



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



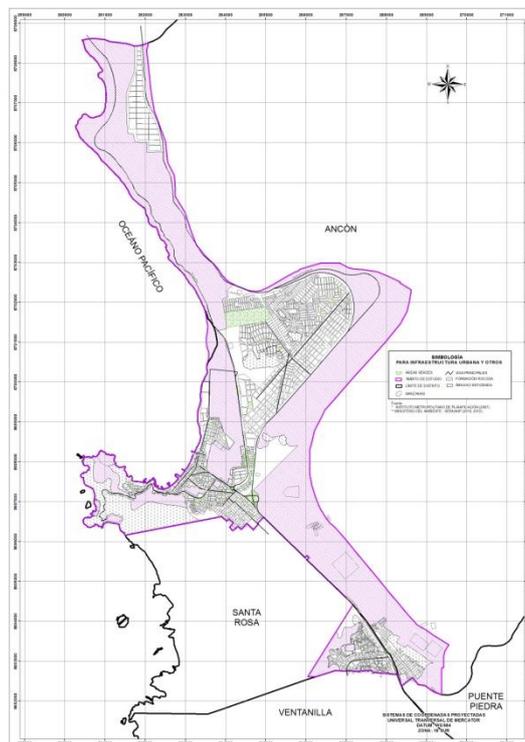
PROGRAMA 0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE PRESUPUESTAL EMERGENCIAS POR DESASTRES

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 ANCÓN



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DISTRITO DE ANCÓN**

JULIO, 2014

LIMA



ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. GENERALIDADES	2
2.1. Objetivo.....	2
2.2. Ubicación del Área de Estudio	2
3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS	3
3.1. Geología Regional.....	3
3.2. Litología Regional.....	3
3.3. Geología Estructural Regional.....	6
3.4. Geología Histórica	7
3.5. Marco Geológico Local.....	8
3.6. Litoestratigrafía Local	9
3.7. Aspectos Geo Estructurales Locales	11
3.8. Peligros Naturales	11
3.9. Mapa de Peligros Geológicos.....	12
4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	13
4.1. Metodología	13
4.2. Peligro Sísmico Probabilístico	15
5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO	17
5.1. Metodología	17
5.2. Tipos de Materiales	19
5.3. Microzonificación Geotécnica.....	20
6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO	21
6.1. Metodología	21
6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos.....	23
7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	25
7.1. Zona I.....	25
7.2. Zona II.....	26
7.3. Zona III.....	26
8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	27
9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	27



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: Mapa de inundación ante Tsunami (Recopilado).
Mapa I-3: Microzonificación Sísmica.
Mapa I-4: Aceleración Máxima Esperada.
Mapa I-5: Velocidad Máxima Esperada.



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 del Distrito de Ancón. Para ello es previamente necesario realizar un estudio de microzonificación sísmica, expuesto en el presente informe.

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

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

La Microzonificación Sísmica del distrito de Ancón tiene cuatro zonas. La zona I comprende gravas de compacidad media a densa y a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturación y en menor medida, arenas de compacidad densa; se encuentran períodos de oscilación lateral menores a 0.30 s. La zona II comprende arenas de compacidad media con períodos menores a 0.50 s, en esta zona se encuentran áreas de peligro geológico medio. La zona III comprende arenas de compacidad media con períodos mayores a 0.50 s.

Tomando como base el análisis de peligro sísmico probabilístico, para el que se encontró una aceleración de 438.37 cm/s^2 en suelo tipo “C” para un periodo de retorno de 475 años, y considerando los factores de amplificación del suelo asociados a cada zona, se estima una aceleración máxima en superficie de 569.88 cm/s^2 . Adicionalmente, se determina un intervalo de valores de velocidades máximas predominantes para el suelo de 73 cm/s a 185 cm/s considerando la distribución de isoperíodos en la zona de estudio.

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



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 Ancón. 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 Ancón”

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, corresponde a 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; que están plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice C) y de Isoperíodos (Apéndice D), respectivamente. Las características geotécnicas fueron determinadas mediante exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, los cuales permitieron identificar los diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio, así como también sus propiedades mecánicas. Por otro lado, las características dinámicas, fueron determinadas a partir de mediciones de la vibración del suelo y de ensayos superficiales de ondas de corte, para su posterior análisis mediante métodos descritos en el Apéndice D. A partir de la superposición de los mapas de Peligros Geológicos, Microzonificación Geotécnica e Isoperíodos se obtiene el Mapa de Microzonificación Sísmica. Este mapa, que constituye el resultado final, se convierte en un gran instrumento para la planificación y desarrollo urbano o para la reconstrucción después de un desastre sísmico.

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



2. GENERALIDADES

2.1. Objetivo

El objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de Microzonificación Sísmica, integrando para ello diferentes especialidades como geología, geotécnica y geofísica; y complementando estas con información técnica generada en trabajos anteriormente realizados.

El estudio está enfocado a la consideración de que sobre la zona de trabajo se encuentran construidas edificaciones convencionales. Así, el área a estudiar dentro del distrito de Ancón se limita a las áreas urbanas actuales y adyacentes a éstas que podrían influenciar en ellas, no se consideran zonas especificadas como de protección y tratamiento paisajista así como de otros usos especiales. Por lo expuesto, considerando como referencia el Plano de Zonificación del distrito de Ancón elaborado por el Instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad Metropolitana de Lima y aprobado por la ordenanza N° 1018-MML, se identificaron áreas que corresponden al Parque Ecológico Antonio Raimondi (<http://www.minam.gob.pe/pepenar/>), delimitadas según Resolución Ministerial N° 275-2011-MINAM; asimismo las áreas que corresponden a la zona reservada Lomas de Ancón, delimitadas según Resolución Ministerial N° 189-2010-MINAM; éstas no han formado parte del área de estudio.

2.2. Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra dentro de los límites el distrito de Ancón. El distrito de Ancón se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima y colinda con:

- Por el norte con el distrito de Aucallama, Provincia de Huaral.
- Por el noreste con el distrito de Huamantanga, Provincia de Canta.
- Por el este y sureste con el distrito de Carabaylo, Provincia de Lima.
- Por el sur con el distrito de Puente Piedra, Provincia de Lima y el distrito de Ventanilla de la Provincia Constitucional del Callao.
- Por el oeste con el Océano Pacífico.

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



3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS

3.1. Geología Regional

3.1.1. Geomorfología Regional

Las unidades geomorfológicas presentes son Planicies Costaneras y Conos Deyectivos, y las Estribaciones de la Cordillera Occidental.

Las Planicies Costaneras y Conos Deyectivos son zonas comprendidas 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. 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.

Las Estribaciones de la Cordillera Occidental corresponde a las laderas y crestas marginales de la Cordillera Andina de topografía abrupta formada por plutones y stocks del Batolito Costanero, emplazado con rumbo NO-SE, el mismo que ha sido disectado 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°.

3.2. Litología Regional

3.2.1. Grupo Puente Piedra

Comprende la Formación Volcánica Ancón y Formación Ventanilla.

La Formación Volcánico Ancón consiste de una potente secuencia de brechas piroclásticas, intercaladas con derrames andesíticos, aglomerados y esporádicas intercalaciones



sedimentarias y la parte superior de derrames andesíticos porfiríticos. Esta unidad corresponde a un cuerpo lenticular de dimensión regional incrementado su grosor de Sur a Norte. Así los afloramientos al Norte de Ventanilla aumentan progresivamente de espesor, hasta alcanzar dimensiones considerables en los alrededores de las playas Santa Rosa y Ancón.

La Formación Ventanilla es predominantemente sedimentaria. El grosor es variable notándose un cambio lateral de facies como aumento de grosor a medida que se avanza de Sur a Norte. Por ejemplo en Puente Inga las lutitas tobáceas tienen de 30 a 40 m de espesor; mientras que en la señal Alturas Vela se observan tres niveles tobáceos similares litológicamente a los estratos de Puente Inga, alternándose con horizontes volcánicos y sedimentos limolíticos algo fisibles y areniscas feldespáticas finas con espesor de más o menos 260 m

3.2.2. Grupo Morro Solar

Comprende la Formación Herradura y la Formación Marcavilca.

La Formación Herradura descansa concordante sobre la Formación Salto del Frayle e infrayace igualmente concordante a la Formación Marcavilca. En el valle del Chillón por las observaciones realizadas en la quebrada afluente 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 Nacional de Ingeniería) prolongándose hasta el valle del Chillón.

3.2.3. Formación Pamplona

Por sus características litológicas se comporta como una unidad plástica, mostrando pliegues de arrastre y estructura de sobrecarga, micro plegamientos y esquistocidad de fractura. Presentan en la base calizas grisáceas en bancos delgados, alternando con lutitas limolíticas amarillo rojizas con niveles tobáceos, margas gris verdosas de disyunción pizarrosa y películas de yeso. Presenta un grosor aproximado de 600 a 700 metros.

Dentro del área de estudio, aflora en colinas bajas de los cerro Conchitas, cerro Papa y cerro Mina, en los distritos Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, presentando taludes estables.



3.2.4. Formación Atocongo

Sus facies son la continuación de la Formación Pamplona, siendo su contacto normal y gradacional, pasando de una fase arcillo – calcárea a una fase calcárea de mayor profundidad. Litológicamente está constituida por calizas margosas finamente laminadas; calizas afaníticas gris plomizas, calizas metamorizadas afaníticas con tonalidades oscuras; bancos gruesos de calizas salificadas de tonos verdosos a grises y calizas metamorizadas y areniscas en paquetes gruesos interpuestos con paquetes delgados.

Se desarrollan en pequeñas colinas. En la localidad Atocongo de Villa María del Triunfo, las calizas son explotadas para la fabricación de cemento.

3.2.5. Grupo Casma

Comprende la Formación Quilmaná que litológicamente está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados, de textura porfírica, destacando los fenos de plagioclasa en una pasta fina o microcristalina de coloración gris a gris verdosa. Al Sur en el valle de Chilca, en la unión con la quebrada de Alpoquito aparecen dentro de estos volcánicos horizontes sedimentarios constituidos por areniscas arcólicas de grano fino.

3.2.6. Depósitos Inconsolidados

Son materiales inconsolidados, de edad geológica reciente (Cuaternario), que tapizan las rocas existentes; en el distrito de Ancón se extienden ampliamente, de preferencia hacia el Norte y al Este. Lo conforman los Depósitos Marinos, Depósitos Aluviales y los Depósitos Eólicos.

Los Depósitos Marinos son 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).

Los Depósitos Aluviales 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.

Los Depósitos Eólicos están conformados por las arenas móviles. Estas arenas proceden de las diversas playas del litoral, en su movimiento adoptan variadas formas como mantos, dunas y barcanes.



3.2.7. Rocas Ígneas

El batolito de la Costa (Super Unidad Patap) está constituido por gabros y dioritas, las más antiguas del Batolito. Los gabros tienen minerales que varían texturalmente de grano medio a grueso conteniendo plagioclasas en un 30 %. Intruyen a las rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico a las que metamorfizan. Las dioritas presentan un color gris oscuro con grano fino a medio, muestran adiciones de cuarzo en los contactos con las tonalitas de la superunidad Santa Rosa.

Gabros y Gabrodioritas. En el cuadrángulo de Chancay, se tiene una variación litológica, primero por alteración uralítica y luego por hibridación desde gabro original a piroxeno hasta gabros a hornblenda o rocas de composición diorítica, debiéndose estas transformaciones a soluciones residuales que provocaron la fase uralítica (reemplazo de piroxeno y hornblenda por olivino) después de lo cual se habría producido efectos de hibridación por soluciones graníticas percolantes procedentes de las Superunidades Santa Rosa, granodiorita Jecúan, adamelita Lachay y Santa Rosa de Quives.

3.3. Geología Estructural Regional

En el sector occidental, es evidente un Sistema de Fallas Longitudinales, vinculadas a una fase de compresión intracretácea, así como un sistema de fracturas y fallas transversales que obedecen a procesos tectónicos de compresión post-Batolito; es decir del Terciario inferior y superior.

3.3.1. Sistema de Fallas Longitudinales

La mayoría abarcan longitudes kilométricas y han producido dislocaciones en los flancos de los Anticlinales de Lima, Lomas del Manzano y otros, habiéndose reconocido fallas inversas y fallas normales de menor orden localizadas preferentemente en las zonas axiales. Estos fallamientos originados probablemente al final de la fase intracretácea han sufrido reactivaciones con los procesos tectónicos cenozoicos. Las observaciones microtectónicas y relaciones geológicas muestran en el fallamiento longitudinal una dirección NO-SE, paralela a la cadena andina.

3.3.2. Falla Pueblo Viejo

Esta falla que se prolonga desde el cuadrángulo de Chancay hasta el cuadrángulo de Lima, ha sido inferida, teniendo en cuenta que si observamos regionalmente la geometría del Anticlinal de Lima entre la ex-hacienda Pueblo Viejo y Tahuantinsuyo e Independencia, salta a la vista la estrechez del flanco oriental, para albergar normalmente los niveles superiores del Grupo Puente Piedra y la Formación Salto del Fraile que estarían faltando.

Se ha podido establecer como evidencia los siguientes rasgos:



- A la altura del Km 42 de la Panamericana Norte (Pampa del Canario) se encuentra a las cuarcitas Marcavilca en contacto con la parte superior de la Formación Pamplona, la misma que se encuentra reducida en potencia. Igual relación se observa en el flanco occidental del cerro Paredes.
- Más al Sureste (600 m. al Norte de la Mina Santa Barbarita) la Formación Salto del Fraile se contrapone a la parte superior de la Formación Pamplona, desapareciendo las Formaciones Herradura y Marcavilca, que sí se encuentran más al Norte; estimándose que en este sector faltan aproximadamente 400 m de sedimentos.

El rumbo de la falla Pueblo Viejo es sub-paralelo al anticlinal de Lima sufriendo un cambio de rumbo a la altura de Carabayllo, acorde con la deflexión de Puente Piedra.

3.4. Geología Histórica

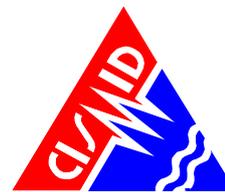
La historia geológica del área está vinculada al geosinclinal andino. Dentro de este geosinclinal, la cuenca de Lima se ubica en la margen occidental con características de Eugeosinclinal pasando hacia el Este a Miogeosinclinal. Su borde Oeste estaría en la Cordillera de la Costa y su borde este se hace difícil fijarlo dado que el batolito irrumpe, rompiendo las relaciones entre las facies occidental y facies oriental (Miogeosinclinal).

Sin embargo es evidente que el mar mesozoico a lo ancho de la cuenca andina se extendía hasta las inmediaciones de la Cordillera Oriental.

Las rocas más antiguas de las que hay testigos a través de sus afloramientos corresponden, en el Noreste del área, a sedimentos clásticos y calcáreos con una actividad volcánica que deviene del Jurásico medio a superior; mientras que hacia el Oeste y Norte de Lima (sector Puente Piedra-Ancón) el volcanismo era intenso con un foco que emitía materiales como lavas, brechas y cenizas que se van adelgazando hacia el Sur y hacia el Este. Otro foco volcánico se ubicaría al Sur del río Chillón entre los cerros Milla y Mullería de donde los derrames y piroclásticos que se asentaban en un medio marino se adelgazan lateralmente para interdigitarse con los sedimentos arcillosos reconocidos como Formaciones Puente Inga y La Pampilla (Estudio Geológico-Tectónico del Área de Lima, INGEMMET, 1981).

El batolito costanero continuó su emplazamiento a manera de pulsaciones, conformando un complejo de plutones individuales cuya acidez se hace más acentuada tardíamente (Superunidades Santa Rosa y Tiabaya).

Durante el Terciario inferior y en un área ya completamente emergida se produce una segunda fase de compresión que se manifiesta en la costa como de ruptura, observable en las unidades



intrusivas del batolito y que hacia el sector andino repliega a la secuencia mesozoica y pliega a las Capas Rojas (Fase Incaica).

Luego como resultado de esta tectónica de compresión se inicia un período de distensión que da lugar a un vulcanismo continental de tipo piroclástico.

Finalmente a fines del Terciario y comienzos del Cuaternario se inicia otro proceso erosivo intenso el mismo que se prolonga hasta la actualidad, profundizando valles, denudando y acarreado materiales hacia las llanuras costeras formando los abanicos aluviales que se extienden entre Chancay, Lima y Lurín y que alcanzan una potente secuencia de arena, cascajo y material conglomerádico que forma el soporte de la ciudad capital. Durante el Cuaternario antiguo parece ser que las lluvias fueron intensas lo que ocasionó un acarreo fuerte con el consiguiente relleno de los conos aluviales en las quebradas laterales.

Las terrazas fluviales y marinas nos estarían señalando que por lo menos en el Pleistoceno debieron ocurrir levantamientos con la epirogénesis andina y aunque esto no está completamente aclarado, de todos modos por las observaciones del Cuaternario, en la costa central del país, se señala movimientos verticales que afectaron a los depósitos aluviales y marinos antiguos.

3.5. Marco Geológico Local

Se circunscribe al levantamiento geológico del ámbito de estudio, el cual ha permitido delinear el límite del contorno de las unidades litológicas en base a las observaciones de campo en sitios tales como afloramientos rocosos, zanjas de cimentación, zanjas de drenaje y aperturas de calicatas y trincheras.

La información producto del levantamiento geológico, fue comparada con la información geofísica, de manera que ha permitido clasificar las unidades litoestratigráficas e indicadores geológicos de campo.

3.5.1. Geomorfología Local

El área de estudio, conjuga varios episodios geomorfológicos, que han dado el relieve actual. Los cuales se pueden clasificar en:

- Áreas de Llanuras: Se observan llanuras semi planas, algo ondulantes, cubiertas con material disgregado fino, que ha sido acarreado por el viento. También se observa superficialmente bloques sueltos y erráticos de diferente granulometría.
- Áreas de Lomadas: Progresando más hacia el litoral y al este del área de llanuras, los terrenos aquí son muy ondulantes; se observan colinas bajas en medio de sectores de



llanuras semi planas. Las lomadas son producto de médanos (dunas) o de terrazas de quebradas, estando todas estas lomadas cubiertas con materiales finos acarreados por el viento.

- Áreas de Colinas: El extremo este del área de estudio, se encuentran colinas que corresponden a las estribaciones de la Cordillera Occidental. Son cerros que van ganando altura conforme nos adentramos al este, de ellos bajan quebradas (actualmente secas). La colina más notoria queda al SE denominada Cerro Blanco. Estas colinas también están tapizadas por material fino acarreado por el viento.
- Quebradas: De las estribaciones de la cordillera bajan quebradas, que en el pasado han debido drenar en el mar, pero cuya parte inferior se pierde en el área de llanuras cubiertas por materiales eólicos. Algunas de estas quebradas han traído materiales consistentes en flujos de lodo y piedras (huaycos), o han depositado materiales fluviales; esto nos indica que antes ha habido periodo de lluvias.

3.6. Litoestratigrafía Local

La litología local, está representada por afloramientos de rocas sedimentarias e ígneas, y materiales disgregados, cuya granulometría van desde fragmentos pelíticos (limos – arcillas) hasta bloques que pueden tener diámetros de más de 1 m. Se describe las propiedades litológicas de estas rocas y materiales sueltos:

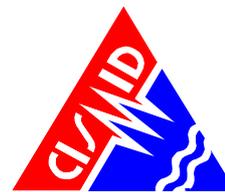
3.6.1. *Material de Origen Marino*

Consiste en detritos de granulometría fina (mayormente arenas), acarreados y acumulados por el mar. Se les encuentra en el litoral, formando playas. El arenamiento se ha producido por el transporte de arenas, debido que el mar tiene aguas tranquilas, esto se debe a que los cerros litorales que conforman la Bahía de Ancón, sirven como rompeolas naturales, que hace que las aguas sean muy tranquilas.

3.6.2. *Depósitos Eólicos*

Los materiales más notorios que se encuentran superficialmente, son los de origen eólico. Se puede diferenciar dos épocas de depositación de estos materiales.

Se encuentran depósitos eólicos pleistocenos. Estos materiales traídos por el viento, granulométricamente varían de arcillas a arenas finas, tienen tonalidades gris parduscas, presentando cierto grado de compactación. Se encuentran principalmente en las llanuras, estando mezclados con arenas gruesas, gravillas y bloques que han sido aportados por los flujos de lodo y rocas (huaycos) de quebradas que provienen de las estribaciones de la cordillera. Al Noroeste de los terrenos materia de estudio, estos depósitos eólicos se



encuentran mezclado con material muy fino arcilloso, posiblemente traídos por aguas tranquilas de una quebrada que se observa cerca.

También, se encuentran depósitos eólicos recientes. Estos depósitos son los más recientes en el área de estudio, conforman los médanos (dunas), son de tonos beige claro que tapizan la mayor parte de las geoformas que se encuentran. En algunos sectores se encuentran acumulaciones de conchuelas de moluscos de origen marino, también por bloques de rocas de diferente granulometría. Estos depósitos constantemente migran de lugar, por medio de la fuerza del viento. En ciertos lugares se acumulan formando espesores de varios metros; se encuentran tanto en la llanura como trepando lomadas y colinas.

3.6.3. Depósitos de Flujo de Lodo y Rocas

A lo largo del tiempo geológico, se han producido fuerte avenidas de lluvias, esto ha producido que en las quebradas circule agua, y en ciertas circunstancias de lluvias muy fuertes, se han producido flujo de materiales finos y gruesos disgregados formando huaycos. Los grandes bloques observados superficialmente son productos de estos fenómenos de geodinámica externa. Los bloques están conformados de rocas intrusitas del tipo gabro diorita siendo de tonos gris oscuros.

3.6.4. Depósitos Aluviales

Los depósitos aluviales se encuentran distribuidos en el lecho de las quebradas que provienen del este; constan de gravas y conglomerados polimícticos mal clasificados, unidos por una matriz arcillosa a arenosa. Los depósitos aluviales se han encontrado en las excavaciones de las calicatas, observándose gravas, gravillas y arena. Forman pequeñas terrazas fluviales, en el sector este del área. Estos depósitos están cubiertos por depósitos eólicos.

3.6.5. Depósitos Antropogénicos

Observable en el sector paralelo de la Carretera Panamericana. Se encuentra varios tipos de materiales naturales e industriales (asfalto, concreto, hormigón), que han sido traídos durante la construcción de la carretera. Todos están mezclados debido también a los cortes y rellenos efectuados en esta obra civil. A veces se observan acumulaciones en forma de lomadas.

3.6.6. Rocas Sedimentarias

Se presentan afloramientos de rocas sedimentarias como areniscas, calizas, margas, lutitas, limo arcillitas en afloramientos que conforman cerros, como los observados al Norte del distrito en la Punta El Buitre, y en algunos pequeños afloramientos al centro y Sur del distrito, actualmente sus laderas están siendo ocupadas por construcciones de viviendas.

3.6.7. Rocas Volcánicas

Estas rocas las del tipo volcánico sedimentario, pertenecen a los Volcánicos Ancón, se les observa mayormente en los cerros que conforman la Bahía de Ancón. Estas rocas limitan con



el mar, conformando acantilados y pequeños islotes cerca del litoral. No están muy urbanizados, en ellas existen vestigios arqueológicos.

3.6.8. Rocas Intrusivas

En la parte central del distrito, afloran pequeños cuerpos de rocas ígneas intrusivas, mayormente del tipo gabro – diorita. Estas intruyen a rocas calizas. Actualmente sus laderas están siendo ocupadas por viviendas.

3.7. Aspectos Geo Estructurales Locales

En el distrito de Ancón, se aprecia manifestaciones geo estructurales producto de la tectónica andina. Se aprecian fallas de gran longitud, con rumbos N-O a SE, mayormente cubiertas por materiales disgregados como arenas. En las rocas aflorantes, expuestas en los cerros del distrito, se aprecian fracturamientos, plegamientos y fallamientos, en las rocas sedimentarias y fracturamientos y fallamientos en las rocas ígneas intrusivas.

Existen también manifestaciones neo tectónicas de edad geológica reciente, que hace que los terrenos tengan ciertas basculaciones, con desplazamientos pequeños.

3.8. Peligros Naturales

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

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

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

3.8.1. Peligros Geológicos

Los peligros geológicos que se deben tener en cuenta, pueden producirse más que nada como consecuencia de lluvias extraordinarias, estas producirían inundaciones, al estar las quebradas tapadas por material eólico. Además de producir huaycos.

También hay que tomar en cuenta la movilidad de los médanos. Los vientos traen arenas levantadas del litoral y constantemente las están depositando en el área.



Se debe tener presente la ocurrencia de maretaos o tsunamis, debido a la cercanía del litoral marítimo, y estar estos terrenos relativamente bajos.

La actividad sísmica es un peligro geológico relacionado a la geodinámica interna.

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

3.8.2. Geodinámica Externa

Pueden ser derrumbes, caídas de rocas y flujos de detritos (huaycos, flujos de lodo, avalanchas de rocas o detritos). El área de estudio ha sufrido fenómenos de geodinámica externa, más que nada por la presencia y movilidad de los médanos. No se ha apreciado mayores deslizamientos y derrumbes, ya que la topografía del área no es propensa a provocar estos fenómenos. La ausencia de aguas superficiales, descarta los problemas provenientes de estas.

3.9. Mapa de Peligros Geológicos

Las áreas estudiadas del distrito de Ancón, se encuentran geomorfológicamente en llanuras aluviales, cubiertas por arenas eólicas y afloramientos rocosos; su litoral presenta morfología mayormente de erosión marítima, y en menor proporción playas como producto de la depositación de arenas marinas. La litología está compuesta por afloramientos de rocas sedimentarias, volcánicas y en menor proporción ígneas intrusivas.

Los procesos de geodinámica externa, están relacionadas a acción de los vientos, acción de la actividad del mar y el acarreo de flujos de materiales provenientes de quebradas procedentes de la Cordillera de los Andes al este del distrito. Se debe considerar que el intenso urbanismo en los últimos años, ha trastocado los relieves naturales, pudiendo en cierta forma afectar el equilibrio natural de las geoformas, como es el caso que al haber sido ocupadas por viviendas algunas laderas de los cerros, ha desestabilizado el equilibrio de las laderas, pudiéndose producir deslizamientos. También se han creado parques y otras áreas verdes, que al ser regadas, propician la filtración de agua en los materiales limo arenosos.

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



3.9.1. Peligro Alto

Se ubica en los sectores central y noroeste del área de estudio. El peligro alto se relaciona a la posibilidad de ocurrencia de maremotos (tsunamis), en playas o terrenos litorales bajos; también por movilidad de las arenas eólicas, observadas más conspicuamente al Norte del distrito en el sector de Pasamayo, la movilidad de las arenas pueden cubrir obras urbanas y carreteras; hacia el Este del distrito se tienen quebradas de buena longitud, aunque ahora se encuentran secas, si se produce una anomalía climática (Fenómeno del Niño) pueden acarrear flujos de lodo y rocas (huaycos), con la consecuente destrucción de obras civiles.

3.9.2. Peligro Medio

En sectores centrales y al Sur del área de estudio existen cerros que sus laderas están siendo ocupadas por construcciones de viviendas. Lo cerros están constituidos por rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas intrusivas. Aunque las rocas tienen condiciones geotécnicas apropiadas para cimentar viviendas, el problema es que estas no se han construido con dirección técnica, pudiendo ser afectadas por actividad sísmica.

3.9.3. Peligro Bajo

Las áreas con peligro geológico bajo en el área de estudio, están constituidos por terrenos planos o semi planos, con algunas lomadas de poca altura, ocupan mayormente la parte central y en menor proporción el sur del distrito de Ancón. Estos terrenos, están actualmente urbanizados, no presentan mayores peligros geológicos, como inundaciones, deslizamientos, huaycos u otros que puedan afectarlos. La tendencia de la expansión urbana del distrito, es hacia el Este (lado Este de la autopista Panamericana Norte).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



embargo representan adecuadamente la ocurrencia de los movimientos grandes, que son los de mayor interés para fines ingenieriles. Por esta razón, el modelo de Poisson es ampliamente utilizado para evaluar el peligro sísmico probabilísticamente.

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

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

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

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

Las leyes de atenuación pueden adoptar muy diversas formas y para estimar el peligro sísmico se utilizaron los modelos de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Young et al (1997) y CISMID (Chávez, 2006), que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo. Así mismo, se ha utilizado el modelo de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Sadigh et al (1997) para sismos continentales.



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

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

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

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

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

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

4.2. Peligro Sísmico Probabilístico

Para la evaluación del peligro sísmico probabilístico en el distrito de Ancón, 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 Ancón	-77.16	-11.75

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 periodos de retorno de 475, 950 y 2500 años, considerando 50 años de periodo de exposición sísmica.

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

Tabla 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)	-77.16	-11.75	131.38	157.91	202.66	255.77	325.91	396.21	401.60	502.74

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 (g) 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)	-77.16	-11.75	0.13	0.16	0.21	0.26	0.33	0.40	0.41	0.51

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)	-77.16	-11.75	209.22	256.44	202.66	409.19	523.37	627.50	636.36	809.48
CISMID 2006 (P.50)	-77.16	-11.75	150.72	190.80	252.05	329.40	438.37	546.34	553.51	707.24

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 (g) 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)	-77.16	-11.75	0.21	0.26	0.21	0.42	0.53	0.64	0.65	0.83
CISMID 2006 (P.50)	-77.16	-11.75	0.15	0.19	0.26	0.34	0.45	0.56	0.56	0.72



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

La aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo firme del Tipo D, con velocidades de ondas de corte V_s que varían entre 180 m/s a 360 m/s, y 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 de acuerdo al IBC (ICC, 2006), son 0.53 g y 0.45 g, respectivamente, 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 (1997) 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. Se realizaron calicatas, ensayos DPL y ensayos de laboratorio.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del área de estudio lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Ancón realizada por el CISMID, en el año 2005. De este estudio, se recopilaron calicatas, ensayos SPT y ensayos DPL. También se ha recopilado información del denominado “Estudio Geotécnico con fines de cimentación Puente en el Intercambio Vial al Puerto Santa Sofía” carretera Ancón – Serpentin de Pasamayo, realizada por la empresa privada Hidroenergía Consultores en Ingeniería S.R.L., en el año 2010. De este estudio, se recopiló 2 calicatas.

En total para el presente estudio, se recopilaron 15 calicatas, 3 sondajes de penetración estándar (SPT) y 16 sondajes de Penetración Dinámica Ligera (DPL), y que en su conjunto suman 34 puntos de exploración geotécnica recopilados.

Por otro lado, las calicatas son excavaciones de formas diversas que permiten una observación directa del terreno, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ que no requieran confinamiento (SENCICO, 2006b). Para el presente estudio las calicatas ejecutadas se realizaron con personal obrero, la finalidad de estas excavaciones fue evaluar



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación. En las veinte (20) calicatas realizadas, se procedió a la caracterización de las muestras de los diferentes tipos de suelos, siguiendo la norma ASTM D420, la cual proporciona métodos para investigación y muestreo de suelos y rocas con base en procedimientos normados, mediante los cuales pueden determinarse las condiciones de distribución del suelo, la roca y el nivel freático.

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

El ensayo DPL permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración indicando de algún modo el grado de compacidad del suelo. Estos sondajes han sido realizados mediante el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60°, utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso que cae libremente desde una altura de 50 cm según expone la norma DIN 4094-90, la cual además señala que para determinar las condiciones de cimentación en base a Auscultaciones Dinámicas, debe conocerse previamente la estratigrafía del terreno obtenida en base a la ejecución de calicatas, trincheras o perforaciones. Su uso se recomienda hasta 5 metros de profundidad pero en ningún caso se debe superar los 8 metros. (SENCICO, 2006b). Se han realizado un total de treinta y seis (36) ensayos DPL hasta una profundidad máxima de 3.90 metros.

El ensayo Cono Peck, desarrollado en el Perú, se utiliza para efectuar auscultaciones. Estos sondajes son ejecutados con la finalidad de determinar los parámetros de resistencia y compacidad del suelo. En cada uno de estos ensayos se registró el número de golpes por cada 15 cm de penetración de un cono de 2.5" de diámetro y 60° en la punta, dados por un martillo de 63.5 Kg, desde una altura de caída de 76 cm, según el procedimiento establecido en la Norma Técnica de Edificaciones E.050. Se realizaron tres (3) ensayos Cono Peck, hasta una profundidad máxima de 3.15 metros.

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

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

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



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

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

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

5.2. Tipos de Materiales

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

5.2.1. Formación Rocosa

En base al informe de Apéndice A “Evaluación de Peligros Geológicos”, las formaciones rocosas identificadas en el área de estudio son materiales conformados principalmente por unidades estratigráficas de las formaciones Volcánico Ancón, Puente Inga, Herradura, Marcavilca, Pamplona, Atocongo y rocas Gabro-diorita.

Se encuentran emplazados en los sectores topográficamente elevados, siendo ubicadas en la parte sur, colindante con el distrito de Ventanilla y Puente Piedra; así mismo en mayor dimensión en la parte centro occidental del área de estudio cercano a la zona de balneario de Ancón; también se encuentran en las inmediaciones de la Av. 6 de Noviembre. Son materiales que presentan diversos grados de fracturamiento y afectados por procesos físicos.

5.2.2. Gravas

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales y fluviales, de bordes sub-redondeados a redondeados y de humedad baja. Se encuentran emplazados, principalmente, en la superficie de las formaciones rocosas y en gran parte del área de estudio, a partir de 0.15 m de profundidad, y por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas.



5.2.3. Arenas

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales, fluviales y eólicos. En muchos casos subyaciendo a este material se registra la presencia de materiales gravosos con intercalaciones de arenas y limos.

5.3. Microzonificación Geotécnica

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

5.3.1. Zona I

Esta zona incluye a las gravas de compacidad media a densa y a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturación en caso éstas se encuentren habitadas. El primer material se registra en gran parte del área de estudio. También se incluye en esta zona a las arenas de compacidad densa que se encuentran emplazadas en sectores rodeados por cerros. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava, y mayor a 5.0 kg/cm² si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana. En el caso que se desplante sobre las arenas, se recomienda considerar valores cercanos a los 2.0 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos de escombros o rellenos no controlados.

5.3.2. Zona II

En esta zona se encuentra en mayor medida arenas de compacidad media. Los tipos de material descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre la arena. 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 tres 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.

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

Se midieron 59 puntos de microtremores distribuidos en toda el área de estudio, formando una malla de 1 a 1.5 km de separación entre puntos. Además, se han recopilado 20 microtremores realizados por el CISMID (2005). Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

6.1.2. Perfil de Velocidades de Ondas de Corte

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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 18 ensayos geofísicos MASW en el área de estudio.

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

EL método F-k fue desarrollado por Capon (1969), y es una técnica simple para la extracción de las velocidades de propagación en un rango de frecuencias determinado para un registro de microtremores (Asten, M. y Henstridge, J., 1984). Capon (1969) sugirió el uso de los espectros cruzados entre cada par de sensores como un factor útil para el cómputo del espectro de poder F-K.

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

El método SPAC (Método de Auto-correlación Espacial) fue propuesto por Aki (1957) teniendo en cuenta la teoría de microtremores que se basa en el registro de ondas superficiales y asumiendo que son estacionarios en el espacio y tiempo. Se considera un arreglo circular de microtremores que registra ondas Rayleigh generadas por el ruido ambiental, para



posteriormente extraer la onda superficial en forma de dispersión, con lo que tendríamos la velocidad de fase en función de la frecuencia.

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

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

6.1.3. Perfil de Velocidades de Ondas de Compresión

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

La energía generada viaja directamente a través de la capa de suelo más superficial o por las capas de suelo más profundas antes de regresar a la superficie debido a la refracción. Así, las ondas son registradas por los sensores o geófonos igualmente espaciados a cierta distancia establecida. Después de cierta longitud desde el punto de la generación de energía, la onda refractada es observada como la primera onda en arribar. La refracción sísmica usa el proceso de refracción crítica para inferir profundidades de fronteras entre capas de suelo y velocidades de estas (Anomohanran, 2013).

Se han realizado 18 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 denominado Zonas de Isoperiodo del Apéndice D muestra cuatro zonas definidas por diferentes intervalos de períodos clasificadas de acuerdo a sus características dinámicas de vibración y relacionadas con las velocidades de ondas de corte encontradas. La descripción de estas zonas se presenta en los ítems siguientes.



6.2.1. Zona I

La zona I comprende el área con períodos de vibración menores a 0.20 s. Esta zona se encuentra en gran parte de la zona central del área de estudio. 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 3.0 m de profundidad en promedio y a la máxima profundidad explorada de 30.0 m en promedio se presentan velocidades de ondas de corte desde 685 m/s hasta 1240 m/s, representando estratos rígidos de material granular denso a estratos muy rígidos de roca alterada.

6.2.2. Zona II

La zona II comprende el área con períodos de vibración de 0.20 s a 0.30 s. Esta zona se encuentra en una parte del sur, tanto el extremo oeste y nor-este del área de estudio. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido. Según los perfiles obtenidos con el ensayo MASW se presentan estratos rígidos a partir de los 5.0 m de profundidad en promedio y a la máxima profundidad explorada de 35.0 m se presentan velocidades de ondas de corte desde 475 m/s hasta 785 m/s, representando estratos rígidos de material granular denso y estratos de roca alterada con aumento en la rigidez para mayores profundidades. Según los perfiles obtenidos con los arreglos de microtremores se puede concluir que existe un material granular medianamente denso de espesor menor a 13.0 m por debajo del cual el suelo aumenta su rigidez alcanzando a un estrato con velocidades de ondas de corte que representan roca alterada a partir de los 36.0 m de profundidad en promedio.

6.2.3. Zona III

La zona III comprende el área con períodos de vibración de 0.30 s a 0.50 s. Esta zona se encuentra en la parte del norte del área de estudio. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible. Según los perfiles obtenidos con el ensayo MASW se presentan estratos medianamente rígidos de espesores entre 11.0m y 27.0 m, a la máxima profundidad explorada de 30.0 m en promedio presentan velocidad de ondas de corte desde 410 m/s hasta 540 m/s, representando estratos de material granular denso. Según el perfil obtenido con los arreglos de microtremores se muestra que existe un material granular medianamente denso de espesor menor a 12.0 m por debajo del cual el suelo aumenta su rigidez alcanzando a un estrato con velocidades de ondas de corte que representan roca alterada a partir de los 46.0 m de profundidad; con lo que se puede concluir que, los estratos de mayor rigidez se encuentran a mayores profundidades en comparación con el perfil del arreglo de microtremores de la zona II.

6.2.4. Zona IV

Se ubica predominantemente en la parte norte del área de estudio, y presenta períodos de vibración mayores a 0.50 s., alcanzando hasta alrededor de 1 s. Los perfiles MASW realizados en esta zona presentan estratos de gran potencia de material granular suelto a medianamente



denso hasta los 15.0 m de profundidad aproximadamente y a la máxima profundidad explorada de 35.0 m presentan velocidades de ondas de corte de 400 m/s aproximadamente, representando estratos de material granular denso con aumento en la rigidez para mayores profundidades. Adicionalmente para esta zona el perfil A-01 obtenido con los arreglos de microtemores muestra que existe un material granular denso a partir de los 12.0 m hasta los 140.0 m de profundidad llegando a velocidades de ondas de corte de 640 m/s, con lo que se puede concluir que, los estratos de mayor rigidez se encuentran a profundidades mucho mayores en comparación con los perfiles de los arreglos de microtemores de las demás zonas.

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) y el mapa de Inundación por Tsunami (ver mapa I-2 del presente informe), éste último tomado del estudio “Evaluación de la amenaza Frente a Tsunami para Lima y Callao” (CISMID, Junio 2011). 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-3 del presente informe).

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

7.1. Zona I

Esta zona incluye a las gravas de compacidad media a densa y a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturación en caso éstas se encuentren habitadas. El primer



material se registra en gran parte del área de estudio. También se incluye en esta zona a las arenas de compacidad densa que se encuentran emplazadas en sectores rodeados por cerros.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava, y mayor a 5.0 kg/cm² si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana. En el caso que se desplante sobre las arenas, se recomienda considerar valores cercanos a los 2.0 kg/cm². El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos de escombros o rellenos no controlados. En esta zona se encuentran períodos de vibración horizontal menores a 0.30 s.

7.2. Zona II

En esta zona se encuentra predominantemente arenas de compacidad media. La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre la arena. Los tipos de material descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales. 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 oscilación horizontal menores a 0.50 s.

Adicionalmente, dentro de esta zona se incluye aquellas áreas definidas con peligro geológico medio. Éstas corresponden a cerros con laderas ocupadas por viviendas que pueden ser afectadas por actividad sísmica

7.3. Zona III

En esta zona se encuentra predominantemente arenas de compacidad media. La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre la arena. Los tipos de material descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales. 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 oscilación horizontal mayores a 0.50 s.



8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativa estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico que corresponde para un suelo “Tipo C” (ICC, 2006) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 438.37 cm/s²; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostradas en el mapa de Microzonificación Sísmica I-4 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 por la aceleración máxima PGA de 438.37 cm/s² de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima (cm/s ²)
I	1.0	438.37
II	1.2	526.04
III	1.3	569.88

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

9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

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

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

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

donde la velocidad máxima esperada del suelo, V_{max} , se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo, A_{max} , y del periodo de oscilación del suelo, T_s , para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito de Ancón, 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-4 Aceleraciones Máximas Esperadas del presente informe y el Mapa D-3 Zonas de Isoperiodos del Apéndice D. Los valores de velocidades máximas del suelo para el distrito de Ancón se muestran en el Mapa I-5 del presente informe denominado Velocidades Máximas Esperadas.



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.
- CISMID, 2011, "Evaluación de la Amenaza Frente a Tsunami para Lima y Callao".
- Esteva, L., 1970, "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", Publicación N 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar Arredondo, 2009. "Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis de peligro sísmico".
- 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., Aguilar A., Arboleda J, 1999, "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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



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

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



- Engineering (7CUEE) & 5th International Conference on Earthquake Engineering (5ICEE), Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, 115-124.
- 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

