compacta

La Zona II abarca el sector norte de la Ciudad de Pisco y está conformada por un estrato superficial de arenas limosas sueltas de 0.90 a 1.5 m, con un comportamiento dinámico favorable.

La Zona III abarca el centro de la Ciudad de Pisco (A) y la mayor parte de la ciudad de Túpac Amaru (B) en la ciudad de Pisco (Zona III A) el terreno está conformado por un estrato superficial de relleno heterogéneo con espesor variable entre 1,0 m y 1,8 m. Debajo de este material se encuentra un estrato de arena limosa suelta que alcanza una profundidad de 3,5 m a 4,0 m, seguidamente se encuentra la grava aluvial compacta. En la ciudad de Túpac Amaru (Zona III B) el terreno está conformado por un estrato de arena limosa semisuelta con espesor mayor a 5,0 m. Tiene capacidades portantes bajas, se recomienda que para edificaciones mayores a tres pisos, se debe exigir realizar estudios específicos de suelo para definir la profundidad y la capacidad de carga de la cimentación.

La última zona abarca diferentes áreas localizadas en las ciudades de Pisco y Túpac Amaru, clasificada como zona de suelos especiales, comprende los pantanos y rellenos heterogéneos con alto contenido de basura y material de desmonte colocados sobre suelos pantanosos altamente compresibles, con una profundidad mayor a 3,5 m. Estas áreas han sido definidas como zonas críticas debido al nivel de daños que han experimentado las edificaciones de albañilería construidas sobre estos terrenos. Debido a estas características desfavorables se considera que estas zonas no son aptas para la construcción de edificaciones con cimentación superficial.

En esta zona crítica también se incluye a una franja del litoral, que se encuentra parcialmente conformada por rellenos, y cuya principal amenaza es la inundación por tsunamis. Si bien los tsunamis generados por grandes eventos sísmicos pueden alcanzar alturas mayores a 13,0 m, existe una mayor probabilidad de la ocurrencia de eventos menores que generarían olas de hasta 5,0 m, lo cual representa un alto peligro para esta zona, por lo cual debe evitarse la construcción de edificaciones.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones alcanzadas en el presente estudio de Microzonificación de la Ciudad de Pisco, son las siguientes:

1. Es recomendable mantener actualizados y revisados los catálogos sísmicos así como propiciar el incremento de estaciones acelerograficas (red acelerografica CISMID) en todo el País, con la finalidad de continuar las investigaciones en este campo de la ingeniería sísmica.
2. Es recomendable para estudios sísmicos que se clasifique el suelo según las velocidades de ondas de corte (V_s), como lo describe la norma internacionales (The International Building Code (IBC)) para clasificar el tipo de suelo.
3. Durante la ejecución del ensayo MASW dos aspectos deben ser considerados para planear un offset óptimo de la fuente (x_1) y en consecuencia el registro de las ondas superficiales de frecuencia alta no sea afectado por ello. Si el offset máximo del receptor es demasiado grande, las ondas superficiales de frecuencias altas se atenuarán bastante rápido, los efectos de campo lejano reducirán la relación señal/ruido de las trazas a distancias grandes, especialmente en la banda de frecuencias altas. Mientras si el offset máximo del receptor es demasiado pequeño, los efectos de campo cercano contaminarán el registro en frecuencias bajas, alcanzándose poca profundidad de exploración.
4. Se recomienda combinar los datos de la curva de dispersión obtenido con el método MASW y MAM por dos razones, para aumentar el ancho de banda utilizable de dispersión (y por lo tanto, el rango de profundidad) y para identificar mejor la naturaleza modal de las tendencias de la dispersión.
5. Se necesita realizar más ensayos geofísicos en la ciudad de Pisco para obtener perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte (MASW). Para obtener un mayor promedio de la respuesta dinámica del terreno y estimar los factores de amplificación que generan a las ondas sísmicas que arriban a la superficie desde el subsuelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alva Hurtado J. E. (2004), "Banco de Datos de Mapas de Isosistas en el Perú", Página web del CISMID – FIC – UNI (http://www.cismid-uni.org/p_acelerograf/index.htm).
2. Alva Hurtado J. E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
3. Atkinson, G., & Boore, D; (2003), "Empirical ground-motion relations for subduction-zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, N° 4, pp. 1703-1729.
4. Ayashi, K (2003), "Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods". Short Course - SAGEEP 2003.
5. Bernal, I. (2000), "Características de la Sismicidad en la Región Sur del Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 69 – 80. Lima, Perú.
6. Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
7. Boatwright, J; Boore, D. (1982), "Analysis of the ground accelerations radiated by the 1980 Livermore Valley earthquake for directivity and dynamic source characteristics", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, N° 1, pp. 43-64.

8. Bolaños A. y Monroy O. (2004), "Espectros de Peligro Sísmico Uniforme", Tesis para Optar el Grado de Magister en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
9. Bommer, J. J., (2002), "Deterministic vs. Probabilistic Seismic Hazard Assessment: An Exaggerated and Obstructive Dichotomy", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6, Special Issue 1, pp. 43 – 73, Imperial College Press.
10. Boore, D. (1983), "Stochastic simulation of high frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 73, N° 6, pp. 1865-1894.
11. Boore, D.; Joyner, W. (1982), "The empirical prediction of ground motion", Seismological Society of America, Vol. 72, N° 6, pp. S43-S60.
12. Boore, D.; Joyner, W. (1984), "A note on the use of random vibratory theory to predict peak amplitudes of transient signals", Seismological Society of America, Vol. 74, N° 6, pp. 2035-2039.
13. Casaverde, L; Vargas, J. (1980), "Zonificación sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería sísmo resistente, Organización de los Estados Americanos – Pontificia Universidad Católica del Perú.
14. Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
15. Castillo, J; Alva, J. (1998), "Peligro sísmico en el Perú", Memorias del VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, SPMSIF, Lima, Perú
16. Chávez J. (2006), "Leyes de Atenuación para Aceleraciones Espectrales en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
17. CISMID (1991), "Memorias del Seminario Taller de Dinámica de Suelos". Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

18. Corcoran, J. (2005), "Bayesian linear regresión-single variable", Lecture two of the APPM Bayesian Reading Group, The University of Colorado
19. Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs. 1538-1606.
20. Das, B. M. (1996), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", México Thomson Editores, 4ta Edición, México.
21. Denys Parra M. D., Vasquez L. y Alva Hurtado J. E. (1999), "Estudio de Microzonificación Geotécnica de la Ciudad de Pisco", Laboratorio Geotécnico, CISMID, Lima, Perú.
22. Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
23. Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
24. Dorbath, L., A. Cisternas y C. Dorbath (1990) "Assessment of the Size of Large and Great Earthquakes in Peru" BSSA, Vol 80, pp 551-576.
25. Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990) "Assessment of the Size of large and Great Historical Earthquakes in Peru". BSSA, 80, pg 551-576.
26. Esteva, L. (1970), "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", Publicación N 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
27. Gallegos, M. (1999), "Construcción de leyes de atenuación a partir de espectros de fuente y teoría de vibraciones aleatorias para la republica de Colombia", XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán, México.

28. Giesecke, A; Ocola, L.; Silgado, E.; Herrera, J.; Giuliani, H. (1980), "El terremoto de Lima del 3 de octubre de 1974", Informe técnico, CERESIS-UNESCO, Lima, Perú.
29. Giovanni M. K., Beck S. L. & Wagner L. (2002), "The June 23, 2001 Peru Earthquake and the Southern Peru Subduction Zone". Geophysical Research Letters, Vol 29, N° 21, 2018.
30. Hanks, T.; Kanamori, H. (1979), "A moment magnitude scale", Journal of Geophysical Research, Vol. 84, pp. 2348-2350
31. Hanks, T; McGuire, R. (1981) "The character of high-frequency strong ground motion", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, pp. 2071-2095.
32. Hunt, Roy E (1986), "Geotechnical Engineering – Techniques and Practices", McGraw-Hill, USA.
33. Idriss I. (1985), "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice". XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA, Vol I.
34. Instituto Geofísico del Perú. (2001), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
35. Joyner, W.; Boore, D. (1984), "A note on the use of random vibration theory to predict peak amplitudes of transient signals", Seismological Society of America, Vol 74, N° 6, pp. 1-20.
36. Joyner, W.; Boore, D. (1988), "Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion", Earthquake Engineering and Soil Dynamics II – Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, pp. 43-102, ASCE, New York.
37. Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.

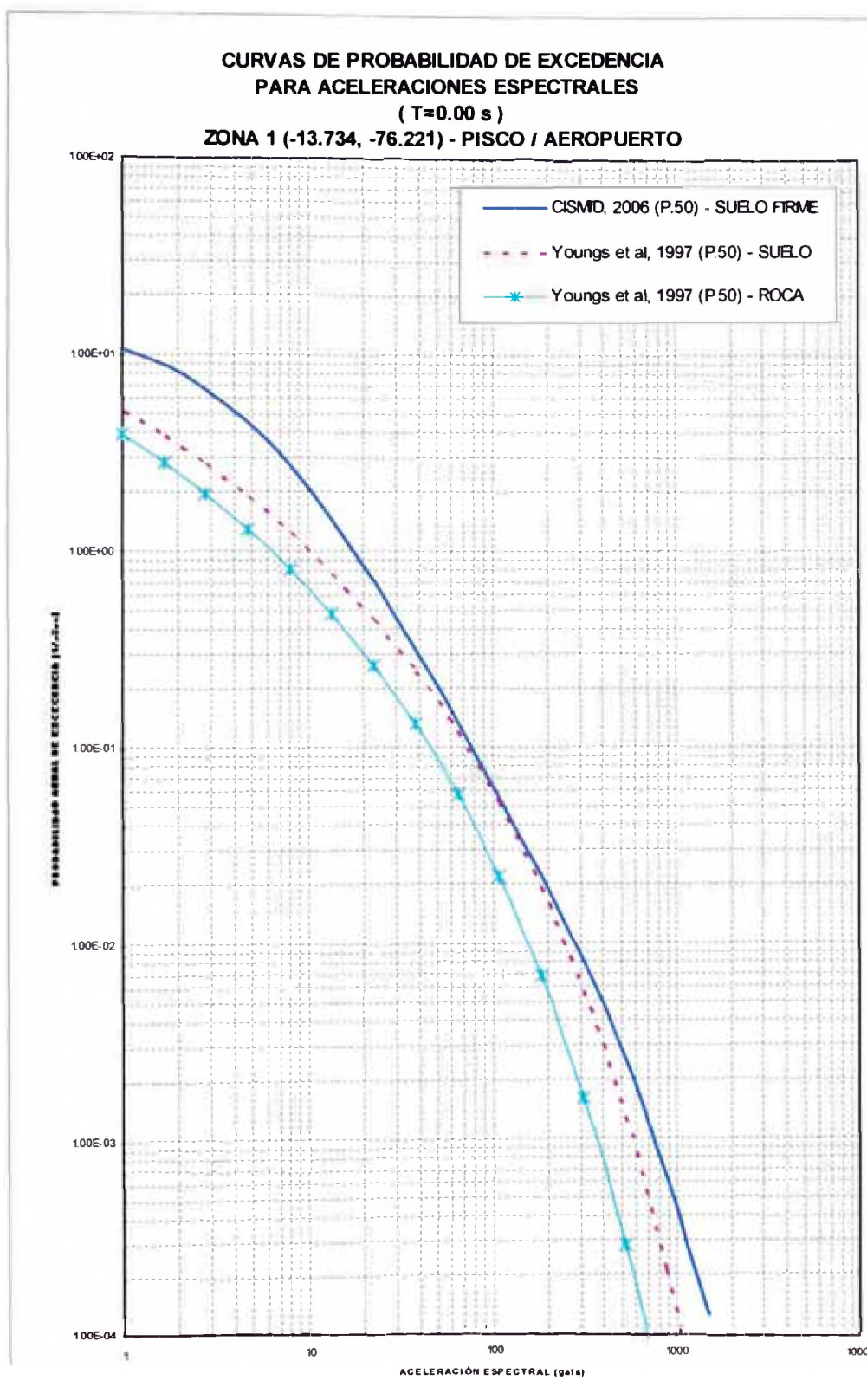
38. Miller, R. D., Pullan, S.E., Waldner, J. S., Haeni, F. P., (1986), "Field comparison of shallow seismic sources", *Geophysics*, Vol. 51, Nº 11, Pag. 2067 – 2092, U.S.A.
39. Norma de Diseño Sismo Resistente E 030 del Reglamento Nacional de Construcciones (SENCICO, 2003), Resolución Ministerial Nº 079-2003-VIVIENDA, del 02 de abril del 2003, CAPITULO 1 y 2.
40. Okal, J, C. Borrero y C. E. Synolakis (2006) "Evaluation of Tsunami Risk from Regional Earthquakes at Pisco, Peru" *BSSA*, Vol 96, No 5, pp 1634-1648.
41. Omori, F. (1908), "On microtremors. Boletín del Eartquake Investigation Committee", Vol 2, pp.1-6.
42. Ordaz, M. (1992), "Estimación de movimientos fuertes ante temblores de subducción", Tesis doctoral, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
43. Ordaz, M., Aguilar A., Arboleda J: (1999), "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.
44. Park, C., Miller, R. y Xia, J. 1999, "Multichannel analysis of surface waves". *Geophysics*. Vol. 64. Nº 3. p: 800-808.
45. Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. 2001^a. "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surfaces Waves (MASW) method". Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.
46. Park., C.B., R. D. Miller, and J. Xia, Julian M.(1999), *Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock*, Kansas Geological Survey, Lawrence, Kansas, U.S.
47. Pomachagua, O. (2000), "Características Generales de la Tectónica y Sismicidad de Perú", *Revista de Trabajos de Investigación*, CNDG, IGP, pp. 93 – 104. Lima, Perú.

48. Reyes, C.; Miranda, E.; Ordaz, M. (1999), "Ley de atenuación espectral para estimar el espectro de aceleraciones en la estación CU", XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán, México.
49. Sanchez, M. y Z. Aguilar (2001) "Vulnerabilidad de las Ciudades Costeras de las Provincias de Nazca y Pisco frente a los Tsunamis" XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Puno, Perú.
50. Schnabel, P., Lysmer, J. y Seed, H. (1972). "SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", Report N° EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
51. Sebrier M., Huamán D., Blanc J. L., Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
52. Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur" , Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Anrisísmica, pp. 33-44.
53. Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955- 1970", Geofísica Panamericana, Vol 2 pp. 179-243.
54. Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
55. Silgado, E. (1992), "Investigaciones de Sismicidad Histórica en América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Perú.
56. SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
57. Tavera H. y Buforn E (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.

58. Tavera H., (1998), "Mecanismo Focal de Terremotos en Perú y Sismotectónica", Tesis para Optar el Grado de Doctor en Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.
59. Tavera H., Buforn E., Bernal I., Antayhua Y. & Vilcapoma L. (2002), "The Arequipa (Peru) Earthquake of June 23, 2001", Journal of Seismology, Vol. 6, pp. 279 – 283.
60. Tavera H., Vilca R. y Marín G. "Inferences on the Geometry of the Nazca Plate in Northwestern Peru Based on Data Collected by a Local Seismograph Network", Earth Science Research Journal, Vol. 10, N° 1, pp. 15 – 24.
61. Tavera, H., y E. Buforn. (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.
62. Tavera, et al (2007), "El Terremoto de Pisco del 15 de Agosto de 2007 Aspectos Sismológicos", Instituto Geofísico del Perú, 25 pag.
63. U. S. Army Corps of Engineers, (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.
64. Underwood, D.; Hayashi, K. (2006), Surface Wave data Acquisition and Field Methods, Geometrics Inc, U.S.
65. Vanmarcke, E. (1976), "Structural response to earthquakes ", Chapter 8 in C. Lomnitz and E., Rosenblueth, eds., Seismic Risk and Engineering Decisions, pp. 287-338, Elsevier, Amsterdam
66. Youngs, R. R., Chiou. S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 – 73, USA.

Anexos

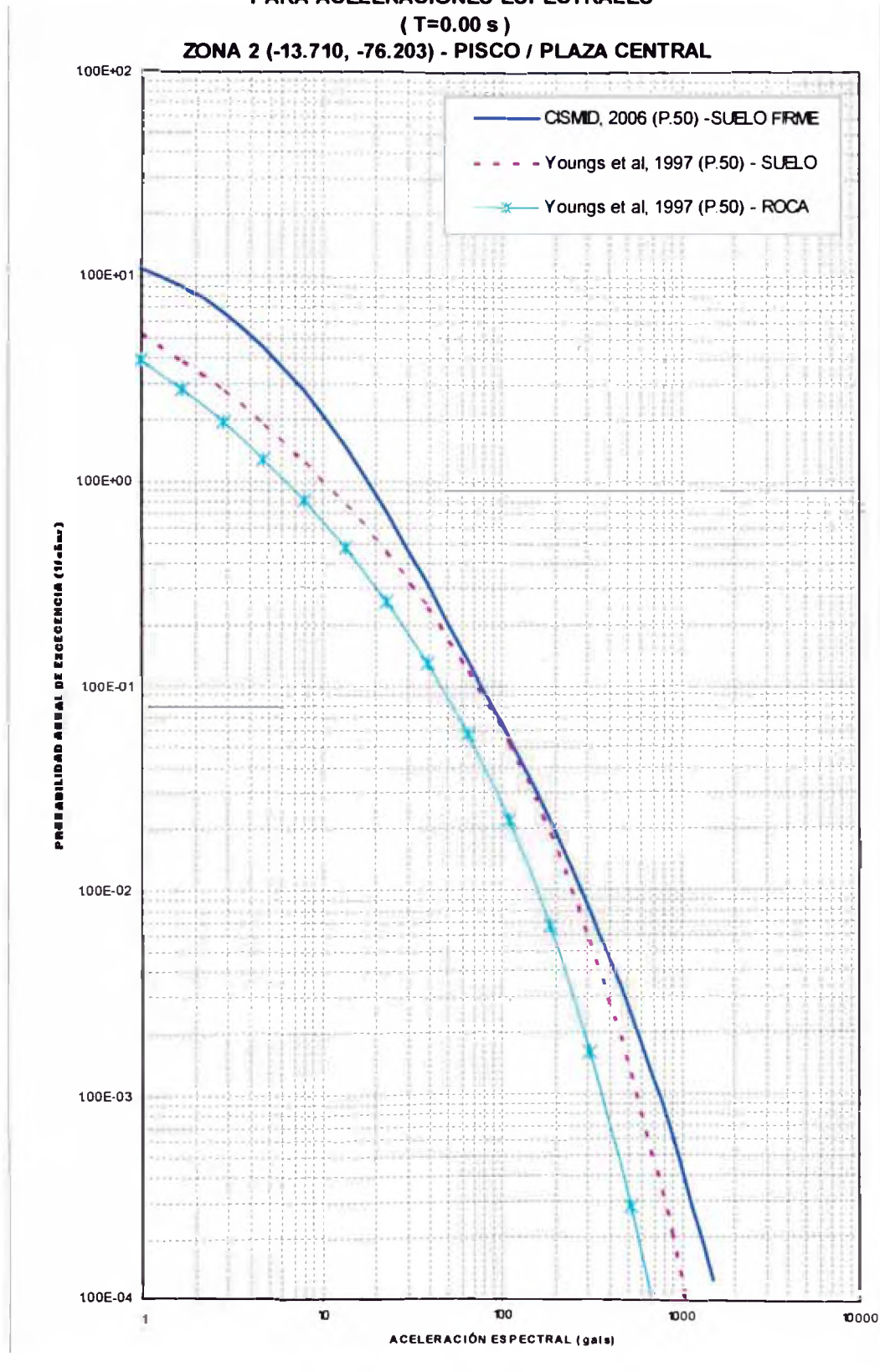
Anexo I: Curvas de probabilidad de excedencia

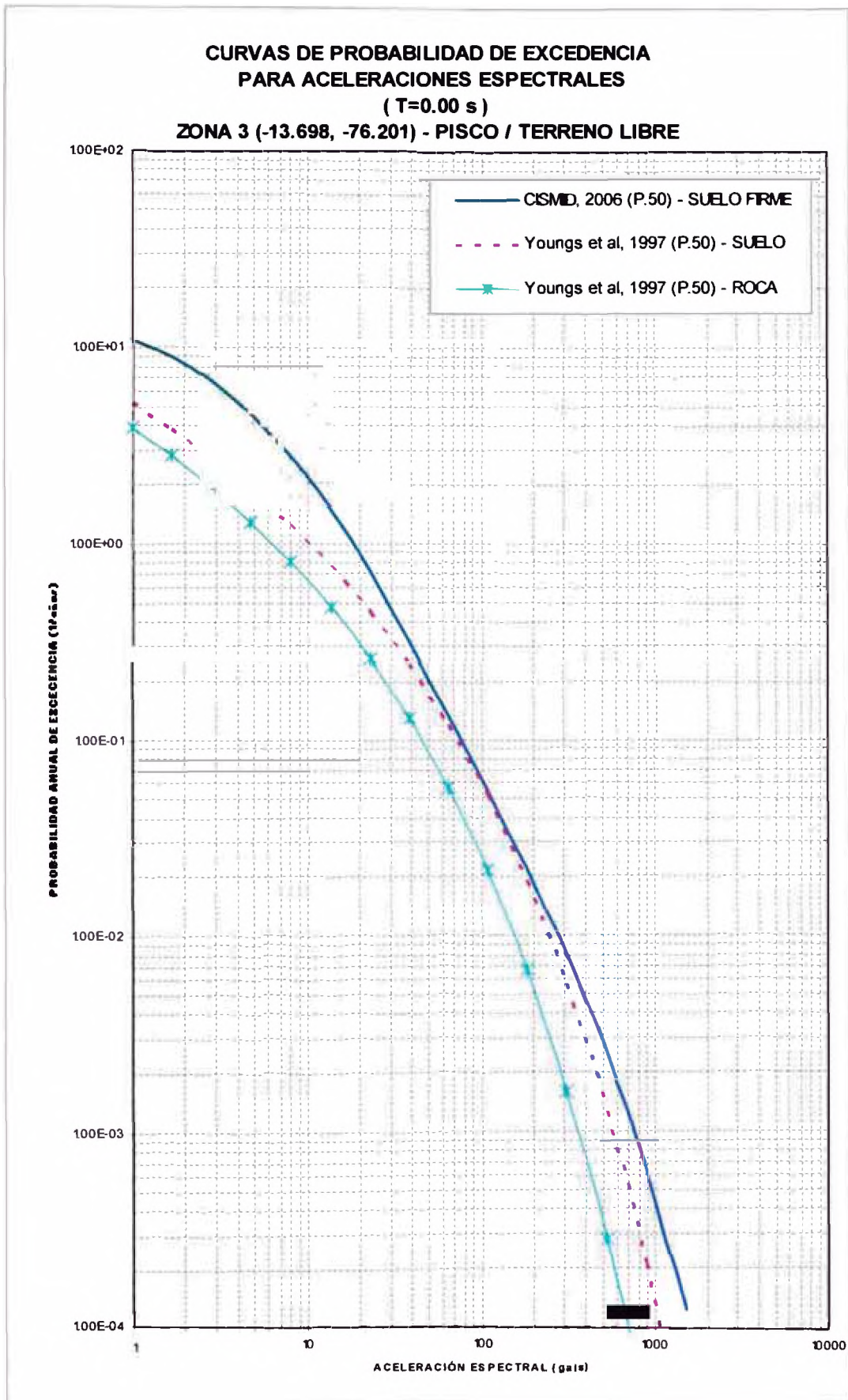


**CURVAS DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA
PARA ACELERACIONES ESPECTRALES**

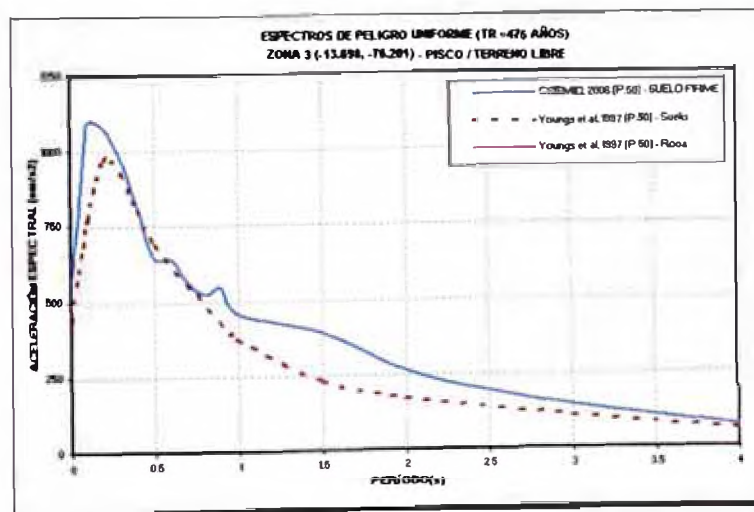
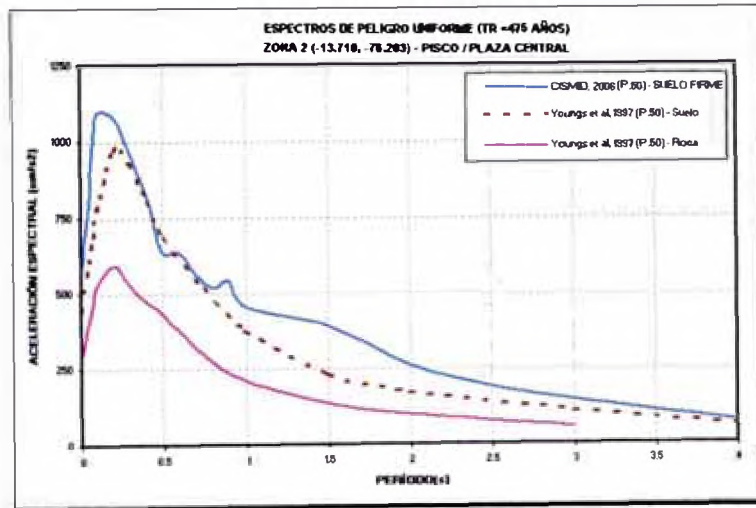
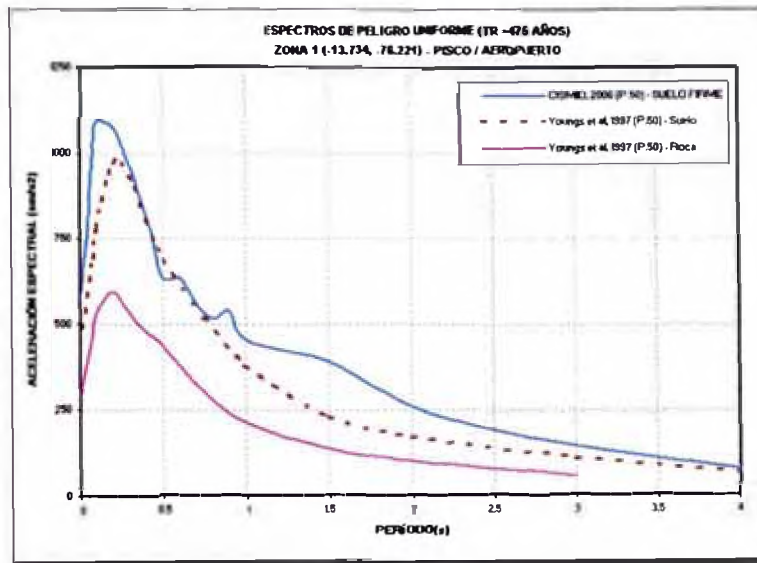
(T=0.00 s)

ZONA 2 (-13.710, -76.203) - PISCO / PLAZA CENTRAL





Anexo II: Espectro de peligro uniforme



Anexo III: Los resultados de ensayos de campo y laboratorio realizados



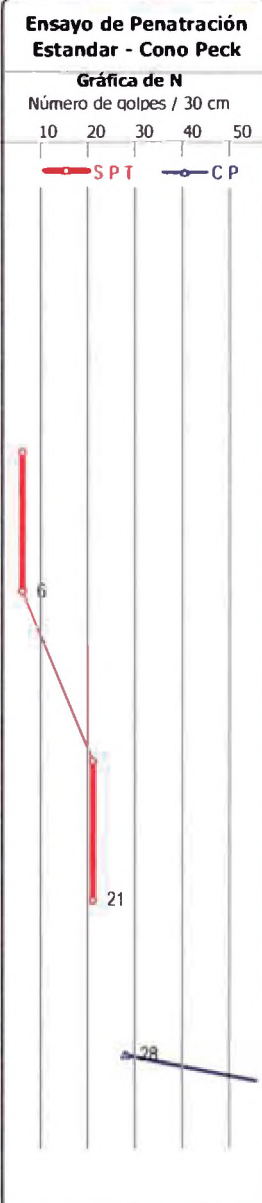
REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres,
para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : -
Prof. Nivel Freat. (m) : 1.50
Prof. Total (m) : 3.25
Operador : V.V.-D.B.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 1

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estandar - Cono Peck				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm				
0.0								10	20	30	40	50
0.5	1.00	M-1	SM		13.2	-	Arena limosa. Color marrón oscuro. Mediana humedad. No plástico. Medio suelta. 0.7% de grava < 3/8", 64.6% arena y 34.7% de finos. Algunas conchuelas aisladas.					
1.0	0.50	M-2	SM		15.2	-	Arena limosa. Color beige oscuro. No plástico. Húmeda. Suelta. Con 74.8% de arena y 25.2% de finos. Presencia aisladas de restos de conchuelas.					
1.5	0.70	M-3	SM		16.4	-	Arena limosa. Color beige a pardo. No plástico. Humedad alta. Medio densa. 1.1% de grava < 3/8", 86.1% arena y 12.8% de finos. Con gravas aisladas de T.M. 3/4". Presencia de abundante conchuelas.					
2.0	0.40	M-4	SP - SM		12	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. Humedad alta. Medio densa. Con 7.8% gravas < 3/4", 84.6% arena, 7.6% de finos.					
2.5	Observación: Se realizó el ensayo Cono Peck hasta 3.25 m. de profundidad											
3.0								C. P.		S. P. T.		
								Prof. (m)	Golpes		Golpes (N)	
								2.65 - 2.95	28		14	
								2.95 - 3.25	128		64	
3.5												





REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres,
para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : -
Prof. Nivel Freat. (m) : 2.30
Prof. Total (m) : 6.00
Operador : V.V.-D.B.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 2

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estandar				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm				
0.0								10	20	30	40	50
0.5	1.00	M-1	SC		13.5	-	Arena arcillosa. Color marrón oscuro. Mediana humedad. Plasticidad media. Medio suelta. 3.5% grava < 3/4", 55.4% de arena y 41.1% de finos. Conchuelas aisladas.					
1.0	0.70	M-2	SC-SM		14.3	-	Arena arcillosa limosa. Color marrón. De baja a mediana plasticidad. Mediana humedad. Medio suelta. 53.5% de arena y 45.6% de finos.					
1.5	0.20	M-3	SM		20.7	-	Arena limosa. Color beige. Húmeda. No plástico. 2.2% grava < 3/8", 69.2% arena, 28.6% de finos.					
2.0	0.30	M-4a	SM		9.3	-	Arena limosa. Color beige. No plástico. Medio suelta. 54.7% arena y 13.1% de finos. Gravas aisladas de T.M. 1".					
2.5	0.25	M-4b	SP-SM		21.9	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. Humedad alta. Medio suelta. 2.1% grava < 3/8", 86.7% arena, 11.2% de finos. Partículas blanquecinas.					
3.0	0.25	M-5a	ML		22.1	-	Limo arenoso. Color marrón oscuro. Saturado. No plástico. 3.2% grava < 3/4", 35.3% arena y 61.5% de finos. Abundante conchuelas					
3.5	0.15	M-5b	CL		27.6	-	Arcilla blanda. Color marrón. Humedad alta. Mediana plasticidad. 12.4% arena y 87.6% de finos.					
	0.25	M-5c	SM		13.8	-	Arena limosa. Color beige a marrón oscuro. No plástico. 43.8% arena y 17.4% de finos. Gravas subangulosas aisladas de T.M. 1 1/2".					
	0.15	M-6a	SM		20.9	-	Arena limosa. Color beige. Saturada. No plástico. 77.1% arena y 22.9% de finos. Gránulos blancos aislados.					
	0.35	M-6b	SM		13.2	-	Arena limosa. Color beige a marrón. No plástico. Saturada. Mediana densa. 50.1% arena y 18.8% de finos. Gravas aisladas de T.M. 1"					



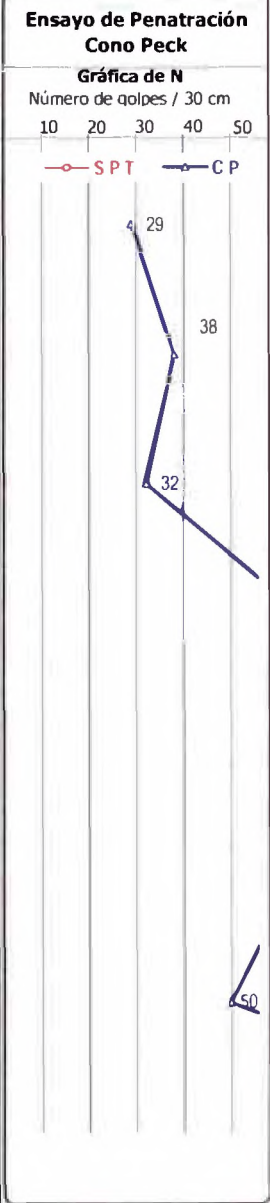
REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres,
 para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : -
Prof. Nivel Freat. (m) : 2.30
Prof. Total (m) : 6.00
Operador : V.V.-D.B.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 2

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Cono Peck	
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm	
3.7							C. P.		
							S. P. T.		
							Prof. (m)	Golpes	Golpes (N)
							3.60 - 3.90	29	15
							3.90 - 4.20	38	19
							4.20 - 4.50	32	16
							4.50 - 4.80	65	33
4.2							4.80 - 5.10	87	44
							5.10 - 5.40	64	32
							5.40 - 5.70	50	25
							5.70 - 6.00	122	61
4.7									
5.2									
5.7									
6.2									





REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, .
 para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : +
Prof. Nivel Freat. (m) : 1.90
Prof. Total (m) : 5.05
Operador : V.V.-D.B.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 3

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estandar - Cono Peck										
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm										
0.0	0.25	S/M	R		-	-	Relleno. Arena poco limoso. Color marrón. No plástico. Gravas y boloneras subredondeadas de T.M. 4". Medio suelta.	3										
1.0	1.20	M-1	SM		13.2	-	Arena limosa. Color marrón oscuro. Húmeda. No plástico. Suelta. 3.5% gravas <3/4", 63.1% arena y 33.4% de finos. Partículas de conchuelas color blanco aisladas.	15										
2.0	0.55	M-2	SM		14.4	-	Arena limosa. Color beige oscuro. Humedad alta. No plástico. Suelta. 2.1% grava <3/8", 81.3% arena y 16.6 de finos. Con escasas conchuelas molidas.	27										
3.0	2.00	M-3	SP		21	-	Arena pobremente gradada. Color beige. No plástico. Saturada. Medio densa. 96.2% arena y 3.8% de finos. Presencia abundante de conchuelas molidas con escasos óxidos.	24										
4.0	0.45	M-4	SM		21.8	-	Arena limosa con grava. Color beige oscuro. Humedad alta. No plástico. Medio densa. 2.1% grava <1", 81.3% arena, 16.6% de finos. Partículas de conchuelas aisladas.											
5.0	<p><i>Observación:</i> Se realizó el ensayo Cono Peck hasta 5.05 m. de profundidad</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Prof. (m)</th> <th>C. P. Golpes</th> <th>S. P. T. Golpes (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.45 - 4.75</td> <td>66</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>4.75 - 5.05</td> <td>113</td> <td>57</td> </tr> </tbody> </table>							Prof. (m)	C. P. Golpes	S. P. T. Golpes (N)	4.45 - 4.75	66	33	4.75 - 5.05	113	57		
Prof. (m)	C. P. Golpes	S. P. T. Golpes (N)																
4.45 - 4.75	66	33																
4.75 - 5.05	113	57																



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres,
para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : -
Prof. Nivel Freat. (m) : -
Prof. Total (m) : 4.45
Operador : V.V.-D.B.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 4

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estandar
					H. N. %	D. N. g/cm ³		
0.0								<p align="center">Ensayo de Penetración Estandar</p> <p align="center">Gráfica de N</p> <p align="center">Número de golpes / 30 cm</p> <p align="center">10 20 30 40 50</p> <p align="center">— SPT — C P</p>
0.50	S/M	R					Terreno de cultivo. Arena limosa. Color marrón claro. Humedad baja. Plasticidad baja. Suelta. Presencia de raíces aisladas.	
0.50	M-1	SC-SM			7.5	-	Arena arcillosa limosa. Color marrón claro. Humedad baja. Plasticidad media. Suelta. 50.3% arena y 49.7% de finos.	
1.00								
1.50	M-2	SM			4.3	-	Arena limosa. Color beige pardo a marrón. Humedad baja. No plástico. Suelta. 1% grava < 3/8", 68.6% arena y 30.4% de finos	
2.00								
2.50	M-3	SP-SM			2.5	-	Arena pobremente gradada con limo. Color pardo a pardo claro. Humedad baja. No plástico. Densa. 93.1% arena y 6.9% de finos.	
3.00								
3.50	M-4	SM			3.1	-	Arena limosa. Color pardo, Humedad baja. No plástico. Densa. 11.8% grava < 3/4", 75.4% arena y 12.8% de finos. Gravas aisladas de T.M. 1".	
4.00	M-5	SM			6	-	Arena limosa. Color pardo. Humedad baja. No plástico. Densa. 87.4% arena, 12.6% de finos.	
4.45	0.45	M-6	SP-SM		2.5	-	<u>Arena</u> pobremente gradada con limo y grava. Color beige claro. Humedad baja. Muy Densa. 23.9% grava < 1", 64.8% arena y 11.3% de finos. Gravas aisladas de borde subredondeadas de T.M. 2".	



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres,
 para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : San Andrés, Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : -
Prof. Nivel Freat. (m) : 0.95
Prof. Total (m) : 2.75
Operador : V.V.-D.B.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 5

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estandar - Cono Peck						
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm						
0.0								10	20	30	40	50		
0.5	1.00	M-1	SM		10.7	-	Arena limosa. Color beige amarillento. Húmeda. No plástico. Suelta. 0.4% grava, 85.6% arena y 14% de finos.							
1.0	0.45	M-2	SM		17.2	-	Arena limosa. Color beige oscuro. Saturado. No plástico. Suelta. 71.2% arena y 28.8 % de finos.							
1.5	0.35	M-3a	SP-SM		17.2	-	Arena pobremente gradada con limo. Beige oscuro. Saturado. No plástico. Medio densa. 92.5% arena y 7.5% de finos.							
2.0	0.20	M-3b	GM		12.5	-	Grava limosa con arena. Color marrón oscuro. Saturado. No plástico. Densa. 44.3% grava; 29.5% arena; y 26.2% de finos.							
2.5	0.45	M-4	GP-GM		7.3	-	Gravas pobremente gradada con limo y arena. Saturada. Muy densa. 52.8% grava, 36.2% arena y 11% de finos. Presencia de óxidos aislados.							
Observación: Se realizó el ensayo Cono Peck hasta 2.75 m. de profundidad														
								C. P.	S. P. T.					
								Prof. (m)	Golpes	Golpes (N)				
								2.45 - 2.75	135	68				



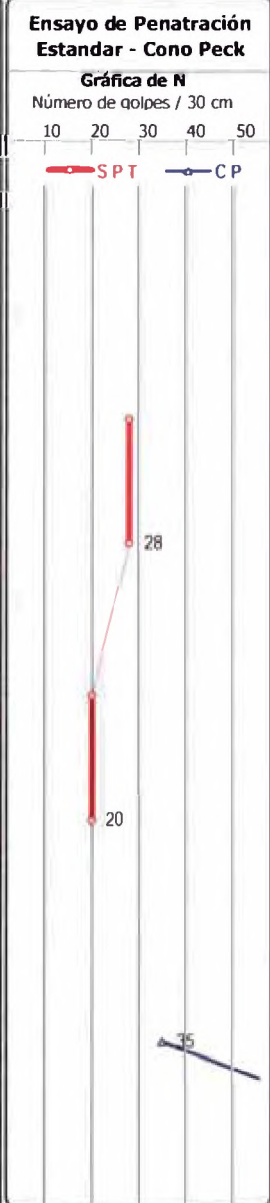
REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres,
 para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : Tupac Amaru, Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : -
Prof. Nivel Freat. (m) : 1.85
Prof. Total (m) : 3.85
Operador : V.V.-L.C.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 7

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estandar - Cono Peck		
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm		
0.0	0.20	S/M	R		-	-	Relleno	10	20	
0.5	0.80	M-1	SP-SM		4.2	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. Húmeda. Suelta. 93.6% de arena y 6.4% de finos.	30	40	
1.0	0.45	M-2	SM		8.5	-	Arena limosa. Color beige blanquecina. Medio densa. 86.1% arena y 13.9% de finos.	30	40	
1.5	0.55	M-3	SP-SM		23.5	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. Medio suelta. 89.3% de arena y 10.7% de finos. A partir de 1.80 saturada. Granulos blanquecinos aislados.	30	40	
2.0	0.45	M-4	SP-SM		19	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige oscuro. Humedad alta. 88% de arena, 12% de finos. Gránulos blanquecinos aislados. A 2.95 , no recupera muestra. Medio suelta	30	40	
2.5	Observación: Se realizó el ensayo Cono Peck hasta 3.85 m. de profundidad									
3.0								C. P.	S. P. T.	
								Prof. (m)	Golpes	
								2.95 - 3.25	35	
								3.25 - 3.55	81	
								3.55 - 3.85	139	
3.5									70	





REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres,
 para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : San Miguel, Pisco, Ica
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : ± 0
Prof. Nivel Freat. (m) : ± 0
Prof. Total (m) : ± 5.50
Operador : V.V.-L.C.
Revisado : Ing. Luis Chang

SONDAJE : S - 8

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estandar	
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm	
0.0									
1.00	1.00	M-1	SP-SM		2.4	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. Humedad baja. No plástico. Muy suelta. 90.4% de arena y 9.6% de finos.		
2.00	1.00	M-2	SP-SM		3.3	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. No plástico. Humedad baja. Suelta. 91.3% arena y 8.7% de finos.	2	
3.00	1.00	M-3	SP-SM		3.4	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. No plástico. Mediana humedad. Muy suelta. 93.3% arena y 6.7% de finos	4	
4.00	1.00	M-4	SP-SM		3.3	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. No plástico. Humedad baja. Muy suelta. 92.9% arena y 7.1% de finos	2	
5.00	1.00	M-5	SP-SM		4.3	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. Mediana humedad. No plástico. Medio suelta. 92.1% arena y 7.9% de finos.	16	
5.45	0.45	M-6	SP-SM		5	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige. Humedad baja. Densa. 89.2% arena y 10.8% de finos.	38	
6.0									
7.0									
8.0									



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410

Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO

Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.

Ubicación : AV. VALDELOMAR - PISCO

Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : 33.00

Prof. Nivel Freat. (m) : 2.00

Prof. Total (m) : 2.00

Operador : P.P.-L.Ch.

Revisado : Ing.Luis Chang

CALICATA : C-1

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm				
0.0								10	20	30	40	50
0.45	M-1	SM			3.9	-	Arena limosa con grava. Beige amarillento a marrón. Grava de bordes angulosos y redondeados. 39.3 % grava < 1 1/2", 41.8% arena y 18.9% finos. Medio densa. Baja Humedad. 2% de Boloneras aisladas de T.M. 4". Presencia de costras calcáreas y raíces aisladas.	SPT C.P.				
0.55	M-2	GP			1.3	-	Grava pobremente gradada con arena. Color beige claro. 76.4% grava < 2", 22.7% arena y 0.9% finos. Medio suelta. Humedad baja. 5% de boloneras de T.M. 6" (andesita y granodiorita). Presencia de raíces aisladas y óxidos aislados.					
1.0	0.50	M-3	ML		19.7	-	Limo arenoso. Color beige amarillento. 40.2% de arena, 59.8% de fino. Medio denso. Húmeda. Presencia de raíces y óxidos aislados.					
1.5	0.50	M-4	GP			-	Grava pobremente gradada con arena. Color beige oscuro. Medio densa. Humedad baja. 5% de boloneras de T.M. 9". Presencia de raíces aisladas. Similar a M-2.					
2.0												



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : SAN ANDRES - PISCO
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : 11.00
Prof. Nivel Freat. (m) : 1.90
Prof. Total (m) : 2.00
Operador : P.P.-L.Ch.
Revisado : Ing.Luis Chang

CALICATA : C-6

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION
					H. N. %	D. N. g/cm ³		
0.0								Gráfica de N Número de golpes / 30 cm 10 20 30 40 50 —○— SPT —▲— CP
0.5	1.00	S/M	R		-	-	Relleno. Arena limosa con gravas aisladas de T.M. 5". Color beige amarillento. Suelta. No plástico. Humedad media. Presencia de óxidos, costras de choros aisladas y residuos de basura.	
1.0								
1.5	1.00	M-1	GP		10.2	-	Grava pobremente gradada con arena. Color gris. 59.9% de grava < 2", 37.3% de arena y 2.8% de finos. Medio suelta. Húmeda. Densidad seca = 1.51 g/cm ³ . Ensayo de Corte Directo C = 0 y $\Phi = 32^\circ$. Gravitas aisladas y bolonerías de T.M. 10". Las bolonerías tiene adherido en su superficie algas marinas	
2.0								



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410
Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.
Ubicación : FUNDO SAN LUIS - PISCO
Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : 24.00
Prof. Nivel Freat. (m) : 1.90
Prof. Total (m) : 2.00
Operador : P.P.-L.Ch.
Revisado : Ing.Luis Chang

CALICATA : C-8

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm				
0.0								10	20	30	40	50
0.40	M-1	SP-SM			1.4	-	Arena pobremente gradada con limo. 93.4% de arena y 6.6% de finos. Color beige. Medio suelta. Humedad baja. No plástico.					
0.60	M-2	GP			0.9	-	Grava pobremente gradada con arena (andesita, granodiorita). Color gris. 76.3% de grava < 3", 23.3% de arena y 0.4% de finos. Medio suelta. Humedad baja a nula. Boloneras de T.M. 6" aprox. 5%.					
1.00	M-3	ML			36.1	-	Limo. Color marrón. 0.7% de grava < 3/8", 13.5% de arena y 85.8% de fino. Suelta. Húmedo. No plástico. Presencia de óxidos y micas doradas aisladas.					
2.0												



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio :	LG07-410	Cota Relativa (m) :	103.00
Solicitado :	PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO	Prof. Nivel Freat. (m) :	-
Proyecto :	Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.	Prof. Total (m) :	2.50
Ubicación :	TUPAC AMARU - PISCO	Operador :	P.P.-L.Ch.
Fecha :	Octubre, 2007	Revisado :	Ing. Luis Chang

CALICATA : C-11

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm					
0.0	0.40	S/M	R		-	-	Material de Relleno. Terreno de cultivo. Color beige claro. Medio suelto. Humedad baja a nula. Se encontró plásticos.	10	20	30	40	50	—○— SPT —●— CP
0.5	1.80	M-1	SP-SM		0.6	-	Arena pobremente gradada con limo. Color beige claro. Estratificada con costras de sal. 94.4% de arena y 5.6% de finos. Medio suelta. Humedad baja. Presencia de lentes de arena gruesa.						
2.0	0.015	S/M	---		-	-	Costra de arena y sales.						
2.5	0.215	M-2	MH		8.1	-	Diatomita silicificada. Color beige amarillento. 2.9% de arena y 97.10% de finos. Compacto. Humedad baja a seca.						
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410

Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO

Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.

Ubicación : SAN MIGUEL - PISCO

Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : 72.00

Prof. Nivel Freat. (m) : -

Prof. Total (m) : 3.00

Operador : P.P.-L.Ch.

Revisado : Ing.Luis Chang

CALICATA : C-16

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION	
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N Número de golpes / 30 cm	
0.0								10 20 30 40 50	—○— SPT —◆— CP
	0.40	S/M	R		-	-	Material de Relleno. Color beige claro. Medio suelta. Humedad baja. Presencia de raíces, limos y gravilla.		
0.5									
1.0									
1.5	2.60	M-1	SP		0.5	-	Arena pobremente gradada. Estratificada. Color beige claro. 95.5% de arena y 4.5% de finos. Medio suelta. Humedad baja. Presencia de costras de sal aisladas.		
2.0									
2.5									
3.0									



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : LG07-410

Solicitado : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTRO

Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007.

Ubicación : PISCO

Fecha : Octubre, 2007

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : -

Prof. Total (m) : 2.30

Operador : P.P.-L.Ch.

Revisado : Ing.Luis Chang

CALICATA : C-22

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION						
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N						
								Número de golpes / 30 cm						
								10	20	30	40	50		
								SPT CP						
0.0														
0.5														
1.75	S/M	R					Material de Relleno. Presencia de ladrillos rotos, plásticos, huesos, lata, platos rotos y hormigón. Húmedo.							
1.0														
1.5														
2.0	0.55	M-1	SM			17	Arena Limosa. Color beige oscuro. 2.40 % grava < 3/4", 63.20 % arena y 34.40 % de finos. Suelto (1golpe/10cm - DPL). Humedad media. Presencia de óxidos con gravillas aisladas.							
2.5	0.30	S/M	-				<u>Observación:</u> Se realizó el ensayo DPL para verificar la profundidad del material Arena limosa. Profundidad(m) Nº Golpes - DPL Equiv. SPT 2.30 - 2.60 1 * 2.60 - 2.61 10 *							
3.0							Sondaje DPL - RECHAZO.							



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES

LABORATORIO GEOTECNICO



Av Túpac Amaru Nº 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono (51-1)482-0777 - Telefax 482-0804 / 481-0170 - E-mail labgeo@csmaid.uni.pe

ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTRO
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

Sondaje : C - 01
 Muestra : M - 01
 Profundidad (m) : 0.00 - 0.45

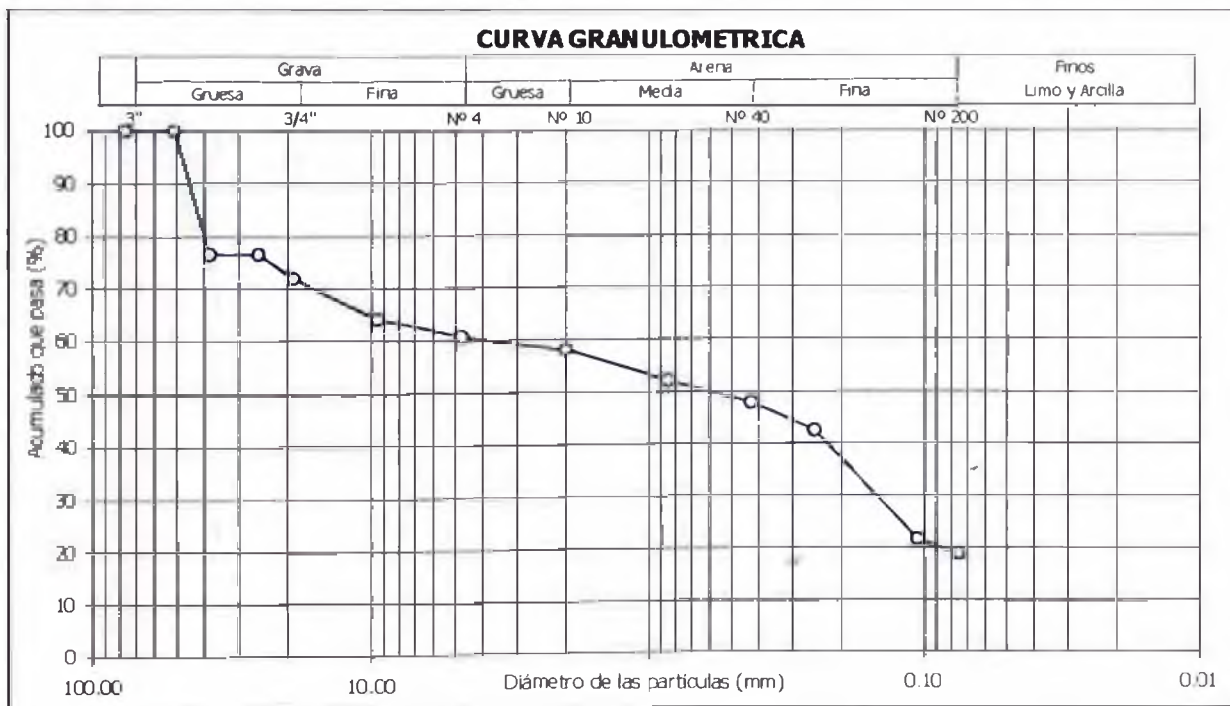
Contenido de humedad; ASTM - D2216		
medad	(%)	3.9

Granulometría por tamizado; ASTM - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	76.5
1"	25.400	76.5
¾"	19.050	71.9
3/8"	9.525	64.2
Nº 4	4.750	60.7
Nº 10	2.000	58.1
Nº 20	0.850	52.1
Nº 40	0.425	47.7
Nº 60	0.250	42.4
Nº 140	0.106	21.6
Nº 200	0.075	18.9

Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	18
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	---

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
Grava [Nº 4 < φ < 3"]	(%)	39.3
Arena [Nº 200 < φ < Nº 4]	(%)	41.8
Finos [φ < Nº 200]	(%)	18.9

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282		
AASHTO : A-1b (0)		
SUCS : SM // Arena limosa con grava		





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



Av. Túpac Amaru N° 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono: (51-1) 482-0777 - Telefax: 482-0804 / 481-0170 - E-mail: labgeo@cismid.uni.pe

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

Informe N° : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica
 Sondaje : C - 6 Velocidad : 0.5 mm/min
 Muestra : M - 1 (Mat. < N° 4) AASHTO : A-3 (0)
 Profundidad (m) : 1.00 - 2.00 S U C S : SP - SM // Arena mal gradada con limo
 Estado : Remoldeado

Esfuerzo Normal (kg/cm ²)		1 Kg/cm ²		2 Kg/cm ²		4 Kg/cm ²		
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
Altura	(cm)	2.00	1.98	2.00	1.97	2.00	1.96	
Diámetro	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
Humedad	(%)	14.03	14.03	14.03	14.03	14.03	14.03	
Densidad seca	(g/cm ³)	1.51	1.52	1.51	1.53	1.51	1.54	
1 Kg/cm ²			2 Kg/cm ²			4 Kg/cm ²		
Deformación (%)	Esf. de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normaliz.	Deformación (%)	Esf. de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normaliz.	Deformación (%)	Esf. de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normaliz.
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.17	0.17	0.05	0.39	0.20	0.05	0.66	0.17
0.10	0.22	0.22	0.10	0.46	0.23	0.10	1.02	0.26
0.20	0.26	0.26	0.20	0.53	0.26	0.20	1.38	0.35
0.35	0.30	0.30	0.35	0.57	0.28	0.35	1.55	0.39
0.50	0.32	0.32	0.50	0.63	0.32	0.50	1.70	0.43
0.75	0.31	0.31	0.75	0.69	0.35	0.75	1.88	0.47
1.00	0.33	0.33	1.00	0.76	0.38	1.00	2.05	0.51
1.25	0.35	0.35	1.25	0.83	0.41	1.25	2.15	0.54
1.50	0.36	0.36	1.50	0.93	0.46	1.50	2.25	0.56
1.75	0.38	0.38	1.75	0.98	0.49	1.75	2.35	0.59
2.00	0.40	0.40	2.00	1.01	0.50	2.00	2.42	0.60
2.50	0.44	0.44	2.50	1.12	0.56	2.50	2.55	0.64
3.00	0.46	0.46	3.00	1.19	0.59	3.00	2.64	0.66
3.50	0.49	0.49	3.50	1.23	0.61	3.50	2.71	0.68
4.00	0.51	0.51	4.00	1.26	0.63	4.00	2.76	0.69
4.50	0.52	0.52	4.50	1.29	0.64	4.50	2.78	0.69
5.00	0.52	0.52	5.00	1.30	0.65	5.00	2.78	0.69
6.00	0.51	0.51	6.00	1.28	0.64	6.00	2.74	0.69
7.00	0.50	0.50	7.00	1.26	0.63	7.00	2.68	0.67
8.00	0.50	0.50	8.00	1.23	0.61	8.00	2.64	0.66
9.00	0.50	0.50	9.00	1.22	0.61	9.00	2.62	0.65
10.00	0.50	0.50	10.00	1.22	0.61	10.00	2.60	0.65
11.00	0.50	0.50	11.00	1.22	0.61	11.00	2.60	0.65
12.00	0.50	0.50	12.00	1.22	0.61	12.00	2.60	0.65

Observaciones

Densidad seca = 1.51g/cm³, máxima humedad trabajable = 14.0%. Datos de remoldeo obtenidos del ensayo Peso volumétrico. (Humedad = 23.1, Densidad húmeda = 1.86g/cm³)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



Av. Túpac Amaru N° 1150, Lima 25, Peru - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono (51-1) 482-0777 - Telefax 482-0804 / 481-0170 - E-mail labgeo@ci.uncu.edu.pe

ENSAYOS DE LABORATORIO

Informe : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

GRAVEDAD ESPECIFICA RELATIVA DE SOLIDOS Y PESO VOLUMETRICO

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Gravedad de sólidos (Gs)	Humedad (%)	Densidad húmeda (g/cm ³)
C - 06	M - 1 (Mat. <Nº4)	1.00 - 2.00	SP - SM	23.1	1.86
C - 09	M - 01	0.60 - 2.80	SP - SM	2.5	1.71
C - 12	M - 01	0.20 - 1.20	SP - SM	18.7	2.04
C - 16	M - 01	0.40 - 3.00	SP	2.6	1.62



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : L607-410
Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

Fecha : Noviembre, 2007

Sondaje : S - 01
Muestra : M - 04
Profundidad (m) : 2.20 - 2.65

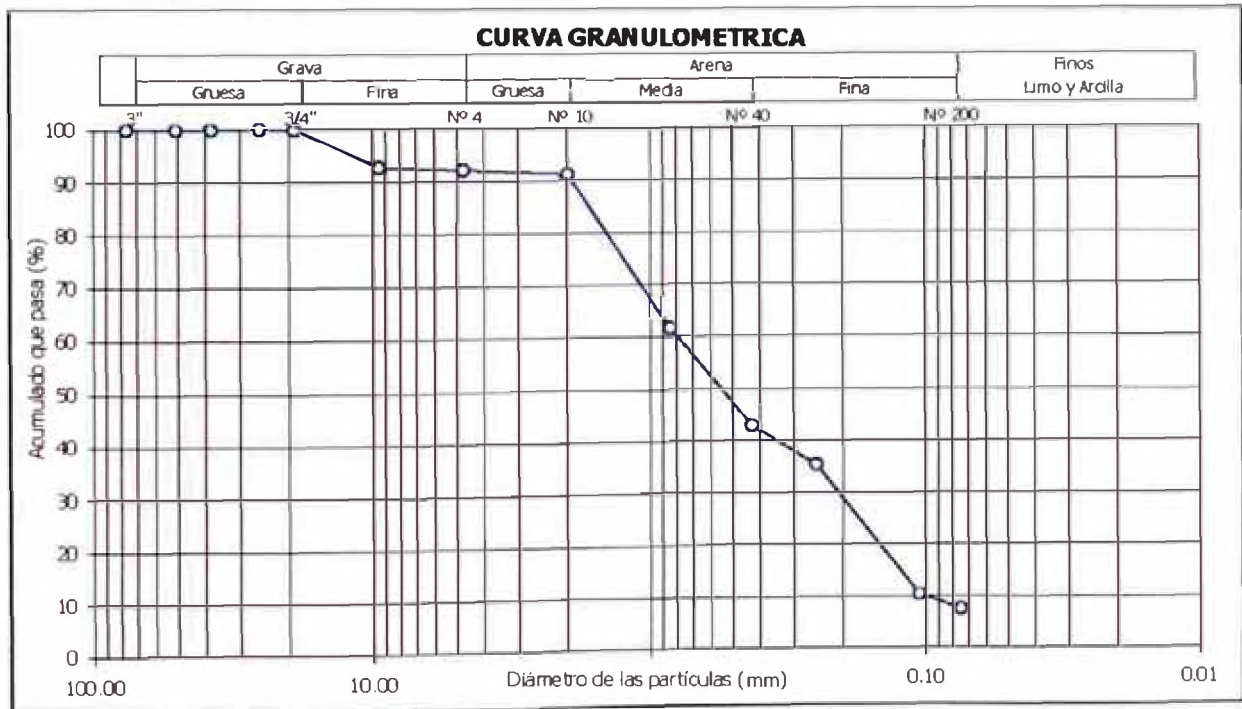
Table with 2 columns: Humedad (%), 12.0

Table with 3 columns: Tamiz, Abertura (mm), Acum. q' Pasa (%). Lists sieve sizes from 3" to No 200 and their corresponding cumulative percentages.

Table with 3 columns: Límite Líquido (%), Límite Plástico (%), Índice de Plasticidad (%), Límite de Contracción (%). Values are NP, NP, NP, and -.

Table with 2 columns: Coeficiente de Uniformidad (Cu), Coeficiente de Curvatura (Cc), Grava, Arena, Finos. Values are 8.0, 0.6, 7.8, 84.6, 7.6.

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282
AASHTO: A-1b (0)
SUCCS: SP - SM // Arena mal gradada con limo





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LCG7-410
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica
 SondaJe : S - 01
 Muestra : M - 03
 Profundidad (m) : 1.50 - 2.20

Contenido de humedad, ASTM - D2216	(%)	16.4
Humedad	(%)	16.4

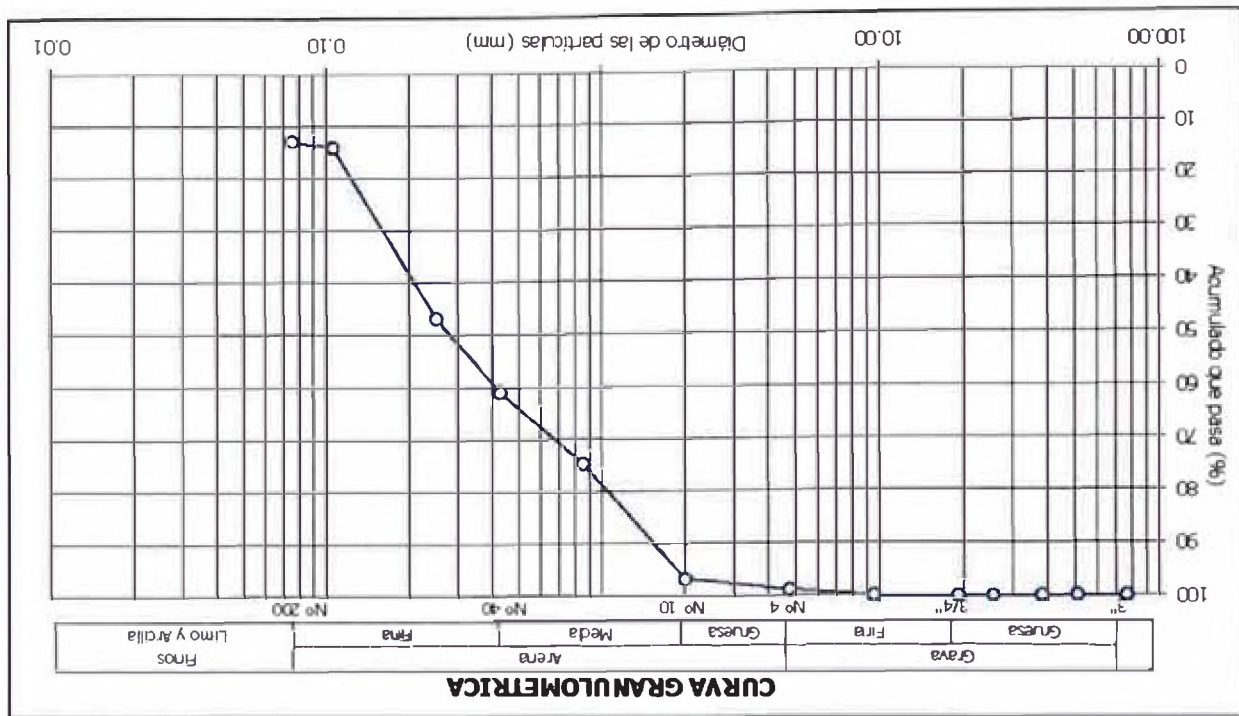
Limites de consistencia	(%)	NP
Limite Líquido	(%)	NP
Limite Plástico	(%)	NP
Indice de Plasticidad	(%)	NP
Limite de Contracción	(%)	—

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	—	
Coefficiente de Curvatura (Cc)	---	
Grava [$\phi < 3"$]	(%)	1.1
Arena [$\phi < 200$ > $\phi < 4$]	(%)	86.0
Finos [$\phi < 200$]	(%)	12.8

Classificación: ASTM - D2487 / D3282	
AASHTO : A-2-4 (0)	
SUCS : SM // Arena limosa	

Granulometría por tamizado, ASTM - D422

Tamz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
No 4	4.750	98.9
No 10	2.000	96.8
No 20	0.850	74.5
No 40	0.425	60.9
No 60	0.250	46.8
No 140	0.106	14.2
No 200	0.075	12.8





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTRO
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica
 Sondaje : S - 01
 Muestra : M - 02
 Profundidad (m) : 1.00 - 1.50

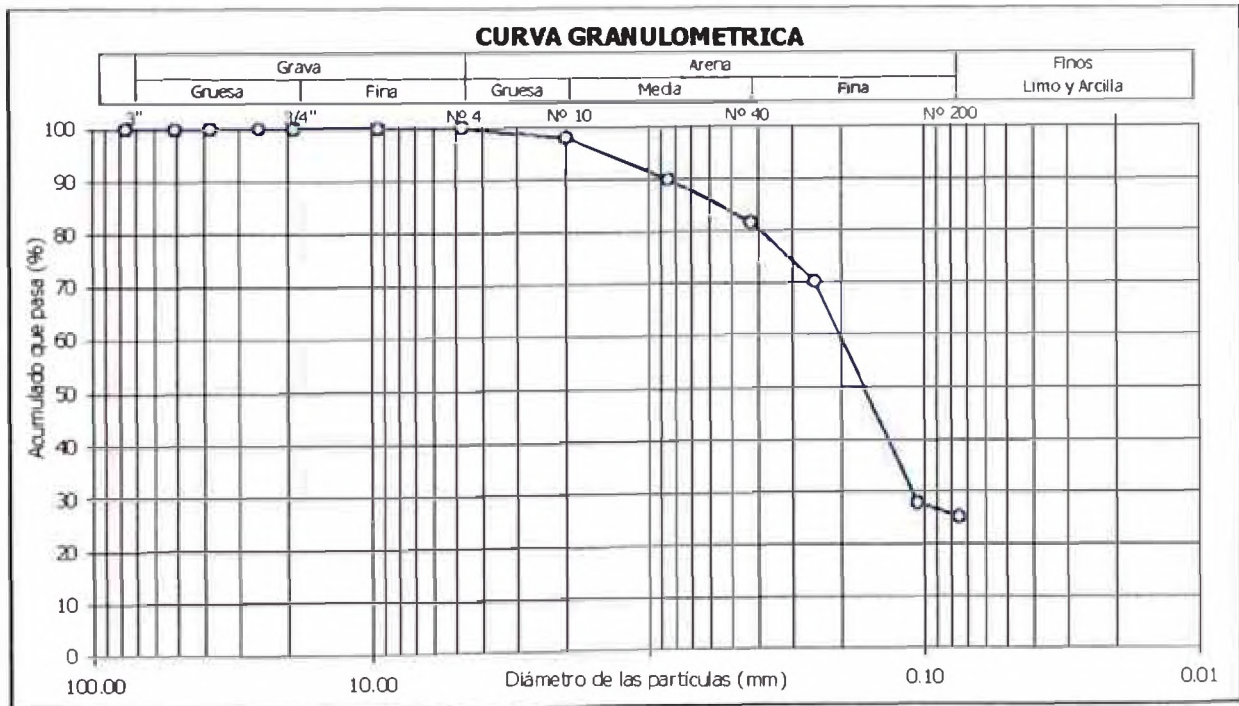
Granulometría por tamizado; ASTM - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	98.0
Nº 20	0.850	90.0
Nº 40	0.425	81.7
Nº 60	0.250	70.2
Nº 140	0.106	28.0
Nº 200	0.075	25.2

Contenido de humedad; ASTM - D2216		
Humedad	(%)	15.2

Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	20
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	---

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	0.0
Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	74.8
Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	25.2

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282		
AASH T O : A-2-4 (0)		
S U C S : SM // Arena limosa		





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica
 Sondaje : S - 01
 Muestra : M - 01
 Profundidad (m) : 0.00 - 1.00

Tamiz	Abertura (mm)	Acum q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	99.3
Nº 10	2.000	97.7
Nº 20	0.850	91.4
Nº 40	0.425	84.3
Nº 60	0.250	72.9
Nº 140	0.106	38.2
Nº 200	0.075	34.7

Granulometría por tamizado; ASTM - D422

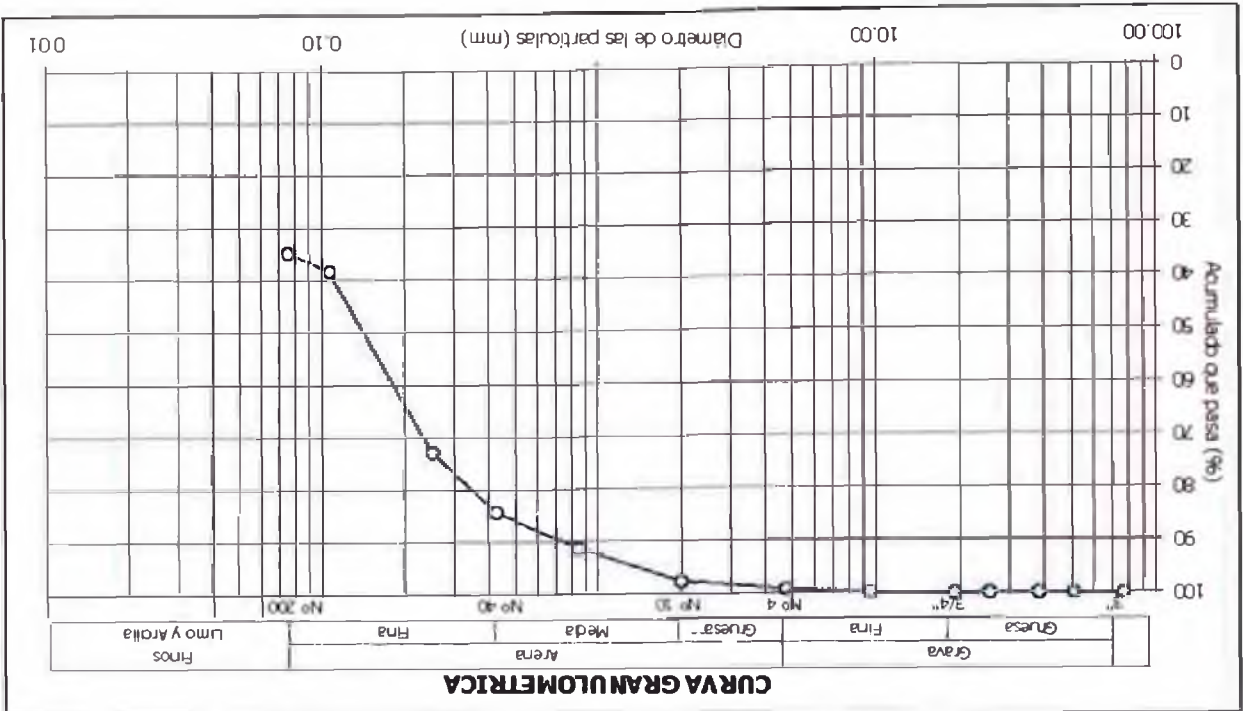
Limites de consistencia	(%)
Limite Líquido	22
Limite Plástico	Nº
Índice de Plasticidad	(%)
Limite de Contracción	(%)

Resultados de la granulometría por tamizado	
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	—
Coefficiente de Curvatura (Cc)	—
Grava [$\phi < \phi < 3"$]	(%) 0.7
Arena [$\phi < \phi < \text{Nº 4}$]	(%) 64.5
Finos [$\phi < \phi < \text{Nº 200}$]	(%) 34.7

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282
 A S H T O : A-2-4 (0)
 S U C S : SM // Arena limosa

Contenido de humedad; ASTM - D2216	(%)
Humedad	13.2

Fecha : Noviembre, 2007





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES

LABORATORIO GEOTECNICO



Av. Túpac Amaru N° 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono (51-1) 482-0777 - Telefax: 482-0804 / 481-0170 - E-mail: labgeo@csrrid.unipi.pe

ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTRO
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

Sondaje : C - 08
 Muestra : M - 03
 Profundidad (m) : 1.00 - 2.00

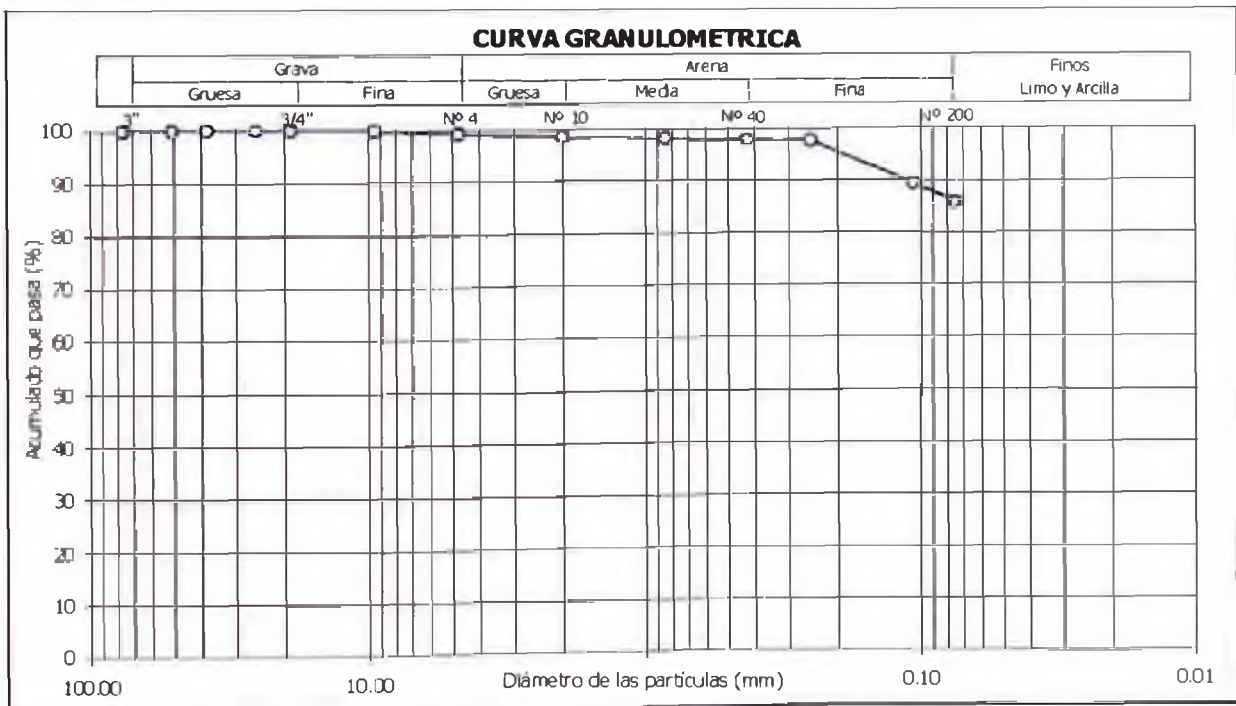
Contenido de humedad; ASTM - D2216		
Humedad	(%)	36.1

Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	34
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	—

Granulometría por tamizado; ASTM - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	99.3
Nº 10	2.000	98.6
Nº 20	0.850	98.2
Nº 40	0.425	97.9
Nº 60	0.250	97.7
Nº 140	0.106	89.5
Nº 200	0.075	85.8

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)		—
Coefficiente de Curvatura (Cc)		—
Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	0.7
Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	13.5
Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	85.8

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282	
AASHTO	A-4 (2)
SUCS	ML // Limo





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES

LABORATORIO GEOTECNICO



Av. Túpac Amaru N° 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono: (51-1) 482-0777 - Telefax: 482-0804 / 481-0170 - E-mail: labgeo@cismid.uni.pe

ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

Sondaje : C - 08
 Muestra : M - 02
 Profundidad (m) : 0.40 - 1.00

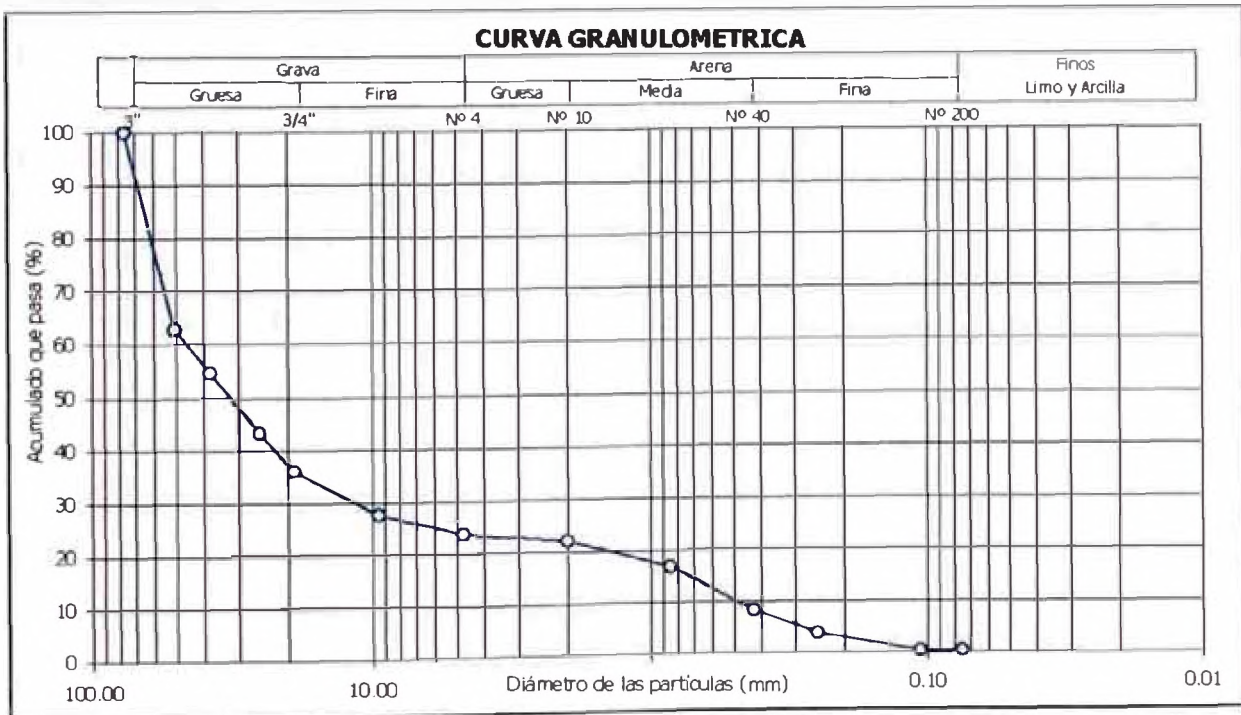
Contenido de humedad; ASTM - D2216		
medad	(%)	0.9

Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	NP
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	—

Granulometría por tamizado; ASTM - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	62.9
1½"	38.100	54.6
1"	25.400	43.3
¾"	19.050	36.0
3/8"	9.525	27.7
Nº 4	4.750	23.7
Nº 10	2.000	22.2
Nº 20	0.850	16.9
Nº 40	0.425	8.3
Nº 60	0.250	3.8
Nº 140	0.106	0.5
Nº 200	0.075	0.4

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)		94.3
Coefficiente de Curvatura (Cc)		5.9
Grava [Nº 4 < φ < 3"]	(%)	76.3
Arena [Nº 200 < φ < Nº 4]	(%)	23.3
Finos [φ < Nº 200]	(%)	0.4

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282	
AASHTO :	A-1a (0)
SUCS :	GP // Grava mal gradada con arena





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica
 Sondaje : C - 08
 Muestra : M - 01
 Profundidad (m) : 0.00 - 0.40

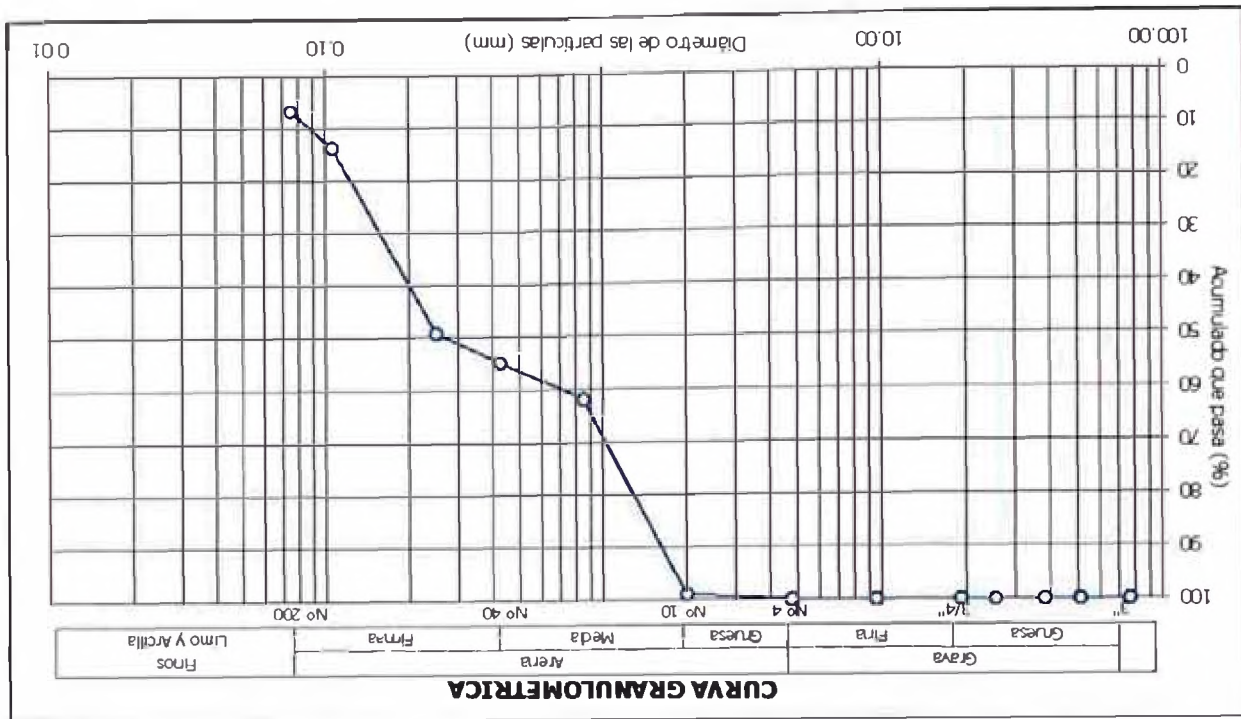
Contenido de humedad, ASTM - D2216	(%)	1.4
medad	(%)	1.4

Limites de consistencia	(%)	NP
Límite Líquido	(%)	NP
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	—

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	8.0	
Coefficiente de Curvatura (Cc)	0.4	
Grava [$\phi > 3"$]	(%)	0.0
Arena [$\phi > 200 < \phi < 3"$]	(%)	93.4
Finos [$\phi < 200$]	(%)	6.6

Clasificación, ASTM - D2487 / D3282
 A S H T O : A-3 (0)
 S U C S : SP - SM // Arena mal gradada con limo

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	99.0
Nº 20	0.850	61.9
Nº 40	0.425	54.8
Nº 60	0.250	49.3
Nº 140	0.106	13.7
Nº 200	0.075	6.6





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

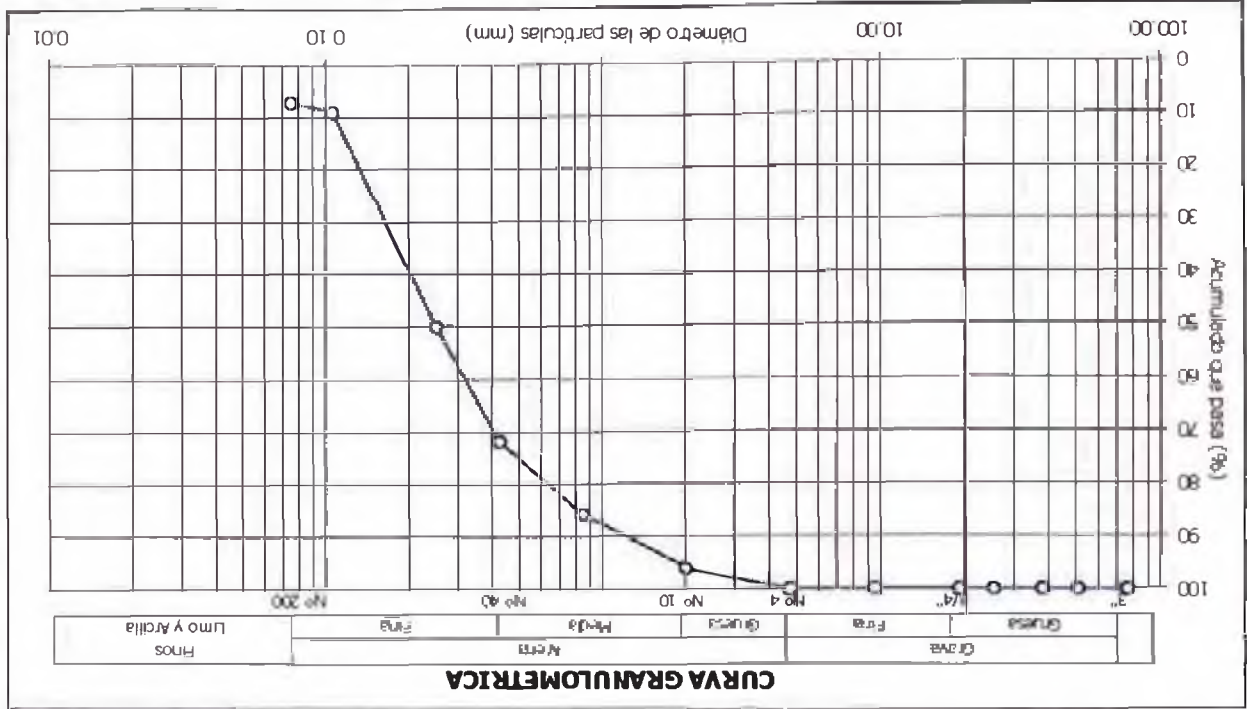
Informe : LG07-410
 Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS
 Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
 Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica
 Sondaje : C - 06
 Muestra : M - 01 (Mat. < Nº 4)
 Profundidad (m) : 1.00 - 2.00

Contenido de humedad, ASTM - D2216	(%)	—
medad	(%)	—
Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	NP
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	—

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	2.9	
Coefficiente de Curvatura (Cc)	0.8	
Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	0.0
Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	92.9
Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	7.1

Clasificación, ASTM - D2487 / D3282
 A S H T O : A-3 (0)
 S U C S : SP - SM // Arena mal gradada con limo

Tamz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	96.0
Nº 20	0.850	85.8
Nº 40	0.425	71.9
Nº 60	0.250	50.0
Nº 140	0.106	9.0
Nº 200	0.075	7.1





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

Sondaje : C - 06
Muestra : M - 01
Profundidad (m) : 1.00 - 2.00

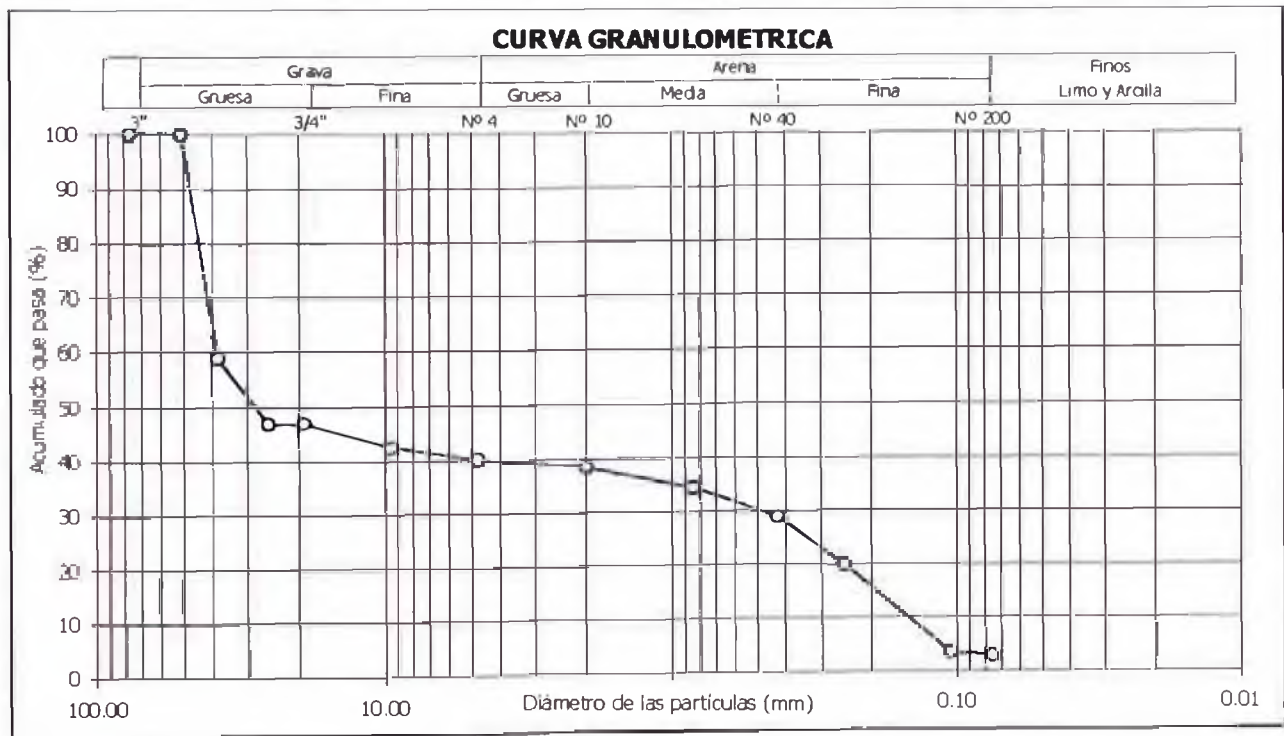
Table with 2 columns: medad (%), 10.2

Table with 3 columns: Límite Líquido (%), Límite Plástico (%), Índice de Plasticidad (%), Límite de Contracción (%)

Table with 3 columns: Tamiz, Abertura (mm), Acum. q' Pasa (%)

Table with 2 columns: Coeficiente de Uniformidad (Cu), Coeficiente de Curvatura (Cc), Grava, Arena, Finos

Table with 1 column: Clasificación, AASHTO, SUCS





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410
Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

Fecha : Noviembre, 2007

Sondaje : C - 01
Muestra : M - 03
Profundidad (m) : 1.00 - 1.50

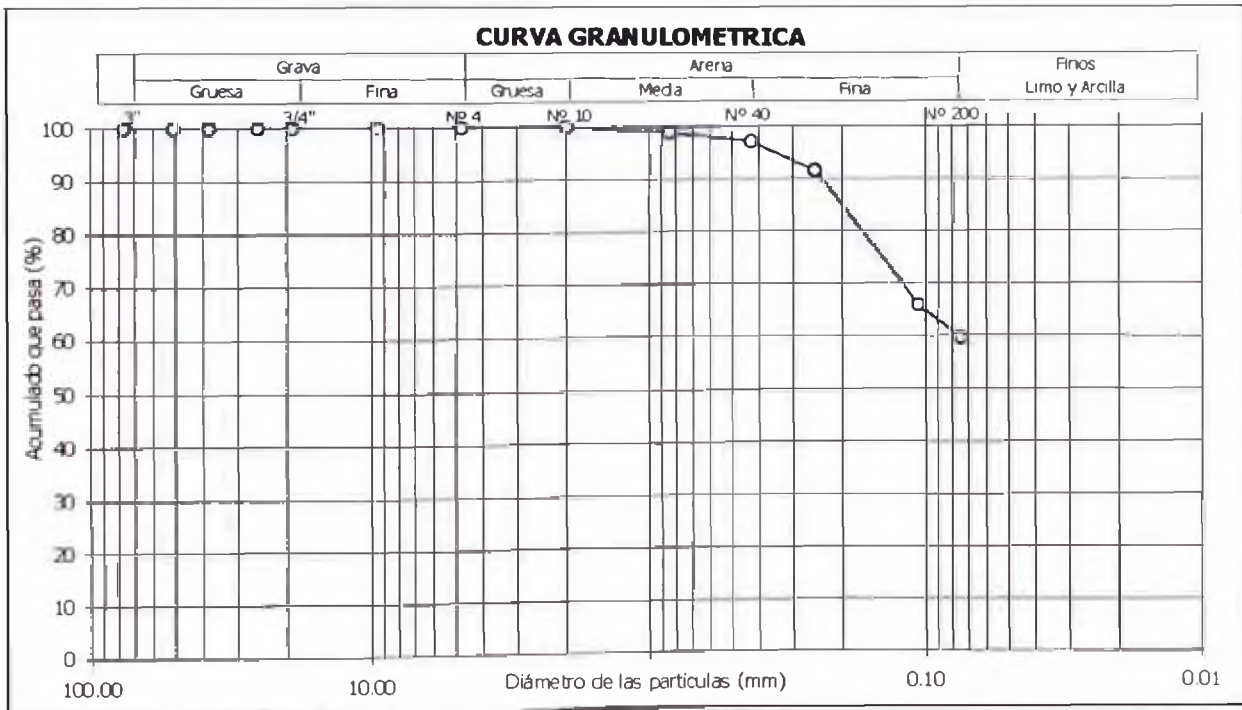
Contenido de humedad; ASTM - D2216	
(%)	19.7

Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	NP
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	—

Granulometría por tamizado; ASTM - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	99.0
Nº 40	0.425	97.0
Nº 60	0.250	91.5
Nº 140	0.106	65.9
Nº 200	0.075	59.8

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)		—
Coefficiente de Curvatura (Cc)		—
Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	0.0
Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	40.2
Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	59.8

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282	
AASHTO:	A-4 (0)
SUCS:	ML // Limo arenoso





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe : LG07-410 Fecha : Noviembre, 2007
Solicitante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTRO
Proyecto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007
Ubicación : Prov. Pisco, Dpto. Ica

Sondaje : C - 01
Muestra : M - 02
Profundidad (m) : 0.45 - 1.00

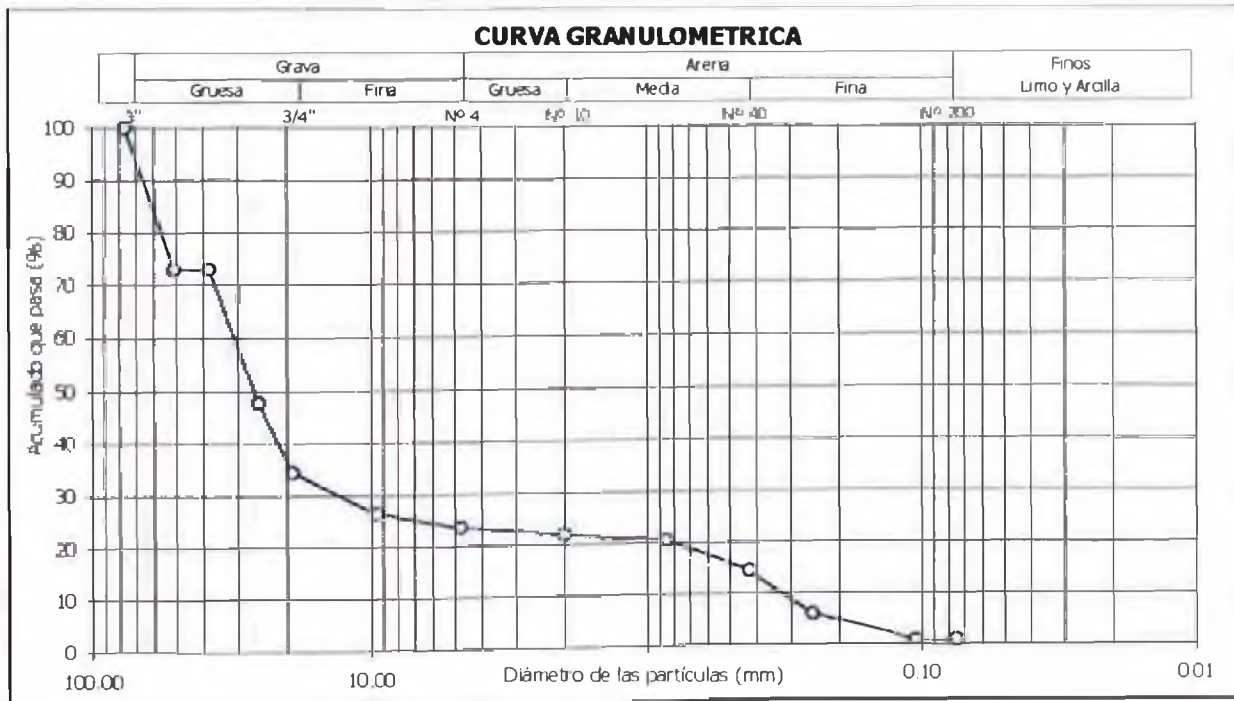
Contenido de humedad; ASTM - D2216		
Humedad	(%)	1.3

Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	NP
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	---

Granulometría por tamizado, ASTM - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	73.1
1½"	38.100	73.1
1"	25.400	47.8
¾"	19.050	34.4
3/8"	9.525	26.3
Nº 4	4.750	23.6
Nº 10	2.000	21.9
Nº 20	0.850	20.4
Nº 40	0.425	14.3
Nº 60	0.250	6.0
Nº 140	0.106	1.0
Nº 200	0.075	0.9

Resultados de la granulometría por tamizado		
Coefficiente de Uniformidad (Cu)		95.9
Coefficiente de Curvatura (Cc)		17.2
Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	76.4
Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	22.7
Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	0.9

Clasificación; ASTM - D2487 / D3282	
AASHTO	A-1a (0)
SUCS	GP // Grava mal gradada con arena





ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

me Nº : LG07-410

Fecha : Noviembre, 2007

itante : PRESIDENCIA DEL CONCEJO DE MINISTROS

cto : Elaboración del Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres, para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto del 2007

Ubicación : Prov. Plisco, Dpto. Ica

Sondaje : C - 6

Velocidad : 0.5 mm/min

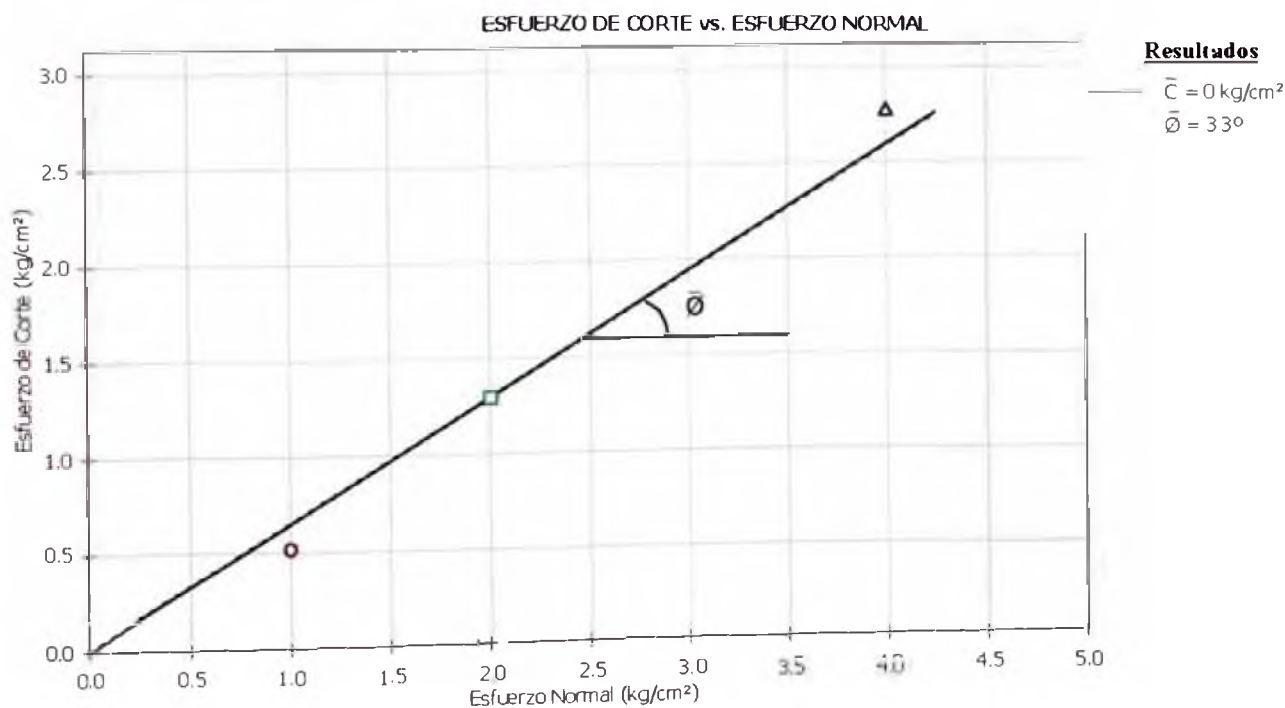
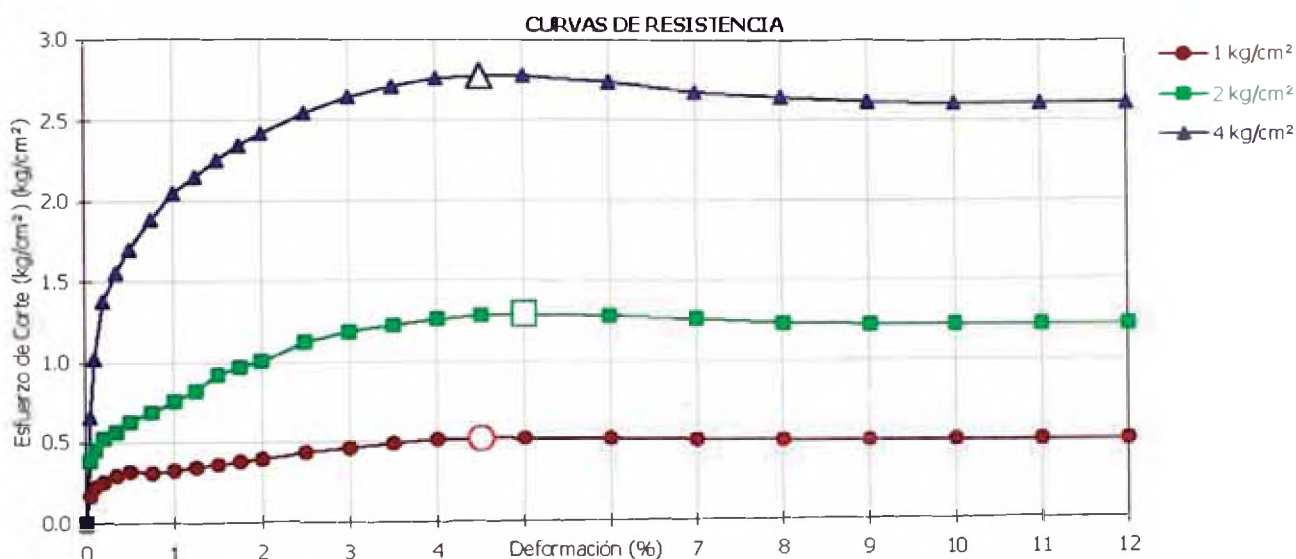
Muestra : M - 1 (Mat. < N° 4)

AASHTO : A-3 (0)

Profundidad (m) : 1.00 - 2.00

S.U.C.S. : SP - SM // Arena mal gradada con limo

Estado : Remoldeado



Anexo IV: Registros de las ondas sísmicas de ensayos MASW



ENSAYO MASW

REGISTROS SÍSMICOS

Proyecto: Mricozonificación Geotécnica de
Pisco

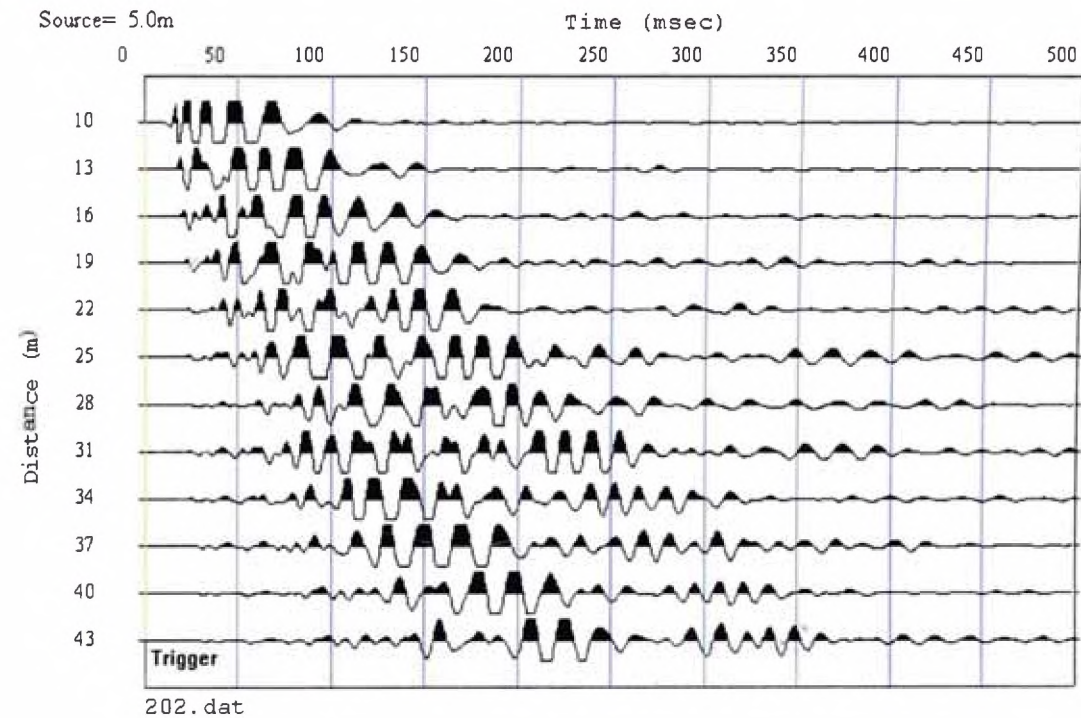
Lugar: Pisco

Sondaje: S - 02

Registro: 202

Shot: 02

Fecha: Octubre, 2007





ENSAYO MASW

REGISTROS SÍSMICOS

Proyecto: Microzonificación Geotécnica de
Pisco

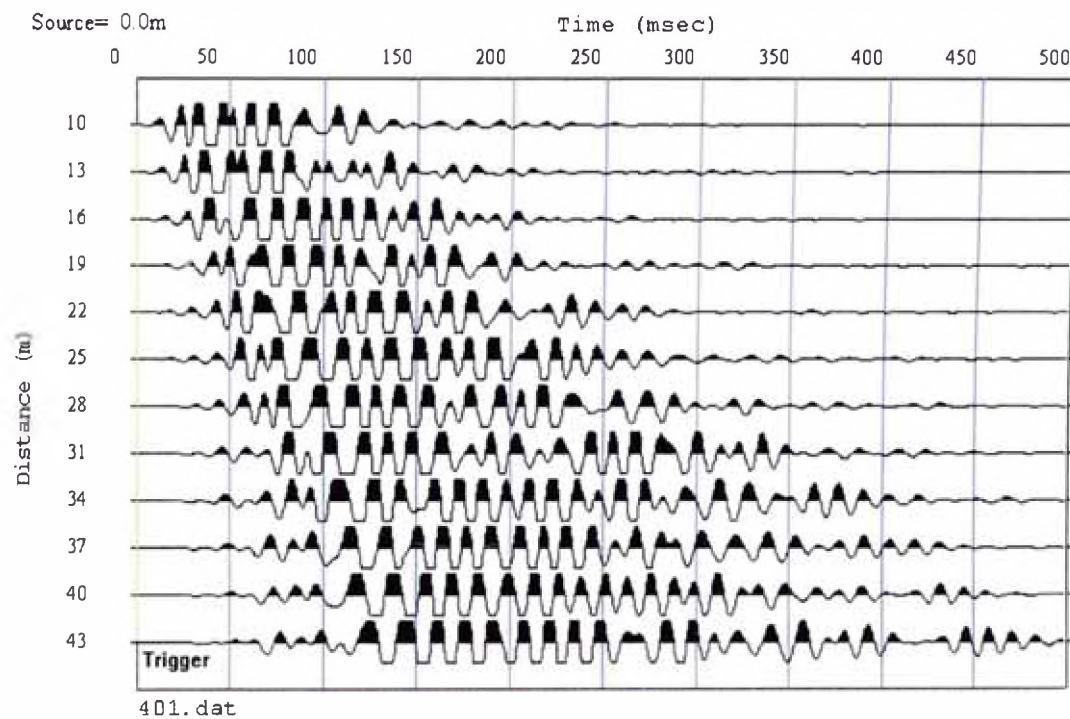
Lugar: Pisco

Sondaje: S - 04

Registro: 401

Shot: 01

Fecha: Octubre, 2007





ENSAYO MASW

REGISTROS SÍSMICOS

Proyecto: Microzonificación Geotécnica de
Pisco

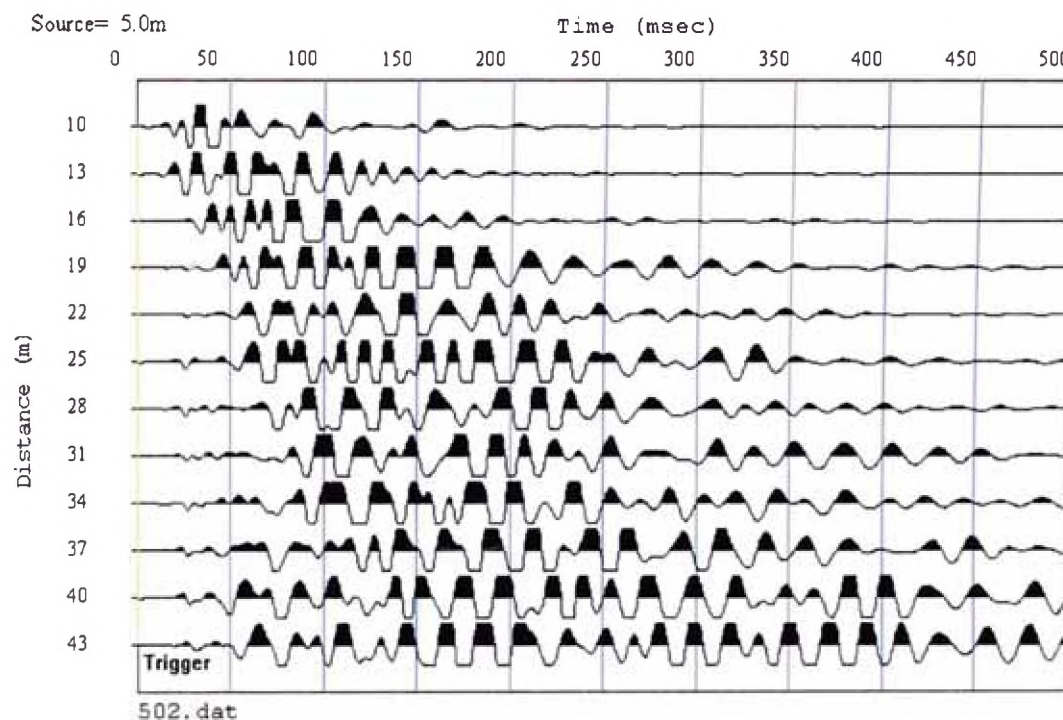
Lugar: Pisco

Sondaje: S - 05

Registro: 502

Shot: 02

Fecha: Octubre, 2007



Anexo V: Curvas de dispersión



ENSAYO MASW

CURVA DE DISPERSIÓN

Proyecto: Microzonificación Geotécnica de
Pisco

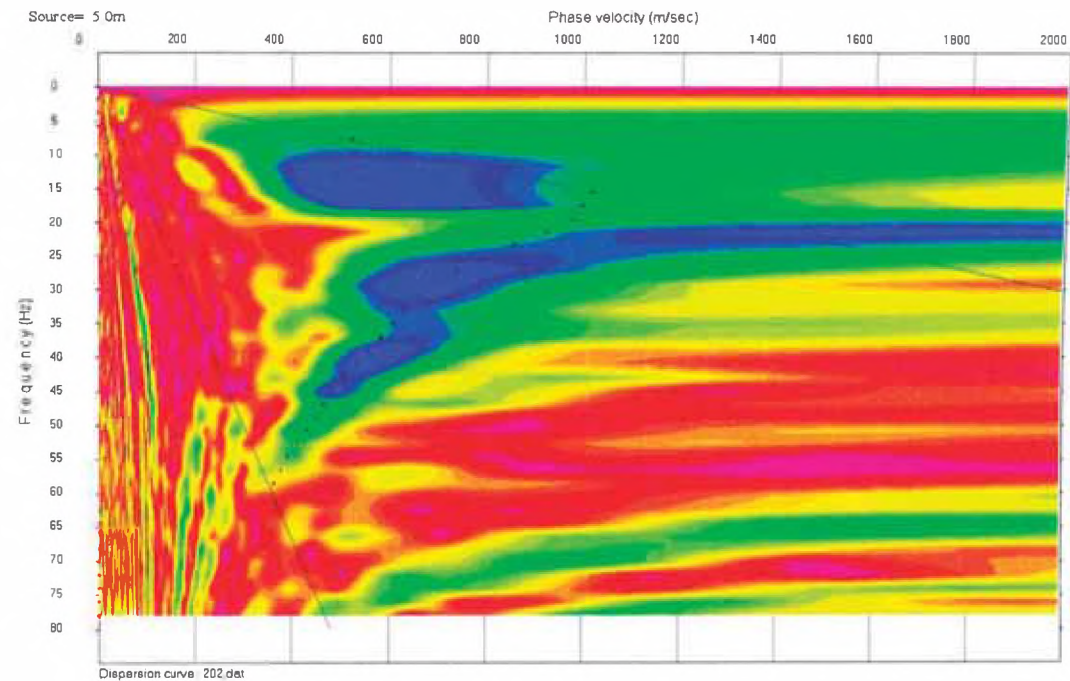
Lugar: Pisco

Sondaje: S - 02

Registro: 202

Shot: 02

Fecha: Octubre, 2007





ENSAYO MASW

CURVA DE DISPERSIÓN

Proyecto: Microzonificación Geotécnica de
Pisco

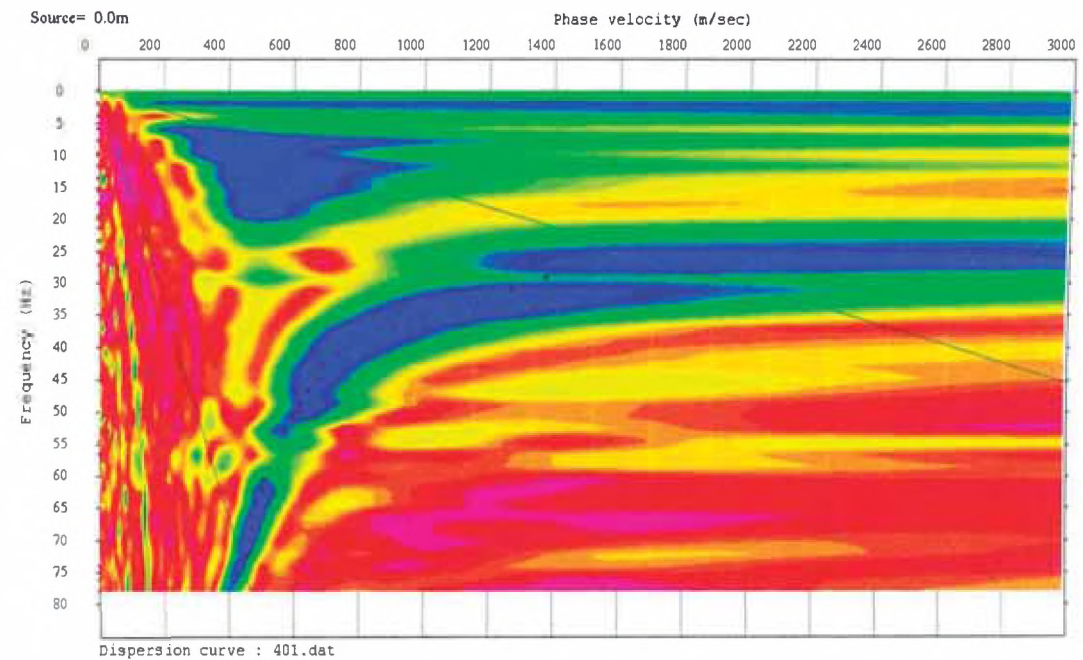
Lugar: Pisco

Sondaje: S - 04

Registro: 401

Shot: 01

Fecha: Octubre, 2007





ENSAYO MASW

CURVA DE DISPERSIÓN

Proyecto: Microzonificación Geotécnica de
Pisco

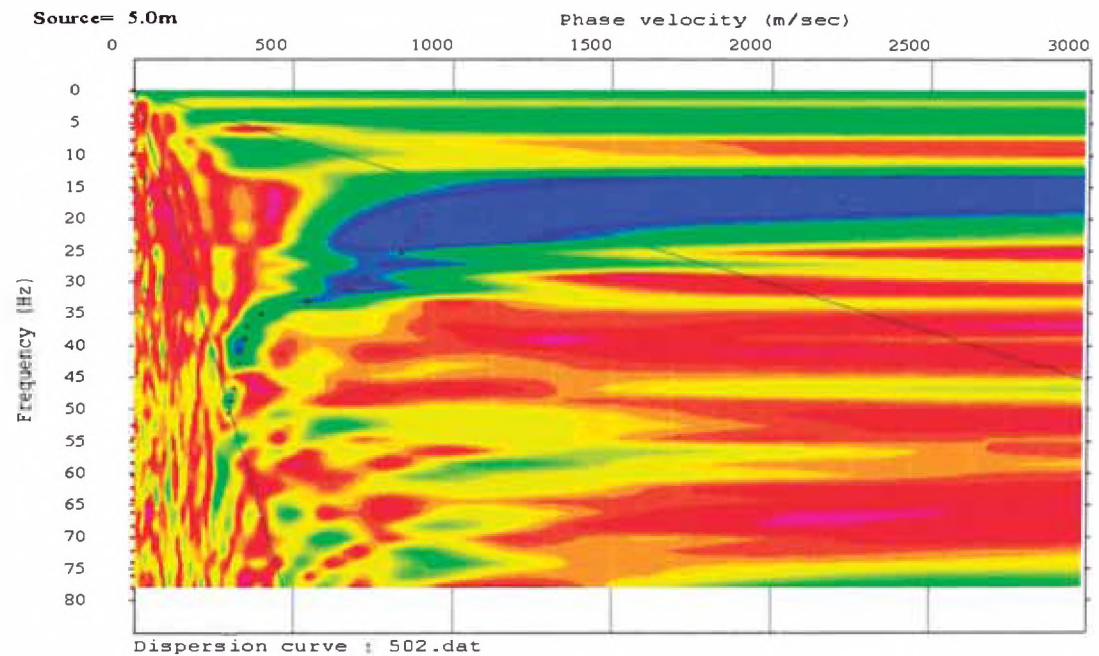
Lugar: Pisco

Sondaje: S - 05

Registro: 502

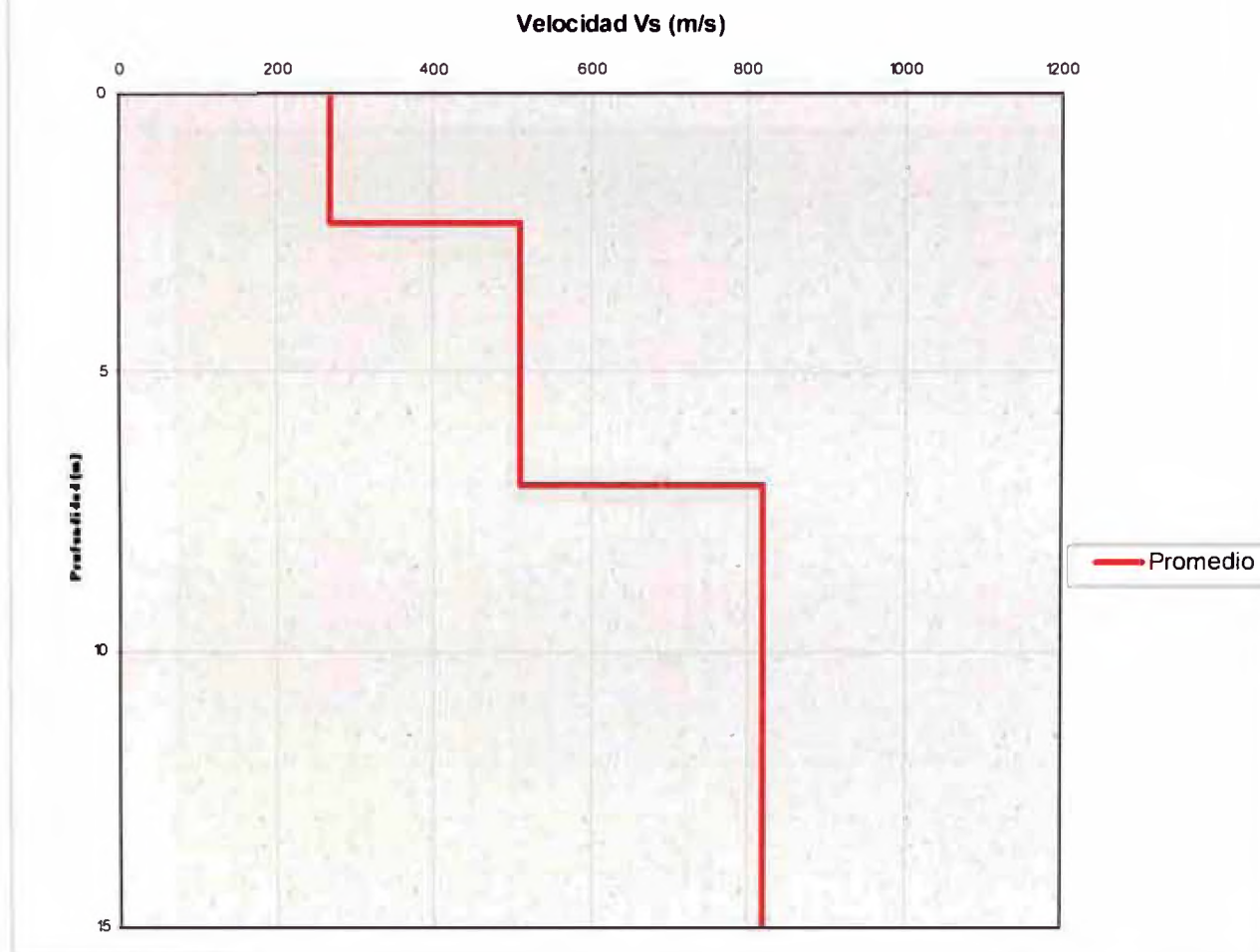
Shot: 02

Fecha: Octubre, 2007

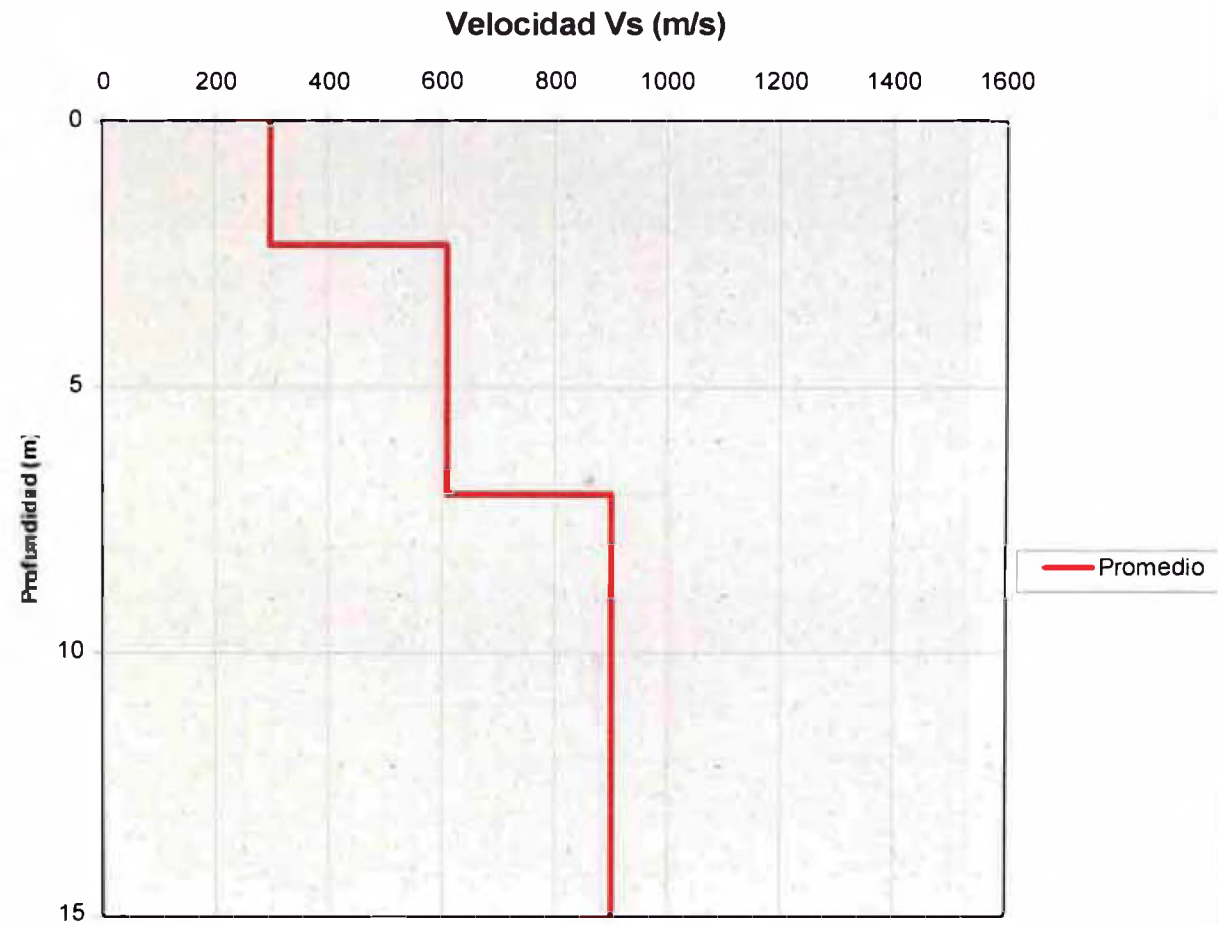


Anexo VI: Sondajes sísmicos

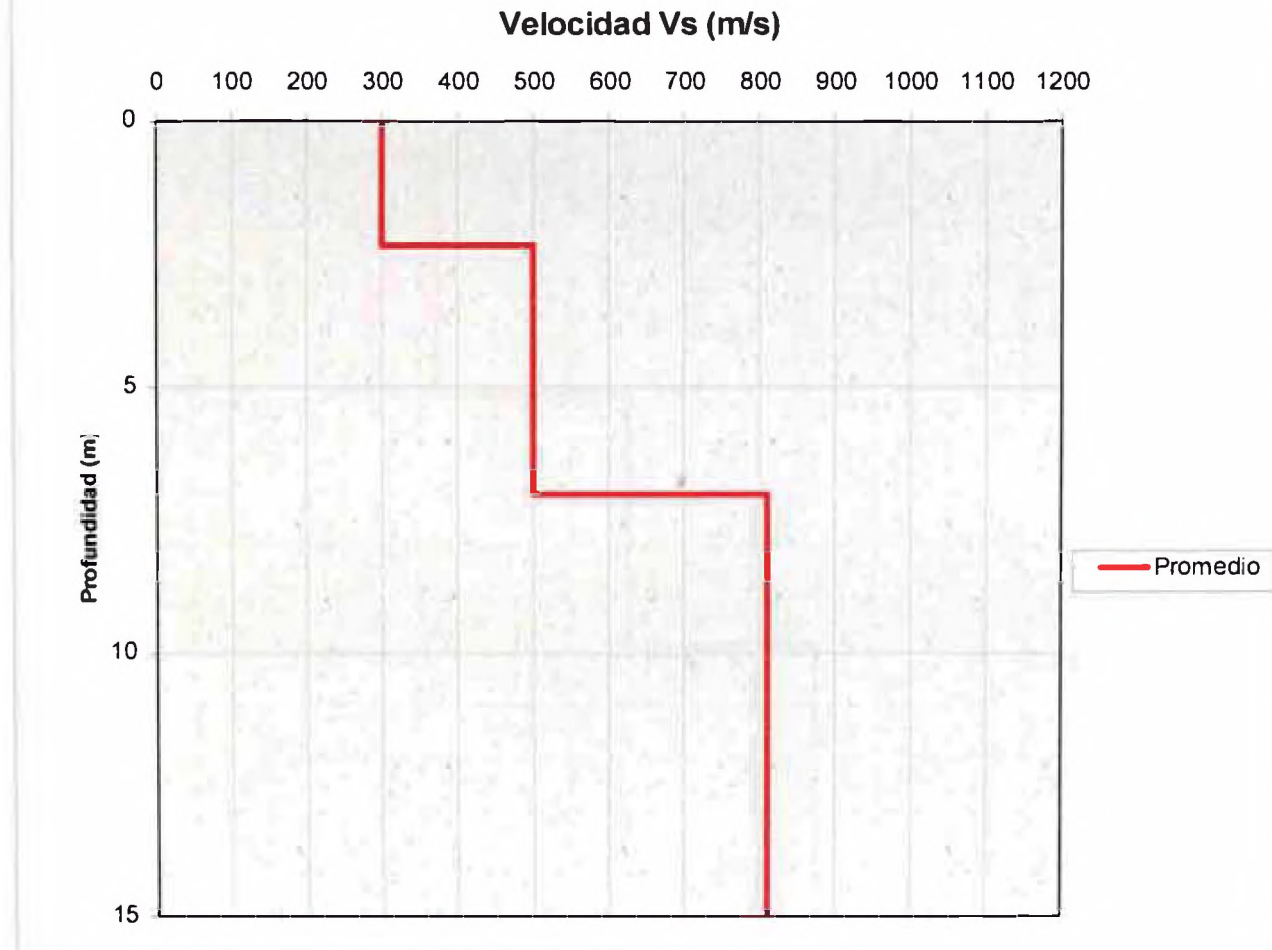
**Fig. 01.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 2**



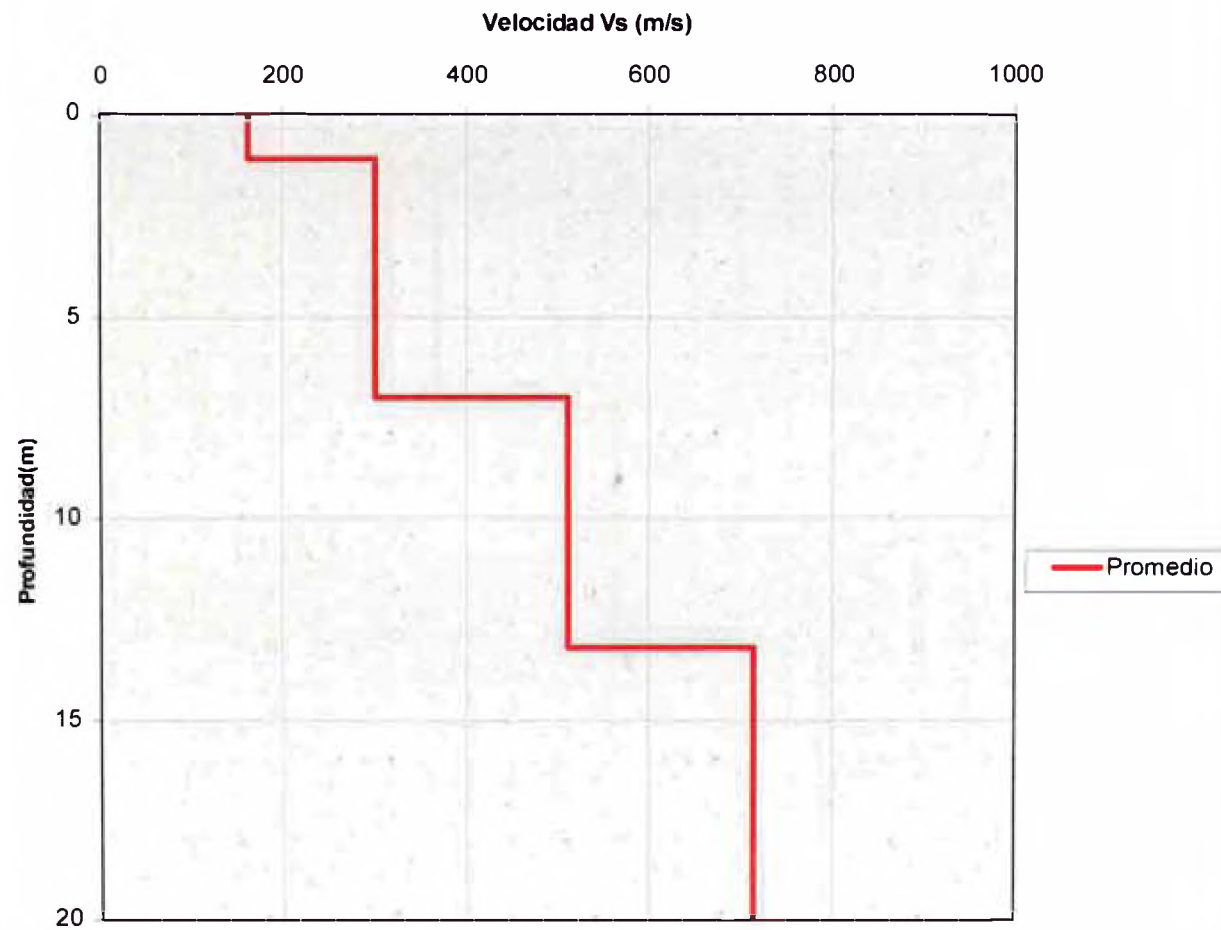
**Fig. 02.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 4**



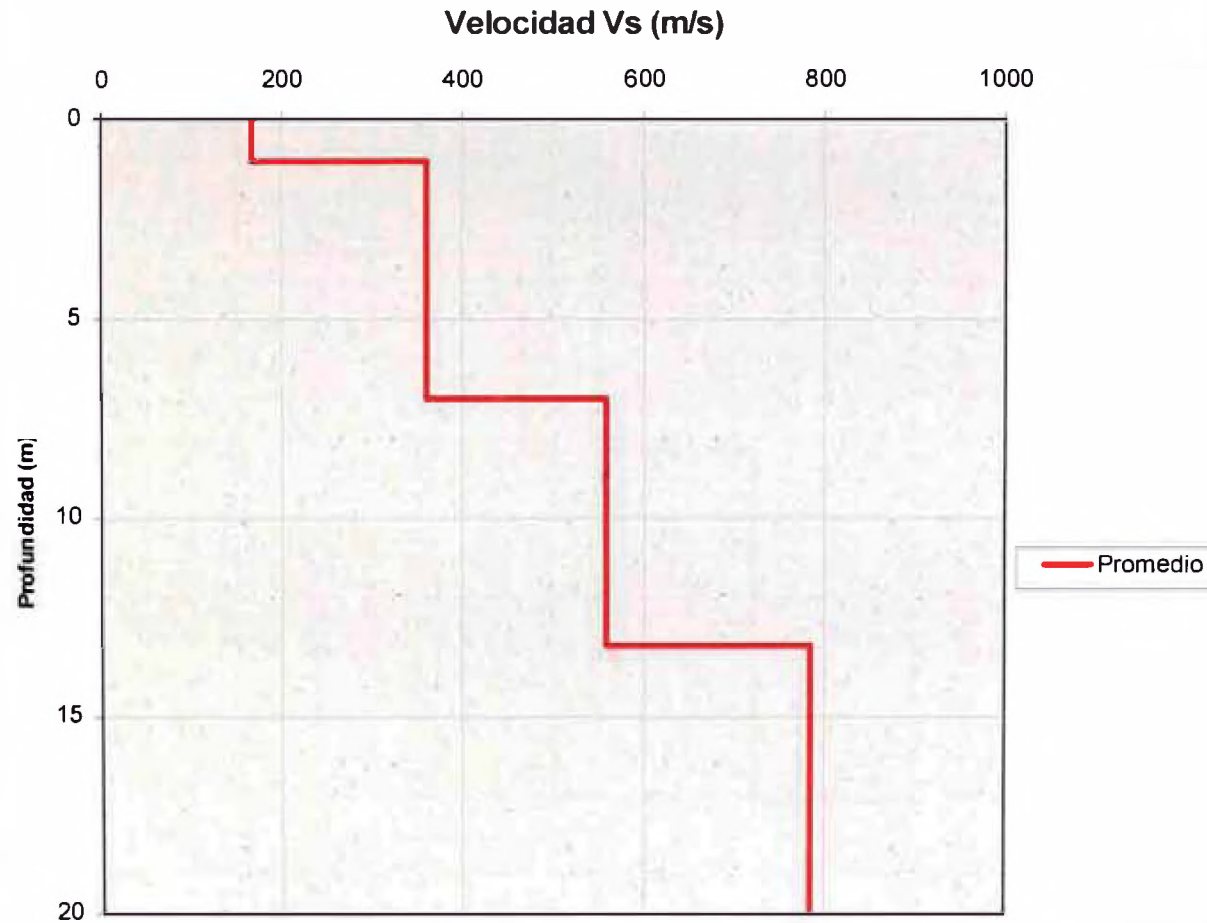
**Fig. 03.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 5**



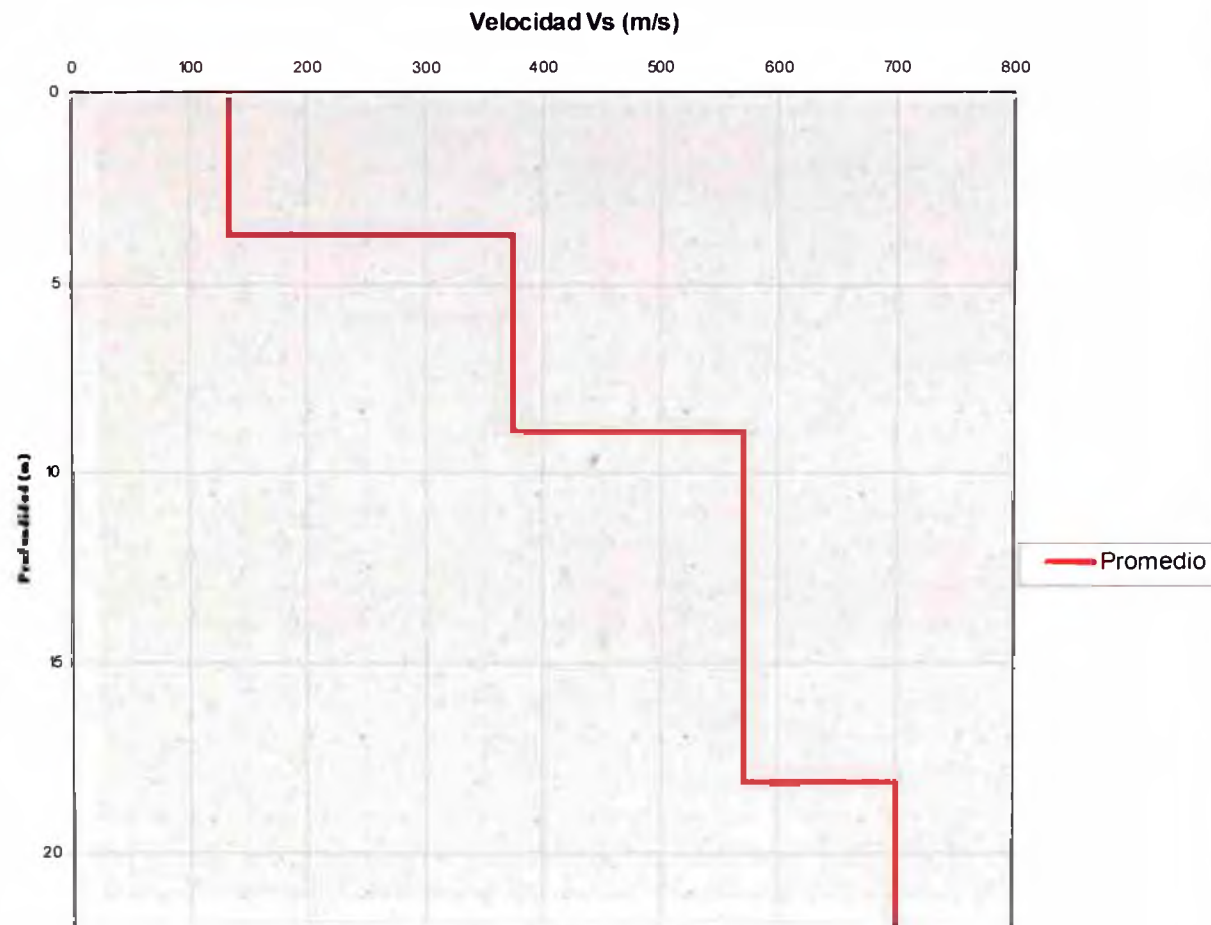
**Fig. 04.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 6**



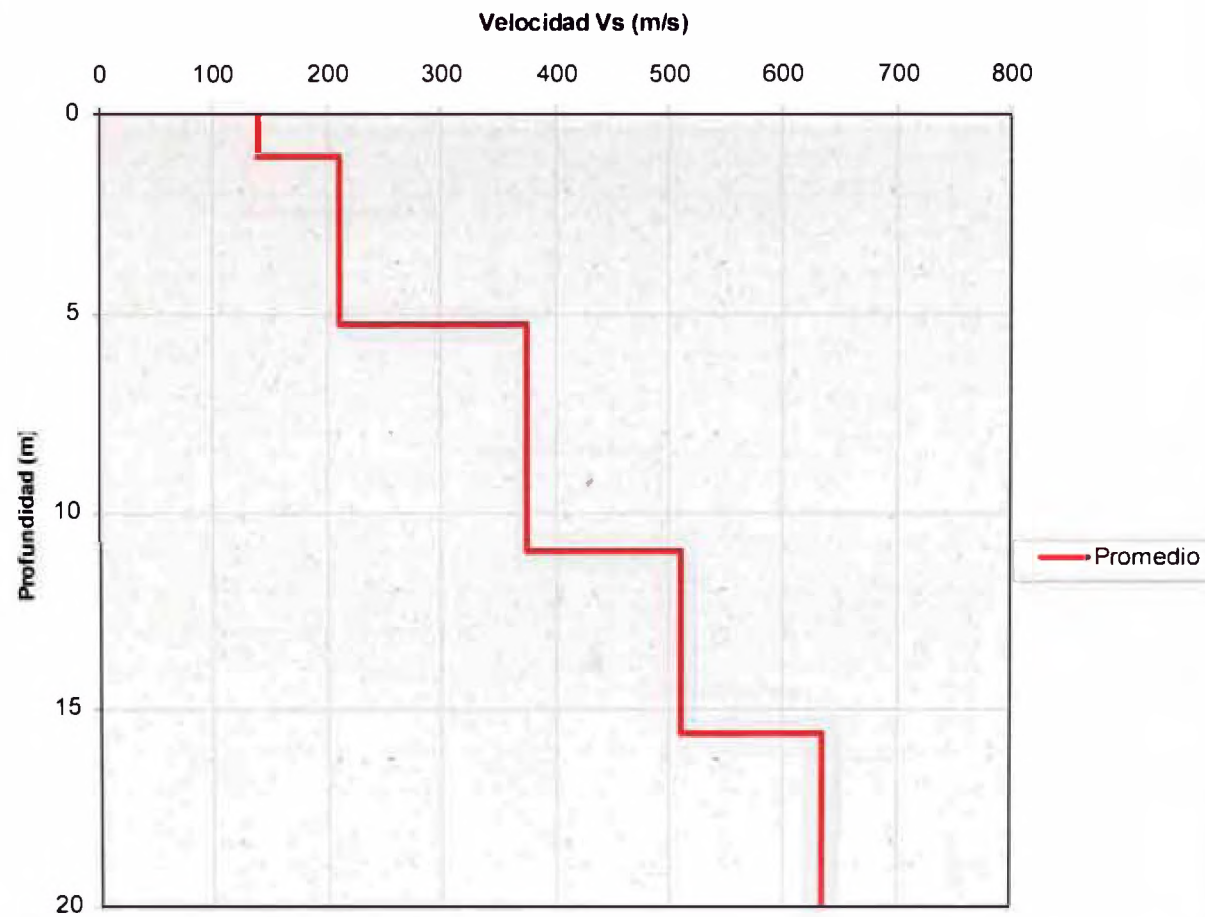
**Fig. 05.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 7**



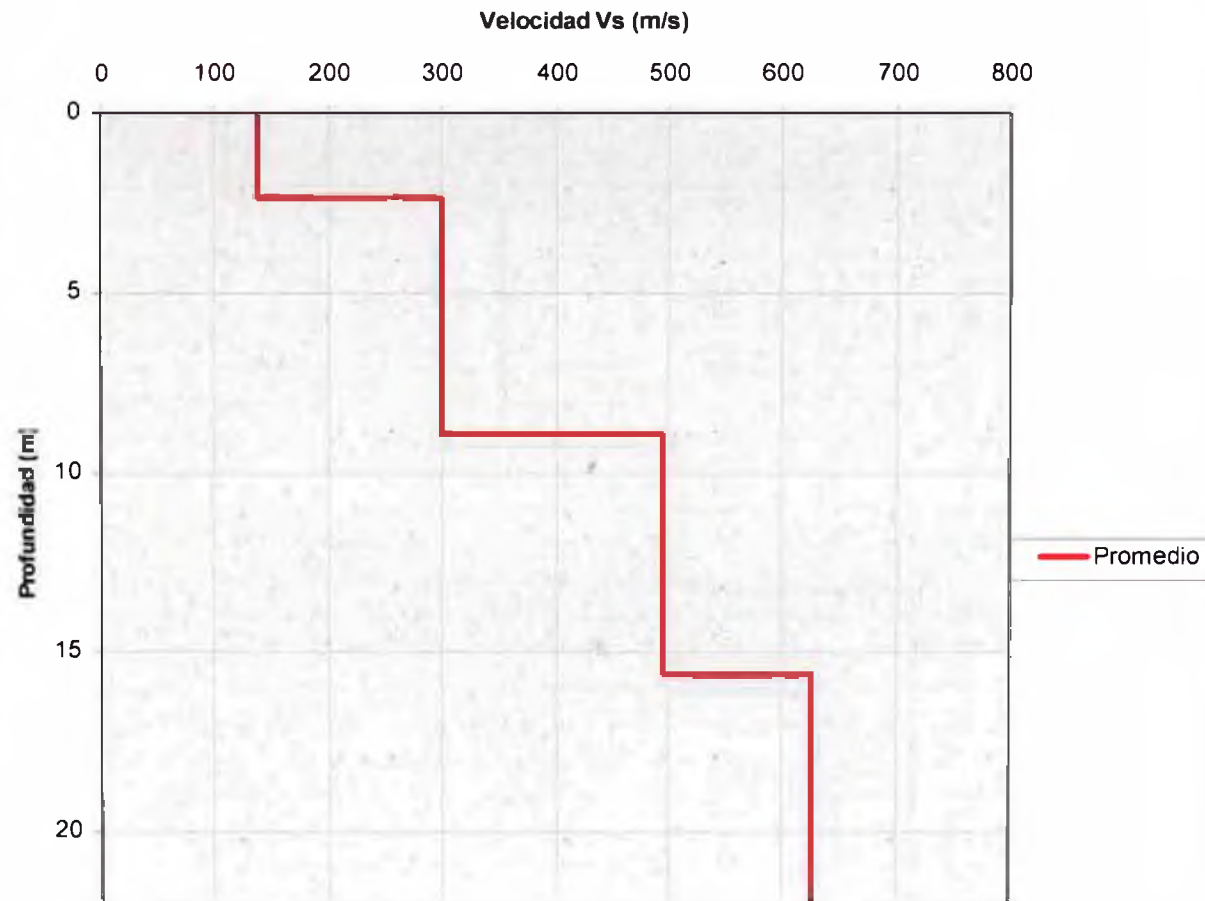
**Fig. 06.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 8**



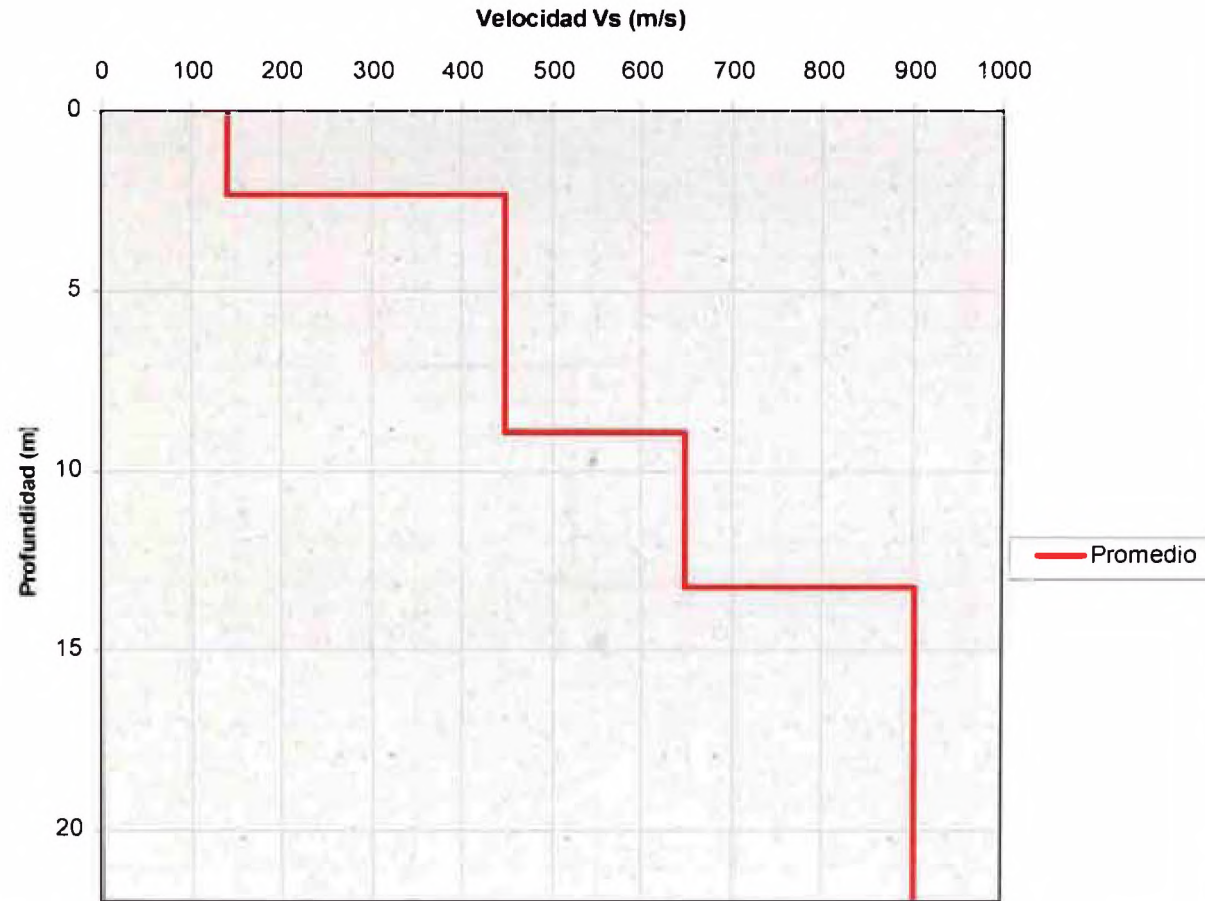
**Fig. 07.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 9**



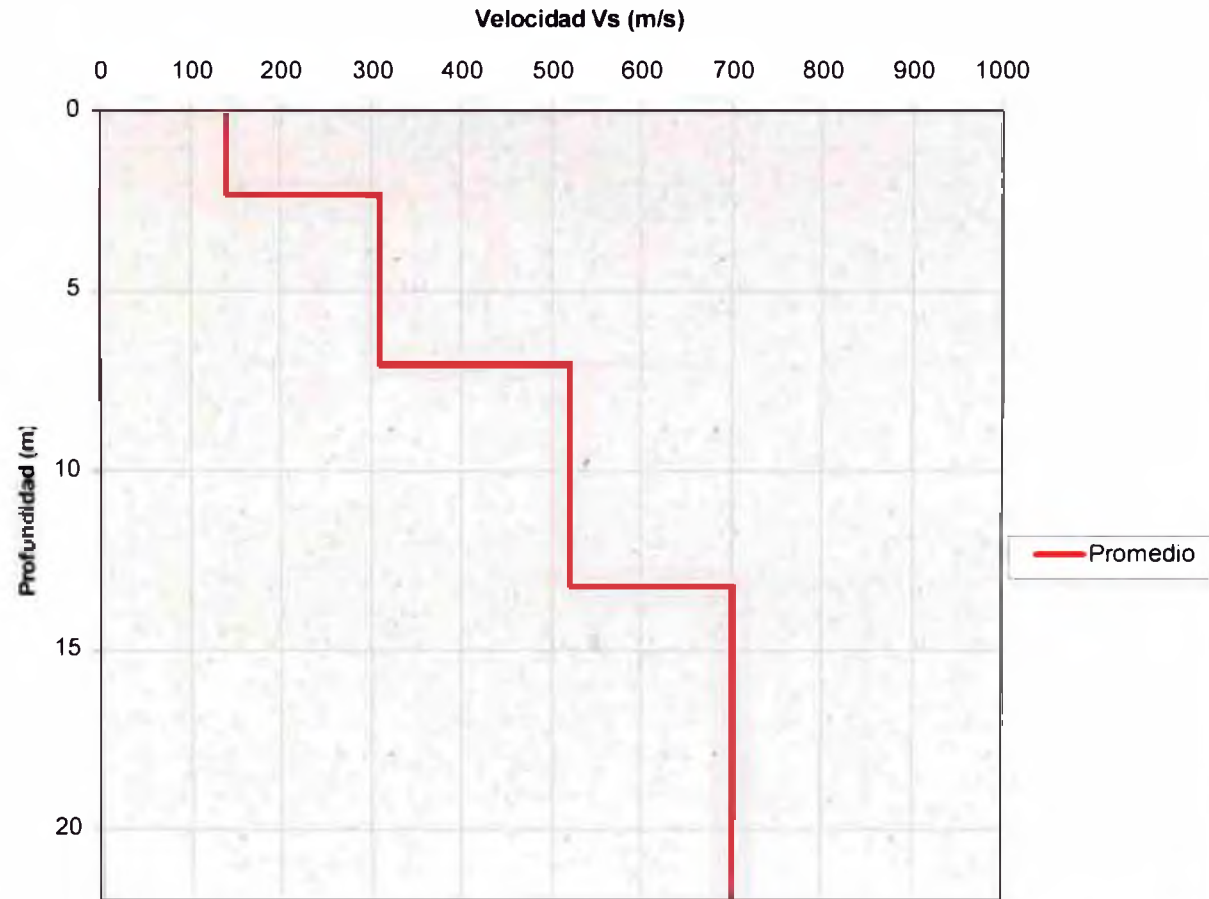
**Fig. 08.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 10**



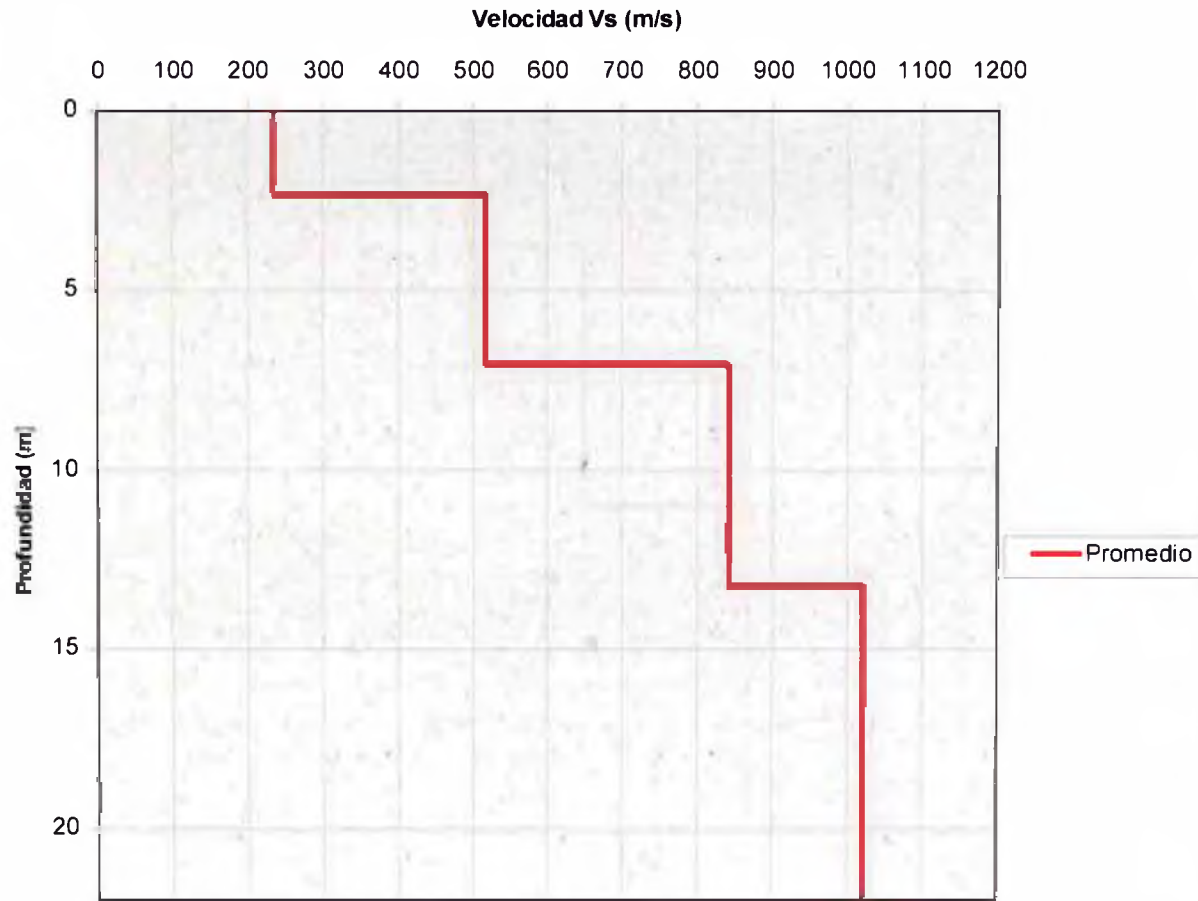
**Fig. 09.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 11**



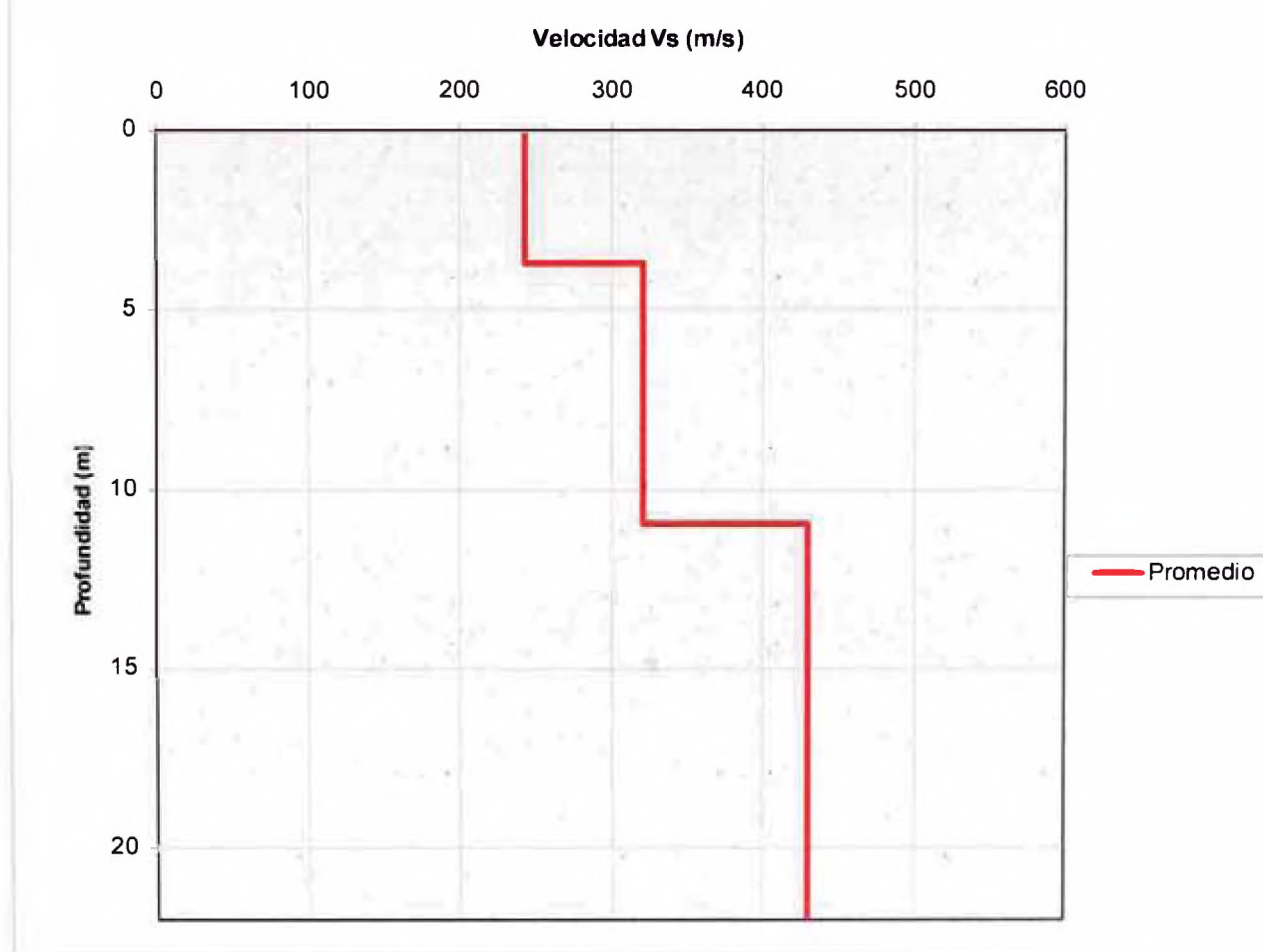
**Fig. 10.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 12**



**Fig. 11.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 13**



**Fig. 12.- Modelo Unidimensional de Ondas de Corte
Sondaje 14**



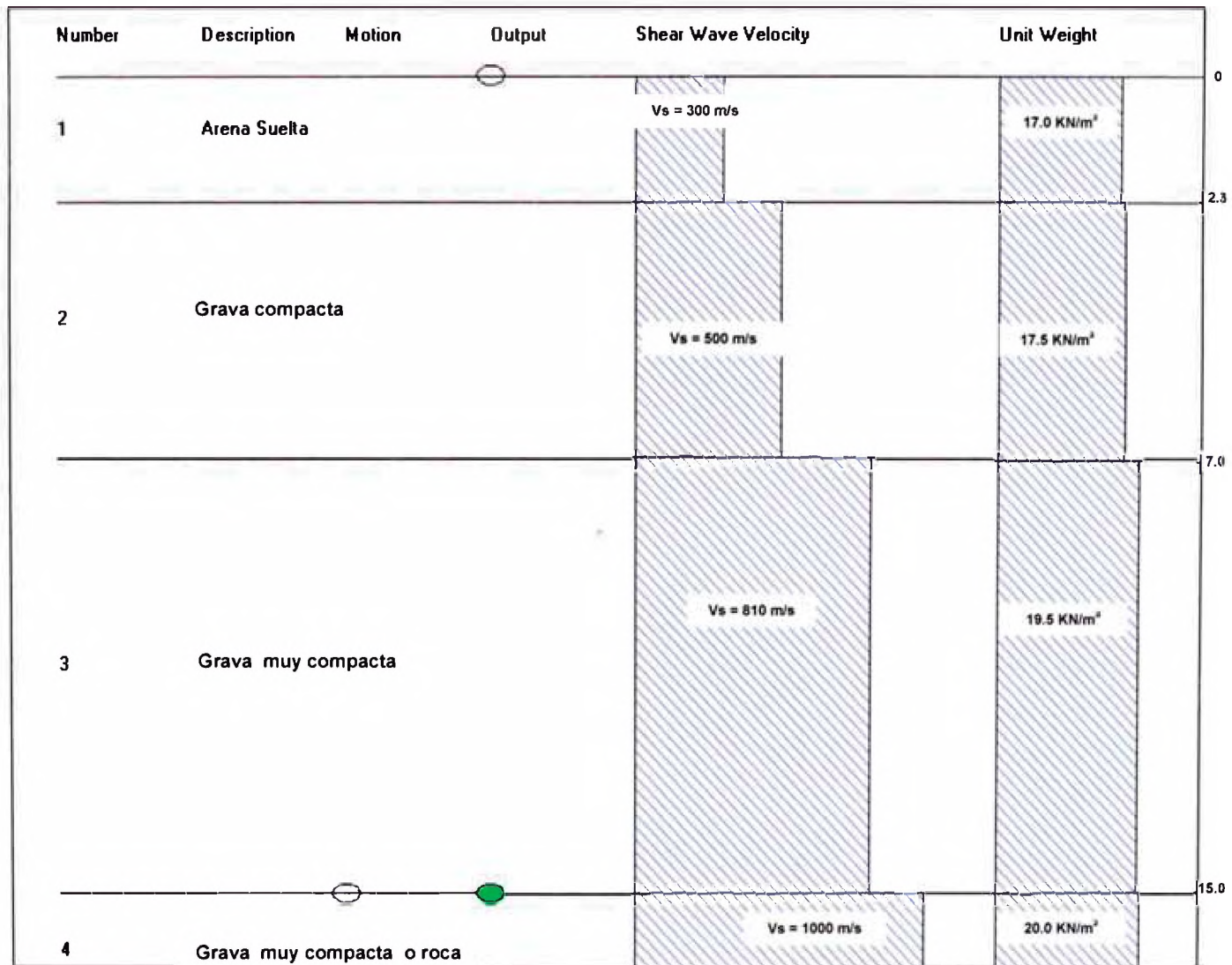
Anexo VII: Perfiles sísmicos analizados

Anexo VII: Perfiles Sísmicos Analizados

Perfil Sísmico S-02



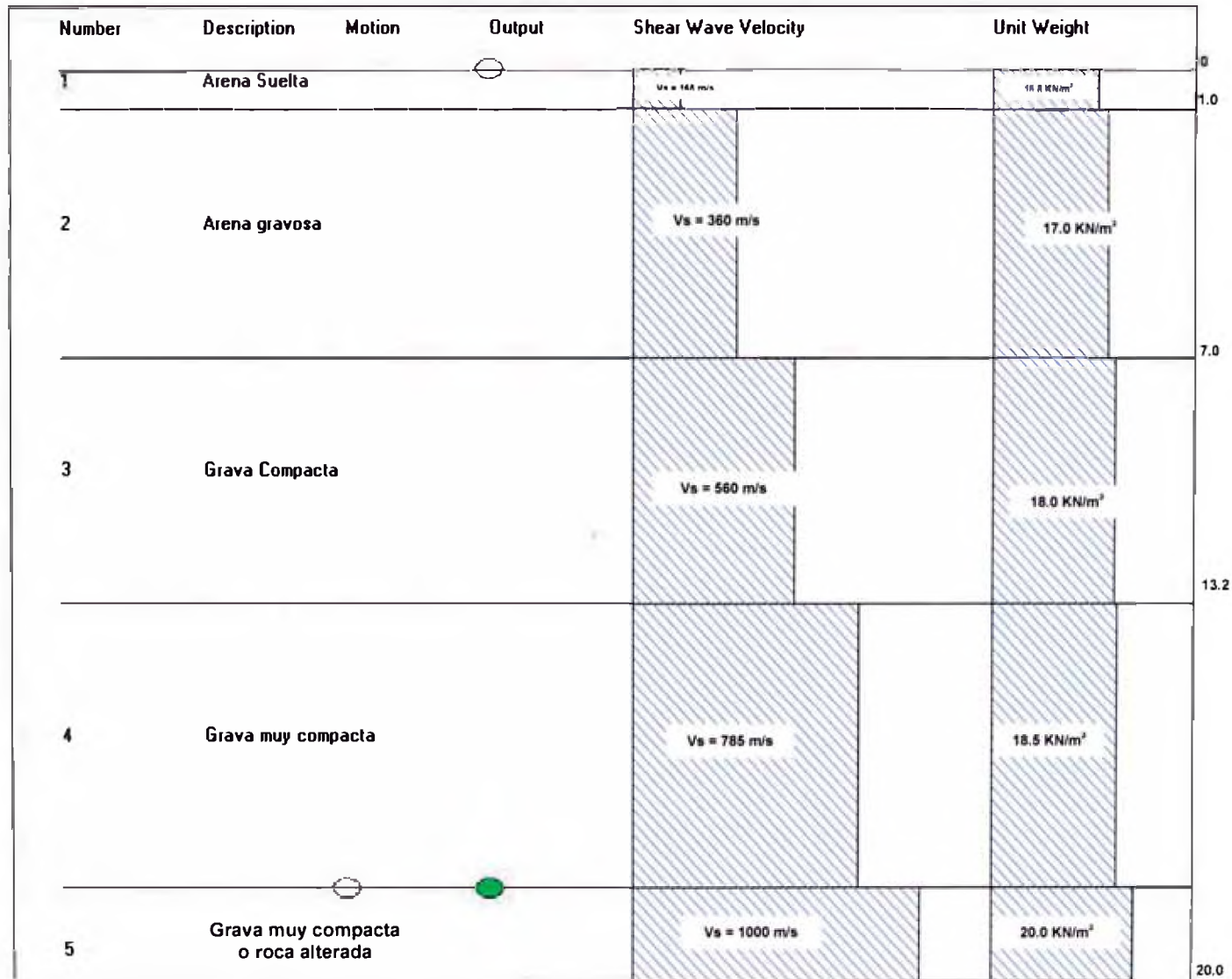
Perfil Sísmico S-05



Perfil Sísmico S-06



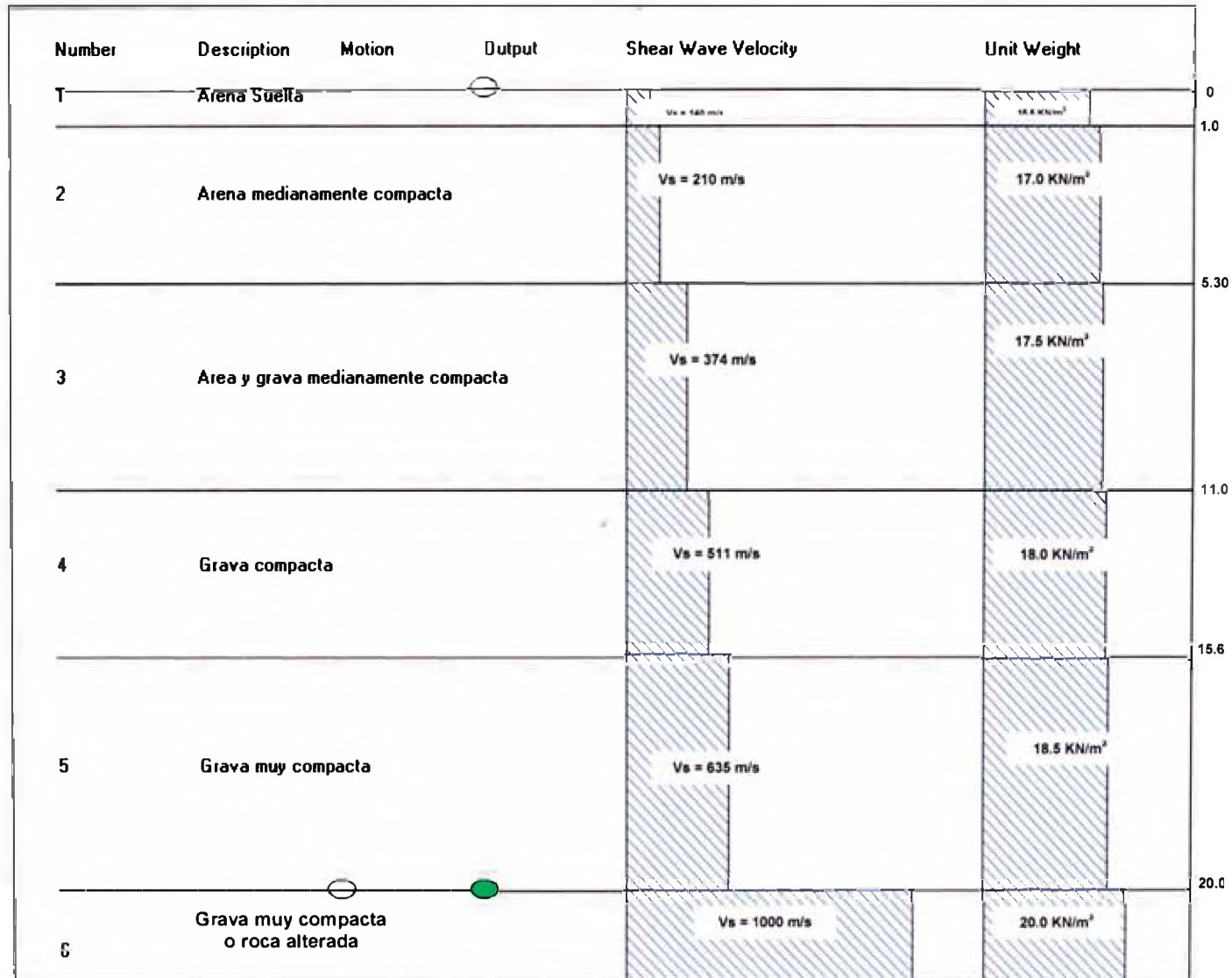
Perfil Sismico S-07



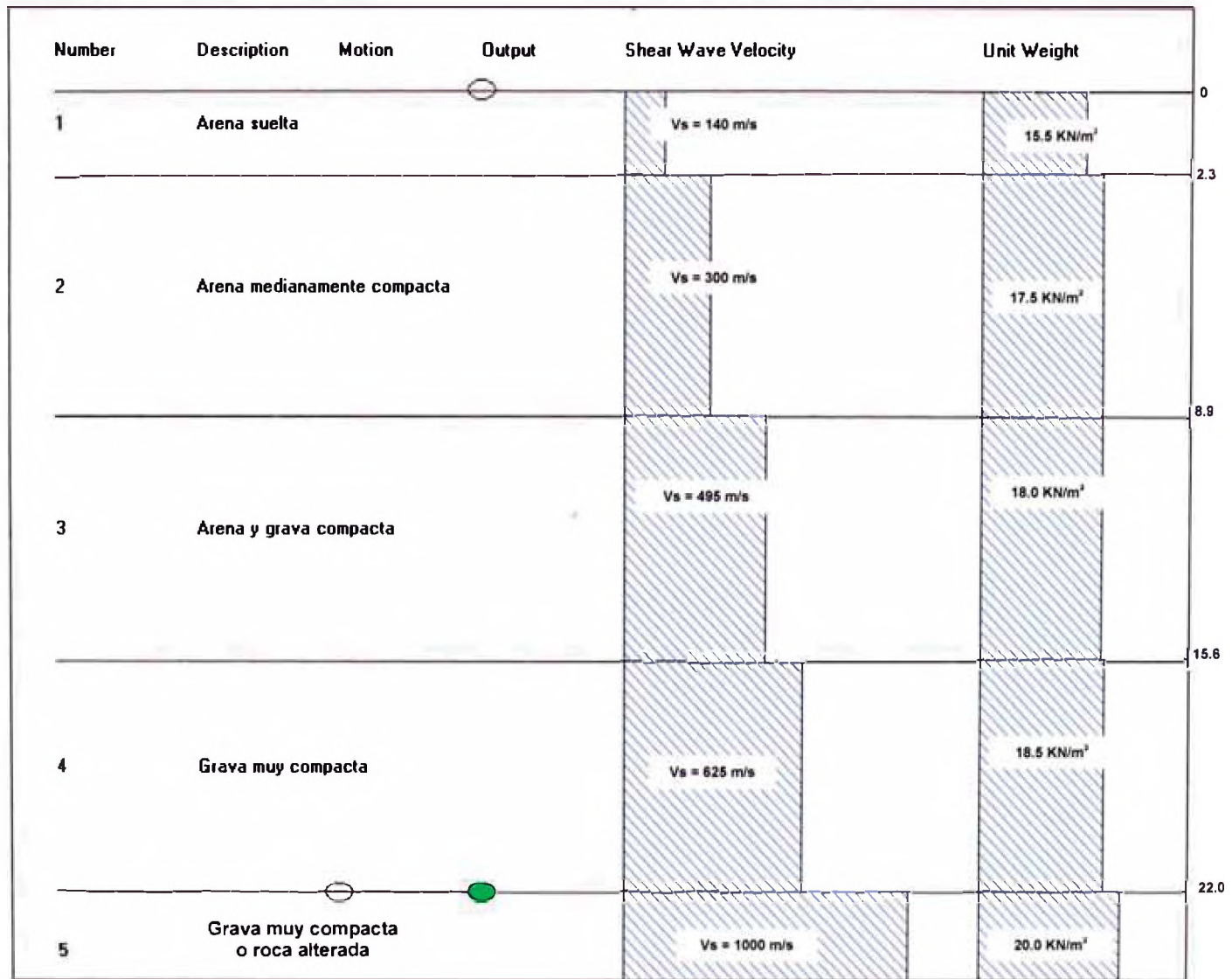
Perfil Sísmico S-08



Perfil Sísmico S-09



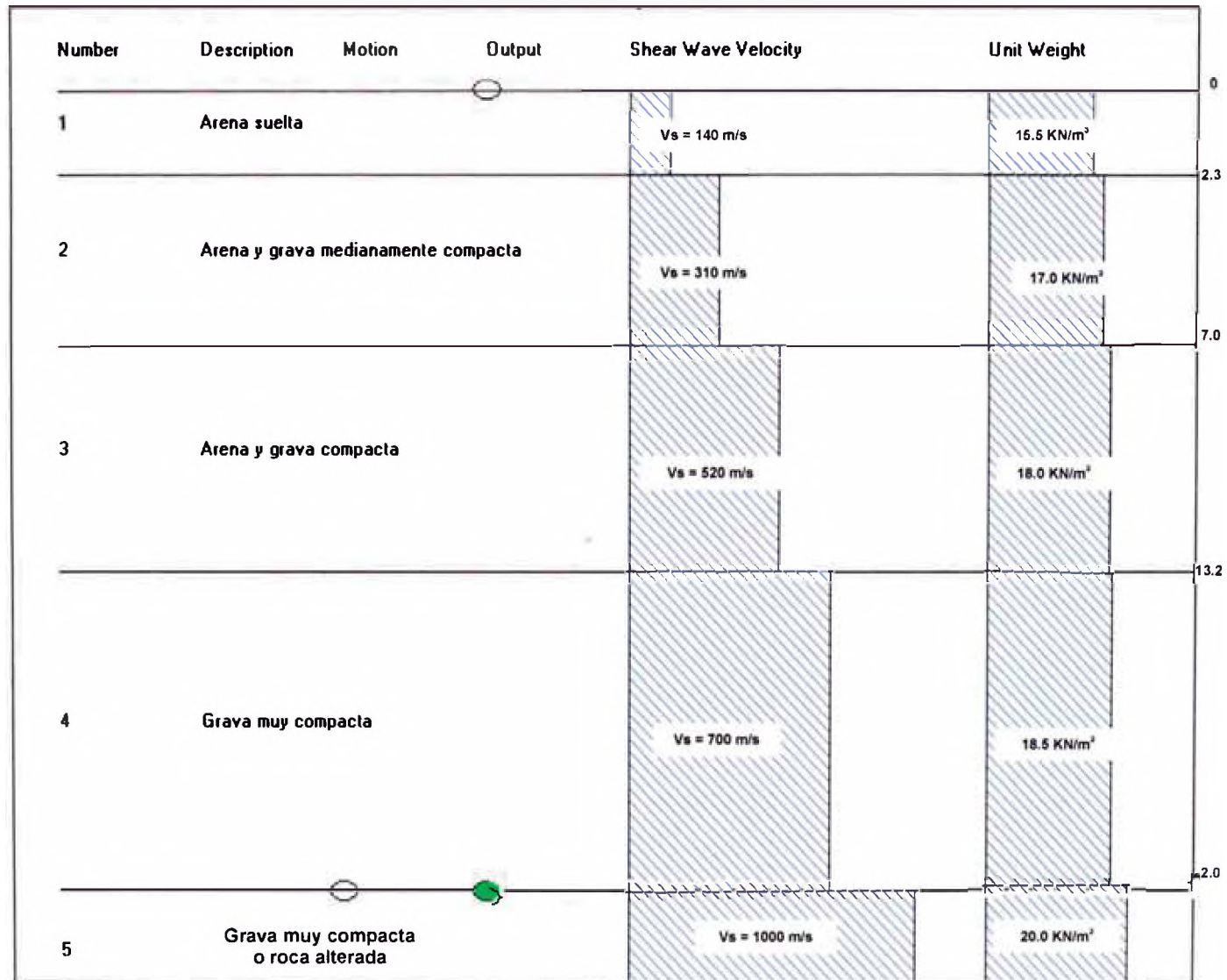
Perfil Sísmico S-10



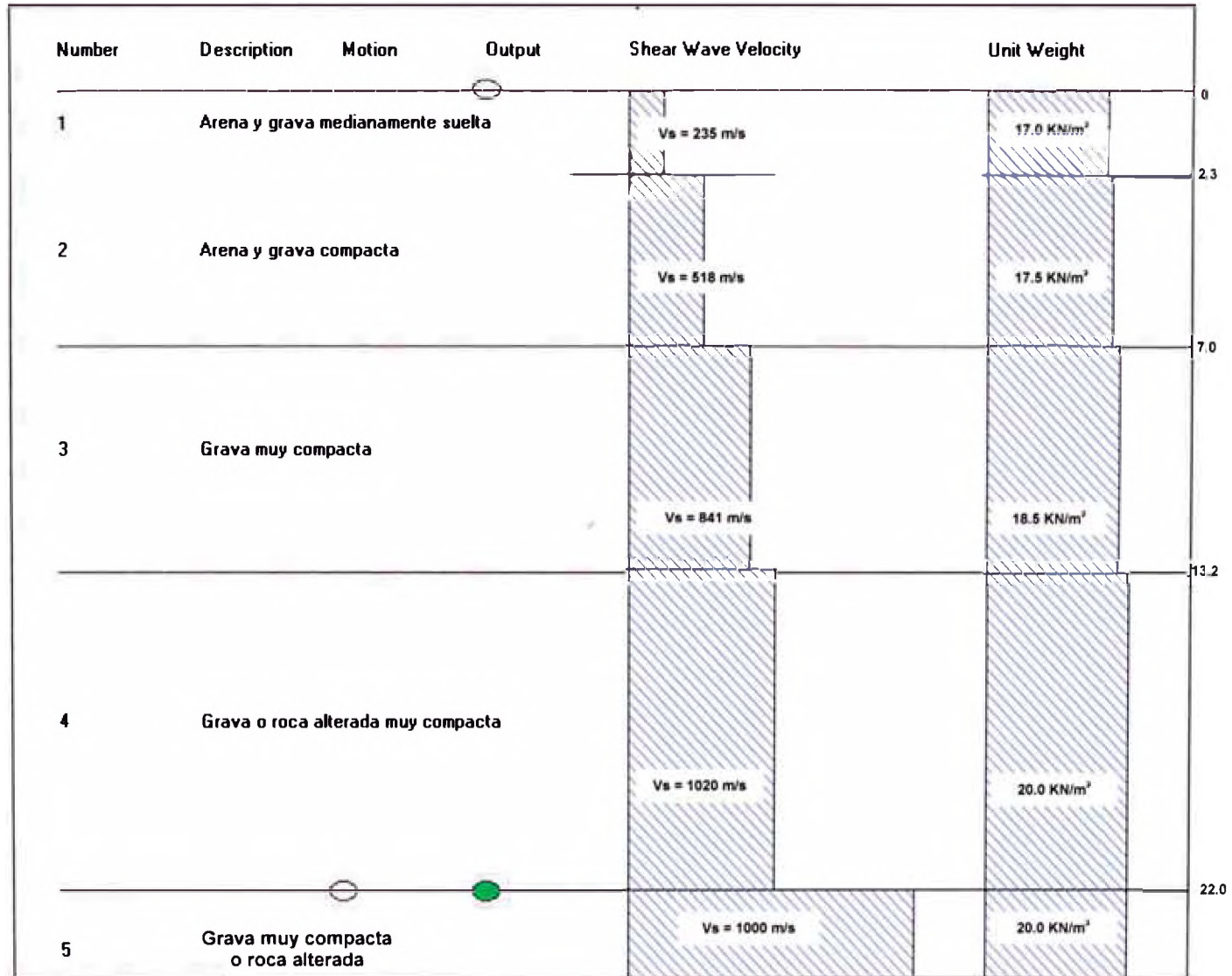
Perfil Sísmico S-11



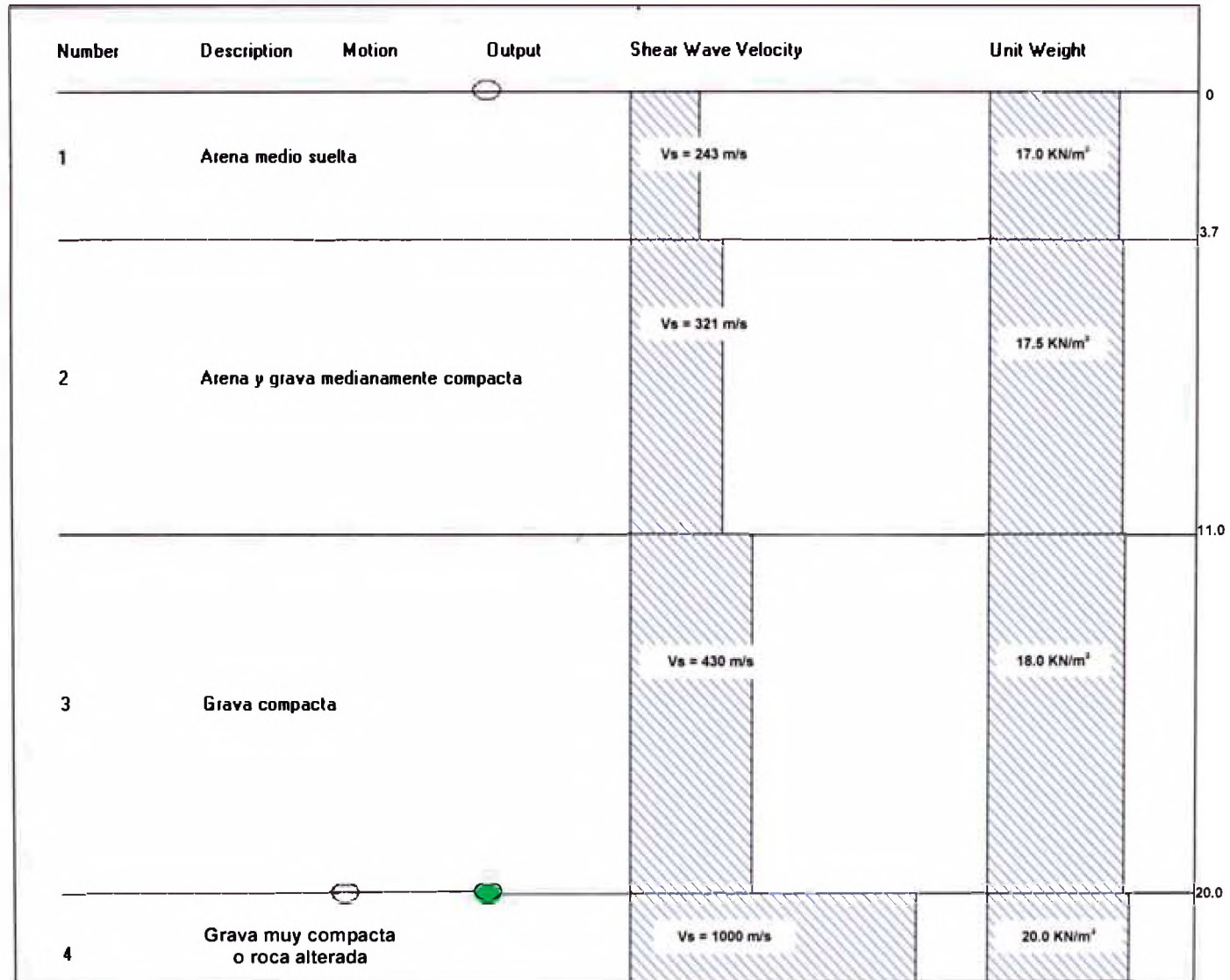
Perfil Sismico S-12



Perfil Sísmico S-13



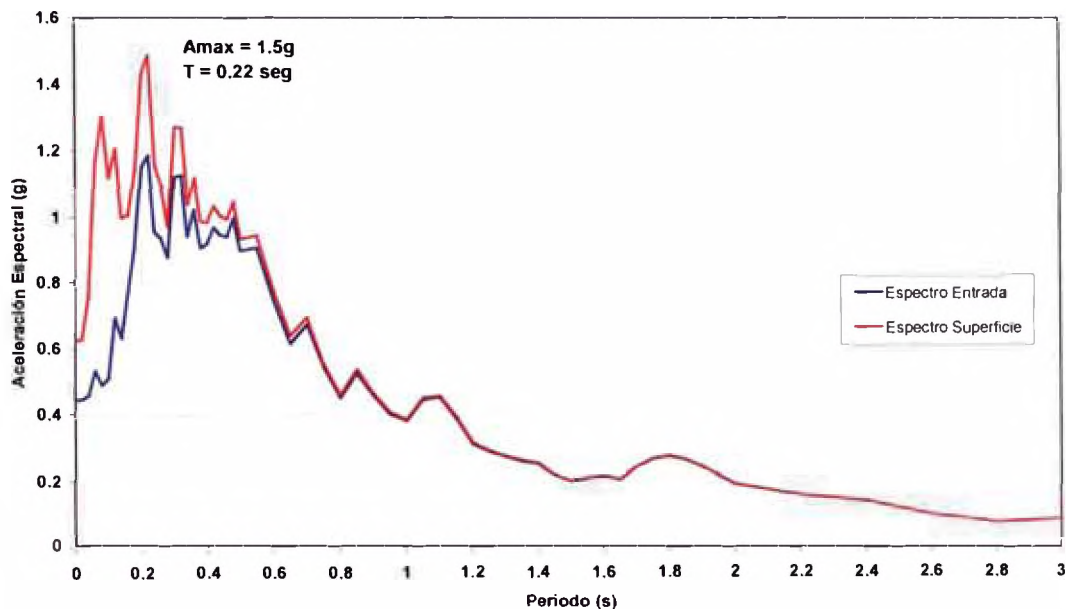
Perfil Sísmico S-14



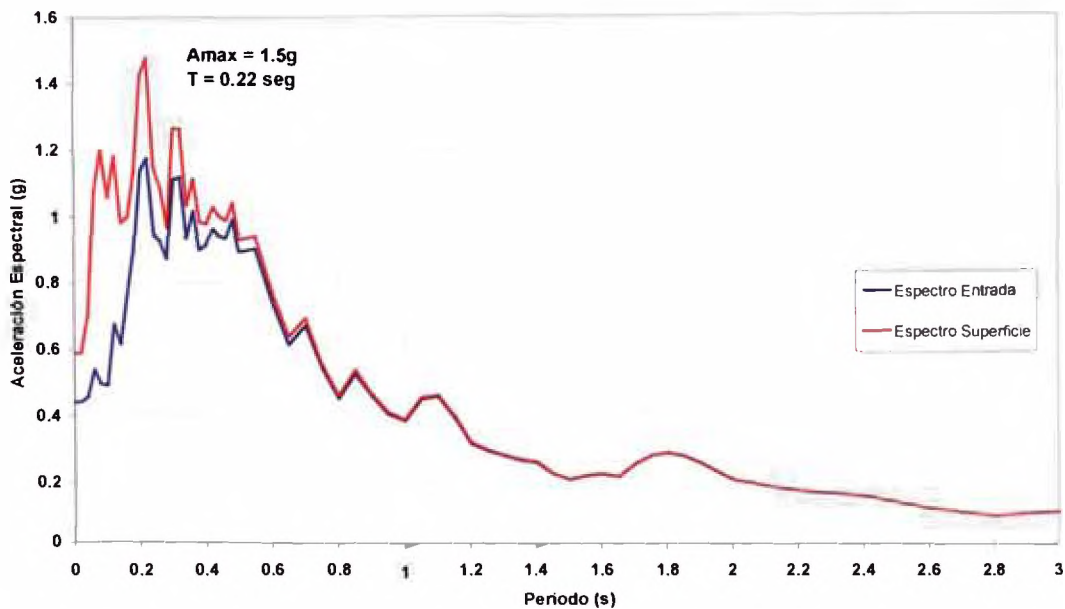
Anexo VIII: Espectros de respuesta de aceleraciones en la superficie del terreno

Anexo VIII: Espectros de Respuesta de Aceleraciones en la Superficie del Terreno

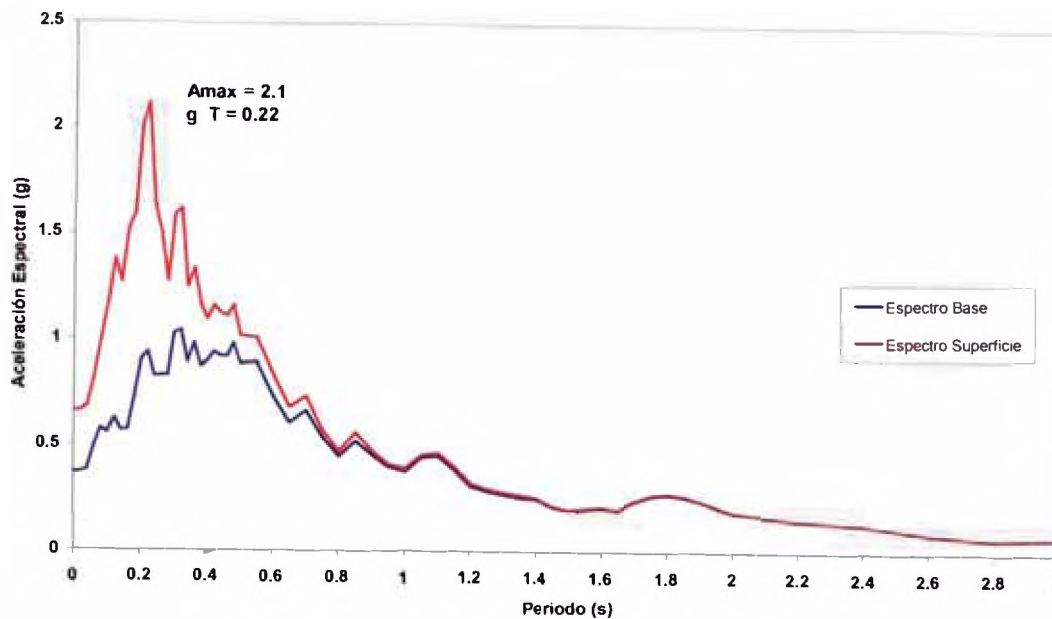
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 02 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



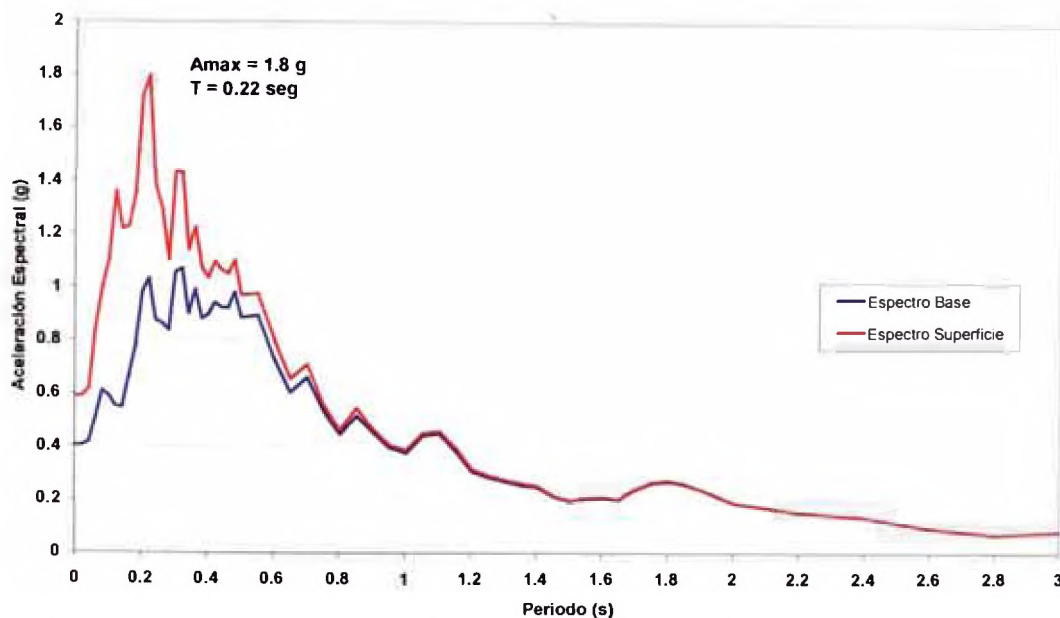
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 05 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



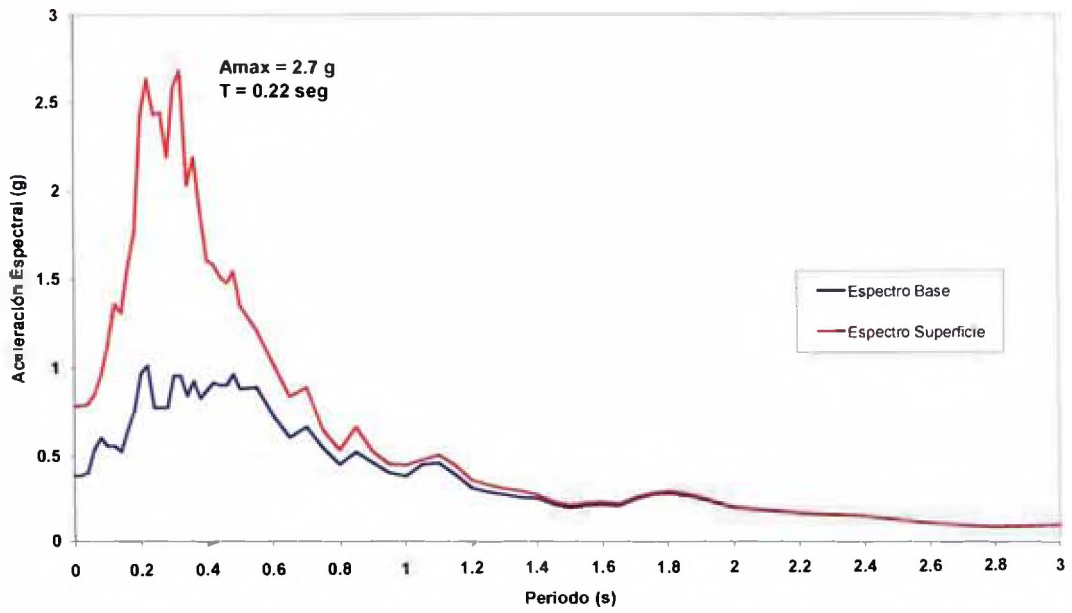
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 06 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



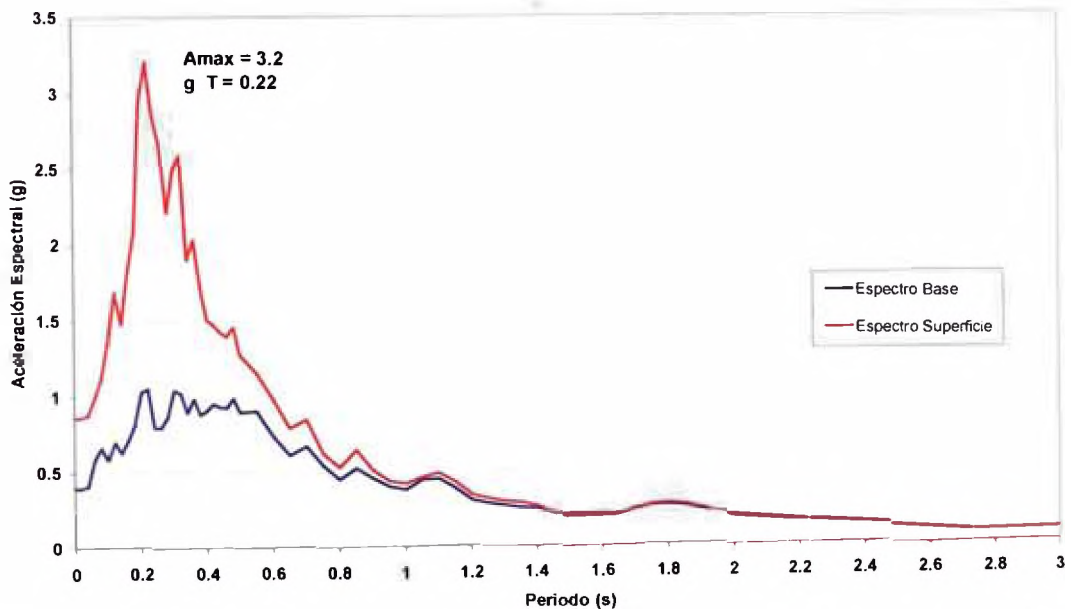
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 07 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



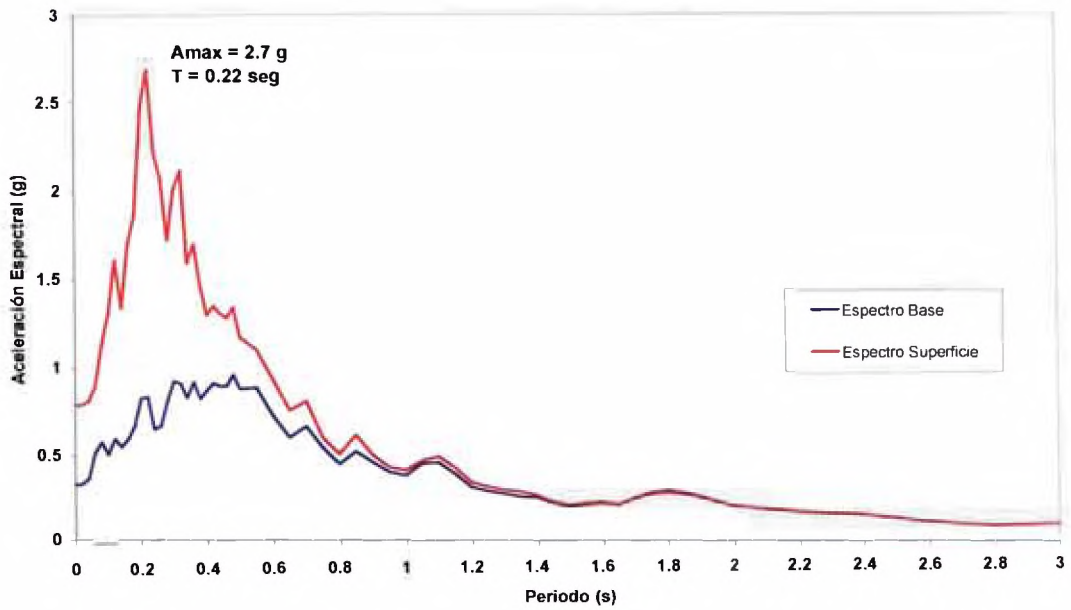
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 08 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



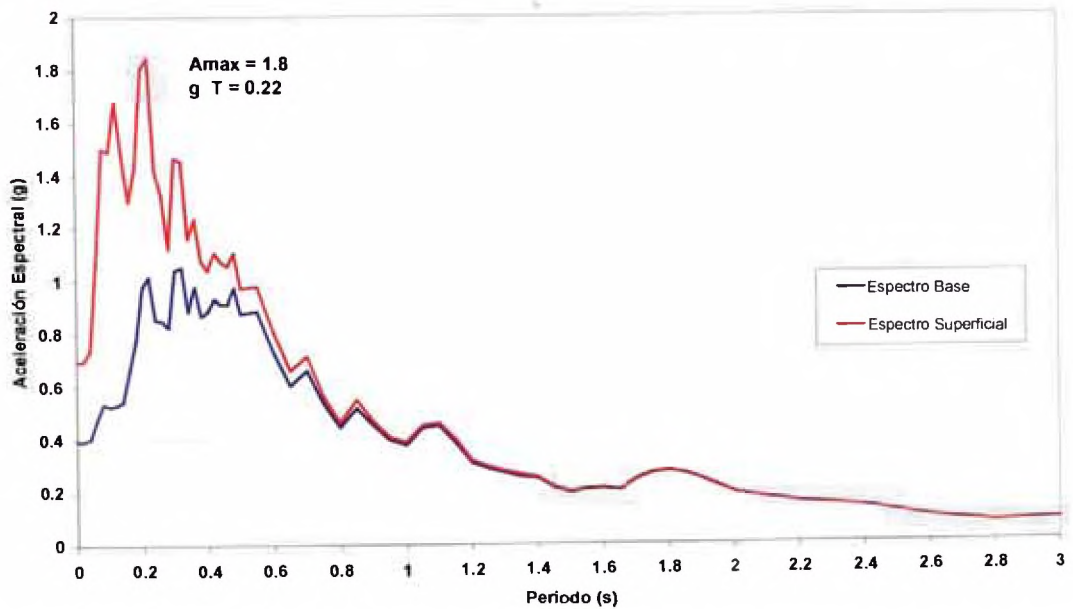
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 09 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



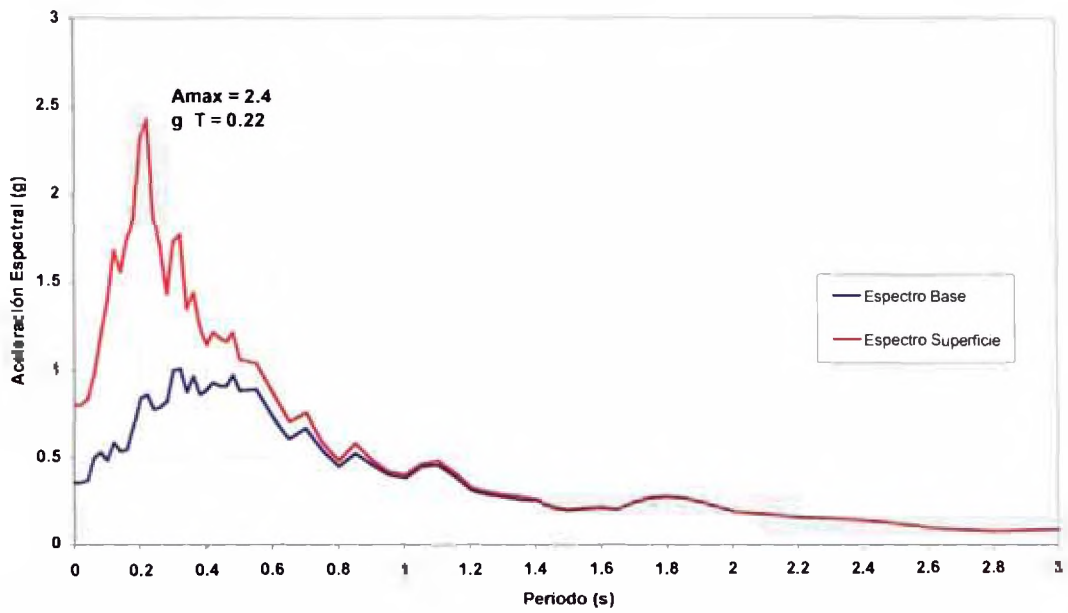
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 10 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



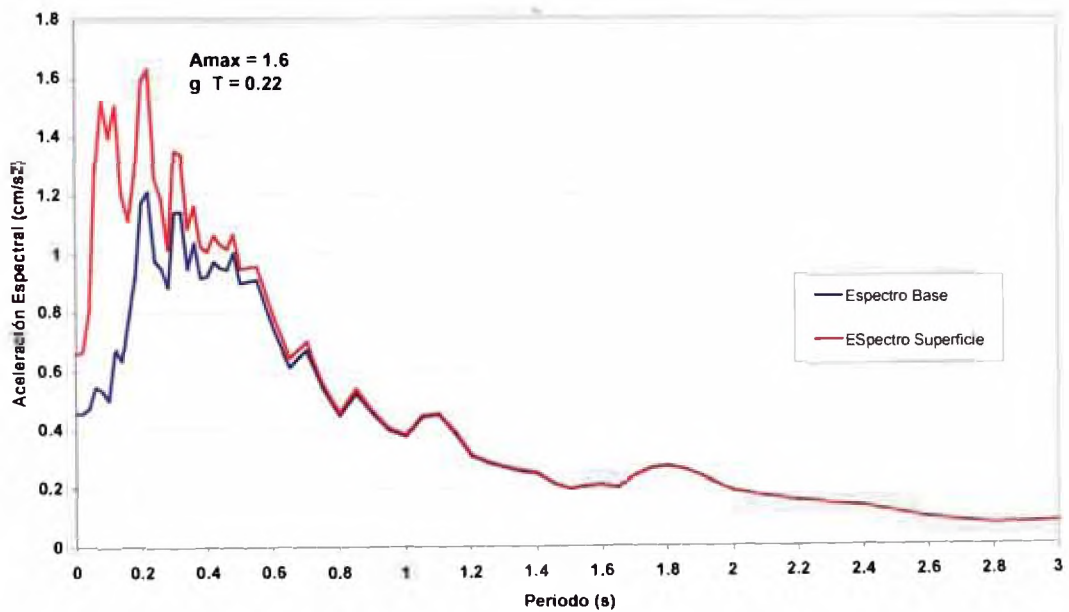
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 11 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



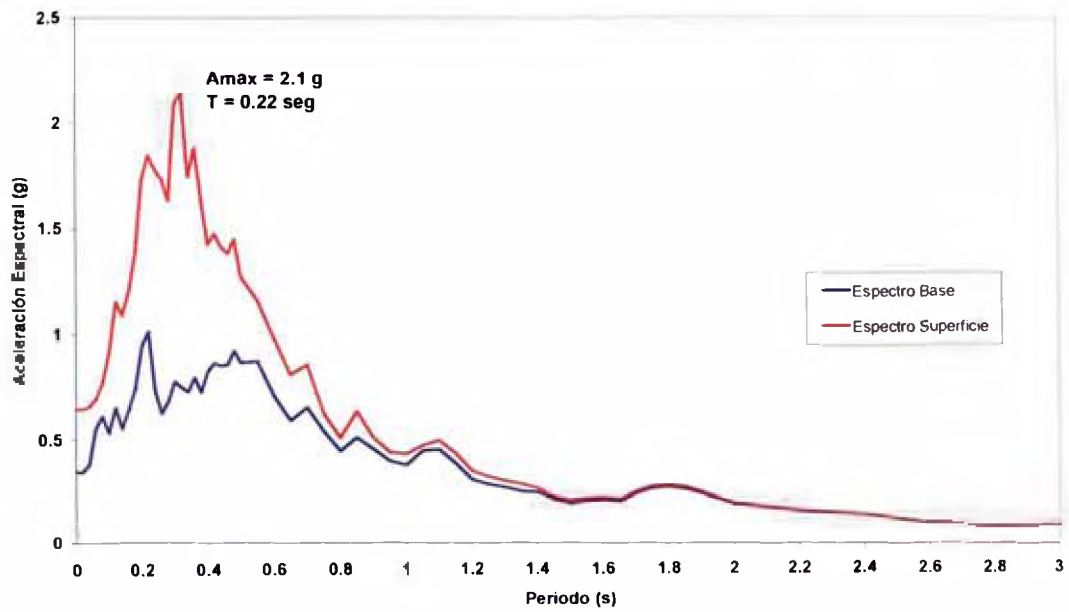
Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 12 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 13 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS



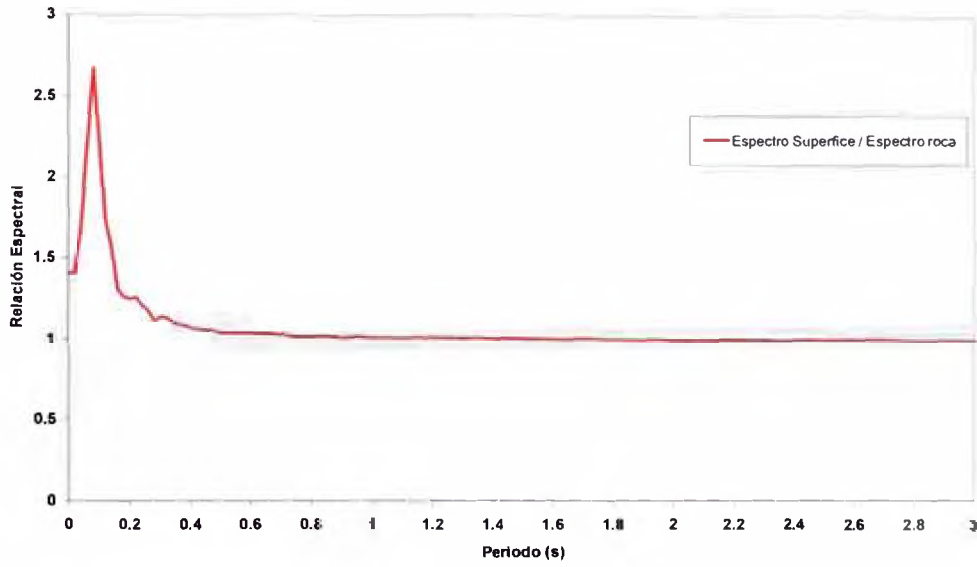
**Espectro de Respuesta (h=5%) para Sismo a 0.45g Sondaje 14 - Ciudad de Pisco
Estación de CIP NS**



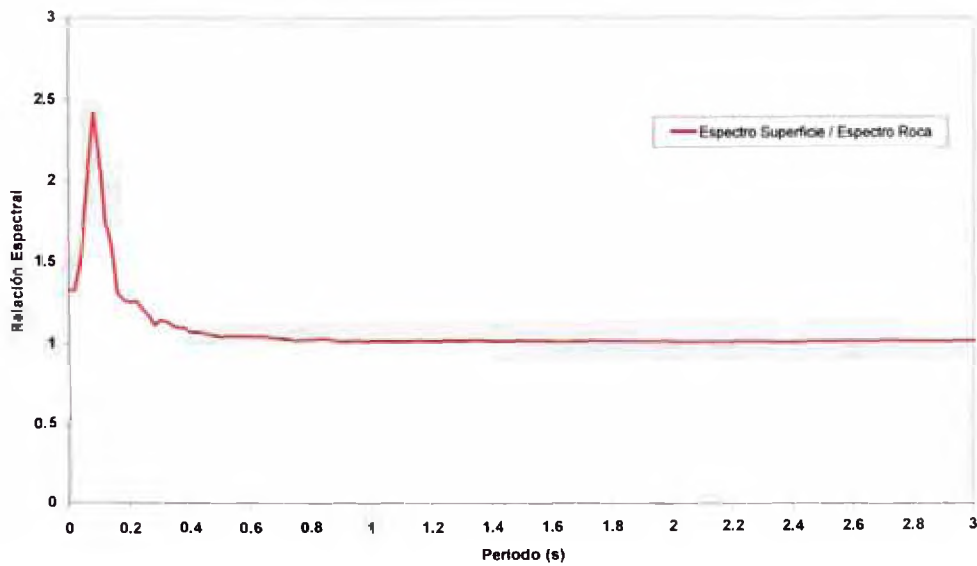
Anexo IX: Relaciones Espectrales

Anexo IX: Relación Espectral

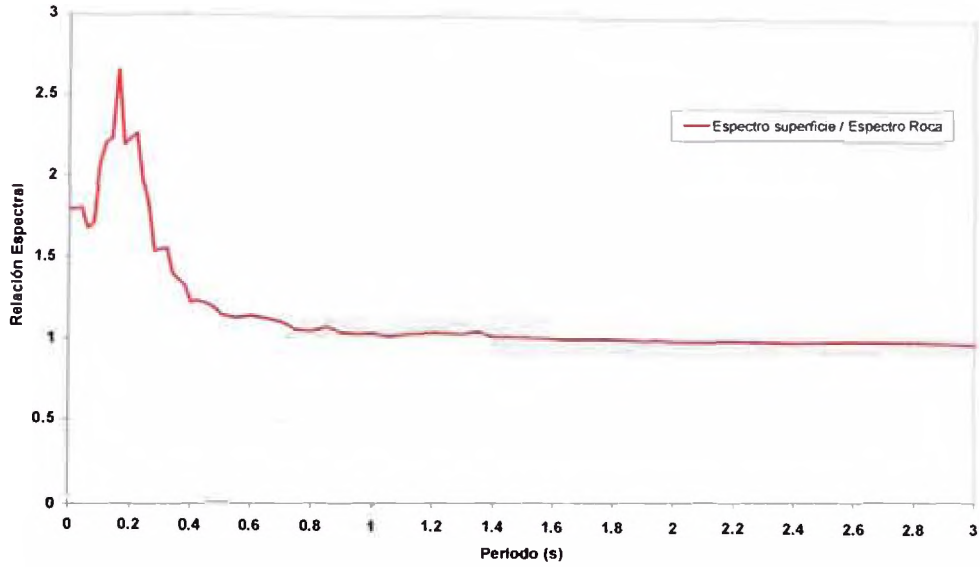
Relación Espectral (sondaje 02), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



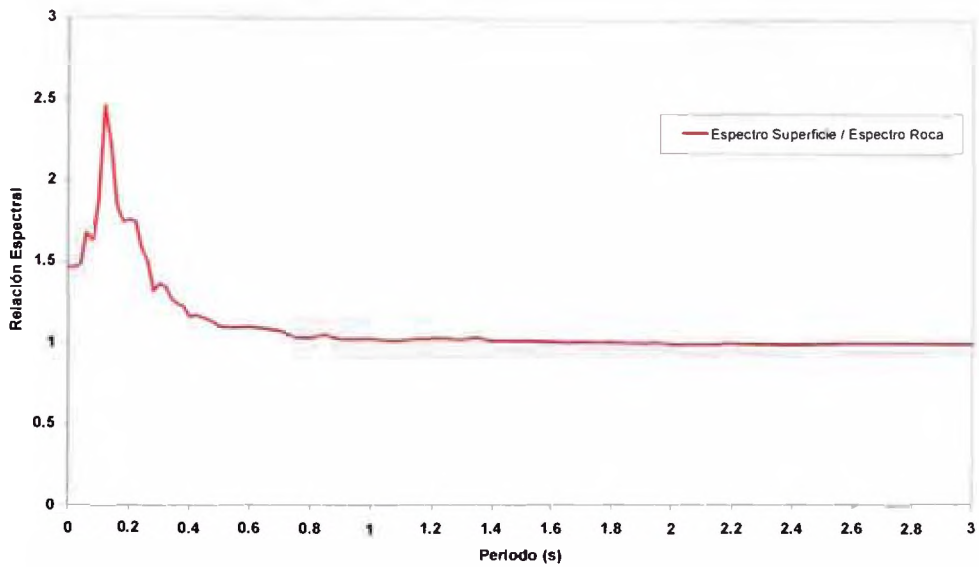
Relación Espectral (sondaje 05), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



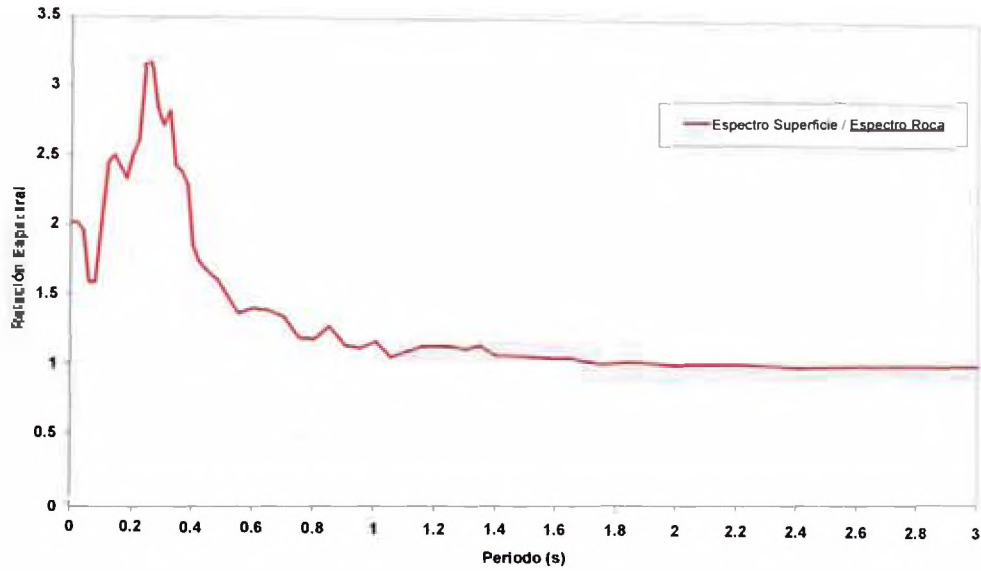
Relación Espectral (sondaje 06), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



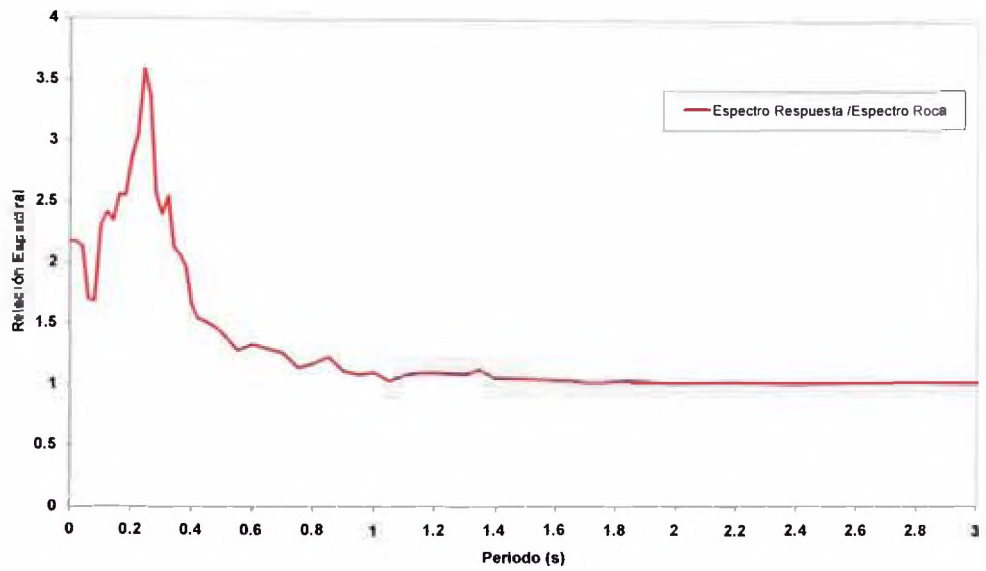
Relación Espectral (sondaje 07), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



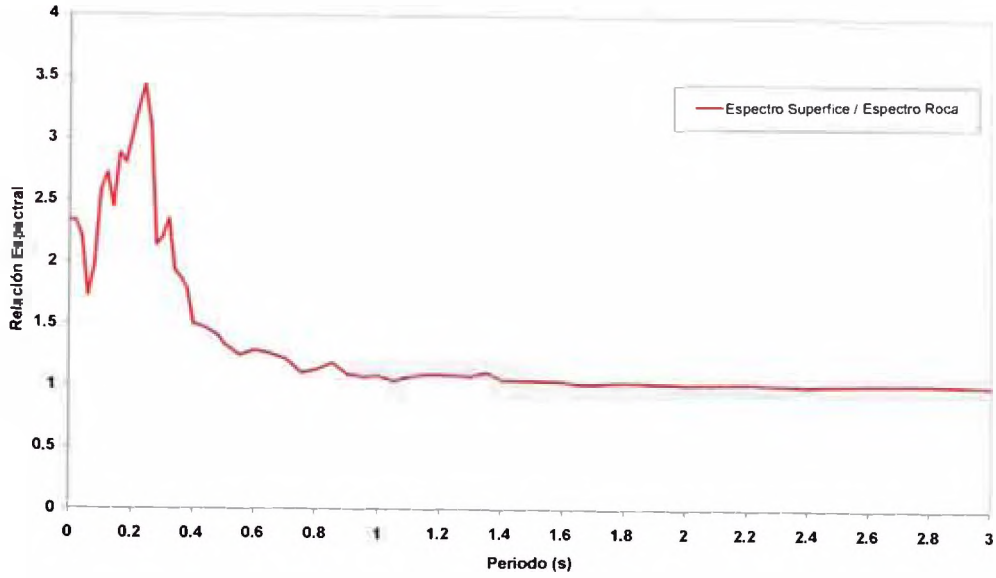
Relación Espectral (sondaje 08), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



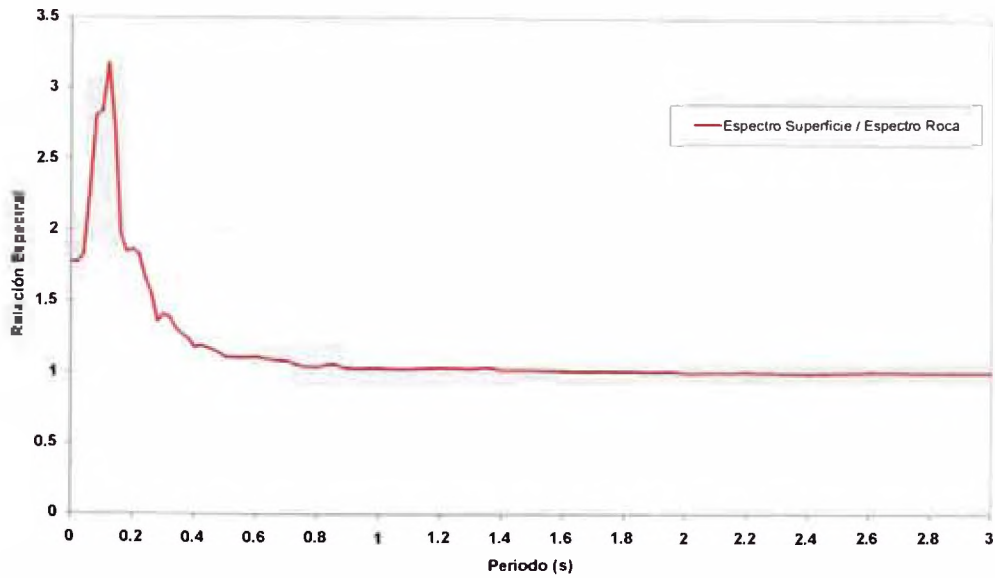
Relación Espectral (sondaje 09), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



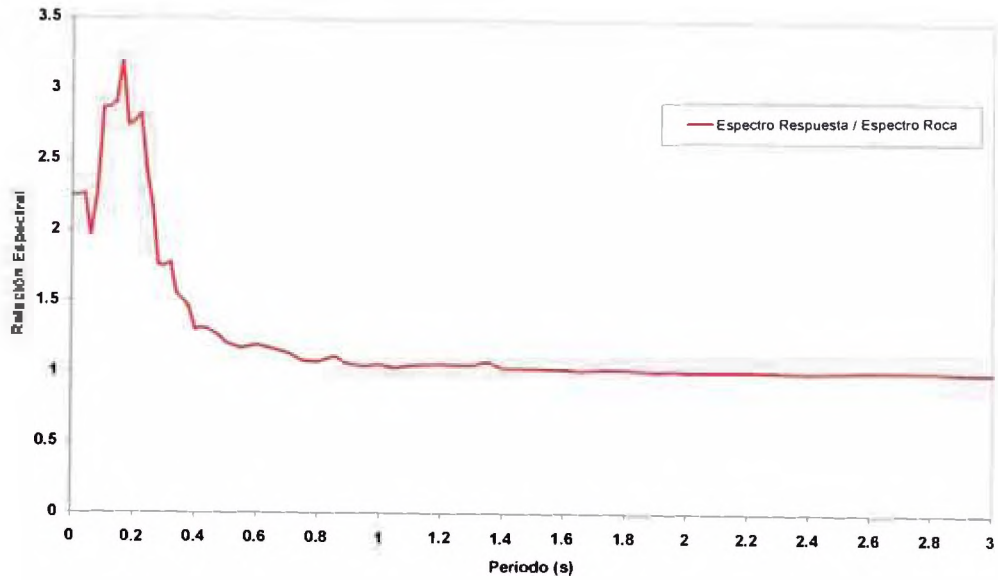
Relación Espectral (sondaje 10), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



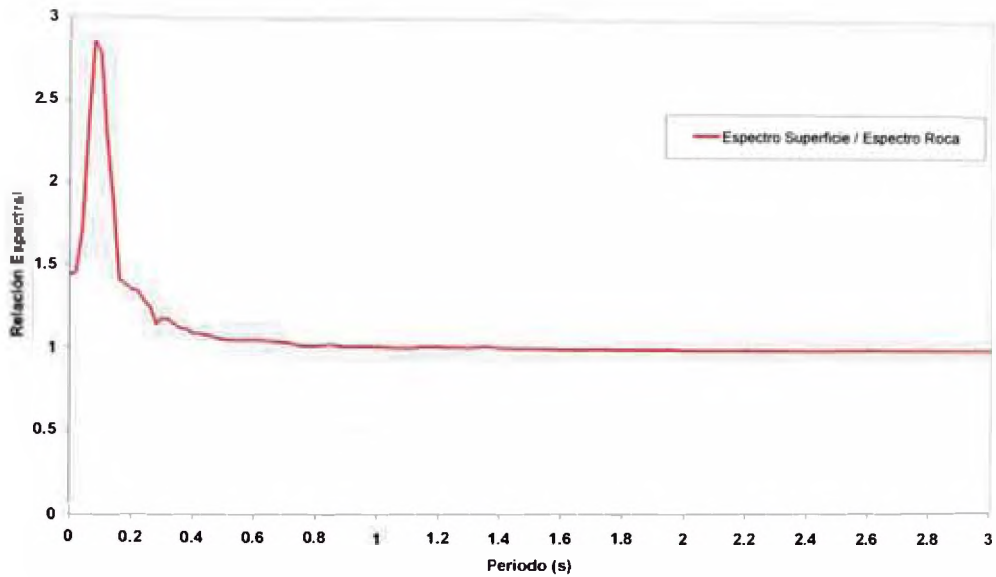
Relación Espectral (sondaje 11), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



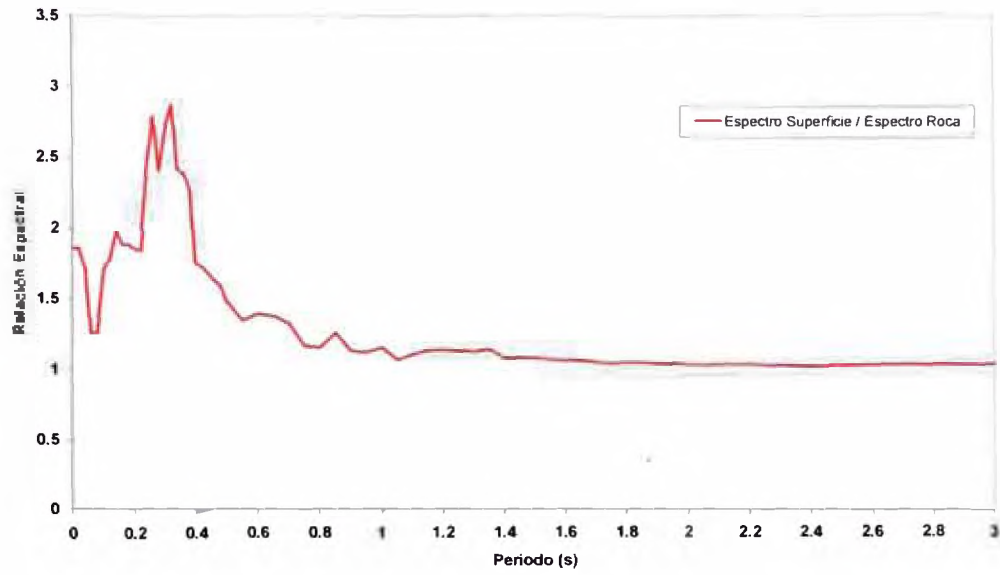
Relación Espectral (sondaje 12), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



Relación Espectral (sondaje 13), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



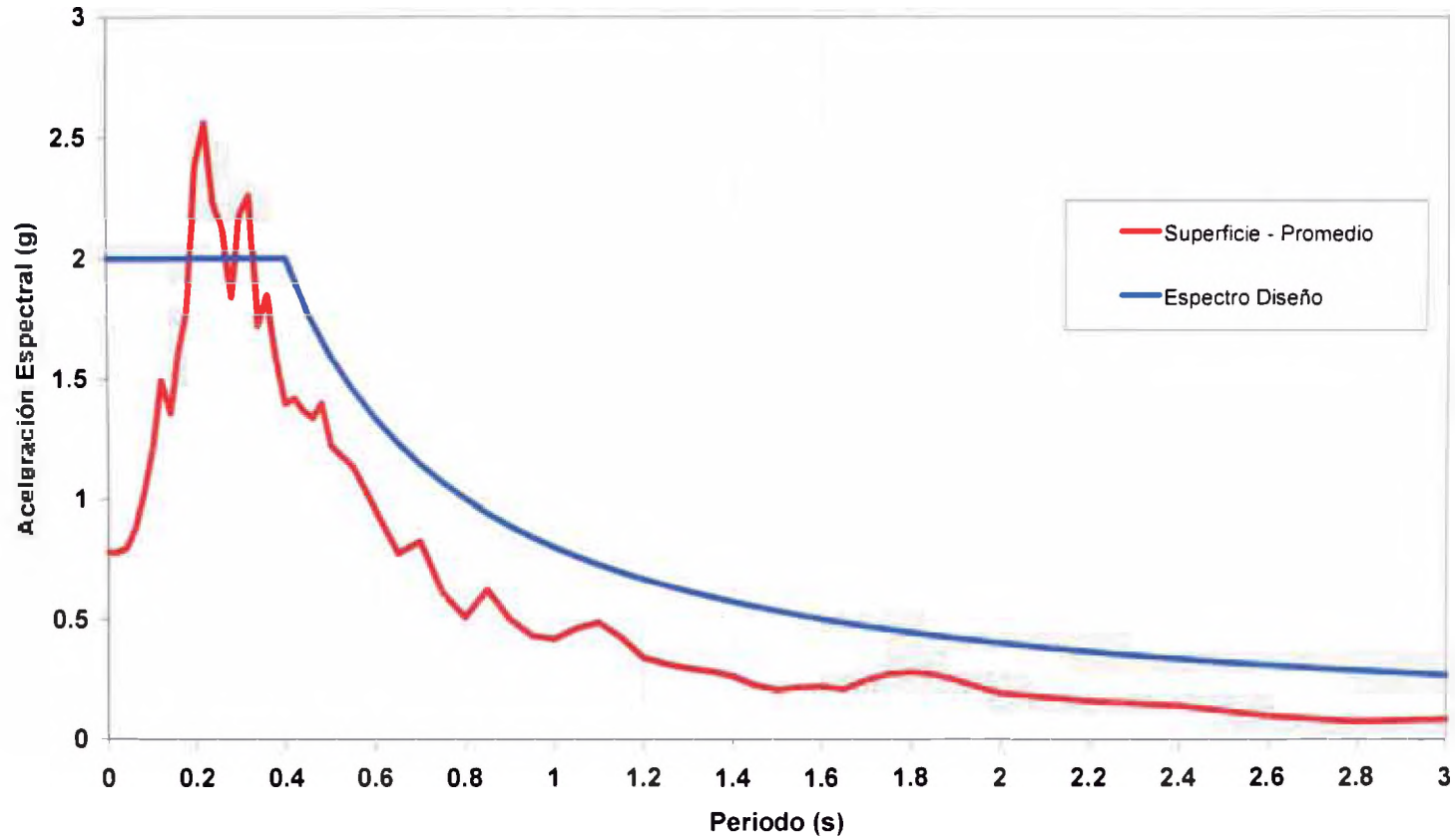
Relación Espectral (sondaje 14), para Sismo a 0.45g
Estación de CIP NS



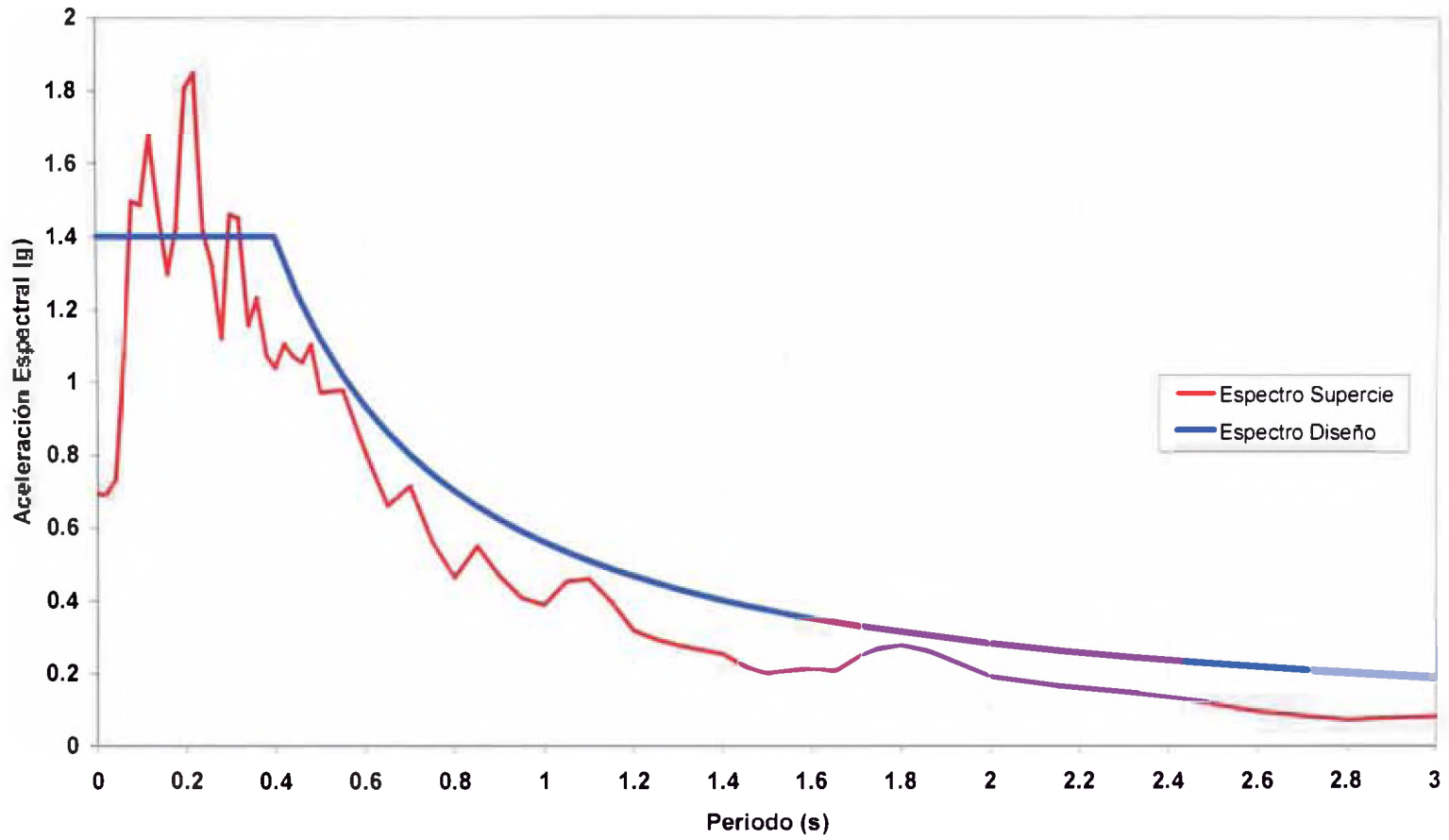
Anexo X: Curva de los Espectros de Diseño

Anexo X: Curva de los Espectros de Diseño

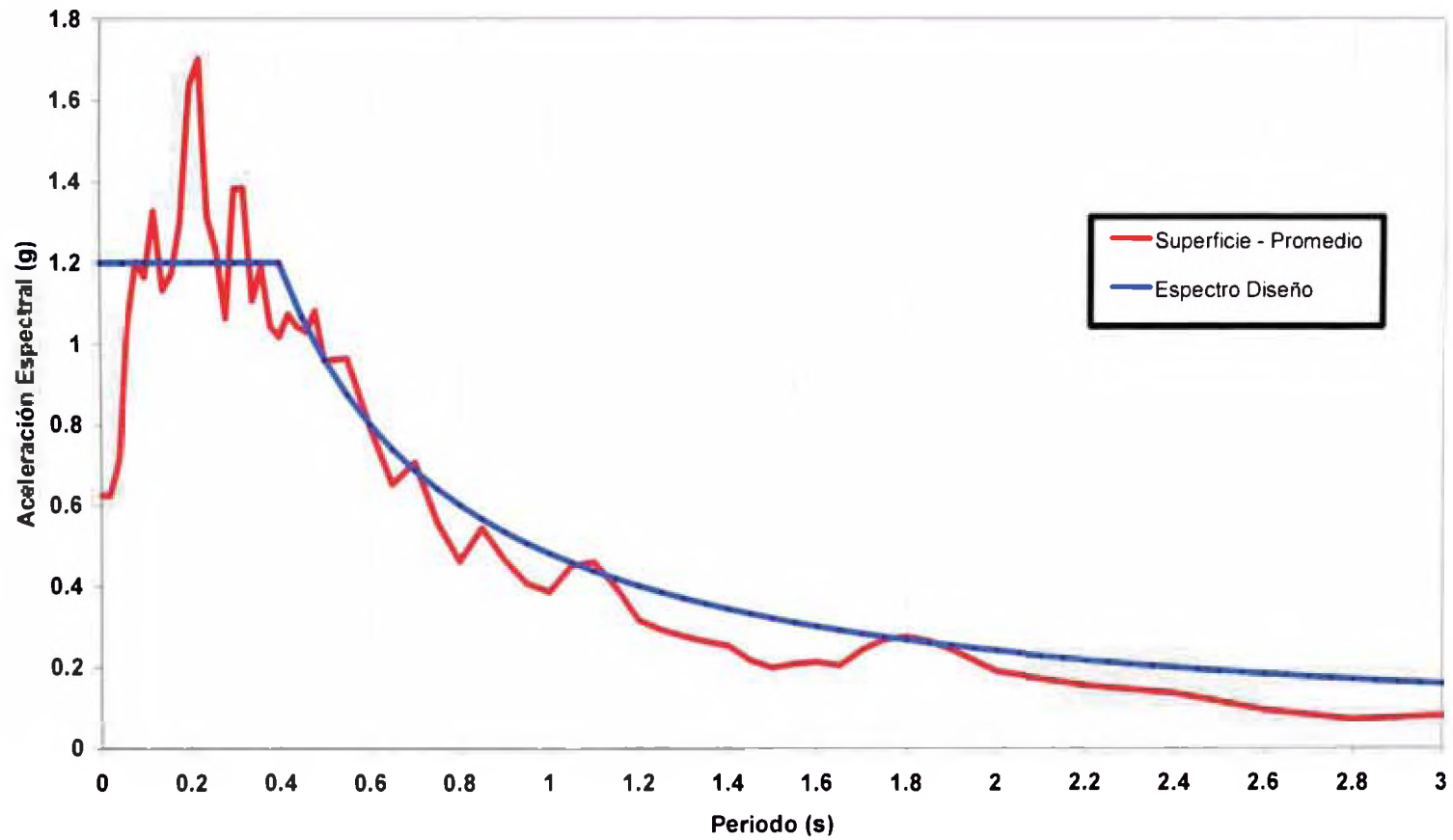
Espectro de Diseño (h=5%) para Sismo a 0.45g, Zona - III - Ciudad de Pisco
Estación de CIP EW



**Espectro de Diseño (h=5%) para Sismo a 0.45g, Zona - II - Ciudad de Pisco
Estación de CIP EW**



Espectro de Diseño (h=5%) para Sismo a 0.45g, Zona- I - Ciudad de Pisco
Estación de CIP EW



Anexo XI: Panel fotográfico

Anexo XI: Panel Fotográfico

Exploración Geotécnica de las Ciudades de Pisco y San Miguel – ICA



Fotografía No. 1. Ubicación del Sondaje S-1, al lado derecho de la puerta del Estadio "Teobaldo Pinillos Olaechea" (Calle Arequipa).



Fotografía No. 2. Extrayendo el tubo muestreador después de ejecutar el ensayo SPT.



Fotografía No. 3. Calicata C-2, ubicada en la Zona de Expansión a la altura del Puente Polisaco (margen izquierda).



Fotografía No. 4. En la Calicata C-2: de 0.10 a 1.30 m Grava pobremente gradada con arena (GP). A 1.30 m de profundidad se encuentra el nivel freático.

Exploración Geotécnica: de la ciudad de San Andrés



Fotografía No. 5. Ubicación del Sondaje S-5, frente al Estadio de San Andrés.



Fotografía No. 6. Ejecutando el Ensayo Penetración Estándar SPT en el Sondaje S-5.



Fotografía No. 7. Calicata C-6, ubicada en el Parque Zonal de San Andrés.



Fotografía No. 8. En la Calicata C-6: de 1.00 a 2.00 m Grava pobremente gradada con arena (GP). A 1.90 m de profundidad se encuentra el nivel freático

Exploración Geotécnica de la ciudad de Túpac Amaru



Fotografía No. 9 Ubicación del Sondaje S-6, entre la Calle 2 y el Jr. Antisuyo – Túpac Amaru.



Fotografía No. 10. Ubicación del Sondaje S-7, en el Estadio de Túpac Amaru.

Ensayos MASW



Fotografía No. 1. Vista panorámica de la línea sísmica del ensayo de MASW_02, en la Zona de Expansión ($13^{\circ}44'48.80''$ S, $76^{\circ}11'32.64''$ W). Se aprecia su alineamiento y el tendido de cables a todo lo largo de esta.



Fotografía No. 2. Vista panorámica de la línea sísmica del ensayo de MASW_04, en la Zona de Expansión ($13^{\circ}44'23.28''$ S, $76^{\circ}11'49.85''$ W). Se aprecia los geófonos, conectores y adquisidor de ondas.



Fotografía No. 3. Vista panorámica de la línea sísmica del ensayo de MASW_05, en la Zona de Expansión ($13^{\circ}43'32.59''$ S, $76^{\circ}11'54.38''$ W). Se aprecia la generación de la onda sísmica por el impacto del martillo.



Fotografía No. 4. Vista panorámica de la línea sísmica del ensayo de MASW_06, en la Localidad de San Andrés ($13^{\circ}43'59.70''$ S, $76^{\circ}13'16.72''$ W). Se aprecia el alineamiento de la línea de tendido.



Fotografía No. 5. Vista panorámica de la línea sísmica del ensayo de MASW_07, en la Localidad de San Andrés ($13^{\circ}43'31.91''$ S, $76^{\circ}13'15.56''$ W). Se aprecia el alineamiento de la línea de tendido.



Fotografía No. 6. Vista panorámica de la línea sísmica del ensayo de MASW_08, en Pisco ($13^{\circ}42'57.24''$ S, $76^{\circ}12'46.91''$ W). Se aprecia el tendido de la línea sísmica.



Fotografía No. 7. Vista panorámica del tendido de la línea sísmica del ensayo de MASW_09, cerca del muelle en Pisco ($13^{\circ}42'40.7''$ S, $76^{\circ}13'06.6''$ W).



Fotografía No. 8. Vista panorámica de la línea sísmica del ensayo de MASW_10, en Pisco ($13^{\circ}42'23.8''$ S, $76^{\circ}12'33.2''$ W).

Medición de Microtremor: Anexo Fotográfico

Zona: PISCO

PUNTO	PIS8	PUNTO	PIS14
Fecha y Hora	15/09/07-13:55	Fecha y Hora	15/09/07-15:09
			
Ubicación	Calle Alvizari Cuadra 2	Ubicación	Avenida Molfino Bolognesi Cuadra 3


Zona: SAN ANDRÉS

PUNTO	SAN1	PUNTO	SAN2
Fecha y Hora	29/09/07-11:22	Fecha y Hora	30/09/07-07:40
			
Ubicación	Intersección Avenida San Martín con Calle Nueva	Ubicación	Avenida Simón Bolívar, altura del Parque de la Cultura

Zona: VILLA TÚPAC AMARU

PUNTO	TA2	PUNTO	TA17
Fecha y Hora	07/10/07-15:11	Fecha y Hora	08/10/07-07:29
			
Ubicación	Avenida Lloque Yupanqui con Avenida Pachacutec	Ubicación	Institución Educativa 22471 "Cap. FAP José Quiñónez G."

Zona: SAN MIGUEL

PUNTO	SM1	PUNTO	SM4
Fecha y Hora	08/10/07-11:15	Fecha y Hora	08/10/07-12:45
			
Ubicación	Ultima Cuadra Calle San Miguel	Ubicación	Referencia final de la Avenida San Martín de Porras

Anexo XII: Planos

VER PLANO P-01.

UBICACION GEOGRAFICA DE LA CIUDAD DE PISCO.

VER PLANO P-02.

GEOLOGÍA SUPERFICIAL Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL.

VER PLANO P-03.

UBICACIÓN DE LAS CALICATAS Y LOS SONDEJES CON ENSAYOS SPT.

VER PLANO P-04.

DISTRIBUCIÓN DE TIPOS DE SUELO ENCONTRADOS A 1m DE PROFUNDIDAD EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

VER PLANO P-05.

DISTRIBUCIÓN DE TIPOS DE SUELOS ENCONTRADOS A 2.5m DE PROFUNDIDAD EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

VER PLANO P-06.

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE PISCO.

VER PLANO P-07.

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MICROTREPIDACIONES.

VER PLANO P-08.

MAPA DE CURVAS ISOPERIODOS.

VER PLANO P-09.

UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS MASW EN LA CIUDAD DE PISCO.

VER PLANO P-10.

MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA CON LA UBICACION DE SONDAJE MASW EN LA CIUDAD DE PISCO.

VER PLANO P-11.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE PISCO.