



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



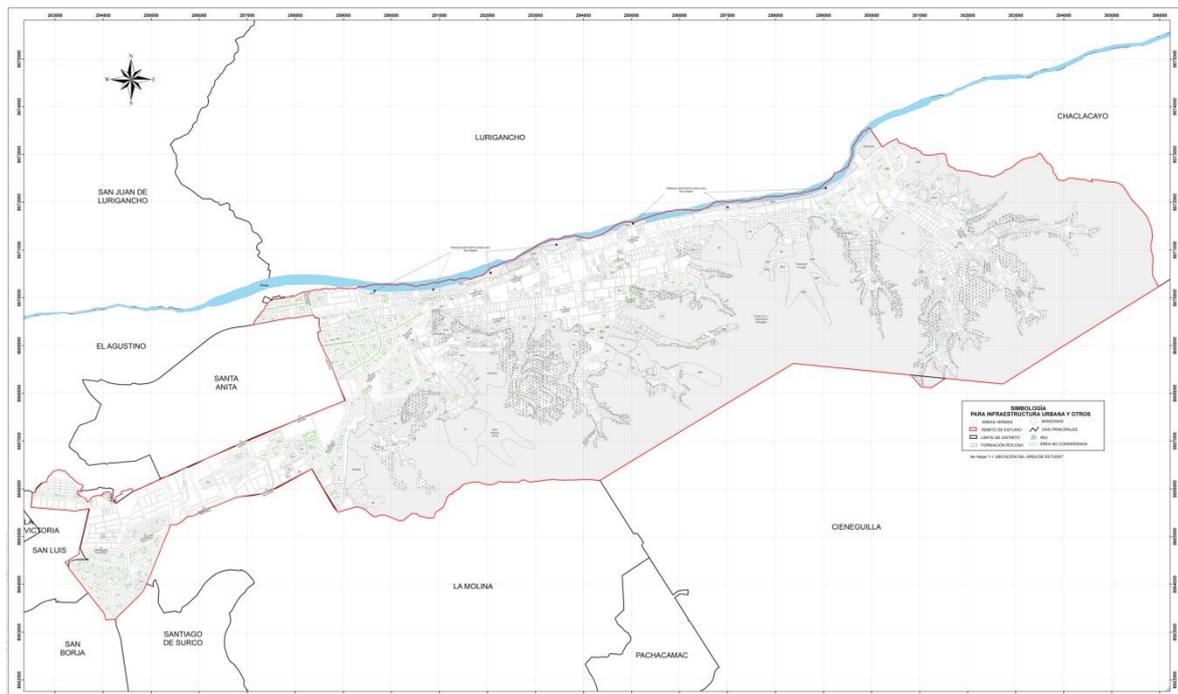
PROGRAMA 0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE PRESUPUESTAL EMERGENCIAS POR DESASTRES

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 ANÁLISIS 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 ATE



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DISTRITO DE ATE
SEPTIEMBRE, 2014
LIMA



ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. GENERALIDADES.....	2
2.1. Objetivo.....	2
2.2. Ubicación del Área de Estudio	2
3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS	2
3.1. Marco Geológico Regional	2
3.2. Litología Regional	3
3.3. Marco Geológico Local.....	6
3.4. Litoestratigrafía Local	6
3.5. Aspectos Estructurales.....	7
3.6. Peligros Geológicos	7
3.7. 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 Materiales.....	15
5.3. Microzonificación Geotécnica.....	16
6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO	17
6.1. Metodología	17
6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos	20
7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	21
7.1. Zona I.....	21
7.2. Zona II.....	22
7.3. Zona IV	22
8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	23
9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	23



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



REFERENCIAS

LISTA DE TABLAS

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

LISTA DE APÉNDICES

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

LISTA DE MAPAS

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



RESUMEN

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

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

Así, este trabajo se desarrolló a través de diferentes estudios. El primero estudia las características geológicas y los peligros geológicos, el segundo evalúa el peligro sísmico para estimar la máxima aceleración 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 Ate presenta tres zonas. La zona I comprende áreas conformadas por gravas de compacidad media a densa y rocas con diferentes grados de fracturación, también comprende áreas conformadas por arenas de compacidad densa y limos y arcillas de consistencia dura. En esta zona, los períodos de vibración natural del suelo son menores a 0.30 s. La zona II comprende áreas conformadas por arenas de compacidad media así como limos y arcillas de consistencia media. Los períodos de vibración natural del suelo en esta zona varían entre 0.30s y 0.50s. En esta zona se encuentran también áreas de peligro geológico medio. La zona IV comprende áreas de peligro geológico alto y muy alto, conformadas principalmente por laderas de fuerte pendiente.

Tomando como base el análisis de peligro sísmico probabilístico, se encontró que la aceleración horizontal máxima esperada para un evento de 475 años de periodo de retorno es de 403.65 cm/s^2 en roca. En consecuencia, considerando los factores de amplificación sísmica asociados a cada zona se encuentra una aceleración máxima de 565.11 cm/s^2 a nivel de la superficie del suelo. Adicionalmente, considerando la distribución de isoperiodos en la zona de estudio, se encuentra un rango de velocidades máximas predominantes de 110 cm/s a 140 cm/s en la superficie del suelo.



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

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



Los resultados de este informe no deben ser utilizados para el diseño de proyectos específicos de edificaciones ni reemplazan a los estudios de mecánica de suelos 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 Ate. 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 Ate”

La microzonificación sísmica es un estudio multidisciplinario, que investiga los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuación 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 horizontal máxima (PGA) en roca y suelo (Apéndice B). Los siguientes determinan las características geotécnicas y dinámicas del suelo en el área de estudio; estas características son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice C) y de Isoperíodos (Apéndice D), respectivamente. Las características geotécnicas fueron determinadas mediante exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, los cuales permitieron identificar los diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio, así como también sus propiedades físicas y mecánicas. Por otro lado, las características dinámicas, fueron determinadas a partir de mediciones de la vibración natural del suelo y de ensayos geofísicos para determinar el perfil de velocidades de ondas de corte, los cuales fueron realizados 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 del estudio, se convierte en un gran instrumento para la planificación y desarrollo urbano o para la reconstrucción después de un desastre generado por estos fenómenos.



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 el mapa de Microzonificación Sísmica del Distrito de Ate, integrando para ello diferentes especialidades como geología, geotécnica y geofísica; y complementando éstas con otros estudios anteriormente realizados en este distrito. En vista que el objetivo final es la evaluación del riesgo sísmico de este distrito, el alcance del presente estudio es evaluar el comportamiento sísmico del suelo en las áreas urbanas actuales y en las áreas adyacentes a éstas que podrían influenciar en ellas en caso de la ocurrencia de este fenómeno. Para lo anterior, se consideró como área de intervención el área delimitada por el “Plan Urbano del Distrito de Ate” elaborado por la Sub Gerencia de Planificación Urbana y Catastro en el año 2013.

2.2. Ubicación del Área de Estudio

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

- Por el norte con los distritos de Lurigancho y Santa Anita de la Provincia de Lima.
- Por el sur con los distritos de La Molina y Cieneguilla de la Provincia de Lima.
- Por el este con el distrito de Chaclacayo, Provincia de Lima.
- Por el oeste con los distritos de Santiago de Surco, San Borja, San Luis y El Agustino de la Provincia de Lima.

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

3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS

3.1. Marco Geológico Regional

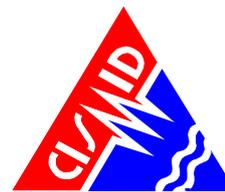
3.1.1. Aspectos Geomorfológicos

Los rasgos geomorfológicos regionales del área que involucra el estudio, evidencian que ésta se encuentra ubicada en las estribaciones andinas occidentales, caracterizada por la presencia de amplias quebradas. Las estribaciones de la Cordillera Occidental corresponde



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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

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

La Llanura Pre andina definida como una faja que se extiende entre la línea de Cordillera de la Costa y la Cordillera Occidental tiene anchos que varían entre 20 y 100 Km., presentando elevaciones que van de 50 a 1500 msnm. Tiene relieves moderados y clima desértico. Presenta depósitos cuaternarios eólicos y aluviales de los ríos que drenan de la Cordillera Occidental. La Planicie costanera y Cono deyectivo es la zona comprendida entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental, está constituida por una faja angosta de territorio paralela a la línea de costa, adquiriendo mayor amplitud en los valles de los ríos Chillón y Rímac. Constituyen amplias superficies cubiertas por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación de los ríos Rímac y Chillón, así como por arenas provenientes del acarreo eólico desde las playas, por los vientos que corren con direcciones SO a NE.

El cono aluvial del río Rímac constituye una planicie donde se asienta parte del Distrito de Ate, lo que fue una depresión ahora rellena por cantos rodados, gravas, arenas y arcillas, formando un potente apilamiento cuyo grosor completo se desconoce. El área en estudio se ha emplazado en las Pampas costaneras, que representa una de las principales unidades geomorfo estructurales que se distribuyen en el territorio peruano. Esta unidad se extiende en la región geográfica denominada Costa, se caracteriza por cubrir una amplia planicie y están recortadas por el río Chillón y al Este está representada por el flanco occidental de la cordillera de los Andes.

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

3.2. Litología Regional

La evolución geológica del área de estudio está vinculada a los diferentes episodios que se produjeron durante el emplazamiento de la Cordillera de los Andes. Rocas ígneas volcánica – sedimentarias, representadas por el Grupo Casma, se emplazaron durante el Cretáceo medio y luego las rocas sedimentarias de las formaciones geológicas Pamplona y Atocongo.



En la primera fase tectónica o ligeramente posterior, se emplazan los cuerpos más básicos y occidentales del batolito, habiéndose tenido como manifestaciones precursoras la ascensión de magmas, de similar composición, que llegan hasta cerca de la superficie como cuerpos sub volcánicos intrusivos. El batolito costanero continuó su emplazamiento a manera de pulsaciones, conformando un complejo de plutones individuales, cuya acidez se hace más acentuada.

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

3.2.1. 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 aflora en varios lugares de Ate, es 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 fenos de cuarzo, presenta tonalidades grises a verdosas. Calizas metamorizada y areniscas en paquetes gruesos. Su espesor varía de 250 a 300 m. Su edad geológica es del Cretáceo inferior.

3.2.2. Depósitos Inconsolidados

Estos depósitos, en el área de estudio, son depósitos aluviales pleistocénicos, conformadas por acumulaciones aluviales desérticas que provienen de quebradas como la de Canto Grande. Cuando las lluvias son abundantes en los contrafuertes andinos se han producido corrientes lodosas y huaycos.

Su litología comprende conglomerados, conteniendo cantos de diferentes tipos de rocas especialmente intrusivas y volcánicas, gravas sub angulosas cuando estas han tenido muy poco transporte; arenas de diferente granulometría y en menor proporción limos y arcillas. Todos estos materiales se encuentran intercalados en depósitos de gran potencia.



3.2.3. *Rocas Intrusivas*

Las rocas ígneas del área pertenecen al Batolito de la Costa. Según su antigüedad, las rocas observadas pertenecen a las superunidades Patap y Santa Rosa.

La superunidad Patap está constituida 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 super unidad Santa Rosa.

La superunidad Santa Rosa está constituida por cuerpos tonalíticos – dioríticos y tonalíticos – granodioríticos, tienen una gran extensión. Se emplazaron posteriormente a los gabros y dioritas de la super unidad Patap. Se le divide en cuerpos oscuros (diorita – tonalitas) y cuerpos claros (tonalita – granodioritas).

3.2.4. *Material de Cobertura*

Consiste en el material suelto que se extiende en gran parte de la faja de la costa en la parte central del Perú. Además, el material de cobertura recibe las diferentes denominaciones en atención al origen, evolución y depositación de éstos. Así, se tiene el depósito aluvial y el depósito coluvio aluvial.

El depósito aluvial (Q-al) ocupan una mayor extensión en la parte baja de los valles de los ríos de la costa conformando los conos de deyección y las planicies aluviales de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Estos depósitos están constituidos por materiales acarreados por los ríos que bajan de la vertiente occidental andina cortando a las rocas del mesozoico y que fueron acumulados en bancos que reflejan una distribución uniforme de materiales finos y gruesos, los cuales, por el tiempo de formación, han dado lugar a depósitos aluviales antiguos (depósitos pleistocénicos) y recientes (holocénico).

El depósito coluvio aluvial (Q-coal) se distribuye en la franja costera rellenando la parte baja de las microcuencas, conforman planicies y conos de deyección en la Provincia de Lima. Los depósitos se forman por la acción conjunta del agua y la gravedad, que acarrean los sedimentos en un recorrido de cortas distancias, dando lugar a los depósitos de materiales ubicados en la parte baja de las laderas y que se distribuyen en superficies de pendiente baja. Consisten de clastos angulosos (cascajo) con arena y limo, mantienen clasificación y una aparente estratificación entre los materiales.



3.3. Marco Geológico Local

A continuación, se describe los resultados del levantamiento geológico local realizado por el ingeniero geólogo integrante del equipo técnico.

La geología local 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 trincheras artificiales.

La información geológica fue correlacionada con la información geotécnica, permitiendo de manera fácil y rápida confirmar la información mediante indicadores geológicos de campo y toma de muestras para su estudio y comprobación en gabinete; además se ha reconocido y complementado la misma en las áreas nuevas de expansión urbana.

Como resultado del levantamiento geológico local, en el distrito de Ate, se ha determinado que el basamento rocoso está conformado por rocas de origen ígneo (volcánicas) y sedimentario, del Cretáceo medio y como material de cobertura se presentan depósitos aluviales, coluviales, coluvio aluviales, de edades del Cuaternario reciente y del Cuaternario pleistocénico.

3.3.1. Geomorfología Local

En el área de estudio se destacan relieves que representan diferentes unidades de menor categoría. Así, en el ámbito de estudio se encuentra un relieve plano ondulado desarrollado mayormente sobre depósitos aluviales y rocas, que refleja modificaciones del relieve debido a la acción de las aguas superficiales (río Rímac), la gravedad y la actividad antrópica.

Dichas modificaciones han dado lugar a distintas formas de relieve, representados por una planicie aluvial, coluvio - aluvial, terraza aluvial, talveg, conos eyectivos, cerro testigo y laderas, los que se acentúan por la naturaleza del basamento rocoso y los materiales de cobertura.

3.4. Litoestratigrafía Local

3.4.1. Material de Cobertura

Consiste en materiales inconsolidados acarreados y acumulados por las aguas del río Rímac y de las quebradas, por acción eólica y por la actividad humana. Presenta una disposición y correlación con depósitos que se extienden en los otros distritos, donde los depósitos por la diferente naturaleza litológica y origen han sido separados en aluviales, coluvio aluviales, y antropogénico.



3.5. Aspectos Estructurales

La deformación tectónica en la región está relacionada a la Fase Tectónica Andina del Cretáceo Superior-Paleógeno (KP), que ha delineado la acción erosiva de las superficies y ha controlado la distribución de las colinas y los montes islas.

No se ha registrado en los antecedentes históricos ni en el campo la presencia de deformaciones tectónicas en los depósitos cuaternarios.

3.6. Peligros Geológicos

Son 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 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).

3.6.1. Peligros Geológicos

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

3.6.2. Peligros Geológico-geotécnicos

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

3.6.3. Peligros Geológico-climatológicos

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



3.7. Mapa de Peligros Geológicos

Los peligros naturales geológicos, en el área de estudio del Distrito de Ate, 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 alta a baja.

3.7.1. Peligro Muy Alto

Se encuentra en las partes altas de los cerros y de las quebradas, donde la pendiente de estas quebradas es fuerte y las laderas de los cerros presentan pendientes fuertes.

Las partes altas de los cerros donde nacen las quebradas, se encuentran al sureste, se observa en las laderas bloques de rocas sueltos de diámetros mayores a 1 m, asimismo en el fondo de las quebradas existen presencia de fragmentos de rocas, estas mayormente del tipo ígneas intrusivas (granadoritas y dioritas) y en menor proporción volcánicas (andesitas).

Debido a incrementos inusuales de lluvias o de actividad sísmica, existe la gran posibilidad de que puedan producirse desplomes de los bloques de rocas sueltas por las laderas y flujos de detritos y lodo (huaycos).

Las zonas de peligro muy alto, se ubican en las partes altas de las quebradas de Huaycán, en la quebrada donde se encuentra el asentamiento humano Horacio Zevallos y en la quebrada al sur del fundo Barbadillo.

3.7.2. Peligro Alto

Se encuentra en la continuación aguas abajo, de las quebradas mencionadas arriba. En esta zona, los cerros presentan laderas de pendiente moderada y también las quebradas tienen sus cauces con pendiente moderada. Se observan bloques sueltos de rocas ígneas tanto intrusivas como volcánicas, y en las quebradas materiales inconsolidados con fragmentos de tamaño heterométrico.

Debido a incrementos inusuales de lluvias o de actividad sísmica, se pueden producir deslizamientos y desplomes de bloque de rocas o flujos de materiales (huaycos) de los materiales disgregados. A diferencia de las zonas con peligro alto, estas bajan su peligrosidad por presentar pendientes moderadas.



3.7.3. Peligro Medio

Son aquellas áreas que forman las laderas de las partes bajas de los cerros de Ate. Estas laderas son mayormente de pendiente moderada suave, conformada por rocas ígneas intrusivas y volcánicas. Se aprecia al pie de los cerros, depósitos coluviales y parte del área tiene cobertura de arenas de procedencia eólica. Las rocas que forman los cerros, limitan en su parte baja, con materiales que conforman depósitos aluviales, que fueron transportados por el río Rímac.

Se considera también como áreas de peligro medio, a los terrenos aledaños en la margen izquierda del río Rímac. Caudales excepcionales de agua, pueden hacer que se desborde el río, perjudicando a las obras civiles cercanas; también provocaría el incremento de erosión de riberas.

3.7.4. Peligro Bajo

Se ubica en las áreas planas del distrito de Ate, que está conformada por llanuras constituidas por depósitos aluviales. Estos depósitos son materiales disgregados acarreados por las aguas del río Rímac, constituidos por cantos rodados de origen polimícticos y heterométricos), y por materiales de granulometría pequeña (pelíticos) como arenas, limos y arcillas. Los depósitos aluviales son de edad geológica del Cuaternario, pudiendo ser de emplazamiento reciente o más antiguo (Pleistoceno).

Los cantos rodados se intercalan con materiales finos en forma repetitiva, presentando una estratificación de diferentes espesores. Estos materiales tienen una buena resistencia cortante, presentando buenas condiciones como suelo de fundación, además proporcionan áridos de construcción que son explotados por medio de canteras (La Gloria).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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 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 B-1 y B-2.

4.2. Peligro Sísmico Probabilístico

Para la evaluación del peligro sísmico probabilístico en el distrito de Ate, 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 Ate	-76.88	-12.03



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

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



Las Tablas 2, 3, 4 y 5 muestran los resultados obtenidos con el programa CRISIS 2007 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en el punto de análisis considerando los modelos de atenuación para sismos de subducción de Youngs et al, 1997 para roca (Suelo Tipo B) y suelo (Suelo Tipo D) y CISMID (Chávez, 2006) para suelo (Suelo Tipo C). 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 diversos períodos de retorno.

Tabla 2. Aceleraciones espectrales en roca (Suelo Tipo B) 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)	-76.88	-12.03	124.16	150.35	191.89	244.06	309.94	375.28	380.67	480.61

Tabla 3. Aceleraciones espectrales en roca (Suelo Tipo B) 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)	-76.88	-12.03	0.13	0.15	0.20	0.25	0.32	0.38	0.39	0.49

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) (Suelo Tipo D)	-76.88	-12.03	199.29	245.84	309.06	388.46	500.02	598.51	606.49	769.24
CISMID 2006 (P.50) (Suelo Tipo C)	-76.88	-12.03	139.09	175.77	232.44	304.66	403.65	503.84	512.17	652.95



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) (Suelo Tipo D)	-76.88	-12.03	0.20	0.25	0.32	0.40	0.51	0.61	0.62	0.83
CISMID 2006 (P.50) (Suelo Tipo C)	-76.88	-12.03	0.14	0.18	0.24	0.31	0.41	0.51	0.52	0.67

La Norma de Diseño Sismorresistente E.030 define el parámetro 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 (ICC, 2006), es de 0.32 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 0.51 g y 0.41 g, respectivamente, considerando la media (P.50) de los diferentes modelo de atenuación utilizados.

5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO

5.1. Metodología

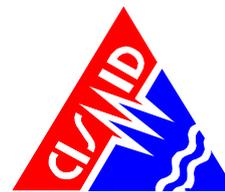
Para la caracterización geotécnica de los suelos del área de estudio se consideraron tres aspectos. Estos son, el tipo de suelo según su clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el grado de compacidad del suelo y sus características mecánicas. Finalmente, las condiciones particulares del lugar o el comportamiento especial que el suelo pueda presentar. Se realizaron calicatas, ensayos DPL y ensayos de laboratorio.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del área de estudio lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizada por el CISMID, en el año 2005. De este estudio, se recopilaron 44 calicatas y 2 ensayos de



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



penetración estándar (SPT). Se recopiló información del estudio denominado “Zonificación Sísmica-Geotécnica del Área Urbana de Huaycán-Ate”, realizada por el Instituto Geofísico del Perú, en el año 2012. De este estudio, se recopilaron 15 calicatas. También, se recopiló información del denominado “Estudio Geotécnico de Cimentación del Centro de Control Biológico de Plagas” realizado por la empresa privada Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L., en el año 2001. De este estudio, se recopiló 1 calicata y 1 sondaje de penetración estándar (SPT). Finalmente, se recopiló información del denominado “Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural y no Estructural – Hospital de Huaycán” realizado por el CISMID, en el año 2013. De este estudio, se seleccionó 1 calicata.

En total para el presente estudio, se recopilaron 61 calicatas y 3 sondajes de penetración estándar (SPT) que en su conjunto suman 64 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 se realizaron 20 calicatas, las cuales fueron ejecutadas con personal obrero. La finalidad de estas excavaciones fue evaluar 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.

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. Los ensayos estándar de mecánica de suelos, realizados con la finalidad de clasificar el suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), 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

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

Los Mapas C-2 y C-3 del Apéndice C muestran 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 así como de 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. Gravas y Rocas

En base al informe de Apéndice A “Evaluación de Peligros Geológicos”, las rocas identificadas en el área de estudio, son materiales conformados principalmente por rocas intrusivas pertenecientes a la Superunidad Patap. Se encuentran emplazadas en gran parte de área de estudio conformando sectores topográficamente elevados, ubicados desde la zona de Mayorazgo hasta Huaycán. Son materiales que presentan diversos grados de fracturamiento y están afectadas por procesos de intemperismo físico.

Las gravas, son materiales de origen aluvial y aluvional, que pertenecen al abanico fluvial depositado por el río Rímac y coluvial por su procedencia de los cerros del distrito. Se caracterizan por ser materiales de compacidad media a densa, de bordes sub redondeados a redondeados en las partes bajas y medio altas del área de estudio, y sub angulosos en las partes topográficamente elevadas del área de estudio y de humedad baja. Se encuentran emplazados principalmente en las zonas bajas y medio altas del área de estudio a partir de 0.20 m de profundidad por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas; y superficialmente, sobre las formaciones rocosas en las partes altas del distrito.

5.2.2. Arenas

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales, coluviales y eólicos. Subyaciendo a este material se registra la presencia de materiales gravosos con intercalaciones de arenas, limos y arcillas.



5.2.3. Limos y Arcillas

Son materiales finos superficiales. Subyaciendo a este material se encuentra la grava. Se encuentran emplazados en la parte central y oeste del área de estudio en sectores como inmediaciones del Cerro Puruchuco y Los Portales de Javier Prado, Los Topacios, Santa Clara y Las Praderas de Pariachi 3ra Etapa.

5.3. Microzonificación Geotécnica

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

5.3.1. Zona I

Esta zona incluye a las gravas de compacidad media a densa y a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturamiento, que se encuentran dentro del área urbana. El primer material se registra en gran parte del área de estudio. También se incluye en esta zona a las arenas de compacidad densa y a los limos y arcillas de consistencia dura que se encuentran en menor medida en el área de estudio. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava, y mayor a 5.0 kg/cm² si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana. En el caso que se desplante sobre las arenas, limos o arcillas se recomienda considerar valores próximos 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 heterogéneos o escombros.

5.3.2. Zona II

Esta zona se encuentra en sectores específicos del área de estudio e incluye predominantemente a las arenas de compacidad media y a los limos y arcillas de consistencia media.

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



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

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 fundamental de vibración del suelo, el valor de la velocidad de ondas de corte y el valor de la velocidad de ondas de compresión.

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

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

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



Se midieron 56 puntos de microtemores distribuidos en toda el área de estudio, formando una malla de 1 a 1.5 km de separación entre puntos. Además, se han recopilado 30 microtemores realizados por el CISMID (2005). Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

6.1.2. Perfil de Velocidades de Ondas de Corte

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

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

Se ejecutaron 18 ensayos geofísicos MASW en el área de estudio.

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

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

El método CCA, cuya sigla significa arreglo circular sin centro, fue propuesto por Cho et al. en el año 2004, y es una extensión del análisis SPAC. Este método basa su teoría en la correlación entre los registros verticales de los sensores que componen el arreglo. Por otro



lado, el método nc-CCA (donde nc significa compensación del ruido) es un método para corregir las subestimaciones de las velocidades de fase debido al ruido que podrían ocurrir cuando se aplica el análisis CCA (Tada et al 2007; 2010).

El método SPAC (Método de Auto-correlación Espacial) fue propuesto por Aki (1957) teniendo en cuenta la teoría de 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.

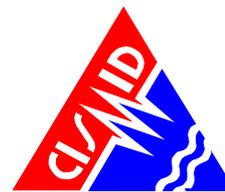
Se llevaron a cabo 02 mediciones de arreglos de microtremores. Estas mediciones tuvieron un radio máximo de 45 m para arreglos circulares y una separación mínima de 0.5 m entre sensores para arreglos lineales. Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

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

6.2.1. Zona I

La Zona I comprende el área con períodos de vibración menores a 0.20 s. Esta zona se encuentra en gran parte 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 2.0 m de profundidad aproximadamente y a los 25.0 m en promedio presentan valores de velocidades de ondas de corte mayores a los 800 m/s, representando estratos 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 ubicada en algunas áreas del este, centro y una parte del oeste 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 2.5 m de profundidad en promedio y a la máxima profundidad explorada de 30.0 m presentan velocidades de ondas de corte entre 615 m/s y 750 m/s, representando estratos rígidos de material granular denso con aumento en la rigidez para mayores profundidades. De los perfiles obtenidos con los arreglos de microtemores se puede concluir que existe un material granular denso de espesor menor a 27.0 m, por debajo del cual el suelo aumenta su rigidez alcanzando un estrato con velocidades de ondas de corte que representan la roca alterada llegando hasta la máxima profundidad explorada.

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 ubicada en algunas partes del oeste, centro y este 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 3.0 m y 17.0 m, y a la profundidad de 30.0 m presentan velocidad de ondas de corte menores a los 600 m/s, representando estratos de suelo denso.



7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

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

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

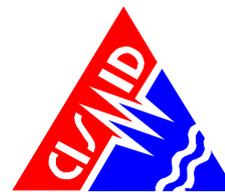
Para el presente estudio se consideraron diferentes disciplinas en mapas que muestran diferentes resultados. El resultado de la evaluación de los peligros geológicos es mostrado en el mapa Peligros Geológicos (ver mapa A-3, Apéndice A). Las características geotécnicas son mostradas en el mapa de Microzonificación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

La Microzonificación Sísmica divide al área de estudio en 03 zonas. La descripción de cada una de estas zonas se presenta en los ítems siguientes.

7.1. Zona I

Esta zona incluye a gravas de compacidad media a densa y a rocas con diferentes grados de fracturamiento. El primer material se registra en gran parte del área de estudio. También se incluye en esta zona a arenas de compacidad densa y a limos y arcillas de consistencia dura que se encuentran en menor medida en el área de estudio.

La capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada a una profundidad mínima de 0.80 m en esta zona, varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre grava y mayor a 5.0 kg/cm² si se desplanta sobre roca ligeramente alterada o sana. En el caso que se desplante sobre las arenas, limos o arcillas se recomienda considerar valores próximos 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 heterogéneos o escombros.

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

Adicionalmente, dentro de esta zona se incluye aquellas áreas definidas con peligro geológico bajo. Estas corresponden a áreas planas, llanuras constituidas por depósitos aluviales.

7.2. Zona II

Esta zona se encuentra en sectores específicos del área de estudio e incluye predominantemente a arenas de compactación media y a limos y arcillas de consistencia media. Por debajo de las arenas y finos se encuentran gravas.

La capacidad de carga admisible de una cimentación similar a la descrita en la Zona I, en esta zona varía entre 1.0 y 2.0 kg/cm² si se desplanta sobre arena y entre 0.7 y 1.0 kg/cm² si se desplanta sobre limos o arcillas. 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 heterogéneos o escombros.

En esta zona se encuentran períodos menores a 0.50 s.

Adicionalmente, dentro de esta zona se incluye aquellas áreas definidas con peligro geológico medio. Éstas corresponden a laderas de cerros con pendiente moderada suave.

7.3. Zona IV

Esta zona incluye a gravas de compactación media a densa y a rocas con diferentes grados de fracturamiento. En esta zona se encuentran períodos de vibración menores a 0.30 s. Esta zona tiene características geotécnicas y dinámicas similares a la Zona I, sin embargo, el peligro geológico en esta zona origina condiciones desfavorables.

En esta zona se incluye aquellas áreas definidas con peligro geológico alto y muy alto. Estas corresponden a quebradas y laderas de cerros con pendiente moderada o fuerte. En estas áreas existe la posibilidad de que puedan producirse desplomes de los bloques de rocas sueltas por las laderas y flujos de detritos y lodo (huaycos) debido a incrementos inusuales de lluvias o de actividad sísmica.



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 403.65 cm/s²; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostradas en el mapa de Microzonificación Sísmica I-2 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 por la aceleración máxima PGA de 403.65 cm/s² de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima (cm/s ²)
I	1.0	403.65
II	1.2	484.38
IV	1.4	565.11

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 Ate, 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



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

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



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 Ate se muestran en el Mapa I-4.



REFERENCIAS

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