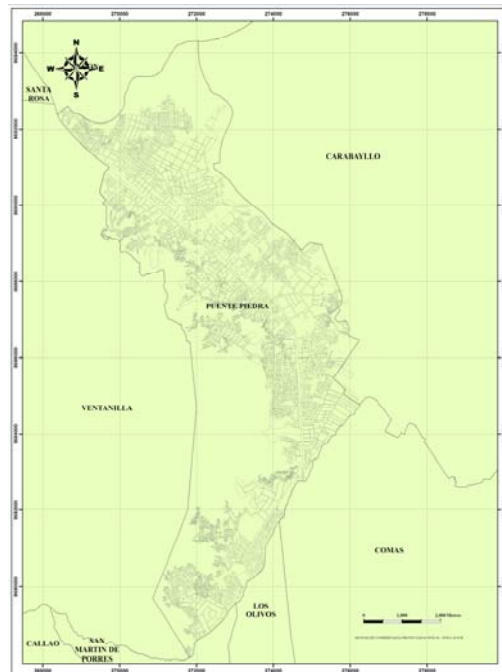


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

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

**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL
MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA “ESTUDIO DE MICRO
ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA”**



INFORME

**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE PUENTE
PIEDRA**

LIMA – MAYO, 2011



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	2
1.2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	2
1.3.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	2
II.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
2.1.	SISMICIDAD DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA	3
2.2.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.....	4
III.	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
3.1.	GEOMORFOLOGÍA DE PUENTE PIEDRA	5
3.2.	GEOLOGÍA DE PUENTE PIEDRA.....	6
IV.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO PUENTE PIEDRA.....	8
4.1.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.	8
4.2.	ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y PELIGRO GEOLÓGICO DE LOS TALUDES.	11
4.3.	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	15
V.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO PUENTE PIEDRA	18
5.1.	INTRODUCCIÓN	18
5.2.	ENSAYOS DE MEDICION DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO F-K.....	18
5.2.1.	EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	19
5.2.2.	PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO	20
5.2.3.	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	21
5.3.	MEDICIÓN DE MICROTREMORES.....	25
5.3.1.	MARCO TEÓRICO	25
5.3.2.	TRABAJO DE CAMPO.....	26
5.3.3.	PLANO DE ISOPERIODOS.....	27
5.3.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
VI.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	29
VII.	CONCLUSIONES	31
VIII.	REFERENCIAS	32



RESUMEN

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, firmaron un convenio específico para ejecutar el estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un plano de microzonificación sísmica para el distrito de Puente Piedra, complementando trabajos anteriormente desarrollados en este distrito con fines similares.

Esta investigación se llevó a cabo desarrollando tres áreas de estudio; peligro sísmico que emplea métodos probabilísticos y determinísticos para estimar la aceleración máxima horizontal en roca (PGA), valor importante para estimar las aceleraciones del terreno; la mecánica de suelos que caracterizando el suelo mediante exploración de campo, determina el tipo de material sobre el cual se asienta el área urbana, también se ha determinado el peligro geológico por efecto de taludes para las áreas altas del distrito y la dinámica de suelos que permite, mediante ensayos de tipo geofísicos, caracterizar el comportamiento dinámico de los suelos.

El Peligro Sísmico es un trabajo netamente de gabinete, desarrollándose en función de leyes de atenuación existentes y programas de cómputo diseñados para tal fin. Los estudios de mecánica y dinámica de suelos pasan primero por una etapa de recopilación de información existente, evaluando su cantidad y calidad, y programando luego los ensayos de campo en número suficiente para alcanzar los objetivos planteados.

Se presenta en los Apéndices A, B y C los resultados obtenidos en estas tres áreas de estudio, utilizando tanto la información recopilada como la generada en este trabajo.

Se obtiene un plano de microzonificación sísmica producto de la superposición de resultados obtenidos en las diferentes áreas de estudio, cuatro son las zonas que se identifican para el área urbana de este distrito. Las áreas señaladas en el plano, reflejan el posible comportamiento sísmico, de manera cuantitativa y cualitativa y de menos a más desfavorable, del suelo del distrito ante la ocurrencia de un sismo severo. Este plano permite proyectar los posibles daños que pueden ocurrir a las edificaciones y a la población. Se convierte también en un gran instrumento para la planificación urbana y/o para la reconstrucción post-desastre sísmico.



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El Distrito de Puente Piedra se crea por ley 5675 del 14 de febrero de 1927, suscrita por el presidente Augusto B. Leguía Tiene una extensión de 71,18 kilómetros cuadrados y una población estimada superior a los 200 000 habitantes

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, firmaron un convenio específico para ejecutar el estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad para la ciudad de Lima.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un plano de microzonificación sísmica para el distrito de Puente Piedra, complementando trabajos anteriormente desarrollados de este distrito con fines similares.

1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito de Puente Piedra se encuentra ubicado en el Cono Norte de Lima Metropolitana, tiene como límites:

- Por el Norte con los distritos de Ancón y Santa Rosa.
- Por el Oeste con el distrito de Ventanilla.
- Por el Sur con los distrito de Los Olivos y San Martín de Porres.
- Por el Este con los distritos de Carabayllo y Comas.

El Plano P-01 presenta el plano base del distrito de Puente Piedra, mostrando la zona urbana que abarca el área de estudio.

II. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación se desarrolla la sismicidad del área de estudio y la evaluación de su peligro sísmico. Mayores detalles se encuentran en el Apéndice A.



2.1. SISMICIDAD DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA

El distrito de Puente Piedra, y la ciudad de Lima en general, está expuesto a un alto nivel de peligro sísmico, producto de la alta actividad sísmica que genera la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, cuyos bordes convergen a pocos kilómetros del litoral peruano-chileno.

Dentro de los sismos históricos ocurridos en la Zona Central del Perú y que de alguna forma han afectado a la ciudad de Lima, tenemos los siguientes:

- El sismo del 9 de Julio de 1586, con intensidades de IX MMI en Lima y VI MMI en Ica.
- El sismo del 13 de Noviembre de 1655, con intensidades de IX MMI en el Callao y VIII MMI en Lima.
- El sismo del 12 de Mayo de 1664, con intensidades de X MMI en Ica, VIII MMI en Pisco y IV MMI en Lima.
- El sismo del 20 de Octubre de 1687, con intensidades de IX MMI en Cañete, VIII MMI en Ica y VII MMI en Lima.
- El sismo del 10 de Febrero de 1716, con intensidades de IX MMI en Pisco y V MMI en Lima.
- Sismo del 28 de Octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX –X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca.
- El sismo del 30 de Marzo de 1828, con intensidad de VII MMI en Lima.
- El sismo del 04 de Marzo de 1904, con intensidad de VII - VIII MMI en Lima.
- Sismo del 24 de Mayo de 1940 a las 11:35 horas: Intensidad de VIII (MMI) en Lima, VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo.
- El sismo del 17 de Octubre de 1966, con intensidad VII MMI en Lima.
- El sismo del 03 de Octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.
- El sismo del 18 de Abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.

- El 15 de Agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como "el sismo de Pisco" debido a que su epicentro fue



ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico $M_w=7.9$ de acuerdo al Instituto Geofísico del Perú y de 8.0 según el National Earthquake Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima. VI en las localidades de Yauyos (Lima), Huaytará (Huancavelica), IV en las ciudades de Huaraz y localidades de Canta, Puquio, Chala. Este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas, y una licuación generalizada en un área de más de 3Km de longitud por 1.0 Km de ancho en las zonas de Canchamaná y Tambo de Mora en Chincha.

Del análisis de la información existente se deduce que para el área de influencia considerada en este estudio existe poca información histórica. Desde el siglo XVI hasta el siglo XIX sólo se reportan los sismos sentidos en las ciudades principales, lo cual implica que dicha actividad sísmica no es totalmente representativa, ya que pudieron haber ocurrido sismos importantes en lugares remotos y que no fueron reportados. Se concluye que de acuerdo a la historia sísmica del área de Lima (400 años), han ocurrido sismos de intensidades tan altas como IX en la escala de Mercalli Modificada.

2.2. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico del área de estudio se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica como son las leyes de atenuación de Youngs et al (1997) para suelo y roca, la ley de atenuación del CISMID (2006) y la ley de atenuación de Sadigh et al (1997) y como herramienta para el proceso de información el programa de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos. Se han utilizado las fuentes sismogénicas para sismos continentales y de subducción, las cuales están basadas en el trabajo de tesis de investigación de Gamarra y Aguilar (2009).

Para la evaluación del peligro sísmico mediante leyes de atenuación para aceleraciones espectrales en el distrito de Puente Piedra, se ha considerado las coordenadas geográficas:

$$-77.09^\circ \text{ } -11.87^\circ$$



Se utilizará la clasificación de suelos propuesta en el Internacional Building Code (IBC, 2006) para la descripción de los resultados obtenidos, los cuales muestran que la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo del Tipo B (roca), es de 0.33 g, este valor está referido al basamento rocoso o suelo firme y la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo firme del Tipo D, y considerando un suelo denso del Tipo C, presenta aceleraciones horizontales máximas (PGA) que varían entre 0.44 g a 0.53 g. Estos valores de aceleración corresponden a un periodo de retorno de 475 años, con un periodo de exposición sísmica de 50 años con una probabilidad de excedencia del 10%

III. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las características geomorfológicas del área de estudio, se ha obtenido de la información contenida de una serie de estudios que han involucrado el distrito de Puente Piedra, los cuales serán mencionados posteriormente para dar respaldo al capítulo en mención.

3.1. 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 luitas y limolitas las formas son redondeadas con pendientes más suaves.



3.2. GEOLOGÍA DE PUENTE PIEDRA

A. 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 meta-andesitas 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 propi litización. La edad correspondiente es el Jurásico superior-Cretáceo inferior.

Formación Puente Inga (Ki-pi).- Esta unidad sobreyace al volcánico Santa Rosa e infrayace a la Formación Ventanilla, esta serie es predominantemente volcánica-sedimentaria, formado por andesitas afáníticas, en capas delgadas, que se intercalan con limolitas y areniscas, sobreyaciendo 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 consiste de una secuencia mayormente sedimentaria, con algunas intercalaciones volcánicas, litológicamente esta 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 afánítica. 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 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.

B. 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 mas suaves. En superficie éstas se encuentren disturbadas y propensas a la inestabilidad.

C. Morfogénesis y Aspectos Geodinámicos

La configuración del relieve en la región está subordinada a procesos morfogénéticos 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.

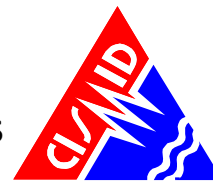
IV. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO PUENTE PIEDRA

4.1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO.

La información geotécnica ejecutada y recopilada en el presente estudio, así como la descripción de los diferentes perfiles estratigráficos (ver Anexo B-0, Láminas 01, 02, 03, 04 y 05, del Apéndice B) proyectados han permitido identificar zonas del distrito con tipos de suelos con características similares, los cuáles serán considerados en la Microzonificación Geotécnica del Distrito de Puente Piedra.

Para determinar las características geotécnicas del distrito de Puente Piedra, se ha tomado como base la recopilación de estudios geotécnicos (CISMID, 2004), así como los estudios de mecánica de suelos ejecutados por terceros en diferentes años. Esta información ha sido complementada con un programa de exploración geotécnica de verificación realizado como parte del presente proyecto. La ubicación de los estudios recopilados y las calicatas ejecutadas se indican en el Plano P-01 del Apéndice B. Los registros de los sondeos recopilados y ejecutados se muestran en los Anexos B-1 y B-2 del Apéndice B, respectivamente.

Seguidamente se presenta una descripción de la estratigrafía de los suelos recopilados y ejecutados de acuerdo a las siguientes zonas que agrupa los sectores identificados en el Plano "Sectorización del Distrito de Puente Piedra", adjunto en el Anexo B-6 del Apéndice B:



Zona Nor-Oeste, comprende los sectores 12 y 14. Esta Zona se encuentra limitada: al norte con el Distrito de Ancón, al oeste con el Distrito de Ventanilla, al este con el Sector 15 y al sur con la Av. Santa Luisa y La Av. El Arenal.

De acuerdo a las calicatas ejecutadas para el presente estudio; en la calicata C-02, ubicada en la Mz. J (frente al Lt. 59) de la Asociación Micaela Bastidas, se encontró hasta los 0.40 m de exploración un material de relleno conformado por desmonte de ladrillo, piedras y basura, seguido por un estrato de 2.80 m de espesor constituido por arena de características variadas predominado la arena ligeramente limosa, medianamente densa.

En el registro del estudio E01, ubicado en el Asentamiento Humano Jesús Oropesa Chota, se describe un estrato superficial de 0.30 m de espesor conformado por un relleno con matriz de arena fina y gravilla angulosas, restos orgánicos como plumas, polietileno y papeles, seguido de un estrato variado de arenas, predominante de arena fina pobremente gradada, eólica con presencia de costras salinas y carbonatos, y gravilla angulosa hasta los 2.5 m de investigación.

El registro de la calicata E-03, ubicada en el Jr. A, frente a Mz. H Lte. 20 - Asentamiento Humano Jerusalén entre la calle Jordán y San Marcos, describe un estrato de 0.25 m de espesor conformado superficialmente por un estrato de grava pobremente gradada con arcilla media plástica; subyacente le sigue una arena pobremente gradada en estado semicompacta, hasta 1.00 m de investigación.

El registro de la calicata E38-I, ubicada en la intersección de la Av. Ancón y Av. San Martín – Cooperativa Playa Hermosa, describe un relleno de 2.00 de espesor, compuesto en los 0.20 m por una arena fina gravosa, mal gradada, suelta con presencia de gravas angulosas; seguido en los 1.80 m de espesor por grava arenosa, limosa suelta seca, con presencia de bolones angulosos y fragmentos de roca.

El registro de la calicata E-49, ubicada en un área cercana al grifo San Pedro en la cementerio el Jardines del Buen retiro 29.50 Km. Panamericana Norte, describe un estrato de 1.5 m de espesor conformado por 0.35 m de relleno conformado por arena fina con gravillas; seguido por un arena limosa pobremente gradada en estado semi compacto.

Zona Nor-Este, comprende los sectores 13 y 15, y está ubicada al norte del Distrito de Puente Piedra.

El registro de la calicata C01, ubicada en el cruce del Jr. Zapallal y Ca. Santa Isabel - Centro Poblado zapallal, describe un estrato de 0.80 m de espesor conformado por relleno de arena suelta, con presencia de gravillas, bolsas plásticas en estado seco; seguido por arena fina semi densa hasta los 3.00 m de investigación.



El registro de la calicata E04, ubicada en la calle E, frente a la Mz. S, Lte 28 – Asentamiento Humano Jerusalén, describe un suelos de 1.0 m de arena pobremente gradada en estado semi compacto.

Zona Central Oeste, comprende la zona conformada por los sectores 5, 7, 8 y 10; y limitada al Este con la Panamericana Norte.

El registro de la calicata C-5, describe un relleno de 0.90 m de profundidad conformado por 0.20 m de tierra de cultivo, 0.20 m de arcilla limosa de alta plasticidad y de consistencia media, y 0.50 m de arcilla limosa, altamente plástica. Seguido por una arcilla delgada arenosa, altamente plástica, consistencia firme, con presencia de caliche a mayor profundidad respecto a los 2.70 m de investigación.

El registro de la calicata E-18, entre la Av. San Martín y Av. Sáenz Peña, se ha encontrado un estrato de 0.45 m de espesor conformado por relleno de tierra de cultivo. Seguido por un lente de 0.25 m de arena fina limosa, no plástica. A continuación sigue un lente de limo de 0.35 m de espesor, seguido por un estrato de 0.60 m de espesor compuesto por arena de grano fino, limoso con presencia de caliche muy aislada. Le sigue un estrato de 1.35 m de limo de mediana plasticidad con arena y arcilla.

Zona Central Este, comprende la zona conformada por los sectores 6, 9 y 11, y está limitada por el Oeste con la Panamericana Norte y por el Este con el Distrito de Carabaylo, por el Norte con el sector 13 y por el Sur con el Sector 4.

El registro de la calicata C-09, entre la Av. San Martín y Av. Sáenz Peña, se ha encontrado un estrato de 0.45 m de espesor conformado por relleno de tierra de cultivo. Seguido por un lente de 0.25 m de arena fina limosa, no plástica. A continuación sigue un lente de limo de 0.35 m de espesor, seguido por un estrato de 0.60 m de espesor compuesto por arena de grano fino, limoso con presencia de caliche muy aislada. Le sigue un estrato de 1.35 m de limo de mediana plasticidad con arena y arcilla.

El registro de la calicata E29-I, ubicado en la Av. Lorenzo Lecaros - CETRO, se ha encontrado un espesor de 6.25 m conformado por rellenos de material variable predominando suelo arcilloso limosos con arena, de plasticidad media medianamente compacta, con presencia de restos de desmonte y basura.

Zona Sur-Oeste, comprende la zona comprendida por los sectores 1, 2 y parte oeste del sector 4: En esta zona se tiene los estudios E55, E40, E22, E23, y E41. A continuación se describe algunos de ellos:



En el registro de la calicata E40, que se encuentra en la Parcela 4-1 del ex fundo Shangay-la, entre la Av. Virgen del Carmen y la Av. Los Olivos, se describe un relleno de 0.20 m de espesor conformado por arena fina a gruesa, gravosa, limosa en estado densa, con presencia de piedras sub angulares, seguida por un estrato de 0.80 m de espesor constituido limos arcilloso, de plasticidad alta, ligeramente húmedo y medianamente compacto. A continuación se tiene 0.15 m de limo arcilloso de baja plasticidad media y consistencia blanda, seguida por la grava arenosa mal gradada, medianamente densa, con presencia de piedras y bolones sub redondeados.

En el registro de la calicata E41, la cual se ubica en la esquina de la Av. 15 de Junio con la calle 16, describe un relleno de 0.20 m de espesor conformado por arena fina limosa, ligeramente gravosa y medianamente densa, con presencia de gravas angulares y restos de desmonte. Seguida por la grava arenosa, limosa, densa con presencia de piedras angulares.

Zona Sur-Este, comprende la zona delimitada por el sector 3, la cual se encuentra entre el sector 2 y los distritos de los Olivos y Comas.

En el registro de la calicata E24, que se encuentra en el pasaje Cerro La Animas ubicado entre la Av. Malecón Chillón y Los Pinos, se describe un relleno de 1.42 m de espesor conformado por arena fina a gruesa, gravosa, limosa en estado densa, con presencia de piedras sub angulares, seguida por la grava bien gradada, con presencia de finos no plásticos.

En el registro de la calicata ejecutada C12, ubicada en una zona al frente del Centro Educativo Inicial 8170 – Asociación de Vivienda los sauces, se describe un relleno de 0.20 m de espesor conformado por arena gruesa con presencia de casquetes de ladrillo, plástico y basura, seguida por un estrato de limo arenoso de baja plasticidad, húmeda con presencia de óxidos. A continuación se encuentra la grava limosa con matriz arenosa, saturada, presencia de boleos.

En el Anexo B-0 del Apéndice B, se muestra las láminas de los cinco perfiles de suelos, así como también la descripción de los mismos, elaborados con la finalidad de conocer la variación del material subyacente a lo largo de diferentes ejes trazados en el distrito de Puente Piedra, considerando tanto los estudios recopilados y ejecutados.

4.2. ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y PELIGRO GEOLÓGICO DE LOS TALUDES.

El estudio geológico y la evaluación de peligros realizado en la zona de estudio se presenta en el Anexo B-4 del Apéndice B. La Zonificación geológica asociada al peligro geológico potencial identificado en el área de estudio se detalla a continuación:

Zona 1.-En esta Zona se puede apreciar una quebrada que se encuentra erosionada por antiguos eventos geodinámicos, presenta cotas de hasta 372 m.s.n.m, con una longitud



aproximada de 2 km. En esta quebrada se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros comprometidas con estas.

Las laderas y los afloramientos rocosos que circundan a la quebrada en mención presentan pendientes que van de moderadas a fuertes (en las partes altas). Las formaciones rocosas comprometidas con la Zona 1 son la de Cabo Blanco, Ventanilla y el Volcánico Santa Rosa; que a continuación detallamos:

Formación Cabo Blanco (Ki-cb).- Litológicamente está compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas en mención se encuentran principalmente en las partes altas de la quebrada.

Formación Ventanilla (Ki-v).- Litológicamente esta representado por intercalaciones de areniscas feldespáticas y areniscas limolíticas de grano fino en capas de delgadas a medianas. Las rocas en mención se encuentran principalmente en las partes medias a bajas de la quebrada en mención.

Si se dan las condiciones esta zona es propensa, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de bloques y lodo y/o, derrumbe y/o caída de bloques de roca principalmente en las partes altas. El peligro geológico potencial es alto.

Zona 2.- En esta Zona se puede apreciar un quebrada que se encuentra erosionada por antiguos eventos geodinámicos, presenta cotas de hasta de 350 m.s.n.m, con una longitud aproximada de 2 km, en esta quebrada se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros comprometidas con estas.

Las laderas y los afloramientos rocosos que circundan a la quebrada en mención presentan pendientes que van de moderadas a fuertes (en las partes altas). Las formaciones rocosas comprometidas con la Zona 2 son la de Cabo Blanco, Ventanilla y el Volcánico Santa Rosa; que a continuación se detalla:

Formación Cabo Blanco (Ki-cb).- Litológicamente esta compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas en mención se encuentran principalmente en las partes altas de la quebrada.

Formación Ventanilla (Ki-v).- Litológicamente esta representado por intercalaciones de areniscas feldespáticas y areniscas limolíticas de grano fino en capas de delgadas a medianas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica se encuentran en las partes medias a bajas de la quebrada.

Volcánico Santa Rosa (Ki-v sr).- Litológicamente corresponden a rocas de naturaleza pétreo volcánica, del tipo andesita de color gris, tipo meta-andesitas porfiríticas, derrames andesíticos



porfiríticos, que se intercalan con capas delgadas de arenisca de grano fino y lutitas pizarrosas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica están generalmente en las partes bajas de la quebrada.

Si se dan las condiciones de sismos, acompañados de lluvias fuertes o extraordinarias, esta zona es propensa a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de bloques y lodo y, derrumbe y/o caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial es alto.

Zona 3.- En esta Zona se puede apreciar un quebrada que se encuentra erosionada por antiguos eventos geodinámicos, presenta cotas de hasta de 498 m.s.n.m, con una longitud aproximada de 2 km, en esta quebrada se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros comprometidas con éstas.

Las laderas y los afloramientos rocosos que circundan a la quebrada en mención presentan pendientes que van de moderadas a fuertes (en las partes altas). Las formaciones rocosas comprometidas con la Zona 3 son la de Cabo Blanco, Ventanilla y el Volcánico Santa Rosa; que a continuación se detalla:

Formación Cabo Blanco (Ki-cb).- Litológicamente está compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticas de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas en mención se encuentran principalmente en las partes altas de la quebrada.

Formación Ventanilla (Ki-v).- Litológicamente está representado por intercalaciones de areniscas feldespáticas y areniscas limolíticas de grano fino en capas de delgadas a medianas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica se encuentran en las partes medias a bajas de la quebrada.

Volcánico Santa Rosa (JsKi-sr).- Litológicamente corresponden a rocas de naturaleza pétreo volcánica, del tipo andesita de color gris, tipo meta-andesitas porfiríticas, derrames andesíticos porfiríticos, que se intercalan con capas delgadas de arenisca de grano fino y lutitas pizarrosas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica están generalmente en las partes bajas de la quebrada.

Si se dan las condiciones de sismos, acompañados de lluvias fuertes o extraordinarias, esta zona es propensa a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de bloques y lodo, derrumbe y/o caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial es alto.

Zona 4.- En esta Zona se puede apreciar un quebrada que se encuentra erosionada por antiguos eventos geodinámicos, presenta cotas de hasta de 504 m.s.n.m, con una longitud aproximada de 1.8 km, en esta quebrada se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros comprometidas con éstas.



Las laderas y los afloramientos rocosos que circundan a la quebrada en mención presentan pendientes que van de moderadas a fuertes (en las partes altas). Las formaciones rocosas comprometidas con la Zona 4 son la de Cabo Blanco, Ventanilla y el Volcánico Santa Rosa; que a continuación se detalla:

Formación Cabo Blanco (Ki-cb).- Litológicamente esta compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas en mención se encuentran principalmente en las partes altas de la quebrada.

Formación Ventanilla (Ki-v).- Litológicamente esta representado por intercalaciones de areniscas feldespáticas y areniscas limolíticas de grano fino en capas de delgadas a medianas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica se encuentran en las partes medias a bajas de la quebrada.

Volcánico Santa Rosa (JsKi-sr).- Litológicamente corresponden a rocas de naturaleza pétreo volcánica, del tipo andesita de color gris, tipo meta-andesitas porfiríticas, derrames andesíticos porfiríticos, que se intercalan con capas delgadas de arenisca de grano fino y lutitas pizarrosas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica están generalmente en las partes bajas de la quebrada.

Si se dan las condiciones de sismos, acompañadas de lluvias fuertes o extraordinarias, esta zona es propensa, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de bloques y lodo y/o, derrumbe y/o caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial es alto.

Zona 5.- En esta Zona se puede apreciar un quebrada que se encuentra erosionada por antiguos eventos geodinámicos, presenta cotas de hasta de 396 m.s.n.m, con una longitud aproximada de 2.0 km, en esta quebrada se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros comprometidas con éstas.

Las laderas y los afloramientos rocosos que circundan a la quebrada en mención presentan pendientes que van de moderadas a fuertes (en las partes altas). Las formaciones rocosas comprometidas con la Zona 5 son la de Cabo Blanco, Puente Inga, Ventanilla, y el Volcánico Santa Rosa; que a continuación se detalla:

Formación Cabo Blanco (Ki-cb).- Litológicamente está compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas en mención se encuentran principalmente en las partes altas de la quebrada.

Formación Puente Inga (Ki-pi).- Esta conformado por andesitas afaníticas, limolitas y areniscas, sobreyaciendo a rocas tipo lutita tobácea blanquecina. Formación Ventanilla



Formación Ventanilla (Ki-v).- Litológicamente está representado por intercalaciones de areniscas feldespáticas y areniscas limolíticas de grano fino en capas de delgadas a medianas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica se encuentran en las partes medias a bajas de la quebrada.

Volcánico Santa Rosa (JsKi-sr).- Litológicamente corresponden a rocas de naturaleza pétreo volcánica, del tipo andesita de color gris, tipo meta-andesitas porfíricas, derrames andesíticos porfíricos, que se intercalan con capas delgadas de arenisca de grano fino y lutitas pizarrosas. Las rocas comprometidas con esta Formación geológica están generalmente en las partes bajas de la quebrada.

Si se dan las condiciones de sismos, acompañadas de lluvias fuertes o extraordinarias, está zonas es propensa a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de bloques y lodo, derrumbe y/ caída de bloques de roca. El peligro geológico potencial es alto.

4.3. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

Los perfiles de suelos elaborados para las diferentes zonas del área de estudio fueron implementados en una base de datos de un sistema de información geográfica (GIS), debido a que esta herramienta permite combinar un gran volumen de datos de diferente tipo, incluyendo un adecuado manejo de las bases de datos y una rápida y detallada presentación gráfica de los resultados mediante planos temáticos, y así visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los tipos de suelos en el área en estudio; siendo posible elaborar planos de suelos para profundidades de 1 m y 2 m; como se muestran en los Planos P-02 y P-03 del Apéndice B respectivamente.

Esta información ha permitido delimitar con mayor precisión las cinco zonas geotécnicas identificadas en el distrito de Puente Piedra. La delimitación del área de estudio por tipos de suelos es una información básica para realizar el modelamiento del comportamiento del terreno en la determinación del nivel de peligro sísmico, y que complementado con la información dinámica del terreno se definirá, el Plano de Microzonificación Sísmica del Distrito de Puente Piedra.

En el Plano P-02 del Apéndice B, se muestra el plano de tipos de suelos al nivel de 1 m de profundidad, el cual es el nivel promedio de la profundidad de desplante de la cimentación en edificaciones convencionales. En este plano se puede observar que a la profundidad considerada, en la zona Noreste, Noroeste y Sur del distrito gobierna la presencia de gravas pobremente gradada con matriz de arena en estado semicompacto, presentándose en zonas puntuales afloramiento de roca. En el límite superior de la zona central del Distrito predomina arena limosa pobremente gradada en estado semicompacto y en el límite inferior de esta zona predomina arcilla con arena altamente plástica y limo arenoso semisuelto. Además, en la zona central del distrito se encontró depósitos de rellenos que llegan hasta los 6.0 m de máxima profundidad, en la cual, según la norma E-050 no se debe realizar construcciones de ningún tipo.



Con los antecedentes descritos, así como de la necesidad de definir las características del terreno para el distrito de Puente Piedra, se propone un plano de Microzonificación Geotécnica, que incluye la capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de una edificación convencional. El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

- a. La cimentación debe ser segura contra la falla de corte del suelo que la soporta, y
- b. Los asentamientos producidos por la carga transmitida por la cimentación deben ser menores que los permisibles para cada tipo de edificación.

En consecuencia, considerando que se cumplan estas dos condiciones, se ha realizado el cálculo de la capacidad de carga admisible para la cimentación de una vivienda convencional, consistente en un cimiento corrido de 0.60 m de ancho y profundidades de cimentación variable en función al tipo de suelo encontrado en las diferentes zonas del distrito de Puente Piedra.

Para tal fin, se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973). Para la evaluación de la capacidad de carga admisible se han utilizado los parámetros de resistencia cortante de los diferentes estudios con fines de cimentación recopilados y los ensayos de laboratorio ejecutados. En la Tabla B-7 del Apéndice B, se muestran los cálculos de capacidad de carga admisible y asentamiento.

Los resultados del análisis químico, registrados en los diferentes estudios recopilados, demuestran en su mayoría que no existen problemas de agresión del suelo a los elementos de cimentación, dado que la presencia de sulfatos y sales solubles totales en el agua es menor que 1000 ppm y 15000 ppm respectivamente. Sin embargo, se han encontrado registros de zonas con valores de concentraciones de sulfatos superiores al resto, como es el caso de los estudios: E01, E12, E13, E24 y E44; que demuestran que en estos suelos existe un grado de alteración químico al concreto de la cimentación por tener valores cercano al límite inferior haciendo que sea considerado como ataque químico severo. Así mismo se tiene de acuerdo a los registros recopilados en los estudios E01 y E13, altos valores de cloruros y sales solubles totales haciendo que estos suelos sean perjudiciales, llegando a ocasionar problemas de corrosión y pérdida de resistencia mecánica de las armaduras de la cimentación.

Debido a la presencia de elementos nocivos para la cimentación en estos lugares, por prevención se recomienda que el concreto utilizado para las cimentaciones sea elaborado con cementos tipo II, V o puzolánicos (IP) que presentan una alta resistencia a los sulfatos. En las Tablas B-5 y B-6 del Apéndice B se presentan los valores de los resultados de ensayos químicos recopilados y los límites permisibles de elementos químicos nocivos para la cimentación, respectivamente.



En función a los perfiles estratigráficos y tipos de suelos identificados en las diferentes áreas así como del Peligro geológico determinado para el distrito de Puente Piedra, se ha dividido el área de estudio en cinco zonas, tal como se describe a continuación:

Zona I: Esta zona está conformada por los depósitos cuaternarios de grava con arenas y/o materiales finos superficiales en las zonas Oeste y Sur del distrito de Puente Piedra, además de la parte norte de la zona limítrofe con el distrito de Ancón. Dentro de esta denominación se pueden incluir a los depósitos aluviales provenientes del cono de deyección del río Chillón, los depósitos de huayco que se encuentran en las quebradas y los depósitos coluviales (formados bajo la acción de la gravedad) que se encuentran al pie de las formaciones rocosas Quilmaná y Patap.

En general, el material gravoso se encuentra a una profundidad que en promedio es menor a los 2.00 m, pudiéndose encontrar en zonas puntuales a profundidades mayores. En dirección Oeste, esta profundidad va disminuyendo debido a la presencia de los afloramientos rocosos de las formaciones antes mencionadas.

En esta zona, las cimentaciones estarán emplazadas, dependiendo el caso, en gravas semi-compactas, arenas densas o material fino de consistencia firme. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.70 a 3.0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.60 a 1.20 m.

Zona II: Esta zona predomina en la región central del distrito de Puente Piedra, presentándose como una franja desde el norte hasta la parte más estrecha al sur del distrito colindante el distrito de Ventanilla; está conformada por materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno de profundidad mayor a 6.00 m localizados en parte central de esta zona. La profundidad a la que se encuentra el material gravoso es mayor a 2.0 m y en promedio está por debajo de los 4.00 m, pudiéndose encontrar a profundidades mayores como lo evidencian los pozos ubicados en esta zona. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia media a dura, de bajo contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho se obtienen valores de capacidad portante de 1.50 a 2.20 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.00 a 1.50 m.

Zona III: Esta zona está localizada en el sector central más amplio del distrito de Puente Piedra y está delimitada por la Zona II, está conformada superficialmente por arcillas altamente plásticas, de consistencia rígida; seguida por limos arenosos de poca plasticidad con presencia de gravillas y óxidos.

En general el terreno de cimentación está conformado por suelos finos y suelos arcillosos de alta plasticidad, llegando hasta 2m de profundidad. Estos suelos se encuentran con ligera humedad y presentan una consistencia media a rígida, con cuyas características de resistencia se obtienen



valores de capacidad de carga de 0.98 a 1.50 Kg/cm², considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 1.50 a 2.50 m.

Zona IV: Esta zona está asociada a canteras y denuncios mineros, así como a los taludes de fuerte pendiente que se localizan en el sector Oeste del distrito de Puente Piedra. En esta zona existe un potencial peligro de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos, lo cual presenta un alto peligro.

Zona V: Esta zona está asociada a un depósito de rellenos heterogéneos localizados en la zona central del distrito de Puente Piedra, con un espesor de más de 6.0 m. En esta zona las condiciones del suelo no son adecuadas para soportar las cimentaciones de las edificaciones y que de acuerdo a la norma E-050 de Suelos y Cimentaciones no debe habilitarse con fines urbanos.

El plano de Microzonificación Geotécnica realizado en base a la descripción arriba indicada se presenta en el Plano P-04 del Apéndice B.

V. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO PUENTE PIEDRA

5.1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de determinar los perfiles de velocidades de ondas S en la zona de estudio se realizaron ensayos de medición de microtemores, utilizando el método F-K. A su vez, con el objeto de determinar los periodos predominantes de vibración natural y los factores de amplificación sísmica en la zona de estudio se realizaron también mediciones de microtemores, en forma puntual, para ser luego procesados por el método H/V. Los resultados obtenidos de los mencionados ensayos geofísicos han sido comparados con los tipos de suelos existentes encontrados en los registros de los sondeos realizados y recopilados, los cuales han permitido complementar los resultados de la presente investigación. Mayores detalles de los ensayos se encuentran en el Apéndice C.

5.2. ENSAYOS DE MEDICION DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO F-K

El principio de este método radica en el hecho de que los Microtemores consisten predominantemente de ondas Rayleigh, y que el análisis espectral de estos puede reproducir las características dispersivas de las ondas Rayleigh, las cuales reflejan el perfil de velocidad de onda de corte del sitio en estudio (Tokimatsu et al., 1992a, Tokimatsu et al., 1992b).

El análisis espectral se basa en la relación Frecuencia-Numero de Onda de Alta Resolución desarrollado por Capon (1969), la cual es una técnica simple para la extracción de las



velocidades de propagación en un rango de frecuencia para un registro de microtemblores (Asten, M. and Henstridge, J., 1984).

Este método consiste en la medición de microtemblores utilizando un arreglo de sensores, con el fin de determinar una curva de dispersión desde un análisis espectral de los movimientos observados (Tokimatsu et al., 1992a). Posteriormente se obtiene el perfil de velocidad de onda de corte (V_s) el cual se calcula utilizando un proceso iterativo que requiere la inversión no lineal de los datos de la curva de dispersión.

Para la medición de las ondas Rayleigh con el fin de obtener la curva de dispersión, hay esencialmente dos métodos, los métodos activos y pasivos (Tokimatsu et al., 1992b).

El método activo mide la componente vertical de las ondas Rayleigh producida ya sea por una fuente impulsiva (representado por el golpe de un martillo o un peso pesado que se deja caer de una cierta altura) (Gabriels et al., 1987, Roma, V., 2001) o una fuente armónica con un movimiento vertical armónico. Estos tipos de fuente tienen la ventaja de generar ondas de alta frecuencia o longitud de onda corta las cuales tienen la capacidad de explorar el suelo a profundidades superficiales. Para emplear este método, los sensores deben ser ubicados sobre la superficie del terreno en línea con la fuente, y la velocidad de fase se calcula basada en el análisis espectral. El método es capaz de explorar la superficie del terreno a profundidades menores de 20 metros (Tokimatsu et al., 1992b).

El método pasivo mide la componente vertical de los microtemblores usando un arreglo circular de sensores distribuidos sobre la superficie del terreno, no requiere de ninguna fuente (Tokimatsu et al., 1992b), sino por el contrario registra las vibraciones generadas por el ruido del tráfico, maquinarias, el viento, ondas del océano a la orilla del mar, etc. las cuales consisten principalmente de ondas Rayleigh de baja frecuencia o longitud de onda grande permitiendo caracterizar el suelo a profundidades mayores. La máxima profundidad de investigación depende de la apertura del arreglo bidimensional permitiendo registrar ondas de longitud de onda más grande (frecuencias más bajas), así como también del medio de propagación (Gabriels et al., 1987)).

5.2.1. EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para realizar los arreglos de Microtemblores, se utilizó un equipo de medición de Microtemblores o microtemblores, GEODAS 15-HS, desarrollado por la empresa BUTTAN SERVICE, el cual contiene las siguientes características:

- ✓ 01 Sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS
- ✓ 01 Computadora portátil NEC, modelo Versa Pro VS-8
- ✓ 06 sensores de 1Hz de frecuencia para medición de velocidad del suelo tipo CR4.5-1S



-
- ✓ 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS
 - ✓ Cables de 50 m de longitud
 - ✓ 01 cable de conexión para batería
 - ✓ Software de adquisición de datos: Microtremor Observation
 - ✓ Software de procesamiento de datos: LFK2.exe; CalHVm4.exe. WaveEq. (Surface Wave Analysis)

El sistema permite visualizar y registrar las vibraciones ambientales a diferentes frecuencias de muestreo. Una vez que las ondas hayan sido grabadas en el disco duro de la computadora, éstas pueden ser procesadas en gabinete, mediante el software desarrollado con diferentes métodos de procesamiento como el análisis espectral F-K. Mediante estos procedimientos, se pueden obtener las curvas de dispersión, (velocidad de fase vs frecuencia). Una vez calculada la curva de dispersión se procede a hacer el análisis de inversión, para determinar el perfil sísmico de cada punto, esto se realiza utilizando el programa WaveEq.

5.2.2. PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

En los trabajos de campo que se realizó para cada arreglo, utilizando el método F-K, primeramente se definió la geometría de los arreglos circulares y posteriormente el de los arreglos lineales. Seis sensores son instalados sobre la superficie del terreno para formar un arreglo circular, con un sensor en el centro y cinco sensores que forman un pentágono con un radio constante para cada medición. En los arreglos lineales los sensores son colocados en línea con el sensor en el centro. Luego los sensores y el equipo de adquisición son debidamente conectados con los cables de conexión.

El radio de los arreglos circulares así como también el espaciamiento entre sensores de los arreglos lineales está en función de la profundidad de exploración requerida, por lo que se recomienda que sea expandida o contraída por un valor cercano a dos, con el fin de cumplir con este propósito.

En el presente trabajo, en función a la topografía y a los requerimientos del estudio, los trabajos de campo se llevaron a cabo en cinco puntos diferentes del distrito de Puente Piedra, estos lugares fueron seleccionados con la finalidad de utilizar los resultados para mejorar la definición de límites del tipo de suelo propuestas por el Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 distritos de Lima y Callao (CISMID, 2004). Los arreglos deben ser ejecutados en sitios cercanos a la ubicación de calcatas y/o pozos de agua recopilados, los cuales debe estar cercanos a los puntos de exploración, información que permite interpretar adecuadamente el perfil de velocidad de onda de corte; asimismo, la disponibilidad de un área libre para la ejecución del ensayo, ya sea un campo deportivo, un parque, etc. es también un factor clave a considerar para su ubicación.



La ubicación de los arreglos ejecutados en el distrito de Puente Piedra se presentan en el Plano P-01 del Apéndice C, los registros de Microtremores para los seis sensores se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C. Así mismo, en el Anexo C-5 del Apéndice C se presenta el panel fotográfico que documenta las diferentes actividades realizadas en el trabajo de campo, durante la realización de estos ensayos.

5.2.3. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Los registros de medición de Microtremores, obtenidos en cada punto de exploración realizado, se muestran en el Anexo C-1 del Apéndice C, y representan la llegada de las ondas superficiales a cada uno de los sensores. En arreglos circulares se observa las ondas generadas por fuentes naturales y en los arreglos lineales se observa las ondas generadas por una fuente externa. Luego estos datos son analizados y procesados con un software desarrollado por la Universidad de Chiba (Japón), para determinar la curva de dispersión (velocidad de fase vs frecuencia), las cuales se muestran en el anexo C-2 del Apéndice C. La curva de dispersión expuesta en este anexo, procesada a partir del método F-K, se obtiene del conjunto de puntos que siguen una continuidad a través de la frecuencia (Calderón et al., 2011). A partir de la curva de dispersión se determina los perfiles sísmicos utilizando el método de inversión que viene incorporado en el software WaveEq. En el anexo C-3 del Apéndice C se muestran los perfiles sísmicos, cuya descripción se presenta a continuación.

ARREGLO N° 1

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 2m de separación, y circulares en forma de un pentágono con radios de 12m, 18m y 28m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m. El cual muestra la presencia de 5 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena arcillosa de compacidad medio densa.

El segundo estrato, de 3 a 8 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 385 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava arenosa de compacidad medio densa.

El tercer estrato, de 8 a 15 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 530 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava arenosa de compacidad densa.



El cuarto estrato, de 15 a 21 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 670 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena con presencia de partículas de grava de compacidad muy densa.

El quinto estrato, de 21 a 30 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 730 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava arenosa de compacidad muy densa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 01 del Anexo C-3.

ARREGLO N°2

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con radios de 12m, 22m y 45m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 80 m. El cual muestra la presencia de 6 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 12 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 270 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena arcillosa de medio densa.

El segundo estrato, de 12 a 25 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 530 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arcilla de consistencia semidura a dura.

El tercer estrato, de 25 a 29 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 420 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena arcillosa densa.

El cuarto estrato, de 29 a 34 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 490 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.

El quinto estrato, de 34 a 48 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 680 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena arcillosa muy densa.

El sexto estrato, de 48 a 80 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 860 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava muy densa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 02 del Anexo C-3.



ARREGLO N°3

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con un radio de 12m, 22m y 45m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 80 m. El cual muestra la presencia de 5 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 3 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 150 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por terreno de cultivo.

El segundo estrato, de 3 a 11 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 240 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa medio densa.

El tercer estrato, de 11 a 33 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 520 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa.

El cuarto estrato, de 33 a 54 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 660 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava arenosa muy densa.

El quinto estrato, de 54 a 80 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 805 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una roca alterada. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 03 del Anexo C-3.

ARREGLO N°4

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con un radio de 10m y 17m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 16 m. El cual muestra la presencia de 4 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 6 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 170 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto una arena arcillosa suelta.

El segundo estrato, de 6 a 11 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un



material compuesto por una arcilla de consistencia media.

El tercer estrato, de 11 a 14 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 415 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arcilla semidura.

El cuarto estrato, de 14 a 16 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 580 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava densa con matriz arcillosa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 04 del Anexo C-3.

ARREGLO N°5

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 0.5m, 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con un radio de 12m y 20m. La interpretación de este arreglo genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 80 m. El cual muestra la presencia de 5 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 5 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 170 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arcilla de consistencia blanda.

El segundo estrato, de 5 a 14 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 340 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arcilla de consistencia media.

El tercer estrato, de 14 a 20 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 440 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arcilla de consistencia semidura.

El cuarto estrato, de 20 a 31 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 550 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arcilla de consistencia dura a muy dura.

El quinto estrato, de 31 a 36 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 700 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava muy densa con matriz arcillosa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 05 del Anexo C-3.

Durante la campaña de recopilación de información en las diferentes consultoras del medio así como también artículos técnicos de investigación, se recopiló un perfil sísmico en el



distrito de Puente Piedra, el cual se muestra en el Anexo C-6 del presente apéndice y su ubicación en la Tabla 4, sin embargo este no cuenta con la descripción del material, este perfil fue procesado también con el método F-K (Calderón et al., 2011). La información recopilada ha permitido complementar los resultados de la presente investigación.

5.3. MEDICIÓN DE MICROTREMORES

Los microtremores también son conocidas como microtremores, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004).

La técnica de medición de microtremores ha sido utilizada desde principios del siglo XX para determinar las propiedades dinámicas del terreno. Omori (1908) inició las investigaciones sobre microtremores empleando un instrumento muy simple para observar la vibración natural del suelo que no correspondía a una vibración sísmica ni a alguna oscilación pulsatoria y encontró que dicha vibración natural podría ser causada por el viento, olas marinas, o perturbaciones artificiales como el tráfico, vibración de máquinas, etc. Para definir este tipo de vibraciones, que tiene periodos cortos y sus amplitudes son más pequeños que las oscilaciones pulsatorias, Omori utilizó el término de “microtrepidaciones”.

5.3.1. MARCO TEÓRICO

Las microtremores son vibraciones naturales o ambientales del terreno generadas por fuentes naturales o artificiales. Éstas se usan para estimar las características de vibración del terreno durante un sismo, así como para conocer la estructura del subsuelo y modelar los efectos de sitio usando dicho modelo estructural del terreno. Las microtremores también son conocidas como microtremores, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004).

Se ha utilizado la técnica propuesta por Nakamura (1989) para determinar periodos predominantes y factores de amplificación relativa, usando relaciones espectrales entre la componente horizontal y vertical de los registros de ondas.

Fundamento del Método de Nakamura

El método de Nakamura consiste en calcular la amplificación del terreno a partir del valor máximo del cociente espectral entre los componentes del movimiento horizontal y vertical en la superficie.

$$S_{TT} = \frac{S_{HS}}{\frac{S_{VS}}{\frac{S_{HB}}{S_{VB}}}} = \frac{R_S}{R_B}$$



Con esta relación Nakamura supone que los efectos de la fuente pueden ser removidos de los registros de microtemores con el espectro H/V. Él asume que sólo las microtemores horizontales son influenciadas por el suelo, y que las características espectrales de la fuente se mantienen en las microtemores verticales. Diversos investigadores han confirmado que los espectros H/V pueden proveer características más estables que los espectros de frecuencia (Espectro de Amplitudes de Fourier) de las microtemores, como comúnmente se han estado evaluando. Ampliación del fundamento teórico de esta técnica se encuentra en el Apéndice C.

5.3.2. TRABAJO DE CAMPO

Para este ensayo fue utilizado el siguiente equipo:

- 01 Sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS
- 01 Computadora portátil NEC, modelo VersaPro VS-8
- 03 sensores para medición de velocidad del suelo tipo CR4.5-1S
- 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS
- Cables de 50 m de longitud.
- 01 cable de conexión para batería
- Software de adquisición de datos: Microtremor Observation
- Software de procesamiento de datos: calHVm4.

En cada punto se tomaron mediciones de velocidad, descompuesta en tres direcciones ortogonales, las cuales coinciden con las dos direcciones horizontales: longitudinal y transversal, así como con la dirección vertical respectivamente. El sistema permite visualizar y registrar las vibraciones ambientales a diferentes frecuencias de muestreo. Una vez que las ondas hayan sido grabadas en el disco duro de la computadora, éstas pueden ser procesadas inmediatamente, mediante un software incorporado que permite determinar los espectros de Fourier, las relaciones espectrales H/V y las relaciones espectrales entre dos registros de diferentes lugares. Mediante este procesamiento rápido se puede evaluar en campo la calidad de las mediciones, en función a lo cual se podrá determinar si se debe realizar mediciones adicionales.

Las mediciones de microtemores son realizadas sobre la superficie del terreno o a diferentes profundidades dentro de una perforación, utilizando sensores suficientemente sensibles. Estas mediciones registran las velocidades de los microtemores, las que luego son almacenadas en forma digital, para su posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instala el sensor triaxial en la superficie del terreno, orientando sus componentes horizontales en las



direcciones E-W y N-S. Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtemores por un lapso de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas por el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor.

En el presente estudio, para el distrito de Puente Piedra, se realizó la medición de microtemores en 52 puntos, con el objetivo de complementar las mediciones realizadas en este distrito en anteriores estudios. La localización de estos puntos así como de mediciones realizadas en el "ESTUDIO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO EN 42 DISTRITOS DE LIMA Y CALLAO" (CISMID-2004) que corresponden a 31 puntos se presenta en el Plano P-02 del Apéndice C. En este plano puede observarse que en total los 84 puntos que son utilizados en el estudio se encuentran distribuidos adecuadamente en toda la zona urbana que comprende tanto la parte baja y alta del territorio del distrito. Los registros de microtemores obtenidos en este estudio se presentan en el Anexo C-4 del Apéndice C.

5.3.3. PLANO DE ISOPERIODOS

De los 52 puntos medidos, no se pudo estimar el periodo en 12 puntos (M2006, M2007, M2009, M2014, M2030, M2031, M2033, M2035, M2042, M2050, M2051 y M2052) debido a la baja calidad del registro obtenido o la no presencia de un pico máximo definido. Los 40 puntos restantes han sido analizados mediante el espectro de amplitudes de Fourier y el cociente espectral H/V. Al ubicarlos junto con los resultados obtenidos de los valores de periodo del suelo recopilado, representan un complemento de valores en zonas donde no se conocía el periodo del suelo. Los valores recopilados y medidos varían desde 0.10 s hasta 0.40 s, los cuales muestran correlación con la geología y ensayos de mecánica de suelos realizados en el presente estudio; se interpreta la presencia de suelo firme a suelo blando.

Se puede observar el predominio de valores del suelo de 0.10 s en la zona sur del distrito, tanto en la zona baja como alta (laderas), y de 0.10 s y 0.20 s en la zona norte, indicando la presencia de suelo firme, en zonas bajas y altas. En la zona central del distrito el valor de 0.20 s predomina en el contorno, aumentando el valor a 0.30 s y 0.40 s hacia el centro, siendo este último valor el que identifica la presencia de suelo blando

El cociente espectral H/V proporciona el valor de amplificación relativa del movimiento horizontal del suelo con respecto a su movimiento vertical. La Tabla 6 muestra los valores de amplificación relativa obtenidos. Estos valores varían de 1.5 veces hasta 24 veces repartidos de manera dispersa en toda el área del distrito.

En el Plano P-03 del Apéndice C se presenta el plano de isoperiodos del terreno determinada para el distrito de Puente Piedra en función del análisis de los resultados obtenidos de la medición de microtemores en diferentes puntos, tanto ejecutados en este estudio como de estudios anteriores.



5.3.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El método de análisis espectral F-K está siendo utilizado en este estudio, método geofísico que de forma indirecta determina el perfil de velocidad de onda de corte (V_s), propiedad importante para conocer las características dinámicas del suelo.

El método F-K consiste en la medición de la componente vertical de los microtremores utilizando un arreglo de sensores. Posteriormente basado en el análisis espectral Frecuencia-Número de Onda de Alta Resolución, la curva de dispersión es determinado a partir de los registros de microtremores. Finalmente, el perfil de velocidad de onda de corte (V_s) es calculado a partir de la inversión de las velocidades de fase de las ondas de Rayleigh (curva de dispersión).

Para el estudio de Microzonificación Sísmica del distrito de Puente Piedra, se han realizado 5 arreglos con el método de análisis espectral F-K, distribuidos en puntos estratégicos para determinar el perfil de velocidad de onda de la corte (V_s). Para este estudio, estos perfiles han permitido caracterizar el suelo hasta una profundidad de exploración de 80 m, que en comparación a estudios anteriores que se utilizó el método MASW se tenía la capacidad de investigar el suelo hasta una profundidad de exploración de 10 a 30 m en promedio.

Dentro de los 5 perfiles de velocidad de la onda S obtenidos para este estudio, los perfiles sísmicos de los Arreglos N°1, N°4 y N°5 (Anexo C3 del Apéndice C) han alcanzado hasta una profundidad de exploración menor a los 40 metros, que a diferencia de los arreglos restantes (Arreglo N°2 y N°3 del Anexo C3 del Apéndice C) se llega a profundidades del orden de los 80 m. Esta diferencia de la capacidad para investigar el suelo depende, como se menciona previamente, de la apertura de los arreglos circulares que permiten registrar ondas de frecuencia baja por lo tanto obtener perfiles de la velocidad de onda de corte (V_s) a grandes profundidades de penetración.

El procesamiento e interpretación de los datos obtenidos con el método F-K ha permitido corroborar que el terreno superficial esta predominando una arena arcillosa de compacidad suelta a medio densa, tanto el grado de compacidad como el espesor de este material está en función de la zona del distrito. Subyace a este material mayormente una arcilla semidura a dura, así como también una grava densa a muy densa. Estos ensayos también han permitido estimar el valor del espesor de estos materiales, característica importante que influye en el comportamiento dinámico del suelo

El criterio de distribución de los arreglos de Microtremores en el distrito de Puente Piedra se han llevado a cabo teniendo en cuenta principalmente la zona geotécnica sísmica más susceptible a tener mayor amplificación, zonas definidas en el estudio realizado por el CISMID en el año 2004; así como también información recopilada y obtenida de exploración de campo (calcatas, pozos) cercanos a los puntos de exploración, para interpretar adecuadamente los



perfiles de velocidad de onda S; y además de contar con un terreno libre disponible para llevar a cabo el ensayo.

Los nuevos valores de periodos dominantes del suelo se correlacionan adecuadamente con los obtenidos anteriormente en anteriores estudios, dando valores similares a los que existen alrededor del punto medido.

La ubicación de los puntos medidos ayudó a identificar y limitar con mayor detalle las zonas de suelo de similar periodo de oscilación, distribuidos en el área de estudio.

Los valores reflejan la presencia de suelos firmes con valores de 0.10 s y 0.20 s. y suelos blandos con valores de 0.40 s. Valores de 0.20 s y 0.30 s corresponden a un suelo intermedio.

Estos valores se correlacionan aceptablemente con los perfiles de velocidades sísmicas del suelo; periodos altos corresponde a materiales superficiales con velocidades menores a 300 m/s, periodos cortos corresponden a suelos con velocidades mayores a 300 m/s.

VI. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

El plano de microzonificación sísmica identifica las zonas que presentan diferente comportamiento dinámico ante la ocurrencia de un sismo, esto se realiza en función de las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Asimismo se incorpora a este plano las zonas que pueden ser afectadas por eventos asociados ante la ocurrencia de los sismos como son los Tsunamis, licuación de Suelos o derrumbes de diversos materiales en zonas de pendientes fuertes. Para el distrito de Puente Piedra se han elaborado los siguientes planos: Microzonificación Geotécnica (Apéndice B), Peligro Geológico (Anexo B-4 del Apéndice B) y de Isoperiodos (Apéndice C). Los resultados de estos planos son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar cinco zonas en este distrito que presentarían diferente comportamiento ante la ocurrencia de un sismo severo. A continuación se describen estas zonas:

Zona I: Esta zona está conformada por los depósitos cuaternarios de grava con arenas y/o materiales finos superficiales en las zonas Oeste y Sur del distrito de Puente Piedra, además de la parte norte de la zona limítrofe con el distrito de Ancón. Dentro de esta denominación se pueden incluir a los depósitos aluviales provenientes del cono de deyección del río Chillón, los depósitos de huayco que se encuentran en las quebradas y los depósitos coluviales (formados bajo la acción de la gravedad) que se encuentran al pie de las formaciones rocosas Quilmaná y Patap.

En general, el material gravoso se encuentra a una profundidad que en promedio es menor a los 2.00 m, pudiéndose encontrar en zonas puntuales a profundidades mayores. En dirección Oeste,



esta profundidad va disminuyendo debido a la presencia de los afloramientos rocosos de las formaciones antes mencionadas.

En esta zona, las cimentaciones estarán emplazadas, dependiendo el caso, en gravas semi-compactas, arenas densas o material fino de consistencia firme. La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho varía de 1.70 a 3.0 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.60 a 1.20 m.

El comportamiento dinámico del material en esta zona es adecuado, se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado. Los periodos de oscilación del suelo varían de 0.10 s a 0.20 s. El valor de la amplificación relativa del suelo obtenido por microtemores es de 1.50 veces a 10.00 veces.

Zona II: Esta zona predomina en la región central del distrito de Puente Piedra, presentándose como una franja desde el norte hasta la parte más estrecha al sur del distrito colindante el distrito de Ventanilla; está conformada por materiales superficiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, además de depósitos puntuales de relleno de profundidad mayor a 6.00 m localizados en parte central de esta zona. La profundidad a la que se encuentra el material gravoso es mayor a 2.0 m y en promedio está por debajo de los 4.00 m, pudiéndose encontrar a profundidades mayores como lo evidencian los pozos ubicados en esta zona. En general, el terreno de cimentación está conformado por suelos finos de consistencia media a dura, de bajo contenido de humedad. Considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho se obtienen valores de capacidad portante de 1.50 a 2.20 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 1.00 a 1.50 m.

En esta zona se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.2 s a 0.30 s. Los valores de amplificación relativa del suelo obtenido por microtemores varían de 2.00 a 8.00 veces

Zona III: Esta zona está localizada en el sector central más amplio del distrito de Puente Piedra y está delimitada por la Zona II, está conformada superficialmente por arcillas altamente plásticas, de consistencia rígida; seguida por limos arenosos de poca plasticidad con presencia de gravillas y óxidos.

En general el terreno de cimentación está conformado por suelos finos y suelos arcillosos de alta plasticidad, llegando hasta 2m de profundidad. Estos suelos se encuentran con ligera humedad y presentan una consistencia media a rígida, con cuyas características de resistencia se obtienen valores de capacidad de carga de 0.98 a 1.50 Kg/cm², considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 1.50 a 2.50 m.



Se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.40 s. Los valores de amplificación relativa del suelo obtenido por microtemores varían de 6.20 veces a 6.80 veces.

Zona IV: Esta zona está asociada a canteras y denuncios mineros, así como a los taludes de fuerte pendiente que se localizan en el sector Oeste del distrito de Puente Piedra. En esta zona existe un potencial peligro de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos, lo cual presenta un alto peligro.

Zona V: Esta zona está asociada a un depósito de rellenos heterogéneos localizados en la zona central del distrito de Puente Piedra, con un espesor de más de 6.0 m. En esta zona las condiciones del suelo no son adecuadas para soportar las cimentaciones de las edificaciones y que de acuerdo a la norma E-050 de Suelos y Cimentaciones no debe habilitarse con fines urbanos.

El plano P-02 del presente informe se presenta la Microzonificación Sísmica para el distrito de Puente Piedra realizado en base a la descripción antes indicada.

VII. CONCLUSIONES

Para el distrito de Puente Piedra se han elaborado los siguientes planos: Microzonificación Geotécnica (Apéndice B), Peligro Geológico (Anexo B-4 del Apéndice B) y Zona de Isoperiodos (Apéndice C). Los resultados obtenidos de estos planos son superpuestos en el área de estudio permitiendo determinar el plano de microzonificación sísmica para el distrito de Puente Piedra.

Se han determinado cinco zonas con diferentes características que reflejarían el comportamiento dinámico en éstas ante la ocurrencia de un sismo severo que afectaría a la ciudad de Lima.

Las zonas I y II representan las mejores zonas para el desarrollo urbano del distrito, los suelos en estas zonas tendrán un comportamiento dinámico que no incrementarán o incrementarán moderadamente el peligro sísmico estimado ante la ocurrencia de un sismo severo.

Las zonas III y IV merecen especial atención por parte de las autoridades locales ya que reflejan condiciones desfavorables del comportamiento del terreno ante la ocurrencia de un sismo severo con un comportamiento dinámico que incrementarán severamente el peligro sísmico estimado ante la ocurrencia de un sismo severo. En estas zonas en donde se esperan los mayores daños a las estructuras más vulnerables ante un sismo. Se deben tomar las medidas de prevención adecuadas con la finalidad de mitigar la ocurrencia de daños mencionada.



VIII. REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Asten M.W. and Henstridge J.D., 1984, "Array Estimators and the use of Microseisms for Sedimentary Basin Reconnaissance": Geophysics v. 49, 1828-183.
- Ayquipa C. (1995), "Microzonificación Sísmica de Chorrillos y Barranco", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- Ayashi, K (2003), "Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods". Short Course - SAGEEP 2003.
- Bard, P. (1998), Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation? The effects of Surface Geology on Seismic Motion, Irikura, Kudo, Okada y Sasatani (eds), 1251-1279.
- Bermúdez M., Franco L., Martínez S. y Ojeda A., (2002) "Uso de las Microtremores para la evaluación de la Respuesta Dinámica de los Suelos"
- Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
- Berrocal J., Deza E. y Shikiya J. (1975), "Estudio de Sismicidad para el Proyecto de Derivación del Río Mantaro a Lima", Informe del Instituto Geofísico del Perú a ELECTROPERU S.A.
- Bieniawski Z.T (1989) " Engineering Rock Mass Clasificación "Willey Intersciencie Publicación , USA.
- Capon J., 1969, High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis: Proc. IEEE, v. 57, p. 1408-1418.
- Calderon, J., Sekiguchi, T., Aguilar, Z., Lazares, F. y Nakai, S., (2011), Dynamic Characteristics of the Surface Soils in Lima, Proc., Eighth International Conference on Urban Earthquake Engineering.
- Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- CISMID (1991), "Memorias del Seminario Taller de Dinámica de Suelos". Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.



-
- CISMID (1992), "Estudio de Peligro Sísmico para el Afianzamiento Hídrico del Río Cañete – Lima". Informe Técnico, Lima, Perú.
- CISMID (2004), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 distritos de Lima y Callao". Informe Técnico, Lima, Perú
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs. 1538-1606.
- Das, B. M. (1996), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", México Thomson Editores , 4ta Edición, México.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
- Figuerola, J., C. (1974), "Tratado de Geofísica Aplicada", LITOPRINT, Madrid.
- Gabriels, P., Snider, R., and Nolet, G., 1987, In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves: Geophys. Prospecting, 35, 187-196.
- González de Vallejo, L. y Ferrer M. (2002), "Ingeniería Geológica", Prentice Hall, Madrid, España.
- Hoek E. Bray J .W (1977) "Rock Slope Engineering "London , 2da Edición. Idriss I. (1985), "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice". XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA, Vol.
- Flores, H.C.(2004), "Método SPAC : Una alternativa para la Estimación de Modelos Velocidades en el Valle de México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- HIDROENERGIA CONSULTORES EN INGENIERIA SRL (2010), "Estudio Geotécnico con Fines de Cimentación de 05 Reservorios – R-03 Collique", Informe Técnico, Lima, Perú.
- Hunt, Roy E (1986), "Geotechnical Engineering – Techniques and Practices", McGraw-Hill, USA.
- Instituto Geofísico del Perú. (2000), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- INGEMMET (1992), "Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica "Boletín N°43 – Hoja: 24-i.
- Instituto Tecnológico de España (1991) "Manual de Ingeniería de Taludes"
- Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R., (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, N°18, págs. 5855-5899.



-
- Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Lankston, R. W.,, "High Resolution Refraction Data Acquisition and Interpretation", Geo-Compu-Graph, Inc., U.S.A.
- Lermo J., Rodríguez M., y Singh S. K. Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements, Earthquake Spectra, 1988, 4, 805-14.
- Lermo, J. and F. J. Chavez-Garcia (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seism. Soc. Am., 83,1350-1364.
- McGuire R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", MIT Report R74-51 Cambridge MA, USA.
- McGuire R.K. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- Miller, R. D., Pullan, S.E., Waldner, J. S., Haeni, F. P., (1986), "Field comparison of shallow seismic sources", Geophysics, Vol. 51, N° 11, Pag. 2067 – 2092, U.S.A.
- Nakamura, Y. (1989). "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface". Quarterly Report Railway Technology. Research Institute., Vol. 30. N°3. pags. 25-30.
- Park, C., Miller, R. y Xia, J. 1999, "Multichannel analysis of surface waves". Geophysics. Vol. 64. N° 3. p: 800-808.
- Park., C.B., R. D. Miller, and J. Xia, Julian M.(1999), Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock, Kansas Geological Survey, Lawrence, Kansas, U.S.
- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. 2001^a. "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surfaces Waves (MASW) method". Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.
- Plan de Ordenamiento Territorial y Ambiental -POTA- (2011), Geología de la Cuenca Chillón.
http://www.alter.org.pe/cuenca/sis_natural_fisico.html. Pagina accedida en Marzo del 2011.
- Roma V. (2001), "Soil Properties and Site Characterization by means of Rayleigh Waves", PhD Degree in Geotechnical Engineering, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Technical University of Turin (Politecnico), Italy.
- Redpath, B., B. (1973), "Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations", Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California, U.S.A.
- Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.



-
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J.L, Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- SEDAPAL (2009), Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Optimización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de Redes y Actualización de Catastro – Área de Influencia Planta Huachipa – Área de Drenaje Puente Piedra – Chillón – Lima", Informe Técnico, Lima, Perú.
- Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp. 33-44.
- Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955- 1970", Geofísica Panamericana, Vol 2 pp. 179-243
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
- Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.
- Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- Tavera, H., y E. Buforn. (1998), " Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.
- Tokimatsu K., Miyadera Y. and Kuwayama S. (1992a), Determination of Shear Wave Velocity Structures from Spectrum Analyses of Short-Period Microtremors, Proc., 10th World Conf. on Earthquake Engrg., 1, , 253-258.
- Tokimatsu K., Shinzawa K., Kuwayama S. (1992b), Use of short-period microtremors for Vs profiling, J. Geotechnical Eng., vol. 118 (10), ASCE, pp. 1544-1558.
- U. S. Army Corps of Engineers, (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.
- Underwood, D.; Hayashi, K. (2006), Surface Wave data Acquisition and Field Methods, Geometrics Inc, U.S.