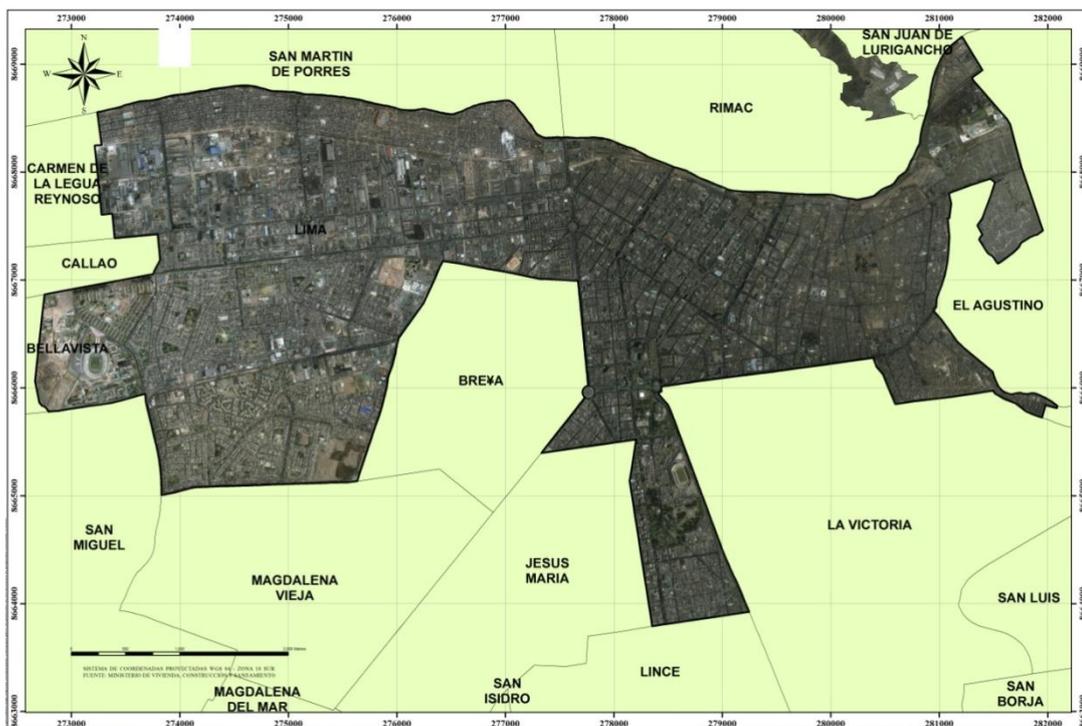




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



Í ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA, MAPAS DE PELIGROS MÚLTIPLES Y ANÁLISIS DE RIESGO DE LOS DISTRITOS DE CERCADO DE LIMA, VENTANILLA Y DE LAS CIUDADES DE CHINCHA Y CONTUMAZÁÏ



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGROS MÚLTIPLES DEL DISTRITO DEL CERCADO DE LIMA

LIMA Ë Setiembre, 2012



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	3
1.2.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
II.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	3
2.1.	SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
2.2.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	5
III.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO	6
3.1.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE SUELO.....	6
3.2.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS ÁREAS RIBEREÑAS DEL RÍO RÍMAC	8
3.3.	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.	11
IV.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS.....	14
4.1.	MAPA DE ZONAS DE ISOPERÍODO.	14
4.2.	AMPLIFICACIÓN SÍSMICA.	15
V.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	16
VI.	MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	18
VII.	MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	18
VIII.	MAPA DE PELIGROS DE ORIGEN NATURAL – EROSIÓN FLUVIAL EN LAS RIBERAS DEL RÍO RÍMAC	19
IX.	REFERENCIAS	21



LISTA DE APENDICES

- APÉNDICE A** : Evaluación del Peligro Sísmico en el distrito del Cercado de Lima.
- APÉNDICE B** : Características Geotécnicas del Suelo en el distrito del Cercado de Lima.
- APÉNDICE C** : Caracterización Dinámica del Suelo en el distrito del Cercado de Lima.
- APÉNDICE D** : Evaluación de Peligros de Origen Natural en el distrito del Cercado de Lima.

LISTA DE MAPAS

- I-01** : Plano Base del distrito del Cercado de Lima
- I-02** : Mapa de Microzonificación Sísmica del distrito del Cercado de Lima
- I-03** : Mapa de Aceleraciones Máximas Esperadas del Suelo del distrito del Cercado de Lima
- I-04** : Mapa de Velocidades Máximas del Esperadas Suelo del distrito del Cercado de Lima
- I-05** : Mapa de Peligros Múltiples del distrito del Cercado de Lima.



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, Mapas de Peligros Múltiples y Análisis de riesgo de los distritos del Cercado de Lima, Ventanilla y de las ciudades de Chincha y Contumazá”**.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de Microzonificación Sísmica para el área objeto de estudio, complementando trabajos anteriormente desarrollados. El presente estudio corresponde a la Microzonificación Sísmica del distrito del Cercado de Lima

Este trabajo se ha desarrollado mediante varios estudios. El primero es el estudio del peligro sísmico para estimar probabilísticamente la aceleración máxima horizontal (PGA) en roca y suelo (Apéndice A), el cual es importante para determinar las aceleraciones del terreno en superficie. Los siguientes son las características geotécnicas, y dinámicas del suelo; estas características son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B) y de Isoperíodos (Apéndice C).

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.

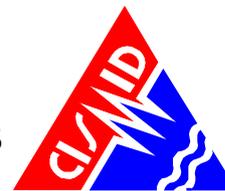
Por otro lado, las características dinámicas, fueron determinadas a partir de mediciones de la vibración del suelo y su posterior análisis mediante métodos descritos en el Apéndice C.

A partir de la superposición de los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B), Isoperíodos (Apéndice C) se obtiene el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-2), el cual fue el objetivo de este estudio.

Se han identificado cuatro zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica. Las Zonas I, III, IV y V reflejan el comportamiento geotécnico y sísmico del suelo en el área de estudio, de manera cuantitativa y cualitativa; estas zonas se presentan ordenadas de más a menos competente ante sollicitaciones de cargas estáticas y ante la ocurrencia de un evento sísmico severo. El resultado final es un mapa que se convierte en un gran instrumento para la planificación y desarrollo urbano o para la reconstrucción después de un desastre sísmico.

El Mapa de Peligro Natural ha considerado el efecto de la erosión fluvial a la ribera del Río Rímac, determinando zonas de alto peligro que se muestra en el Apéndice D.

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



“ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA, MAPAS DE PELIGROS MÚLTIPLES Y ANÁLISIS DE RIESGO DE LOS DISTRITOS DEL CERCADO DE LIMA, VENTANILLA Y DE LAS CIUDADES DE CHINCHA Y CONTUMAZÁ”.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGROS MÚLTIPLES DEL DISTRITO DEL CERCADO DE LIMA

I. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO 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, Mapas de Peligros Múltiples y Análisis de riesgo de los distritos del Cercado de Lima, Ventanilla y de las Ciudades de Chincha y Contumazá.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de microzonificación sísmica para el distrito del Cercado de Lima, complementando trabajos anteriormente desarrollados.

1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El distrito del Cercado de Lima se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima, limita con los siguientes distritos:

- Por el Norte con los distritos de San Martín de Porres, Rímac y San Juan de Lurigancho.
- Por el Sur con los distritos de San Miguel, Breña, Lince y La Victoria
- Por el Este con el distrito El Agustino.
- Por el Oeste con los distritos de Bellavista, Callao y Carmen De La Legua Reynoso.

El Mapa I-01 muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

II. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

A continuación se describe la sismicidad del área de estudio y se presenta la evaluación del peligro sísmico mediante métodos probabilísticos. Mayor detalle se puede encontrar en el Apéndice A.

2.1. SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992), hace una recopilación de datos sobre los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú desde el año 1513. Este trabajo constituye una fuente de información básica para el conocimiento de las intensidades sísmicas de los sismos históricos. Según esta información, los mayores terremotos registrados en la costa central del Perú son los de 1586, 1687 y el de 1746, este último destruyó completamente la ciudad de Lima y generó un maremoto con olas de 15 a 20 m de altitud. Así mismo, se reporta que durante el período de 1513 a 1959, Lima fue destruida sucesivamente por un total de 15 terremotos (Silgado, 1978)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



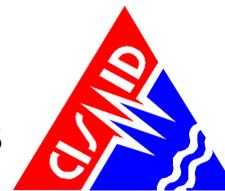
Alva Hurtado et al (1984), basándose en esta fuente han elaborado un mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú. La confección de dicho mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes. Las intensidades máximas registradas en la zona costa central, donde se localiza el área de estudio, alcanzan valores de hasta IX en la escala MMI.

En el Anexo A-1 (Apéndice A) se presenta una descripción resumida de los sismos que han ocurrido en el área de influencia. Este anexo está basado fundamentalmente en el trabajo de Silgado y en el Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). Así mismo, se incluye la descripción de los sismos recientes ocurridos en la región en estudio y que se consideran significativos para los fines de este estudio.

Del análisis de la información existente se deduce que en la zona andina, existe poca información histórica. La mayor cantidad de información está referida a sismos ocurridos principalmente a lo largo de la costa centro y sur, debido probablemente a que en esta región se establecieron las ciudades más importantes después del siglo XVI. Se debe indicar que dicha actividad sísmica, tal como se reporta, no es totalmente representativa, ya que pueden haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, que no fueron reportados.

Los sismos más importantes que afectaron la región y cuya historia se conoce son:

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



- El sismo del 17 de Octubre de 1966, con intensidad VII MMI en Lima.
- El sismo del 03 de Octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.
- El sismo del 18 de Abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.
- El 15 de Agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico $M_w=7.9$ de acuerdo al Instituto Geofísico del Perú y de 8.0 según el National Earthquake Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima. VI en las localidades de Yauyos (Lima), Huaytará (Huancavelica), IV en las ciudades de Huaraz y localidades de Canta, Puquio, Chala. Este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas, y una licuación generalizada en un área de más de 3Km de longitud por 1.0 Km de ancho en las zonas de Canchamaná y Tambo de Mora en Chincha.

En el Anexo A-2 (Apéndice A) se presentan los Mapas de Isosistas disponibles, los cuales corresponden a los siguientes sismos ocurridos en el área en estudio: 9 de Julio de 1586, 20 de Octubre de 1687, 28 de Octubre de 1746, 06 de Enero 1725, 28 de Octubre de 1746, 24 de Mayo de 1940, 28 de Mayo de 1948, 17 de Octubre de 1966, 31 de Mayo de 1970, 3 de Octubre de 1974, 18 de Abril de 1993 y 15 de Agosto del 2007.

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

2.2. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

En el presente estudio se han empleado leyes de atenuación para cuantificar la aceleración horizontal máxima del suelo en la base, así como leyes de atenuación que permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo publicados en la literatura técnica, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Dada esta tendencia mundial, se ha empleado en este estudio relaciones de atenuación de ordenadas espectrales para aceleraciones, que distingue sismos de subducción de interfase e intraplaca. Se ha empleado los modelos de atenuación de Youngs et al. (1997) y la ley de atenuación CISMID obtenida mediante el procesamiento estadístico bayesiano de registros de movimientos fuertes de suelo de sismos registrados dentro del territorio peruano y captados por la Red Acelerográfica del CISMID. Esta investigación fue realizada por Chávez, J. (2006). Así mismo, se ha empleado el modelo de atenuación para aceleraciones espectrales propuestas por Sadigh, et al, 1997 para sismos continentales.



En base a la clasificación de sitio definida en el código International Building Code (IBC), la ley de atenuación de Youngs et al, 1997 elaborada para roca aplica para un suelo Tipo B (velocidades promedio de ondas de corte V_s entre 760 m/s y 1500 m/s), la ley de atenuación de Youngs et al, 1997 elaborada para suelo, aplica para un suelo firme "Stiff soil" Tipo D (velocidades promedio de ondas de corte V_s que varían de 180 m/s a 360 m/s), la ley de atenuación de CISMID se aplica para un tipo de suelo "Tipo C", debido a que presenta una velocidad de 530 m/s, según los resultados obtenidos de mediciones realizados en la Estación "Jorge Alva Hurtado".

Los resultados obtenidos proponen un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.34g para roca, y un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.46g para suelo Tipo C, y 0.54g para suelo D, estimado para 475 años de periodo de retorno.

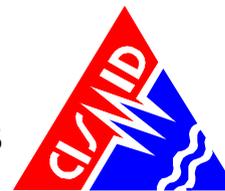
III. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO

3.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE SUELO

El presente informe documenta las actividades realizadas para desarrollar el estudio de Microzonificación Geotécnica del distrito de Cercado de Lima, en el marco del convenio firmado entre la Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. En éste se documenta la recopilación de la información disponible, los trabajos de exploración de campo, los ensayos de laboratorio, el análisis de estabilidad de taludes, y la caracterización mecánica de los suelos de cimentación, que constituyen la información básica para definir las zonas con características geotécnicas similares, teniéndose como producto final el Plano de la Microzonificación Geotécnica del distrito de Cercado de Lima.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del distrito de Cercado de Lima lo constituye el "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima y Callao" realizada por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) en el año 2005, por encargo de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). En dicho estudio se realizó la Zonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Cercado de Lima, el cual se basó en el análisis de los registros de 51 calicatas y 03 pozos de agua recopilados. En el Anexo B-1 y Anexo B-2 se presentan los registros de las calicatas y pozos mencionados, respectivamente; y en la Tabla B-1 y Tabla B-2 se muestra un resumen de ellos, respectivamente. En el Plano P-01 del Apéndice B se puede apreciar la ubicación de tales sondajes en el área de estudio.

Así mismo, en el presente estudio se ha previsto la recopilación de estudios de mecánica de suelos para obras de infraestructura y estudios con fines de cimentación, realizados dentro del ámbito de estudio por empresas privadas de reconocido prestigio a nivel nacional. El propósito de esta recopilación es determinar a mayor detalle la distribución de los tipos de suelo en el área de estudio. Esta recopilación cuenta con los registros de calicatas, ensayos de Penetración Estándar



(SPT), ensayos con Cono Peck, trincheras y perforaciones diamantinas, cuya relación se presenta en la Tabla B-3, Tabla B-4, Tabla B-5, Tabla B-6, y Tabla B-7, respectivamente contenidas en el Apéndice B. El registro de estos sondajes se presenta en el Anexo B-3 y la ubicación de los mismos en el Plano P-01 del Apéndice B.

Según las características geológico geotécnicas del subsuelo del distrito de Lima, conformado predominantemente por potentes estratos de suelos gravosos y conglomerado, los mismos que según los perfiles recopilados aparecen a una profundidad promedio de 1.50 metros, se concluyó que el comportamiento mecánico del terreno está gobernado por los parámetros de resistencia de dichos materiales, cuya capacidad portante es superior a los 3.0 Kg/cm², dependiendo de su compacidad. Por su parte, las características dinámicas descritas en el mencionado estudio (CISMID, 2009) indican un terreno de comportamiento sísmico adecuado, que no incrementan las solicitaciones sísmicas por efecto de amplificación durante un evento severo. Los registros de sismos pasados obtenidos en este distrito confirman estos resultados.

Para este estudio se presenta los cuatro (04) perfiles estratigráficos realizados en el “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima y Callao” para el distrito de Cercado de Lima (CISMID 2005), que corresponde a los ejes A-A, B-B, C-C y D-D como se presenta en el Plano P-02 del Apéndice B. Cabe indicar para este estudio, los sondajes son graficados con su respectiva cota, la cual fue obtenida mediante el uso de fotos satelitales a través del programa de Sistema de Información Geográfica (GIS); como se muestra en el Plano P-03 (Lámina 01, 02 y 03) del Apéndice B.

Así mismo, en base de la información recopilada obtenida de los ensayos directos, así como también de la exploración geofísica (perfiles de velocidad de onda de corte) ejecutada en este estudio, cuyos resultados se presentan en el Apéndice C: Caracterización Dinámica del Suelo en el Distrito de Cercado de Lima, se presenta el perfil estratigráfico E-E, ver Plano P-03 (Lámina 03) del Apéndice C. La función de los perfiles estratigráficos es evaluar como el subsuelo está conformado superficialmente.

A continuación se describe los perfiles estratigráficos que se presentan en el Plano P-03 del Apéndice B.

Perfil Estratigráfico A-A (Lámina 01, Apéndice B), fue elaborado con los sondajes C04, C05, C06, C07 y S01, el cual permitió definir el siguiente perfil:

Presenta un estrato superficial que varía de una arena limosa, arcilla, limo y relleno. Subyaciendo a esta capa superficial continua un estrato de grava limosa mal gradada (GP), hasta la profundidad investigada que en el caso de los pozos de agua de SEDAPAL llega hasta los 110.00 m de profundidad.

El pozo S01 (Anexo B-2, Apéndice B) presenta un estrato superficial de tierra de cultivo de 1.00 m de profundidad, continuando con un material de grava pobremente gradada (GP) de 26.00 m. espesor. (CISMID 2005).



Perfil Estratigráfico B-B (Lámina 01, Apéndice B), fue elaborado con los sondajes C19, C22, C27, C28, C30, C32, C38 y S03, el cual permitió definir el siguiente perfil:

Presenta estratos superficiales conformados por arena limosa y/o arcillosa que varían de 0.60 m a 1.50 m de espesor y rellenos que varían en espesor desde los 0.20 m hasta los 6.50 m. Subyace a este estrato una grava pobremente gradada (GP) que alcanza una profundidad de exploración aproximada de 200 m, de acuerdo al pozo de SEDAPAL S03 (Anexo B-2) (CISMID 2005).

Perfil Estratigráfico C-C (Lámina 02, Apéndice B), fue elaborado con los sondajes C33, C36, C37, y C42, el cual permitió definir el siguiente perfil:

Presenta superficialmente un relleno, con una potencia máxima de 4.00 m. Subyace a este estrato una grava que varía entre bien gradada (GW) y mal gradada (GP), las cuales alcanzan los 5.00 m de profundidad explorada (CISMID 2005).

Perfil Estratigráfico D-D (Lámina 02, Apéndice B), fue elaborado con los sondajes C44, C45, C46, C47 y C49, el cual permitió definir el siguiente perfil:

Presenta superficialmente un relleno que alcanza una profundidad de 2.40 m y una arcilla y limo hasta 1.20 m de profundidad. Inmediatamente después aparece un estrato gravoso con limos que varía de bien gradado (GW) a mal gradado (GP), hasta la profundidad máxima de exploración de 4.00 m (CISMID 2005).

Perfil Estratigráfico E-E (Lámina 03, Apéndice B), fue elaborado con los sondajes C03, C04, C05, C09, C11, C12, C19 y S03, el cual permitió definir el siguiente perfil:

Presenta estratos superficiales conformados por arena arcillosa y/o limosa de espesor variable menores a 1.80 m, y rellenos que alcanzan una profundidad máxima de 6.50 m. Subyace a este estrato superficial un material gravoso denso que varía de bien gradado (GW) a mal gradado (GP) con una matriz de arena fina, que de acuerdo a los sondajes recopilados (pozo de agua S03) alcanza una potencia de más de 150.00 m.

3.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS ÁREAS RIBEREÑAS DEL RÍO RÍMAC

En el presente estudio se ha efectuado un análisis de estabilidad física de los taludes generados en la ribera del río Rímac, que han sido fuertemente erosionadas por éste. De acuerdo a los estudios realizados por la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) y otras instituciones (MML et al. 2008 y MML et al. 2011) han identificado que la zona ribereña del río Rímac que comprende el tramo entre el puente El Ejército y el puente Santa María presenta un alto grado de potencial a la ocurrencia de derrumbes pues se encuentran pendientes de hasta 70°. Por tal razón, se ha considerado en este estudio analizar dos secciones representativas (ver Plano P-04 del Apéndice B) que fueron elegidas teniendo en cuenta el grado de peligro que representan. En este sector, debido a la delincuencia y a la inseguridad que existe en la zona y al no contar con resguardo



policial o de serenazgo, no fue posible realizar una evaluación detallada de los taludes formados en las riberas del río Rímac.

A continuación, se presenta una descripción de las consideraciones del diseño geotécnico tomadas para la ejecución de los análisis mencionados.

Metodología de Cálculo

Para el análisis de estabilidad de los taludes que conforman el tramo entre el puente El Ejército y el puente San María, se tomaron en cuenta los siguientes factores: geometría de los taludes, parámetros geotécnicos, cargas dinámicas monotónicas inducidas por acción de los sismos, entre otros. Detalles del método numérico empleado se presenta en el Apéndice B.

Criterios de Diseño

En la Tabla B-13 del Apéndice B se presentan los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable, valores que son sugeridos por el US Army Corps of Engineers (2003), entidad que proporciona pautas para el análisis adecuado de la estabilidad de taludes. Estos factores de seguridad pueden servir como criterios de diseño para la evaluación del comportamiento estático y pseudo-estático de los taludes a analizarse en el presente estudio.

Coefficiente Sísmico

Para el presente estudio se utilizará un valor de coeficiente sísmico de 0.20 Este valor ha sido obtenido del Apéndice A: Evaluación del Peligro Sísmico en el Distrito de Cercado de Lima, desarrollado para el presente proyecto. El coeficiente sísmico de 0.20 representa la sismicidad de la zona y los niveles de aceleración máxima esperada en el área en estudio para periodos de retorno de 475 años.

Condiciones de Análisis

Se tomaron en cuenta las siguientes condiciones para el análisis de estabilidad de los taludes:

- Se considera que las propiedades de los materiales que conforman el perfil del talud son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento.
- Se considera tipo de fallas de superficie circular, como mecanismos de falla del talud investigado. El método de análisis de falla circular adoptado es el de Spencer. Este método se encuentra implementado en el programa de cómputo utilizado.
- Los resultados del análisis se presentan en términos de superficies potenciales de falla. La superficie crítica de deslizamiento es aquella que proporciona el menor factor de seguridad.
- El análisis es aproximado a un estado de deformación plana, esto representa un análisis bidimensional. Para el caso analizado, las condiciones in-situ reflejan aproximadamente este estado.



-
- Se ha tratado de asumir las condiciones reales de campo, es decir, se incluyen el efecto gravitatorio de los diferentes materiales y el efecto dinámico de los sismos. No se consideran ni el efecto del tiempo, ni la meteorización de los materiales.

Conformación Geométrica de los Taludes

Debido al grado de peligro de derrumbe que representan las Secciones A-A' y B-B' (ver Plano P-03, Apéndice B), así como también la delincuencia en la zona de estudio, no se cuenta con un relieve topográfico del área de interés, no obstante se ha previsto realizar una inspección visual para tener una mejor visión de la geometría de los taludes y de las características de los materiales que conforman a ellos. Para este estudio, se ha considerado que las secciones analizadas tengan una distancia de 150.00 m desde el borde del talud hacia la ciudad. Las secciones transversales A-A' y B-B' se presentan en el Anexo B-7 (Apéndice B).

Cabe mencionar que el área de estudio se encuentra a una altitud promedio de 154 msnm.

Propiedades de los Materiales

Para obtener las condiciones geotécnicas de los taludes de las terrazas ribereñas del Río Rímac que comprende el tramo entre el puente El Ejército y el puente Santa María, se recopilaron trabajos e investigaciones realizadas en la zona y áreas cercanas, constituidos por registros de calcatas y perforaciones diamantinas (ver Anexo B-3) y siendo complementada con el perfil estratigráfico observado en los taludes. Se pudo concluir que los taludes están compuestos por un suelo granular grueso con matriz gravosa, con presencia de rellenos en la superficie. A continuación se realiza la descripción de los materiales mencionados.

Suelo granular grueso con matriz gravosa, grava arenosa, conformado por clastos redondeados de origen ígneo con matriz arenosa.

Depósito de relleno, conformada por desechos orgánicos e inorgánicos, mezclados con fragmentos de rocas y arena media a fina.

Asimismo, de los datos recopilados se obtuvieron valores de resistencia cortante de los materiales antes mencionados. Estos fueron obtenidos a partir de ensayos de corte directo a gran escala y del corte directo convencional, cuyas muestras de suelo fueron extraídas cerca al puente Trujillo (Constructora OAS LTDA. Sucursal del Perú 2012). Los parámetros de resistencia también se establecieron en base a la experiencia del consultor. El Cuadro 01 presenta los valores de resistencia cortante de los materiales descritos en los puntos anteriores.



Cuadro 01: Parámetros de Resistencia de los Materiales

Material	γ (KN/m ³)	c (KPa)	ϕ
Suelo granular grueso con matriz gravosa	21	39.2	41
Depósito de relleno	15	10.0	20

Donde:

- γ : Peso unitario del material
 c : Cohesión
 ϕ : Ángulo de fricción interna

Análisis de Equilibrio Límite

Debido a los factores mencionados previamente queda pendiente presentar los resultados obtenidos a partir del análisis estático y pseudo-estático de las secciones A-A' y B-B'. No obstante, se prevé que el área de influencia que involucra el deslizamiento de las masas de suelo a lo largo de todo el talud será aproximadamente del orden de 70.00 m medido desde el borde del talud, ya que debido a estudios previos realizado en los Acantilados de la Ciudad de Lima, comúnmente conocido como la Costa Verde, estimaron que el área de influencia de las zonas inestables es de 65.00 m de distancia medido desde el borde del talud (Macazana R. 2006). Cabe hacer mención, que los taludes ribereños del río Rímac y los Acantilados de la Ciudad de Lima corresponden al mismo depósito de suelo granular consolidado, denominado por muchos como el Conglomerado de Lima.

3.3. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

Para este estudio, se vio conveniente primero realizar planos que muestren la variación espacial del tipo de suelo a diferentes profundidades, que permitan delimitar zonas con características geotécnicas similares para la microzonificación geotécnica del distrito del Cercado de Lima. En el Apéndice B se presentan los planos P-05 y P-06 que muestran la variación del tipo de suelo a 1.0 m y 2.5 m de profundidad, respectivamente. Estos planos fueron elaborados a partir de los ciento y ochenta y uno (181) sondajes recopilados (164 calicatas, 03 ensayos SPT, 01 ensayo con Cono Peck, 03 trincheras, 07 perforaciones diamantinas y 03 pozos de agua), así como también de los perfiles estratigráficos presentados en este estudio y de la exploración geotécnica ejecutada.

Teniendo en cuenta que la norma E050 Suelos y Cimentaciones (1997) exige como mínimo una profundidad de cimentación de 0.80 m se realizó el plano P-05, donde se muestra la variación del suelo a 1.00 m de profundidad, el cual es un nivel promedio de la profundidad de cimentación para edificaciones convencionales. En este plano se observa el suelo de Cercado de Lima en su mayoría conformado por suelos finos, arenas y rellenos. En el plano P-06 a una profundidad de 2.5



m se puede observar al Conglomerado de Lima como suelo predominante, conformado por materiales gruesos como bolones y gravas, inmersos en una matriz más fina constituida por arenas, limos y arcillas, como parte de su granulometría representativa (Repetto et al 1980, Martínez 2007 y Aguilar et al. 2009).

En este estudio se propone un plano de Microzonificación Geotécnica que incluye la capacidad de carga admisible para cada zona. El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

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

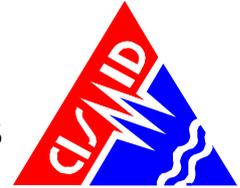
Para tal fin, se ha utilizado la teoría de carga de Terzaghi, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973). Los parámetros de resistencia cortante utilizados fueron obtenidos de los ensayos de corte directo recopilados y de la experiencia del consultor.

En consecuencia, la Microzonificación Geotécnica del distrito de Cercado de Lima propuesto para este estudio ha utilizado como base de referencia la Zonificación Geotécnica Sísmica del mismo distrito (CISMID 2005), zonificación que ha sido complementada con más sondajes recopilados y ejecutados en el área de estudio, así como también los perfiles estratigráficos, los planos que muestran la variación espacial de los tipos de suelo a diferentes profundidades, y el análisis de estabilidad física de los taludes ribereños del río Rímac. Por tal razón, se dividió el área de estudio en cuatro (04) zonas como se muestra en el Plano P-07 del Apéndice B, los que a continuación se describen,

Zona I

Esta zona está conformada por estratos potentes de grava aluvial consolidada que tienen como matriz un material arenoso y/o arena limoso. Superficialmente este depósito se encuentra cubierto por un material fino de poco espesor, como se muestra en los Planos P-05 y P-06 del Apéndice B. De acuerdo a varios estudios (Repetto et al. 1984 y Le Roux et al. 2002), los Perfiles Estratigráficos A-A y B-B, y los pozos de agua recopilada muestran que este material competente conocido como el Conglomerado de Lima tiene un espesor de más de 80 m.

Esta zona presenta las mejores características mecánicas para la cimentación superficial, asignándole a este depósito una capacidad de carga admisible mínima de 3.00 Kg/cm², teniendo en consideración una cimentación corrida de 0.60 m de ancho cimentada a una profundidad mínima de 1.00 m. Se considera que la cimentación deberá estar asentada sobre terreno natural y bajo ningún motivo sobre terreno heterogéneo y si fuera el caso este será removida en su totalidad.



Zona III

Esta zona está conformada por depósitos de suelos finos y arenas de considerable espesor en estado suelto, por debajo del cual se encuentra la grava aluvial del Conglomerado de Lima. El estrato portante para las cimentaciones convencionales será un material fino superficial de consistencia media, cuyas características de resistencia y compresibilidad son menos favorables que las del conglomerado.

Zona IV

Comprende el tramo entre el puente El Ejército y el puente Santa María, la cual es altamente propensa a sufrir deslizamientos debido a la inestabilidad de las terrazas de fuerte pendiente, producto de la erosión fluvial del río Rímac. Por lo tanto, se recomienda a la municipalidad declarar esta zona como área no apta para uso de viviendas, restringiendo la construcción de las mismas, orientándolas a proyectos de rescate y recuperación paisajística de la ribera del río Rímac. Mayores detalles de esta zona se pueden encontrar en el ítem 7 denominado Análisis de Estabilidad de Taludes en las Áreas Ribereñas del Río Rímac.

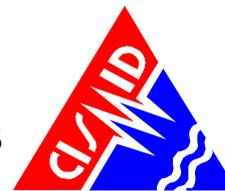
Zona V

Corresponde a acumulaciones de materiales transportados y depositados por el hombre, estos consisten de relleno de desmonte, materiales de demolición de construcciones antiguas, así como también materiales que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos. Estos vienen a ser materiales heterogéneos. De acuerdo a la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones (1997), no está permitido cimentar sobre un relleno heterogéneo, por lo cual en lugares como este no es posible estimar la capacidad de carga para cimentaciones. Así mismo estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico. Por lo cual se ha demostrado en la experiencia que edificaciones cimentadas sobre este tipo de suelo sufren grandes asentamientos y daño severo, por lo que se recomienda su remoción total.

Es este estudio, tales materiales inadecuados han sido encontrados en superficie hasta profundidades de hasta 8.0m, siendo identificados cerca a la ribera del río Rímac, y entre la avenida Morales Duárez y la avenida Estrella, así como también al Noroeste de la ciudad próximo a la Carretera Nacional N001 Vía de Evitamiento, y a la altura de la Av. Tacna entre la Av. Conde de Superunda y Jr. Cañete.

El mapa de microzonificación geotécnica realizado en base a la descripción arriba indicada se presenta en el Plano P-07 del Apéndice B.

Finalmente, cabe recalcar que el plano de microzonificación geotécnica del distrito de Cercado de Lima, es una información básica para realizar el modelamiento del comportamiento del terreno en la determinación del peligro sísmico, así como también para la evaluación del comportamiento dinámico del terreno para obtener finalmente el mapa de microzonificación sísmica del distrito de Cercado de Lima.



IV. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

La caracterización dinámica de los suelos en el ámbito del distrito de Cercado de Lima se ha realizado mediante ensayos geofísicos consistentes en mediciones de microtremores. Con la finalidad de determinar curvas de dispersión y sus subsecuentes perfiles de velocidades de ondas S se realizaron ensayos de medición de microtremores, procesados mediante los métodos espectrales F-K y nc-CCA. Estos perfiles fueron utilizados para realizar el análisis de amplificación sísmica. A su vez, con el objeto de determinar los periodos predominantes de vibración natural en la zona de estudio se realizaron también mediciones de microtremores, en forma puntual, para ser luego procesados por el método de los cocientes espectrales H/V. Para el caso de las mediciones de ondas superficiales en campo, se utilizaron dos métodos de análisis, el método de análisis espectral F-K (frecuencia-número de onda) y el método de Autocorrelación Espacial (SPAC), todos los métodos mencionados son descritos en el Apéndice C.

En el presente estudio, se ha hecho la medición de microtremores en 18 puntos con el objetivo de complementar las mediciones realizadas anteriormente. Estos puntos recopilados suman 22, correspondientes a diversos estudios realizados por el CISMID (2005) y otros. La ubicación de la totalidad de estos puntos se encuentra en el plano 01 del Apéndice C.

En base a los arreglos de microtremores se obtuvieron 03 perfiles de velocidades de ondas de corte en el distrito de Cercado de Lima, los cuales se muestran en el Anexo C-4 del Apéndice C.

El Perfil identificado como A2001 presenta un estrato superficial rígido de 5 m de espesor con velocidades de ondas de corte del orden de 400 m/s, debajo de este estrato la rigidez va en aumento llegando a velocidades mayores a 1000 m/s a partir de los 16 m de profundidad.

El Perfil identificado como A2003 presenta un estrato de suelo muy blando de 8 m de espesor con una velocidad de ondas de corte de 150 m/s aproximadamente. Por inspección visual se ha observado que este estrato está conformado de material de relleno. Por debajo de este estrato se observa un estrato más rígido.

El Perfil identificado como A2004 presenta estratos blandos de 2 m de espesor aproximadamente, con velocidades de ondas de corte que varían entre 200 a 300 m/s. Por debajo de estos se observa un suelo rígido.

4.1. MAPA DE ZONAS DE ISOPERÍODO.

El plano 02 del Apéndice C, muestra tres zonas de período determinadas por intervalos de periodos obtenidos del análisis espectral de microtremores en la zona de estudio.

Se identifica la primera zona de color verde oscuro con un intervalo de valores de período menor a 0.10s a 0.20 s que corresponden a la mayor área del distrito, estos valores corresponden a un suelo rígido.



En la segunda zona de color verde claro, corresponde a valores de periodos de 0.20 a 0.30s, estos valores se ubican en las direcciones Este y Oeste del distrito. Estos valores indicarían también la presencia de suelos rígidos.

La tercera zona de color naranja presenta valores de periodo más altos, desde 0.60s a 0.70s., se ubica al lado oeste del interior de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y corresponderían a suelos flexibles.

4.2. AMPLIFICACIÓN SÍSMICA.

El cálculo de la amplificación se realizó usando la teoría de la propagación unidimensional de ondas de corte.

Esta teoría se basa en la solución continua de la ecuación de la onda y supone que cada estrato del depósito posee propiedades viscoelásticas uniformes, que todos los contactos entre estratos son infinitamente horizontales y, que la respuesta de un depósito de suelo está predominantemente causada por la propagación de ondas SH a partir del lecho rocoso que se extiende por debajo de las capas superficiales del terreno. Cada estrato es homogéneo e isotrópico, y está caracterizado por su espesor h , densidad de masa ρ , módulo de corte G , y su coeficiente de amortiguamiento ξ , según se observa en la Figura 3.

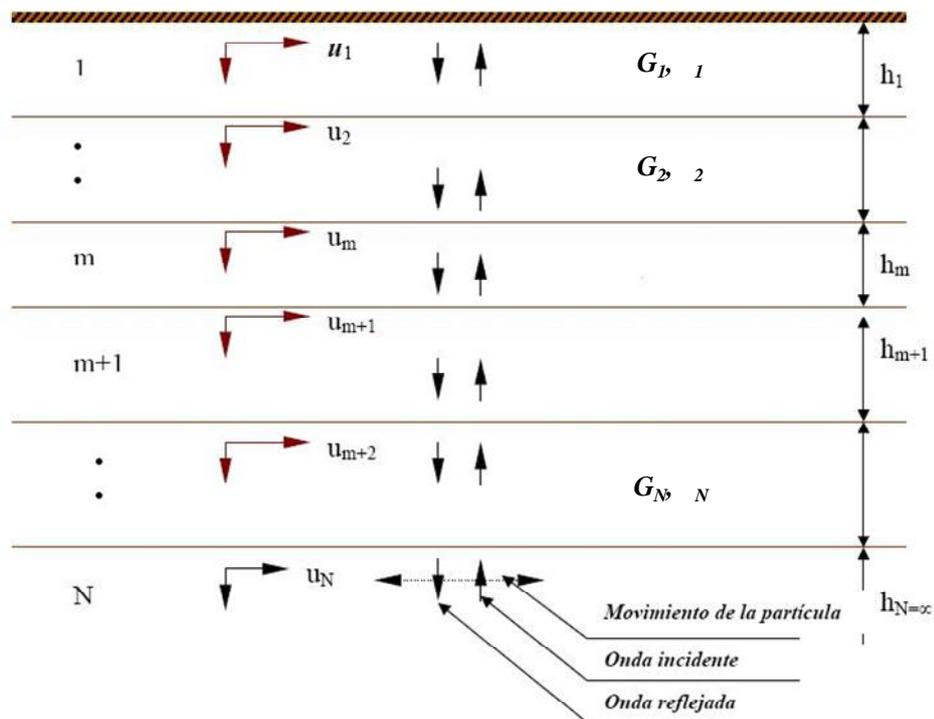


Figura 3: Propagación vertical de ondas de corte de un medio unidimensional semi-infinito estratificado en capas horizontales.



En realidad, el suelo presenta características de no linealidad e inelasticidad. La no linealidad del comportamiento esfuerzo-deformación del suelo significa que el módulo de corte (G) está en constante cambio. La inelasticidad tiene que ver con los ciclos de carga y descarga del suelo que producen disipación de energía en los puntos de contacto entre partículas. Un análisis riguroso de la respuesta mecánica del suelo para cualquier condición de carga, requeriría que el comportamiento esfuerzo-deformación para cada elemento del suelo deba ser monitoreado en el dominio del tiempo.

En este estudio se consideró un análisis lineal para estimar la amplificación del suelo.

Se obtuvieron 03 funciones de transferencia a partir de los perfiles estimados mediante la medición de arreglos de microtremores.

Para el perfil A2001 se obtuvo un factor de amplificación del orden de 1.95 para un periodo de 0.1 s aproximadamente. En el caso del perfil A2002 se obtuvo un factor de amplificación de 2.76 para un periodo de 0.22 s. Finalmente, el perfil A2003 presentó un factor de amplificación de 2.4 para un periodo de 0.06 s.

El resumen de estos factores se muestra en la Tabla 7 del Apéndice C, y las funciones de transferencia en el Anexo C-6 del Apéndice C.

V. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito del Cercado de Lima y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Plano P-07, Apéndice B) y de Isoperiodos (Plano 02, Apéndice C) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar cuatro zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02). A continuación se describen estas zonas:

Zona I

Esta zona está conformada por estratos potentes de grava aluvial consolidada que tienen como matriz un material arenoso y/o arena limoso. Superficialmente este depósito se encuentra cubierto por un material fino de poco espesor, como se muestra en los Planos P-05 y P-06 del Apéndice B. De acuerdo a varios estudios (Repetto et al. 1984 y Le Roux et al. 2002), los Perfiles Estratigráficos A-A y B-B, y los pozos de agua recopilada muestran que este material competente conocido como el Conglomerado de Lima tiene un espesor de más de 80 m.

Esta zona presenta las mejores características mecánicas para la cimentación superficial, asignándole a este depósito una capacidad de carga admisible mínima de 3.00 Kg/cm², teniendo en consideración una cimentación corrida de 0.60 m de ancho cimentada a una profundidad



mínima de 1.00 m. Se considera que la cimentación deberá estar asentada sobre terreno natural y bajo ningún motivo sobre terreno heterogéneo y si fuera el caso este será removida en su totalidad. Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona se encuentran entre 0.10 s y 0.3 s. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

Zona III

Esta zona está conformada por depósitos de suelos finos y arenas de considerable espesor en estado suelto, por debajo del cual se encuentra la grava aluvial del Conglomerado de Lima. El estrato portante para las cimentaciones convencionales será un material fino superficial de consistencia media, cuyas características de resistencia y compresibilidad son menos favorables que las del conglomerado.

Los resultados de las mediciones de microtempidaciones muestran que los periodos de vibración natural en esta zona varían entre 0.6 s y 0.7 s. De acuerdo a estos resultados se concluye que este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo flexible, se le considera como un suelo de tipo S3 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

Zona IV: Comprende el tramo entre el puente El Ejército y el puente Santa María, la cual es altamente propensa a sufrir deslizamientos debido a la inestabilidad de las terrazas de fuerte pendiente, producto de la erosión fluvial del río Rímac. Por lo tanto, se recomienda a la municipalidad declarar esta zona como área no apta para uso de viviendas, restringiendo la construcción de las mismas, orientándolas a proyectos de rescate y recuperación paisajística de la ribera del río Rímac.

Zona V

Corresponde a acumulaciones de materiales transportados y depositados por el hombre, estos consisten de relleno de desmonte, materiales de demolición de construcciones antiguas, así como también materiales que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos; estos vienen a ser materiales heterogéneos. Es este estudio, tales materiales inadecuados han sido encontrados en superficie hasta profundidades de hasta 8.0m, siendo identificados cerca a la ribera del río Rímac, y entre la avenida Morales Duárez y la avenida Estrella, así como también al Noroeste de la ciudad próximo a la Carretera Nacional N001 Vía de Evitamiento, y a la altura de la Av. Tacna entre la Av. Conde de Superunda y Jr. Cañete.

De acuerdo a la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones (1997), no está permitido cimentar sobre un relleno heterogéneo, por lo cual en lugares como este no es posible estimar la capacidad de carga para cimentaciones. Así mismo estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico. Por lo cual se ha demostrado en la experiencia que edificaciones cimentadas sobre este tipo de suelo sufren grandes asentamientos y daño severo, por lo que se recomienda su remoción total.



VI. 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 cuantitativamente estimando el valor de aceleración horizontal máximo 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 para el distrito del Cercado de Lima (Apéndice A) que corresponde para un suelo “Tipo C” (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.460 g; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica I-02 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente por la aceleración máxima PGA de 0.460 g de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima
I	1.0	0.460 g
III	1.4	0.644 g
IV	1.5	0.690 g
V	1.5	0.690 g

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el mapa I-03

VII. 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 del 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:

$$\ln V_{\max} = -1.8349 + 1.1146 \ln A_{\max} + 0.4043 \ln T_s$$

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 del Cercado de Lima, 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-02 del presente informe y el plano 02 del Apéndice C respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito del Cercado de Lima se muestran en el mapa I-04.



VIII. MAPA DE PELIGROS DE ORIGEN NATURAL – EROSIÓN FLUVIAL EN LAS RIBERAS DEL RÍO RÍMAC

Dentro los peligros de origen natural identificados en la zona del Cercado de Lima, el más significativo es el peligro de erosión fluvial en las riveras del río Rímac, Esta sección se ha analizado el riesgo de ocurrencia de desastre que se podría presentar cerca de las márgenes del río Rímac en el tramo que comprende la Plaza de Acho hasta un kilómetro aguas abajo del Puente Dueñas, en el área correspondiente al distrito del Cercado de Lima.

La zona de estudio corresponde al entorno urbano de la ciudad de Lima, a lo largo de un tramo del río Rímac, que comprende los siguientes sectores.

En el primer tramo, desde el Cerro San Cristóbal hasta la Plaza de Acho, se puede apreciar que el Cerro San Cristóbal ha actuado como un control geológico, impidiendo el desplazamiento del río hacia la margen derecha. Este tramo mide 700 m.

El segundo tramo se desarrolla entre la Plaza de Acho (Puente Balta) y el Puente de Piedra o Trujillo, el ancho del río varía entre 41 m y 150 m y el río no es muy profundo. Este tramo mide 700 m.

El tercer tramo comprende el sector ubicado entre el Puente Trujillo y el Puente del Ejército, en el que el ancho del río varía entre 25 m y 78 m. El río no es muy profundo. El terraplén de la vía férrea se encuentra cerca del Puente Trujillo. Este tramo mide 1.6 km.

En el tramo entre el Puente del Ejército hasta 500 m aguas abajo del Puente Dueñas se han construido viviendas en ambas márgenes. Las viviendas se han construido al borde de acantilados formados por la profundización del río, causada por la acción erosiva de sus aguas. Las viviendas del área se han construido aparentemente sin mayor asesoramiento profesional. Para facilitar el paso de personas se han construido puentes peatonales cada 100 m aproximadamente. Este tramo mide 3.1 km.

El tramo del río Rímac está a una distancia de 10.5 km del mar y tiene una pendiente aproximada de 1.6 %, presenta taludes muy empinados, mostrando en su estratigrafía material aluvial constituido por conglomerado, producto de deposiciones que se han venido acumulando en el valle del Rímac. En este conglomerado se encuentran bolones, cantos, grava y arena gruesa. El ancho del río Rímac en su parte más baja varía entre aproximadamente 9 y 13 m. Los taludes son muy empinados, constituyendo gargantas casi verticales. El material del río está constituido por cantos y bolones de hasta 40 cm de tamaño máximo.

En algunos casos es notable la presencia de franjas negras que se forman cuando parte del flujo que discurre por las tuberías de desagüe discurre mojando la parte inferior de las mismas, y desciende por los taludes. Los flujos que discurren por los taludes dan origen a la humedad que mantiene a las enredaderas que los protegen de la acción eólica.



En la visita de campo que se llevó a cabo cuando se analizó el comportamiento del río Rímac, se pudo notar que la parte inferior de los taludes se encuentra sometida a la acción del agua que discurre por el río Rímac. Se han encontrado secciones con hendiduras en el talud producto de los esfuerzos cortantes generados por el paso continuo del agua, ubicándose zonas donde se espera desprendimientos de los taludes. En la parte superior de los taludes se encuentran viviendas y construcciones menores. Los materiales de las viviendas están constituidos por concreto y ladrillo, que se presume han sido construidas sin asesoramiento técnico adecuado aunque también se han encontrado construcciones muy precarias que son altamente vulnerables por inestabilidad de los taludes.

En el Apéndice D se presenta un análisis detallado de estos peligros, en el cual se concluye que, el río Rímac forma una garganta profunda aguas abajo del Puente del Ejército sin presentar planicies de inundación. El material de los taludes está conformado por material aluvial de tipo conglomerado, el cual, al ser erosionado tiende a profundizarse debido a los altos esfuerzos cortantes generados en el lecho del río. No existe mayor riesgo de inundación en los alrededores del río Rímac para las avenidas de 50, 100 y 500 años debido a la profundidad del río en el tramo encañonado y, aguas arriba, el ancho del río parece haber sido suficiente para permitir el paso de los caudales pico. La profundidad del cauce en el tramo encañonado impide que el nivel de la superficie del agua lo rebase.

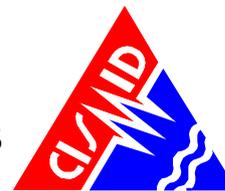
En el corto plazo, los pobladores que viven en ambas márgenes del río Rímac entre el Puente El Ejército y aguas abajo del Puente Dueñas deben ser reubicados porque el peligro de desmoronamiento es alto según un informe de JICA (1988) y los cálculos realizados por el autor de esta sección en varios estudios. En este tramo, los flujos no controlados procedentes de los desagües ubicados en la parte superior han ocasionado erosión en el talud que ha causado el desmoronamiento de las viviendas que no contaban con una salida en voladizo.

En el Plano D-01 del Apéndice D, se muestra el Mapa de Peligros de Origen Natural – Erosión Fluvial de las Riveras del Río Rímac, este mapa se superpone con el mapa de microzonificación sísmica I-02 obtenido para el distrito del Cercado de Lima, generando así el Mapa de Peligros Múltiples de este distrito I-05, debe tenerse en cuenta que para la determinación de las zonas del mapa de microzonificación sísmica ya se ha considerado el resultado del estudio de peligro sísmico para el cercado de Lima. Por lo tanto el Mapa de Peligros Múltiples del distrito del Cercado de Lima I-05, muestra las zonas de este distrito con diferente comportamiento debido a la ocurrencia de un sismo severo y a la acción de la erosión fluvial.



IX. 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 ELECTROPERUS.A.
- Bieniawski Z.T (1989) "Engineering Rock Mass Clasificación" Willey Intersciencie Publication, USA.
- Capon J., 1969, High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis: Proc. IEEE, v. 57, 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, 8CUEE Tokyo, Japan, 537-542.
- 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", Vol58, 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.
- Flores, H.C. (2004), "Método SPAC : Una alternativa para la Estimación de Modelos de 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, Vol73, N°18, 5855-5899.
- Jaimes Miguel A., Reinoso Eduardo, Ordaz Mario y Arredondo Cesar (2009), "Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico", publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pag. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS).
- JICA (1988). Final Report the Master Plan Study on The Disaster Prevention Project in the Rimac River Basin. Main Report. Tokio, Japón.
- Kramer, S.L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Kuroiwa, J.M.; Mansen, A.J; Rodríguez, E. (2004). Use of a Rock Ramp for Erosion Control.
- Kuroiwa, J.M., Mansen, A.J.; Romero, F.M.; Castro, L.F.; Vega, R. (2011) "Narrowing of the Rimac River due to Anthropogenic Causes - Partial Engineering Solutions". Congreso Mundial de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Organizado por la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE). Palm Springs, Florida, Estados Unidos. Mayo 2011.
- Hydrology Days 2004. American Geophysical Union and Colorado State University. Fort Collins, Colorado. Estados Unidos de Norteamérica.
- 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. (1988) Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements, Earthquake Spectra, 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, Nº 11, 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. Nº3. 25-30.
- Park, C., Miller, R. y Xia, J. (1999), "Multichannel analysis of surface waves". Geophysics. Vol. 64. Nº 3. 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.
- Rodríguez, E; Mansen, A; Kuroiwa, J; Abanto, G. (2001) Labores de Emergencia para la Mitigación de Socavación del Puente Dueñas. Para INVERMET.
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J.L, Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- SEDAPAL (2009), Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Optimización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de Redes y Actualización de Catastro – Área de Influencia Planta Huachipa – Área de Drenaje Puente Piedra – Chillón – Lima", Informe Técnico, Lima, Perú.
- Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp.33-44.
- Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más notables ocurridos en el Perú 1955-1970", Geofísica Panamericana, Vol2, 179-243
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín Nº3, 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.



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

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



-
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol7a, 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.