

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO UNIDIMENSIONAL  
APLICADO EN UN CENTRO EDUCATIVO EN EL DISTRITO DE PUENTE  
PIEDRA**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA  
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORA:**

Quito Paucar, Jeselyn Jessica

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:**

Lucas Gonzales, Emerson Raul

Cencia Ramos, José Armando

Chuquin Rivera, Ricardo Gabriel

Barreto Ayala, Adhemir Jair

**ASESORA:**

Ortiz Salas, Carmen Eleana

Lima, diciembre, 2020

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolla en cinco capítulos, los cuales tiene como objetivo principal evaluar los espectros de respuesta mediante el análisis unidimensional en un área específico del distrito de Puente Piedra. En el capítulo 1 se mencionan las generalidades de la investigación como son los antecedentes, la justificación, los objetivos, el alcance y la metodología a seguir. En el capítulo 2 se desarrolla el marco teórico de la investigación donde se menciona conceptos relacionados a las propiedades dinámicas del suelo, los acelerogramas, el estudio de peligro sísmico, la construcción de acelerogramas sintéticos y se finaliza con la descripción del fundamento conceptual del análisis de respuesta en sitio. En el capítulo 3 se procede a desarrollar la descripción del sitio de estudio en el cual se detalla su ubicación, el marco geológico, sus características geotécnicas y propiedades mecánicas del suelo en cuestión. En el capítulo 4 se realiza el análisis de respuesta de sitio, donde se seleccionó los acelerogramas necesarios para el análisis, la evaluación del peligro sísmico probabilístico, la determinación del acelerograma sintético mediante ajuste espectral y el análisis de respuesta de sitio unidimensional del área de estudio. Finalmente, en el capítulo 5 se menciona las conclusiones y recomendaciones del desarrollo de la presente investigación.

## **ABSTRACT**

This research is developed in five chapters, which have as main objective to evaluate the response spectra through the one-dimensional analysis in a specific area of the Puente Piedra district. In chapter 1, the generalities of the research are mentioned, such as the background, justification, objectives, scope and methodology to be followed. In chapter 2, the theoretical framework of the investigation is explained, where concepts related to the dynamic properties of the soil, the accelerographs, the study of seismic danger, the construction of synthetic accelerographs are mentioned, and it ends with the description of the conceptual foundation of the on-site response analysis. In chapter 3, the description of the study site is elaborated, detailing its location, geological framework, geotechnical characteristics and mechanical properties of the soil in question. In chapter 4, the site response analysis is performed, where the accelerographs required for the analysis, the assessment of the probabilistic seismic hazard, the determination of the synthetic accelerograph by spectral adjustment and the one-dimensional site response analysis of the study area were selected. Finally, in chapter 5, the conclusions and recommendations of the current research development are mentioned.



A nuestros profesores de la facultad por la dedicación que nos brindaron en todos estos años de estudio.

A nuestros padres y amigos por ser soporte Emocional y afectivo en nuestra formación profesional.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Alcance de la investigación.....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.5. Metodología .....	4
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Propiedades dinámicas del suelo.....	6
2.1.1. Velocidad de ondas de corte .....	6
2.1.2. Comportamiento esfuerzo-deformación.....	7
2.1.3. Curvas empíricas de degradación de módulo de corte y amortiguamiento ...	9
2.1.4. Mediciones en campo y laboratorio .....	11
2.2. Acelerogramas.....	13
2.2.1. Concepto .....	13
2.2.2. Correcciones.....	14
2.2.3. Análisis del contenido de frecuencias .....	16
2.3. Análisis de Peligro Sísmico.....	18
2.3.1. Concepto .....	18
2.3.2. Fuentes sísmicas.....	19
2.3.3. Parámetro de recurrencia.....	19
2.3.4. Leyes de Atenuación .....	21
2.3.5. Análisis del peligro sísmico .....	21
2.4. Acelerograma sintético.....	23

2.4.1. Conceptos.....	23
2.4.2. Método de dominio de tiempo.....	24
2.5. Análisis de respuesta de sitio .....	25
2.5.1. Concepto .....	25
2.5.2. Modelo de respuesta del suelo .....	27
2.5.3. Método de análisis.....	29
<b>CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO .....</b>	<b>30</b>
3.1. Ubicación del área de estudio.....	30
3.2. Marco geomorfológico y geológico del caso de estudio.....	30
3.2.1. Geomorfología de Puente Piedra .....	30
3.2.2. Geología de Puente Piedra .....	31
3.3. Caracterización geotécnica.....	33
3.4. Selección de curvas Dinámicas .....	36
<b>CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO .....</b>	<b>38</b>
4.1. Selección de Registros acelerográficos .....	38
4.2. Evaluación de peligro sísmico probabilístico.....	41
4.3. Acelerograma Sintético .....	42
4.4. Análisis de respuesta de sitio unidimensional.....	45
4.4.1. Espectros de aceleración resultante.....	45
4.4.2. Perfil de aceleraciones, deformaciones y desplazamientos máximos .....	46
4.4.3. Amplitud máxima de Fourier en la superficie.....	47
4.4.4. Aceleraciones, velocidades, y desplazamientos relativos espectrales de respuesta en la superficie .....	48
4.5. Aceleración espectral de diseño E.030.....	51
4.6. Comparación de espectros de aceleraciones .....	52
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>

5.1. Conclusiones .....	54
5.2. Recomendaciones.....	55
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema metodológico .....	4
Figura 2: Ondas S. ....	6
Figura 3: a) Curva histerética de esfuerzo-deformación b) Curva $G/G_{\max}$ vs $\gamma$ . ....	8
Figura 4: Lazo histerético cerrado. ....	8
Figura 5: Razón de amortiguamiento.....	9
Figura 6: Curvas de degradación de módulo de corte y razón de amortiguamiento para diferentes tipos de suelo(1996).....	10
Figura 7: Esquema de un ensayo Down-Hole. ....	11
Figura 8: Esquema de un ensayo MASW.....	12
Figura 9: Acelerograma del terremoto del 31/05/1970 (Perú).....	13
Figura 10: Efecto del ruido de alta frecuencia ( $\leftarrow$ ) y del ruido de baja frecuencia ( $\rightarrow$ ) .....	15
Figura 11: Comportamiento de filtros ideales paso-bajas, paso-altas y paso banda..	16
Figura 12: Espectro de Fourier del terremoto del 31-05-1970 (Perú) .....	17
Figura 13: Espectro de respuesta, para distintos periodos de frecuencia.....	18
Figura 14: Diferentes geometrías de las fuentes sísmicas. (a) Falla corta que puede ser modelada como una fuente puntual, (b) falla superficial que puede ser modelada como fuente lineal, (c).....	19
Figura 15: Ley de recurrencia Gutenberg-Richter truncada. ....	20
Figura 16: Etapas del análisis de peligro sísmico determinístico. ....	22
Figura 17: Etapas del análisis de peligro sísmico probabilístico.....	23
Figura 18: Versiones de wavelets. ....	25
Figura 19: Representación de esfuerzo-deformación en modelo lineal equivalente .	28
Figura 20: Representación de los elementos mecánicos del modelo IwanMroz .....	28
Figura 21: Sistemas del depósito de suelo estratificado unidimensional.....	29
Figura 22: Perfil estratigráfico del caso de estudio.....	35
Figura 23: Perfil de velocidades de ondas de corte del caso de estudio. ....	36

Figura 24: Curva de degradación del módulo de corte y la curva de relación de amortiguamiento para arenas del caso de estudio. ....	37
Figura 25: Curva de degradación del módulo de corte y la curva de relación de amortiguamiento para arcillas del caso de estudio. ....	37
Figura 26: Ubicación de epicentros de sismos utilizados para el análisis. ....	38
Figura 27: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Huaraz de 1970. ....	39
Figura 28: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Lima de 1974. ....	40
Figura 29: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Ático de 2001. ....	41
Figura 30: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Maule de 2010. ....	41
Figura 31: Espectros de peligro uniforme. ....	42
Figura 32: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Huaraz 1970. ....	43
Figura 33: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Lima 1974. ....	44
Figura 34: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Atico 2001. ....	44
Figura 35: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Maule-Chile 2010. ....	45
Figura 36: Amplificación de las aceleraciones espectrales de respuesta para distintos sismos de diseño. ....	46
Figura 37: Perfiles de aceleración, deformación y desplazamientos máximos del caso de estudio. ....	47
Figura 38: Espectros de amplitud de Fourier en superficie evaluados en distintos sismos de diseño. ....	48
Figura 39: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Huaraz (1970). ....	49
Figura 40: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Lima (1974). ....	50
Figura 41: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Atico (2001). ....	50

Figura 42: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Maule (2010).....	50
Figura 43: Aceleración espectral de diseño según la Norma E030. ....	52
Figura 44: Comparación de aceleraciones espectrales del análisis de respuesta en sitio con la Norma E030.....	53



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Amplificaciones de ondas sísmicas .....	26
Tabla 2: Modelos de respuesta del suelo .....	27
Tabla 3: Datos del sismo de Huaraz de 1970.....	39
Tabla 4: Datos de sismo de Lima 1974.....	39
Tabla 5: Datos del sismo de Atico de 2001 .....	40
Tabla 6: Datos del sismo de Maule de 2010.....	41
Tabla 7: Amplitudes máximas de Fourier en superficie.....	48



# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1. Antecedentes

El Perú es uno de los países que forma parte del famoso cinturón de fuego del pacífico, llamado así por el conjunto de placas tectónicas donde se encuentra la actividad sísmica y volcánica más grande del mundo, que aproximadamente da lugar a un 90 % del total de los terremotos. En el Perú se tiene evidencia histórica que desde el año 1513 se produjeron eventos sísmicos de gran magnitud (Silgado,1978), siendo tal vez las más reciente la ocurrida en la ciudad de Pisco en el 2007, lo cual evidencia un silencio sísmico de aproximadamente 13 años.

Las primeras aproximaciones para describir las características del movimiento del suelo, se desarrollaron mediante la implementación de Acelerogramas. En el Perú, fue a partir de la década de los sesenta que se empieza a instrumentar con estos equipos, siendo tal vez la ciudad de Lima donde se dio mayor preferencia. Actualmente, muchas instituciones como el instituto geofísico del Perú (IGP), el servicio nacional de capacitación para la industria de la construcción (SENCICO), el centro peruano japonés de investigación sísmicas y mitigación de desastres (CISMID), entre otros, han desarrollado redes acelerográficas en muchas zonas del Perú, que nos permiten tener una caracterización más completa de los eventos sísmicos; y además nos permite generar un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos. A modo de referencia se mencionan los registros más importantes que obtuvieron estas redes. El primero ocurrido en 1966 que afectó a la ciudad de Lima y Callao, el segundo ocurrido en 1970 que afectó a la ciudad de Huaraz, el tercero ocurrido en 1974 que afectó la ciudad de Lima y finalmente el sismo ocurrido en 2007 que afectó la ciudad de Pisco.

El registro de los acelerógrafos nos sirve para evaluar los espectros de respuestas de una estructura. Esto se puede lograr mediante un análisis de respuesta unidimensional, conociendo las características geológicas y geotécnicas del sitio. Si bien es una metodología que no considera la interacción suelo estructura, ni las características topográficas del terreno, los resultados de la evaluación de este método en sísmos

importantes como la de Michoacan (Mexico) 1985, Northridge (EEUU) 1994, Loma prieta (EEUU) 1989, Kobe (JAPON) 1995, entre otros, validan su eficacia.

## **1.2. Justificación**

En la ingeniería civil es más común realizar análisis de respuesta de sitio (ARS), para definir los espectros de respuesta a emplearse en el diseño de una estructura en particular. De acuerdo a la Norma E030 de “Diseño sismorresistente”, estas estructuras pueden ser complejos industriales, industrias de explosivos, productos químicos inflamables y contaminantes.

El ARS de un depósito de suelos depende de diversos factores, el cual se puede agrupar en función a la fuente sísmica (contenido de frecuencias, amplitud y duración) y en función a las características físicas y mecánica del terreno (estratigrafía, rigidez, profundidad del basamento, condiciones topográficas y comportamiento de los materiales).

Actualmente existe distintas metodologías de análisis de respuesta de sitio que toman explícitamente las condiciones dinámicas de los suelos de fundación, que incorporan la no linealidad del comportamiento del suelo de forma simplificada. Y que se pueden desarrollar en las 3 dimensiones, implementando modelos numéricos con una alta carga computacional.

Todo lo expuesto anteriormente motivó la realización de este estudio, el cual busca evaluar los espectros de respuesta mediante un análisis unidimensional en un área determinado del distrito de Puente Piedra, el cual será comparado con el espectro de diseño propuesta por la norma E030 de “Diseño Sismorresistente” para las condiciones geotécnicas y estructurales de un proyecto educativo cercano al área de análisis.

## **1.3. Alcance de la investigación**

La presente investigación busca obtener los espectros de respuesta mediante el análisis de sitio unidimensional en el dominio del tiempo y el dominio de las frecuencias en un área específica del distrito de Puente Piedra. Todo ello, en base a las propiedades del suelo y la evaluación del peligro sísmico de la zona.

Para la obtención de los parámetros geológicos y geotécnicos se pretende recopilar información de plataformas educativas, publicaciones de congresos y estudios de

proyectos cercanos al área de análisis. Estos datos contemplaran sondajes, auscultaciones, perforaciones, estudios geofísicos, entre otros.

Para la obtención de las propiedades dinámicas del suelo como la curva de degradación del módulo de corte y amortiguamiento, se hará uso de correlaciones empíricas en base a las características del terreno y resultados de evaluaciones propuestas por varios investigadores como Seed et al (1987), Rollins et al (1998), Ishibashi y Zhang (1993), Zhang et al (2005), entre otros.

#### **1.4. Objetivos**

##### **Objetivo General:**

Estimar los espectros de respuesta mediante el análisis de respuesta de sitio unidimensional en un área determinado del distrito de Puente Piedra, bajo un nivel de riesgo propuesta por la norma sismorresistente, en el dominio de la frecuencia

##### **Objetivos Específicos:**

- Comparar los espectros de respuesta de aceleraciones calculada, a un nivel de riesgo sísmico, con el espectro de respuesta de aceleraciones de diseño propuesta por la norma E030 de “Diseño Sismorresistente”
- Estimar las curvas de degradación y amortiguamiento para un perfil unidimensional del suelo en estudio
- Determinar el espectro de peligro uniforme mediante un estudio de peligro sísmico en el software CRISIS 2015 v4.1
- Construir un acelerograma sintético mediante el ajuste espectral de un registro sísmico y el espectro de peligro uniforme

## 1.5. Metodología

Para la obtención de los objetivos planteados, se propone seguir la metodología que se muestra mediante un esquema en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

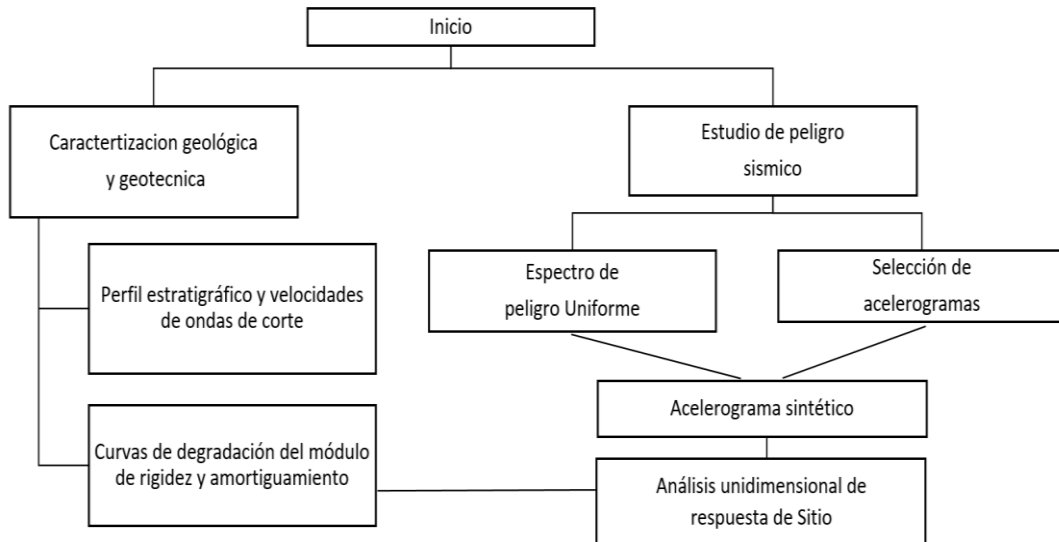


Figura 1: Esquema metodológico

Fuente: Propia

### I. Caracterización geológica – geotécnica

Se construirá el perfil estratigráfico del suelo en estudio, desde la superficie hasta un nivel de Roca, además, se detallará la variación de las velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) en toda su profundidad.

Se construirá las curvas de degradación del módulo de corte y amortiguamiento, en base a las características del suelo en cuestión y ajustes experimentales propuestas por diferentes investigadores.

### II. Estudio de Peligro sísmico

Se realizará una evaluación de peligro sísmico probabilístico para la zona de estudio, tomando de referencia la caracterización de las fuentes sísmicas y leyes de recurrencia propuestas por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), mediante el software CRISIS 2015 v4.1.

Se determinará el espectro de peligro uniforme de la zona, bajo un nivel de riesgo propuesta por la norma sismorresistente E030 y se comparará con la sugerida por SENCICO, en su plataforma Web.

### **III. Acelerograma sintético**

Se construirá el acelerograma sintético que representará, las aceleraciones que el suelo presentará durante un evento sísmico representativo. Para ello se deberá seleccionar un acelerograma referencial de un evento sísmico pasado y un espectro objetivo, que vendría ser el espectro de peligro uniforme resultante del análisis probabilístico de peligro sísmico desarrollado en el software CRISIS 2015 v4.1.

Este acelerograma sintético se calculará usando el método de ajuste espectral, que usa una función de onda (Wavelet) que viene incorporado en el software SismoMatch, el cual será la herramienta que se utilizará para determinar el acelerograma sintético.

### **IV. Análisis Unidimensional de respuesta de Sitio**

Se desarrollará el análisis unidimensional de respuesta de sitio con el software DeepSoil v7. Este programa requiere de la caracterización del perfil Unidimensional, el perfil de velocidad de ondas de corte, la curva de degradación de rigidez y amortiguamiento, así como del acelerograma sintético, para poder obtener los espectros de respuesta de sitio.

El resultado final, será comparado con el espectro de diseño propuesta por la norma E030 y se formulará las más acertadas conclusiones.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Propiedades dinámicas del suelo

Para entender el comportamiento de los suelos durante un sismo, es importante conocer sus propiedades dinámicas, ya que, durante un sismo, se inducen esfuerzos cíclicos sobre los suelos. El comportamiento del suelo frente a deformaciones pequeñas es totalmente diferente frente a deformaciones grandes.

##### 2.1.1. Velocidad de ondas de corte

Las ondas de corte, también llamadas ondas S son un tipo de ondas de cuerpo, las cuales son oscilaciones que se propagan desde una fuente determinada (foco o hipocentro en caso de los sismos).

Las ondas S son transversales, puesto a que hacen vibrar a las partículas de suelo en una dirección perpendicular a la propagación de la onda, esto se ve representado gráficamente en la Figura 2.

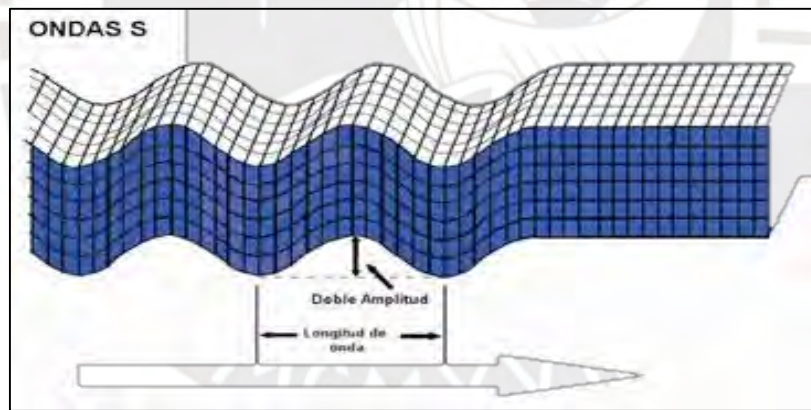


Figura 2: Ondas S.

Fuente: Biodiversidad y Geodiversidad (s.f.)

Las ondas de corte S son las de mayor importancia para la geotecnia junto a las Rayleigh. Esto debido a que, la velocidad de las ondas S se asocia con el módulo de corte de un suelo. Siendo así posible clasificar el perfil de los suelos en función a la velocidad promedio de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ).

En ese sentido, de acuerdo a la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (2016), se clasifican a los suelos en cinco tipos tomando como criterio la velocidad promedio de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ).

**I. Perfil Tipo  $S_0$ : Roca Dura**

Este tipo de perfil corresponde a las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte  $V_s$  mayores que 1500 m/s.

**II. Perfil Tipo  $S_1$ : Roca o Suelos Muy Rígidos**

Este tipo de perfil corresponde a las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  entre 500 m/s y 1500 m/s.

**III. Perfil Tipo  $S_2$ : Suelos Intermedios**

Este tipo de perfil corresponde a los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de ondas de corte  $V_s$  entre 180 m/s y 500 m/s.

**IV. Perfil Tipo  $S_3$ : Suelos Blandos**

Este tipo de perfil corresponde a los suelos flexibles con velocidades de propagación de ondas de corte  $V_s$  menor o igual a 180 m/s.

**V. Perfil Tipo  $S_4$ : Condiciones Excepcionales**

A este tipo de perfil le corresponden los suelos excepcionalmente flexibles.

**2.1.2. Comportamiento esfuerzo-deformación**

Dentro del estudio de las propiedades dinámicas de los suelos, un tema importante es el de estudiar su comportamiento (deformaciones) frente a los esfuerzos cíclicos. De los modelos de comportamiento, los 3 más conocidos son el modelo lineal equivalente, modelo cíclico no lineal y modelos constitutivos.

**A. Modelo lineal equivalente**

En este modelo la relación entre el esfuerzo y deformación en un suelo se relaciona mediante una curva histerética, en la cual se relaciona el esfuerzo cortante y la deformación cortante unitaria para un ciclo de carga de corte cíclico en una sola dirección (unidireccional). De esa forma, el módulo de corte se obtiene dividiendo el esfuerzo cortante entre la deformación cortante unitario, tal y como se muestra en la Figura 3.

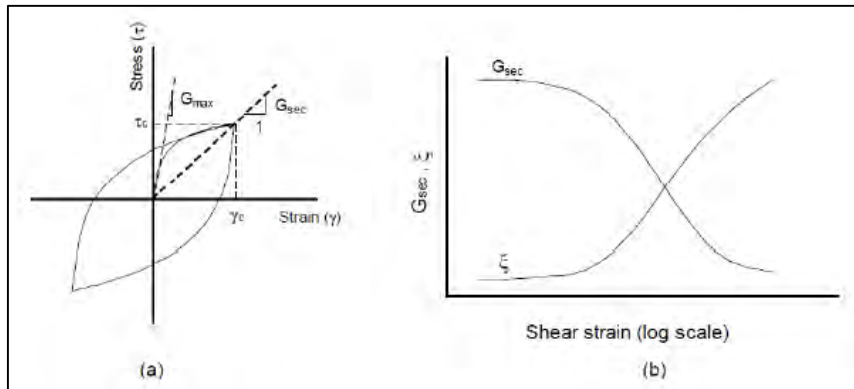


Figura 3: a) Curva histerética de esfuerzo-deformación b) Curva  $G/G_{m\acute{a}x}$  vs  $\gamma$ .

Fuente: Kramer (1996)

### B. Modelo cíclico no lineal

Un modelo más preciso para representar el comportamiento del esfuerzo-deformación en los suelos es el modelo no lineal cíclico, la cual sigue la trayectoria esfuerzo-deformación durante una carga cíclica, tal y como se muestra en la Figura 4. Son distintos y varios los modelos ni lineales cíclicos planteados por diversos autores; sin embargo, todos ellos comparten la característica de estar constituidos por una curva backbone.

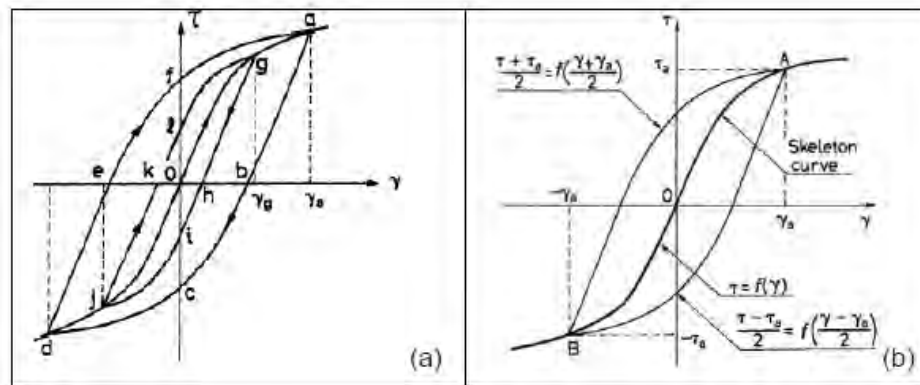


Figura 4: Lazo histerético cerrado.

Fuente: Ishihara (1996)

Como se aprecia en la Figura N°, en la construcción de una relación de esfuerzo-deformación no lineal cíclico, es común que todos los modelos estén compuestos por dos funciones: una que describe la curva backbone y la otra que describe el ciclo de histéresis.

La regla que se sigue para construir los ramales de carga y descarga usando la curva de backbone es la regla de Masing (1926).

### C. Modelos constitutivos

Si se necesitan de modelos más precisos que los descritos anteriormente, como los modelos cíclicos no lineales desarrollados en el inciso b, se pueden recurrir a los modelos constitutivos. Este tipo de modelos son más precisos, se guían también de Masing para describir el comportamiento del suelo para un determinado esfuerzo inicial general, cargas cíclicas o monotónicas, una amplia variedad de trayectoria de esfuerzos, cambio de deformaciones bajas o altas, rotación de ejes de esfuerzos principales, y condiciones drenadas y no drenadas.

Los modelos constitutivos normalmente requieren de la superficie de fluencia, la cual describe las condiciones de esfuerzo límite, a partir del cual el comportamiento elástico deja de cumplirse; la ley de endurecimiento, la cual describe el cambio de forma y tamaño de la superficie de fluencia.

#### 2.1.3. Curvas empíricas de degradación de módulo de corte y amortiguamiento

Las curvas de degradación de módulo de corte y amortiguamiento son de gran importancia para el estudio de las respuestas de sitio, pues describen el comportamiento de los módulos de cortes de un suelo para distintos niveles de deformación. Estas pueden ser divididas, básicamente, para tres tipos diferentes de suelos: gravas, arenas y finos (arcillas y limos).

La curva de razón de amortiguamiento, se relaciona directamente con el área de la curva de histéresis y matemáticamente se obtiene como la división entre la energía disipada ( $\Delta W$ ) y la energía de deformación elástica ( $W$ ), como se muestra en la Figura 5.

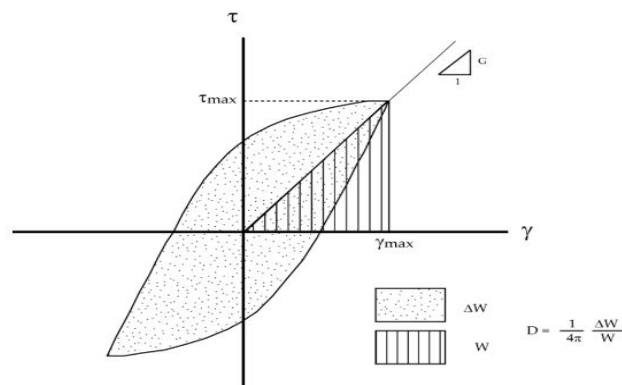


Figura 5: Razón de amortiguamiento.

Fuente: Godoy (2013)

El ancho de la curva de histéresis presentado aumenta a medida que lo hagan también las deformaciones cíclicas y, consecuentemente, la razón de amortiguamiento también aumenta. En la Figura 6 se muestra las curvas características de degradación de módulo de corte y amortiguamiento, para los distintos tipos de suelos.

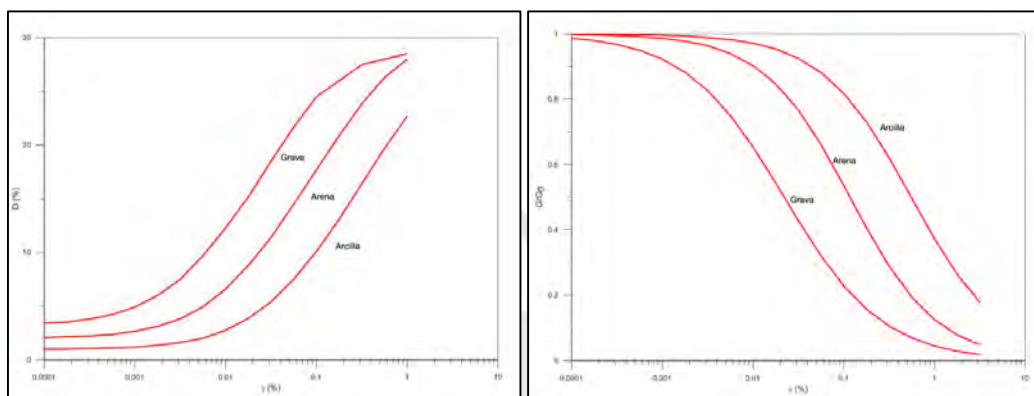


Figura 6: Curvas de degradación de módulo de corte y razón de amortiguamiento para diferentes tipos de suelo(1996)

- **Modelos referenciales para la estimación de las curvas de degradación del módulo de corte y razón de amortiguamiento:**

La mejor forma de estimar las propiedades dinámicas del suelo es realizando una investigación mediante ensayos de campo y laboratorio. Sin embargo, estos no suelen estar al alcance o suelen ser demasiado caro si es que se cuenta con un presupuesto reducido. Por lo que es imprescindible hacer uso de recursos empíricos de curvas propuestas por distintos autores según el tipo de suelo.

Para el caso de gravas y arenas, por ejemplo, se tienen las curvas de referencia propuestas por Amir-Faryar et al (2016), Andrus (2003), Darendeli (2001), Menq (2003), Roblee and Chiou (2004), Zhang (2005) y Seed and Idriss (1970). En el caso de los suelos finos como las arcillas, se cuenta con las propuestas de Amir-Faryar t al (2016), Andrus (2003), Darendeli (2001), Roblee and Chiou (2004), Vucetic and Dobry (1991) y Zhang (2005).

En el presente trabajo de investigación, se utilizarán el modelo de Menq (2003) para el caso de los estratos compuestos por arenas y el modelo de Vucetic and Dobry (1991) para el caso de las arcillas, que dependen principalmente de sus propiedades

granulométricas ( $C_u$ ,  $D_{50}$ ), en el caso de las arenas, y de las propiedades de plasticidad ( $IP$ ), en el caso de las arcillas.

#### 2.1.4. Mediciones en campo y laboratorio

##### I. Mediciones en Campo

Las pruebas que se pueden realizar en campo para obtener ciertas propiedades dinámicas del suelo son diversas, a continuación, se describen las más conocidas como la prueba Downhole, MASW y arreglo de microtremores.

- **Ensayo Downhole:**

Este ensayo consiste en generar ondas sísmicas en la superficie, para esto se producen golpes verticales y horizontales en una placa, tal como se muestra en la Figura 7. Las ondas P (compresión) y ondas S (corte) son registradas mediante un geófono triaxial para diferentes profundidades de la perforación.

De esta manera, conociendo los tiempos de llegada de las ondas sísmicas, es posible determinar la velocidad de propagación de las ondas a distintas profundidades de la perforación.

La velocidad de la onda S ( $V_s$ ) es simplemente obtenida como la división de la distancia entre el tiempo de viaje. Luego, se calcula el valor de la rigidez  $G$  como  $\rho V_s^2$ .

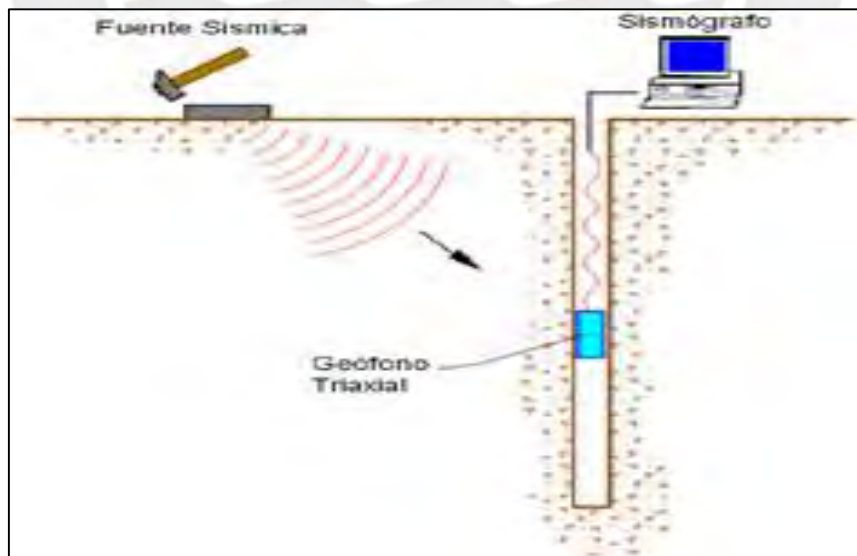


Figura 7: Esquema de un ensayo Down-Hole.

Fuente: Geodatos.cl

- **MASW**

El ensayo MASW o Análisis Multicanal de Ondas Superficiales es uno de los más utilizados para la determinación de estratos y espesores de dichas capas, estimación de módulos elásticos de deformación, estado de compactación y fracturación de los materiales, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que conforman el espacio analizado.

Este ensayo se basa en el análisis de las Ondas de Rayleigh, las cuales se propagan desde una fuente determinada y son recepcionadas por geófonos ubicados en distintos puntos, como se muestra en la Figura 8.

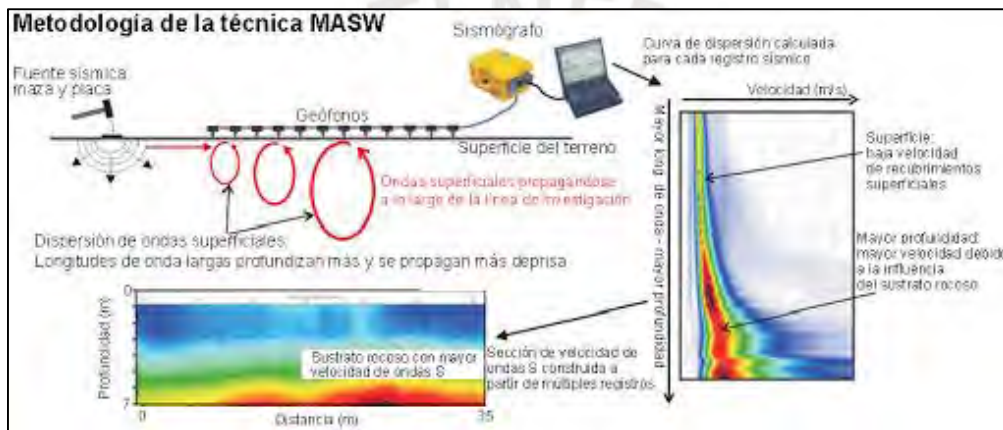


Figura 8: Esquema de un ensayo MASW.

Fuente: Terradat.es

## II. Mediciones en Laboratorio

Dentro de las distintas mediciones que se realizan en laboratorio, se mencionan las más importantes y comunes que son llevadas a cabo en la investigación de las propiedades dinámicas del suelo:

- **Columna resonante:**

Este ensayo consiste básicamente en someter una columna de suelo a una carga longitudinal o torsional oscilante.

- **Prueba de corte simple cíclico:**

Método recomendado para obtener el módulo de corte y la razón de amortiguamiento de un suelo.

- **Prueba triaxial cíclica:**

Se define como el ensayo triaxial en el que las cargas son cíclicas, estas se aplican de forma lenta con el objetivo de evitar la generación de efectos inerciales.

- **Prueba de corte torsional cíclico:**

Este ensayo es empleado para obtener las características de reducción de módulo de corte y razón de amortiguamiento para un amplio rango de deformaciones. Los esfuerzos inducidos son cortantes en planos horizontales que se generan por un momento torsor.

## 2.2. Acelerogramas

### 2.2.1. Concepto

Los Acelerogramas son una representación de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un sismo. Los valores se obtienen mediante unos instrumentos llamados acelerógrafos, los cuales miden la aceleración del suelo en tres sus direcciones usualmente cada 0.01 segundos.

Estos gráficos se caracterizan por ser irregulares y de naturaleza oscilatoria; por ejemplo, tenemos el terremoto de 1970 registrado en Perú como se muestra en Figura 9, el cual sus amplitudes llegan a su máximo valor en sus valores iniciales y luego decrecen rápidamente hasta que se detenga el sismo.

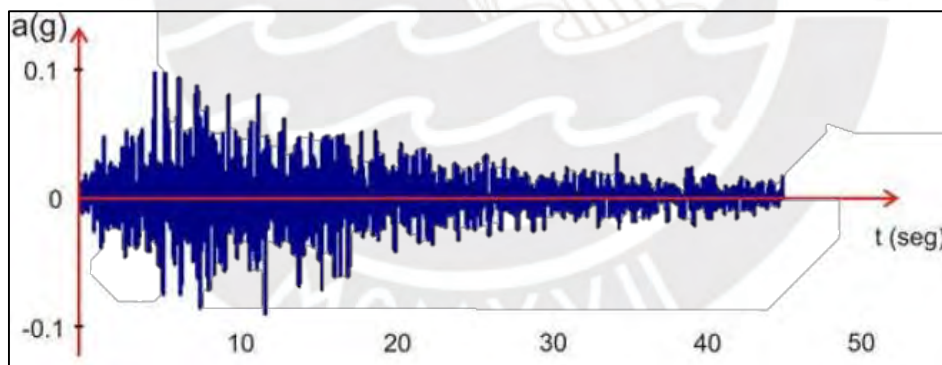


Figura 9: Acelerograma del terremoto del 31/05/1970 (Perú).

Fuente: Ingeniería Antisísmica (Muñoz, 2020)

Una de las principales características de un acelerograma es la aceleración máxima registrada, aunque también se analiza su duración, contenido de frecuencias y la forma.

### 2.2.2. Correcciones

Los errores que se presentan en el uso de Acelerogramas son generados cuando se registra el sismo o se digita el acelerograma. Por lo cual se han identificado dos tipos de errores:

#### I. Tipo instrumental:

- La concordancia entre desplazamientos registrados y calculados no son satisfactorios para periodos largos (35 segundos)
- Los desplazamientos utilizados mediante la doble integración son aceptables hasta periodos de 16 segundos.
- Los errores de alta frecuencia se suavizan por la doble integración.

#### II. Errores de digitación:

- Las gráficas de velocidades son parecidas entre sí.
- Las gráficas de desplazamiento y espectros de respuesta presentan diferencia marcadas.

Debido a que al digitalizar un acelerograma ocurren estos errores, se realizan ciertas correcciones:

- **Corrección instrumental:** Consiste en la convolución del registro con la función de transferencia del instrumento, para esto debemos calibrar considerando la sensibilidad del acelerómetro, la frecuencia natural y el amortiguamiento para obtener un acelerograma corregido.
- **Corrección de la línea base o corrección de ceros:** Muchas veces ocurre que los valores del acelerograma no se encuentran calibrados respecto a la línea cero, esto se debe a que el acelerógrafo no está perfectamente nivelado, o también por que el sistema de registro está provocando una deriva de datos con respecto a la línea base. Este error puede ser imperceptible, pero genera una incoherencia entre los resultados de velocidad y desplazamientos cuando se obtienen por integración ya que se cuenta el área bajo la curva de la aceleración con respecto a la línea base.
- **Ruidos y los filtros:** En el acelerograma hay que tener en cuenta que el ruido tiene una repercusión en los Acelerogramas. Este puede ser ocasionado por fenómenos naturales como también por el tratamiento de datos.

Por eso el acelerograma es la suma de la señal sísmica más el ruido.

$$a(t) = s(t) + r(t)$$

$a(t)$ : Acelerograma sin corregir

$s(t)$ : Señal sísmica

$r(t)$ : ruido

Como se muestra en la Figura 10, el ruido puede ser de dos tipos:

- Ruido de alta frecuencia: Cuando aparece por encima de la banda de frecuencia con la que se trabaja. Este tipo de ruido tiene repercusión en los picos de aceleración, pero debido a que el área bajo la curva es la misma, se compensan los valores.
- Ruido de baja frecuencia: Cuando aparece por debajo de la banda de frecuencia con la que se trabaja. Este tipo de ruido afecta al proceso de integración ya que al obtener la velocidad y el desplazamiento se toma en cuenta el área bajo la curva.

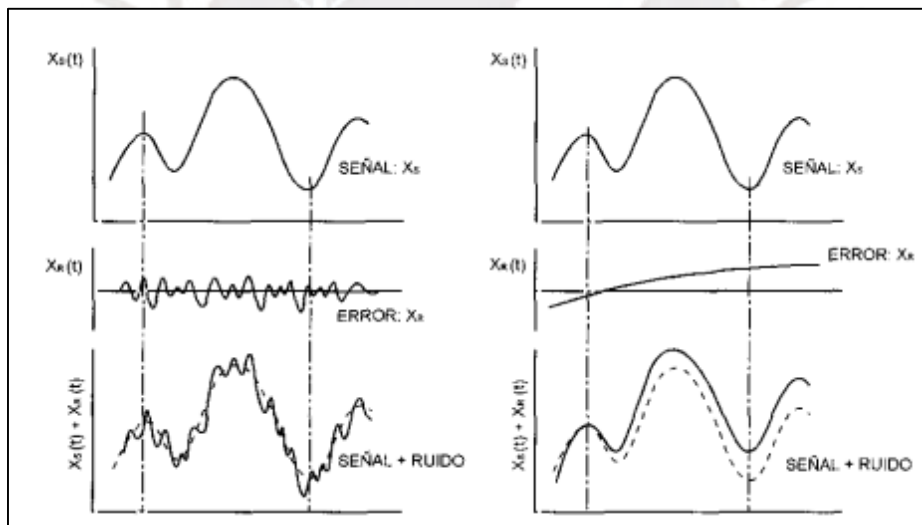


Figura 10: Efecto del ruido de alta frecuencia (←) y del ruido de baja frecuencia (→)

Fuente: Soto (2016)

Debido a estos errores se usan filtros: filtros paso-baja para eliminar altas frecuencias y filtros paso-alta para eliminar bajas frecuencias. Los filtros paso- banda eliminan el ruido de alta y baja frecuencia simultáneamente.

$$A(w) = S(w) + R(m)$$

$H(w)$  es una función filtro:

$$H(w) * A(w) = H(w) * S(w) + H(w)*R(w)$$

Se puede aproximar:

$$S(w) \approx H(w) * A(w)$$

Para usar estos filtros que se muestran en la Figura 11, se necesitan ciertos criterios para no eliminar parte de la señal que nos interesa:

- Filtro ideal paso-bajas: Elimina todas las frecuencias superiores a una dada  $\omega_0$  y deja pasar sin atenuación las frecuencias inferiores.
- Filtro ideal paso-altas: Elimina todas las frecuencias inferiores a una dada  $\omega_0$  y deja pasar sin atenuación las frecuencias superiores.
- Filtro ideal paso-bajas: Elimina todas las frecuencias inferiores a una dada  $\omega_1$  y las superiores a  $\omega_2$  y deja pasar sin atenuación las frecuencias comprendidas entre  $\omega_1$  y  $\omega_2$ .

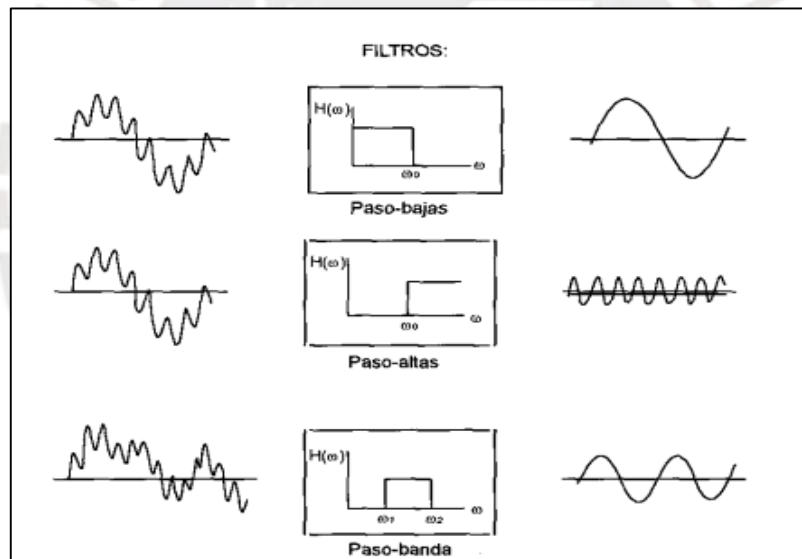


Figura 11: Comportamiento de filtros ideales paso-bajas, paso-altas y paso banda.

Fuente: Soto (2016)

### 2.2.3. Análisis del contenido de frecuencias

#### I. Espectro de Fourier

La aceleración del suelo durante un terremoto constituye formalmente una función de tiempo ( $a(t)$ ) que podemos imaginar cómo compuesta de funciones armónicas sencillas. Para cada función de tiempo  $a(t)$  existe otra función denominada Función de Amplitudes

de Fourier (AF) o Espectro de Fourier (EF) que describe la relevancia de los armónicos que conforman la función de tiempo. Como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para cada frecuencia en el eje horizontal del Espectro de Fourier, las ordenadas indican la importancia por medio de un valor que, en su forma normalizada, está entre 0 y 1.

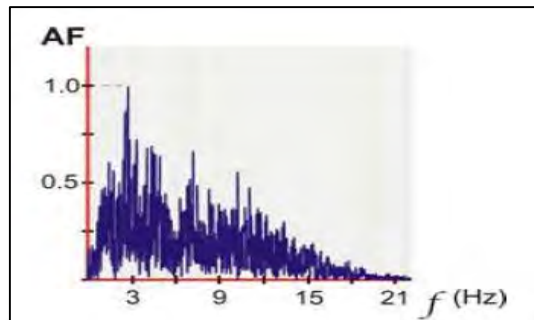


Figura 12: Espectro de Fourier del terremoto del 31-05-1970 (Perú)

Fuente: Ingeniería Antisísmica Muñoz (2020)

## II. Espectro de Respuesta

Para identificar el comportamiento de una estructura frente a un evento sísmico determinado se utiliza los espectros de respuesta elásticos. Estas respuestas máximas son experimentadas en un sistema de osciladores de un grado de libertad de igual amortiguamiento tal como se muestra la figura 13. En esta se observa que cada oscilador tiene su propio periodo de vibración y que en dicho espectro es representado con la respuesta máxima que experimenta debido a la excitación sísmica a la cual están sometidos.

Es decir, el espectro de respuesta toma en cuenta el movimiento del sismo para representar gráficamente el comportamiento de la estructura provocadas por dicho fenómeno, tal como se muestra en la Figura 13. En la ingeniería sismorresistente, estos datos son útiles porque representan la respuesta máxima correspondientes a cada una de las frecuencias, dependiendo a que se usen aceleraciones, velocidades o desplazamientos, se podrán hallar los espectros SA, SV o SD.

Inicialmente se consideran espectros elásticos debido a que se supone que la estructura va a tener una respuesta elástica frente a un sismo.

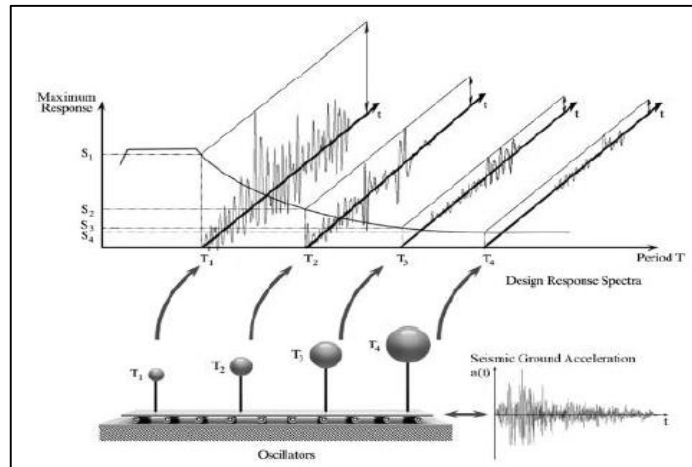


Figura 13: Espectro de respuesta, para distintos periodos de frecuencia

Fuente: Chopra (1995)

### 2.3. Análisis de Peligro Sísmico

El daño que pueda sufrir una obra de ingeniería depende principalmente de la sismicidad de la zona y de las características propias de la estructura. En zonas de alta sismicidad, las obras civiles están expuestas a sufrir daños importantes, sin embargo, el nivel de deterioro que estas presenten dependerá finalmente de las características y condiciones propias con las que fueron construidas.

#### 2.3.1. Concepto

La severidad de los sismos en un emplazamiento determinado se denomina peligro sísmico y depende exclusivamente del panorama sísmico tectónico de la zona, de las características del suelo y de la topografía local. Por su parte, el riesgo sísmico es el daño que podría presentar una obra determinada como consecuencia del peligro que la amenaza y de su propia vulnerabilidad.

$$\text{Riesgo} = \text{peligro} \times \text{vulnerabilidad}$$

Como se puede notar, es muy complicado tener intervención en los aspectos del peligro sísmico, ya que es resultado de la actividad tectónica natural de la corteza terrestre. La dificultad en la evaluación del riesgo sísmico, radica en la caracterización del peligro. Por lo tanto, si se desea reducir el riesgo sísmico, se puede intervenir en la vulnerabilidad propia de las estructuras como su resistencia lateral, su rigidez, su ductilidad, entre otros.

El riesgo sísmico se puede cuantificar a partir de un análisis de riesgo sísmico, como el análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA) y el análisis de peligro sísmico

determinístico (DSHA). A continuación, se detallará de forma breve los elementos que intervienen en el análisis de peligro sísmico.

### 2.3.2. Fuentes sísmicas

Las fuentes sísmicas describen la distribución de los eventos sísmicos en función a su ubicación, tamaño y tiempo de ocurrencia. Pueden ser simbolizados de forma puntual, superficial y volumétrica, como se observa en la figura 2.1.

Las fuentes se utilizan para representar la sismicidad, pues permite determinar parámetros que correlacionan probabilidades dependientes de la distancia y las características propias del sitio. Para un análisis de peligro sísmico, las fuentes de origen pueden ser similares o algo diferentes de las fuentes reales. Esto dependerá de la geometría relativa de la fuente, el sitio de interés y de la calidad de la información sobre las fuentes, tal y como se muestra en la Figura 14.

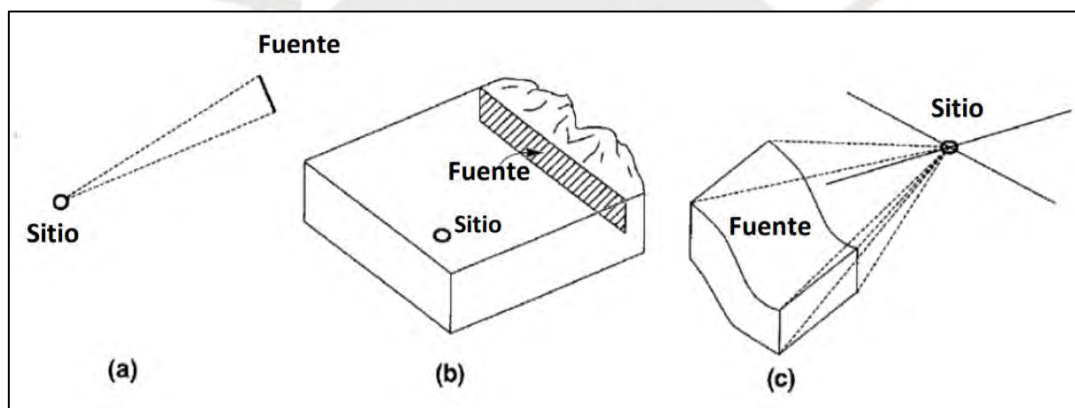


Figura 14: Diferentes geometrías de las fuentes sísmicas. (a) Falla corta que puede ser modelada como una fuente puntual, (b) falla superficial que puede ser modelada como fuente lineal, (c)

Fuente: Kramer (1996).

Para la evaluación de peligro sísmico de un sitio en específico, es necesario determinar la función de probabilidad como una fracción de la geometría respecto del total de la geometría, descrita por las fuentes.

### 2.3.3. Parámetro de recurrencia

En cualquier región del mundo, el número de terremotos pequeños es significativamente mayor que el número de sismos grandes. La relación entre la magnitud y el número de sismos depende del proceso de liberación de la energía elástica de la corteza. Como este proceso es muy poco conocido, la relación magnitud-número de

sismos debe manejarse en términos estadísticos. Las ecuaciones que se obtienen del análisis de regresión se denominan ecuaciones de recurrencia de magnitudes. (Muñoz).

Gutenberg y Richter propusieron en 1944 la siguiente relación entre la magnitud (M) y el número de sismos (N) con magnitud igual o mayor que M.

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

Las constantes a y b se determinan mediante un análisis de regresión con los datos de la zona correspondientes a un intervalo de tiempo definido que, luego, generalmente se normaliza a la unidad.

Esta ley de recurrencia ha tenido que ser limitada a una magnitud máxima conocida como

ley de Gutenberg-Richter modificada o truncada, y se expresa con la siguiente ecuación:

$$N_M = v * \left( \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_{max}}}{e^{-\beta M_{min}} - e^{-\beta M_{max}}} \right), \quad v = e^{\alpha - \beta M_{min}}$$

Donde  $N_M$  es el número acumulado de sismos de magnitud mayor a M por unidad de tiempo,  $\alpha = 2.303a$ ;  $\beta = 2.303b$ ;  $v$  = tasa media anual de la actividad sísmica. En la Figura 15, se puede observar las curvas características de la ley de recurrencia de Gutenberg-Richter y ley de recurrencia de Gutenberg-Richter truncada a una magnitud máxima.

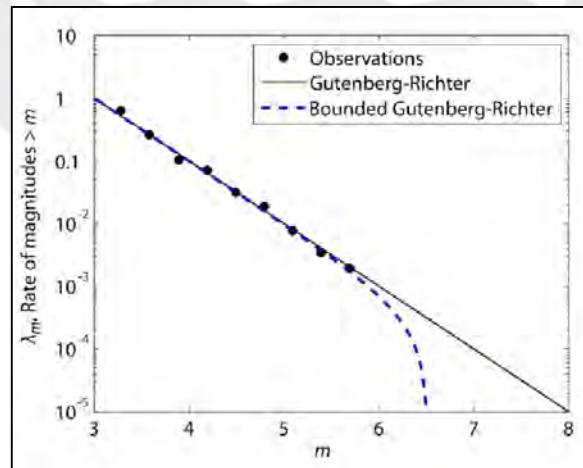


Figura 15: Ley de recurrencia Gutenberg-Richter truncada.

Fuente: Baker (2001)

### 2.3.4. Leyes de Atenuación

A medida que las ondas sísmicas se propagan, la energía se va disipando y los efectos en la superficie disminuyen. Este fenómeno de atenuación de efectos es altamente complicado y para fines de ingeniería su manejo se hace sobre la base del procesamiento estadístico de las observaciones de campo. (Muñoz).

El problema se maneja mediante un análisis de regresión de valores pico (“y”) en función de la magnitud del sismo (M) y de la distancia del lugar en estudio al foco o al epicentro (R). Estas expresiones se conocen como leyes de atenuación y constituyen relaciones empíricas con un considerable nivel de dispersión y evidentes limitaciones.

$$\ln(Y) = f(M, R) + n\sigma_{\ln Y}$$

Donde n es un número constante de desviaciones estándar ( $\sigma_{\ln Y}$ ) medida como la diferencia relativa a la mediana del movimiento de tierra  $f(M, R)$ . Por lo tanto, la relación de atenuación del movimiento describe una relación espacial entre un parámetro de movimiento, la magnitud del terremoto y la distancia fuente-sitio.

### 2.3.5. Análisis del peligro sísmico

La cuantificación del peligro sísmico puede darse en base a los valores máximos que podría alcanzar un indicador de daño como la intensidad, la aceleración o el desplazamiento del suelo, el cual corresponde a un enfoque determinístico del estudio del peligro sísmico. Sin embargo, considerar los valores máximos correspondientes a eventos excepcionales, que acontecen en periodos de tiempo muy largos, tendrían pocas probabilidades de ocurrencia. Por esto, la cuantificación del peligro sísmico debe considerar términos de probabilidades dependientes del tiempo asociados a niveles de riesgo durante su tiempo de vida, es decir presentar un enfoque probabilístico (Muñoz,2016).

#### A. Análisis de peligro sísmico determinístico

Consiste en desarrollar escenarios sísmicos posibles, a partir de los cuales se obtendrán parámetros sísmicos de diseño. Cada escenario considera la ocurrencia de un terremoto de magnitud y ubicación conocida (Alva, 2018). Las cuatro etapas del análisis determinístico son los que se muestran en la Figura 16.

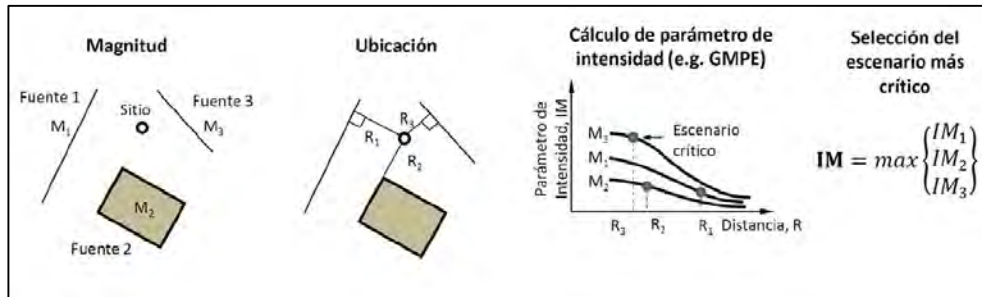


Figura 16: Etapas del análisis de peligro sísmico determinístico.

Fuente: Alva (2018)

## B. Análisis de peligro sísmico Probabilístico

El análisis de peligro sísmico probabilístico PSHA (siglas en inglés) fue desarrollado en la década de 1970 para estimar el riesgo sísmico, con el objetivo de cuantificar las incertidumbres de las fuentes sísmicas, trayecto de propagación de la onda, y las condiciones del sitio (Cornell, 1968, 1971).

El análisis probabilístico de peligro sísmico se ha desarrollado con los años en temas como la disgregación del peligro sísmico (McGuire, 1995), el análisis de respuesta de sitio no lineal (Bazurro y Cornell, 2004), los efectos de falla cercana (Tothong et al., 2007) y el análisis del peligro de réplicas (Yeo y Cornell, 2009).

Como se muestra en la Figura 17, el análisis probabilístico de peligro sísmico está comprendido por las siguientes cuatro etapas:

- Identificación y Caracterización de las Fuentes Sismogénicas
- Caracterización de la Sismicidad o Distribución Espacial y Temporal de los Sismos (Ley de recurrencia)
- Determinación del movimiento sísmico (Ley de atenuación)
- Probabilidad de la intensidad medida

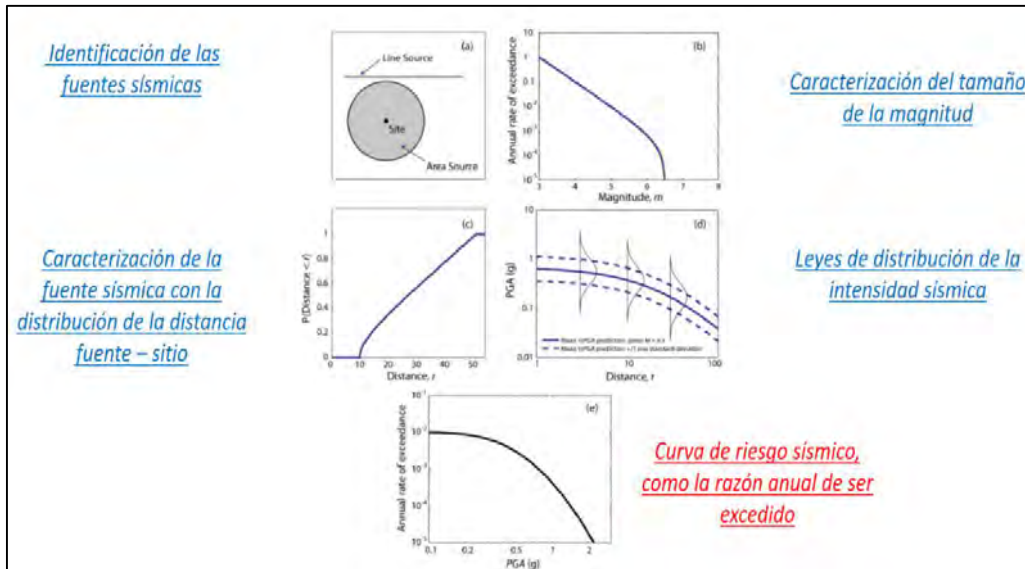


Figura 17: Etapas del análisis de peligro sísmico probabilístico.

Fuente: Soto (2016)

Los resultados que se pueden obtener con un análisis probabilístico de peligro sísmico son las curvas de peligro sísmico (gráficas de los niveles esperados del movimiento del suelo como función de probabilidad) y espectros de peligro uniforme, las cuales son herramientas esenciales para el desarrollo de los mapas nacionales de peligro sísmico y para las disposiciones modernas de diseño sísmico en los códigos nacionales de edificios (Teshfamariam & Goda, 2013).

## 2.4. Acelerograma sintético

En el Perú, el número de registros sísmicos existentes de eventos moderados y fuertes son muy escasos, la información que se ha obtenido es básicamente la obtenida en la ciudad de Lima. Por esta razón, se hizo un esfuerzo por crear hoy en día una red acelerográfica nacional conformada por el CISMID y el colegio de ingenieros del Perú (CIP) (Barreto, 2019).

### 2.4.1. Conceptos

Un acelerograma sintético se desarrolla mediante la modificación de un acelerograma original aplicando técnicas numéricas para un evento sísmico de diseño. Asimismo, son bastante utilizados en los lugares donde los acelerogramas reales son insuficientes o no existen, con la finalidad de completar bases de datos y desarrollar investigaciones. Finalmente, existen dos caminos para la modificación de un acelerograma, los cuales son

el escalamiento y el ajuste espectral. Por un lado, el escalamiento consiste en multiplicar el acelerograma inicial por un factor constante, de manera que el espectro del acelerograma escalado sea igual o exceda el espectro de diseño sobre un rango de periodo especificado. Por otro lado, el ajuste espectral consiste en modificar el contenido de frecuencias de la serie de tiempo para que coincida con el espectro de diseño en todos los periodos espectrales (Soto, 2016).

Existe una diversidad de métodos que se han desarrollado para modificar un acelerograma de referencia para que el espectro de respuesta sea compatible con un espectro objetivo. Por esta razón, existen tres procesos básicos para la adaptación espectral: método de dominio de la frecuencia, método de dominio de la frecuencia con la teoría de vibraciones aleatorias y el método de dominio de tiempo (Soto, 2016). Para la presente investigación se utilizará el método de dominio de tiempo.

#### **2.4.2. Método de dominio de tiempo**

El método de dominio de tiempo es una alternativa de ajuste espectral de las tres mencionadas anteriormente, la cual es una función matemática que está localizada tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, esta habilidad es especialmente útil para el análisis de señales no estacionarias como la de los movimientos sísmicos. Además, esta función es harmónica o repetitiva que está concentrada en una duración finita y es preciso mencionar que a estas funciones se les llama wavelets, las cuales pueden tener distintas formas funcionales (Flores & Ayes, 2018).

##### **- Ajuste espectral mediante Wavelet:**

Lilhanand y Tseng en 1998, fueron los que iniciaron proponiendo un algoritmo formalmente con el desarrollo del procedimiento de ajuste espectral en el dominio de tiempo mediante el uso de wavelets. En el que su propuesta metodológica utiliza funciones de wavelets, pero no se basan en la teoría convencional de ésta (Flores & Ayes, 2018). Sin embargo, a través del tiempo hasta la actualidad, su algoritmo se ha ido actualizando y mejorando, pues existen dos versiones posteriores a la propuesto

por Lilhanand y Tseng, uno del año 2005 y el otro del año 2009, los cuales se muestran en la Figura X. La versión más actualizada es la propuesta por Atik y Abrahamson, en la que proponen una nueva función de ajuste de denominada Improved Tapered Cosine, la cual admite el uso de una solución analítica y cuya forma funcional integra directamente a cero tanto en velocidades como desplazamientos. (Flores & Ayes, 2018). En la presente investigación se hizo de versión más actualizada propuesta por Atik y Abrahamson para la generación de un acelerograma sintético.

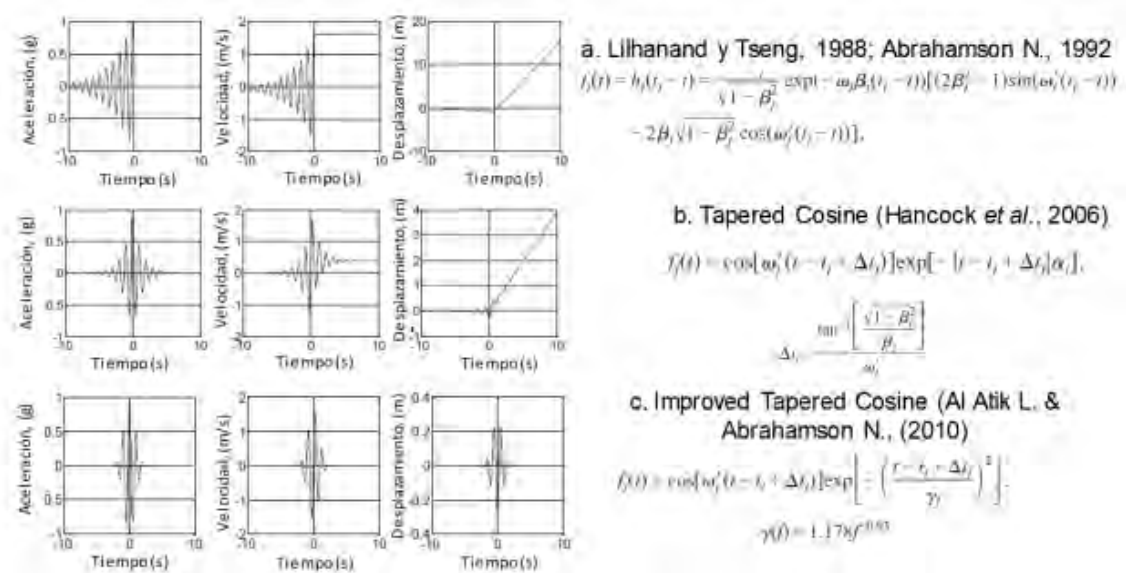


Figura 18: Versiones de wavelets.

Fuente: Flores & Ayes (2018)

## 2.5. Análisis de respuesta de sitio

### 2.5.1. Concepto

El análisis de respuesta de sitio corresponde al estudio de los cambios de intensidad y frecuencia que se generan durante un movimiento sísmico debido a la propagación de ondas por diferentes estratos de suelo (Caisapanta, 2019). Está basado en la hipótesis que los estratos son horizontales en toda su extensión y la respuesta del suelo está predominada por la propagación vertical de onda SH (Kramer, 1996).

Este tipo de estudio se determina a partir de funciones de transferencia; este método es limitado al análisis de sistemas lineales. Por ello, existen procedimientos iterativos con

propiedades equivalentes que permiten aproximarse al comportamiento no – lineal. (Krammer, 1996).

#### **A. Función de transferencia**

Los diferentes estratos de suelo son las variables más influyentes y representan un problema para el análisis de la respuesta real de los suelos, ya que presentan propiedades como la rigidez, amortiguamiento que en los límites de estos estratos (fronteras) las ondas serán reflejadas o transmitidas. Debido a la presencia de estratos múltiples se requiere el desarrollo de funciones de transferencias; denominadas zonas de amplificación o des amplificación; que son determinantes para obtener la respuesta en la superficie. (Caisapanta, 2019).

#### **B. Amplificación de ondas sísmicas**

Como se muestra en la Tabla 1, la amplificación de ondas sísmicas representa la modificación de la señal sísmica que se genera debido a la presencia de estratos de suelos entre la roca y la superficie. Por ello, se generan variaciones en los contenidos de frecuencias y la amplitud de la señal. De manera que la intensidad varía subiendo el riesgo de posibles daños a las infraestructuras. La amplitud de la onda sísmica depende del mecanismo focal, de la cantidad de energía liberada, de la trayectoria y las condiciones que posee el sitio. (Caisapanta, 2019).

Tabla 1: Amplificaciones de ondas sísmicas

<b>Amplificación Geométrica</b>	<b>Amplificación Dinámica</b>
---------------------------------	-------------------------------

- Corresponde a las amplificaciones ocasionadas por el contraste de impedancia que se define como la relación de la influencia de impedancia entre dos estratos en contacto

$$I_c = \frac{\rho_r * V_r}{\rho_s * V_s}$$

Dónde:

Ic: Contraste de Impedancia.

$\rho$ : Densidad, estrato rocoso(r) y nivel sedimentario(s).

V: Velocidad de onda, estrato rocoso(r) y nivel sedimentario(s).

- Si la impedancia baja la resistencia del suelo al movimiento de la onda sísmica disminuye.

- Conocido como efecto de resonancia, relaciona la frecuencia de las ondas sísmicas y la frecuencia del suelo.

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

Dónde:

fn: Frecuencia natural del depósito sedimentario (Hertz).

Vs: Velocidad de onda de corte (m/s).

H: Espesor del estrato (m).

- Sí la relación entre la frecuencia de la onda sísmica y la frecuencia natural del depósito de suelo es aproximadamente una unidad se produce amplificación por resonancia, incrementando la amplitud del movimiento del suelo de forma significativa.

Fuente: Adaptado de la tesis: “Comparación de dos programas en el análisis de respuesta de sitio en depósitos con suelos blandos.” -(Caisapanta, 2019).

## 2.5.2. Modelo de respuesta del suelo

En la Tabla 2, se presentará diferentes modelos de esfuerzo- deformación que se utilizan en diferentes softwares: (EERA, NERA y DEEPSOIL)

Tabla 2: Modelos de respuesta del suelo

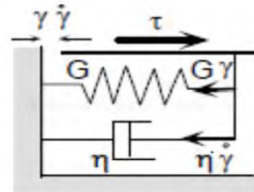
- Este modelo representa la respuesta esfuerzo-deformación, basada en un resorte y un amortiguador.

**Modelo**

**De**

**Kelvin  
Voilgst**

- El esfuerzo de corte ( $\tau$ ) depende de la deformación cortante ( $\gamma$ ) y la razón de cambio, como se muestra en la siguiente relación y Figura 19:



$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

Figura 19: Representación de esfuerzo-deformación en modelo lineal equivalente

**Modelo  
de Iwan-  
Mroz**

- Modelo no lineal histerético propuesto por Iwan y Mroz (1967)
- Emplea una serie de “n” elementos mecánicos, para un espesor de suelo, teniendo diferente rigidez  $K_i$  y resistencia al deslizamiento  $R_i$ .
- En la Figura20, se muestra la representación de un espesor de suelo particular.

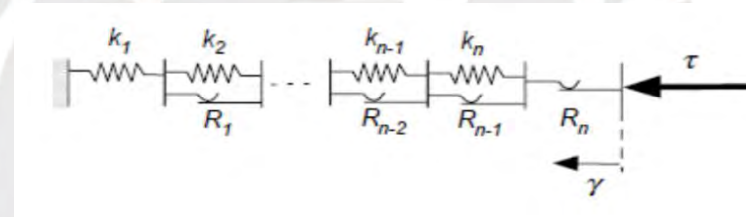


Figura20: Representación de los elementos mecánicos del modelo IwanMroz

- El elemento tiene un incremento a la resistencia, además las resistencias residuales de todos los elementos son igual a cero. Durante una carga monótonica, el elemento i-ésimo fluye cuando el esfuerzo de corte  $\tau$  alcanzado es  $R_i$ .

**Modelo  
MKZ**

- El modelo MKZ desarrollado por Matasovic y Vucetic (1993), es una modificación del modelo de Konder y Zelasko (1963).
- Este modelo cubre un rango amplio de deformaciones de corte.
- El modelo hiperbólico es descrito por conjuntos de ecuaciones, el primero indica la relación esfuerzo-deformación para la carga, el segundo es la relación esfuerzo-deformación para las condiciones de cargas y descarga.

Fuente: adaptado de la tesis evaluación de espectros de respuesta mediante el análisis de respuesta de sitio unidimensional en siete distritos de lima –Jorge Soto Huamán 2016.

### 2.5.3. Método de análisis

#### I. Análisis en el dominio de las frecuencias

Este análisis se enfoca para sistemas lineales mediante la función de transferencias. Se considera un depósito de suelo estratificado horizontalmente donde la onda de corte se propaga verticalmente desde la base hasta la superficie del terreno (Kramer, 1996), como se muestra en la Figura 21.

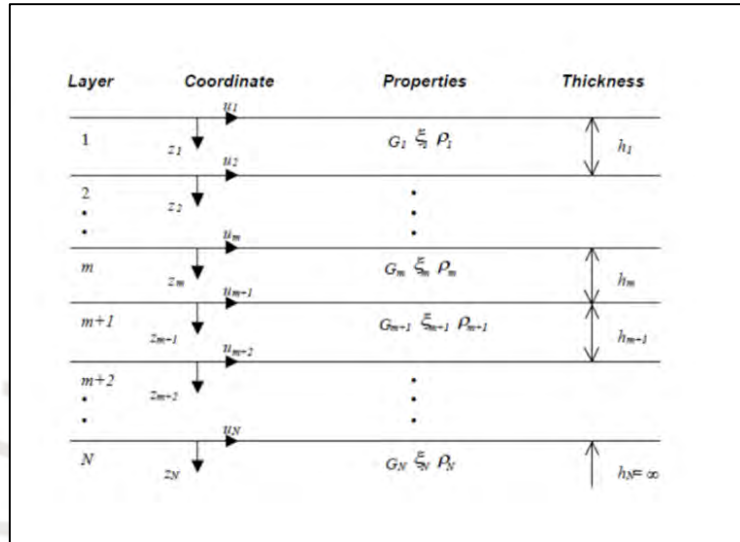


Figura 21: Sistemas del depósito de suelo estratificado unidimensional.

Fuente: Schnabel et al (1972)

#### II. Análisis en el dominio del tiempo

Este tipo de análisis es para un comportamiento no lineal de un depósito de suelo, para ello se utiliza métodos numéricos, como la integración de la ecuación del movimiento en pequeños incrementos de tiempo cualquier modelo esfuerzo-deformación lineal o no lineal (Kramer, 1996).

## **CAPÍTULO 3**

### **DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO**

#### **3.1. Ubicación del área de estudio**

Se desarrollará el análisis de respuesta de sitio unidimensional en el distrito de Puente Piedra, específicamente en la esquina entre la avenida Juan Lecaros y la calle San Pedro, de coordenadas locales  $-11.86^\circ$  y  $-77.07^\circ$ .

Dicha ubicación corresponde a un proyecto educativo, donde se pretende determinar el espectro de respuesta en sitio y compararlo con el espectro de diseño propuesta por la norma E030.

#### **3.2. Marco geomorfológico y geológico del caso de estudio**

Las características geomorfológicas del área de estudio, se ha tomado en base a las investigaciones desarrolladas por el Cismid en su estudio de Microzonificación Sísmica del distrito de Puente Piedra en el año 2011.

##### **3.2.1. Geomorfología de Puente Piedra**

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área en estudio, han sido modelados por eventos tectónicos, sobreimpuesto por los procesos de geodinámica, así como por la erosión y la incisión por el drenaje del río Chillón.

Las unidades geomorfológicas existentes en el área estudiada son clasificadas como de lomas y cerros testigos, las que a continuación se detallan:

- Las lomas y cerros testigos, presentan una topografía subordinada a la litología de las unidades geológicas y a la labor erosiva del río Rímac.
- Los cerros testigos que se encuentran en el área en estudio, estas comprometidos por rocas volcánicas producto de derrames volcánicos y , las cuales presentan diferente resistencia al intemperismo, por lo que sus rasgos topográficos son de pendientes empinadas y a veces de relieves regularmente suaves, cuando son areniscas es importante conocer la potencia de los estratos y su grado de meteorización, dando como resultado pendientes empinadas y a veces de relieves regularmente suaves, cuando se trata de lutitas y limolitas las formas son redondeadas con pendientes más suaves.

### **3.2.2. Geología de Puente Piedra**

#### **I. Aspectos Geológicos y Litológicos**

La secuencia estratigráfica de la región abarca las formaciones, que se ubican en el marco del área de estudio. La geología regional comprende rocas con edades del Cretáceo Inferior, que a continuación se describen:

#### **Volcánico Santa Rosa (Ki-v sr)**

Es una serie predominantemente volcánica, cuya litología corresponden a rocas de naturaleza pétrea volcánica, del tipo andesita de color gris y donde estas han sufrido procesos de metamorfismo de contacto (por batolito de la costa) son del tipo metaandesitas porfiríticas, derrames andesíticos porfiríticos, que se intercalan con capas delgadas de arenisca de grano fino y lutitas pizarrosas. Las rocas volcánicas al intemperizarse, muestran una disyunción esferoidal incipiente y la alteración corresponde a una propilitización. La edad correspondiente es el Jurásico superior Cretáceo inferior.

#### **Formación Puente Inga (Ki-pi)**

Esta unidad sobryace al volcánico Santa Rosa e infrayace a la Formación Ventanilla, esta serie es predominantemente volcánicasedimentaria, formado por andesitas afaníticas, en capas delgadas, que se intercalan con limolitas y areniscas, sobryaciendo a estos se encuentra una secuencia sedimentaria del tipo lutita tobácea blanquecina. La edad correspondiente para esta formación es el cretáceo inferior.

#### **Formación Ventanilla (Ki-v)**

Es una serie volcánico sedimentario, perteneciente al miembro superior de la formación ventanilla, que cosiste de una secuencia mayormente sedimentaria, con algunas intercalaciones volcánicas, litológicamente está representado por intercalaciones de areniscas feldespáticas y areniscas limolíticas de grano fino en capas de delgadas a medianas, intercalas con las rocas descritas, se observan algunos horizontes del tipo volcánico de textura afanítica. La edad correspondiente es el cretáceo inferior.

#### **Formación Cabo Blanco (Ki-cb)**

Es secuencia sedimentaria –volcánica, predominantemente las rocas sedimentarias en la base y las volcánicas al tope. Litológicamente está compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas volcánicas consisten de derrames andesíticos afaníticos,

que se presentan en horizontes gruesos bien estratificados de color gris. La edad correspondiente es el cretáceo inferior.

## **II. Aspectos de Geología Estructural.**

En el área de estudio y alrededores, producto de la fase compresiva cretáceo inferior y del Terciario Inferior, durante este último las rocas han desarrollado un sistema de fallamiento con dirección NO – SE paralelo a la Cadena Andina, que ha favorecido el rápido desarrollo de la erosión lineal, así como un sistema de fracturas que obedecen a procesos tectónicos de compresión Post – batolito. Los grandes esfuerzos tangenciales han causado el fracturamiento intenso de los cuerpos rocosos ígneos, con fracturas ligeramente meteorizadas a limpias, que presentan aberturas que van desde milímetros a centímetros, lo que ocasiona que las rocas volcánicas producto de derrames volcánicos y , las cuales presentan diferente resistencia al intemperismo, por lo que sus rasgos topográficos son de pendientes empinadas y a veces de relieves regularmente suaves, cuando son areniscas es importante conocer la potencia de los estratos y su grado de meteorización, dando como resultado pendientes empinadas y a veces de relieves regularmente suaves, cuando se trata de lutitas y limolitas las formas son redondeadas con pendientes más suaves. En superficie éstas se encuentren disturbadas y propensas a la inestabilidad.

## **III. Morfogénesis y Aspectos Geodinámicos**

La configuración del relieve en la región está subordinada a procesos morfogenéticos que han ocurrido en el pasado geológico. A continuación, se describe estos procesos:

### **Morfogénesis Terciaria**

Está asociada al inicio de la Orogénesis Andina, que ocurrió de fines del Mesozoico al Terciario Inferior, y la última fase de orogénesis (desde el Pleistoceno, hasta el Cuaternario Reciente) que se manifiesta con el levantamiento que eleva los Andes a sus altitudes actuales aproximadamente; luego una prolongada fase erosiva en el Terciario Medio redujo los Andes al estado de llanuras no muy elevadas sobre el nivel del mar. El rápido levantamiento plio-pleistoceno determinó un brusco incremento en las pendientes generales en el relieve con el consiguiente desarrollo de procesos erosivos e incisión fluvial.

## **Morfogénesis Cuaternaria**

El relieve ha sido modelado por la ocurrencia de las Glaciaciones Andinas, que originó gases fríos y húmedos por lo que el clima de la sierra recibió precipitaciones más abundantes que en la actualidad; lo que ocasionó que los huaycos de la región andina lleguen inclusive hasta el nivel del mar.

La morfogénesis cuaternaria se caracteriza por un climatismo geomorfológico mucho más activo que el actual, especialmente durante la fase de glaciación andina, la última de las cuales duró aproximadamente 70,000 años, habiendo concluido hace 10,000 años.

### **3.3. Caracterización geotécnica**

#### **I. Perfil estratigráfico para el área de estudio**

Para describir las características geotécnicas del caso de estudio se recopiló información de trabajos de investigación realizados por Calderón (2012), el informe de microzonificación sísmica en puente piedra desarrollado por el CISMID (2011) y de la plataforma virtual para la visualización sistematizada de perfiles de suelo desarrollado por SENCICO (2019).

De igual forma se tomaron de referencia los estudios de mecánica de suelo realizados en la construcción del centro comercial “Las Vegas” y del propio proyecto educativo en mención.

#### **A. Reportes sobre la estratigrafía cercanas a la zona de estudio**

En el informe del CISMID (2011) se menciona la estratigrafía predominante para la zona de estudio. El primer estrato, de 0 a 9 m de profundidad correspondería a una arena fina y gruesa con presencia de arcillas. El segundo de 9 a 40 m de profundidad una arcilla con presencia de láminas de arena fina y gruesa. El tercero de 40 a 53 m de profundidad corresponde a un material arcilloso con capas de arena gruesa y fina. El cuarto de 53 a 68 m de profundidad un material arcilloso con presencia de arena fina y gruesa con cascajo. Y el quinto de 68 a 80 m de profundidad arena fina y gruesa, con arcilla y piedras angulosas pequeñas.

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos realizados por solicitud de la empresa Capital Investor SAC (2017), para la construcción del centro comercial “Las Vegas Plaza”, el perfil estratigráfico que describe el estudio de mecánica de suelos se detalla de la siguiente manera. El primer estrato de 0.00 a 3.00 m corresponde a un material arcilloso

de color marrón oscuro, poco húmedo de baja plasticidad clasificado según SUCS como CL. El segundo estrato de 3.00 a 4.30 m corresponde a un suelo Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo de baja plasticidad, clasificado según SUCS como ML. El tercer estrato de 4.30 a 7.00 m corresponde a un material arcilloso de color marrón oscuro, de mediana plasticidad clasificado según SUCS como CL. El cuarto estrato de 7.00 a 9.60 m corresponde a un suelo Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo de baja plasticidad, clasificado según SUCS como ML. El quinto estrato de 9.60 a 10.70m corresponde a un limo arenoso de color plomizo medio húmedo, medio denso de baja plasticidad clasificado según SUCS como ML. El nivel freático fue estimado a una profundidad de 10.70 m.

En base a los resultados del estudio de mecánica de suelos realizados para el proyecto educativo, se tiene el siguiente perfil estratigráfico. El primer estrato de 0.00 a 0.90 m corresponde a una arena suelta mal graduada, ligeramente húmeda, marrón oscuro clasificado según SUCS como SP. El segundo estrato de 0.90 a 3.60 m corresponde a una arcilla de baja plasticidad de color marrón amarillenta, medio húmedo clasificado según SUCS como CL. El tercer estrato de 3.60 a 5.00 m corresponde a un material arcilloso de color marrón rojizo, de mediana plasticidad clasificado según SUCS como CL.

#### **B. Perfil estratigráfico para el análisis de respuesta de sitio**

Como se pudo notar, existe una gran divergencia estratigráfica de un punto a otro. Por ello, es un poco discutible precisar la estratigrafía correcta. Para fines de esta investigación académica se realizará una compatibilización de las distintas fuentes para recrear un perfil estratigráfico representativo del sitio, el cual se detalla en la Figura 22.

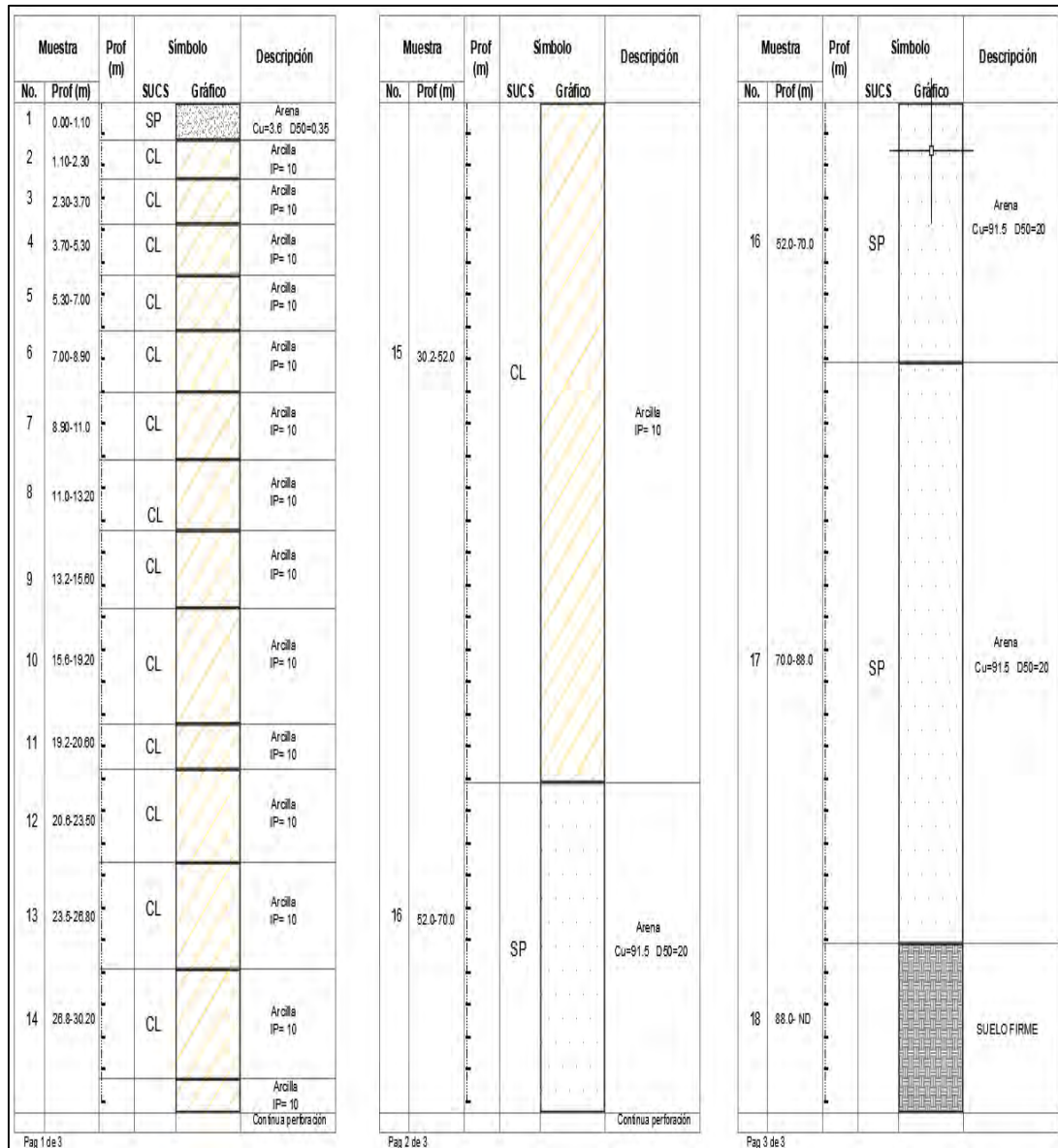


Figura 22: Perfil estratigráfico del caso de estudio.

Fuente: Propia

## II. Perfil de Velocidad de ondas de corte

El perfil de velocidad de onda se elaboró en base a los resultados de ensayos geofísicos realizados para el proyecto y publicaciones científicas presentadas por instituciones como SENCICO y el CISMID; además de la investigación realizada por Calderón (2012).

En la Figura 23, se presenta la estimación del perfil de velocidades de onda de corte en base a los resultados observados en un radio de 200 m respecto a la zona de estudio.

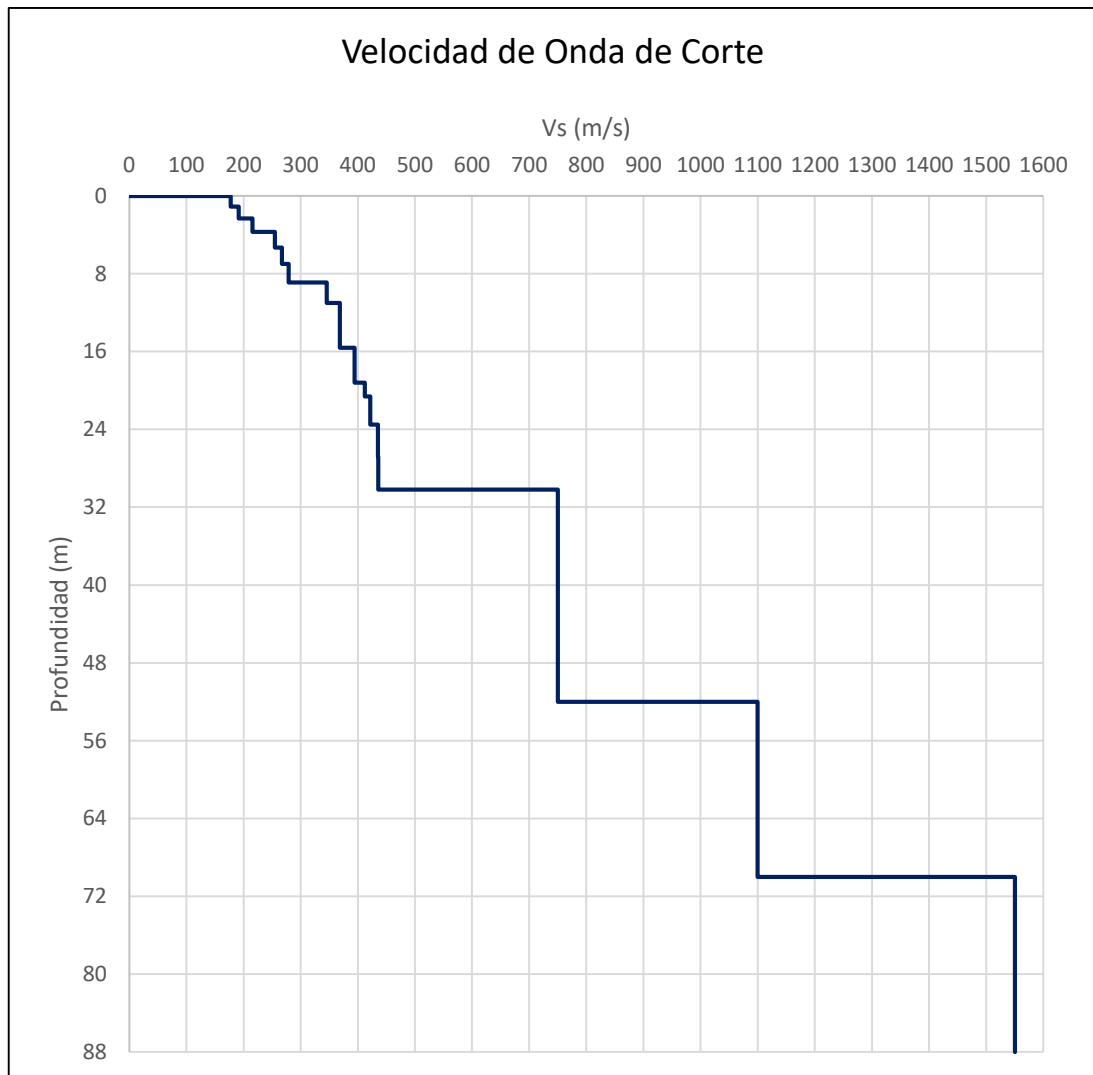


Figura 23: Perfil de velocidades de ondas de corte del caso de estudio.

Fuente: Propia

### 3.4. Selección de curvas Dinámicas

En el presente trabajo de investigación se utilizó la relación propuesta por Menq (2003) para estimar la curva de reducción de modulo y cociente de amortiguamiento de suelos arenosos y la relación propuesta por Vucetic y Dobry (1991) para estimar las curvas de reducción de modulo y de cociente de amortiguamiento de los suelos arcillosos.

Cabe mencionar que las curvas de reducción en las arenas presentan un coeficiente de uniformidad  $C_u=10$  para el primer estrato y un  $C_u=26.3$  en capas inferiores, esto de acuerdo a resultados del análisis granulométrico. De igual manera se presenta el valor del  $D_{50}=30$  mm para el primer estrato y un  $D_{50}=20$  mm para el último.

Para el caso de las curvas de reducción en las arcillas, se usará un índice de plasticidad común en todos los estratos de  $IP=10$ .

Para todas las condiciones se realizará el ajuste de las curvas en base a un factor de reducción propuesta por Darendeli (2001), usando una función que viene incorporada en el software Deepsoil v.7 que busca el mejor parámetro de ajuste tanto para la curva de reducción del módulo de corte y la curva de degradación de amortiguamiento.

En la Figura 24 y Figura 25, se muestran las curvas de degradación de módulo, las curvas de amortiguamiento y las de resistencia cortante en las arenas y arcillas para el presente caso de estudio.

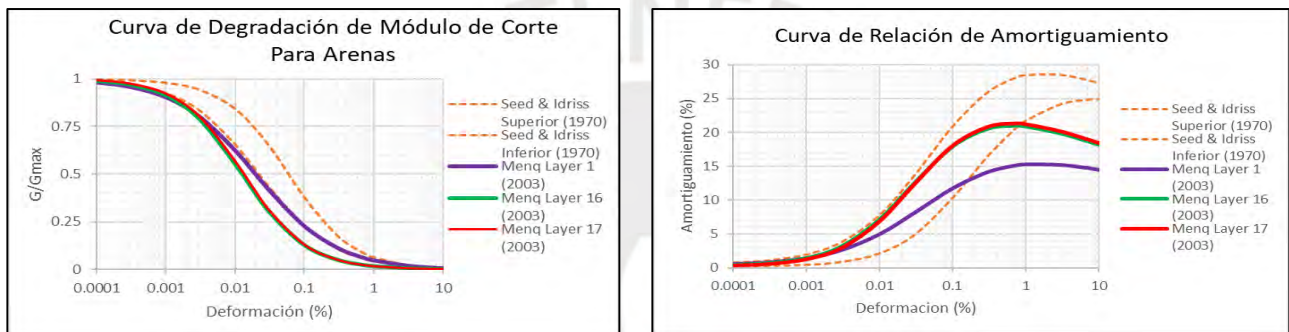


Figura 24: Curva de degradación del módulo de corte y la curva de relación de amortiguamiento para arenas del caso de estudio.

Fuente: Propia

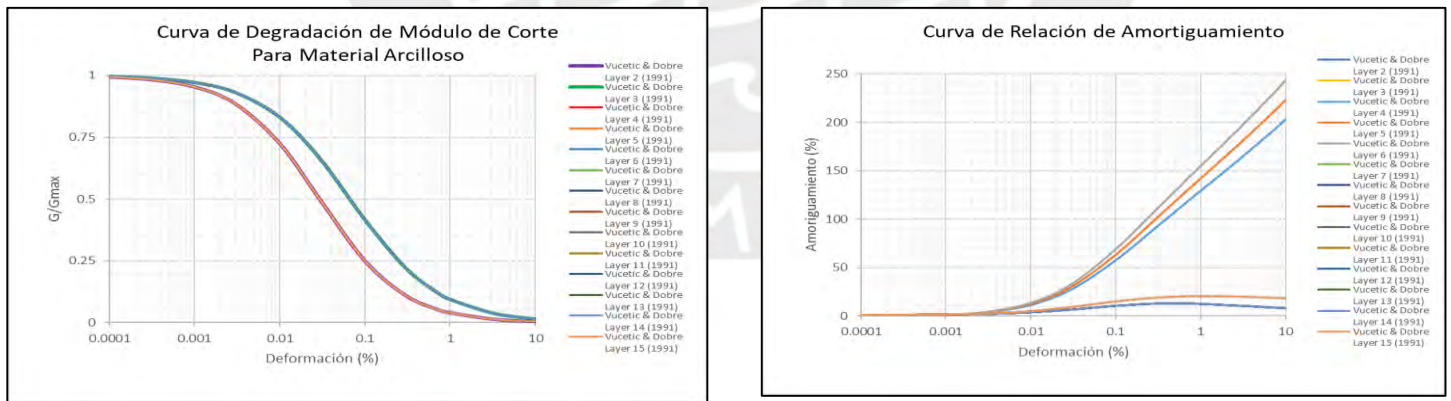


Figura 25: Curva de degradación del módulo de corte y la curva de relación de amortiguamiento para arcillas del caso de estudio.

Fuente: Propia

# CAPÍTULO 4

## ANÁLISIS DE RESPUESTA DE SITIO

### 4.1. Selección de Registros acelerográficos

Para realizar este trabajo de investigación se seleccionaron cuatro diferentes registros en roca y suelos firmes de eventos sísmicos ocurrido en Perú y Chile, tal como se muestra en la Figura 26. Esto con el propósito de evaluar distintos escenarios y ampliar la comparación de resultados. Los registros escogidos pertenecen al terremoto de Huaraz-Perú (1970), terremoto de Lima-Perú (1974), el terremoto de Atico-Perú (2001) y el terremoto de Maule-Chile (2010).



Figura 26: Ubicación de epicentros de sismos utilizados para el análisis.

Fuente: Propia

En la Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, se muestran algunas características principales de los registros seleccionados para realizar los análisis de respuesta dinámica del caso de estudio. De igual forma, en la Figura 27, Figura 28, Figura 29 y Figura 30 se

muestran los acelerogramas corregidos por línea base y filtro en el software SeismoSign para cada uno de los eventos.

Huaraz 1970:

Tabla 3: Datos del sismo de Huaraz de 1970

Magnitud	Fecha	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
7.9	31/05/1970	-9.36	-78.87	64	321.4

Fuente: IGP

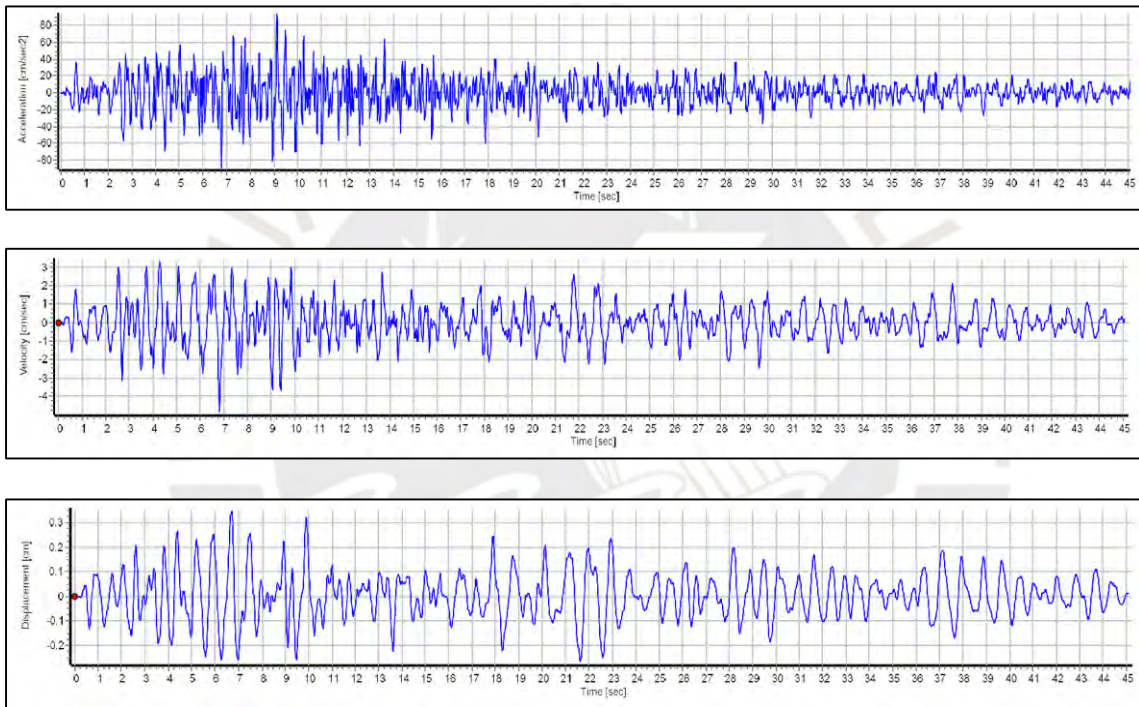


Figura 27: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Huaraz de 1970.

Fuente: Propia

Lima 1974:

Tabla 4: Datos de sismo de Lima 1974

Magnitud	Fecha y Hora	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
8	3/10/1974	12.5	77.98	13	114

Fuente: IGP

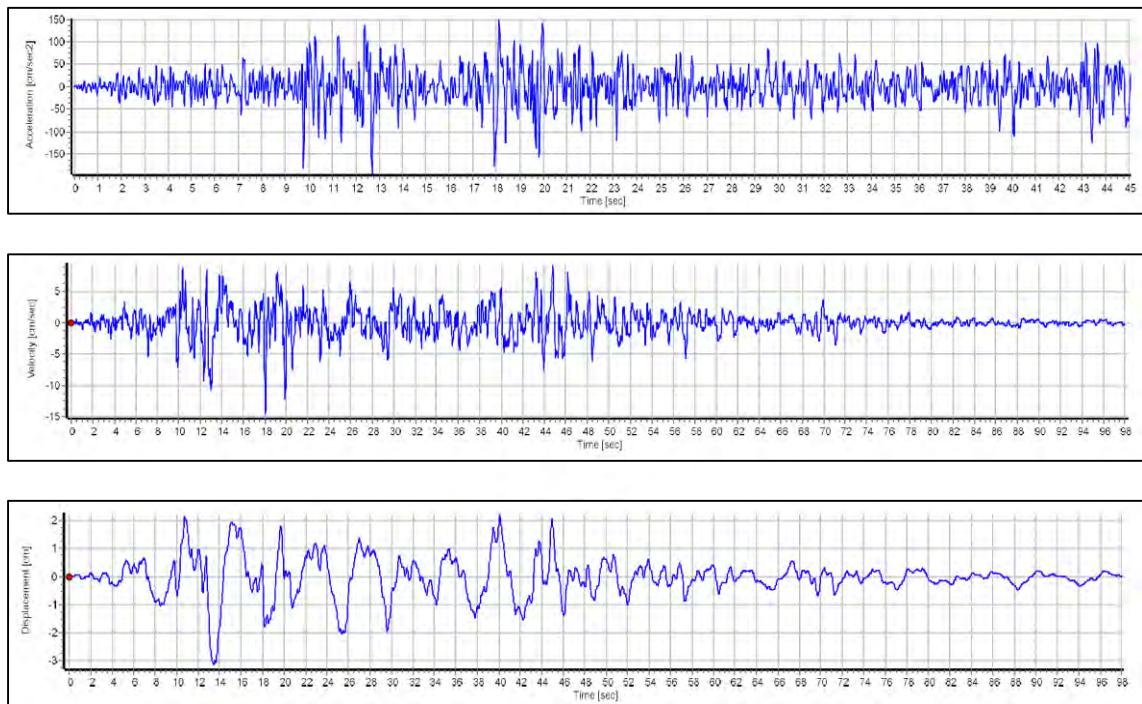


Figura 28: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Lima de 1974.

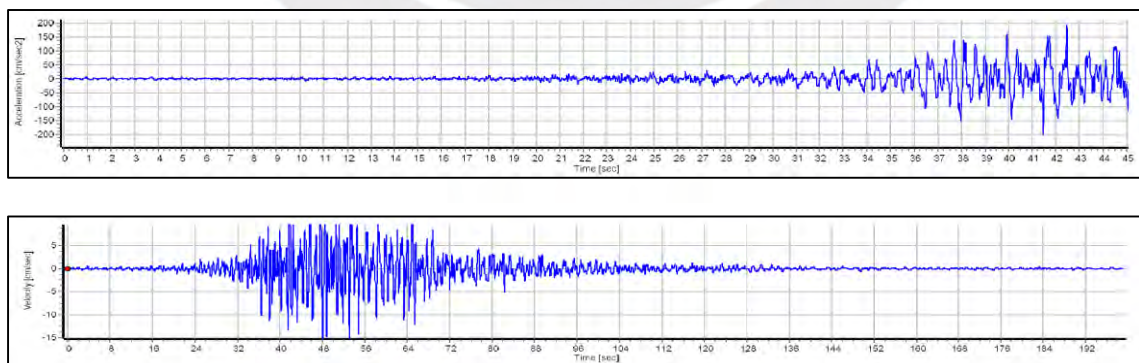
Fuente: Propia

Atico 2001:

Tabla 5: Datos del sismo de Atico de 2001

Magnitud	Fecha y Hora	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
6.3	23/06/2001	16.08	73.77	33	338.46

Fuente: CISMID



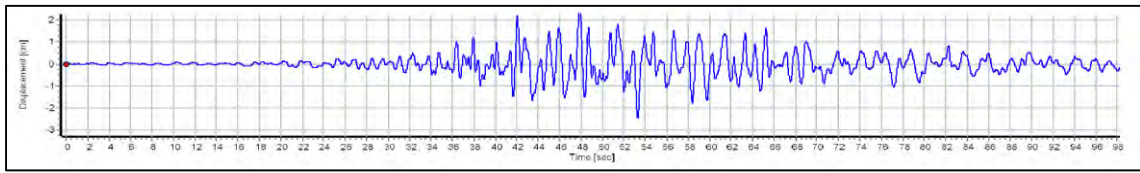


Figura 29: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Ático de 2001.

Fuente: Propia

Maule 2010:

Tabla 6: Datos del sismo de Maule de 2010

Magnitud	Fecha y Hora	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
8.8	27/02/2010	35.55	72.44	30.1	329.32

Fuente: RENADIC

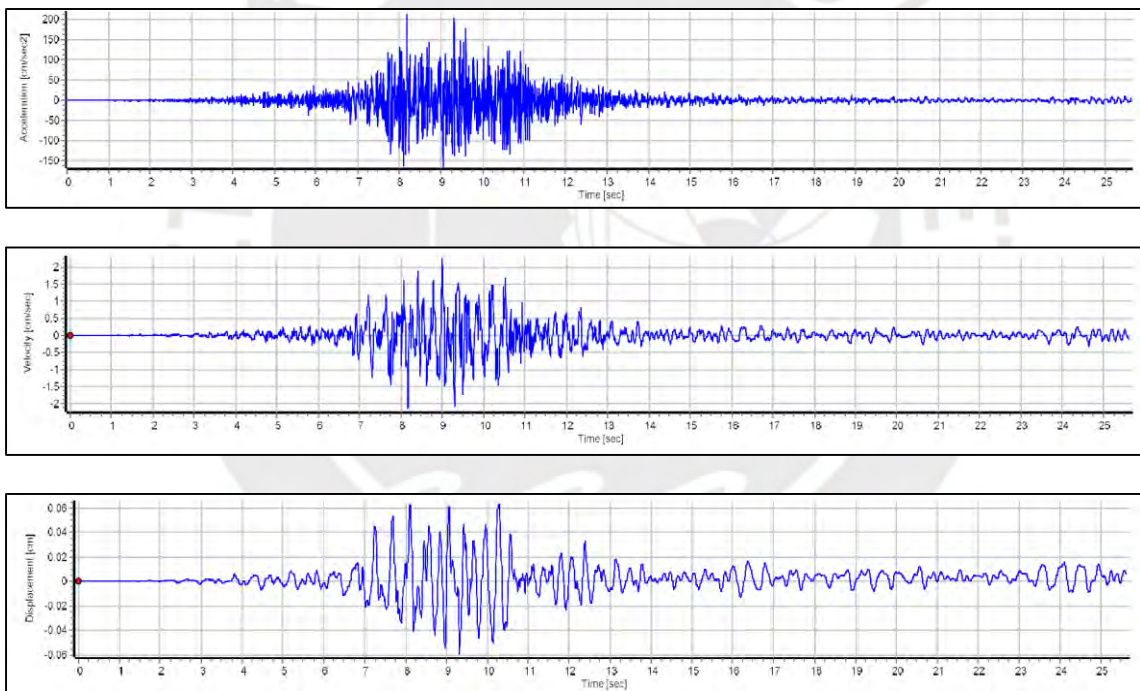


Figura 30: Registro tiempo-historia corregido del sismo de Maule de 2010.

Fuente: Propia

**4.2. Evaluación de peligro sísmico probabilístico**

La evaluación de peligro sísmico es tal vez uno de los aspectos más importantes para caracterizar el movimiento que presentaría nuestra zona de estudio en base a las historias sísmicas ocurridas en nuestro país. El resultado más importante de este estudio es el

espectro de peligro uniforme (EPU), que muestra las aceleraciones pico resultantes en contraste al periodo estructural para una misma probabilidad de excedencia, un tiempo vida y un grado de amortiguamiento. En edificaciones esto suele ser un tiempo de vida  $t=50$  años, un amortiguamiento de 5% y a una probabilidad de excedencia de 10%, lo que en términos de periodos de retorno correspondería a 475 años.

Para nuestro caso aplicativo, se replicó un estudio de peligro sísmico desarrollado por el IGP en el software CRISIS 2015 para determinar el EPU en las coordenadas donde se ubica nuestro proyecto. Además, como forma de corroborar nuestro resultado, se comparó con los espectros calculados por el CISMID en el estudio de microzonificación sísmica del distrito de Puente Piedra y SENCICO en su plataforma virtual de evaluación de peligro sísmico.

La Figura 31 muestra los distintos espectros de peligro uniforme desarrolladas en base al estudio de peligro sísmico por el IGP, CISMID y SENCICO.

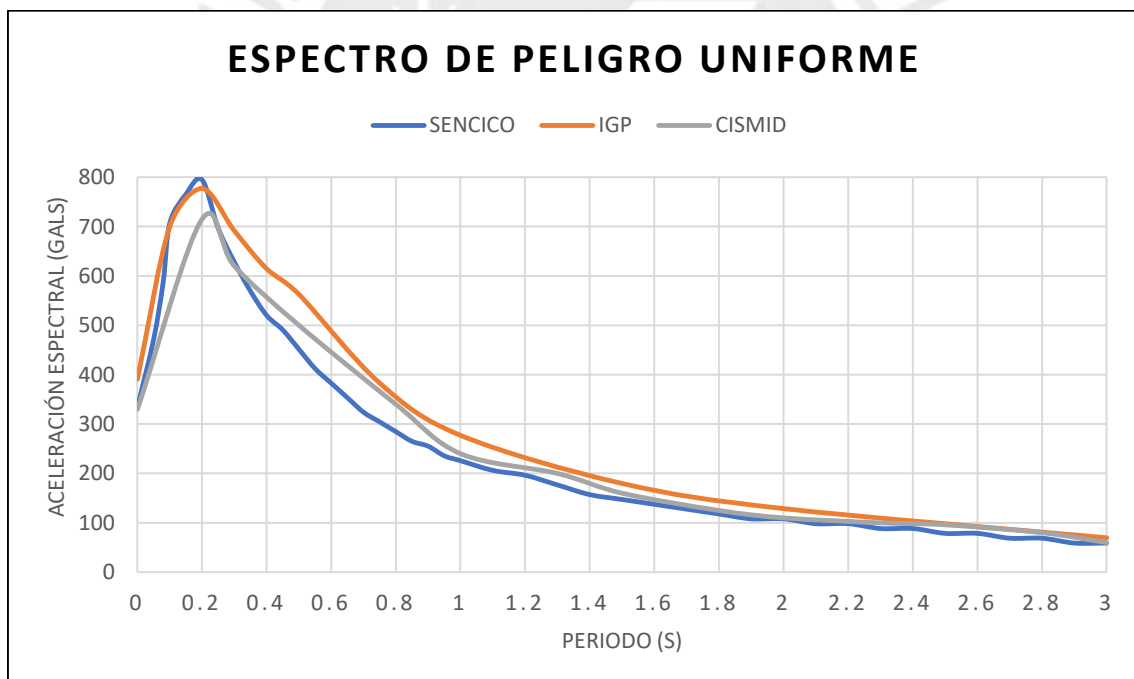


Figura 31: Espectros de peligro uniforme.

Fuente: SENCICO, IGP, CISMID

### 4.3. Acelerograma Sintético

Para la generación del acelerograma sintético se requiere de un espectro de respuesta objetivo y un registro sísmico corregido. El espectro de peligro uniforme propuesta por

el IGP será la que represente dicho espectro objetivo, el cual a su vez se ajustará usando cada uno de los registros seleccionados. Para la generación de los Acelerogramas sintéticos se utilizó el software SeismoMatch el cual usa un algoritmo de ajuste (Wavelets) propuesta por Al Atik & Abrahamson (2010).

En la Figura 32, Figura 33, Figura 34 y Figura 35 se muestran el acelerograma sintético, el espectro de amplitud de Fourier y el espectro de aceleraciones con un amortiguamiento del 5% en roca y grava para cada sismo, los cuales serán usados para el análisis de respuesta de sitio.

### Huaraz 1970:

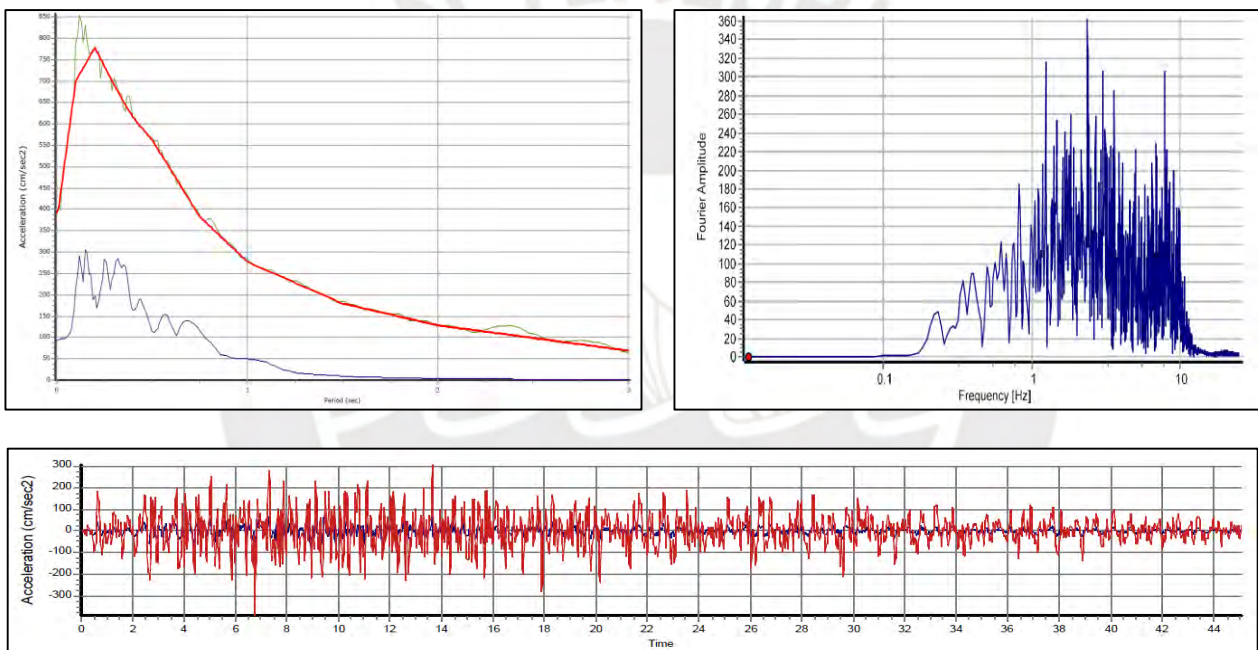


Figura 32: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Huaraz 1970.

Fuente: Propia

### Lima 1974:

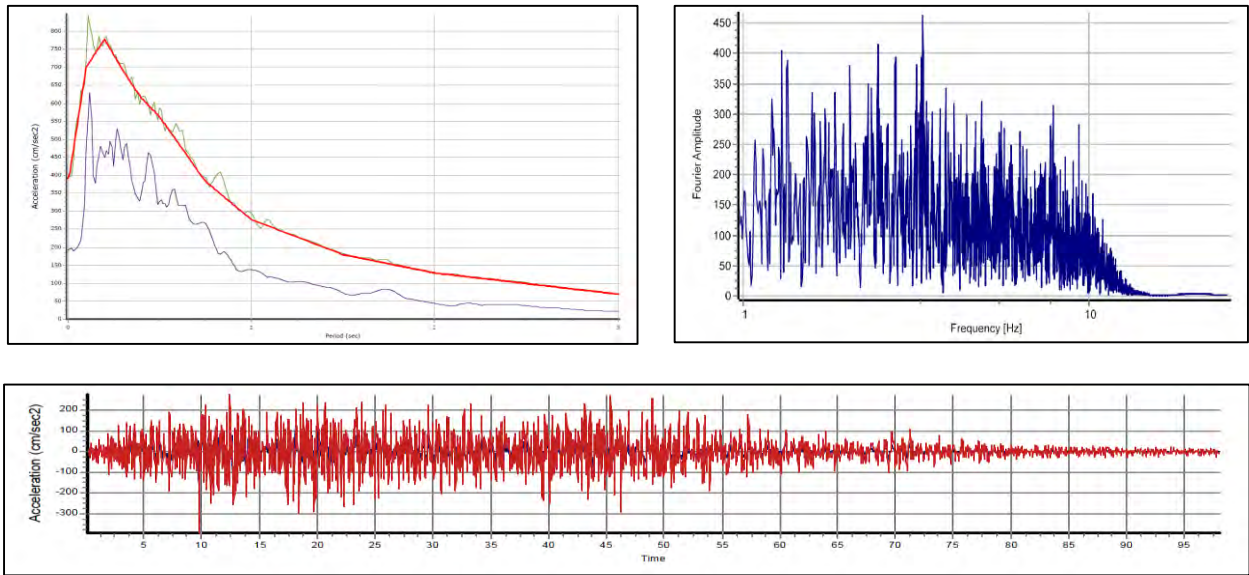


Figura 33: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Lima 1974.

Fuente: Propia

Atico 2001:

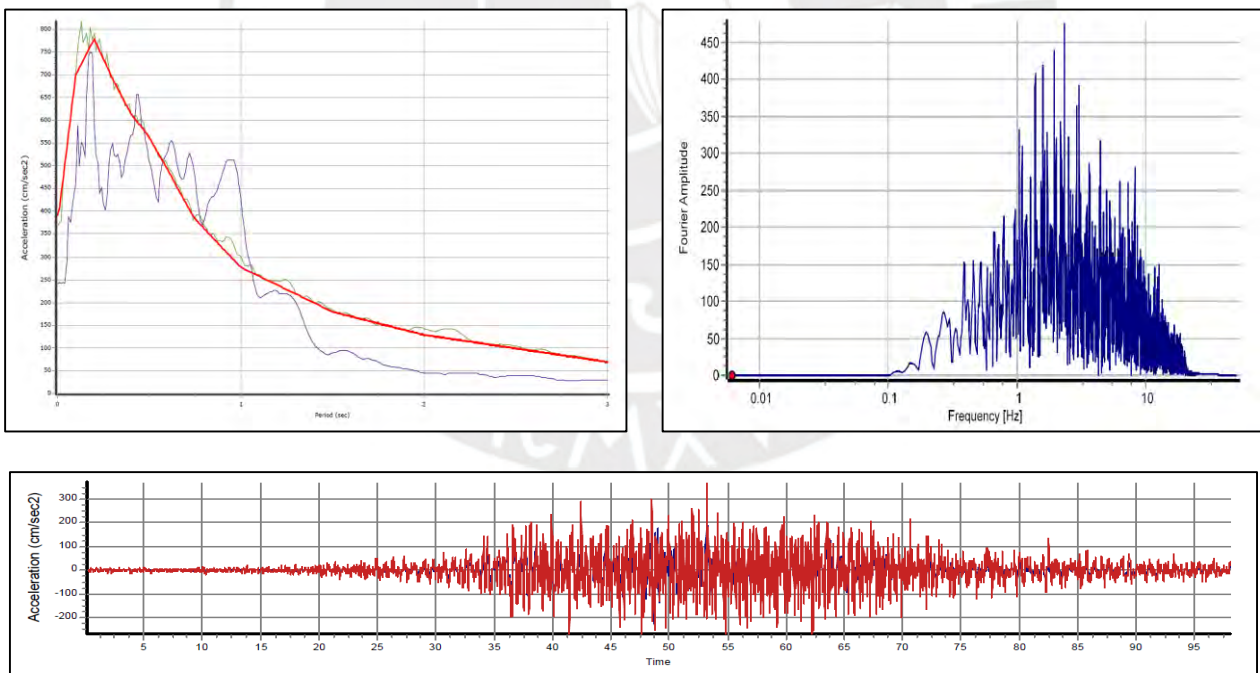


Figura 34: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Atico 2001.

Fuente: Propia

## Maule 2010:

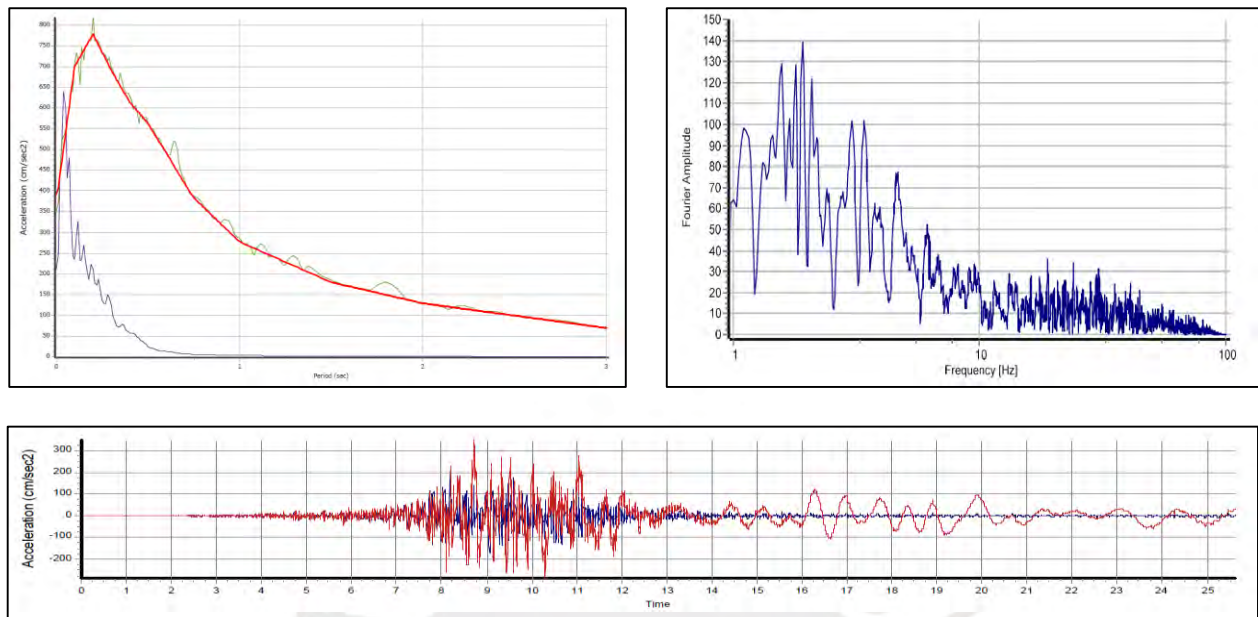


Figura 35: Construcción del acelerograma sintético mediante el método del ajuste espectral del sismo de Maule-Chile 2010.

Fuente: Propia

### 4.4. Análisis de respuesta de sitio unidimensional

El análisis de respuesta de sitio unidimensional se desarrolló con el programa Deepsoil v.7, el cual requiere como parámetros de entrada el perfil estratigráfico del suelo, el perfil de velocidades de ondas de corte, las curvas de degradación de módulo y amortiguamiento, y un acelerograma que represente el movimiento en la roca.

Para nuestro caso aplicativo se utilizó el método **lineal equivalente**, el cual se desarrolla en el dominio de las frecuencias. Se utilizó el modelo del suelo MKZ y el ajuste de las curvas de reducción del módulo y curva de amortiguamiento usando el factor de reducción de Darendeli (2001).

#### 4.4.1. Espectros de aceleración resultante

La Figura 36 muestra las aceleraciones espectrales de respuesta de sitio para los distintos acelerogramas sintéticos insertados en el análisis.

En todos los casos se observa que las aceleraciones se amplifican, siendo mayor para el acelerograma sintético desarrollado con el registro sísmico del terremoto de Maule (2010) equivalente a 3.5 veces de la impuesta en el basamento sísmico (Suelo Gravoso).

Las respuestas espectrales en superficie son muy parecidas para las distintas situaciones evaluadas, siendo las más semejantes las desarrolladas con los registros del terremoto de Huaraz (1970) y Lima (1974). Cabe mencionar que los acelerogramas usados en ambos eventos sísmicos fueron captados por la estación Parque de la Reserva (PRQ) pertenecientes a la red acelerográfica del IGP.

Los rangos de periodo donde predomina la amplificación de las aceleraciones se encuentra entre 0.05 y 0.9 s, siendo la aceleración espectral máxima promedio de 2g o 1962 gals.

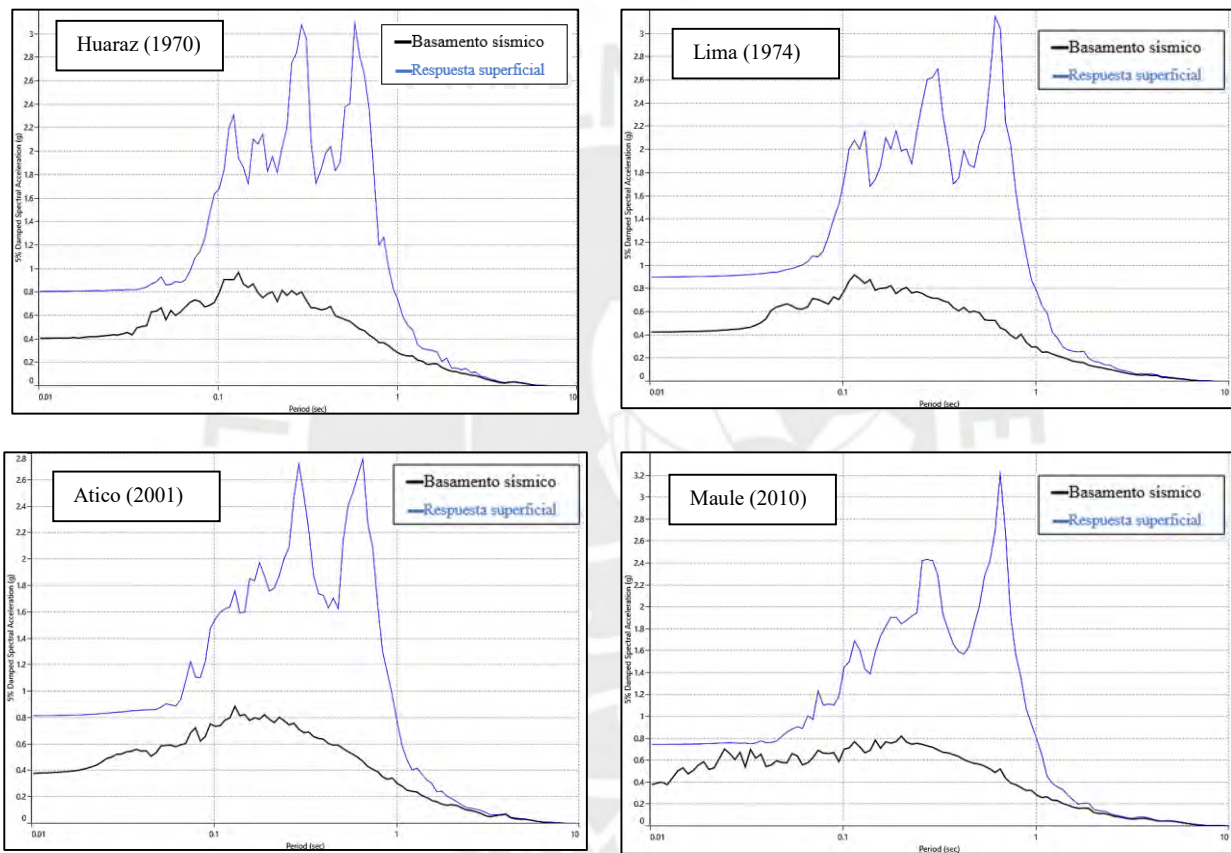


Figura 36: Amplificación de las aceleraciones espectrales de respuesta para distintos sismos de diseño.

Fuente: Propia

#### 4.4.2. Perfil de aceleraciones, deformaciones y desplazamientos máximos

La Figura 37 muestra cómo se modifica el pico máximo de aceleración del suelo (PGA) a lo largo del perfil unidimensional, los valores suelen elevarse en las arcillas y reducirse en las arenas el cual como máximo presento un valor máximo de 0.53g. En el primer estrato de arena, como consecuencia de las capas inferiores de arcilla se obtuvo el

mayor valor del PGA de aproximadamente 0.8g. El perfil de deformaciones resalta que la máxima deformación se da a una profundidad de 8 m con deformaciones de 0.18%. El ultimo perfil representa los desplazamientos ocurridos durante el movimiento sísmico justificando las elevadas aceleraciones en los primeros estratos, siendo el máximo de 0.06 m aproximadamente.

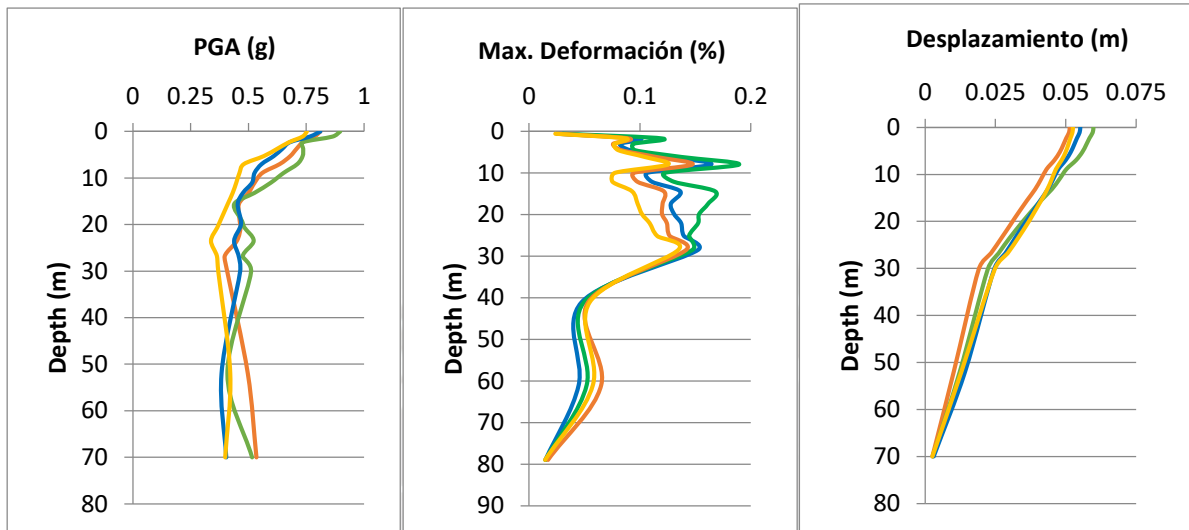
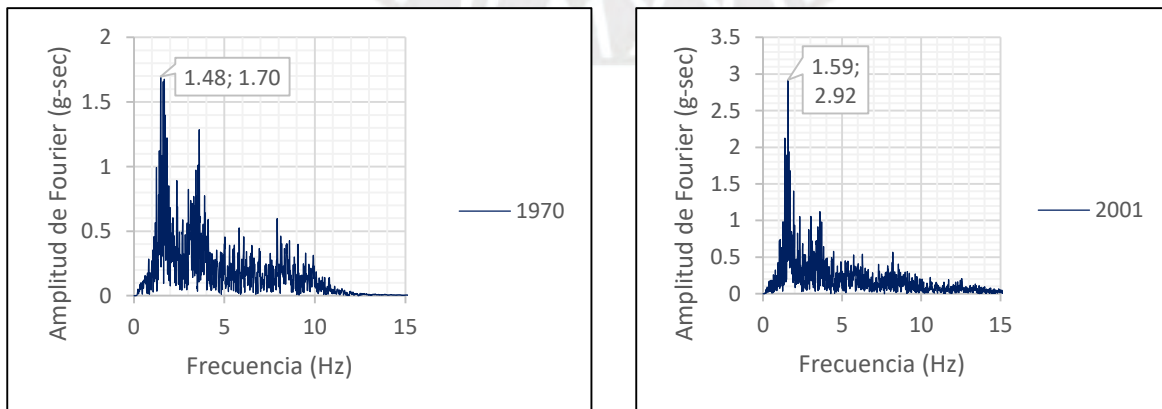


Figura 37: Perfiles de aceleración, deformación y desplazamientos máximos del caso de estudio.

Fuente: Propia

#### 4.4.3. Amplitud máxima de Fourier en la superficie

En el análisis de respuesta de sitio mediante el método lineal equivalente se obtuvieron el espectro de amplitudes de Fourier en superficie en función a la frecuencia para los acelerogramas sintéticos de los registros sísmicos de 1970, 1974, 2001 y 2010. Los resultados se muestran en la Figura 38 y se resume sus valores máximos en la Tabla 7.



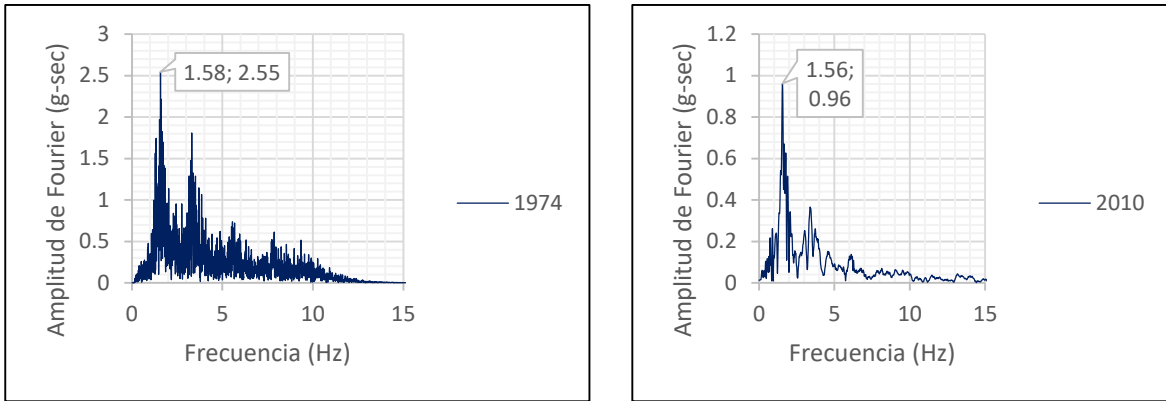


Figura 38: Espectros de amplitud de Fourier en superficie evaluados en distintos sismos de diseño

Fuente: Propia

Tabla 7: Amplitudes máximas de Fourier en superficie

Sismo asociado	AF (g-sec)	Frecuencia (Hz)
Huaraz 1970	1.7	1.48
Lima 1974	2.55	1.58
Atico 2001	2.92	1.59
Maule 2010	0.96	1.56

Fuente: Propia

La amplitud máxima de Fourier y la frecuencia máxima se presenta para en el caso del sismo de Atico (2001). El valor promedio de la amplitud de Fourier es de 8.13 g-sec y de la frecuencia fundamental es de 1.55 Hz.

Como comentario, se observa que la cantidad de frecuencias para el caso del sismo de Maule (2010), es muy reducida en comparación a los otros sismos analizados. Lo que se entendería como un error en el procesamiento de señales al momento de corregir el registro acelerográficos por ruido o al momento de realizar el ajuste espectral. Pues se debe entender que las características de los sismos de subducción en la costa peruana y chilena, presentan elevadas cantidades de picos de frecuencia.

#### 4.4.4. Aceleraciones, velocidades, y desplazamientos relativos espectrales de respuesta en la superficie

En la Figura 39, Figura 40, Figura 41 y Figura 42 se muestran las historias espectrales de aceleración, velocidad y desplazamiento relativo en la superficie del proyecto, para los distintos casos de análisis.

La aceleración máxima del suelo (PGA) es de 0.85g y se da para el caso del sismo de Lima (1974), seguida del sismo de Atico (2001) y Huaraz (1970) con un PGA de 0.80g y finalmente el sismo de Maule (2010) con un PGA de 0.74g. El desplazamiento máximo relativo es aproximadamente de 0.05m para todos los casos.

De igual manera, como se mencionó en el apartado 4.4.3, las características de la señal acelerográfica resultante en el sismo de Maule (2010), no suele ser representativo para nuestro proyecto, aun cuando presenta una frecuencia muy cercana a los demás análisis.

#### Huaraz 1970:

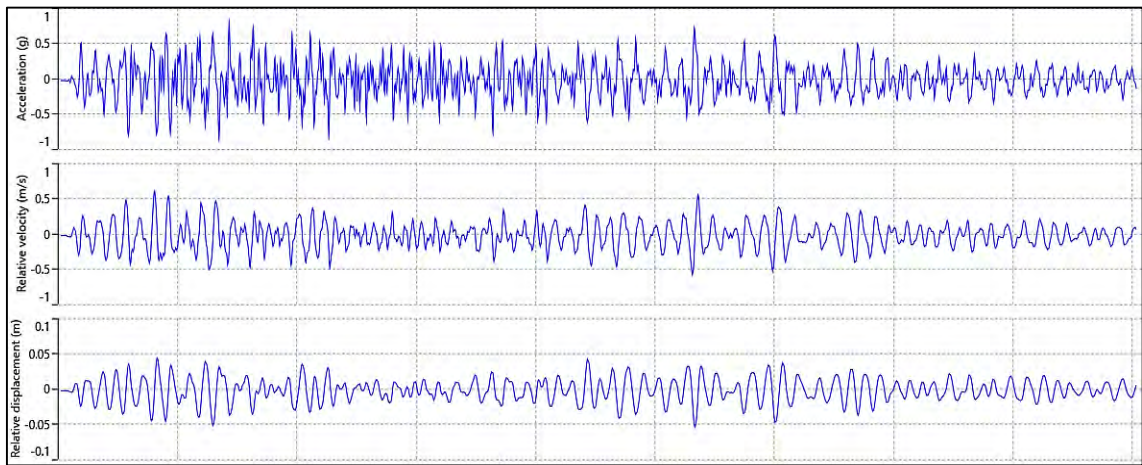


Figura 39: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Huaraz (1970).

Fuente: Propia

#### Lima 1974:

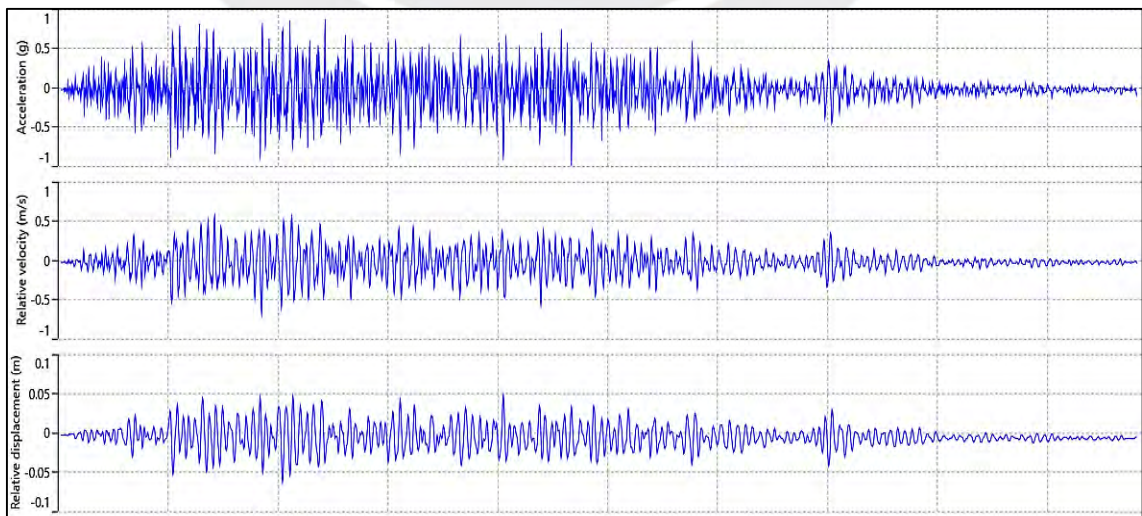


Figura 40: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Lima (1974)

Fuente: Propia

Atico 2001:

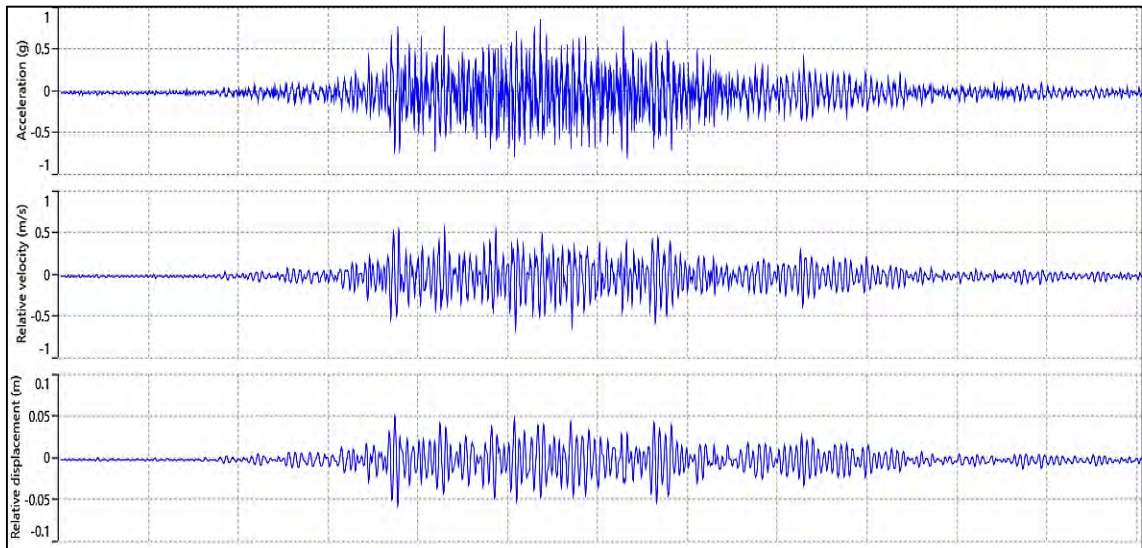


Figura 41: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Atico (2001).

Fuente: Propia

Maule 2010:

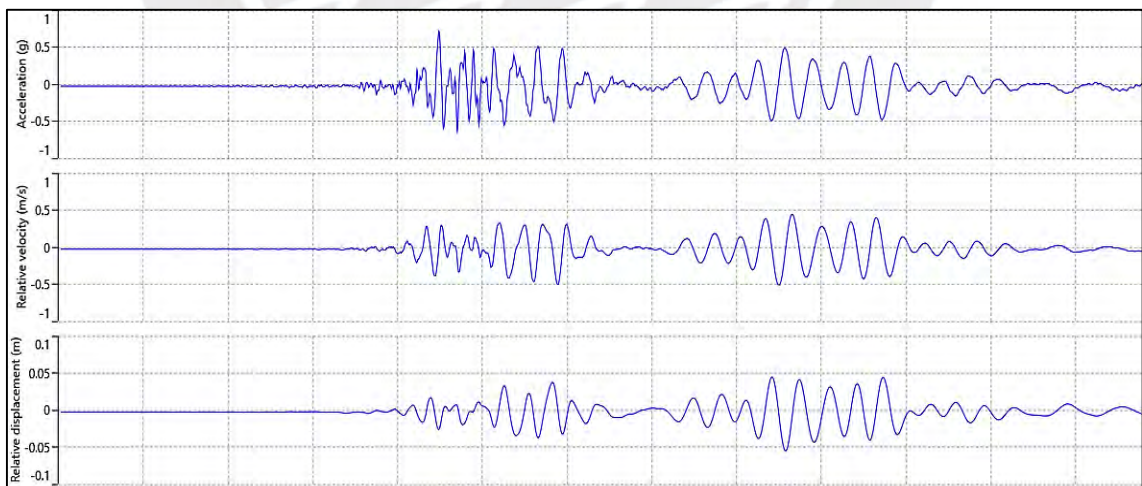


Figura 42: Respuestas espectrales de sitio en superficie en base al registro sísmico del terremoto de Maule (2010).

Fuente: Propia

#### 4.5. Aceleración espectral de diseño E.030

De acuerdo al reglamento nacional de edificaciones y a la norma técnica E030-Diseño sísmo resistente (2018), se deberá considerar los siguientes valores para el diseño de la aceleración espectral:

- Zona sísmica (Z):

Como el proyecto se encuentra en el distrito de Puente Piedra el cual pertenece a la región Lima, se le considera un valor de factor de zona  $Z=0.45$  como valor de aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

- Factor de suelo (S):

Debido a que el tipo de suelo presenta un valor promedio en los primeros 30 metros de velocidad de ondas de corte entre 180 y 500 m/s se le considera un suelo intermedio (S2), por lo tanto, al pertenecer a la zona 4 (Z4) le corresponde un factor de suelo  $S=1.05$ . Además, según ello los periodos  $T_p$  y  $T_l$  serían de 0.6 y 2 s respectivamente.

- Factor de amplificación (C):

La norma establece una amplificación máxima de  $C=2.5$  para el caso de suelos firmes, o zonas pertenecientes a la costa peruana.

- Factor de Uso (U):

Es un calificativo que se da a las edificaciones según su importancia. En nuestro caso, el proyecto corresponde a un centro educativo, el cual esta categorizada como edificación tipo A2, por lo tanto, su factor de uso es de  $U=1.5$ .

Como la aceleración espectral está definida por la siguiente ecuación  $S_a = ZUCS$ , se puede calcular el espectro de diseño con los parámetros mencionados líneas arriba. La Figura 43 se muestra el espectro de aceleración resultante en superficie según la norma técnica E030 de “Diseño sísmo resistente” (2018).

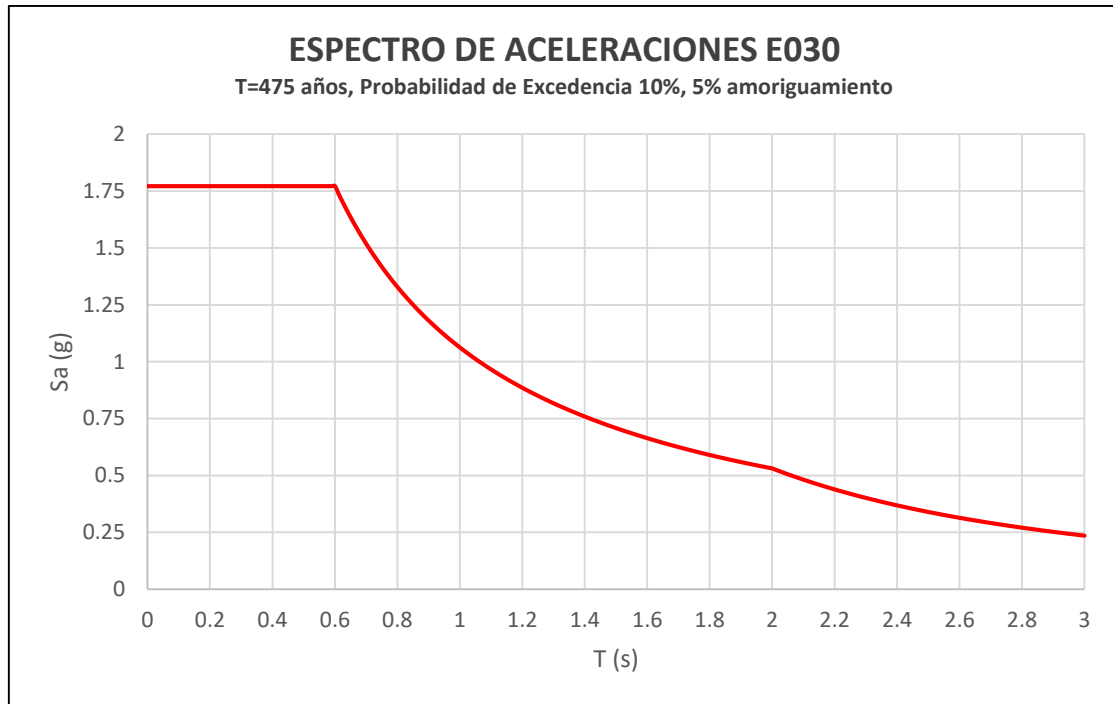
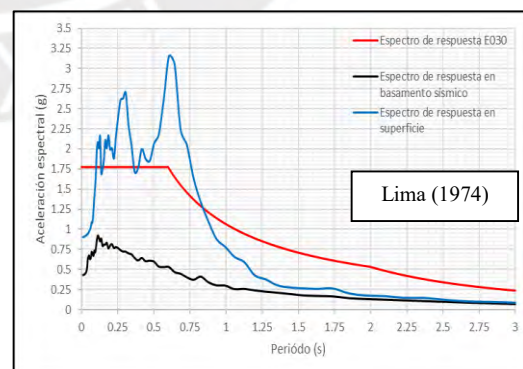
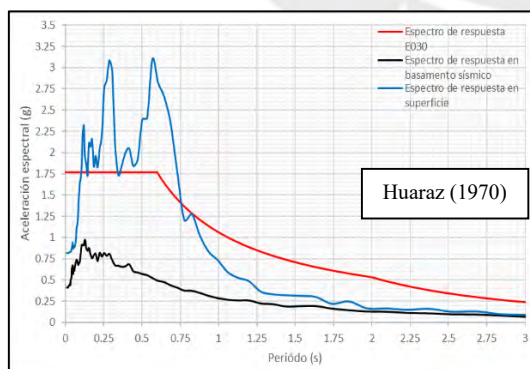


Figura 43: Aceleración espectral de diseño según la Norma E030.

Fuente: Propia

#### 4.6. Comparación de espectros de aceleraciones

En los apartados 4.4 y 4.5 se desarrollaron los espectros de aceleraciones en superficie mediante el análisis de respuesta de sitio y la aplicación de la norma E030 (2018). A continuación, en la Figura 44, se busca comparar estos espectros de aceleración en función de los rangos de periodo en que persiste las máximas amplificaciones y los rangos de periodo en las que estas se reducen.



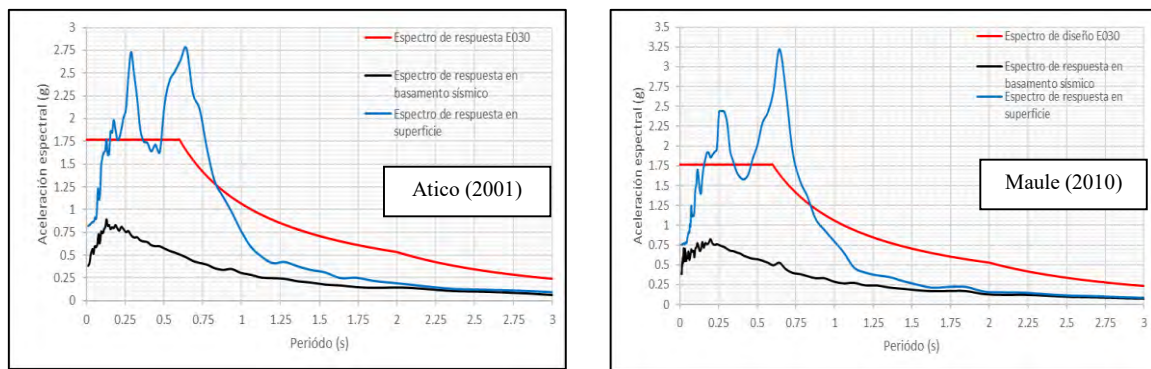


Figura 44: Comparación de aceleraciones espectrales del análisis de respuesta en sitio con la Norma E030.

Fuente: Propia

Los resultados del perfil unidimensional evaluado en cuatro registros sísmicos muestran que los espectros de aceleraciones calculado por el análisis de respuesta son mayores que el espectro de la norma E030, para periodos de 0.10s a 0.82s. En el resto de periodos el espectro de aceleración de la norma envuelve al del análisis de respuesta de sitio unidimensional. Por lo tanto, si se desea utilizar un espectro de aceleraciones para nuestro proyecto educativo se debería usar el espectro del análisis de respuesta, puesto que el periodo estructural se encuentra entre 0.1 y 0.82s.

El rango de periodos donde predomina la máxima amplificación de las aceleraciones es de 0.1s a 0.75s, siendo este último valor superior al periodo de plataforma  $T_p=0.6s$  propuesta por la norma E030. De igual manera, la amplificación máxima fue de 3.5 en el caso de Maule (2010), siendo este valor 1.4 veces mayor que el factor máximo de amplificación propuesta por la norma ( $C=2.5$ ).

# CAPÍTULO 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Se estimó los espectros de respuesta mediante el análisis de respuesta de sitio unidimensional para un perfil estratigráfico de un proyecto en Puente Piedra implementando cuatro eventos sísmicos. La aceleración espectral máxima fue de 3.25g, la amplificación máxima de 3.5 y un periodo de permanencia de amplificaciones de 0.75s.
- El espectro de respuesta de aceleraciones calculada mediante el análisis unidimensional es mayor que la propuesta por la norma E030 en periodos entre 0.1 y 0.82 s e inferior para el resto de periodos.
- El espectro del análisis de respuesta de sitio unidimensional es más conservador que el espectro de diseño de la norma E030, para el análisis dinámico de estructuras con periodos menores a 0.8s.
- El periodo de plataforma de 0.6s propuesta por la norma E030 es inferior al rango de periodos donde la aceleración espectral es superior a 1.78g para los cuatro espectros de aceleración desarrollados.
- Se estimó las curvas de degradación de módulo de corte y cociente amortiguamiento para las arenas y arcillas mediante curvas referenciales propuestas por Menq (2003) y Vucetic & Dobri (1991) respectivamente, los cuales se ajustaron mediante una función de reducción propuesta por Darendeli (2001).
- Se determinó el espectro de peligro uniforme tomando en referencia fuentes sísmicas propuestas por el IGP en el software CRISIS 2015 para un periodo de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia de 10%. La aceleración espectral máxima fue de 794 gals para un periodo de 0.2s, los cuales son próximos a los obtenidos por SENCICO y el CISMID (2011).
- Se construyó cuatro acelerogramas sintéticos en base a cuatro eventos sísmicos distintos mediante el método de ajuste espectral propuesta por Al Atik & Abrahamson (2010).

- El acelerograma espectral resultante del análisis de respuesta de sitio en superficie presento una reducción drástica de frecuencias para el sismo de Muale (2010), mientras que para el resto de eventos mostraron buenos resultados.

## **5.2.Recomendaciones**

- Se recomienda ampliar la data de propiedades dinámicas del suelo de Puente Piedra y de Lima en general, para caracterizar mejor los parámetros del perfil estratigráfico y de las curvas de degradación de módulo de corte y amortiguamiento.
- Implementar mayor cantidad de estaciones acelerográficas, preferentemente en suelos caracterizados como basamentos sísmicos (Suelos firmes como Gravas y Rocas).
- Para el análisis de respuesta de sitio, es recomendable validar los resultados en base a registros de estaciones cercanas a la ubicación del proyecto que midieron el evento sísmico base.
- Se recomienda usar los resultados de esta investigación para realizar análisis dinámicos a edificaciones del tipo esencial e importante para periodos estructurales inferiores a 0.80s, ya que presentan valores mayores a la aceleración espectral obtenido por la norma E0.30.
- Se recomienda realizar ensayos geofísicos que complementen y/o mejoren el perfil estratigráfico y de velocidades de ondas de corte propuesta en este caso de estudio
- Para el análisis de respuesta de sitio es recomendable desarrollar al menos dos metodologías distintas para poder comparar resultados y tomar la decisión más confiable. Si se desarrolla análisis de sismos con intensidades altas es preferible implementar modelos que capte el comportamiento no lineal del suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, J., & Soto, J. (s.f.). *Evaluación del Peligro sísmico en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Baker J. "An introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)", 2001.
- Barreto, D. (2019). *Análisis probabilístico de peligro sísmico para el diseño de una presa de enrocado en Huancavelica*. Tesis de pregrado de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Caisapanta, J. (2019). Universidad Católica de Guayaquil Facultad de Ingeniería Civil. *Comparación de dos programas en el análisis de respuesta de sitio en depósitos con suelos blandos*.
- Calderón, D., Aguilar, Z., & Lazares, F. (2011). *Dynamic Characteristic surfaces soil in Lima, Perú*. International Conference on Urban earthquake engineering. Japón: Tokyo.
- Carreño E., Bravo B., Suarez A., Tordesillas J. M. (1999) "Registro y Tratamiento de Acelerogramas", Recuperado de:  
<https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE9999110081A/12076>
- Chopra, A. K. (1995). "Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering", New Jersey. Prentice Hall.
- CISMID (2011). Ministerio de Vivienda y Construcción. *Estudio de microzonificación sísmica del distrito de Puente Piedra*.
- Crisafulli F., Villafañe E. (2002). "Espectros de Respuesta y de Diseño" (Guía de Estudio) Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza - Argentina
- Darendali M. B., "Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves," Ph. D., University of Texas at Austin, 2001.

- Das B., *"Principles of Soil Dynamics"* PWS-KENT Publishing Company. ISBN 0-534-93129-4. Unites States of America.1993
- Espinoza, Matías (2017) *"Análisis de la demanda sísmica de diferentes tipos de sismos chilenos en base a la atenuación de alta frecuencia"* (Documento de Titulación) Universidad de Chile, Santiago de Chile – Chile.
- Flores, F., Vargas, C., Ayes, J., & Vásquez, A. (2014) *Análisis de respuesta de sitio: una comparación practica entre diferentes enfoques dimensionales.*
- Flores L. y Ayes Z. (2018). *Generación de acelerogramas sintéticos mediante el uso de wavelets, orientados a aplicaciones geotécnico-estructurales.* Revista de Ingeniería Sísmica. Ciudad de México. México. Vol 98, 1-24.
- Godoy, C. (2013). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. *Estudio de respuesta de sitio en Santiago mediante el método lineal equivalente.*
- Hashash, Y. M. (2017). DEEPSOIL 7.0, *User Manual.* Illinois.
- Ishihara K. *"Earthquake Geotechnical Engineering"*, Ed. Tokyo Science University of Tokyo. Japan 1995.
- Kramer S. *"Geotechnical Earthquake Engineering"*. Ed. Prentice Hall. New Jersey – USA, 1996.
- Menq, Farn-Yuh (2003). *Dynamic Properties of Sandy and Gravelly Soils*, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas, Austin, Texas.
- Muñoz, A. (2020). *Apuntes del curso: Ingeniería Antisísmica.* Pontificia Universidad Católica del Perú
- Reinoso, E., Jaimes, M. (2009) *"Criterios para obtener acelerogramas de diseño en sitios afectados por varias fuentes sísmicas usando como ejemplo el caso de terreno firme de la Ciudad de Mexico"* Instituto de Ingeniería UNAM, México D.F. – México

Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. (1972) "*SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites.*" Report No. EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

Soto, J. (2016). Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil. *Evaluación de espectros de respuesta mediante el análisis de respuesta de sitio unidimensionales en siete distritos de Lima.*

Vucetic M., Dobry R. "*Effect of soil plasticity on cyclic response*", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 117, No. 1. January, 1991.



## ANEXOS

- I. RESULTADOS DE SONDAJES RECOPIADOS DE POZOS
- II. RESULTADOS DE SONDAJES RECOPIADOS DE PERFORACIONES Y CALICATAS
- III. RESULTADOS DE SONDAJES EJECUTADOS EN CAMPO
- IV. PERFIL ESTRATIGRAFICO UNIDIMENSIONAL IMPLEMENTADO
- V. RESULTADOS DE PERFILES SISMICOS RECOPIADOS
- VI. RESULTADOS DE PERFILES SISMICOS EJECUTADOS
- VII. RESULTADOS DE ENSAYO DE LABORATORIO RECOPIADOS
- VIII. RESULTADOS DE ENSAYO DE LABORATORIO EJECUTADOS
- IX. RESULTADOS DE REGISTROS SISMICOS IMPLEMENTADOS
- X. MAPAS DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA





# ANEXOS

# I. RESULTADOS DE SONDAJES RECOPIRADOS DE POZOS



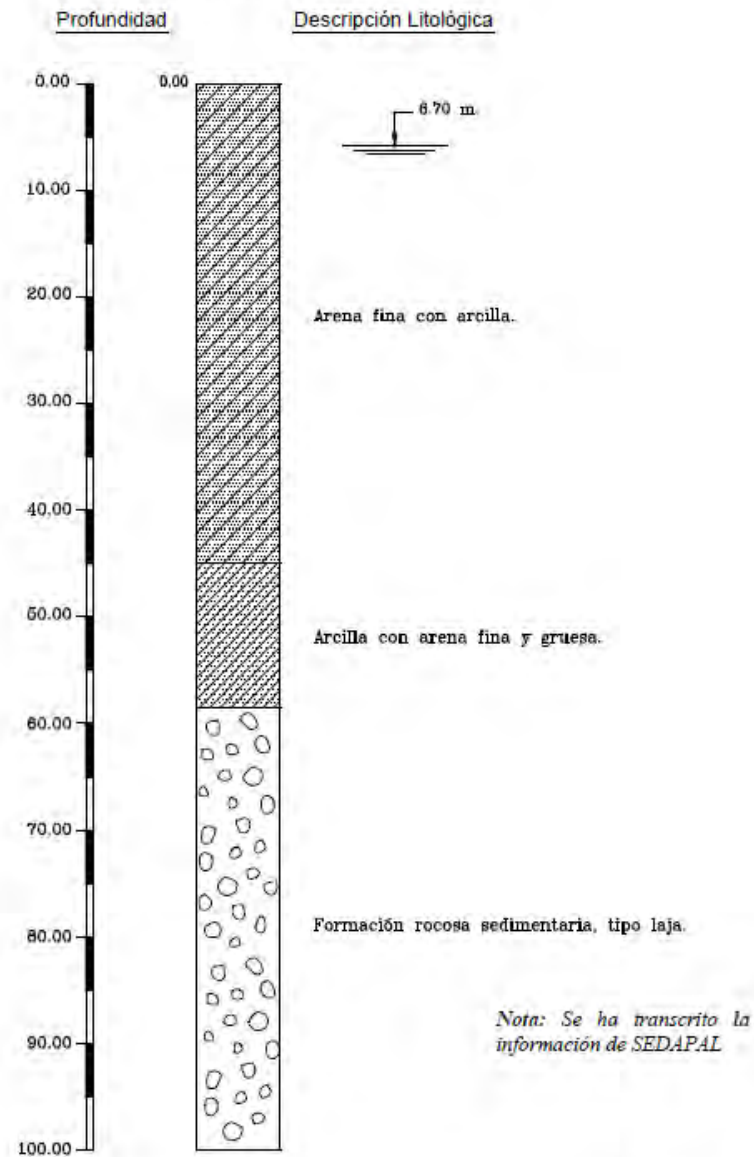


ESTUDIO DE MICROZONIFICACION SÍSMICA Y VULNERABILIDAD  
EN LA CIUDAD DE LIMA

POZO  
DISTRITO



P07  
PUENTE PIEDRA



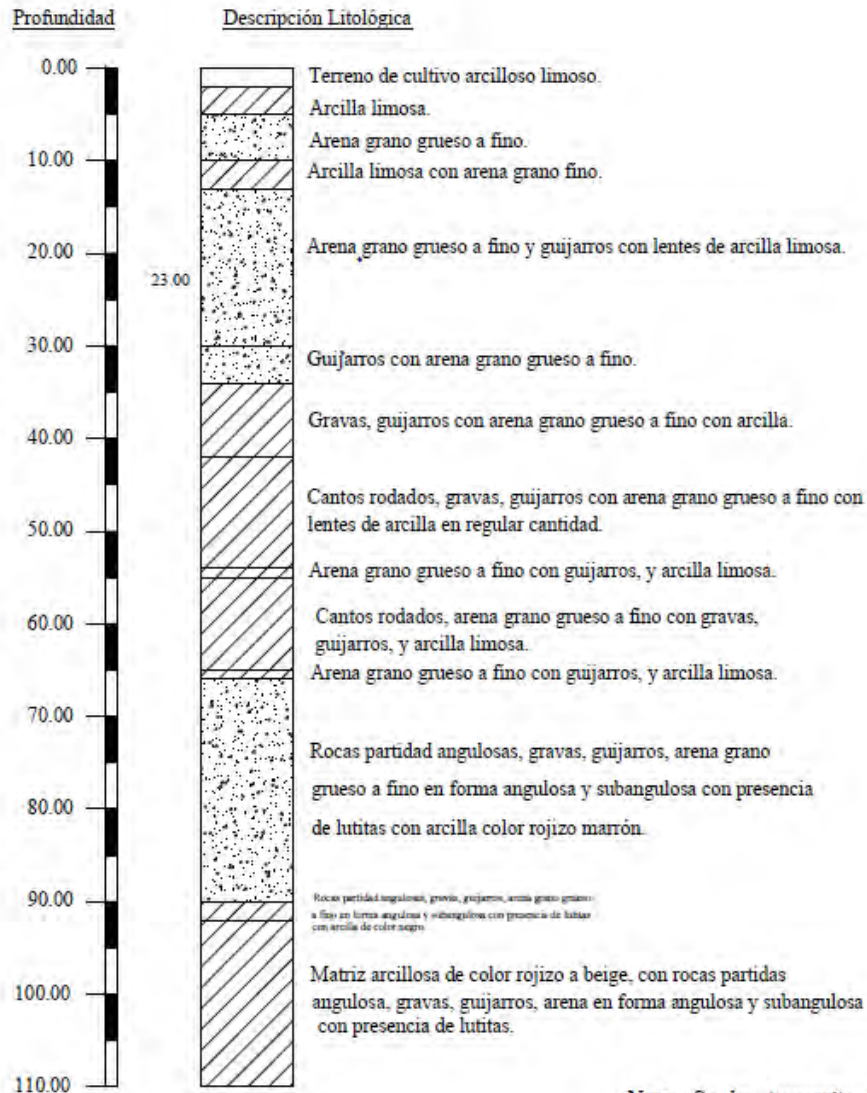
FUENTE: SEDAPAL

ESCALA: S/E



ESTUDIO DE MICROZONIFICACION SISMICA Y VULNERABILIDAD  
 EN LA CIUDAD DE LIMA

POZO : P14  
 DISTRITO : PUENTE PIEDRA



*Nota: Se ha transcrito la información de SEDAPAL*

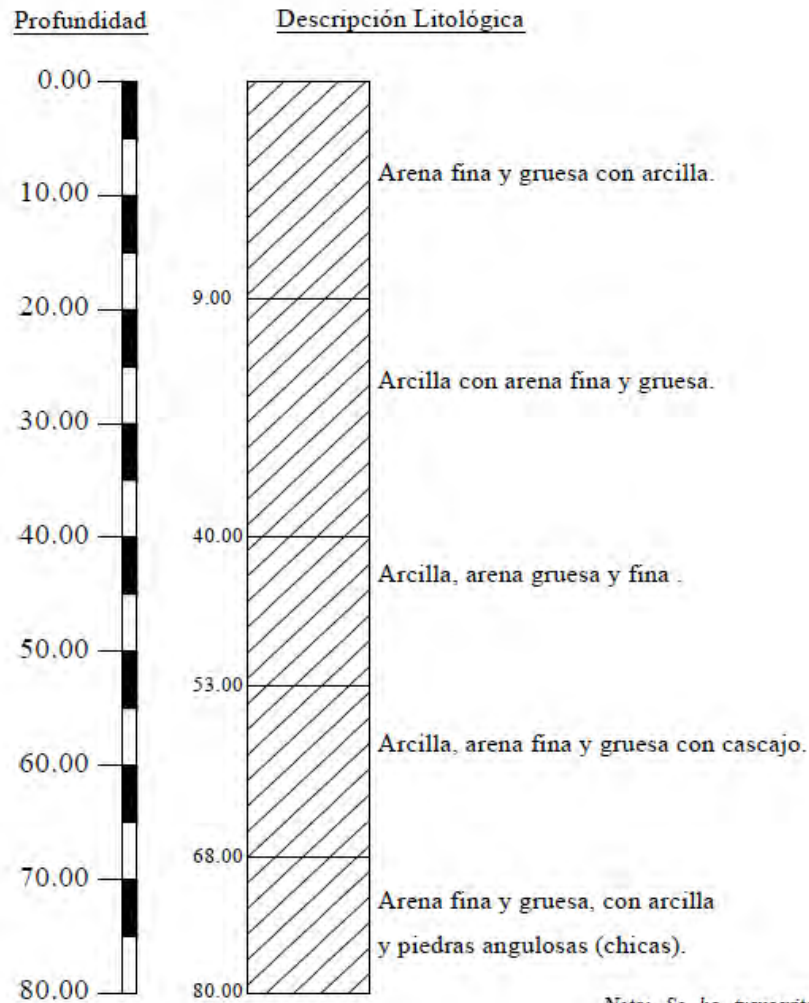
FUENTE: SEDAPAL

ESCALA: S/E



ESTUDIO DE MICROZONIFICACION SISMICA Y VULNERABILIDAD  
EN LA CIUDAD DE LIMA

POZO : P16  
DISTRITO : PUENTE PIEDRA



*Nota: Se ha transcrito la información de SEDAPAL*

FUENTE: SEDAPAL

ESCALA: S/E

## II. RESULTADOS DE SONDAJES RECOPIRADOS DE PERFORACIONES Y CALICATAS





**REGISTRO RECOPIADO**

**Proyecto** : Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 Distritos de Lima y Callao  
**Solicitado** : ASOCIACIÓN PERUANA DE SEGUROS - APESEG  
**Estudio** : Mejoramiento Sanitario de los Conos Marginales de Lima  
**Ubicación** : Cruce Av. San Juan de Dios y Calle Jazmines - Dist. Puente Piedra  
**Referencia** : ING. CESAR ATALA ABAD  
**Fecha** : Noviembre, 2003

**Código** : E 16  
**Prof. Total** : 2.2 m  
**Nivel Freático** : N. A.  
**Cota Relativa** : ---  
**Cota Absoluta** : ---  
**Revisado** : Ing. Martín Rodríguez T.

**CALICATA E 16**

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología gráfica	Resultados de campo		Descripción del estrato	ENSAYO DE PENETRACIÓN
					H. N. %	D. N. g/cm <sup>3</sup>		
0.0								Gráfica de N 10 20 30 40 50 S. P. T. C. P.
0.50		M-1	R		--	--	Relleno conformado por suelo fino, no plástico, seco, color marrón, presencia aislada de grava gruesa	
0.5	0.40	M-2	GC		--	--	Grava arcillosa, forma redondeada, medianamente densa, húmeda, color amarillento, presencia de óxidos.	
1.0	1.30	M-3	GM		--	--	Grava limosa, suelta, saturada, color plomizo, forma sub redondeada	
2.0								
2.5								



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

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES  
LABORATORIO GEOTÉCNICO



**REGISTRO RECOPIADO**

<b>Proyecto</b>	: Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 Distritos de Lima y Callao	<b>Código</b>	: E 20
<b>Solicitado</b>	: ASOCIACIÓN PERUANA DE SEGUROS - APESEG	<b>Prof. Total</b>	: 3.6 m
<b>Estudio</b>	: Estudio de Suelos con Fines de Cimentación de la Planta Industrial Cía. Systral Perú S.A.	<b>Nivel Freático</b>	: N. A.
<b>Ubicación</b>	: Carretera Panamericana Norte sin - Fundo San Juan de Dios - Dist. Puente Piedra	<b>Cota Relativa</b>	: ---
<b>Referencia</b>	: Ing. Cesar Atala Akad	<b>Cota Absoluta</b>	: ---
<b>Fecha</b>	: Setiembre, 1997	<b>Revisado</b>	: Ing. Martín Rodríguez T.

**CALICATA E 20**

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología gráfica	Resultados de campo		Descripción del estrato	ENSAYO DE PENETRACIÓN
					H. N. %	D. N. g/cm <sup>3</sup>		
0.0								Gráfica de N 10 20 30 40 50 S. P. T. C. P.
1.35	M-1	ML			---	---	Relleno de tierra de cultivo, de matriz limo arcilloso, poco plástico, color beige.	
1.5	M-2	CL			---	---	Arcilla de mediana plasticidad, poco húmedo, 10 % de índice de plasticidad, de 8 % a 10 % de caliches	
2.0	M-3	ML			---	---	Limo arenoso, no plástico, húmedo, con micas, color beige con oxidaciones, presencia de micas.	
2.5	M-4	CL			---	---	Arcilla limosa, poco plástico, poco húmedo, consistencia semi duro, color beige moteado con oxidaciones, presencia de 5 % de caliche.	
3.0	M-5	SP-SM			---	---	Arena media pobremente gradada con limo, color plumizo con oxidaciones, no plástico, estado de compactidad semi compacto.	
3.5	M-6	CL			---	---	Arcilla de mediana plasticidad, poco húmedo, color beige, semi blando, presencia de caliches, 26.9 % de índice de plasticidad.	
4.0								

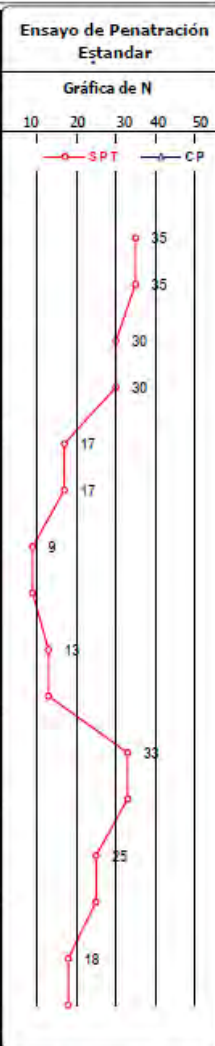


**REGISTRO DE SONDAJE**

<b>Proyecto</b> : Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima	<b>Código</b> : E 29-II
<b>Solicitado</b> : MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO	<b>Prof. Total (m)</b> : 19.60
<b>Estudio</b> : Estudio de Suelos. Centro de Educación Técnico - Productiva CETPRO	<b>Nivel Freático</b> : 5.50
<b>Ubicación</b> : Frente a la Av. Lecaros. Entre el Estadio y el Mercado Mayorista	<b>Cota Absoluta</b> : -
<b>Referencia</b> : M&M Consultores SRL	<b>Revisado</b> : Ing. D. Veneros
<b>Fecha</b> : Abril, 2010	<b>Fecha de Revisión</b> : Abril, 2011

**SPT : E 29-II**

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 <sup>3</sup>		Gráfica de N				
0.0	0.60	S/M	R		-	-	Relleno. Arcilla limosa arenosa, ligeramente gravosa, de plasticidad baja, medianamente compacta, húmeda, marrón. Con gravas angulares de 2", de T.M. Restos de desmonte y basura. Raíces.	10	20	30	40	50
1.0	1.20	S/M	R		-	-	Relleno antiguo. Arcilla limosa, de plasticidad baja, medianamente compacta, húmeda, marrón. Raíces de cerámica y huesos.	10	20	30	40	50
2.0	0.90	M-1	SM		-	-	Arena fina limosa, medianamente densa, húmeda, marrón plomizo. Finos no plásticos.	10	20	30	40	50
3.0	0.30	M-2	CL-ML		-	-	Arcilla limosa de plasticidad baja, medianamente compacta, húmeda, marrón amarillento.	10	20	30	40	50
4.0	1.00	M-3	CL		-	-	Arcilla limosa arenosa de plasticidad baja, medianamente compacta a compacta, húmeda, marrón amarillento. Concreciones.	10	20	30	40	50
5.0	1.60	M-4	CH		-	-	Arcilla limosa arenosa, de plasticidad alta, medianamente compacta a compacta, húmeda, marrón amarillento. Concreciones.	10	20	30	40	50
6.0	0.90	M-5	SM		-	-	Arena fina limosa, medianamente densa, saturada, marrón amarillento. Finos no plásticos.	10	20	30	40	50
7.0	0.90	M-6	CL-ML		-	-	Arcilla limosa de plasticidad baja, compacta, saturada, marrón amarillento.	10	20	30	40	50
8.0	1.30	M-7	CL		-	-	Arcilla limosa arenosa, de plasticidad media, muy compacta, saturada, marrón grisáceo. Concreciones.	10	20	30	40	50
9.0								10	20	30	40	50





**REGISTRO DE SONDAJE**

<b>Proyecto :</b> Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima	<b>Código :</b> E 29-II
<b>Solicitado :</b> MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO	<b>Prof. Total (m) :</b> 19,60
<b>Estudio :</b> Estudio de Suelos. Centro de Educación Técnico - Productiva CETPRO	<b>Nivel Freático :</b> 5.50
<b>Ubicación :</b> Frente a la Av. Lecaros. Entre el Estadio y el Mercado Mayorista	<b>Cota Absoluta :</b> -
<b>Referencia:</b> M&M Consultores SRL	<b>Revisado :</b> Ing. D. Veneros
<b>Fecha :</b> Abril, 2010	<b>Fecha de Revisión :</b> Abril, 2011

**SPT : E 29-II**

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 <sup>3</sup>		Gráfica de N	
8.7	2.00	M-8	CH		-	-	Arcilla limosa de plasticidad alta, muy compacta, saturada, marrón grisáceo. Concreciones.	15	29
10.7	1.10	M-9	SM		-	-	Arena fina limosa, muy densa, saturada, marrón amarillento. Finos no plásticos.	29	29
	0.60	M-10	CL		-	-	Arcilla limosa de plasticidad baja, muy compacta, saturada, marrón amarillento.	36	36
12.7	0.50	M-11	SM		-	-	Arena fina limosa, densa, saturada, marrón plumizo. Finos de plasticidad baja. Concreciones	31	36
	1.10	M-12	ML		-	-	Limo arenoso no plástico, duro, saturado, marrón claro. Concreciones.	31	31
14.7	3.70	M-13	CL		-	-	Arcilla limosa arenosa de plasticidad media, dura, saturada, marrón claro. Concreciones	37	37
16.7	0.90	M-14	CL		-	-	Arcilla limosa arenosa de plasticidad baja, dura, saturada, marrón claro.	45	45
18.7	0.60	M-15	SP		-	-	Arena media a gruesa, mal graduada, muy densa, saturada, color plumizo.	46	46
	0.40	M-16	SP-SM		-	-	Arena fina, gravosa, ligeramente limosa, mal graduada, muy densa, con gravas angulares de 1" de tamaño máximo.	46	46

Ensayo de Penetración Estandar	
Gráfica de N	
10	50
20	40
30	30
40	20
50	10

15, 35, 60 (3")*
33, 45, 60 (3")*
35, 48, 60 (2")*



**REGISTRO DE SONDAJE**

<b>Proyecto :</b> Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima	<b>Código :</b> E 31
<b>Solicitado :</b> MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO	<b>Prof. Total (m) :</b> 8.00
<b>Estudio :</b> E.S. Planta industrial NOVAFONTE del Perú S.A.	<b>Nivel Freático :</b> N.A.
<b>Ubicación :</b> Av. San Juan de Dios Lt. 6	<b>Cota Absoluta :</b> -
<b>Referencia:</b> M&M Consultores SRL	<b>Revisado :</b> Ing. D. Veneros
<b>Fecha :</b> Octubre, 2004	<b>Fecha de Revisión :</b> Abril, 2011

**CALICATA : E 31**

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 <sup>3</sup>		Gráfica de N				
								10	20	30	40	50
0.0												
1.0	1.70	S/M	R		-	-	Relleno. Arcilla limosa, arenosa, de plasticidad media, medianamente compacta, seca, marrón, restos de desmonte (pedazos de ladrillo, concreto, etc).					
2.0	0.50	M-1	SM		-	-	Arena fina, ligeramente limosa, mal graduada, medianamente densa a densa, ligeramente húmeda, marrón claro. Finos no plásticos, concreciones					
3.0	0.80	M-2	SP-SM		-	-	Arena fina ligeramente limosa, mal graduada, medianamente densa a densa, ligeramente húmeda, marrón claro. Finos no plásticos concreciones					
4.0	0.80	M-3	CL		-	-	Arcilla limosa de plasticidad media medianamente compacta, ligeramente húmeda, marrón claro.					
	0.30	M-4	SP-SM		-	-	Arena fina ligeramente limosa, mal graduada, medianamente densa, ligeramente húmeda, marrón claro. Finos no plásticos					
	0.30	M-5	CL		-	-	Arcilla limosa de plasticidad media, medianamente compacta, ligeramente húmeda, marrón claro.					
	0.20	M-6	SM		-	-	Arena fina limosa, medianamente densa, ligeramente húmeda.					
5.0	1.40	M-7	CL		-	-	Arcilla limosa de plasticidad media, medianamente compacta, ligeramente húmeda, marrón claro. Concreciones					
6.0	0.40	M-8	SM		-	-	Arena fina limosa, medianamente densa, ligeramente húmeda, marrón claro. Finos no plásticos.					
7.0	0.90	M-9	SM		-	-	Arena fina limosa, medianamente densa, ligeramente húmeda, marrón. Finos no plásticos					
8.0	0.70	M-10	CL		-	-	Arcilla limosa arenosa de plasticidad media, medianamente compacta, ligeramente húmeda, marrón claro.					



**REGISTRO DE SONDAJE**

<b>Proyecto :</b> Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima	<b>Código :</b> E 34
<b>Solicitado :</b> MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO	<b>Prof. Total (m) :</b> 5.40
<b>Estudio :</b> E.S. Cementerio Parque del buen retiro - Puente Piedra	<b>Nivel Freático :</b> 2.80
<b>Ubicación :</b> Altura del km 29.5 carretera Panamericana Norte	<b>Cota Absoluta :</b> -
<b>Referencia:</b> M&M Consultores SRL	<b>Revisado :</b> Ing. D. Veneros
<b>Fecha :</b> Setiembre, 1998	<b>Fecha de Revisión :</b> Abril, 2011

**CALICATA E34**

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 <sup>3</sup>		Gráfica de N					
								10	20	30	40	50	
0.0													
1.00	M-1	CL			-	-	Arcilla limosa, de plasticidad baja, compacta, húmeda, marrón.						
0.90	M-2	CL			-	-	Arcilla limosa de plasticidad media, blanda, húmeda, marrón.						
0.50	M-3	CL			-	-	Arcilla limosa de plasticidad media, medianamente compacta, saturada, marrón amarillento.						
0.40	M-4	OL			-	-	Arcilla limosa, orgánica, de plasticidad media, blanda, saturada, plomo oscuro.						
0.30	M-5	SC			-	-	Arena fina arcillosa, medianamente densa, húmeda, marrón oscuro. Finos de plasticidad baja.						
0.30	M-6	OL			-	-	Arcilla limosa, orgánica de plasticidad baja, blanda, saturada, plomo oscuro.						
0.30	M-7	CL			-	-	Arcilla limosa, de plasticidad media, medianamente compacta, saturada, plomo verdoso.						
0.50	M-8	SC			-	-	Arena fina, arcillosa, medianamente densa, saturada, marrón. Finos de plasticidad baja.						
0.60	M-9	CL			-	-	Arcilla limosa, de plasticidad media, medianamente compacta, saturada, marrón.						
0.40	M-10	SM			-	-	Arena fina limosa, medianamente densa, saturada, plomo claro.						
0.20	M-11	GP			-	-	Grava arenosa, mal gradada, densa, saturada, marrón, plomizo.						



**REGISTRO DE SONDAJE**

<b>Proyecto</b> : Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima	<b>Código</b> : E 37
<b>Solicitado</b> : MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO	<b>Prof. Total (m)</b> : 4.00
<b>Estudio</b> : E.S. Puente Grúa - Planta Industrial METALPREN S.A.	<b>Nivel Freático</b> : N.A.
<b>Ubicación</b> : Calles Nº 4, 5 y 7 Zona Industrial de Pte. Piedra	<b>Cota Absoluta</b> : -
<b>Referencia</b> : M&M Consultores SRL	<b>Revisado</b> : Ing. D. Veneros
<b>Fecha</b> : Octubre, 1996	<b>Fecha de Revisión</b> : Abril, 2011

**CALICATA E37**

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 <sup>3</sup>		Gráfica de N	
0.0	0.10	-	-		-	-	Losa de concreto.	10	20
0.5	0.95	M-1	CL		-	-	Arcilla arenosa, de plasticidad media, medianamente compacta, ligeramente húmeda, marrón oscuro. Restos de cerámicos antiguos. Conchuelas.	10	16
1.0	1.30	M-2	CL		-	-	Arcilla limosa, de plasticidad baja, compacta, ligeramente húmedo, marrón. Concreciones.	10	13
2.0	0.10	M-3	SP		-	-	Arena fina, mal graduada, densa, ligeramente húmeda.	10	25
2.5	0.45	M-4	CH		-	-	Arcilla limosa, de plasticidad alta, compacta, ligeramente húmeda, marrón.	10	21
3.0	0.20	M-5	SP		-	-	Arena fina, mal graduada, densa, ligeramente húmeda, marrón verdoso.	10	14
3.5	0.40	M-6	CH		-	-	Arcilla limosa, de plasticidad alta, compacta, ligeramente húmeda, marrón amarillento.	10	13
4.0	0.15	M-7	ML		-	-	Limo ligeramente arenoso, no plástico, medianamente compacta.	10	5
4.0	0.35	M-8	CH		-	-	Arcilla limosa, de plasticidad media, compacta, ligeramente húmeda, marrón amarillento.	10	17

Ensayo de Penetración Cono Peck

Gráfica de N

—○— SPT    —△— CP



**REGISTRO DE SONDAJE**

<b>Proyecto</b> : Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima	<b>Código</b> : E 45
<b>Solicitado</b> : MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO	<b>Prof. Total (m)</b> : 1.50
<b>Estudio</b> : E.S. Para el mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y desagüe	<b>Nivel Freático</b> : N.A.
<b>Ubicación</b> : Entre los Pozos tubulares P-1 y P-2	<b>Cota Absoluta</b> : -
<b>Referencia</b> : JAH. Ingenieros.	<b>Revisado</b> : Ing. D. Veneros
<b>Fecha</b> : Noviembre, 1995	<b>Fecha de Revisión</b> : Abril, 2011

**CALICATA : E 45**

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 <sup>3</sup>		Gráfica de N				
								10	20	30	40	50
0.0	0.60	M-1	CL-ML		-	-	Terreno de cultivo, conformado por limo arcilloso, color marrón oscuro, en estado compacto y húmedo, con presencia de raíces.					
0.5	0.90	M-2	CL		-	-	Arcilla plástica, color marrón, en estado húmedo y semi-compacto.					
1.0												
1.5												
2.0												
2.5												
3.0												



**REGISTRO DE SONDAJE**

**Proyecto** : Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima  
**Solicitado** : MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO  
**Estudio** : Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la Ciudad de Lima  
**Ubicación** : Asociación de propietarios Virgen de Copacabana.  
**Fecha** : Febrero, 2011

**Código** : C-08  
**Prof. Total (m)** : 1.70  
**Nivel Freático** : N.A.  
**Cota Absoluta** : -  
**Operador** : J.N.CH  
**Revisado** : Ing. D. Veneros

**CALICATA : C-08**

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 <sup>3</sup>		Gráfica de N				
0.0	0.10	S/M	--		-	-	tierra de cultivo, presencia de raíces, presencia de restos de concreto y basura.	10	20	30	40	50
0.5	1.40	M-1	ML		-	-	Limo de baja plasticidad con arena, color marrón. 26.2 % de arena y 73.8 % de finos.					
1.5	0.20	M-2	SC		-	-	Arena arcillosa blanda, ligeramente plástica, dura. 57.4 % de arena y 41.8 % de finos.					
2.0												
2.5												
3.0												

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°01

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO **CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"** SOLICITANTE **CAPITAL INVESTOR S.A.C.**

LUGAR **Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima**



Prof.(m)	Tipo Excavación	Muestra	Símbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS
1.00m.	A TAJADO ABIERTO φ 1.5			Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL
2.00m.				Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML
3.00m.				Arcilla de color marrón oscuro, medio húmedo, de mediana plasticidad, medio denso	CL
4.00m.				Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML
5.00m.					
6.00m.					
7.00m.					
8.00m.					
9.00m.					
10.00m.			1		Limo arenoso de color plomizo, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°02

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO **CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"** SOLICITANTE **CAPITAL INVESTOR S.A.C.**

LUGAR **Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima**



Prof. (m)	Tipo Excavación	Muestra	Símbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS	
1.00m.	A TAJADO ABIERTO φ=1.5			Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL	
2.00m.				Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL	
3.00m.				Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL	
4.00m.				Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML	
5.00m.				Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML	
6.00m.				Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL	
7.00m.				Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL	
8.00m.				Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL	
9.00m.			1		Limo de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML
10.00m.						

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°03

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO **CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"** SOLICITANTE **CAPITAL INVESTOR S.A.C.**

LUGAR **Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima**



Prof.(m)	Tipo Excavación	Muestra	Simbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS
1.00m.	A TAJADO ABIERTO φ-1.5	1		Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL
2.00m.		2		Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML
3.00m.		3		Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL
4.00m.		4		Limo de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML
5.00m.					
6.00m.					
7.00m.					
8.00m.					
9.00m.					
10.00m.					

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°04

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO **CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"** SOLICITANTE **CAPITAL INVESTOR S.A.C.**

LUGAR **Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima**



Prof.(m)	Tipo Excavación	Muestra	Símbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS	
1.00m.	A TAJADO ABIERTO φ 1.5			Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.	CL	
2.00m.						
3.00m.						
4.00m.						
5.00m.					Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML
6.00m.						
7.00m.					Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad	CL
8.00m.						
9.00m.					Limo de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML
10.00m.						

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°05

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO **CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"** SOLICITANTE **CAPITAL INVESTOR S.A.C.**

LUGAR **Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima**



Prof.(m)	Tipo Excavación	Muestra	Símbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS
1.00m.	A TAJADO ABIERTO φ=1.5			Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad	CL
2.00m.		1		Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML
3.00m.					
4.00m.					
5.00m.		2		Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad	CL
6.00m.					
7.00m.					
8.00m.					
9.00m.		3		Limo de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML
10.00m.					
11.00m.					

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°06

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"	SOLICITANTE	CAPITAL INVESTOR S.A.C.
LUGAR	Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima		



Prof.(m)	Tipo Excavación	Muestra	Símbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS
1.00m.	A TAJADO ABIERTO φ=1.5			Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad	CL
2.00m.				Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML
3.00m.					
4.00m.					
5.00m.					Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad.
6.00m.					
7.00m.					
8.00m.					
9.00m.				Limo de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML
10.00m.					
11.00m.	▼				

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°07

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"	SOLICITANTE	CAPITAL INVESTOR S.A.C.
LUGAR	Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima		



Prof.(m)	Tipo Excavación	Muestra	Símbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS	
1.00m.	A TAJADO ABIERTO Ø=1.5			Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad,	CL	
2.00m.				Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML	
3.00m.						
4.00m.						
5.00m.						
6.00m.				Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad	CL	
7.00m.						
8.00m.						
9.00m.		1		Limo de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad	ML	
10.00m.						
11.00m.	▼					

# REGISTRO DE EXCAVACIONES

CALICATA N°08

FECHA DICIEMBRE 2017

PROYECTO: CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"      SOLICITANTE: CAPITAL INVESTOR S.A.C.

LUGAR: Av. San Juan N°490(Esq. Av. San Juan y Av. Industrial) - Puente Piedra - Lima



Prof.(m)	Tipo Excavación	Muestra	Símbolo	Descripción Del Material	Clasificación SUCS
1.00m.	A TAJADO ABIERTO Ø=1.5			Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad	CL
2.00m.				Limo arenoso de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML
3.00m.					
4.00m.					
5.00m.					
6.00m.				Material de arcilloso de color marrón oscuro, poco húmedo, de baja plasticidad	CL
7.00m.					
8.00m.					
9.00m.					
10.00m.				Limo de color marrón claro amarillento, medio húmedo, medio denso, de baja plasticidad.	ML
11.00m.					

### III. RESULTADOS DE SONDAJES EJECUTADOS EN CAMPO





**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**REGISTRO DE PERFORACIÓN**

Proyecto:	Construcción de un centro Educativo	Ciudad:	Puente Piedra	Perforación:	C-1, C-2, C3
Cliente:	Grupo 26	Prov/ Dpto:	Lima/Lima	Prof. Total:	5.00 m
Expediente:	PCE-2020-2-G26	Altura (msnm):	N/A	Fecha de Inicio:	29/09/2020
Comentarios:	N/A	Napa Freática:	N/A	Fecha de Fin:	29/09/2020
				Perforista:	J. Zamora
				Tipo de Perf:	Calicata

Muestra			Prof (m)	Símbolo SUCS Gráfico	Descripción del Suelo (SUCS)
No.	Prof (m)	Tipo			
1	0.00-0.90	Mah	0.00	SP	Arena suelta mal graduada, ligeramente húmeda, marrón oscuro
			1.0		
		Mib			
			2.0	CL	Arcilla de baja plasticidad, compacta, ligeramente húmeda, marrón amarillento
2	0.90-3.50	Mab			
			3.0		
			4.0	CL	Arcilla de plasticidad media, compacta, ligeramente húmeda, marron rojizo
3	3.50 - 5.00	Mab			
			5.0		
					Fin perforación

# IV. PERFIL ESTRATIGRAFICO UNIDIMENSIONAL IMPLEMENTADO



Muestra		Prof (m)	Símbolo		Descripción
No.	Prof (m)		SUCS	Gráfico	
1	0.00-1.10		SP		Arena Cu=3.6 D50=0.35
2	1.10-2.30		CL		Arcilla IP= 10
3	2.30-3.70		CL		Arcilla IP= 10
4	3.70-5.30		CL		Arcilla IP= 10
5	5.30-7.00		CL		Arcilla IP= 10
6	7.00-8.90		CL		Arcilla IP= 10
7	8.90-11.0		CL		Arcilla IP= 10
8	11.0-13.20		CL		Arcilla IP= 10
9	13.2-15.60		CL		Arcilla IP= 10
10	15.6-19.20		CL		Arcilla IP= 10
11	19.2-20.60		CL		Arcilla IP= 10
12	20.6-23.50		CL		Arcilla IP= 10
13	23.5-26.80		CL		Arcilla IP= 10
14	26.8-30.20		CL		Arcilla IP= 10
					Continua perforación

Pag 1 de 3

Muestra		Prof (m)	Símbolo		Descripción
No.	Prof (m)		SUCS	Gráfico	
15	30.2-52.0		CL		Arcilla IP= 10
16	52.0-70.0		SP		Arena Cu=91.5 D50=20
					Continua perforación

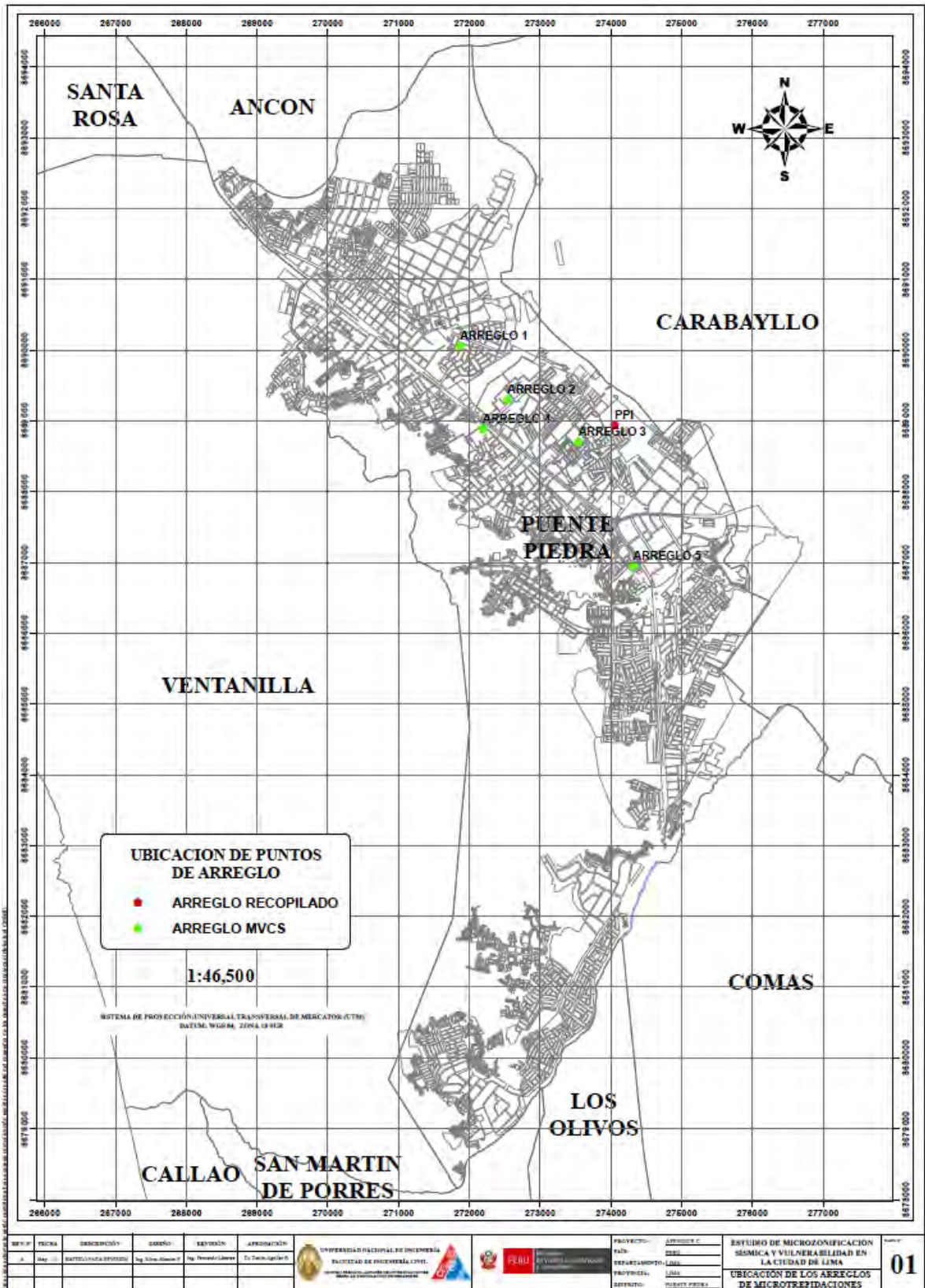
Pag 2 de 3

Muestra		Prof (m)	Símbolo		Descripción
No.	Prof (m)		SUCS	Gráfico	
16	52.0-70.0		SP		Arena Cu=91.5 D50=20
17	70.0-88.0		SP		Arena Cu=91.5 D50=20
18	88.0- ND				SUELO FIRME

Pag 3 de 3



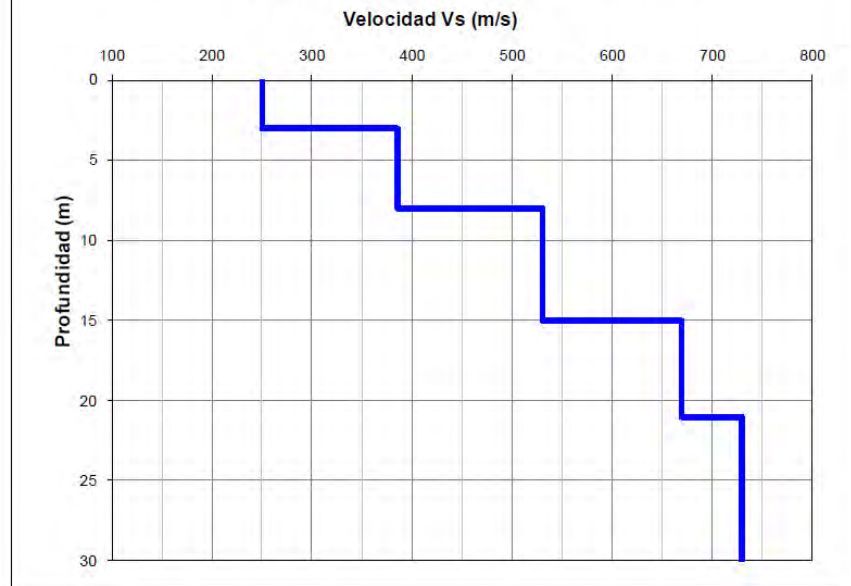
V. RESULTADOS DE  
PERFILES SISMICOS  
RECOPIRADOS



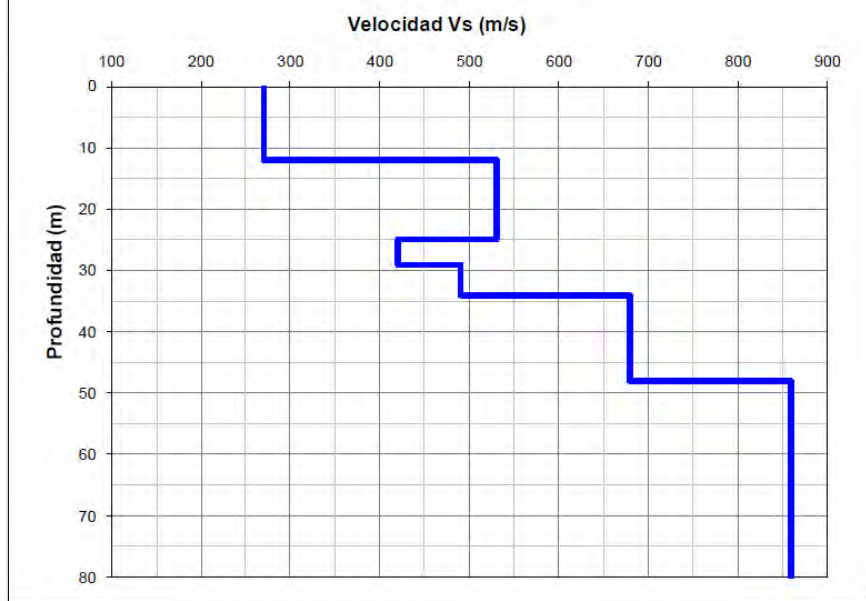
NO. Y	FECHA	DESCRIPCIÓN	CONSEJO	EXTENSIÓN	APROBACIÓN	PROYECTO	ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÓNICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA	01
1	01/01/2011	REVISIÓN	Ing. Wilson Guevara	Ing. Fernando Gómez	Dr. Carlos López	PAIS	PERU	
						DEPARTAMENTO	LIMA	
						PROYECTO	LIMA	
						PROYECTO	UBICACION DE LOS ARREGLOS DE MICROTRÉPIDACIONES	



**Fig.01 - Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
Perfil Sísmico "Arreglo N° 1"**

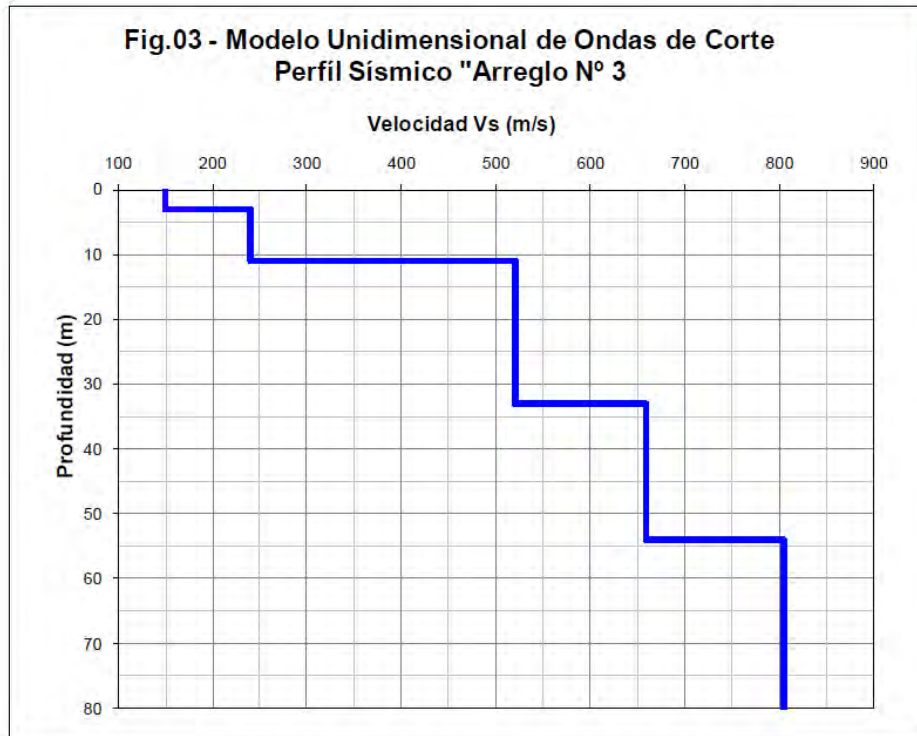


**Fig.02 - Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
Perfil Sísmico "Arreglo N° 2"**

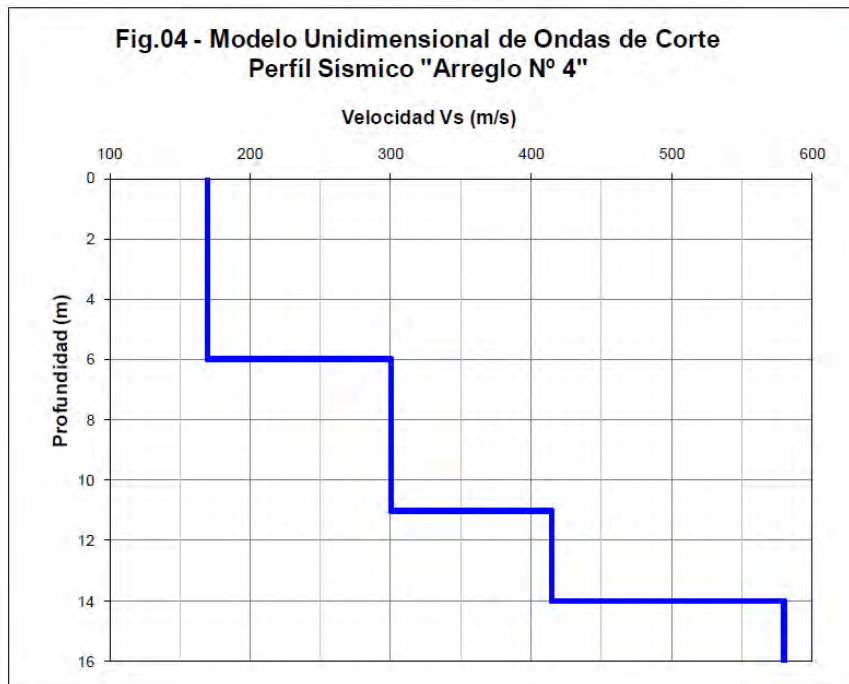


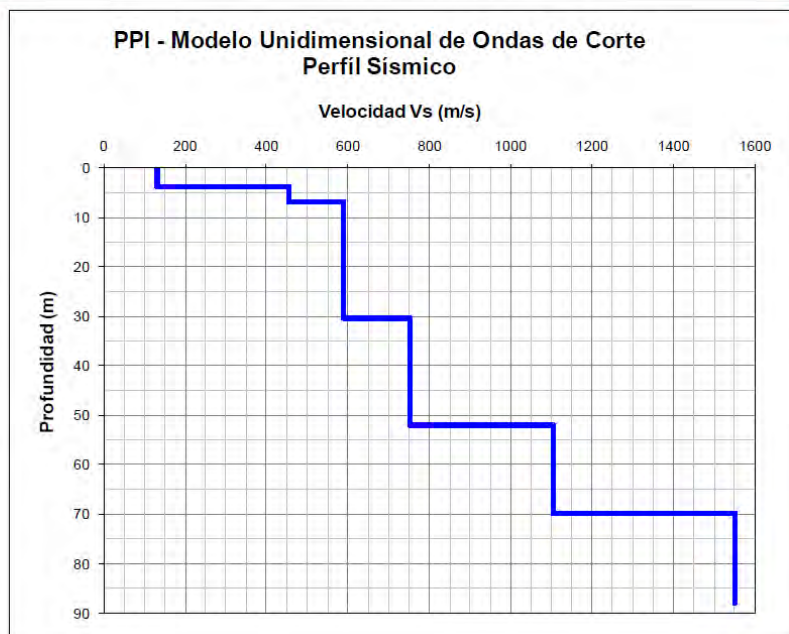
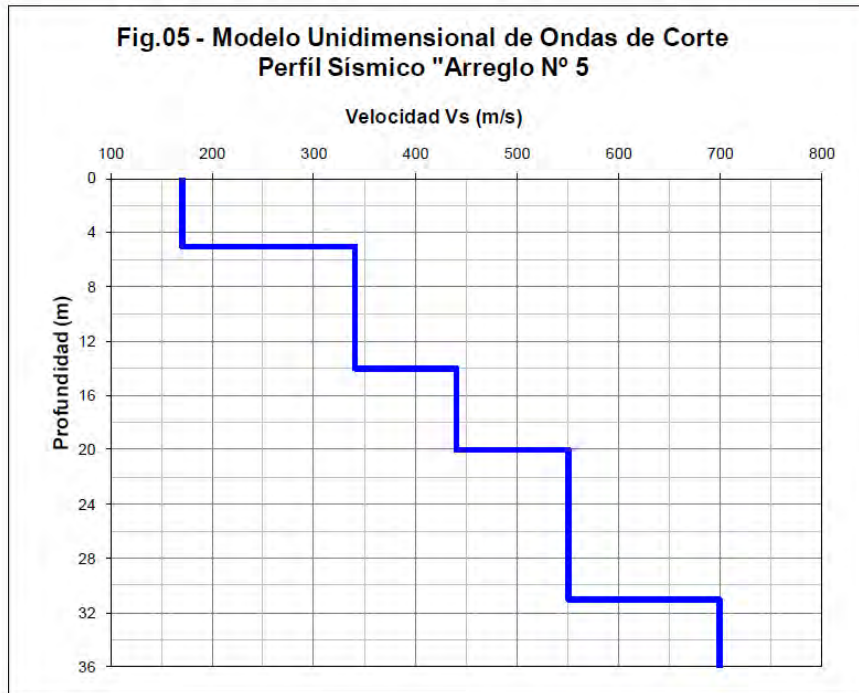



**Fig.03 - Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
Perfil Sísmico "Arreglo N° 3"**



**Fig.04 - Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
Perfil Sísmico "Arreglo N° 4"**







**VI. RESULTADOS DE  
PERFILES SISMICOS  
EJECUTADOS**

**Pontificia Universidad Católica del Perú**  
**ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW**

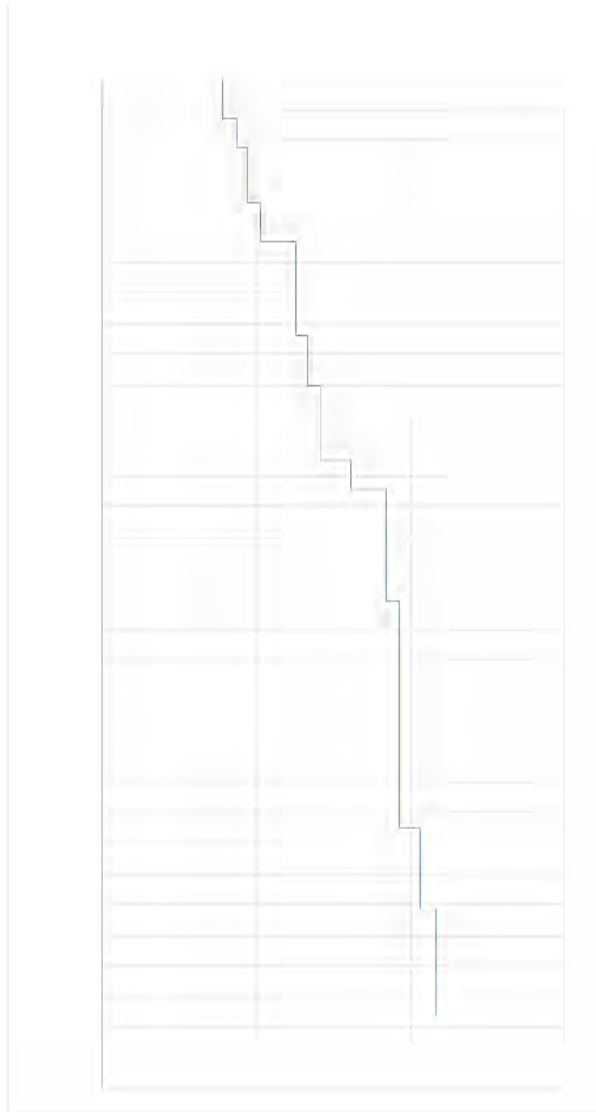
Sondaje:                     **S-01**                    

Proyecto:                     **Pabellón Educativo**                     Ciudad:                     **Puente Piedra**                     Prof. Total:                     **30.60 m**                    

Cliente:                     **Grupo 26**                     Prov/ Dpto:                     **Lima, Lima**                     Fecha de Inicio:                     **15/09/2020**                    

Expediente:                     **PI2020-2-G26**                     Altura (msnm):                     **N/A**                     Fecha de Fin:                     **15/09/2020**                    

Comentarios:                     **-----**                     Napa Freática:                     **N/A**                     Operador:                     **J. Zamora**                    



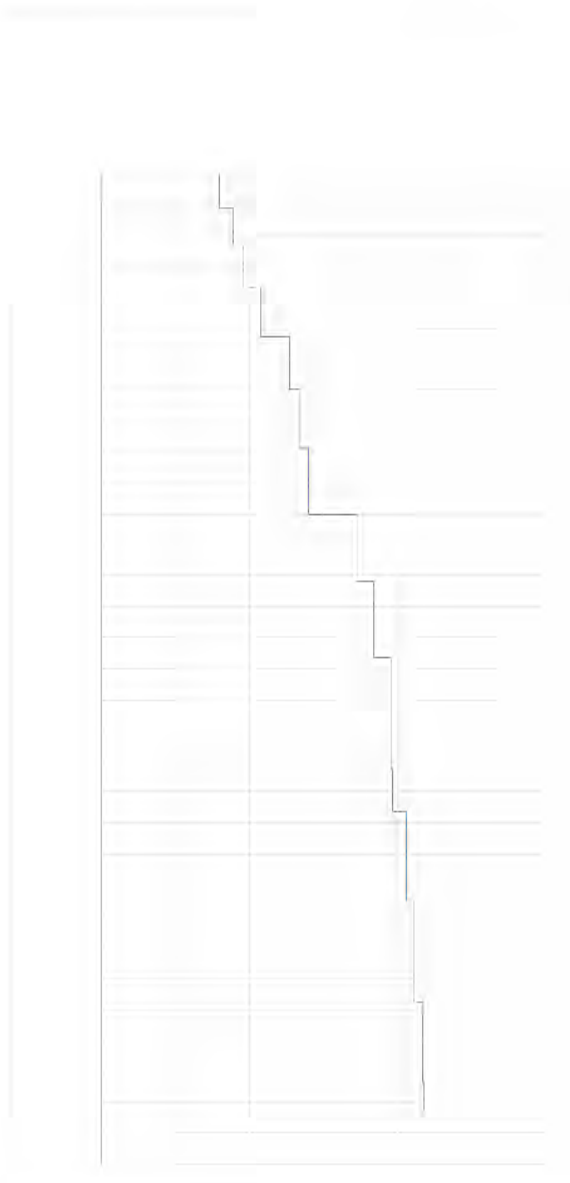
Prof (m)	Vs (m/s)
0.0	155.4
1.3	173.2
2.3	186.7
4.1	204.9
5.3	250.3
8.4	266.5
10.0	281.2
12.5	322.4
13.4	368.5
17.1	385.4
19.3	385.7
24.5	412.3
27.1	433.3
30.6	433.3




**PUCP**

**Pontificia Universidad Católica del Perú  
ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW**

Sondeje:	<b>S-02</b>				
Proyecto:	<b>Paellón Educativo</b>	Ciudad:	<b>Puerto Piedra</b>	Prof. Total:	<b>30.20 m</b>
Cliente:	<b>Grupo 26</b>	Prov/ Dpto:	<b>Lima, Lima</b>	Fecha de Inicio:	<b>15/09/2020</b>
Expediente:	<b>PI2020-2-G26</b>	Altura (msnm):	<b>N/A</b>	Fecha de Fin:	<b>15/09/2020</b>
Comentarios:	<b>-----</b>	Napa Freática:	<b>N/A</b>	Operador:	<b>J. Zamora</b>



Prof (m)	Vs (m/s)
0.0	159.1
1.1	177.8
2.3	191.4
3.7	215.6
5.3	254.7
7.0	267.3
8.9	278.9
11.0	345.6
13.2	368.5
15.6	368.5
-19.2	394.2
-20.6	412.3
-23.5	421.6
-26.8	435.4
-30.2	435.8



**VII. RESULTADOS DE ENSAYO  
DE LABORATORIO  
RECOPIRADOS**



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

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES  
**LABORATORIO GEOTÉCNICO**



Av. Túpac Amaru Nº 1150, Lima 25, Perú - Teléf. (51-1) 482-0804, 481-0170, 482-0777 - Correo labgeo@uni.edu.pe - Página <http://www.cismid-uni.org>

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS**

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG11-074 Fecha : Marzo, 2011  
Solicitante : MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO  
Proyecto : Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la Ciudad de Lima

Ubicación : Dist. Puente Piedra, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 08 Hoja : 1 de 1  
Muestra : M - 1  
Profundidad (m) : 0.10 - 1.50

Granulometría por tamizado		
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	99.7
Nº 20	0.850	96.2
Nº 40	0.425	89.5
Nº 60	0.250	85.4
Nº 140	0.106	76.1
Nº 200	0.075	73.8

Contenido de humedad	(%)	16.4
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%) 41
	Límite Plástico	(%) 27
	Índice de Plasticidad	(%) 14
	Límite de Contracción	(%) ---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [ Nº 4 < φ < 3" ]	(%) 0.0
	Arena [ Nº 200 < φ < Nº 4 ]	(%) 26.2
	Finos [ φ < Nº 200 ]	(%) 73.8

Clasificación	
AASHTO	SUCS
<b>A-7-6 (10)</b>	<b>ML Limo con arena</b>



*David Luna Duran*  
**DAVID LUNA DURAN**  
INGENIERO CIVIL - CIP. 43988  
JEFE DEL LAB. GEOTECNICO





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

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES  
**LABORATORIO GEOTÉCNICO**



Av. Túpac Amaru Nº 1150, Lima 25, Perú - Telf: (51-1) 482-0804, 481-9170, 482-0777 - Correo labgeoc@uni.edu.pe - Página http://www.cisamid-uni.org

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS**

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG11-074 Fecha : Marzo, 2011  
Solicitante : MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO  
Proyecto : Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la Ciudad de Lima

Ubicación : Dist. Puente Piedra, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 08 Hoja : 1 de 1  
Muestra : M - 2  
Profundidad (m) : 1.50 - 1.70

Granulometría por tamizado		
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	99.2
Nº 10	2.000	79.9
Nº 20	0.850	64.9
Nº 40	0.425	57.2
Nº 60	0.250	52.3
Nº 140	0.106	43.6
Nº 200	0.075	41.8

Contenido de humedad		(%)	7.3
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	35
	Límite Plástico	(%)	22
	Índice de Plasticidad	(%)	13
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coeficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coeficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [ Nº 4 < φ < 3" ]	(%)	0.8
	Arena [ Nº 200 < φ < Nº 4 ]	(%)	57.4
Finos [ φ < Nº 200 ]		(%)	41.8

Clasificación	
AASHTO	SUCS
<b>A-6 (2)</b>	<b>SC Arena arcillosa</b>



*David Luna Durán*  
**DAVID LUNA DURÁN**  
INGENIERO CIVIL - CIP. 43988  
JEFE DEL LAB. GEOTECNICO





**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**  
(ASTM - D3080)

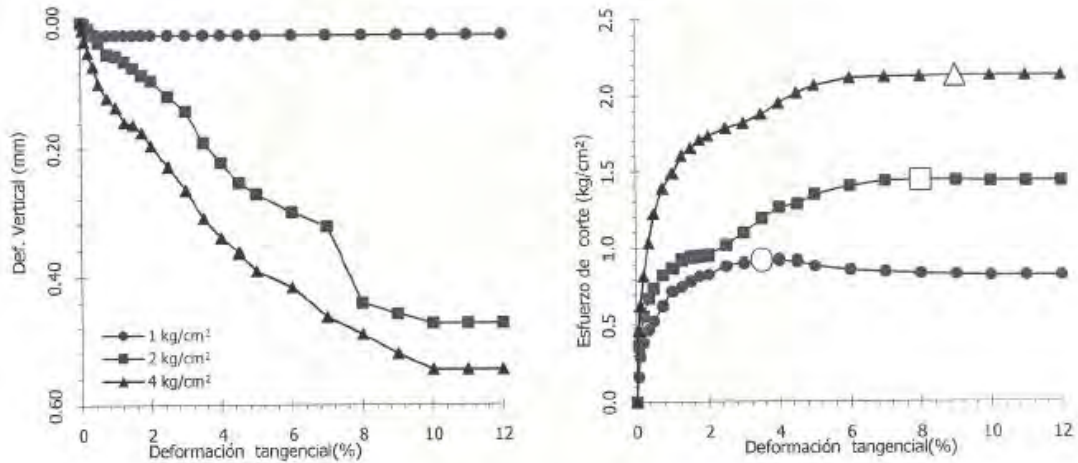
Informe : LGL1-074  
Solicitante : MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO  
Proyecto : Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima

Fecha : Marzo, 2011

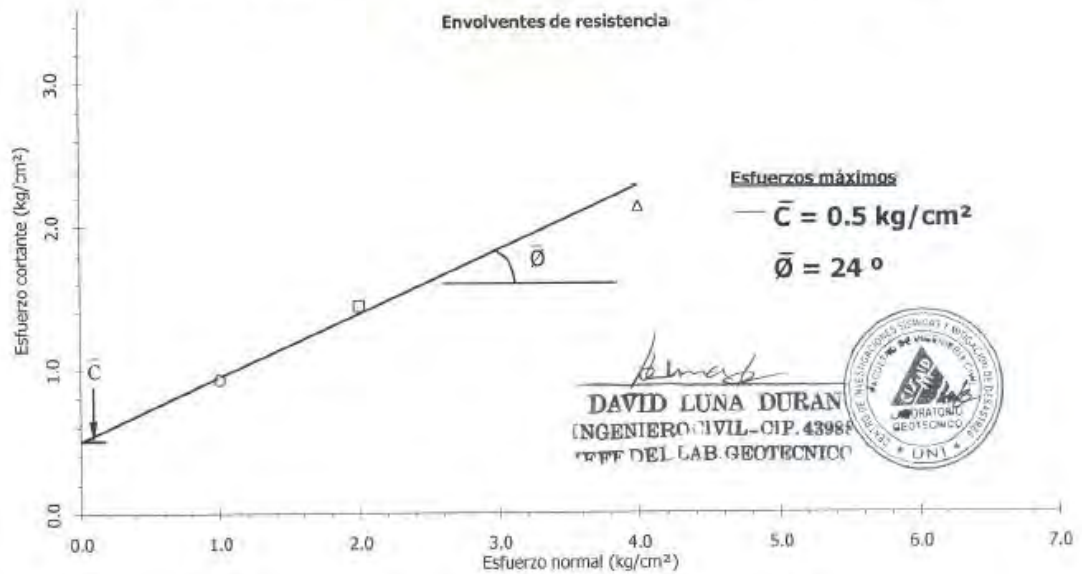
Ubicación : Dist. Puente Piedra, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje	C - 07	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 4	AASHTO	: A-6 (13)
Prof. (m)	1.80 - 2.35	SUCS	: CL / Arcilla delgada
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4

**Aplicación del esfuerzo cortante**



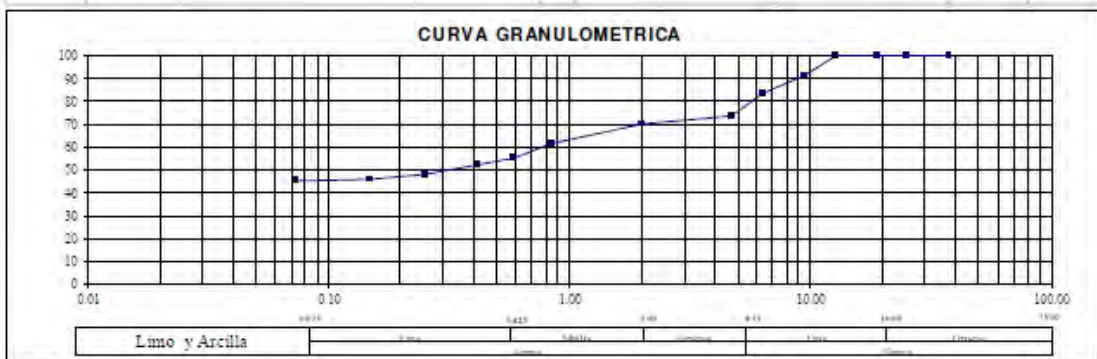
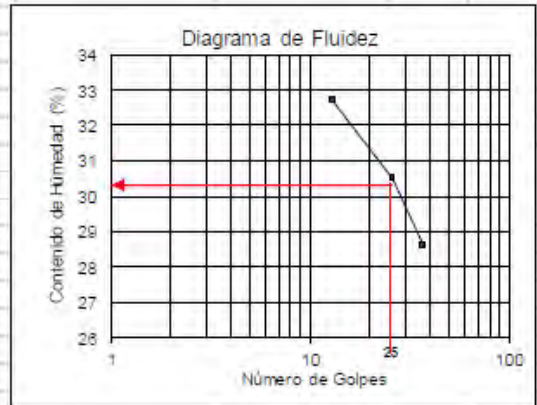
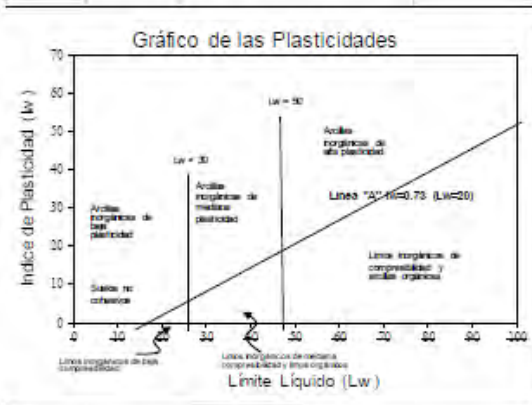
**Envoltentes de resistencia**



*David Luna Duran*  
**DAVID LUNA DURAN**  
INGENIERO CIVIL - CIP. 43984  
JEFE DEL LAB. GEOTECNICO



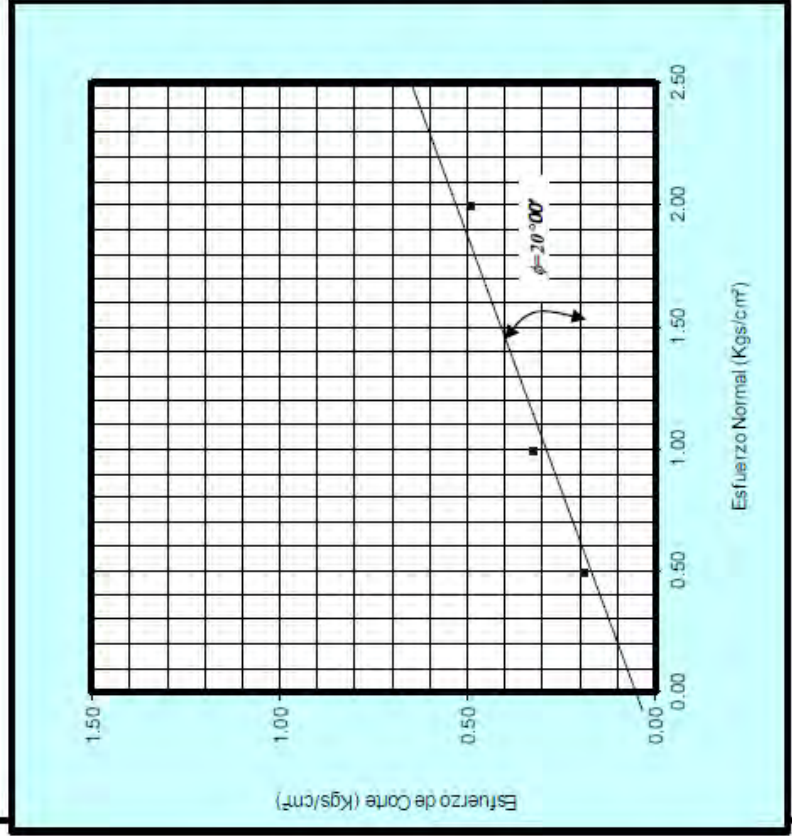
<b>PROYECTO</b>	<b>CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"</b>			
<b>UBICACION</b>	Av. San Juan N° 490 - Puente Piedra - Lima		<b>Estructura</b>	: Cimentación
<b>CLIENTE</b>	<b>CAPITAL INVESTOR SAC</b>		<b>Fecha</b>	: Diciembre 2017
Calve Laboratorio.	: 2778.17		Análisis Granulométrico Por Tamizado	
Ensayos	: Estándar de clasificación			
Normas	: ASTM D 422-D 2216-D 854-D 4318-D 427-D 2487			
<b>Tipo de Exploración</b>		<b>Calicata</b>		
N° de Exploración			<b>C<sub>3</sub></b>	
N° de Muestra			<b>M<sub>3</sub></b>	
Profundidad del Nivel Freático (m)			-	
Profundidad del Estrato (m)			<b>4.00-6.80</b>	
<b>Clasificación SUCS</b>		<b>CL</b>		
<b>PESO ESP. RELATIVO DE SÓLIDOS (S<sub>s</sub>)</b>				
<b>PESO ESPECÍFICO NATURAL (g )</b>				
<b>HUMEDAD NATURAL (w)</b>				
<b>LÍMITE LÍQUIDO (LL)</b>				
<b>LÍMITE PLÁSTICO (LP)</b>				
<b>ÍNDICE PLÁSTICO (IP)</b>				
<b>LÍMITE DE CONTRACCIÓN (LC)</b>				
<b>GRAVAS</b>	<b>29.94%</b>	<b>GRUESAS</b>	<b>0.00%</b>	
		<b>FINAS</b>	<b>29.94%</b>	
<b>% Acumulado Que Pasa</b>				
	Pulg.	(mm)		
	75.000	3"		
	50.800	2"		100.0
	38.100	1 1/2"		100.0
	25.400	1"		100.0
	19.050	3/4"		100.0
	12.700	1/2"		91.6
	9.525	3/8"		84.0
	6.350	1/4"		74.1
	4.750	Nº 4		70.1
	2.000	Nº 10		61.5
	0.840	Nº 20		55.5
	0.420	Nº 40		52.3
	0.250	Nº 80		48.5
	0.149	Nº 100		45.9
	0.074	Nº 200		45.6
D10 (mm)			Cu	-
D30 (mm)			Cc	-
D60 (mm)				
<b>ARENAS</b>	<b>24.4%</b>	<b>GRUESAS</b>	<b>8.59%</b>	
		<b>MEDIAS</b>	<b>9.22%</b>	
		<b>FINAS</b>	<b>6.63%</b>	
<b>FINOS</b>	<b>45.6%</b>			



**Proyecto** CENTRO COMERCIAL "LAS VEGAS PLAZA"  
**Ubicación** Avenida San Juan N°490 - Puente Piedra - Lima  
**Cliente** CAPITAL INVESTORSAC

**Estructura** : Cimentación  
**Fecha** : Diciembre 2017

# ENSAYO DE CORTE DIRECTO




Tipo de Exploración	CALICATA	
N° de Exploración	C <sub>3</sub>	
N° de Muestra	M4	
Profundidad del Estrato (m)	6.80-10.00	

Especíme n	I	II	II
Presión Normal (Kg/cm²)	0.50	1.00	2.00
Esfuerzo de corte (Kgs/cm²)	0.1820	0.3210	0.4870
Humedad (%)	27.50	27.50	27.50
Densidad húmeda (grs/cm³)	1.80	1.80	1.80

**Resultados:**

Angulo de Fricción Interna	20°00'00"
Cohesión (Kgs/cm²)	0.05



VIII. RESULTADOS DE  
ENSAYO DE  
LABORATORIO  
EJECUTADOS

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN  
NTP 339.127, 339.128, 339.129, 339.131

Solicitante : GRUPO 26	Expediente	PI20202-G26
Proyecto : Pabellón Educativo en Puente Piedra	Fecha :	21-Set-2020
Muestra : Varios	Profundidad: Varios	

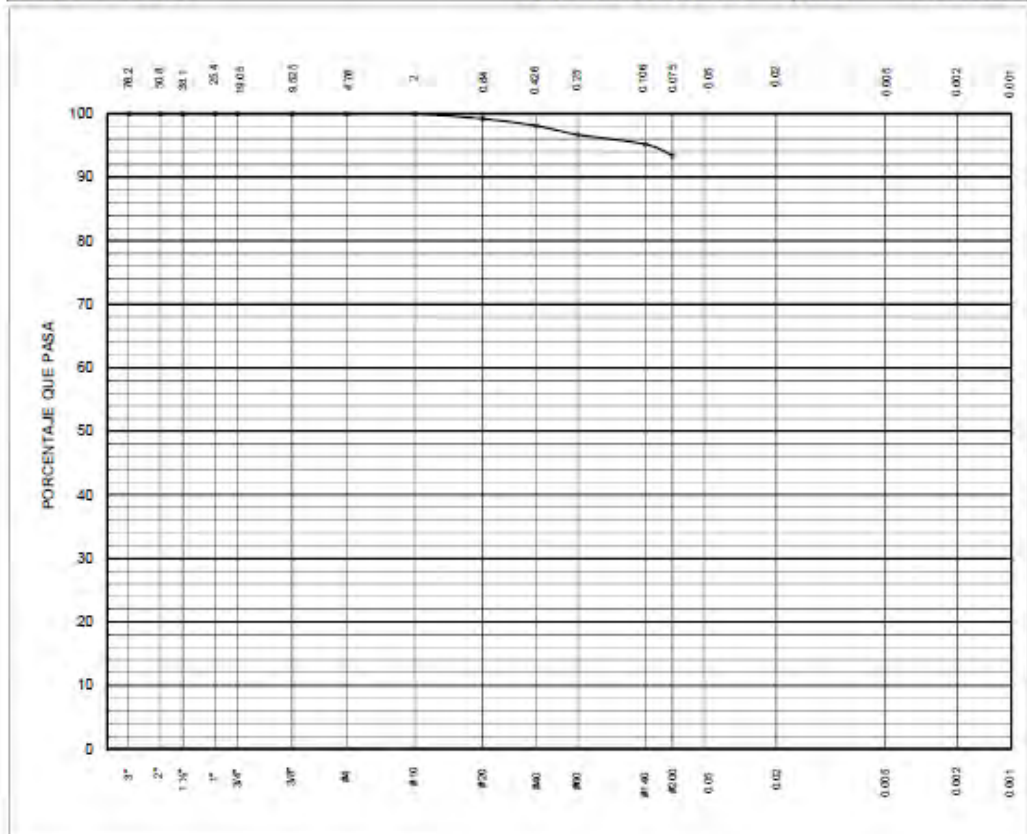
	Profundidad (m)		w %	Gs	qu kg/cm <sup>2</sup>	Consolidación			Sulfatos mg/kg	Sales Solubles mg/kg	Cloruros mg/kg
	Desde	Hasta				Cc	Cr	$\sigma'_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
M1 C1	0.50	0.80	8	2.66							
M2 C2	1.00	1.30	7.4								
M3 C2	1.50	1.80			1.67	0.091	0.009	2.35	217	332	115

J. Zamora  
Lab. de Mecánica de Suelos  
Proyecto Integrador



ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN  
NTP 339.127, 339.128, 339.129, 339.131

Solicitante : Grupo 26	Expediente PI2020G26
Proyecto : Pabellón Educativo en Puente Piedra	
Muestra : M3C1	Profundidad: 1.50-1.80 m
	Fecha : 21-Set-2020

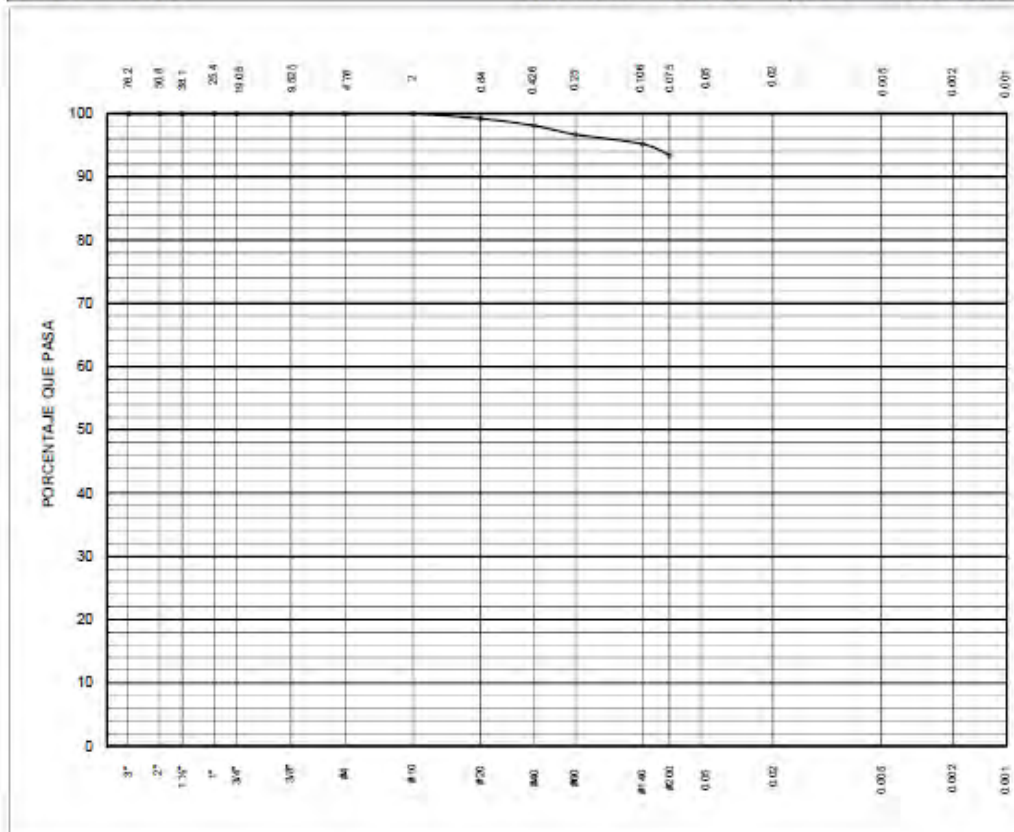


Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa	Diámetro en mm	Porcentaje que pasa	LL = 20	w = 7.4%	PU=2.002 g/cm³
3"	100.0	-----	-----	LP = 10	Gs = 2.72	qu=1.66 kg/cm³
2"	100.0	-----	-----	IP = 10	-----	
1 1/2"	100.0	-----	-----			
1"	100.0	-----	-----			
3/4"	100.0	-----	-----			
3/8"	100.0	-----	-----			
#4	100.0	-----	-----			
#10	100.0	-----	-----			
#20	99.2	-----	-----			
#40	98.1	-----	-----			
#60	96.7	-----	-----			
#140	95.2	-----	-----			
#200	93.4	-----	-----			

J. Zamora  
Lab. de Mecánica de Suelos  
Proyecto Integrador

**ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN**  
**NTP 339.127, 339.128, 339.129, 339.131**

Solicitante : Grupo 26	Expediente PI2020G26
Proyecto : Pabellón Educativo en Puente Piedra	
Muestra : M4 C3	Profundidad: 2.50-2.80 m
	Fecha : 21-Sep-2020



Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa	Diámetro en mm	Porcentaje que pasa
3"	100.0	-----	-----
2"	100.0	-----	-----
1 1/2"	100.0	-----	-----
1"	100.0	-----	-----
3/4"	100.0	-----	-----
3/8"	100.0	-----	-----
#4	100.0	-----	-----
#10	100.0	-----	-----
#20	99.2	-----	-----
#40	98.1	-----	-----
#60	96.7	-----	-----
#140	95.2	-----	-----
#200	93.4	-----	-----

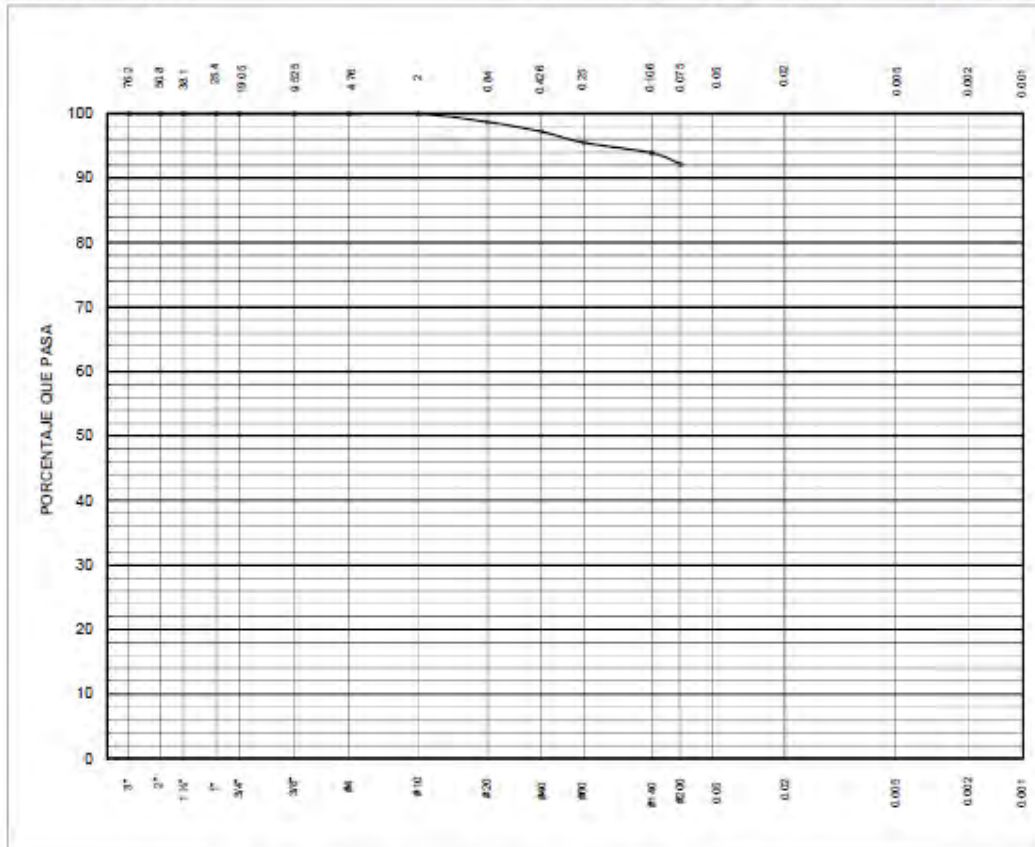
LL = 20	w = 7.4%	-----
LP = 10	Gs = 2.72	-----
IP = 10	-----	-----


**J. Zamora**  
 Lab. de Mecánica de Suelos  
 Proyecto Integrador

**ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN**  
**NTP 339.127, 339.128, 339.129, 339.131**

Solicitante : Grupo 26	Expediente PI2020G26
Proyecto : Pabellón Educativo en Puente Piedra	
Muestra : M5 C2	Profundidad: 4.50-4.80 m Fecha : 21-Set-2020



Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa	Diámetro en mm	Porcentaje que pasa	LL = 33	w = 6.8%
3"	100.0	---	---	LP = 12	Gs = 2.74
2"	100.0	---	---	IP = 21	---
1 1/2"	100.0	---	---	<p>J. Zamora Lab. de Mecánica de Suelos Proyecto Integrador</p>	
1"	100.0	---	---		
3/4"	100.0	---	---		
3/8"	100.0	---	---		
#4	100.0	---	---		
#10	100.0	---	---		
#20	98.7	---	---		
#40	97.2	---	---		
#60	96.5	---	---		
#140	93.9	---	---		
#200	92.2	---	---		



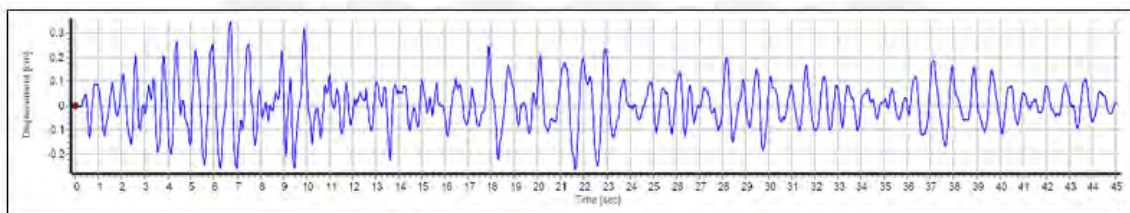
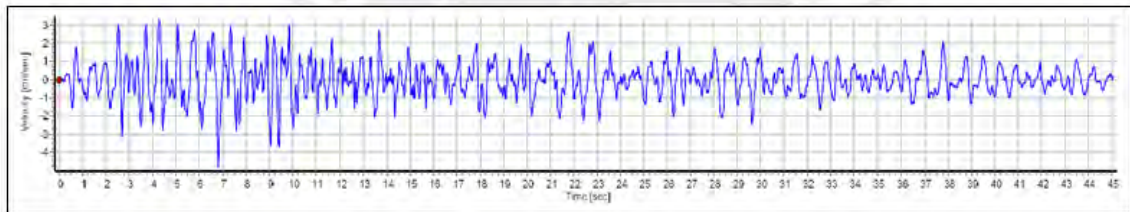
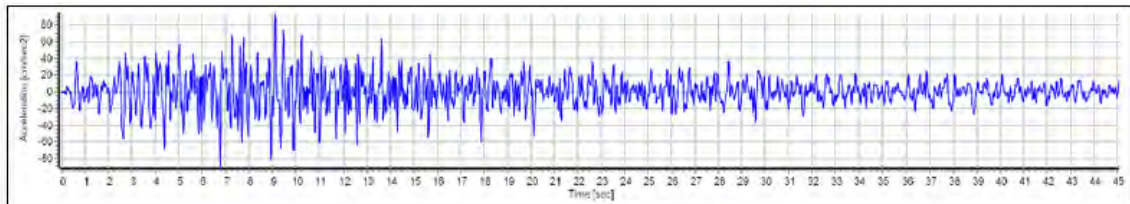
**IX. RESULTADOS DE  
REGISTROS SISMICOS  
IMPLEMENTADOS**

Huaraz 1970:

Tabla 3: Datos del sismo de Huaraz de1970]

Magnitud	Fecha	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
7.9	31/05/1970	-9.36	-78.87	64	321.4

Fuente: IGP

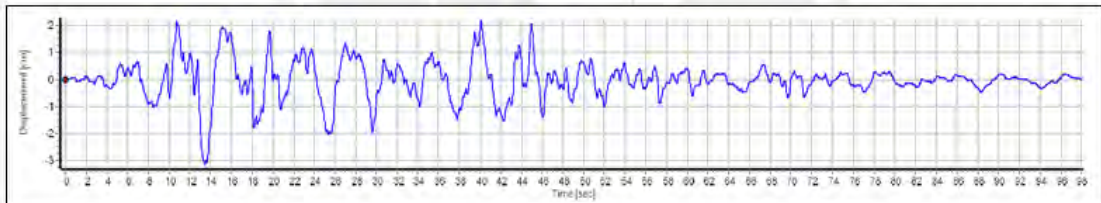
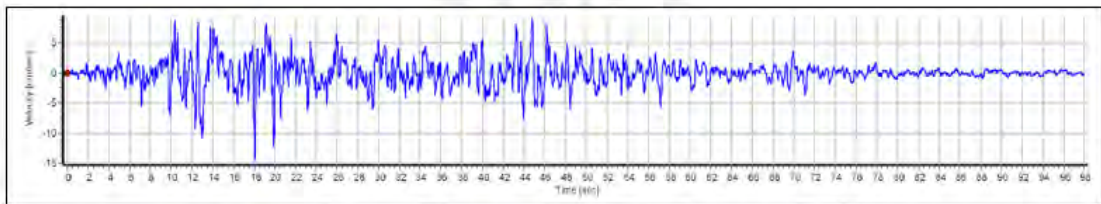
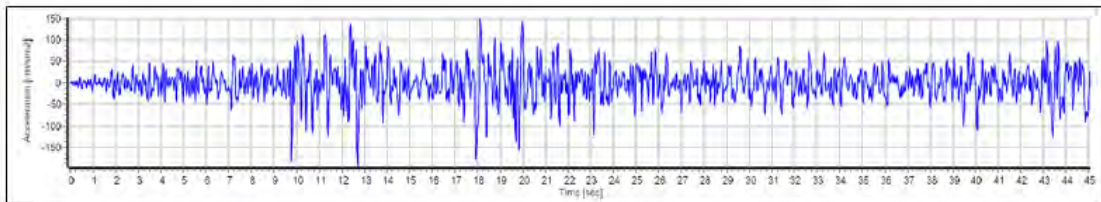


Lima 1974:

Tabla 4: Datos de sismo de Lima 1974

Magnitud	Fecha y Hora	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
8	3/10/1974	12.5	77.98	13	114

Fuente: IGP

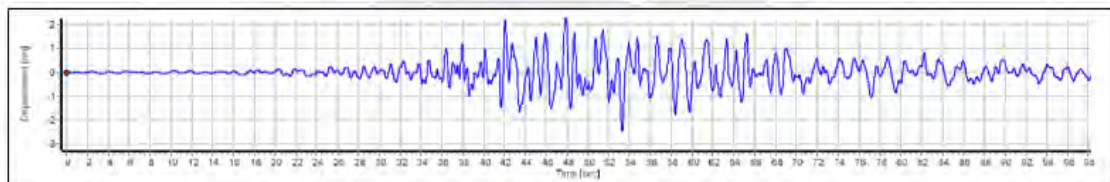
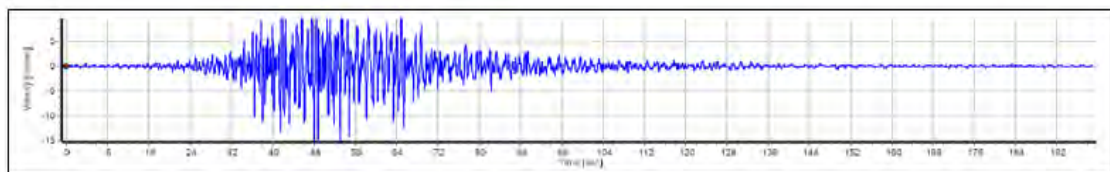
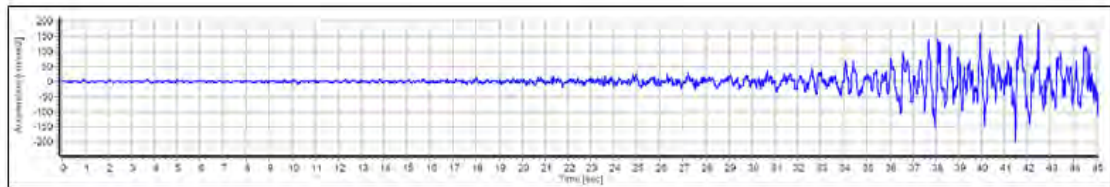


## Atico 2001:

Tabla 5: Datos del sismo de Atico de 2001

Magnitud	Fecha y Hora	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
6.3	23/06/2001	16.08	73.77	33	338.46

Fuente: CISMID

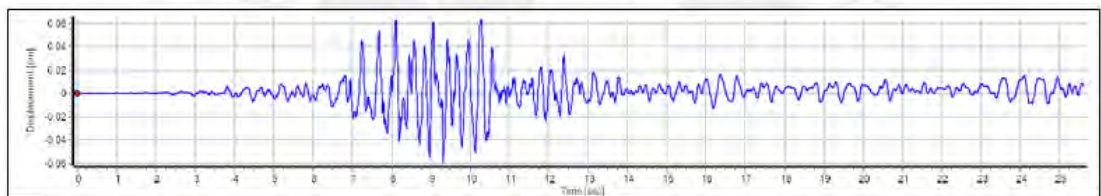
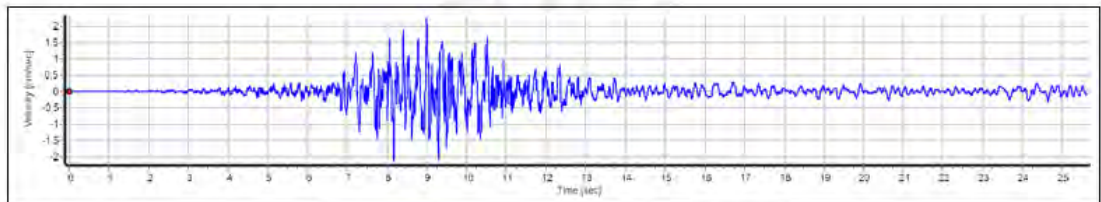
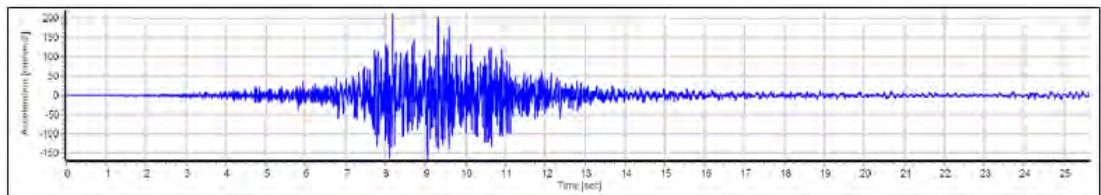


Maule 2010:

Tabla 6: Datos del sismo de Maule de 2010

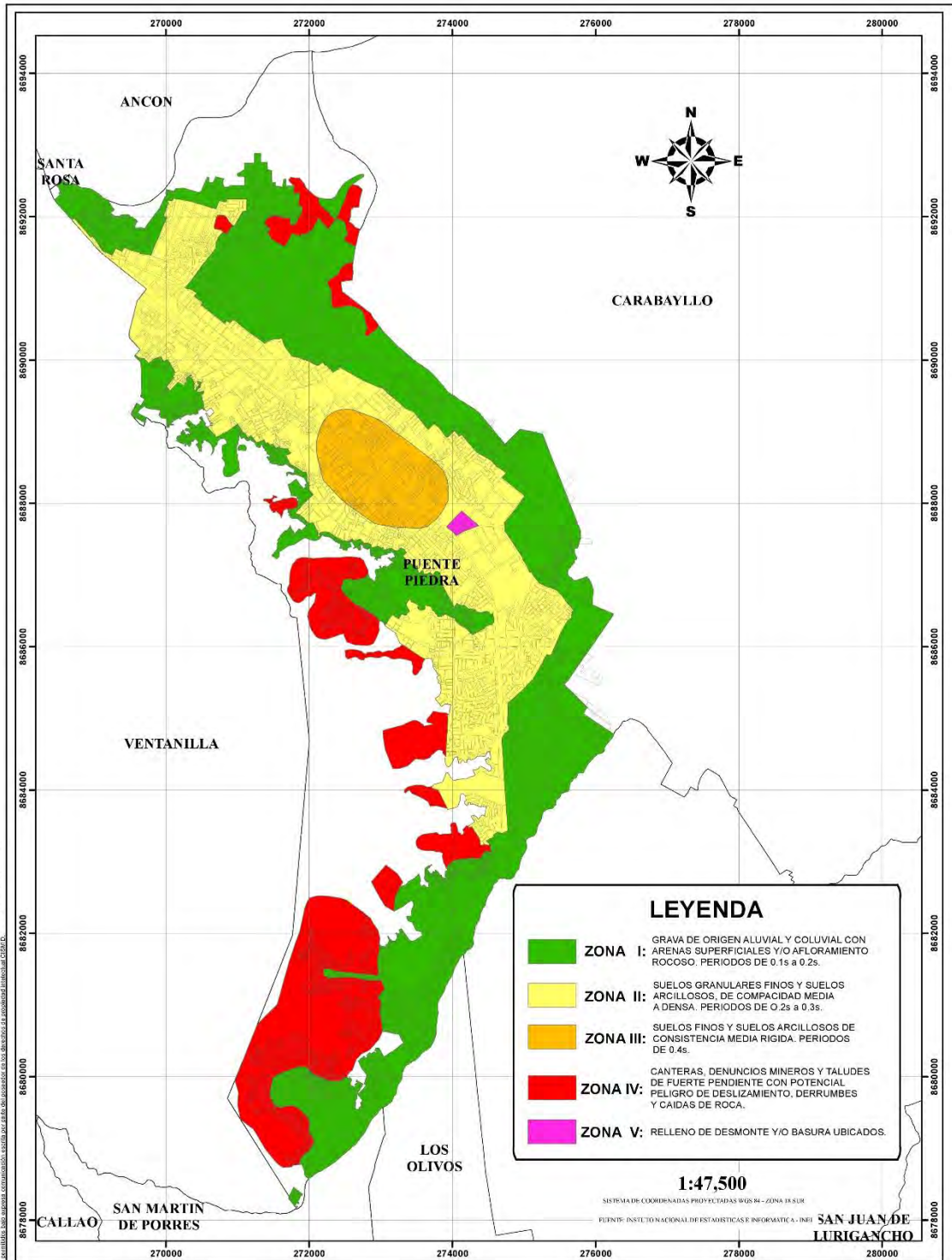
Magnitud	Fecha y Hora	Coordenadas		Distancia focal (Km)	Epicentro (Km)
		este	oeste		
8.8	27/02/2010	35.55	72.44	30.1	329.32

Fuente: RENADIC





X. MAPAS DE  
MICROZONIFICACIÓN  
SISMICA



Este documento es propiedad de la Universidad Nacional de Ingeniería. No se permite su reproducción, distribución o uso sin el consentimiento expreso de la Universidad Nacional de Ingeniería. Reservados todos los derechos.

REV. N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	DISEÑO	REVISIÓN	APROBACIÓN
1	Mar - 11	EMBURO PASA REVEREN	Raf. P. Aguado P.	Raf. P. Aguado P.	Dr. Juan Aguirre S.



PROYECTO:	ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA
PAIS:	PERU
DEPARTAMENTO:	LIMA
PROVINCIA:	LIMA
DISTRITO:	PUENTE PIEDRA

**ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA**  
**MICROZONIFICACIÓN SISMICA**