



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



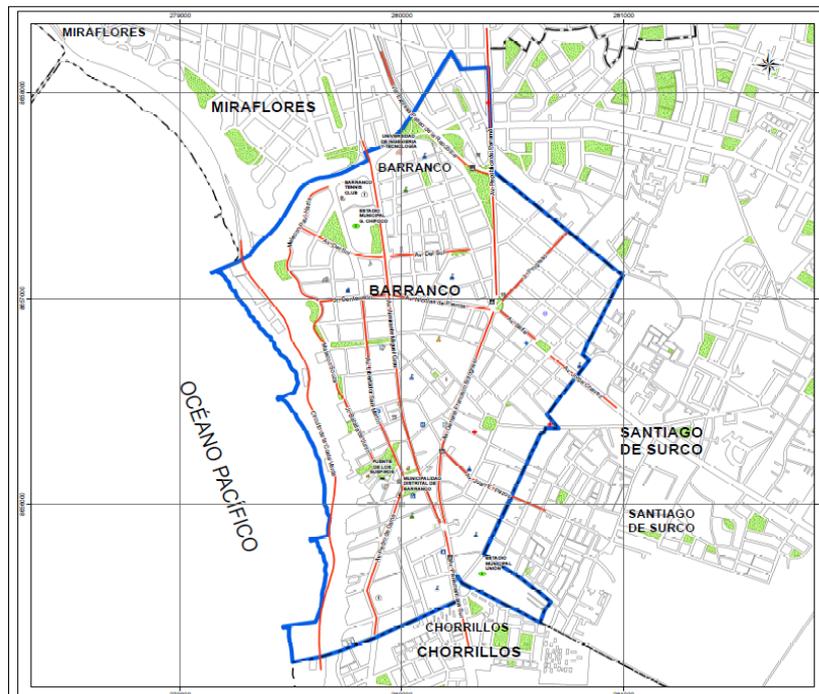
PROGRAMA 0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE PRESUPUESTAL EMERGENCIAS POR DESASTRES

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 BARRANCO



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DISTRITO DE BARRANCO**

OCTUBRE, 2015

LIMA



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

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



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DISTRITO DE BARRANCO**

Responsables del Proyecto:
Dr. Ing. Zenón Aguilar Bardales
MSc. Ing. Luis Fernando Lázares La Rosa

Jefe de Ingeniería Geotécnica:
Ing. Henry Curipaco Martínez

Jefe de Ingeniería Geofísica:
Dra. Diana Calderón Cahuana

Jefe de Geología:
Ing. Julio Zedano Cornejo

Jefe de SIG:
Ing. Silvia Alarcón Presentación

Asistentes de Trabajos de Campo y Gabinete:
Bach. Cinthia Calderón Cahuana
Bach. Zuleima Churasi Lapa
Bach. Marco Tejada Silva
Bach. Grover Riveros Soto
Bach. Elder Valentín Solís



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. Marco Geológico Regional	2
3.2. Litología Regional.....	3
3.3. Marco Geológico Local.....	5
3.4. Litoestratigrafía Local	6
3.5. Características Geológicas de los acantilados.....	6
3.6. Aspectos geomorfológicos de los acantilados	7
3.7. Aspectos lito estratigráficos de los acantilados.....	7
3.8. Peligros Geológicos.....	7
3.9. Mapa de Peligros Geológicos.....	8
4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	9
4.1. Metodología	9
4.2. Peligro Sísmico Probabilístico	11
5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO	13
5.1. Metodología	13
5.2. Tipos de Suelos	13
5.3. Análisis de Estabilidad de los Acantilados de Barranco	14
5.4. Microzonificación Geotécnica.....	17
6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO	18
6.1. Metodología	18
6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos.....	19
7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	20
7.1 Zona I.....	21
7.2 Zona II.....	21
7.3 Zona IV	21
8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	22
9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	22

REFERENCIAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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 para el Distrito de Barranco. Para ello es necesario realizar como primer paso 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. Los estudios que se realizan son: primero las características geológicas y los peligros geológicos; el segundo evalúa el peligro sísmico para estimar la aceleración máxima horizontal en roca y suelo; luego se obtienen las características geotécnicas, y dinámicas del suelo, que son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica y de Isoperiodos.

La microzonificación sísmica obtenida para el distrito de Barranco comprende: Zona I corresponde a los depósitos de gravas de compacidad media a densa con periodos menores a 0.2 segundos; la Zona II incluye a los depósitos de arenas de compacidad media a densa y a los depósitos de limos y arcillas de consistencia media a dura con periodos menores a 0.3 segundos; finalmente la zona IV está compuesta por dos áreas, las zona IV-A conformada por depósitos marinos y rellenos heterogéneos y la zona IV-B correspondiente a los acantilados de la ciudad de Lima con peligro geológico alto a que ante una acción sísmica severa las edificaciones que se encuentran cimentadas al borde del talud del acantilado pueden ser afectadas por superficies de fallas

Tomando como base el análisis de peligro sísmico probabilístico, para el que se encontró una aceleración de 455.78 cm/s^2 en suelo tipo “C” para un periodo de retorno de 475 años, y considerando los factores de amplificación asociados para las diferentes zonas, se proyectan los siguientes valores de aceleración máxima del suelo: Zona I de 455.78 cm/s^2 ; para la zona II una aceleración de 546.94 cm/s^2 ; para la zona IV de 638.09 cm/s^2 . Las velocidades máximas se proyectan en un intervalo de 60 cm/s a 120 cm/s considerando la distribución de isoperiodos en la zona de estudio.

Los resultados no deben ser utilizados para proyectos de edificaciones específicos ni reemplazan estudios requeridos por la actual normatividad vigente



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 Barranco. 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 Barranco”

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 Isoperiodos (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 Isoperiodos 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. Sus resultados son utilizados también para la determinación del Riesgo Sísmico.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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 para el distrito de Barranco, integrando para ello diferentes especialidades como geología, geotécnica y geofísica; y complementando estas con otros estudios anteriormente realizados en el distrito. El estudio se limita a las áreas urbanas actuales y áreas adyacentes a estas que podrían influenciar en ellas.

2.2. Ubicación del Área de Estudio

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

- Por el norte con el distrito de Miraflores.
- Por el sur con el distrito de Chorrillos.
- Por el este con el distrito de Santiago de Surco.
- Por el oeste con el Océano Pacífico.

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

3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS

3.1. Marco Geológico Regional

La región de Lima se ha configurado entre las unidades geotectónicas: Planicies Costaneras y Conos Deyectivos, estribaciones de la Cordillera Occidental.

3.1.1. Planicies Costeras y Conos Deyectivos

Es la zona comprendida entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental constituida por una faja angosta de territorio paralela a la línea de costa, adquiriendo mayor amplitud en los valles Chancay, Chillón, Rímac (en especial) y Lurín.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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

Una de estas planicies constituye el cono aluvial del río Rímac donde se asienta la ciudad de Lima, lo que fue una depresión, ahora rellena por gravas, arenas y arcillas formando un potente apilamiento, cuyo grosor completo se desconoce. Esta llanura aluvial se continúa al Sur con el cono aluvial del río Lurín interdigitándose sus depósitos por debajo de la cobertura eólica (al Sur de Villa y San Juan). Al Norte la planicie aluvial del Rímac se continúa con la del río Chillón, la cual se interdigita con las arenas de las pampas de Piedras Gordas y Ancón. Más al Norte, pasando los cerros de arena de Pasamayo, se tiene el cono aluvial del río Chancay con una gran amplitud teniendo la señal cerro Macatón a manera de Cerro testigo.

El distrito de Barranco, se ubica mayormente en esta unidad morfológica, formando los terrenos planos del distrito, estos están constituidos por material aluvial.

3.1.2. Estribaciones de la Cordillera Occidental

Esta unidad geomorfológica corresponde a las laderas y crestas marginales de la Cordillera Andina de topografía abrupta formada por rocas sedimentarias e ígneas, que conforman plutones y stocks del Batolito Costanero, estos emplazados con rumbo NO-SE. Estos plutones han sido disectados por los ríos y quebradas que se abren camino hacia la costa, formando valles profundos con flancos de fuerte inclinación, en donde las crestas más elevadas se estiman entre los 900 y los 3,600 m reflejando la fuerte erosión de los ríos durante el Pleistoceno-reciente. Las estribaciones de la cordillera occidental terminan hacia el Oeste en la zona de lomas con pendientes menos abruptas y menores de 30°.

En los límites del Este del distrito, se pueden observar cerros que pertenecen a las estribaciones de la Cordillera Occidental, hacia el este del distrito, se aprecian cerros de poca altura que sirven como límite distrital con el distrito de Villa María del Triunfo y Santiago de Surco.

3.2. Litología Regional

3.2.1. Grupo Morro Solar

Comprende la Formación Herradura y la Formación Marcavilca.

La Formación Herradura, descansa concordante sobre la Formación Salto del Fraile e infrayace igualmente concordante a la Formación Marcavilca. En el valle del Chillón por las



observaciones realizadas en la quebrada afluyente denominada Gangay, se supone que la parte inferior de esta formación debe encontrarse en contacto transicional, directamente sobre la Formación Cerro Blanco pues en ésta se observan niveles sedimentarios de facies similares a los de la Formación Herradura de la localidad típica. Esta formación es una unidad incompetente dentro del Grupo Morro Solar debido a su litología arcillosa, viéndose esto favorecido por su contenido de sales como yeso y cloruro de sodio, probablemente como producto de fenómenos diagenéticos en un medio salino.

La Formación Marcavilca, descansa en contacto normal sobre la Formación Herradura y subyace a la Formación Pamplona. Sus afloramientos se extienden desde el Morro Solar en Chorrillos donde tiene su localidad típica, hasta el Norte de Lima (espalda de la Universidad de Ingeniería) prolongándose hasta el valle del Chillón.

3.2.2. Grupo Lima

Comprende la Formación Pamplona y la Formación Atocongo.

La Formación Pamplona, marca el inicio de una transgresión que alcanza su pleno desarrollo con la Formación Atocongo.

Su litología presenta rocas calizas de tonos grisáceos en bancos delgados, alternando con lutitas limolíticas amarillo rojizas con niveles tobáceos, margas gris verdosas con presencia de yeso. Su espesor se estima entre 600 y 700 m. su edad geológica es del Cretácico inferior.

La Formación Atocongo, esta formación aflora en varios lugares de Carabayllo, son la continuación de la Formación Pamplona, pasando de una facie arcillo calcárea a una facie calcárea. Su litología está representada por calizas margosas en capas delgadas, finamente laminadas. Calizas afaníticas gris plomizas, calizas metamorizadas con tonalidades oscuras, bancos gruesos de calizas silicificadas, parcialmente con finos de cuarzo, presenta tonalidades grises a verdosas. Calizas metamorizada y areniscas en paquetes gruesos.

Su espesor varía de 250 a 300 m. Siendo su edad geológica es del Cretáceo inferior.

3.2.3. Depósitos Inconsolidados

Son materiales inconsolidados, de edad geológica reciente (Cuaternario), que tapizan las rocas existentes; en el distrito de Barranco se extienden ampliamente, y forman todo el área del distrito.

Además, los materiales inconsolidados reciben diferentes denominaciones en atención al origen, evolución y depositación de estos, así:



Depósitos Marinos (Qh-m), Se trata de depósitos litorales, caracterizados por materiales clásticos, llevados al mar como carga por los ríos y también como resultado de la acción erosiva de las olas y distribuidos por corrientes marinas de deriva. Estos depósitos que han existido siempre y continúan formándose en los actuales tiempos, se les encuentra a lo largo de la línea de costa, en las hojas de Chancay, Lima y Lurín habiéndoseles clasificado como Depósitos Marinos Pleistocénicos (los más antiguos) y Depósitos Marinos Recientes (los más modernos).

Depósitos aluviales, estos depósitos están constituidos por materiales acarreados por los ríos que bajan de la vertiente occidental andina cortando a las rocas terciarias, mesozoicas y Batolito Costanero, tapizando el piso de los valles, habiéndose depositado una parte en el trayecto y gran parte a lo largo y ancho de sus abanicos aluviales, dentro de ellos tenemos: aluviales pleistocénicos (más antiguos) y aluviales recientes.

3.3. Marco Geológico Local

Los aspectos geológicos a escala local, están enmarcados principalmente en la actividad de transporte y depositación de materiales acarreados por el río Rímac, estos materiales están conformados por depósitos aluviales del pleistoceno, y últimamente depósitos antropogenéticos, constituidos principalmente por rellenos de desmontes, acumulados para el proyecto Costa Verde.

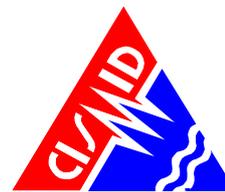
Así mismo se puede observar que el distrito de Barranco, se están realizando proyectos de ampliación de la autopista de la Costa Verde, esto mediante la adecuación del litoral con material de relleno, y realizando arenamientos, intentando ganar más terreno al mar.

Los materiales son disgregados, pertenecientes al depósito aluvial pleistocénico, se encuentra permanentemente expuesto a la erosión, debido a los factores meteorológicos, del viento o la brisa marina, propios del litoral, que ocasionan la disociación de los gránulos y por ende el desprendimiento de estos materiales. Debe considerarse también el crecimiento de la construcción de edificaciones, cercanos al borde del acantilado.

Aspectos relacionados con la geología local del distrito de Barranco, nos indica que el distrito se ha fundado sobre materiales de procedencia aluvial, del cono de deyección del río Rímac.

3.3.1. Geomorfología Local

Las geformas locales observadas en el distrito de Barranco, son originadas por la acción de acarreo y depositación del río Rímac, y la erosión marina que ha conformados acantilados, de esta forma:



Llanuras de superficies planas o semi planas, en el distrito, se encuentran terrenos de relieves plano ondulado desarrollado mayormente sobre el depósito aluvial pleistocénico, en el que se refleja modificaciones del relieve debido a la acción de las aguas superficiales (río Rímac), y la actividad antrópogenética.

Acantilados, el origen del nombre del distrito se debe a estos barrancos (acantilados). Barranco en todo su litoral presenta acantilados, la acción geológica del mar, ha erosionado a los depósitos aluviales que se encuentran en el litoral. Como consecuencia de esta erosión marina, que ha socavado la base del acantilado, con sus posteriores desplomes, han formado acantilados de pendiente vertical o sub vertical. Antiguamente, Barranco presentaba pequeñas playas productos de los arenamientos naturales, y en parte limitaba con el acantilado; pero ahora con la acumulación de desmontes, y arenamientos artificiales a base del proyecto Costa Verde, se está formando terrenos artificiales, que se han ganado al mar.

3.4. Litoestratigrafía Local

La litoestratigrafía local comprende depósitos aluviales pleistocénicos del Cuaternario antiguo y reciente, y depósitos antropogenéticos, que a continuación se describe:

3.4.1. Depósito aluvial pleistocénico (Qp-al)

Estos depósitos se encuentran formando el antiguo cono aluvial del río Rímac. La litología de estos depósitos aluviales pleistocenos está constituida por conglomerados, conteniendo gravas de tamaños heterométricos y de origen polimíctico

3.5. Características Geológicas de los acantilados

El distrito de Barranco, está situado sobre el cono de deyección del río Rímac Este cono está constituido por un material aluvial de estructura lentiforme entrelazada por depósitos superpuestos de cantos rodados, arena, arcilla y limos sin orden ni arreglo, lo que se puede notar claramente en la cara expuesta de los acantilados. Estos depósitos aluviales han sido depositados durante la última etapa del Pleistoceno y forman un abanico fluvial de más de 60 millones de años de antigüedad.

En la zona de Barranco, el porcentaje de cantos rodados constituyen más del 80%, encontrándose el nivel de sedimentos finos en la parte superficial del acantilado. Los cantos rodados están regularmente graduados y alterados en la superficie. En la base del talud existen lentes arcillosos.



3.6. Aspectos geomorfológicos de los acantilados

La geomorfología que se presenta en los acantilados puede ser descrita sobre la base del Mapa Geomorfológico de Lima realizado por Martínez y Porturas (1975) y actualizado por Martínez y CISMID (2004), en los cuales se observan las fases de evolución de los depósitos cuaternarios llamados terrazas.

Tomando como referencia el Boletín N° 43 del INGEMMET (1992), el área en estudio pertenece a la región costera, en la que se desarrolló un cono producto de la erosión e incisión del drenaje del río Rímac. En la zona existen dos unidades morfológicas denominadas: playa - acantilado y planicies costeras - conos deyectivos.

La primera unidad corresponde al área adyacente a la línea litoral, expuesta a la acción de olas marinas, que se extiende de Nor - Este a Sur - Este en forma de una faja delgada cuya anchura va desde unos metros en algunos casos y en otros pueden alcanzar de 1.00 a 2.00Km. Primero se aprecia la formación de playas a través de corrientes litorales o por deriva litoral, seguido por los acantilados que se han formado por socavamientos y erosión de la terraza aluvial, que va tomando mayor altura de Norte a Sur, presentando en mayor parte un relieve subvertical o reniforme. La segunda unidad se desarrolló a lo largo de una franja paralela a la costa en forma de planicie que fue una antigua depresión ahora rellenada por gravas, arenas y arcillas, la cual constituye el cono aluvial del río Rímac.

3.7. Aspectos lito estratigráficos de los acantilados

Las unidades lito estratigráficas existentes a lo largo de los acantilados, están relacionadas con los depósitos semi consolidados del Cuaternario. En los depósitos aluviales que conforman el acantilado, se encuentran fragmentos polimícticos y heterométricos, mezclados con materiales finos (arenas, limos, arcillas), así como de costras calcáreas.

3.8. Peligros Geológicos

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

Estos peligros, 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).

Entre los peligros naturales, se tiene a los peligros geológicos, que se explica en el presente estudio.



3.9. Mapa de Peligros Geológicos

Los peligros naturales geológicos, en el área de estudio del Distrito de Barranco, están relacionados a procesos de geodinámica externa y geodinámica interna (sismicidad). Los terrenos naturales, actualmente han sido trastocados por actividad humana, relacionada a construcción de viviendas.

Se ha sectorizado el distrito por intensidad de peligro, encontrándose peligros de intensidad muy alto, alto y bajo. Lo anterior es mostrado en el mapa A-3 del Apéndice A.

3.9.1. Peligro Muy Alto

El peligro geológico de rango muy alto, se localiza en los terrenos artificiales ganados al mar, a consecuencia del proyecto Costa Verde. Se gana terreno al mar de forma artificial, por medio de arenamientos originados por la construcción de espigones (rompe olas), y por la acumulación de rellenos de desmontes. Estos terrenos litorales de baja altimetría, pueden ser afectados por tsunamis, o por efectos de mareas excepcionales, pudiendo producir inundaciones por agua marina.

3.9.2. Peligro Alto

Las áreas susceptibles a ser afectadas por peligro alto, corresponden a donde se encuentran los acantilados. Estos son de pendientes fuertes, constituidos por materiales disgregados de baja compacidad, que pueden desplomarse por causas naturales o antropogenéticas.

En el distrito de Barranco, existen quebradas que anteriormente sirvieron para drenar aguas provenientes del río Rímac hacia el mar. La más importante es la quebrada de Armendáriz, quebrada que presenta un cauce amplio, actualmente sirve como límite distrital entre Miraflores y Barranco. Existe otra pequeña quebrada donde se ubica el Puente de los Suspiros, de gran atracción turística. Debido a lluvias excepcionales, estas quebradas se podrían activar, sirviendo de drenaje de las aguas de las lluvias, y por estar rodeadas de construcciones, podrían acarrear materiales como un huayco.

3.9.3. Peligro Bajo

Barranco es un distrito ubicado en una llanura plana, sus áreas no presentan problemas de peligros geológicos, son los terrenos planos, no hay posibilidad de sufrir inundaciones por el río, no tiene cerros aledaños, que pueda afectar a las construcciones 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 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.3-1 y B.3-2 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 Barranco, 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 Barranco	-77.02	-12.14

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 (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.02	-12.14	139.31	168.43	218.06	272.02	348.63	424.82	431.00	533.32

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 (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.03	-12.02	0.14	0.17	0.22	0.28	0.36	0.43	0.44	0.54



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

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



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.

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, 2006, es de 0.36 g para la zona de estudio, considerando la media (P.50) del modelo de atenuación.

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 Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.02	-12.14	224.92	273.08	347.56	441.37	558.43	672.48	682.2	860.1
CISMID 2006 (P.50)	-77.02	-12.14	157.47	198.40	263.04	341.88	455.78	564.71	572.35	731.8

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 Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.02	-12.14	0.23	0.28	0.35	0.45	0.57	0.69	0.70	0.88
CISMID 2006 (P.50)	-77.02	-12.14	0.16	0.20	0.27	0.35	0.46	0.58	0.58	0.75

La aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo denso del Tipo C, con velocidades de ondas de corte V_s que varían entre 360 m/s a 760 m/s, y un suelo firme del Tipo D, con velocidades de ondas de corte V_s que varían entre 180 m/s a 360 m/s de acuerdo al IBC 2006, presenta aceleraciones máximas (PGA) que varían entre 0.57 g a 0.46 g, considerando la media (P.50) de los diferentes modelo de atenuación utilizados.

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. y CISMID.



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.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del área de estudio lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizado por el CISMID, en el año 2005. De este estudio, se recopiló 10 calicatas, 12 sondajes SPT y 01 sondaje Cono Peck.

Así mismo de la empresa privada Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L., se recopiló 13 calicatas y 02 sondajes SPT. Finalmente se recopiló información de estudios geotécnicos de la empresa privada MyM Consultores S.R.L. De estos estudios, se recopiló 04 calicatas y 04 taludes.

En total para el presente estudio, se recopiló 27 calicatas, 14 sondajes SPT, 01 sondaje Cono Peck y 04 taludes que en su conjunto suman 46 puntos de exploración geotécnica recopilada.

5.2. Tipos de Suelos

Los mapas C-2 y C-3 del Apéndice C muestran los tipos de suelos a 1.0 y 2.5 m de profundidad, respectivamente. Estos son producto del análisis de la información recopilada y generada, siguiendo la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la clasificación visual del material. Los suelos característicos que predominan se describen en los siguientes ítems.

5.2.1. Gravos

Se encuentran emplazados al norte del área de estudio, son materiales de origen aluvial y se caracterizan por ser materiales de compacidad media a densa, de bordes sub redondeados a redondeados y de humedad baja. Se encuentran emplazados principalmente por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas.

5.2.2. Arenas

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales, conformados por arenas de compacidad media a densa.



5.2.3. Limos y Arcillas

Son materiales finos, de consistencia media a dura. Se encuentran emplazados en la mayor parte del área de estudio.

5.3. Análisis de Estabilidad de los Acantilados de Barranco

En el presente estudio se ha efectuado el análisis de estabilidad de los acantilados del distrito de Barranco, los cuales han sido evaluados bajo condiciones estáticas y pseudo-estáticas. En este estudio se ha revisado investigaciones posteriores realizadas en la zona de estudio (Granados, A., 2006), los cuales han sido la base de este trabajo. La metodología aplicada para el análisis de estabilidad ha sido el método de equilibrio límite, y el método de análisis de falla circular adoptado ha sido el de Spencer. Un total de nueve (09) secciones han sido analizadas, los cuales corresponde a las secciones más críticas en el distrito de Barranco, los cuales fueron seleccionados en función de la información recopilada (Granados, A., 2006) y las inspecciones de campo realizadas a lo largo de los taludes.

5.3.1. Conformación Geométrica de los Acantilados

En el presente estudio, se ha visto conveniente analizar nueve (09) secciones (1-1', 2-2', 3-3', 4-4', 5-5', 6-6', 7-7', 8-8' y 9-9'), los cuales han sido seleccionados en función del estudio de investigación llevado a cabo por Granados, A. en el 2006, así como también de las inspecciones de campo que se realizaron a lo largo de los acantilados. La ubicación espacial de las 09 secciones sobre el área de estudio se presenta en el Anexo C-3.

La conformación geométrica de las secciones analizadas, así como también los materiales de suelos que conforman a los acantilados se definieron de los estudios recopilados, como el de Granados, A. (2006) y los sondajes geotécnicos que se ejecutaron en los alrededores de los taludes, los cuales se presenta en el ítem 4.0, y de la inspección visual realizado en el área de interés. La Figura 1 muestra un panorama general del área de estudio.

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.

5.3.2. Propiedades de los materiales

Las propiedades mecánicas de los materiales aluviales que conforman a los acantilados de Barranco se definieron en función de los trabajos recopilados (Granados, A., 2006), los ensayos geotécnicos realizados en la zona de estudio e información de la literatura técnica. Los materiales de suelos predominantes son los estratos de grava y limo aluvial.



Figura 1. Vista panorámica de los acantilados del distrito de Barranco.

5.3.3. Análisis de Equilibrio Límite

En el análisis de estabilidad de los acantilados se ha considerado la presencia de las estructuras existentes hoy en día. Como se mencionó en un inicio, los acantilados han sido evaluados bajo condiciones estáticas y pseudo-estáticas. En el análisis pseudo-estático, se ha utilizado un coeficiente sísmico de 0.23g. Se ha asumido superficies de falla circular en el análisis.

El Anexo C-4 presenta las 09 secciones analizadas bajo condiciones estática y pseudo-estática. En todas las secciones se muestra el factor de seguridad mínimo obtenido ya sea bajo condiciones estática ($FS_{estático_mínimo}$) o pseudo-estática ($FS_{pseudo-estático_mínimo}$). Así mismo, se presenta las posibles superficies de falla que presentan un factor de seguridad menor a 1.5 y 1.25, bajo condiciones estáticas y pseudo-estáticas, respectivamente – valores establecidos de acuerdo a la norma E.050 Suelos y Cimentaciones (2006).

Nuestros resultados indican que tanto bajo condiciones estáticas ($FS \geq 1.5$) y pseudo-estáticas ($FS \geq 1.25$), las edificaciones que presentan un retiro con respecto del borde del talud de al menos 20 m, la estructura no se vería afectada por las potenciales superficies de falla, como se evidencia en las secciones analizadas 2-2', 3-3', 8-8', y 9-9' del Anexo C-4. La Figura 2 presenta los resultados de estabilidad de taludes de la sección 8-8', donde se aprecia que las posibles superficies de falla bajo condiciones pseudo-estáticas no implicaría el colapso de la edificación, solamente del talud

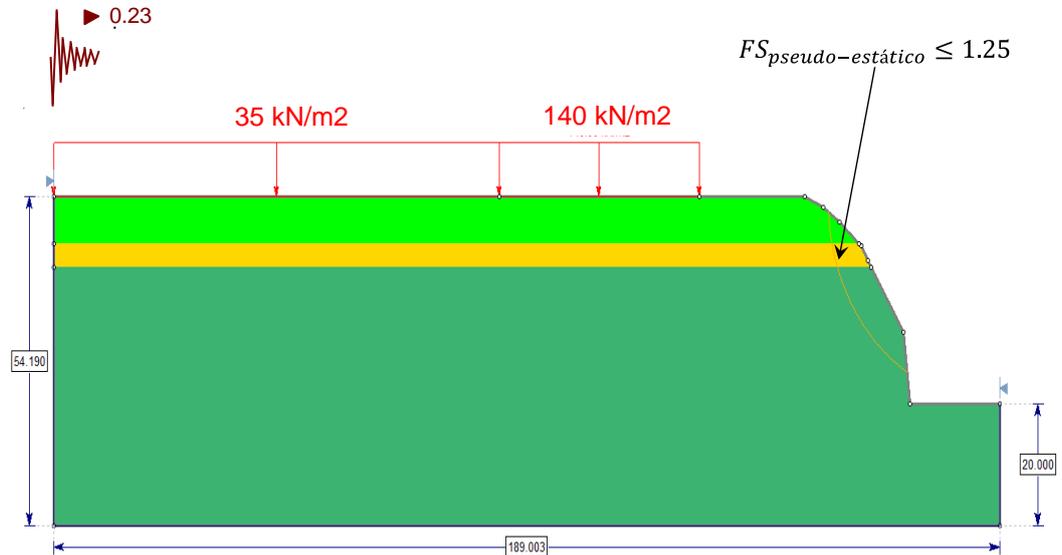


Figura 2. Resultados de estabilidad de taludes de la sección 9-9' bajo condiciones pseudo-estáticas. Se aprecia en la figura que las potenciales superficies de falla del talud no implicaría el colapso de las edificaciones que yacen sobre el acantilado.

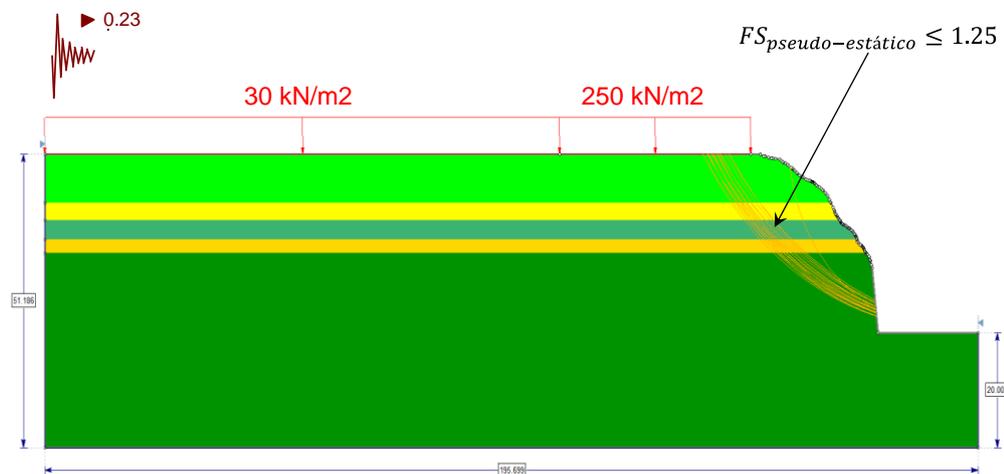


Figura 3. Evaluación de estabilidad de taludes de la sección 6-6' bajo condiciones pseudo-estáticas. Se aprecia los potenciales superficies de falla con un factor de seguridad menor igual a 1.25, de acuerdo a lo establecido a la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (2006). Los resultados obtenidos en este estudio indican que las estructuras existentes que yacen prácticamente al borde del talud como esta sección, se verían afectados por el posiblemente deslizamiento del talud.



Caso contrario se observa en las secciones restantes (2-2', 4-4', 5-5', 6-6', y 7-7'), donde las edificaciones se encuentran cimentadas prácticamente al borde del talud, y por ende las potenciales superficies de fallas del talud implicaría el colapso de las edificaciones existentes, como se aprecia en la Figura 3, correspondiente a la sección 6-6'. Para mayor detalle revisar el Anexo C-4.

5.4. Microzonificación Geotécnica

El mapa C-4 del Apéndice C describe las zonas con el material y las características geotécnicas que ofrecen para la cimentación de edificaciones convencionales considerando el tipo de suelo, su grado de compactación y las condiciones particulares del lugar. Adicionalmente, donde correspondía, 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 cada zona se presenta en el ítem siguiente.

5.4.1. Zona I

La Zona I comprende a los depósitos de gravas de compactación media a densa. 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 es de 2.0 kg/cm² a 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

5.4.2. Zona II

Esta zona incluye a las arenas de compactación media a densa y a los limos y arcillas de consistencia media a dura. Los tipos de suelos 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 kg/cm² y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre la arena, y entre 0.7 kg/cm² y 1.0 kg/cm² si se desplanta sobre los limos y 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 microtremores 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.

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

En este estudio se realizó la medición de 35 microtremores en puntos distribuidos en toda el área de estudio, formando una malla de 0.5 a 0.8 km de separación entre puntos. 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 realizaron los ensayos MASW.

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 08 ensayos geofísicos MASW en el área de estudio.

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 multicanal 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 08 ensayos de Refracción Sísmica. 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 una zona definida por un intervalo de período clasificada de acuerdo a sus características dinámicas de vibración y relacionadas con las velocidades de ondas de corte encontradas. La descripción de esta zona se presenta en el ítem siguiente.



6.2.1. Zona I

La zona I comprende el área con períodos de vibración menores a 0.20 s. Esta zona abarca la zona norte, oeste del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido. Según los perfiles obtenidos con el ensayo MASW se presentan estratos rígidos a partir de los 2.3 m de profundidad aproximadamente y a los 5.3 m de profundidad en promedio presentan valores de velocidades de ondas de corte mayores a los 365 m/s, representando estratos de material densos.

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 ubicada en parte Centro, Sur y Noreste de la zona del área de estudio. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido. Según el perfil obtenido con el ensayo MASW, se puede concluir que existe una capa de suelo blando de espesor de 10.0 m por debajo del cual el suelo aumenta su rigidez alcanzando un material granular hasta la máxima profundidad explorada de 30.0 m.

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 del Mapa de Microzonificación Sísmica (ver mapa I-2).



La Microzonificación Sísmica presenta tres zonas, cuyas descripciones se presentan en los siguientes ítems. Es importante indicar que no existe Zona III en este mapa debido a que corresponde a la descripción de suelos flexibles, los cuales no han sido encontrados en este distrito.

7.1 Zona I

Esta zona comprende a los depósitos de gravas de compactación media a densa. 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 es de 2.0 kg/cm² a 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

En esta zona se encuentran períodos de vibración lateral menores a 0.20 s.

7.2 Zona II

Esta zona incluye a las arenas de compactación media a dura y a los limos y arcillas de consistencia media a dura. Los tipos de suelos 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 kg/cm² y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre la arena, y entre 0.7 kg/cm² y 1.0 kg/cm² si se desplanta sobre los limos y arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

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

7.3 Zona IV

Se definen en las zonas IV-A y IV-B.

Zona IV-A: Corresponde a los depósitos marinos y rellenos heterogéneos identificados en la zona de playa del distrito.

Zona IV-B: Esta zona incluye el área donde se ubican los acantilados de la Ciudad de Lima, que por sus actuales condiciones presentan un peligro geológico alto, con posibilidad de sufrir desprendimientos de los materiales de los suelos que los conforman.



En este Mapa también se incorpora la Zona de Inundación por Tsunami determinada para el distrito de Barranco.

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” (IBC, 2006) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 455.78 cm/s²; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica I-2 se obtienen multiplicando el factor del suelo propuestos en la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 por la aceleración máxima PGA de 455.78 cm/s² de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima (cm/s ²)
I	1.0	455.78
II	1.2	546.94
IV	1.4	638.09

Los valores obtenidos para el área de estudio 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



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

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



suelo para el distrito de Barranco, 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 Barranco se encuentran en un intervalo de 60 cm/s a 120 cm/s, que se muestra en el Mapa I-4 del presente informe.



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 (7CUEE) & 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.

