



**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 3000737. ESTUDIOS PARA LA ESTIMACION DEL RIESGO DE DESASTRES

ACTIVIDAD 5005571. DESARROLLO DE ESTUDIOS PARA ESTABLECER EL RIESGO A NIVEL TERRITORIAL

INFORME MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE SAN BORJA



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DISTRITO DE SAN BORJA
MAYO, 2019
LIMA**



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DISTRITO DE SAN BORJA**

Responsables del Proyecto:

Dr. Ing. Zenón Aguilar Bardales
MSc. Ing. Luis Fernando Lázares La Rosa

Responsable de Ingeniería Geología:
Ing. Julio Zedano Cornejo

Responsable de Ingeniería Geotécnica:
Dr. Zenón Aguilar Bardales

Responsables de Ingeniería Geofísica:
Dr. Carlos Gonzáles Trujillo

Responsable de SIG:
Ing. Silvia Alarcón Presentación

Asistentes de Trabajos de Campo y Gabinete:

Bach. David Bendezú Ñahuincopa
Bach. Gerson Carrasco Díaz
Bach. Kevin Huertas Gonzáles
Bach. Fernando García Basualdo
Bach. Jhony Loli Oncoy
Bach. Brandon Pastor Oliveros
Bach. Walter Ruiz Ovalle
Bach. Angela Váldez Neyra
Bach. Elder Valentín Solís
Srta. Gisela Pumalaza Vila



ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. GENERALIDADES	2
2.1. Objetivo	2
2.2. Ubicación del Área de Estudio.....	2
3. GEOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS.....	2
3.1. Geomorfología Regional.....	2
3.2. Litología Regional.....	3
3.3. Marco Geológico Local	7
3.4. Litología Local.....	7
3.5. Peligros Geológicos.....	8
3.6. 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	12
5.1. Metodología.....	12
5.2. Tipos de Suelos.....	12
5.3. Agresión al concreto de cimentación	13
5.4. Microzonificación Geotécnica	14
6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO.....	15
6.1. Metodología.....	15
6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos.....	18
7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	18
7.1 Zona I.....	19
8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	20

REFERENCIAS



LISTA DE TABLAS

- Tabla 1: Coordenadas Geográficas para evaluación de Peligro Sísmico.
Tabla 2: Aceleraciones espectrales para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno.

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.



RESUMEN

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

La microzonificación sísmica es un estudio multidisciplinario, que investiga los efectos de sismos y fenómenos asociados, sobre el área de interés. Los estudios suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales. Los estudios que se realizan son: primero las características geológicas y los peligros geológicos; el segundo evalúa el peligro sísmico para estimar la aceleración máxima horizontal en roca y suelo; luego se obtienen las características geotécnicas, y dinámicas del suelo, que son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica y de Isoperiodos.

Tomando como base el análisis de peligro sísmico probabilístico, para el que se encontró una aceleración de 467.25 cm/s^2 en suelo tipo “C” para un periodo de retorno de 475 años, y considerando el factor de amplificación asociado a la Zona I, se proyecta un valor de aceleración máxima del suelo de 467.25 cm/s^2 .

La microzonificación sísmica obtenida para el distrito de San Borja da como resultado que en este distrito predomina la Zona I que corresponde a suelos del origen aluvial, cuya estratigrafía queda representada por los siguientes materiales: un relleno antrópico en la parte superficial de poco espesor, seguido de un estrato de arcilla areno-limosa, el cual puede variar a arena arcillosa en algunos sectores cuyo espesor máximo es de 1.70 m, subyaciendo a estos materiales se encuentran depósitos potentes de gravas con bolonerías inmersas en una matriz arenosa, de compacidad densa a muy densa con periodos de oscilación lateral menores a 0.2 segundos. No se espera un incremento del nivel de peligro sísmico estimado.

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.



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 San Borja. 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 San Borja”.

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

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

2.2. Ubicación del Área de Estudio

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

- Por el norte con los distritos de La Victoria, San Luis y Ate
- Por el sur con el distrito de Surquillo y Santiago de Surco.
- Por el este con el distrito de Santiago de Surco.
- Por el oeste con el distrito de San Isidro y Surquillo.

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

3. GEOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS

3.1. Geomorfología Regional

El distrito de San Borja, presenta a escala regional un rasgo geomorfológico que está constituido por la Llanura Pre andina de la Costa, del Perú Central. Regionalmente, la Llanura de la Costa, presenta terrenos semi planos, donde existen cotas de menor altimetría, constituidos principalmente por depósitos aluviales, cuyos materiales provienen de las estribaciones de la Cordillera Occidental, acarreados por los ríos que se han originados en esta cordillera.



La Llanura Pre andina definida como una faja que se extiende entre la línea de Cordillera de la Costa y la Cordillera Occidental. Sus anchos varían entre 20 y 100 Km., presentando elevaciones que van de 50 a 1500 msnm. Tiene relieves moderados y clima desértico. Presenta depósitos cuaternarios eólicos y aluviales de los ríos que drenan de la Cordillera Occidental. La Planicie costanera 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 y por arenas provenientes del acarreo eólico desde las playas, por vientos que corren con direcciones SO a NE.

Este sector de la Llanura Pre andina, está conformado por materiales pertenecientes al cono aluvial del río Rímac; constituye una planicie donde se asienta parte del, lo que fue una depresión ahora rellena por cantos rodados, gravas, arenas y arcillas formando un potente apilamiento cuyo grosor completo se desconoce.

La llanura 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 entrópica.

3.2. Litología Regional

Regionalmente, la presencia de rocas presentes a nivel regional, está vinculada a los diferentes episodios que se produjeron durante el emplazamiento de la Cordillera de los Andes. La litología está representada, por afloramientos de rocas ígneas intrusivas, al Nor este, afloran estas rocas pertenecientes a las super unidades Patap y Santa Rosa que se emplazaron durante el Cretáceo. También afloran rocas sedimentarias de los grupos geológicos Casma y Lima, constituido por las formaciones geológicas de Pamplona, Atocongo Chilca y Quimaná, asimismo existen materiales disgregados que conforman depósitos cuaternarios, constituidos por depósitos aluviales.

3.2.1. Grupo Lima

3.2.1.1. Formación Pamplona

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.

3.2.1.2. Formación Atocongo

Esta formación aflora en varios lugares de Pachacámac, sus son la continuación de la Formación Pamplona, pasando de una facie arcillo calcárea a una facie calcárea.

Su litología está representada por calizas margosas en capas delgadas, finamente laminadas. Calizas afaníticas gris plumizas, 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. Siendo su edad geológica es del Cretáceo inferior.

3.2.2. Grupo Casma

3.2.2.1. Formación Chilca

Esta formación geológica, se encuentra al Sur de Lurín, estratigráficamente concordante sobre la Formación Pamplona, se extiende en una secuencia volcánico – sedimentaria constituida en su parte inferior por calizas y rocas clásticas intercaladas con derrames volcánicos y hacia la parte superior es casi íntegramente volcánica.

En un corte de la carretera Panamericana Sur, a la altura de Punta Hermosa, se puede apreciar la base constituida por material brechoide, grauwacas y derrames andesíticos que descansan sobre secuencias pelíticas de la Formación Pamplona. Se continúa más al Sur por San Bartolo, donde está constituida por andesitas porfiroides, brechas sedimentarias, y areniscas arcósicas conglomeráticas con fragmentos redondeados, dentro de una matriz que contiene cristales de calcita, probablemente como producto de recristalización por los diques que cortan las capas.

La secuencia clástica es de origen volcánico, tipo brechoide, constituida a base de un material de erosión y depositación rápida, la cual no aparece al Norte de Lurín, probablemente porque entre Punta Hermosa y Pucusana, pudo haber existido un paleo relieve positivo que separaba la sub cuenca de Lima con la sub cuenca de Chilca.

Geológicamente se le considera de una edad Mesozoica del Cretáceo inferior.



3.2.2.2. Formación Quilmaná

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 Alpcoto aparecen dentro de estos volcánicos horizontes sedimentarios constituidos por areniscas arcósicas de grano fino.

El espesor total en el valle de Chilca se estima entre 600 y 700 m. disminuyendo su grosor en el valle de Chillón donde alcanza grosores variables que van de 100 a 300 m.

Edad y correlación.- La edad de los volcánicos Quilmaná es evidente que puede estar entre el Albiano o tal vez el Cenomaniano inferior en la base, sin fijarse con precisión el techo, el mismo que pudiera estar en el Cenomaniano superior o Turoniano pero sin llegar al límite superior del Cretáceo, pues en partes se encuentra intruido por rocas del batolito (súper unidad Patap) datados con 95 y 102 M.A.

3.2.3. Depósitos Inconsolidados

Forman materiales de cobertura, consiste en el material suelto que se extiende 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.

3.2.3.1. Depósitos Aluviales

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

Son depósitos pleistocénicos, estas acumulaciones aluviales provienen de ríos y quebradas. 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 intrusitas y volcánicas, gravas sub angulosas cuando estas han tenido muy poco transporte; contienen estos depósitos aluviales arenas de diferente



granulometría y en menor proporción limos y arcillas, todos estos materiales se encuentran intercalados.

Estos depósitos ocupan una mayor extensión en la parte baja de los valles de los ríos de la costa conformando los conos deyección y las planicies aluviales de los ríos Chillón, Rímac y Lurín.

Los materiales acarreados por los ríos que bajan de la vertiente occidental andina cortando a las rocas del mesozoico, y han depositado materiales que reflejan una distribución uniforme de los materiales finos y gruesos y que por el tiempo de formación han dado lugar a depósitos aluviales antiguos (depósitos Pleistocénicos) y recientes (Holocénico).

3.2.4. Rocas intrusivas

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.

Al Nor este, del mapa geológico regional, afloran rocas ígneas intrusivas pertenecientes a las super unidades Patap y Santa Rosa; estas rocas son del tipo tonalitas, granodioritas dioritas principalmente.

Lo previamente descrito se encuentra detallado en el Mapa A-1 del presente Apéndice.

3.2.5. Geología Estructural Regional

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

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

En la región, existen varios sistemas de fallas, que se distribuyen en la región, se han formado como un efecto secundario de la colisión de la placa oceánica y la placa



continental. Este proceso generó la presencia de plegamientos y fracturas en la corteza terrestre.

Estos sistemas de fallas se localizan entre los límites de la Cordillera Occidental y la zona costera, mayormente como fallas normales.

3.3. Marco Geológico Local

El distrito de San Borja, actualmente se encuentra urbanizado, no pudiendo apreciarse en su totalidad, los materiales naturales de que consta su superficie. La información de la geología a escala local se ha obtenido en base a las observaciones de campo, en sitios tales como afloramientos rocosos, zanjas de cimentación, zanjas de drenaje y apertura de calicatas.

La información geológica fue cruzada 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 relevamiento geológico local, el distrito de San Borja tiene como suelo de fundación, materiales inconsolidados que conforman depósitos aluviales, de edad geológica del Cuaternario.

3.3.1. Geomorfología Local

El distrito de San Borja, se encuentra en la margen izquierda del río Rímac. Localmente el distrito se ubica en terrenos donde se destaca relieves mayormente planos. Otro rasgo geomorfológico local, es que en el sector Este del distrito, existe una quebrada del denominado río Surco, actualmente canalizada.

3.4. Litología Local

La mayor parte del Distrito de San Borja, está fundada sobre materiales inconsolidados que conforman depósitos aluviales, acarreados y acumulados por las aguas del río Rímac y de su ramal el río Surco.

3.4.1. Depósitos Aluviales

Constituidos por depósitos formados por el acarreo y la acumulación de materiales trasportados por las aguas superficiales del río Rímac y Surco. En las calicatas



aperturadas, nos indican que los materiales superficiales están conformados por arcillas de baja plasticidad, de consistencia rígida, con presencia de material orgánico y gravas.

Este horizonte superficial suprayase a un horizonte conformado por grava mal gradada con arena, con humedad baja, sin plasticidad, con presencia de cantos rodados.

3.5. Peligros Geológicos

El peligro geológico es un fenómeno natural, derivado de los procesos geológicos (endógenos y/o exógenos), que puede afectar de manera adversa a los seres humanos, sus actividades e infraestructura. Es importante entender que la intervención humana puede aumentar la frecuencia y severidad de estos peligros (Villacorta, S; et. al. ,2015).

El peligro geológico que causaría mayor afectación está relacionado a la alta actividad sísmica derivada de la interacción de las placas tectónicas (placa de Nazca y Sudamericana), dependiendo de su magnitud, la actividad sísmica puede originar otros fenómenos como tsunamis, movimiento de masa, licuación de suelos, entre otros. Por la importancia de este peligro geológico, se dedicará un apartado completo, el cual abordará el estudio de peligro sísmico en el distrito de San Borja.

3.6. Mapa de Peligros Geológicos

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

3.6.1. Peligro Medio

El peligro medio, se ubica en el cauce del río Surco; este río se encuentra al Este del distrito, y tiene una dirección NE - SO. Al producirse lluvias extraordinarias, las aguas del río pueden desbordarse e inundar áreas urbanizadas aledañas.

3.6.2. Peligro Bajo

El rango de peligro geológico bajo, se relaciona a los terrenos planos del distrito, que son áreas donde el terreno está conformado por depósitos aluviales, materiales disgregados acareados por las aguas del río Rímac, constituidos por terrenos sobre depósitos cuaternarios de origen aluvial, formado por gravas-arcillosas a gravas-limosas de consistencia firme, pendiente desde muy suave a suave (0° a 10°).

La zona de peligro bajo, abarca casi toda el área del distrito de San Borja, actualmente el distrito se encuentra completamente urbanizado. Mayores detalles pueden encontrarse en el apéndice A del presente informe



4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

4.1. Metodología

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

La predicción de eventos futuros puede ser realizada por medio de modelos estadísticos, en base a datos pasados. Actualmente el modelo más usado es el de Poisson. Este asume que los eventos sísmicos son espacial y temporalmente independientes y que la probabilidad de que dos eventos sísmicos ocurran en el mismo sitio y en el mismo instante es cero. Estas suposiciones, por lo general, no se ajustan a la ocurrencia de eventos de baja magnitud, sin embargo representan adecuadamente la ocurrencia de los movimientos grandes, que son los de mayor interés para fines ingenieriles. Por esta razón, el modelo de Poisson es ampliamente utilizado para evaluar el peligro sísmico probabilísticamente.

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

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



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

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

Las leyes de atenuación pueden adoptar muy diversas formas y para estimar el peligro sísmico se utilizaron los modelos de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Young et al (1997), CISMID (2006) y Zhao et al (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, versión 7.6, 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 (Esteve, 1970):

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

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N , y $Pr(A > s_a/M, R)$, es la probabilidad que la intensidad exceda cierto valor, dadas la magnitud del sismo M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio R . Las funciones $\lambda(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas, la cual fue descrita anteriormente. La integral se realiza

desde M_0 hasta M_u , lo cual indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

Las fuentes sismogénicas de subducción y continentales se presentan en los Mapas B.3-1 y B.3-2 y sus coordenadas geográficas se indican en el apéndice B.

4.2. Peligro Sísmico Probabilístico

Para la evaluación del peligro sísmico probabilístico en el distrito de San Borja, 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 San Borja	-76.98	-12.03

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos con el programa CRISIS 2007 versión 7.6 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en el punto de análisis para diversos tipos de suelos. Estos valores se han estimado para los diferentes modelos de atenuación utilizados y para los períodos de retorno de 475, 1000 y 2500 años, considerando 50 años de periodo de exposición sísmica.

Tabla 2. Aceleraciones espectrales para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno.

Modelo de Atenuación Ponderado	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración horizontal Máxima (cm/s ²) de diferentes Modelos de atenuación para un periodo de retorno de:					
			50	100	200	475	1000	2500
Roca (Tipo B)	-76.98	-12.03	157.76	218.66	288.48	396.75	504.39	652.44
Suelo (Tipo C)	-76.98	-12.03	170.33	239.55	327.10	467.25	609.08	829.89

Modelo de Atenuación Ponderado	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración horizontal Máxima (g) de diferentes Modelos de atenuación para un periodo de retorno de:					
			50	100	200	475	1000	2500
Roca (Tipo B)	-76.98	-12.03	0.16	0.22	0.29	0.40	0.51	0.67
Suelo (Tipo C)	-76.98	-12.03	0.17	0.24	0.33	0.48	0.62	0.85



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

Lo anterior significa que en la zona evaluada, la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño para un suelo del Tipo B (roca) corresponde a 396.75 cm/s^2 considerando la media (P.50) del modelo de atenuación ponderado, y así mismo, se propone valores de aceleración horizontal máxima de 467.25 cm/s^2 para suelo tipo C (suelo muy denso). Mayores detalles pueden encontrarse en el apéndice B del presente informe.

5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO

5.1. Metodología

Para la caracterización geotécnica de los suelos del área de estudio se los siguientes aspectos: la estratigrafía, las propiedades mecánicas y las condiciones para la cimentación de viviendas convencionales.

En el distrito de San Borja, existen diferentes estudios geotécnicos realizados para diversos proyectos, de estos, solo los ejecutados por instituciones y empresas privadas de reconocido prestigio fueron recopilados para desarrollar el presente estudio. Previamente esta información fue seleccionada, analizada y filtrada siguiendo los estándares de calidad del CISMID. La información recopilada permitió tener un conocimiento previo de las condiciones del lugar, lo cual facilitó la planificación de los trabajos de exploración. Se recopilaron en total 10 registros de calicatas y 01 perforación diamantina, los cuales fueron suministrados por las siguientes empresas:

- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- CAA Ingenieros Consultores E.I.R.L.
- Jorge E. Alva Hurtado E.I.R.L.
- Corporación Olam S.A.C.

5.2. Tipos de Suelos

De acuerdo a las características geomorfológicas del lugar de estudio, su formación geológica (aluvial) y los datos de los estudios geotécnicos ejecutados y recopilados, el terreno presenta una conformación homogénea para profundidades mayores a 2.5 m, compuesta por depósitos potentes de gravas y bolonerías inmersas en una matriz arenosa. Lo anterior se presenta de forma gráfica en el Mapa C-3 del Apéndice C, en el cual se muestra la zonificación de los tipos de suelos existentes a 2.5 m de profundidad.



En la parte superficial, el terreno se encuentra conformado por estratos de arenas, limos y/o arcillas (o una combinación de estos) de hasta 2.50 m de espesor, subyaciendo estos materiales se encuentran los depósitos de gravas de características ya mencionadas. Como puede observarse en el Mapa C-2, el cual muestra la zonificación de los tipos de suelos existentes a 1.0 m de profundidad, el 84.9% del área de estudio está conformada por gravas y el 8.05% por limos y/o arcillas. A continuación, se detallan las características de cada uno de estos tipos de suelos.

5.2.1. Limos y Arcillas

De acuerdo con el sistema de clasificación SUCS, las partículas que conforman estos tipos de suelos tienen un tamaño máximo de 0.075 mm, aunque sus propiedades mecánicas e hidráulicas no se encuentran dominadas por su granulometría, sino por su estructuración y su historia geológica (Badillo y Rodríguez, 1990).

Estos suelos se encuentran superficialmente en la parte noroeste de la zona de estudio (límite con el distrito de Surquillo), llegando a alcanzar un espesor de hasta 2.50 m. Presentan una consistencia rígida cuando el material se encuentra seco y media en los lugares en donde el material está húmedo, el índice de plasticidad de estos materiales, en general, es bajo. Esta parte del área de estudio queda representada por las arcillas delgadas (CL).

5.2.2. Gravav

Este tipo de suelo es de origen aluvial y está conformado por depósitos potentes de gravas y bolonerías inmersas en una matriz arenosa. Este material es típico de la ciudad de Lima, y sus características geotécnicas han sido ampliamente estudiadas por diversos autores; Sánchez et al (2016), Coll (2014), Martínez Vargas (1986 y 2007), etc.

En la zona de estudio, estos suelos subyacen a los limos y/o arcillas, presentan una compacidad densa a muy densa, un bajo contenido de humedad y tienen formas sub-redondeadas y redondeadas. En cuanto a su clasificación predominan las gravas mal gradadas (GP).

5.3. Agresión al concreto de cimentación

Se realizaron ensayos químicos a 06 muestras de suelo, el criterio de elección de estas muestras fue tratar de cubrir, de forma representativa, la totalidad del área de estudio. Los resultados de estos ensayos se presentan en la Tabla C-6 del Apéndice C.



Los resultados de los ensayos de laboratorio muestran que los puntos estudiados presentan una concentración de sulfatos que varía entre 1034 y 3914 ppm, lo que indica que la acción química sobre el concreto de cimentación será de moderada a severa. Así, en las inmediaciones de las calicatas C-01, C-03, C-04, C-06 y C-11, se presentará una acción química moderada, mientras que, en las inmediaciones de la calicata C-09 (Parque Virgen Milagrosa), la acción química será severa.

La concentración de cloruros en todas las muestras ensayadas está por debajo del valor referencial de 6000 ppm, teniendo como mayor valor una concentración de 258 ppm (Calicata C-11). Esto indica que la concentración de cloruros presente en el suelo no es perjudicial para los elementos de refuerzo de la cimentación.

La concentración de sales soluble totales presente en las muestras de suelo se encuentran por debajo del valor referencial de 15000 ppm, teniendo como mayor valor una concentración de 4061 ppm (Calicata C-09, Parque Virgen Milagrosa). Estos resultados proporcionan una condición segura respecto a la pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación.

Finalmente, se evidenció que los valores de PH obtenidos varían entre 6.78 a 7.61. Considerando que la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones (2018) indica que por debajo de un valor de PH de 4, se debe proponer medidas de protección adecuadas contra el ataque ácido, en las inmediaciones de los puntos estudiados no es necesario proponer medidas de protección especiales ante esta condición.

De los resultados, se puede recomendar el uso del Cemento Portland Tipo II en casi toda el área de estudio, excepto en las inmediaciones de la Calicata C-09 (Parque Virgen Milagrosa), en donde se recomienda el uso del Cemento Portland tipo V. Estas recomendaciones podrán ser usadas hasta que un estudio detallado de un determinado lugar indique lo contrario.

5.4. Microzonificación Geotécnica

En base a los resultados obtenidos, toda el área de estudio ha sido clasificada como una sola zona, denominada Zona I. El Mapa C-4 presenta la microzonificación geotécnica propuesta para el distrito de San Borja. A continuación, se describe las características correspondientes de la Zona I.

5.4.1. Zona I

Los suelos de esta zona tienen un origen aluvial y están conformados por depósitos potentes de gravas con bolonerías aisladas de tamaño máximo de 12" inmersas en una



matriz arenosa, la clasificación predominante de este tipo de suelo es GP, presentan una compacidad densa a muy densa y una humedad baja.

Los resultados de laboratorio indican que estos suelos tienen valores promedios de 0.55 kg/cm^2 de cohesión y 35° de ángulo de fricción. Lo cual es concordante con el rango de valores reportados para las gravas típicas de Lima (ej. Sánchez et al. 2016).

Las características anteriormente mencionadas hacen que este tipo de suelos presenten características muy favorables para soportar cimentaciones de edificaciones convencionales, presentando una capacidad de carga admisible mayor a 4.00 Kg/cm^2 si se cimienta sobre la grava.

Se recomienda el uso de Cemento Portland Tipo II, debido a la concentración de sulfatos presentes en los suelos que conforman esta zona. Un especial cuidado se debe tener en las inmediaciones de la calicata C-09 (Parque Virgen Milagrosa), en donde se recomienda el uso del Cemento Portland Tipo V, dada la alta concentración de sulfatos.

Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos antrópicos.

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 que componen el perfil.

6.1.1. *Periodo de Vibración del Suelo*

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

Para calcular el periodo fundamental de vibración del suelo se utilizó el método del espectro H/V propuesto por Nakamura (1989), que realiza el cociente del espectro de Fourier de las componentes horizontales del registro de microtemores entre el espectro

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

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

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

Previo a la campaña de campo, se realizó la recopilación y revisión de mediciones ejecutadas por el CISMID en el año 2005, cuyos resultados se listan y muestran en la Tabla D-1 y Anexo D-1 del Apéndice D, respectivamente. Para este estudio en particular, se ha ejecutado la medición de 21 microtremores en forma puntual distribuidas uniformemente en el distrito de San Borja. La ubicación de la totalidad de los puntos antes mencionados se muestra en el Mapa D-1 del Apéndice D.

Mediante el análisis de los espectros H/V se ha determinado los períodos de vibración del suelo, los cuales, en su integridad, son menores a 0.20 s. La Tabla D-6 del Apéndice D presenta un resumen de información relevante de las mediciones ejecutadas en este estudio, como sus códigos, coordenadas UTM y los periodos de vibración del suelo. El Anexo D-4 del Apéndice D presenta sus segmentos de ondas, espectros de Fourier en cada dirección y H/V.

6.1.2. Perfil de Velocidades de Ondas de Corte

Con el fin de estimar la variación en profundidad de las velocidades de ondas de corte (V_s) en diversos perfiles de suelo a lo largo del distrito de San Borja se ejecutaron los ensayos denominados MASW y arreglos de microtremores.

El ensayo MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal es un método de exploración geofísica que permite la determinación de la estratigrafía del subsuelo de manera indirecta, considerando el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Principalmente, esta metodología se basa en la interpretación de las ondas superficiales (ondas Rayleigh), generadas por una fuente de energía impulsiva, que son registradas en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un



eje sobre la superficie del terreno. Así, debido a la naturaleza predominante de las ondas superficiales (70% de la energía total del tren de ondas corresponde a ondas de este tipo), es posible la extracción de una curva de dispersión característica, cuya subsecuente inversión mediante métodos de optimización, permite la obtención del perfil de velocidades de ondas de corte para el punto central de la línea de sensores dispuesta.

De manera similar al ensayo MASW, el ensayo de arreglo de microtremores tiene por finalidad estimar el perfil de velocidades de ondas de corte del suelo, pero con la posibilidad de llegar hasta grandes profundidades dependientes del radio del arreglo. El principio de la medición de arreglos de microtremores 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).

El análisis de los arreglos se puede dividir en dos etapas, la primera referida al cálculo de la curva de dispersión y la segunda a la inversión del perfil de velocidades de ondas de corte. El cálculo de la curva de dispersión se realiza por diferentes métodos, entre los cuales se encuentran el método de Autocorrelación Espacial (SPAC) propuesto por Aki (1957), el método de Alta Resolución Frecuencia - Número de Onda (F-K) propuesto por Capon (1969), y el método CCA y nc-CCA propuesto por Cho et al (2004). El proceso de inversión se realiza por métodos de causa-efecto, o por métodos de optimización, entre los cuales se tienen los algoritmos genéticos y los algoritmos de vecindario; estos métodos requieren el ingreso de datos de un perfil inicial probable que a través de un proceso iterativo se ajusta al verdadero perfil de velocidades de ondas de corte del suelo.

En el presente estudio se ejecutaron 11 ensayos geofísicos MASW, y 01 ensayo de arreglos de microtremores efectivos dentro del área de estudio en el distrito de San Borja. Mayores detalles sobre los ensayos MASW y arreglos de microtremores ejecutados pueden ser consultados en el Apéndice D del presente informe.

6.1.3. Perfil de Velocidades de Ondas de Compresión

Para la determinación de los perfiles de velocidades de ondas de compresión (V_p) se llevaron a cabo ensayos de refracción sísmica en diversos puntos en el distrito de San Borja.

Este tipo de ensayos toma en cuenta principalmente la variación del tiempo de llegada de las ondas compresionales, aquellas que viajan con mayor velocidad en el tren de ondas, debido a la estratigrafía del subsuelo a través del que se propagan. Las fuentes de energía impulsiva son localizadas a distancias predeterminadas a lo largo de una línea de sensores sobre la superficie del terreno.



Las ondas generadas se propagan ya sea directamente pasando por la capa de suelo más superficial o mediante la refracción a través de las capas de suelo más profundas antes de regresar a la superficie. Así, dichas ondas son registradas por los sensores o geófonos igualmente espaciados a cierta distancia establecida, y por medio de la identificación y picado del primer arribo de las ondas compresionales, para cada una de las fuentes de energía impulsiva, es posible la reproducción de un modelo de suelo teórico que mejor represente dicha la distribución tiempo de arribo versus distancia (Anomohanran, 2013).

En el presente estudio, se han realizado 10 ensayos de refracción sísmica en el distrito de San Borja. Mayores detalles sobre los ensayos de refracción sísmica ejecutados pueden ser consultados en el Apéndice D del presente informe.

6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos

El mapa D-3 del Apéndice D muestra la Zona I que corresponde a un material con comportamiento dinámicamente rígido como se observa en las velocidades de ondas de corte encontradas para los primeros 30 metros, (V_{s30} supera los 600 m/s). La descripción de esta zona es la siguiente.

6.2.1. Zona I

En esta zona los períodos de vibración son menores a 0.20 s, por lo que se considera que los suelos tienen un comportamiento rígido. En el Mapa D-3 se observa que esta zona abarca toda el área del distrito de San Borja.

7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

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

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



Resistente y la Norma Técnica E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de obligatorio cumplimiento.

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

La Microzonificación Sísmica presenta una zona, cuya descripción es la siguiente:

7.1 Zona I

Los suelos de esta zona tienen un origen aluvial y están conformados por depósitos potentes de gravas con bolonerías aisladas de tamaño máximo de 12" inmersas en una matriz arenosa, la clasificación predominante de este tipo de suelo es GP, presentan una compacidad densa a muy densa y una humedad baja.

Los resultados de laboratorio indican que estos suelos tienen valores promedios de 0.55 kg/cm² de cohesión y 35° de ángulo de fricción. Lo cual es concordante con el rango de valores reportados para las gravas típicas de Lima (ej. Sánchez et al. 2016).

Las características anteriormente mencionadas hacen que este tipo de suelo presente características muy favorables para soportar cimentaciones de edificaciones convencionales, presentando una capacidad de carga admisible mayor a 4.00 Kg/cm² si se cimienta sobre la grava.

Se recomienda el uso de Cemento Portland Tipo II, debido a la concentración de sulfatos presentes en los suelos que conforman esta zona. Un especial cuidado se debe tener en las inmediaciones de la calicata C-09 (Parque Virgen Milagrosa), en donde se recomienda el uso del Cemento Portland Tipo V, dada la alta concentración de sulfatos.

En esta zona se encuentran períodos de oscilación lateral del suelo menores a 0.20 s, que corresponde a un material de comportamiento dinámico rígido, se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado en esta zona.



8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar la zona identificada 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 (ver Apéndice B) que corresponde para un suelo "Tipo C" (IBC, 2006) cuyo valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA es de 467.25 cm/s^2 ; el valor de aceleración máxima proyectado para la zona I es mostrado en el mapa de Microzonificación Sísmica I-2 y se obtiene multiplicando el factor del suelo propuesto en la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 por la aceleración máxima PGA de 467.25 cm/s^2 de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima (cm/s^2)
I	1.0	467.25

El valor obtenido para el área de estudio es mostrado en el Mapa I-3.



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.
- INGEMMET "Geología de los Cuadrángulos de Lima y Lurín "Boletín N°43 – Hoja: 25-j, 1992.
- INGEMMET "Peligros Geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región de Callao" Boletín N°59, 2015.
- 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.
- 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

