



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



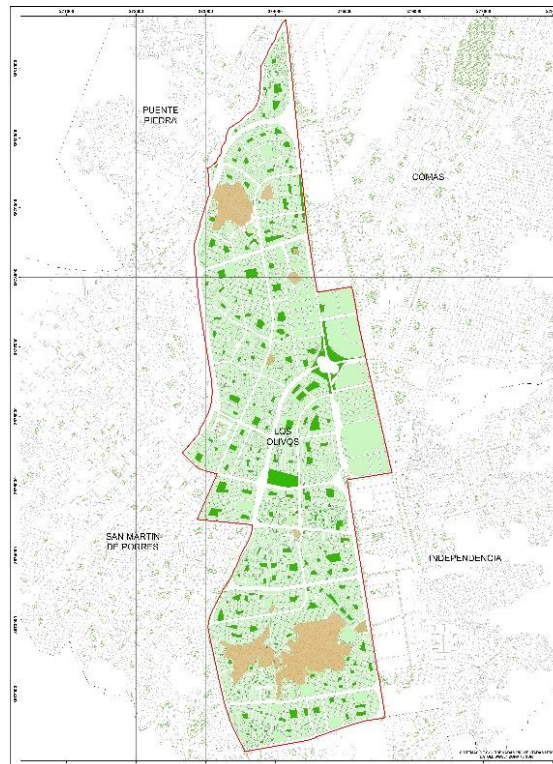
**PROGRAMA 0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE
PRESUPUESTAL EMERGENCIAS POR DESASTRES**

**PRODUCTO 3000562. MUNICIPIOS PROMUEVEN LA ADECUADA
OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO FRENTE AL RIESGO DE
DESASTRES**

**ACTIVIDAD 5001593. FORMULACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS
TERRITORIALES PARA EL ANALISIS DE RIESGO A NIVEL
URBANO**

**FINALIDAD 0053449. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS TERRITORIALES PARA
LA INCORPORACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE
RIESGOS**

INFORME MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE LOS OLIVOS



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DISTRITO DE LOS OLIVOS**

MAYO, 2014

LIMA



ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. GENERALIDADES.....	2
2.1. Objetivo.....	2
2.2. Ubicación del Área de Estudio	2
3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS	2
3.1. Geología Regional	2
3.2. Litología Regional	3
3.3. Aspectos Geo Estructurales Regionales	4
3.4. Marco Geológico Local.....	4
3.5. Lito Estratigrafía Local.....	4
3.6. Aspectos Geo Estructurales Locales.....	5
3.7. Peligros Geológicos	5
3.8. Mapa de Peligros Geológicos.....	7
4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.....	8
4.1. Metodología	8
4.2. Peligro Sísmico Probabilístico	10
5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO	12
5.1. Metodología	12
5.2. Tipos de Materiales.....	14
5.3. Microzonificación Geotécnica.....	15
6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO	16
6.1. Metodología	16
6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos	19
7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	20
7.1. Zona I.....	20
7.2. Zona II.....	21
8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	21
9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



REFERENCIAS

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1: Coordenadas Geográficas para evaluación de Peligro Sísmico.
Tabla 2: Aceleraciones espectrales en roca para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en gal.
Tabla 3: Aceleraciones espectrales en roca para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en g.
Tabla 4: Aceleraciones espectrales en suelo para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en gal.
Tabla 5: Aceleraciones espectrales en suelo para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en g.

LISTA DE APÉNDICES

- Apéndice A: Evaluación de Peligros Geológicos.
Apéndice B: Evaluación del Peligro Sísmico.
Apéndice C: Caracterización Geotécnica del Suelo.
Apéndice D: Caracterización Dinámica del Suelo.

LISTA DE MAPAS

- Mapa I-1: Ubicación del Área de Estudio.
Mapa I-2: Microzonificación Sísmica.
Mapa I-3: Aceleración Máxima Esperada.
Mapa I-4: Velocidad Máxima Esperada.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



RESUMEN

La Universidad Nacional de Ingeniería a través del CISMID-FIC-UNI participa como pliego en la estrategia de gestión “Presupuesto por Resultados” del Ministerio de Economía y Finanzas, específicamente en el programa presupuestal “0068 Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”. Dentro de este contexto se desarrolla el estudio de riesgo sísmico dentro del Distrito de Los Olivos. Para ello es necesario realizar un estudio de microzonificación sísmica, expuesto en el presente informe.

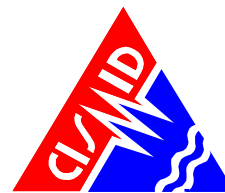
La microzonificación sísmica es un estudio multidisciplinario, que investiga los efectos de sismos y fenómenos asociados, sobre el área de interés. Los estudios suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales.

Así, este trabajo se desarrolló a través de diferentes estudios. El primero, es el estudio de las características geológicas y los peligros geológicos, el segundo estudio evalúa el peligro sísmico para estimar la aceleración máxima horizontal en roca y suelo. Los siguientes son las características geotécnicas, y dinámicas del suelo, que son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica y de Isoperiodos, respectivamente.

La Microzonificación Sísmica para el área de estudio tiene dos zonas. La zona I comprende gravas de compacidad media a densa y arenas de compacidad densa, limos y arcillas de consistencia dura. Se encuentran períodos de vibración menores a 0.30 s. La zona II comprende arenas de compacidad media, limos y arcillas de consistencia media. Se encuentran períodos de vibración menores a 0.50 s. En esta zona se encuentran áreas de peligro geológico medio.

Tomando como base el análisis de peligro sísmico probabilístico, para el que se encontró una aceleración de 444.74 cm/s^2 en suelo tipo “C” para un periodo de retorno de 475 años, y los factores de amplificación asociados a cada zona se encuentra una aceleración máxima en superficie de 533.69 cm/s^2 . Adicionalmente, se encuentra un rango de velocidades máximas predominantes de 90 cm/s a 110 cm/s considerando la distribución de isoperíodos en la zona de estudio.

Los resultados de este informe no deben ser utilizados para proyectos de edificaciones específicos ni reemplazan a los estudios requeridos por la normatividad vigente para estos.



1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Ingeniería a través del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID-FIC-UNI) de la Facultad de Ingeniería Civil participa como pliego en la estrategia de gestión “Presupuesto por Resultados” (PpR) del Ministerio de Economía y Finanzas, específicamente en el programa presupuestal “0068 Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, recibiendo el presupuesto necesario para ejecutar la actividad “5001593. Formulación y Actualización de Estudios Territoriales para el Análisis de Riesgo a Nivel Urbano”, dentro del producto “3000562. Municipios Promueven la Adecuada Ocupación y Uso del Territorio frente al Riesgo de Desastres”, con la finalidad “0053449. Elaboración de Estudios Territoriales para la Incorporación del Análisis de la Gestión de Riesgos”, en tal sentido el CISMID-FIC-UNI ha recibido el presupuesto necesario para realizar el estudio de Riesgo Sísmico para el distrito de Los Olivos. Para obtener este riesgo es necesario utilizar los resultados de un estudio de microzonificación sísmica, el cual se presenta en el presente informe “Microzonificación Sísmica del Distrito de Los Olivos”

La microzonificación sísmica es un estudio multidisciplinario, que investiga los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuefacción de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. El estudio suministra información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales. (SENCICO, 2006a)

En correspondencia con lo anterior, este trabajo se ha desarrollado a través de diferentes estudios. El primero, es el estudio de las características geológicas y los peligros geológicos del área de estudio (Apéndice A), el segundo estudio evalúa el peligro sísmico para estimar estadísticamente la aceleración máxima horizontal (PGA) en roca y suelo (Apéndice B). Los siguientes son las características geotécnicas, y dinámicas del suelo; estas características son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice C) y de Isoperíodos (Apéndice D), respectivamente. Las características geotécnicas fueron determinadas mediante exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, los cuales permitieron identificar los diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio, así como también sus propiedades mecánicas. Por otro lado, las características dinámicas, fueron determinadas a partir de mediciones de la vibración del suelo y de ensayos superficiales de ondas de corte, para su posterior análisis mediante métodos descritos en el Apéndice D. A partir de la superposición de los mapas de Peligros Geológicos, Microzonificación Geotécnica e Isoperíodos se obtiene el Mapa de Microzonificación Sísmica. Este mapa, que constituye el resultado final, se convierte en un gran instrumento para la planificación y desarrollo urbano o para la reconstrucción después de un desastre sísmico.

En los Apéndices A, B, C y D se presentan a detalle los resultados obtenidos en los diferentes estudios, utilizando tanto la información recopilada como la generada en el presente informe.



2. GENERALIDADES

2.1. Objetivo

El objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de Microzonificación Sísmica, integrando para ello diferentes especialidades como geología, geotécnica y geofísica; y complementando estas con otros estudios anteriormente realizados en el área de estudio. El estudio está enfocado a la consideración de que sobre el área de estudio se encuentran edificaciones convencionales. Así, el área de estudio se limita a las áreas urbanas actuales y áreas adyacentes a estas que podrían influenciar en ellas. No se han considerado las zonas arqueológicas referenciadas en el documento digital “Patrimonio Cultural de Los Olivos” (disponible en <http://portal.munilosolivos.gob.pe>) del proyecto “Fortalecimiento y Recuperación de la Cultura Local mediante la Gestión del Patrimonio Cultural del Distrito” ejecutado por la Municipalidad Distrital de Los Olivos a través de la Sub Gerencia del Planeamiento Educativo.

2.2. Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio comprende el distrito de Los Olivos. El distrito de Los Olivos se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima y colinda con:

- Por el norte con el distrito de Puente Piedra.
- Por el sur con el distrito de San Martín de Porres.
- Por el este con los distritos de Independencia y Comas.
- Por el oeste con el distrito de San Martín Porres.

El mapa I-1 muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS

3.1. Geología Regional

3.1.1. Geomorfología Regional

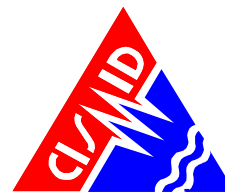
La geomorfología regional donde se encuentra el área asignada al proyecto se encuentra entre la Llanura de la Costa y las Estribaciones Andinas occidentales, también se observan quebradas amplias.

Las estribaciones de la Cordillera Occidental, corresponde a laderas y crestas de la Cordillera Andina, formando topografías abruptas conformadas por plutones y stocks del Batolito de la Costa.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



En las cotas de menor altimetría, se observan terrenos semi planos, constituidos por depósitos aluviales y coluviales, que provienen de las estribaciones de la Cordillera Occidental. La geomorfología de estos terrenos se asigna a quebradas amplias que permanecen secas por estar afectadas por el clima costero árido.

La Llanura Pre andina definida como una faja que se extiende entre la línea de Cordillera de la Costa y la Cordillera Occidental. Sus anchos varían entre 20 y 100 Km., presentando elevaciones que van de 50 a 1500 msnm. Tiene relieves moderados y clima desértico. Presenta depósitos cuaternarios eólicos y aluviales de los ríos que drenan de la Cordillera Occidental.

La Planicie costanera, es la zona comprendida entre el borde litoral y la Cordillera de la Costa, está constituida por una faja angosta de territorio paralela a la línea de costa adquiriendo mayor amplitud en los valles de los ríos Chillón y Rímac.

Constituyen amplias superficies cubiertas por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación de los ríos Rímac y Chillón y por arenas provenientes del acarreo eólico desde las playas, por vientos que corren con direcciones SO a NE.

El cono aluvial del río Chillón constituye una planicie donde se asienta parte del Distrito de Los Olivos, lo que fue una depresión ahora rellena por cantos rodados, gravas, arenas y arcillas formando un potente apilamiento cuyo grosor completo se desconoce.

El área en estudio se ha emplazado en la Planicie Costanera, que representa una las principales unidades geo estructurales que se distribuyen en el territorio peruano.

Esta unidad se extiende en la región geográfica denominada Costa, se caracteriza por cubrir una amplia planicie y están recortadas por el río Chillón y al Este está representada por el flanco occidental de la Cordillera de los Andes.

El área se encuentra en una zona de lento levantamiento terrestre que ha logrado configurar distintos relieves por la acción de las aguas superficiales, la acción marina y la acción eólica.

3.2. Litología Regional

Las rocas volcánica – sedimentarias, representadas por el Grupo Puente Piedra, se emplazaron durante el Jurásico superior y el Cretácico inferior, conformado por las formaciones geológicas Volcánicos Santa Rosa y Puente Inga.



Regionalmente hacia el Este, se emplazan los cuerpos más básicos y occidentales del batolito, habiéndose tenido como manifestaciones precursores la ascensión de magmas, de similar composición, que llegan hasta cerca de la superficie como cuerpos sub volcánicos intrusivos. El batolito costanero continuó su emplazamiento a manera de pulsaciones, conformando un complejo de plutones individuales cuya acidez se hace más acentuada.

A fines del Terciario y comienzos de Cuaternario, se inicia un proceso erosivo intenso el mismo que se prolonga hasta la actualidad, profundizando valles, denudando y acarreado materiales hacia las llanuras costeras formando abanicos aluviales. Durante el Cuaternario antiguo, parece que las lluvias fueron intensas que ocasionó un acarreo fuerte con el consiguiente relleno de los conos aluviales en las quebradas laterales.

3.3. Aspectos Geo Estructurales Regionales

3.3.1. Sistemas de Fallas

En la región, los diferentes sistemas de fallas que se distribuyen en el continente, se han formado como un efecto secundario de la colisión de la placa oceánica y la placa continental. La evolución geológica de la región está vinculada a los diferentes episodios que se produjeron durante el emplazamiento de la Cordillera de los Andes. Estos procesos generaron la presencia de plegamientos, fracturas y fallamientos en la corteza terrestre.

Sistemas de fallas se localizan entre los límites de la Cordillera Occidental y la zona costera como la falla normal Falla Mostejato en Cañete, etc.

3.4. Marco Geológico Local

3.4.1. Sistemas de Fallas

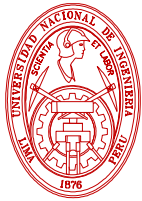
El área de estudio se destaca relieves que representan diferentes terrenos planos a plano ondulado, formando mayormente depósitos aluviales, que refleja modificaciones del relieve debido a la acción de las aguas superficiales (río Chillón), y en menor ocurrencia la acción marina, la gravedad y últimamente la actividad antropogénica.

En el distrito, se observa que el relieve presenta geo formas, tales como planicie aluvial, cerros testigo, cauce de río.

3.5. Lito Estratigrafía Local

3.5.1. Roca de Basamento

Las elevaciones que rodean el distrito de Los Olivos, al norte, está configurados en roca volcánica - sedimentaria y sedimentaria. Los afloramientos rocosos tienen una tonalidad clara, y está constituida por roca volcánica lávica de color gris verdosa y gris, textura afanítica y



porfirítica de composición andesítica intercalada con areniscas y limolitas pizarrosas; la roca sedimentaria está constituida por horizontes lenticulares de lutitas tobáceas, blandas muy fosilizadas. Los afloramientos cercanos, el fracturamiento de las rocas facilita la separación en pequeños bloques líticos. Las rocas reflejan condiciones inestables por el avance del proceso de meteorización física y química.

3.5.2. Material de Cobertura

Consiste en materiales inconsolidados acarreados y acumulados por las aguas fluviales, y por actividad antropogénica. La disposición y correlación con depósitos, que se extienden en los otros distritos, son similares.

3.6. Aspectos Geo Estructurales Locales

En el distrito de Los Olivos, no se aprecia manifestaciones geo estructurales, en las áreas de superficie plana, por estar en una llanura cuaternaria. En los cerros del distrito, se aprecian fracturamientos, plegamientos y fallamientos, debido que fueron afectados por la tectónica andina.

No se ha registrado en los antecedentes históricos y en el campo las deformaciones neo tectónicas en los depósitos cuaternarios.

3.7. Peligros Geológicos

Se denomina a aquellos elementos del medio ambiente físico, o del entorno físico, perjudicial al hombre y causado por fuerzas ajenas a él (Burton 1978).

Más específicamente en el componente geológico del presente estudio, los peligros naturales son utilizados en referencia a los peligros geológicos, geológico-geotécnico, geológico-climáticos que, por razón del lugar en que ocurren, su severidad y frecuencia, pueden afectar de manera adversa a los seres humanos y a sus actividades.

Es importante entender que la intervención humana puede aumentar la frecuencia y severidad de los peligros naturales. También, puede generar peligros naturales donde no existían antes. Además, las medidas de control pueden causar o agravar los efectos destructivos de los fenómenos naturales, también pueden reducirlos o eliminarlos (OEA, 1993).

3.7.1. Peligros Geológicos

En el estudio, están considerados los elementos que se deben a las fuerzas naturales internas y los que se pueden generar a partir de estos, como: sismos, deslizamiento, desprendimientos, etc.



Sobre los sismos. Son los sacudimientos superficiales de la superficie terrestre originada por la ruptura cortical, la colisión de placas litosféricas entre otras. Sustentado en el marco geotectónico, la historia sísmica, las zonas sismo génicas, la distribución espacial de los sismos, se ha concluido que la sismicidad del área de estudio es catalogado como Alta Sismicidad. La severidad de los movimientos sísmicos en Los Olivos, dependerá de la calidad del basamento rocoso y del suelo. Es decir, en las condiciones del material que están enmarcadas por las discontinuidades que atraviesan las rocas como las fracturas, en el tipo de suelos como los arenosos, y en la elevación de la napa freática.

Sobre los deslizamientos. Consiste en el desplazamiento rápido hacia abajo de una masa de materiales de roca o sedimentos por la pérdida de estabilidad debido a la sobrecarga de los materiales y favorecida por la forma de la ladera. Este proceso también es de baja magnitud, se localiza en las laderas abruptas.

3.7.2. Peligros Geológico-geotécnicos

En el presente estudio, están considerados los elementos naturales perjudiciales al medio físico que se activan por las fuerzas naturales internas y la naturaleza física de los materiales terrestres como: asentamiento del suelo y la salinización.

Sobre el asentamiento de suelo. El suelo representa la capa superficial que recubre el basamento rocoso, y que puede adquirir las condiciones inestables por la elevación del agua subterránea y el tipo de relleno. No se ha reportado en este distrito este tipo de peligros.

Sobre la elevación de agua subterránea. En esta situación, el suelo altera sus condiciones estables que tiende a manifestarse en un asentamiento de suelo, la modificación se refleja por las cargas externas debido al emplazamiento de infraestructura habitacional (en general de una mala calidad), y por el deterioro de la infraestructura de saneamiento básico (agua y desagüe), además por la circulación de vehículos. No se ha reportado en este distrito este tipo de peligros.

Sobre el tipo de relleno. Representa los depósitos antropogénicos y que tiende alcanzar mayor espacio. Las condiciones físicas inestables asociados a estos depósitos, resultan por la naturaleza y el acomodo de los materiales que pueden incrementarse por elementos naturales externos (sismos) y el emplazamiento de alguna infraestructura física. No se ha reportado en este distrito este tipo de peligros.

3.7.3. Peligros Geológico-climatológicos

En el presente estudio, comprenden los elementos naturales perjudiciales al medio físico que se generan por la acción extraordinaria de las condiciones climáticas como las precipitaciones pluviales y las aguas superficiales. Estos peligros están representados por: inundación fluvial,



inundación por precipitaciones extraordinarias, erosión de suelo, erosión de ribera y los flujos de lodo y agua.

Sobre la inundación fluvial. Este proceso implica la extensión de las aguas del río Chillón hacia sectores que corresponden a la llanura de inundación que se desarrolla en la parte baja de ambos márgenes del río. Según las evidencias de campo y los datos hidrológicos, y los comentarios de los pobladores, el río Chillón se desbordó en el límite nor oeste del distrito, afectando terrenos aledaños, estos mayormente del distrito de San Martín.

Sobre la inundación por precipitaciones extraordinarias. Comprende la acumulación y el lento escurrimiento de aguas de precipitación pluvial extraordinaria en una superficie que mantiene una escasa inclinación como la planicie aluvial. Por el reconocimiento de campo, datos hidrológicos, la ocurrencia de precipitaciones extraordinarias, pueden afectar el distrito debido a que se encuentra en la margen izquierda del río Chillón aledaño a áreas de topografía llana.

Sobre la inundación por mal drenaje. Comprende la acumulación de agua en un terreno de escasa pendiente y con un deficiente drenaje superficial y subterráneo. Se debe tener en cuenta, que a veces se emplea las márgenes del río, como echadero de desmonte o basura; esto puede producir desbordes de las aguas del río originando inundaciones.

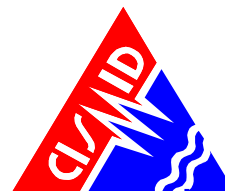
Sobre la erosión de ribera. Consiste en la permanente acción lateral de las aguas superficiales sobre las zonas que limitan el talveg del río, con el consecuente debilitamiento de las paredes y la ampliación de la zona de escurrimiento de dichas aguas. El río Chillón realiza su acción erosiva mediante la erosión de ambos márgenes, aunque ahora se tiene algo de control, habiendo realizado obras de mitigación de la erosión.

3.8. Mapa de Peligros Geológicos

Los peligros geológicos en el distrito de Los Olivos, se han determinado a base a las características geomorfológicas, litológicas, geodinámicas y geotécnicas. Se ha elaborado un mapa de peligros geológicos (Mapa A-3, Apéndice A), donde se representa en zonas las diferentes intensidades de los peligros, asimismo la extensión y el porcentaje de área que ocupan.

3.8.1. Peligro Alto

Se ubica en la parte noroeste del distrito, en la margen izquierda del río Chillón. Existe la posibilidad de desborde del río, como ya ha ocurrido años atrás. Actualmente se observan trabajos de encausamiento y defensas ribereñas, pero existe la posibilidad que por anomalías climáticas el río puede aumentar notablemente su caudal y desbordarse.



El área que puede ser afectada no es grande, ocurriendo posiblemente en un 0.67 % del área del distrito

3.8.2. Peligro Medio

El peligro medio, también está relacionado a un posible desborde del río Chillón. Se produciría en la margen izquierda del río, en la parte noreste del distrito.

Aunque se observa que se han hecho trabajos de defensa ribereña del río, este se puede desbordar por incremento anómalo del caudal del río debido a lluvias excepcionales, o debido a actividades antropogénicas, como acumulación de desmonte a las riberas del río, como está ocurriendo más al este en el distrito de Carabaylo.

Al sur del distrito existen cerros que sus laderas están siendo ocupadas por construcciones de viviendas, aunque las rocas sedimentarias, tiene condiciones geotécnicas apropiadas para cimentar viviendas, el problema es que estas no se han construido con dirección técnica, pudiendo ser afectadas por actividad sísmica.

El área que puede ser afectada representa el 9.12 % del total del distrito de Los Olivos.

3.8.3. Peligro Bajo

El distrito está constituido por terrenos planos, con algunos cerros de poca altura, en varios de ellos se encuentran ruinas arqueológicas (huacas), de edad pre inca.

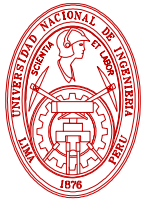
Los terrenos planos están actualmente urbanizados, estos terrenos, no presentan mayores peligros geológicos, como inundaciones, deslizamientos, huaycos u otros que puedan afectarlos. Por ello, se les considera de peligro geológico bajo, ocupan el 86.76 % del distrito.

4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

4.1. Metodología

El análisis de peligro sísmico probabilístico consiste en la evaluación de la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo, tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli Modificada u otro parámetro de interés para el diseño ingenieril.

La predicción de eventos futuros puede ser realizada por medio de modelos estadísticos, en base a datos pasados. Actualmente el modelo más usado es el de Poisson. Este asume que



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



los eventos sísmicos son espacial y temporalmente independientes y que la probabilidad de que dos eventos sísmicos ocurran en el mismo sitio y en el mismo instante es cero. Estas suposiciones, por lo general, no se ajustan a la ocurrencia de eventos de baja magnitud, sin embargo representan adecuadamente la ocurrencia de los movimientos grandes, que son los de mayor interés para fines ingenieriles. Por esta razón, el modelo de Poisson es ampliamente utilizado para evaluar el peligro sísmico probabilísticamente.

Es fundamental para el análisis definir fuentes sismogénicas y leyes de atenuación.

Las fuentes sismogénicas utilizadas fueron las que presentó Gamarra (2009). Él basó la determinación de las fuentes en mapas de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas del área de influencia. La actividad sísmica en el Perú es el resultado de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana, así como del proceso de reajustes tectónicos del aparato andino. Esto permite agrupar a las fuentes en continentales y de subducción. Las fuentes de subducción modelan la interacción de las Placas Sudamericana y de Nazca. Las fuentes continentales o corticales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina. Luego de definir la geometría de las fuentes es necesario evaluar los parámetros de sismicidad local. Para esto, dividió el catálogo sísmico en función al número de fuentes, determinándose de esta manera los eventos delimitados en cada fuente. Dado que el proceso de Poisson postula la utilización de datos mutuamente independientes, procedió a eliminar los eventos sísmicos catalogados como réplicas. Para ello se empleó la metodología propuesta en el proyecto piloto “Global Seismic Hazard Assessment Project” (GSHAP), basado en la relación de Maeda (1996).

Se utilizaron las fuentes de subducción F3, F4 y F5, asumiendo que estas fuentes presentan mecanismos focales del tipo compresivo, o de falla inversa, los cuales corresponden a sismos de subducción de interfase. Así mismo, se utilizó las fuentes de subducción de intraplaca superficial F8, F9 y F10, e intraplaca intermedia, F12, F13 y F14, asumiendo que estas fuentes presentan mecanismos focales del tipo tensional, o de falla normal. Por su parte, para las fuentes continentales fueron consideradas para el análisis, las fuentes F15, F16, F17, F18, F19 y F20.

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber que intensidad se presentará en el lugar de interés, si en la i -ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada. Para esto se utilizan las leyes de atenuación.

Las leyes de atenuación pueden adoptar muy diversas formas y para estimar el peligro sísmico se utilizaron los modelos de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Young et al (1997) y CISMID (Chávez, 2006), que diferencian los mecanismos focales para sismos de



subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo. Así mismo, se ha utilizado el modelo de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Sadigh et al (1997) para sismos continentales.

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, el peligro sísmico puede calcularse considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas analizadas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se proyectará la estructura.

El peligro sísmico del área del proyecto se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica y así como el programa de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos.

El peligro expresado en términos de las tasas de excedencia de intensidades S_a , se calcula mediante la siguiente expresión (Esteva, 1970):

$$v(S_a/R_0, p) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} Pr(A > sa/M, R_0) dM \quad (10)$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N , y $Pr(A > sa/M, R)$, es la probabilidad que la intensidad exceda cierto valor, dadas la magnitud del sismo M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio R . Las funciones $\lambda(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas, la cual fue descrita anteriormente. La integral se realiza desde M_0 hasta M_u , lo cual indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

Las fuentes sismogénicas de subducción y continentales se presentan en los Mapas B-1 y B-2 y sus coordenadas geográficas se indican en las Tablas 1 y 2.

4.2. Peligro Sísmico Probabilístico

Para la evaluación del peligro sísmico probabilístico en el distrito de Los Olivos, se ha considerado las coordenadas geográficas presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas Geográficas para evaluación de Peligro Sísmico.

Zona de Estudio	Coordenadas	
	Longitud (W)	Latitud (S)
Distrito de Los Olivos	-77.07	-11.97



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

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



Las Tablas 2, 3, 4 y 5 muestran los resultados obtenidos con el programa CRISIS 2007 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en el punto de análisis considerando los modelos de atenuación de Youngs et al, 1997 para roca y suelo y CISMID (Chávez, 2006) para suelo. En los valores presentados en la Tablas 2 y 3 están incluidos los resultados del modelo de atenuación de Sadigh et al (1997). Estos valores se han estimado para los diferentes modelos de atenuación utilizados y para los períodos de retorno de 475, 950 y 2500 años, considerando 50 años de periodo de exposición sísmica.

Tabla 2. Aceleraciones espectrales en roca para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en gal.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima de Diferentes Modelos de Atenuación para un Periodo de Retorno de							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. (1997) (P.50)	-77.07	-11.97	132.48	159.34	204.69	257.85	323.80	399.46	405.18	506.35

Tabla 3. Aceleraciones espectrales en roca para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en g.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima de Diferentes Modelos de Atenuación para un Periodo de Retorno de							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. (1997) (P.50)	-77.07	-11.97	0.14	0.16	0.21	0.26	0.33	0.41	0.41	0.52

La Norma de Diseño Sismorresistente E.030 define el coeficiente sísmico de diseño a aquel obtenido con un 10% de probabilidad de excedencia y un periodo de exposición sísmica de 50 años, el cual corresponde a un evento sísmico de 475 años de periodo de retorno.

Tabla 4. Aceleraciones espectrales en suelo para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en gal.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Periodo de Retorno de							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. (1997) (P.50)	-77.07	-11.97	211.10	258.35	326.70	412.91	527.02	632.62	641.26	815.88
CISMID 2006 (P.50)	-77.07	-11.97	153.54	193.89	256.52	334.27	444.74	553.03	560.52	715.69



Lo anterior significa que en la zona del proyecto, de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs et al. (1997), la aceleración horizontal máxima promedio del sismo de diseño considerando un suelo del Tipo B (roca), con velocidades de ondas de corte V_s entre 760 m/s a 1500 m/s, de acuerdo al IBC (ICC, 2006), es de 0.33 g para la zona de estudio, considerando la media (P.50) del modelo de atenuación.

Así mismo, la Tabla 4 y 5 muestran las máximas aceleraciones horizontales esperadas en la base de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs et al (1997) y CISMID.

Tabla 5. Aceleraciones espectrales en suelo para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno dadas en g.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Periodo de Retorno de							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. (1997) (P.50)	-77.07	-11.97	0.22	0.26	0.33	0.42	0.54	0.64	0.65	0.83
CISMID 2006 (P.50)	-77.07	-11.97	0.16	0.20	0.26	0.34	0.45	0.56	0.57	0.73

5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO

5.1. Metodología

Para la caracterización geotécnica de los suelos del área de estudio se consideraron 3 aspectos. Estos son, el tipo de suelo según su clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el grado de compacidad del suelo y las condiciones particulares del lugar. Se realizaron calicatas, ensayos DPL y ensayos de laboratorio.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del área de estudio lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizada por el CISMID, en el año 2005. De este estudio, se recopilaron 36 calicatas y 44 sondajes de pozos de agua subterránea. También, se ha recopilado información del denominado “Estudio con fines de cimentación del proyecto viviendas multifamiliares - Los Olivos” realizado por la empresa privada Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L., en el año 2013. De este estudio, se recopiló 1 calicata y 2 sondajes de penetración estándar (SPT).

En total, se recopilaron 37 calicatas, 44 sondajes de pozos de agua subterránea y 2 sondajes de penetración estándar (SPT) que en su conjunto suman 83 puntos de exploración geotécnica recopilados.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Por otro lado, las calicatas son excavaciones de formas diversas que permiten una observación directa del terreno, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ que no requieran confinamiento (SENCICO, 2006b). Para el presente estudio las calicatas ejecutadas se realizaron con personal obrero, la finalidad de estas excavaciones fue evaluar las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación. En las diecinueve (19) calicatas realizadas, se procedió a la caracterización de las muestras de los diferentes tipos de suelos, siguiendo la norma ASTM D420, la cual proporciona métodos para investigación y muestreo de suelos y rocas con base en procedimientos normados, mediante los cuales pueden determinarse las condiciones de distribución del suelo, la roca y el nivel freático.

Así mismo, se realizó la clasificación visual del material encontrado en campo de acuerdo a los procedimientos indicados en la norma ASTM D2488, la cual describe un procedimiento para la identificación y la descripción de suelos con propósitos ingenieriles, basado en el examen visual y pruebas manuales simples.

El ensayo DPL permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración indicando de algún modo el grado de compacidad del suelo. Estos sondajes han sido realizados mediante el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60°, utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso que cae libremente desde una altura de 50 cm según expone la norma DIN 4094-90, la cual además señala que para determinar las condiciones de cimentación en base a Auscultaciones Dinámicas, debe conocerse previamente la estratigrafía del terreno obtenida en base a la ejecución de calicatas, trincheras o perforaciones. Su uso se recomienda hasta 5 metros de profundidad pero en ningún caso se debe superar los 8 metros. (SENCICO, 2006b).

Los ensayos DPL se programaron con la finalidad de conocer la profundidad del estrato rígido por debajo del fondo de las calicatas en los puntos en donde se observó la presencia de arena o material fino. Se realizaron un total de dos (2) ensayos DPL hasta una profundidad máxima de 0.90 metros por debajo del fondo de la calicata.

Con las muestras obtenidas en las calicatas se realizaron ensayos estándares y especiales de mecánica de suelos en las instalaciones del Laboratorio Geotécnico del CISMID. Los ensayos estándares fueron llevados a cabo en muestras alteradas, extraídas en la exploración de campo, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Los ensayos estándar de mecánica de suelos realizados fueron los siguientes:

- Análisis granulométrico: realizado según la norma ASTM D 421 – D 422
- Límite líquido y plástico: realizado según la norma ASTM D 4318
- Contenido de humedad: realizado según la norma ASTM D 2216

Del mismo modo, los ensayos especiales realizados fueron los siguientes:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



- Corte Directo: realizado según la norma ASTM D 3080
- Triaxial consolidado no drenado: realizado según la norma ASTM D 2850
- Máxima y mínima densidad seca: realizado según la norma JSF – T 26

Con cinco muestras de suelo obtenidas en cinco zonas del área en estudio, se ejecutaron, en el laboratorio químico de la FIC-UNI, los siguientes ensayos de análisis químico:

- Contenido de Sulfatos: realizado según la norma ASTM E 275
- Contenido de Cloruros: realizado según la norma ASTM D 3370
- Sales Solubles Totales: realizado según la norma ASTM D 1888
- PH: realizado según la norma ASTM D 4792

5.2. Tipos de Materiales

El mapa C-2 y C-3 del Apéndice C muestra los tipos de materiales a 1.0 y 2.5 m de profundidad, respectivamente. Estos son producto de la exploración de campo, de la información recopilada y de los resultados de ensayos de mecánica de suelos siguiendo la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la clasificación visual del material encontrado en campo. Las características de cada uno de estos tipos de material se describen en los ítems siguientes.

5.2.1. Formación Rocosa

En base al informe de Apéndice A “Evaluación de Peligros Geológicos Naturales”, las formaciones rocosas identificadas en el área de estudio, son materiales conformados principalmente por unidades lito estratigráficas de la Formación Puente Inga y Volcánico Santa Rosa.

Se encuentran emplazados en un pequeño sector topográficamente elevado, ubicado próximo a la intersección de las avenidas Huandoy y Marañon; también se encuentran al sur del área de estudio una zona considerable frente a la avenida Angélica Gamarra. Son materiales que presentan diversos grados de fracturamiento y afectados por procesos físicos.

5.2.2. Gravas

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales y fluviales, de bordes sub-redondeados a redondeados y de humedad baja. Se encuentran emplazados, principalmente, en la superficie de las formaciones rocosas y en gran parte del área de estudio, a partir de 0.30 m de profundidad, y por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas.



5.2.3. Arenas

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales y fluviales. Subyaciendo a este material se registra la presencia de materiales gravosos con intercalaciones de arenas, limos y arcillas. Se encuentran emplazados en sectores específicos del área de estudio.

5.2.4. Limos y Arcillas

Son materiales finos superficiales. Subyaciendo a este material se encuentra la grava, se encuentran emplazados en una zona importante del área de estudio.

5.3. Microzonificación Geotécnica

El mapa C-4 del Apéndice C muestra 02 zonas clasificadas por las características geotécnicas que ofrecen para la cimentación de edificaciones convencionales considerando el tipo de suelo, su grado de compacidad y las condiciones particulares del lugar. Adicionalmente, para cada zona se incluyó la estimación de la capacidad de carga admisible que tendría la cimentación de una edificación convencional definida como cimientos corridos de 0.60 m de ancho y profundidad de cimentación mínima de 0.80 m. La descripción de estas zonas se presenta en los ítems siguientes.

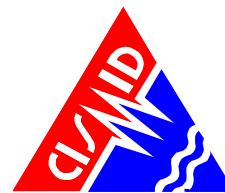
5.3.1. Zona I

Esta zona incluye a las gravas de compacidad media a densa y a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturación en caso estas se encuentren habitadas, estos materiales se registran en gran parte del área de estudio. También se incluye en esta zona a las arenas de compacidad densa y a los limos y arcillas de consistencia dura que se encuentran de manera focalizada en el área de estudio. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava, y mayor a 5.0 kg/cm² si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana. En el caso que se desplante sobre las arenas, limos o arcillas se recomienda considerar valores cercanos a los 2.0 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

5.3.2. Zona II

Esta zona se encuentra en mayor medida en el sector central del área de estudio e incluye predominantemente a las arenas de compacidad media y a los limos y arcillas de consistencia media, también se incluye en esta zona a algunas gravas que se encuentran de manera localizada en algunos sectores; y rodeadas por las arenas y los finos dentro de esta zona.



Por debajo de las arenas y los finos se encuentran las gravas. Los tipos de material descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre la arena, y entre 0.7 y 1.0 kg/cm² si se desplanta sobre los limos o arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO

6.1. Metodología

Para la caracterización dinámica del suelo se utilizaron 3 propiedades que están íntimamente ligadas con su respuesta dinámica. Estas son, el periodo de vibración del suelo y la velocidad de ondas de corte y de compresión de los diferentes estratos de suelo.

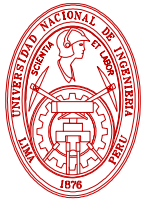
6.1.1. Periodo de Vibración del Suelo

El período de vibración del suelo es un parámetro dinámico que define el comportamiento sísmico de un determinado lugar. Estas vibraciones están conformadas básicamente por ondas superficiales Rayleigh y Love que están afectadas por la estructura geológica del sitio donde se miden (Bard, 1998).

Para calcular el periodo fundamental de vibración del suelo se utilizó el método del espectro H/V propuesto por Nakamura (1989), que realiza el cociente del espectro de Fourier de las componentes horizontales del registro de microtemores entre el espectro de Fourier de la componente vertical. El espectro H/V presenta en teoría, un máximo en el periodo fundamental del suelo. Generalmente, para este periodo la curva muestra un pico bien definido por valle-cresta-valle. Estos picos son más definidos en suelos formados por depósitos blandos, mientras son más anchos en suelos duros o intermedios, o compuestos de materiales heterogéneos (Ordaz y Veras, 2003).

En el presente estudio, se ha empleado la relación o cociente espectral H/V propuesta por Nakamura (1989) para estimar el periodo fundamental de vibración del suelo. Para el cálculo del espectro H/V se utilizó la Ec. (1) donde S_{NS} , S_{EW} y S_V son los espectros de Fourier de las componentes NS, EW y vertical, respectivamente.

$$H/V = \frac{\sqrt{S_{NS}^2 + S_{EW}^2}}{S_V} \quad (1)$$



Se midieron 42 puntos de microtemores distribuidos en toda el área del distrito de Los Olivos y algunos en los distritos aledaños, formando una malla de 1 a 1.5 km de separación entre puntos. Además, se han recopilado 22 microtemores realizados por el CISMID (2005). Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

6.1.2. Perfil de Velocidades de Ondas de Corte

Para el cálculo de las velocidades de ondas de corte se utilizaron dos tipos de ensayos. Estos son el ensayo MASW y los arreglos de microtemores.

El ensayo MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea. En este método, la interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que son estas ondas las que predominan en el grupo de ondas, conservando alrededor del 70% de la energía del tren de ondas. Además, la velocidad de fase de estas ondas tiene un valor que varía entre el 90% al 95% del valor de V_s .

Se ejecutaron 19 ensayos geofísicos MASW. Además, se han recopilado 4 ensayos MASW realizados por la empresa ZER Geosystem Perú S.A.C. en diciembre 2012 y 2 ensayos de MASW realizados por la empresa Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L. en noviembre 2013. Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

Sobre los arreglos de microtemores, el principio de la medición de estos radica en el hecho de que éstos consisten predominantemente de ondas Rayleigh, y que el análisis espectral de estas ondas puede reproducir sus características dispersivas, las cuales reflejan el perfil de velocidades de ondas de corte del sitio en estudio (Tokimatsu et al., 1992a; 1992b). Se utilizaron 4 métodos para el procesamiento de los arreglos. Estos fueron el método F-k, nc-CCA, CCA y SPAC.

EL método F-k fue desarrollado por Capon (1969), y es una técnica simple para la extracción de las velocidades de propagación en un rango de frecuencias determinado para un registro de microtemores (Asten, M. y Henstridge, J., 1984). Capon (1969) sugirió el uso de los



espectros cruzados entre cada par de sensores como un factor útil para el cómputo del espectro de poder F-K.

El método CCA, cuya sigla significa arreglo circular sin centro, fue propuesto por Cho et al. en el año 2004, y es una extensión del análisis SPAC. Este método basa su teoría en la correlación entre los registros verticales de los sensores que componen el arreglo. Por otro lado, el método nc-CCA (donde nc significa compensación del ruido) es un método para corregir las subestimaciones de las velocidades de fase debido al ruido que podrían ocurrir cuando se aplica el análisis CCA (Tada et al 2007; 2010).

El método SPAC (Método de Auto-correlación Espacial) fue propuesto por Aki (1957) teniendo en cuenta la teoría de microtemores que se basa en el registro de ondas superficiales y asumiendo que son estacionarios en el espacio y tiempo. Se considera un arreglo circular de microtemores que registra ondas Rayleigh generadas por el ruido ambiental, para posteriormente extraer la onda superficial en forma de dispersión, con lo que tendríamos la velocidad de fase en función de la frecuencia.

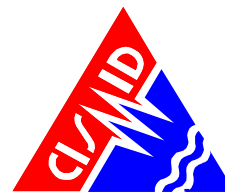
Luego de calculada la curva de dispersión mediante algún método y a partir de esta, mediante un procedimiento de cálculo inverso iterativo (método de inversión) se obtiene el perfil del terreno en función de Vs para cada punto de estudio.

Se llevaron a cabo 03 mediciones de arreglos de microtemores. Estas mediciones tuvieron un radio máximo de 45 m para arreglos circulares y una separación mínima de 0.5 m entre sensores para arreglos lineales. Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

6.1.3. Perfil de Velocidades de Ondas de Compresión

Para la determinación de perfiles de velocidades de ondas de compresión se hace uso del ensayo de refracción sísmica que aprovecha el cambio de las características mecánicas y dinámicas en medios estratificados como el suelo. El contraste en los valores de densidad es un ejemplo de este cambio. Este método consiste en la interpretación del tiempo de llegada de las ondas sísmicas de un registro en un arreglo multicanales generados por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de una línea sobre la superficie del terreno.

La energía generada viaja directamente a través de la capa de suelo más superficial o por las capas de suelo más profundas antes de regresar a la superficie debido a la refracción. Así, las ondas son registradas por los sensores o geófonos igualmente espaciados a cierta distancia establecida. Después de cierta longitud desde el punto de la generación de energía, la onda refractada es observada como la primera onda en arribar. La refracción sísmica usa



el proceso de refracción crítica para inferir profundidades de fronteras entre capas de suelo y velocidades de estas (Anomohanran, 2013).

Se han realizado 19 ensayos de Refracción Sísmica. Además, se han recopilado 4 ensayos de Refracción Sísmica realizado por la empresa ZER Geosystem Perú S.A.C. en diciembre 2012. Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos

El mapa D-3 del Apéndice D muestra 03 zonas definidas por diferentes intervalos de períodos clasificadas de acuerdo a sus características dinámicas de vibración y relacionadas con las velocidades de ondas de corte encontradas. La descripción de estas zonas se presenta en los ítems siguientes.

6.2.1. Zona I

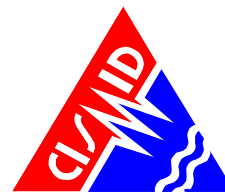
La zona I comprende el área con períodos de vibración menores a 0.20 s. Esta zona es la de mayor extensión y se encuentra en gran parte de la zona norte y sur-oeste del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido. Según los perfiles obtenidos con el ensayo MASW a la máxima profundidad explorada de 30.0 m se encuentra velocidades de ondas de corte desde 640 m/s hasta 1140 m/s, representando estratos rígidos de material granular denso a estratos muy rígidos de roca alterada.

6.2.2. Zona II

La zona II comprende el área con períodos de vibración de 0.20 s a 0.30 s. Esta zona se encuentra en una parte del norte y centro del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido. Según los perfiles obtenidos con el ensayo MASW a la máxima profundidad explorada de 30.0 m se encuentra velocidades de ondas de corte desde 600 m/s hasta 670 m/s, representando estratos de material granular denso con aumento en la rigidez para mayores profundidades. Según los perfiles obtenidos con los arreglos de microtemores se puede concluir que existe una capa de suelo blando a suelo medianamente denso de espesor menor a 6.0 m por debajo del cual el suelo aumenta su rigidez alcanzando la roca alterada a una profundidad de 45.0 m hasta la máxima profundidad explorada de 70.0 m.

6.2.3. Zona III

La zona III comprende el área con períodos de vibración de 0.30 s a 0.50 s. Esta zona se encuentra en una parte del norte y sur-este del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible. Según los perfiles obtenidos con el ensayo MASW a la máxima profundidad explorada de 30.0 m se encuentran velocidades de ondas de corte de 610 m/s, representando estratos de material granular denso.



Según los perfiles obtenidos con los arreglos de microtemores se puede concluir que existe un material granular denso hasta los 55.0 m de profundidad, por debajo del cual el suelo va aumentando su rigidez hasta encontrarse un estrato de suelo rígido llegando a la roca poco fracturada a roca sana.

7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

La norma E0.30 de Diseño Sismo Resistente (SENCICO, 2006a) define la microzonificación sísmica como un estudio multidisciplinario, que investiga los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuefacción de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. El estudio suministra información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales.

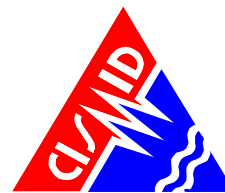
Es importante mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún proyecto específico en algún punto particular del área de estudio. Adicionalmente, estos resultados no reemplazan a los estudios exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismo Resistente y la Norma Técnica E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de obligatorio cumplimiento.

Para el presente estudio se consideraron diferentes disciplinas en mapas que muestran diferentes resultados. El resultado de la evaluación de los peligros geológicos es mostrado en el mapa Peligros Geológicos (ver mapa A-3, Apéndice A). Las características geotécnicas son mostradas en el mapa de Microzonificación Geotécnica (ver mapa C-4, Apéndice C). Por otro lado, las características dinámicas son mostradas en el mapa de Zonas de Isoperiodos (ver mapa D-3, Apéndice D). Los resultados de estos mapas, relacionados con la definición de microzonificación sísmica, son superpuestos para la elaboración de la Microzonificación Sísmica (ver mapa I-2).

La Microzonificación Sísmica divide al área de estudio en 02 zonas. La descripción de cada una de estas zonas se presenta en los ítems siguientes.

7.1. Zona I

Esta zona incluye a las gravas de compacidad media a densa y a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturación en caso estas se encuentren habitadas, el primer material se registra en gran parte del área de estudio. También se incluye en esta zona a las arenas de compacidad densa y a los limos y arcillas de consistencia dura que se encuentran de manera focalizada en el área de estudio.



La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava, y mayor a 5.0 kg/cm² si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana. En el caso que se desplante sobre las arenas, limos o arcillas se recomienda considerar valores cercanos a los 2.0 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

En esta zona se encuentran períodos de vibración menores a 0.30 s.

7.2. Zona II

Dentro de esta zona se encuentran predominantemente arenas de compacidad media y los limos y arcillas de consistencia media. Además, se incluye áreas puntuales con presencia de gravas, rodeadas por arena, limos y arcillas. Por debajo de las arenas y los finos se encuentran las gravas.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre la arena, y entre 0.7 y 1.0 kg/cm², si se desplanta sobre los limos o las arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos. Los tipos de material descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales.

En esta zona se encuentran períodos menores a 0.50 s.

Adicionalmente, dentro de esta zona se incluye aquellas áreas definidas con peligro geológico medio. Estas corresponden a laderas de cerros y cerros de baja altura donde es posible el desprendimiento de bloques de roca condicionado a eventos sísmicos y actividades antropogénicas.

8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativa estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico que corresponde para un suelo "Tipo C" (ICC, 2006) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 444.74 cm/s²; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostradas en el mapa de Microzonificación Sísmica I-2 se obtienen



multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 por la aceleración máxima PGA de 444.74 cm/s² de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima (cm/s ²)
I	1.0	444.74
II	1.2	533.69

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el Mapa I-3.

9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Es necesario determinar los valores de velocidad máxima del suelo que pueden presentarse en la zona de estudio con la finalidad de estimar el riesgo al que se encuentra expuesto el sistema de tuberías de la red de saneamiento.

Para la elaboración del mapa de velocidades máximas se utiliza la relación matemática presentada en el artículo técnico titulado “**Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis de peligro sísmico**” (Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar Arredondo, 2009), publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pag. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS). La relación es la siguiente:

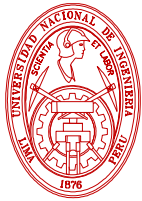
$$\ln V_{max} = -1.8349 + 1.1146 \ln A_{max} + 0.4043 \ln T_s \quad (1)$$

donde la velocidad máxima esperada del suelo, V_{max} , se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo, A_{max} , y del periodo de oscilación del suelo, T_s , para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito de Los Olivos, se deberá utilizar como datos de entrada la aceleración máxima del suelo y el periodo de oscilación del suelo estimados anteriormente y representados en el Mapa I-3 del presente informe y el Mapa D-3 del Apéndice D. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Los Olivos se muestran en el Mapa I-4.



REFERENCIAS

- Aki, K., 1957, "Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors", Bulletin Earthquake Research Institute Tokyo University, 25, 415-457.
- Anomohanran, O., 2013, "Seismic refraction method: A technique for determining the thickness of stratified substratum", American Journal of Applied Sciences, 10, 857-862.
- Asten, M.W., Henstridge, J.D., 1984, "Array Estimators and the use of Microseisms for Sedimentary Basin Reconnaissance", Geophysics, 49, 1828-183.
- Bard, P., 1998, "Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation? The effects of Surface Geology on Seismic Motion", pp. 1251-1279.
- Capon, J., 1969, "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis", Proc. IEEE, v. 57, pp. 1408-1418.
- Chávez J. (2006), "Leyes de Atenuación para Aceleraciones Espectrales en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- Cho, I., Tada, T. y Shinozaki, Y., 2004, "A new method to determine phase velocities of Rayleigh waves from microseisms", Geophysics Vol. 69, pp.1535-1551.
- Ordaz, M., Aguilar A., Arboleda J, 1999, "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Esteva, L., 1970, "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", Publicación N 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nakamura, Y., 1989, "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface", Quarterly Report Railway Technical Research Institute., 30, 25-33.
- International Code Council - ICC, "International Building Code", USA, 2006.
- Ordaz, M. y Veras F., 2003, "Criterios generales para la definición de espectros sísmicos de sitio".
- Sadigh K., Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R.R., 1997, "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February.
- SENCICO, 2006a, "Norma E.030, Diseño Sismo Resistente", Lima, Perú.
- SENCICO, 2006b, "Norma E.050, Suelos y Cimentaciones", Lima, Perú.
- Tada, T., Cho, I., Shinozaki, Y., 2007, Beyond the SPAC Method: Exploiting the Wealth of Circular-Array Methods for Microtremor Exploration, Bulletin of the Seismological Society of America, 97, 2080-2095.
- Tada, T., Cho, I., Shinozaki, Y., 2010, "Analysis of Love-wave components in microtremors", Joint Conference Proceedings, 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUUE) & 5th International Conference on Earthquake Engineering (5ICEE), Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, 115-124.



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

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



- Tokimatsu, K., Miyadera, Y., Kuwayama, S., 1992a, "Determination of Shear Wave Velocity Structures from Spectrum Analyses of Short-Period Microtremors", Proc., 10th World Conference on Earthquake Engineering, 1, 253-258.
- Tokimatsu, K., Shinzawa, K., Kuwayama, S., 1992b, "Use of short-period microtremors for Vs profiling", J. Geotechnical Eng., 118 (10), 1544-1558.
- Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R., 1997, "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 – 73, USA.

EDITOR	DESCRIPCIÓN	FECHA 1	PARA	MOTIVO	FECHA 2
Armando	Creación de archivo	052014			
Armando	Ediciones diversas	15062014	Ing. Silvia	Edición Mapa de Aceleraciones y Velocidades	17062014
Ing. Silvia	Edición de resumen, microz. Sísmica, aceleración	17062014	Armando	Revisión de intervalos de períodos de vibración	17062014
Armando	Se modificó intervalo de periodos. Se quitó descripción de Vs en zonas. Archivo cambió de nombre a Informe_Los_Olivos_final. Se agregó referencia de zona arqueológica	17062014	Impresión		
Armando	En base a observaciones del Dr. Zenón se modificó Objetivo, Ubicación y Micro Geotec	20062014	Impresión		
Armando	En base a observaciones del Ing. Lazares se modificó Resumen, Introducción y Microzonificación Sísmica.	24062014	Ing. Lázares	Revisión final	24062012