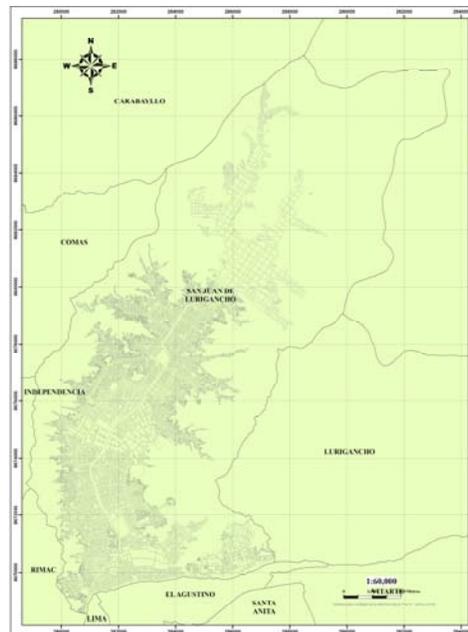


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**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 SAN
JUAN DE LURIGANCHO**

LIMA – MAYO, 2011



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	2
II.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	3
2.1.	SISMICIDAD DEL DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO	3
2.2.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.....	5
III.	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
3.1.	GEOMORFOLOGÍA DE SAN JUAN DE LURIGANCHO.	6
3.2.	GEOLOGÍA DE SAN JUAN DE LURIGANCHO	6
IV.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO SAN JUAN DE LURIGANCHO	8
4.1.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.	9
4.2.	ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y PELIGRO GEOLÓGICO DE LOS TALUDES.	12
4.3.	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	15
V.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO SAN JUAN DE LURIGANCHO	18
5.1.	INTRODUCCIÓN	18
5.2.	ENSAYOS DE MEDICION DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO F-K.....	19
5.2.1.	EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	20
5.2.2.	PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO	21
5.2.3.	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	22
5.3.	MEDICIÓN DE MICROTREMORES.....	25
5.3.1.	MARCO TEÓRICO	26
5.3.2.	TRABAJO DE CAMPO.....	27
5.3.3.	PLANO DE ISOPERIODOS.....	28
5.3.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
VI.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	30
VII.	CONCLUSIONES	32
VIII.	REFERENCIAS.....	34



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 SAN JUAN DE LURIGANCHO, 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 SAN JUAN DE LURIGANCHO

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El distrito peruano de San Juan de Lurigancho es uno de los 43 distritos de la Provincia de Lima. Su nombre proviene del vocablo quechua rurikanchu, que según la actual propuesta del lingüista Gerardo M. García Chinchay (2005), significaría "Los Kanchu del interior". Limita al norte con el distrito de Carabaylo, al este con la Provincia de Huarochirí y el distrito de Lurigancho, al sur con el distrito de El Agustino y el distrito de Lima y al oeste con el distrito del Rímac, el distrito de Independencia y el distrito de Comas.

Su origen se remonta a la cultura prehispánica Ruricancho, que ocupó el territorio hasta la confluencia de los ríos Rímac y Santa Eulalia, desde el siglo XIII d. C. hasta el siglo XVIII d. C. El 24 de junio de 1571, se fundó el pueblo "San Juan Bautista de Lurigancho", en el que se origina el actual distrito.

Con una población de 898.443 habitantes según el censo nacional de población en el año 2007, y estimando que actualmente sobrepase holgadamente el 1'000'000 de residentes. En la actualidad San Juan de Lurigancho es considerado como uno de los distritos con mayor población del continente sudamericano, su crecimiento se debió básicamente a la política centralista de los gobiernos actuales, que repercutió en una desatención del campo, otro factor es el fracaso de la reforma agraria y los múltiples problemas de violencia social que se vivieron desde los años 80. El surgimiento de Asentamientos Humanos como Huáscar, Bayobar, José Carlos Mariátegui, etc., es el producto, de esos múltiples problemas que durante las dos últimas décadas enfrente nuestro país.

1.2. CLIMA

El clima es de tipo desértico con 18° C en promedio. Siendo húmedo en la parte baja (Zárate) y seco en la parte alta (Canto Grande). Mientras el clima de Zárate se asemeja al de Lima Centro en cuanto a la humedad, Canto Grande es más seco, razones por las que muchas personas



afectadas por males respiratorios como el asma han encontrado mejora viviendo en esta zona, que además presenta sol todo el año.

1.3. HIDROGRAFÍA

San Juan de Lurigancho forma parte del valle del Río Rímac que en su recorrido es el límite natural entre este distrito y el de El Agustino. Además existe otro río que es afluente del Rímac llamado Huaycoloro, límite natural con el Centro Poblado de Santa María de Huachipa.

1.4. 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 SAN JUAN DE LURIGANCHO, complementando trabajos anteriormente desarrollados de este distrito con fines similares.

1.5. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito de SAN JUAN DE LURIGANCHO se encuentra ubicado en el Cono Norte de Lima Metropolitana, tiene como límites:

- Por el Norte con los distritos de Carabaylo.
- Por el Oeste con el distrito de Comas e Independencia.
- Por el Sur con los distrito de Rímac, Cercado de Lima y El Agustino
- Por el Este con el distrito de Lurigancho.

El Plano P-01 presenta el plano base del distrito de SAN JUAN DE LURIGANCHO, 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 SAN JUAN DE LURIGANCHO

El distrito de SAN JUAN DE LURIGANCHO, 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 Nacional 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 SAN JUAN DE LURIGANCHO, se ha considerado las coordenadas geográficas:

$$-76.97^{\circ} - 11.95^{\circ}$$

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 0.32 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 0.42 g a 0.52 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 SAN JUAN DE LURIGANCHO, los cuales serán mencionados posteriormente para dar respaldo al capítulo en mención.

3.1. GEOMORFOLOGÍA DE SAN JUAN DE LURIGANCHO.

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área en estudio, han sido modelados por eventos plutónicos y/o tectónicos, así como por procesos de geodinámica externa. Las unidades geomorfológicas existentes en el área estudiada son clasificadas como quebradas y estribaciones de la Cordillera Occidental, las que a continuación se detallan:

a) Valles y Quebradas

Esta unidad geomorfológica comprende las quebradas afluentes al río Rímac, que permanecen secas la mayor parte del año, discurriendo agua solo en épocas de fuertes precipitaciones en el sector andino y especialmente asociados al Fenómeno del Niño; debido a ello presentan un clima seco, con piso cubierto por depósitos coluviales y materiales de poco transporte, provenientes de las estribaciones de la Cordillera Occidental.

b) Estribaciones de la Cordillera Occidental

Esta unidad geomorfológica corresponde a las laderas y restos marginales de la cordillera andina, de topografía abrupta, formado por plutones los cuales han sido emplazados con rumbo NO-SE, los mismos que han sido disectados por las quebradas.

3.2. GEOLOGÍA DE SAN JUAN DE LURIGANCHO

A. Aspectos Geológicos y Litológicos

La secuencia estratigráfica de la región abarca las formaciones o superunidades que se ubican unas fuera del área de estudio y otras en el marco del área de estudio. La geología comprende rocas, con edades que van desde el Cretáceo Medio y Superior, en



el siguiente orden:

Volcánico Quilmaná (Kms-q).- Es una serie integrante volcánica que descansa sobre el volcánico Huarangal en aparente discordancia deposicional. Litológicamente está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados de textura porfirítica, destacando los fenos de plagioclasa en una pasta fina o microcristalina de coloración gris a gris verdosa y en menor proporción las doleritas y diabasas. La edad de este grupo es el cretáceo medio superior.

Rocas Intrusivas

Gabro - dioritas pertenecientes a la Súper-unidad Patap (Ks – gbdi – pt).- Esta Súper-unidad está compuesta por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con edad perteneciente al Cretáceo Superior, de color oscuro, debido a los magnesianos que contiene, la textura de la roca varía de grano medio a grueso, de alto peso específico, conteniendo hornblenda y biotitas. Generalmente se encuentran disturbadas, con signos de inestabilidad.

Tonalita – Diorita (Ks-tdi-sr) pertenecientes a la Súper-unidad Santa Rosa. (Santa Rosa oscuro)- Estos cuerpos plutónicos se presentan constituyendo, la parte central de esta Súper-familia, con un marcado color oscuro.

Las rocas presentan, muestra en mano, un color gris oscuro, textura holocristalina de grano medio variando a grueso. Las Tonalitas por la dureza del cuarzo presentan una topografía aguda, con estructuras tabulares debido al diaclasamiento, cuyo rumbo general es Norte-Sur, variando en parte al Noroeste o al Sureste.

Granodiorita-granito (Ks-gd-g-sr) pertenecientes a la Súper-unidad Santa Rosa.- Son cuerpos plutónicos, que afloran en el área de estudio. Las rocas graníticas destacan como cuerpos menores, constituyendo un stock que intruye a las Diorita y Tonalita-granodiorita.

B. Aspectos de Geología Estructural.

En el área de estudio y alrededores, producto de la fase compresiva del Terciario Inferior,



se ha 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 en superficie éstas se encuentren disturbadas, propensas a la inestabilidad.

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.

IV. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO SAN JUAN DE LURIGANCHO



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, 05 y 06 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 San Juan de Lurigancho.

Para determinar las características geotécnicas del distrito de San Juan de Lurigancho, se ha tomado como base la recopilación de estudios geotécnicos (CISMID, 2004), así como los estudios de mecánica de suelos ejecutados por terceros en los años posteriores a dicho estudio. 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 sondajes 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 de acuerdo a la información de los sondajes recopilados y ejecutados en el presente estudio:

Zona Norte, se caracteriza por la presencia de material gravoso con arena de origen coluvial a una profundidad menor a los 2.00 m, pudiéndose encontrar en zonas puntuales a profundidades mayores. Predominantemente la zona norte, se encuentra circundada por cerros de taludes con fuerte pendiente. A continuación se describe algunos estudios ejecutados y recopilados, en esta zona:

En la calicata C-11, ubicada en el Parque Residencial Barrio - Urb. Mariscal, se encontró superficialmente hasta los 1.70 m de exploración, grava bien gradada con arena en estado densa, con gravas de tamaño máximo de 32 pulg.

En la calicata C-10, ubicada en el cruce de la calle Cirujanos y calle Astrónomos, se encontró hasta los 0.30 m de exploración un material de relleno conformado por desmote, seguido por un



estrato de 1.20 m de espesor constituido por arena mal gradada con grava en estado denso, seguido de 0.90 m de grava mal gradada con arena, en estado muy densa.

El registro de la calicata E-60, ubicada en el Jr. Huancarav - Cooperativa de Vivienda Huancarav Ltda., describe un estrato de 0.65 m de espesor conformado por material removido de la zona constituido por arena limosa, en estado suelta. Seguida por 0.75 m de arena pobremente gradada de grano medio a grueso con presencia de grava sub angulara en estado semi-suelta a semi-compacta. Subyacente a este estrato y hasta los 3.00 de exploración, se encontró la grava bien gradada de forma sub angular, con presencia de bolonería de gran tamaño y matriz de arena, en estado semi-compacto.

Zona Central, se caracteriza por la presencia predominante de materiales granulares finos superficiales y alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, de más de 10 m de espesor. Predominantemente la zona central, se encuentra circundada por cerros de taludes de pendientes moderadas. A continuación se describe algunos estudios ejecutados y recopilados, en esta zona:

El registro de la calicata C-04, ubicada en el Parque Micaela Bastidas cruce de la Ca. Tito de Condemayta y Ca. Túpac Amaru, describe un estrato de 0.60 m de espesor conformado por tierra de cultivo y material arcillo limoso. Seguido por 0.50 m de arena limosa en estado suelta a medianamente densa. A continuación se encontró 0.55 m de limo medianamente compacto, seguido por 0.65 m de limo arenoso suelto a medianamente denso y 0.40 m de arena mal gradada con limo suelto a medianamente denso.

El registro de la calicata C-09, ubicada entre la Ca. Río Ene y Ca. Capiyune - Asociación de Vivienda Los Pinos, describe un estrato de 0.20 m de espesor conformado por rellenos de material arenosos con presencia de bolsas plásticas. A continuación le sigue la grava bien gradada con arena, en estado densa con presencia de grava sub angulara de tamaño máximo de 10".

El registro de la calicata C-12, ubicada en el cruce de la Ca. Canto Rodado y Ca. Las Gemas – Alt. Comisaría Huayrona, se describe 0.30 m de relleno compuesto por material arcilloso, debajo



del cual se encuentra 0.75 m de arena mal gradada con limo, en estado suelta a media densa. A continuación le sigue 1.55 m de arena mal gradada, medianamente densa; seguida hasta los 3.00 m de exploración de la arena limosa medianamente densa.

Zona Sur, se caracteriza por la presencia de material gravoso con arena de origen Aluvial, provenientes del cono de deyección Río Rímac y los depósitos de huaycos que se encuentran en las quebradas, a una profundidad menor a los 2.00 m, pudiéndose encontrar en zonas puntuales a profundidades mayores. A continuación se describe algunos estudios ejecutados y recopilados, en esta zona:

El registro de la calicata E-04, ubicada en la calle 1 Enrique Pretell – Sector A, Urb. Zarate, describe un estrato de 3.0 m de espesor conformado grava limosa con arena, de compacidad suelta, ligera presencia de desmonte. Seguida por grava bien gradada, ligeramente limosa con presencia de bolonería en estado semi-compacta, hasta los 4.00 m de exploración

El registro de la calicata C-02, ubicada el Parque Garcilaso de la Vega. Urb. Zarate 4ta Etapa, describe superficialmente 0.50 m de tierra de cultivo, seguido por 1.50 m de grava mal gradada con arena de forma sub-angular y planas de tamaño máximo de 60 cm., seguido por 0.30 m de grava mal gradada con arena.

El registro de la calicata C-01, ubicada en el Parque Plaza Mayor de Campoy entre la Ca. Cipreses y Ca Lirios, se describe un estrato de 0.30 m de relleno conformado por tierra de cultivo, seguido por la grava bien gradada con arena, medianamente densa con gravas sub-redondeadas de tamaño máximo de 50 cm.; seguido por un grava mal gradada con arena hasta los 2.30 de exploración.

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 San Juan de Lurigancho, 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 y se presenta en el Plano GE-01 del Anexo B-4 del Apéndice B, titulado Peligro Geológico del distrito de San Juan de Lurigancho.

Zona G1: En esta Zona se pueden apreciar dos quebradas principales, con sus respectivas quebradas secundarias; la primera quebrada va siguiendo aproximadamente la dirección Norte y la segunda la dirección Noreste. Los cerros en estos lugares presentan cotas de hasta 1,400 m.s.n.m y las quebradas en mención se encuentran erosionadas por antiguos eventos geodinámicos.

En estas quebradas se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros, los cuales presentan fuertes pendientes que aumentan hacia las partes más altas.

Las formaciones rocosas comprometidas con la Zona G1 son las Formaciones, el Volcánico Quilmana, Tonalita –Diorita pertenecientes a la Súper -unidad Santa Rosa, Gabro-Diorita de la Súper-unidad Patap, que a continuación detallamos:

Volcánico Quilmaná (Kms-q).- Es una serie integrante volcánica que descansa sobre el volcánico Huarangal en aparente discordancia deposicional. Litológicamente está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados de textura porfírica, destacando los fenos de plagioclasa en una pasta fina o microcristalina de coloración gris a gris verdosa y en menos proporción las doleritas y diabasas. La edad de este grupo es el cretáceo medio superior.

Gabro - Dioritas pertenecientes a la Súper-unidad Patap (Ks – gbdi – pt).- Esta Súper-unidad está compuesta por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con edad perteneciente al Cretáceo Superior, de color oscuro, debido a los magnesianos que contiene, la textura de la roca varía de grano medio a grueso, de alto peso específico, conteniendo hornblenda y biotitas. Generalmente se encuentran disturbadas, con signos de inestabilidad.



Tonalita – Diorita (Ks-tdi-sr) pertenecientes a la Súper-unidad Santa Rosa. (Santa Rosa oscuro)- Estos cuerpos plutónicos se presentan constituyendo, la parte central de esta Súper-familia, estas rocas, muestra en mano, presentan un color gris oscuro, textura holocristalina de grano medio variando a grueso. Las Tonalitas por la dureza del cuarzo presentan una topografía aguda, con estructuras tabulares debido al diaclasamiento, cuyo rumbo general es Norte-Sur, variando en parte al Noroeste o al Sureste.

En la Zona en mención afloran las rocas de naturaleza pétreo intrusiva del tipo Tonalita, las cuales presentan erosión esferoidal, la cual como se sabe originan bloques en estado sueltos en las laderas, que ante un fuerte sismo pueden generar fenómenos de geodinámica externa del tipo caída de bloques de roca, las cuales pueden precipitarse cuesta abajo y afectar a las viviendas y a las personas que la habitan.

De lo expuesto líneas arriba, se puede decir que en La Zona G1, si se dan las condiciones de lluvias fuertes y/o lluvias extraordinarias, se pueden activar fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y/o caída de bloques de roca principalmente en las partes altas. El peligro geológico potencial de esta zona es Alto.

Zonas G2 y G4: Estas zonas se pueden apreciar hacia el Noreste del plano geológico, están compuestas por quebradas y laderas. Los cerros en estos lugares presentan cotas elevadas y las quebradas en mención se encuentran erosionadas por antiguos eventos geodinámicos. En estas quebradas 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 fuertes pendientes que aumentan hacia las partes más altas.

Las formaciones rocosas comprometidas con las Zonas G2 y G4 son las rocas Intrusivas del tipo Tonalita –Diorita pertenecientes a la Súper -unidad Santa Rosa, Gabro-Diorita de la Súper-unidad Patap, que a continuación detallamos:



Gabro - Dioritas pertenecientes a la Súper-unidad Patap (Ks – gbdi – pt).- Esta Súper-unidad está compuesta por cuerpos de gabros y dioritas. Generalmente se encuentran disturbadas, con signos de inestabilidad.

Tonalita – Diorita (Ks-tdi-sr) pertenecientes a la Súper-unidad Santa Rosa. (Santa Rosa oscuro)- Estos cuerpos plutónicos son de color gris oscuro, textura holocristalina de grano medio variando a grueso. Las Tonalitas por la dureza del cuarzo presentan una topografía aguda. - En las Zonas en mención, afloran las rocas de naturaleza pétrea intrusiva del tipo Tonalita, las cuales presentan erosión esferoidal, la cual como se sabe originan bloques, en estado sueltos en las laderas que ante un fuerte sismo, pueden generar fenómenos de geodinámica externa del tipo caída de bloques de roca, las cuales pueden precipitarse cuesta abajo y afectar a las viviendas y a las personas que la habitan.

Si en las Zonas en mención, se dan las condiciones de fuertes lluvias y/o lluvias extraordinarias y sismos intensos, se pueden ocasionar fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y/o caída de bloques de roca, principalmente en las partes altas. El peligro geológico potencial de estas zonas es de Moderado a Alto.

Zonas G3 y G5: Estas Zonas se pueden apreciar hacia el Noroeste del plano geológico, está compuesto por quebradas y laderas. Las laderas y los afloramientos rocosos que circundan a las quebradas en mención presentan fuertes pendientes que aumentan hacia las partes más altas.

En estas quebradas se observa que las habilitaciones urbanas se encuentran en las laderas e inclusive en las partes altas de los cerros comprometidos con éstas.

Las formaciones rocosas comprometidas con estas zonas son las Rocas Intrusivas del tipo Granodiorita–Granito pertenecientes a la Súper -unidad Santa Rosa, Gabro-Diorita de la Súper-unidad Patap, que a continuación detallamos:

Gabro - dioritas pertenecientes a la Súper-unidad Patap (Ks – gbdi – pt).- Esta Súper-unidad está compuesta por cuerpos de gabros y dioritas. Generalmente se encuentran disturbadas, con signos de inestabilidad.



Granodiorita-granito (Ks-gd-g-sr) pertenecientes a la Súper-unidad Santa Rosa.-. Son cuerpos plutónicos, que afloran en nuestra área de estudio. Las rocas graníticas destacan como cuerpos menores, constituyendo un stock que intruye a las Diorita y Tonalita-granodiorita.

Por lo expuesto líneas arriba se puede decir que las Zonas G3 y G5 ante la posible ocurrencia de fuertes lluvias y/o lluvias extraordinarias y sismos intensos, se podrían activar fenómenos de geodinámica externa en las laderas y/o los cauces de las quebradas, del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y/o caída de bloques de roca principalmente en las partes altas. El peligro geológico potencial de estas zonas es Moderado a 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 mapas temáticos, y así visualizar con mayor claridad la variabilidad espacial de los tipos de suelos en el área en estudio. Esta herramienta ha permitido visualizar la variación espacial de los diversos suelos que conforman este distrito a las profundidades que convencionalmente se desplantan las cimentaciones de las edificaciones.

Esta información ha permitido delimitar con mayor precisión las cinco zonas geotécnicas identificadas en el distrito de San Juan de Lurigancho. 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 Mapa de Microzonificación Sísmica del Distrito de San Juan de Lurigancho.

Con los antecedentes descritos, así como de la necesidad de definir las características del terreno para el distrito de San Juan de Lurigancho, 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 San Juan de Lurigancho.

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: E82; que demuestran que en estos suelos existe un grado de alteración químico al concreto de la cimentación por tener valores promedio a los límites permisibles, haciendo que sea considerado como ataque químico severo, 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 del distrito de San Juan de Lurigancho, así como la descripción del peligro geológico de los taludes 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 de origen coluvial en la zona Norte y grava aluvial, en las riveras del Río Rímac, en la Zona Sur del distrito de San Juan de Lurigancho. Dentro de esta denominación se pueden incluir a los depósitos aluviales provenientes del cono de deyección del río Rímac, 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 laderas de fuerte pendiente que circundan al distrito.

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 Norte, esta profundidad va disminuyendo debido a la presencia de los afloramientos rocosos que conforman las laderas de los cerros.

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 2.30 a 3.30 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.80 a 1.20 m.

Zona II: Esta zona predomina en la región central del distrito de San Juan de Lurigancho. Está conformada por materiales granulares finos superficiales y alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, de más de 10 m de espesor. En general, en esta zona 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 1.30 a 1.90 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.80 a 1.20 m.



Zona III: Esta zona está asociada a los taludes de pendiente moderada a fuerte que se localizan en los sectores Este y Oeste del distrito de San Juan de Lurigancho. En esta zona existe un peligro moderado de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos.

Zona IV: Esta zona está asociada a los taludes de fuerte pendiente que se localizan en el sector Norte del distrito de San Juan de Lurigancho. En esta zona existe un alto peligro potencial de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos.

Zona V: Esta zona está asociada a un depósito de rellenos heterogéneos localizados en la zona central del distrito de San Juan de Lurigancho, 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-02 del Apéndice B.

V. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL SUBSUELO DEL DISTRITO SAN JUAN DE LURIGANCHO

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 microtremores, 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 microtremores, 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 sondajes 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 MEDICIÓN DE ONDAS DE CORTE – MÉTODO F-K

El principio de este método radica en el hecho de que los Microtremores 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 microtremores (Asten, M. and Henstridge, J., 1984).

Este método consiste en la medición de microtremores 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 microtremores 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 generada por el ruido del tráfico, maquinarias, el viento, ondas del océano a la orilla del mar, etc. las cuales consiste 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 Microtremores, se utilizó un equipo de medición de Microtremores 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 campos se llevaron a cabo en cuatro puntos diferentes del distrito de San Juan de Lurigancho, estos lugares fueron seleccionados con la finalidad de utilizar los resultados para mejorar la definición de límites del tipo de suelo propuestos 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 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 relación y ubicación de los arreglos ejecutados en el distrito de San Juan de Lurigancho se presentan en las Tablas 1 y 2 y 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. La interpretación de esta curva se apoya en exploraciones del suelo cercanas al punto de ensayo, resultando en los perfiles sísmicos que se muestran en el Anexo C-3 del Apéndice C y caracterizan en la Tabla 3 del Apéndice C, y 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, 22m y 40m. La interpretación de este arreglo corresponde a la curva de dispersión del Arreglo N°1 (Anexo C-2 del Apéndice C) y genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 48 m. El cual muestra la presencia de 5 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 2 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 125 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena limosa suelta.

El segundo estrato, de 2 a 12 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 315 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada medio densa.



El tercer estrato, de 12 a 27 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 480 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa.

El cuarto estrato, de 27 a 37 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 760 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava arenosa densa.

El quinto estrato, de 37 a 48 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 1075 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava aluvional muy densa o roca ligeramente alterada. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 01 del Anexo C-3 del Apéndice C.

ARREGLO N°2

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 40m. La interpretación de este arreglo corresponde a la curva de dispersión del Arreglo N°2 (Anexo C-2 del Apéndice C) y genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 55 m. El cual muestra la presencia de 4 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 290 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada medio densa.

El segundo estrato, de 5 a 26 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa con presencia de gravas aisladas.

El tercer estrato, de 26 a 36 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 695 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena muy densa con presencia de gravas aisladas.



El cuarto estrato, de 36 a 55 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 865 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava aluvional densa. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 02 del Anexo C-3 del Apéndice C.

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 10m, 17m y 35m. La interpretación de este arreglo corresponde a la curva de dispersión del Arreglo N°3 (Anexo C-2 del Apéndice C) y genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 60 m. El cual muestra la presencia de 5 estratos sísmicos.

El primer estrato, de 0 a 4 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 335 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto una arena limosa medio densa.

El segundo estrato, de 4 a 14 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena densa con presencia de grava.

El tercer estrato, de 14 a 24 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 arena muy densa con presencia de grava.

El cuarto estrato, de 24 a 36 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 900 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava muy densa.

El quinto estrato, de 36 a 60 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 1130 m/s. Este valor de correspondería a un material compuesto por una roca. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 03 del Anexo C-3 del Apéndice C.



ARREGLO N°4

Comprende arreglos de Microtremores lineales de 2m de separación y circulares en forma de un pentágono con un radio de 10m, 17m y 30m. La interpretación de este arreglo corresponde a la curva de dispersión del Arreglo N°4 (Anexo C-2 del Apéndice C) y genera un perfil sísmico de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 55 m. El cual muestra la presencia de 4 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 430 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una arena pobremente gradada densa.

El segundo estrato, de 5 a 12 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 arena densa con presencia de grava.

El tercer estrato, de 12 a 28 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 890 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una grava muy densa.

El cuarto estrato, de 28 a 55 m de profundidad, presenta un valor promedio de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 1360 m/s. Este valor de velocidad correspondería a un material compuesto por una roca. Este perfil sísmico se muestra en la Figura 04 del Anexo C-3 del Apéndice C.

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.

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

Con esta relación Nakamura supone que los efectos de la fuente pueden ser removidos de los registros de microtremores con el espectro H/V. Él asume que sólo las microtremores horizontales son influenciadas por el suelo, y que las características espectrales de la fuente se mantienen en las microtremores 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 microtremores, 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 microtremores 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 microtremores, 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 microtremores 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 San Juan de Lurigancho, se realizó la medición de microtemores en 41 puntos, con el objetivo de complementar las mediciones realizadas en este distrito en el "ESTUDIO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO EN 42 DISTRITOS DE LIMA Y CALLAO" (CISMID-2004)" que corresponden a 35 puntos. En el Plano P-02 del Apéndice C. En este plano puede observarse que en total los 76 puntos que serán utilizados en el estudio se encuentran distribuidos adecuadamente toda la zona urbana que comprende tanto la parte baja y alta del territorio del distrito Los registros de microtemores obtenidos en diversos puntos del distrito se presentan en el Anexo C-4 del Apéndice C.

5.3.3. PLANO DE ISOPERIODOS

En el Plano P-03 se presenta las curvas de isoperiodos dominantes del terreno determinada para el distrito de San Juan de Lurigancho en función del análisis de los resultados obtenidos de la medición de microtemores en diferentes puntos, tanto ejecutados en este estudio como del "ESTUDIO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO EN 42 DISTRITOS DE LIMA Y CALLAO" (CISMID-2004)".

Los 38 nuevos puntos ejecutados representan un complemento de valores en zonas donde no se conocía el periodo del suelo, éstos han sido analizados mediante el espectro de amplitudes de Fourier y el cociente espectral H/V; los resultados obtenidos han ayudado a identificar con mayor detalle las zonas en que los periodos varían desde 0.10 s. en zonas de suelos firme hasta periodos de 0.3 s que describen suelos de tipo intermedio.

El valor de periodo 0.1 s predomina en la zona Norte del distrito, en las laderas correspondientes a la zona alta del distrito. En la parte central predomina el valor de periodo de oscilación de 0.2 s, correspondiente a un terreno firme. En la zona Sur hay sectores donde se distribuyen valores de periodo de 0.2 s y 0.3 s, éste ultimo valor correspondería a un suelo intermedio.

El cociente espectral H/V proporciona el valor de amplificación relativa del movimiento horizontal del suelo con respecto a su movimiento vertical. La Tabla 5 del Apéndice C muestra



los valores de amplificación relativa obtenidos. Estos valores varían de 1.5 veces hasta 7.3 veces repartidos de manera dispersa en toda el área del distrito.

5.3.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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 determinada 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 la determinación de la curva de dispersión, el método F-K se divide esencialmente en dos métodos, es decir, los métodos activos y pasivos. En el método F-K activo, los sensores forman un arreglo lineal con la fuente, esta fuente es utilizada para generar ondas superficiales de frecuencia alta, ondas que son útiles para explorar profundidades menores a 20 metros. Por el contrario en el método F-K pasivo, los sensores forman un arreglo circular, que a diferencia del método activo no requiere de ninguna fuente, sino por lo contrario utiliza el ruido ambiental la cual está constituida de onda Rayleigh de baja frecuencia. La ventaja de este método es que permite explorar profundidades mayores a los 20 metros.

Para el estudio de Microzonificación Sísmica del distrito de San Juan de Lurigancho, se han llevado a cabo 4 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 60 m.

El procesamiento e interpretación de los datos obtenidos con el método F-K ha permitido corroborar que en el terreno superficial está predominando una arena limosa de compacidad suelta a medio densa. Posteriormente subyace a este material una arena densa a muy densa con presencia de gravas aisladas. Estos depósitos yacen sobre una grava aluvional de compacidad densa a muy densa. El espesor de estos depósitos está en función de la ubicación del arreglo ejecutado.

Los cuatro perfiles sísmicos determinados por el método F-K muestran una buena correspondencia con la estratigrafía encontrada.



La identificación y caracterización del tipo de suelo a través de la profundidad se ha realizado teniendo en cuenta información recopilada y obtenida de las exploraciones de campo (calicatas y pozos), cercanas a los puntos de ensayos, permitiendo interpretar y determinar adecuadamente el perfil de velocidad sísmica del suelo.

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 estos puntos 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 suelo firme con valores de 0.10 s a 0.20 s y suelo intermedio con 0.20 s a 0.30 s.

Los resultados obtenidos de ambos ensayos (método de análisis espectral F-K y microtremores) serán utilizados en la elaboración de la Microzonificación Sísmica del distrito de San Juan de Lurigancho.

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 SAN JUAN DE LURIGANCHO 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 de origen coluvial en la zona Norte y grava aluvial, en las riveras del Río Rímac, en la Zona Sur del distrito de San Juan de Lurigancho. Dentro de esta denominación se pueden incluir a los depósitos



aluviales provenientes del cono de deyección del río Rímac, 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 laderas de fuerte pendiente que circundan al distrito.

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 Norte, esta profundidad va disminuyendo debido a la presencia de los afloramientos rocosos que conforman las laderas de los cerros.

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 2.30 a 3.30 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.80 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 6.50 veces.

Zona II: Esta zona predomina en la región central del distrito de San Juan de Lurigancho. Está conformada por materiales granulares finos superficiales y alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, de más de 10 m de espesor. En general, en esta zona 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 1.30 a 1.90 kg/cm² a la profundidad de cimentación de 0.80 a 1.20 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 veces a 7.30 veces



Zona III: Esta zona está asociada a los taludes de pendiente moderada a fuerte que se localizan en los sectores Este y Oeste del distrito de San Juan de Lurigancho. En esta zona existe un peligro moderado de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos

Zona IV: Esta zona está asociada a los taludes de fuerte pendiente que se localizan en el sector Norte del distrito de San Juan de Lurigancho. En esta zona existe un alto peligro potencial de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas que están condicionadas a las precipitaciones pluviales y a la ocurrencia de sismos.

Zona V: Esta zona está asociada a un depósito de rellenos heterogéneos localizados en la zona central del distrito de San Juan de Lurigancho, 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 SAN JUAN DE LURIGANCHO realizado en base a la descripción antes indicada.

VII. CONCLUSIONES

Para el distrito de SAN JUAN DE LURIGANCHO 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 SAN JUAN DE LURIGANCHO.

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.



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

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



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.

La Zona V es un depósito de rellenos heterogéneos localizados en la zona central del distrito de San Juan de Lurigancho, con un espesor de más de 6.0 m. No es adecuada 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.



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 SAN JUAN DE LURIGANCHO – 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.