



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



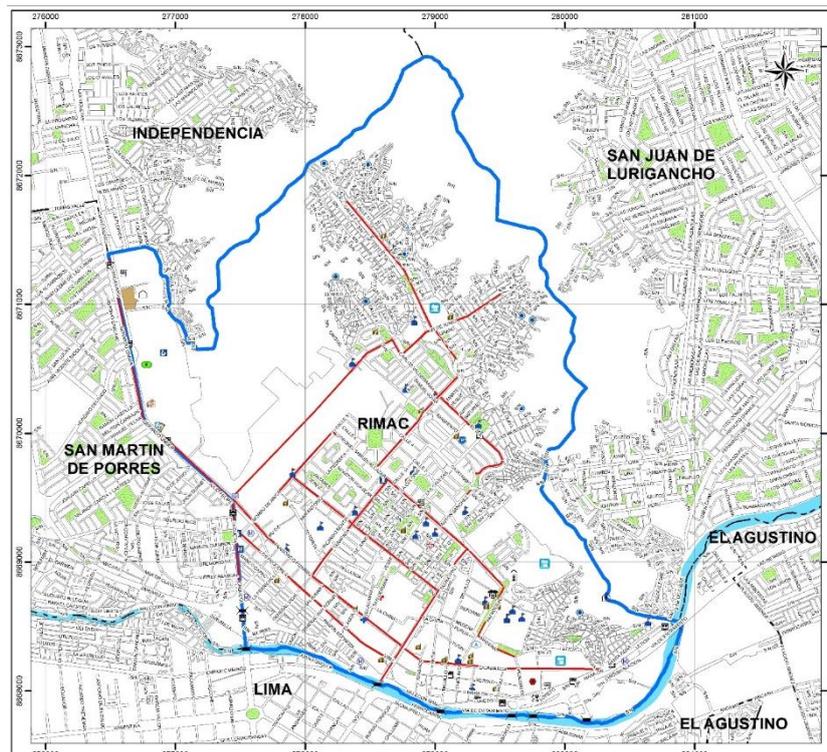
**PROGRAMA 0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE PRESUPUESTAL EMERGENCIAS POR DESASTRES**

**PRODUCTO 3000562. MUNICIPIOS PROMUEVEN LA ADECUADA OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO FRENTE AL RIESGO DE DESASTRES**

**ACTIVIDAD 5001593. FORMULACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS TERRITORIALES PARA EL ANALISIS DE RIESGO A NIVEL URBANO**

**FINALIDAD 0053449. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS TERRITORIALES PARA LA INCORPORACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS**

**INFORME MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE RÍMAC**



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA  
DISTRITO DE RÍMAC**

**AGOSTO, 2015**

**LIMA**



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

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



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA  
DISTRITO DE RÍMAC**

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

Jefe de Ingeniería Geotécnica:  
**Ing. Henry Curipaco Martínez**

Jefe de Ingeniería Geofísica:  
**Dra. Diana Calderón Cahuana**

Jefe de Geología:  
**Ing. Julio Zedano Cornejo**

Jefe de SIG:  
**Ing. Silvia Alarcón Presentación**

Asistentes de Trabajos de Campo y Gabinete:

**Bach. Judith Ramos Arce**  
**Bach. Cinthia Calderón Cahuana**  
**Bach. Nataly Yauricasa Cárdenas**  
**Bach. Jesús Prado Ñaupá**  
**Bach. Grover Riveros Soto**  
**Bach. Elder Valentín Solís**



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

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



**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.....	4
3.3. Marco Geológico Local.....	6
3.4. Litoestratigrafía Local .....	7
3.5. Aspectos Estructurales.....	8
3.6. Peligros Geológicos.....	8
3.7. Mapa de Peligros Geológicos.....	9
4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO .....	10
4.1. Metodología .....	10
4.2. Peligro Sísmico Probabilístico .....	12
5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO .....	14
5.1. Metodología .....	14
5.2. Tipos de Suelos .....	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 .....	20
7.1. Zona I.....	21
7.2. Zona II.....	22
7.3. Zona IV .....	22
7.4. Zona V .....	22
8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO .....	22
9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	23

**REFERENCIAS**



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

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



**LISTA DE TABLAS**

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

**LISTA DE APÉNDICES**

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

**LISTA DE MAPAS**

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



## **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 Rímac. 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.

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

La Microzonificación Sísmica obtenida para el distrito del Rímac tiene cuatro zonas: la zona I comprende a los afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación y los depósitos de gravas de compacidad media a densa con periodos menores a 0.2 segundos, con peligro geológico bajo; la zona II incluye a los depósitos de arenas de compacidad media y a los depósitos de limos y arcillas de consistencia media con períodos menores a 0.3 segundos, esta zona incluye un nivel de peligro geológico medio; la zona IV está conformada por los afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación que presenta un peligro geológico alto debido a la presencia de taludes con pendientes moderadas a fuerte; finalmente la zona V comprende a las zonas de escombros y depósitos de rellenos antrópicos que deberán ser removidos para su habilitación urbana. No se ha definido la zona III en este estudio debido a que corresponde a suelos flexibles que no han sido identificados en este distrito.

Tomando como base el análisis de peligro sísmico probabilístico, para el que se encontró una aceleración de  $441.25 \text{ cm/s}^2$  en suelo tipo “C” para un periodo de retorno de 475 años, y los factores de amplificación asociados para las diferentes zonas. Se tiene la zona I presenta una aceleración máxima en superficie de  $441.25 \text{ cm/s}^2$ ; por otro lado la zona II presenta una aceleración de  $529.50 \text{ cm/s}^2$ ; la zona



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



IV incluye una aceleración máxima en superficie de  $617.75 \text{ cm/s}^2$ ; finalmente la zona V presenta una aceleración máxima en superficie de  $661.88 \text{ cm/s}^2$ . Adicionalmente, se encuentra un rango de velocidades máximas predominantes de  $60 \text{ cm/s}$  a  $120 \text{ cm/s}$  considerando la distribución de isoperíodos en la zona de estudio.

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

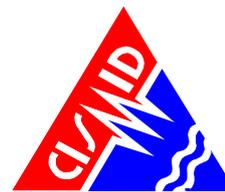


## **1. INTRODUCCIÓN**

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 del Rímac. 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 Rímac”

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 Rímac, 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 Rímac. El distrito de Rímac se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima y colinda con:

- Por el norte con el distrito de Independencia
- Por el sur con el distrito de Cercado de Lima
- Por el este con el distrito de San Juan de Lurigancho.
- Por el oeste con el distrito de San Martín de Porres.

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

## **3. EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS**

### **3.1. Marco Geológico Regional**

#### **3.1.1. Aspectos Geomorfológicos**

Los rasgos geomorfológicos regionales del área que involucra el estudio, nos indica que se encuentra en las estribaciones andinas occidentales, también se observan quebradas amplias. Las estribaciones de la Cordillera Occidental, corresponde 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, que provienen de las estribaciones de la Cordillera Occidental. La geomorfología de



estos terrenos son llanuras con pendiente moderada, 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. 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.

El cono aluvial del río Rímac constituye una planicie donde se asienta parte del Distrito de Rimac, 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 la Llanura de la Costa, 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, y la actividad antrópica.

### **3.1.2. Aspectos Geomorfológicos**

La región de Lima se ha configurado entre las unidades geotectónicas: Fosa marina, Cordillera de los Andes, la Dorsal de Nazca y Sistema de Fallas.

La Fosa marina es un tipo de lineamiento estructural del piso oceánico con una dirección Noroeste-Sureste y paralelo al litoral de la costa, y representa el límite de contacto entre la placa oceánica de Nazca y la placa Sudamericana. Este límite tiene la forma de una fosa de gran extensión, la misma que alcanza profundidades de hasta 8000 metros. La Fosa está formada por sedimentos que han sido depositados sobre rocas pre-existentes. Representa un espacio en el que ocurre la interacción de las placas continental y oceánica donde la primera mantiene un movimiento con una dirección general al Noroeste y la segunda en una dirección hacia el Este, y se extiende en dicha dirección a profundidades intermedias hasta los 350 Km (Ocola, 1989). Finalmente, el contacto de placas, conocido como subducción es causante de la mayoría de los sismos, y procesos orogénicos que se desarrollan en el continente como la Cordillera de los Andes.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



La Cordillera de los Andes formado como producto del proceso de colisión entre la placa oceánica y la placa continental en diferentes procesos orogénicos, está conformada por rocas ígneas plutónicas que afloran en la superficie terrestre por procesos tectónicos. La Cordillera Andina se distribuye en el Perú en una dirección Noroeste-Sureste, alcanzando un ancho de 50 km aproximadamente en las regiones Norte y Centro hasta 300 Km en la región Sur. Así mismo, la Cordillera Andina se orienta en promedio en dirección NO-SE, aunque a la altura de la latitud de 13° S, esta se orienta en dirección E-O a lo largo de la deflexión de Abancay. Estudios de sismicidad, muestran que la Cordillera Andina tiene espesores del orden de 51 km en la región Central (Tavera, 1993); mientras que en la región Sur su espesor sería de 75 km aproximadamente (James, 1978). El desarrollo de la Cordillera de los Andes es joven, y se convierte en un macizo rocoso que ha controlado y alineado las estructuras tectónicas regionales en una dirección general noroeste-sureste configurando así la posición de pliegues y fallas.

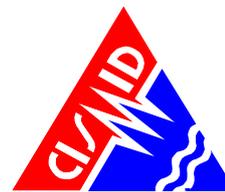
La Dorsal de Nazca es una cadena montañosa que se localiza en el Océano Pacífico entre 15° S a 19° S. La dorsal está constituida por rocas volcánicas con capas de minerales en los cuales predomina el hierro, magnesio, potasio, y sodios cálcicos (Marocco, 1980); siendo, estos minerales más comunes en la corteza terrestre. La estructura de la Dorsal de Nazca es producto de un proceso de distensión de la corteza oceánica y se estima que su formación tiene una edad de 5 a 10 millones de años (Marocco, 1980). Estudios recientes sobre anomalías magnéticas, permite considerar la hipótesis de que la dorsal debe su origen a una antigua zona de creación de corteza.

Los Sistemas de Fallas que se distribuyen en el continente, 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 como las fallas normal: Falla de Marcona (dirección N120°), Falla Mostejato en Cañete, etc.

### 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, rocas sedimentarias de las formaciones geológicas Pamplona y Atocongo.

La primera fase tectónica o ligeramente posterior, se emplazan los cuerpos más básicos y occidentales del batolito, habiéndose tenido como manifestaciones precursores 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, 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.

### **3.2.1. Grupo Puente Piedra**

Comprende la Formación Ventanilla y la Formación Cerro Blanco.

La Formación Ventanilla, esta serie es predominantemente sedimentaria. El grosor es variable notándose un cambio lateral de facies como aumento de grosor a medida que se avanza de Sur a Norte. Litológicamente está constituida por areniscas feldespáticas, areniscas piroclásticas, areniscas limolíticas, limolitas y alternancias de andesitas afaníticas. Las rocas de esta formación se ubican al NO del Distrito del Rímac.

La Formación Cerro Blanco, esta secuencia sedimentaria –volcánica, predominantemente las rocas sedimentarias en la base y las volcánicas al tope. Litológicamente está compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas. Las rocas volcánicas consisten de derrames andesíticos de textura afanítica, que se presentan en horizontes gruesos bien estratificados de color gris. La edad correspondiente es el cretáceo inferior. Estas rocas se encuentran al NO del Distrito del Rímac.

### **3.2.2. Grupo Morro Solar**

Comprende la Formación Herradura y la Formación Marcavilca.

La Formación Herradura, Descansa concordante sobre la Formación Salto del Frayle e infrayace igualmente concordante a la Formación Marcavilca, se supone que la parte inferior de esta formación debe encontrarse en contacto transicional, directamente sobre la Formación Cerro Blanco. Litológicamente presenta areniscas cuarzosas, en parte verdosa amarillentas, laminadas con estratificación delgada y gruesa, seguido de lutitas gris a negras, intemperizando a marrón rojizo. Las rocas de esta formación se ubican al Oeste y NO del Distrito del Rímac.



La Formación Marcavilca, Esta formación descansa en contacto normal sobre la Formación Herradura y subyace a la Formación Pamplona. Litológicamente presenta rocas cuarcitas gris blanquecina y en menor proporción las lutitas. Las rocas de esta formación se ubican al NO del Distrito del Rímac.

### **3.2.3. Depósitos Inconsolidados**

Estos depósitos en el área de estudio, son depósitos aluviales pleistocénicos, estas acumulaciones aluviales desérticas 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; contienen estos depósitos aluviales arenas de diferente granulometría y en menor proporción limos y arcillas, todos estos materiales se encuentran intercalados.

### **3.2.4. 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 constituido por gabros y dioritas, las más antiguas del Batolito. Los gabros tienen minerales que varían texturalmente de grano medio a grueso conteniendo plagioclasas en un 30%. Intruyen a las rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico a las que metamorfizan. Las dioritas presentan un color gris oscuro con grano fino a medio, muestran adiciones de cuarzo en los contactos con las tonalitas de la 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).

## **3.3. Marco Geológico Local**

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, calicatas y trincheras aperturadas para el estudio.

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 levantamiento geológico en el distrito del Rímac, se ha determinado que el basamento rocoso son rocas de origen ígneo (intrusivos) y sedimentario, rocas que van del Cretáceo superior y el material de cobertura que se presentan en diferentes tipos y corresponde a edades geológicas del Cuaternario.

### **3.3.1. Geomorfología Local**

El área de estudio se destaca relieves que representan diferentes unidades de menor categoría. Así, en el ámbito de estudio se encuentra un relieve plano ondulado desarrollado 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 aislado, y ladera, los que se acentúan por la naturaleza del basamento rocoso y los materiales de cobertura.

### **3.4. Litoestratigrafía Local**

#### **3.4.1. Roca de Basamento**

Rocas sedimentarias, son rocas del tipo areniscas, lutitas, limolitas volcánico – sedimentarias, que forman cerros al Oeste del distrito. Se encuentran falladas, plegadas y fracturadas, geológicamente pertenecen al Grupo Morro Solar.

Rocas ígneas intrusivas, estas rocas son mayormente granodioritas, tonalitas y granitos, que pertenecen geológicamente a las Super Unidades ígneas, Santa Rosa y Patap. Se encuentran fracturadas y falladas, con diversos grados de intemperismo supérgeno. Se encuentran al Norte y al Este del distrito, forman los cerros de mayor altura.

#### **3.4.2. Material de Cobertura**

Consiste en materiales inconsolidados acarreados y acumulados por las aguas del río Rímac, de las quebradas, eólicas y por actividad humana. Se encuentran depósitos aluviales pleistocénicos (Qp-al), el depósito conforma la antigua planicie aluvial, en el norte de la ciudad se extiende desde el borde de la ladera abrupta hasta el borde del litoral interrumpiéndose por la ladera de pendiente media. En esta parte, el depósito presenta una tonalidad beige claro, y está constituido por clastos redondeados de 5 a 10 cm. de diámetro y de naturaleza ígnea, con una matriz limosa, y se intercala con niveles de arcilla y limo, y presenta cierta consistencia.



### **3.5. Aspectos Estructurales**

La deformación tectónica en la región está relacionada a la Fase Tectónica Andina del Cretáceo Superior - Paleógeno, y que ha dado como resultado el fracturamiento, plegamiento y fallamiento de las rocas que conforman los cerros del distrito.

No se aprecia actividad neo tectónica reciente en los depósitos cuaternarios, en el distrito de Rímac.

### **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 naturales donde no existían antes. Además, las medidas de control pueden causar o agravar los efectos destructivos de los fenómenos naturales, también pueden reducirlos o eliminarlos (OEA, 1993).

#### **3.6.1. Peligros Geológicos**

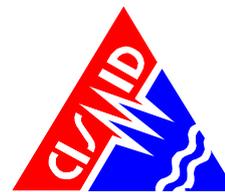
En el estudio, están considerados los elementos que se deben a las fuerzas naturales internas y los que se pueden generar a partir de estos, como: sismos, deslizamiento y desprendimientos.

#### **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 Rímac, 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 alta, media y baja. Lo anterior es mostrado en el mapa A-3 del Apéndice A.

#### **3.7.1. Peligro Alto**

Se ubica en la parte NE del distrito, son aquellas áreas que presentan laderas de fuerte a moderada pendiente, conformada por rocas ígneas intrusivas, que aunque presentan condiciones geotécnicas apropiadas para cimentar viviendas, el problema es que estas no se han construido con dirección técnica, a su vez existen bloques de rocas sueltas de tamaños heterométricos, que por lluvias extraordinarias y actividad sísmica de fuerte magnitud, estos bloques pueden caer ladera abajo, como también se pueden producir deslizamientos, afectando a la población asentada en la parte baja de estas laderas.

#### **3.7.2. Peligro Medio**

La zona de peligro medio, se ubica al NO, SE y límites con el río Rímac, donde se encuentran laderas de cerros con pendiente moderada y quebradas de corto recorrido, que podrían ser afectados por fuertes lluvias excepcionales, produciendo pequeños huaycos, y deslizamientos, con la agravante de que en estos terrenos se encuentran viviendas que no se han construido con la dirección técnica adecuada, siendo la mayor parte de estos terrenos con construcciones antiguas, y a su vez existen obras civiles importantes como el Túnel de Santa Rosa.

El peligro medio, también está relacionado a un posible desborde del río Rímac. La cual se produciría en la margen derecha del río, en la parte Sur del distrito, aunque actualmente debido al urbanismo antiguo de estos sectores, se observa que se han hecho varias obras de encauzamiento y defensa ribereña en el río Rímac, lo que hace que el cauce del río este controlado, pero esto se puede desbordar por un incremento anómalo del caudal del río debido a lluvias excepcionales, y/o actividades antropogénicas, como acumulación de desmonte a las riberas del río, por lo que podría afectar a la población ribereña por inundación y procesos erosivos.



### **3.7.3. Peligro Bajo**

La zona de peligro geológico de baja magnitud, se ubican en los terrenos planos, las cuales están conformados por depósitos aluviales, materiales disgregados, acarreados 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 ( $0^\circ$  a  $10^\circ$ ).

## **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



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



que el proceso de Poisson postula la utilización de datos mutuamente independientes, procedió a eliminar los eventos sísmicos catalogados como réplicas. Para ello se empleó la metodología propuesta en el proyecto piloto “Global Seismic Hazard Assessment Project” (GSHAP), basado en la relación de Maeda (1996).

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

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

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

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

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

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

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



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

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

#### 4.2. Peligro Sísmico Probabilístico

Para la evaluación del peligro sísmico probabilístico en el distrito de Rímac, 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 Rímac	-77.03	-12.02

Las Tablas 2, 3, 4 y 5 muestran los resultados obtenidos con el programa CRISIS 2007 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en el punto de análisis considerando los modelos de atenuación de Youngs et al, 1997 para roca y suelo y CISMID (Chávez, 2006) para suelo. En los valores presentados en la Tablas 2 y 3 están incluidos los resultados del modelo de atenuación de Sadigh et al (1997). Estos valores se han estimado para los diferentes modelos de atenuación utilizados y para los períodos de retorno de 475, 950 y 2500 años, considerando 50 años de periodo de exposición sísmica.

Tabla 2. Aceleraciones espectrales en roca para  $T = 0.0$  s para diferentes periodos de retorno dadas en gal.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.03	-12.02	131.92	158.60	203.60	256.70	327.23	397.23	403.16	504.27



Tabla 3. Aceleraciones espectrales en roca para  $T = 0.0$  s para diferentes periodos de retorno dadas en g.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.03	-12.02	0.13	0.16	0.21	0.26	0.33	0.41	0.41	0.51

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

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

La aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo denso del Tipo C, con velocidades de ondas de corte  $V_s$  que varían entre 360 m/s a 760 m/s, y un suelo firme del Tipo D, con velocidades de ondas de corte  $V_s$  que varían entre 180 m/s a 360 m/s de acuerdo al IBC 2006, presenta aceleraciones máximas (PGA) que varían entre 0.53 g a 0.45 g, considerando la media (P.50) de los diferentes modelo de atenuación utilizados.

Así mismo, la Tabla 4 y 5 muestran las máximas aceleraciones horizontales esperadas en la base de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs et al. y CISMID.

Tabla 4. Aceleraciones espectrales en suelo para  $T = 0.0$  s para diferentes periodos de retorno dadas en gal.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.03	-12.02	210.07	257.38	325.22	410.95	524.69	629.75	638.33	812.36
CISMID 2006 (P.50)	-77.03	-12.02	152.35	192.58	254.49	331.99	441.25	548.97	556.52	709.70



Tabla 5. Aceleraciones espectrales en suelo para  $T = 0.0$  s para diferentes periodos de retorno dadas en g.

Modelo de Atenuación	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración Horizontal Máxima (gals) de Diferentes Modelos de Atenuación para un Período de Retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50)	-77.03	-12.02	0.21	0.26	0.33	0.42	0.53	0.64	0.65	0.83
CISMID 2006 (P.50)	-77.03	-12.02	0.16	0.20	0.26	0.34	0.45	0.56	0.57	0.72

## 5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO

### 5.1. Metodología

Para la caracterización geotécnica de los suelos del área de estudio se consideraron 3 aspectos. Estos son, el tipo de suelo según su clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el grado de compacidad del suelo y las condiciones particulares del lugar.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del área de estudio lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizado por el CISMID, en el año 2005. De este estudio, se recopiló 25 calicatas y 2 sondajes de pozos de agua subterránea.

Se reunió además información de estudios de mecánica de suelos realizados dentro de la Universidad Nacional de Ingeniería pues esta constituye parte del área de estudio, a partir de dichos estudios, se recopiló 25 calicatas.

También se ha recopilado información de diferentes estudios de mecánica de suelos con fines de cimentación de la empresa privada CAA Ingenieros Consultores E.I.R.L. De estos estudios, se recopiló 23 calicatas.

Así mismo de la empresa privada Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L., se recopiló 5 calicatas y 4 sondajes de perforaciones diamantinas.

Finalmente se recopiló información de estudios geotécnicos de la empresa privada MyM Consultores S.R.L. De estos estudios, se recopiló 9 calicatas.

En total para el presente estudio, se recopiló 87 calicatas, 2 sondajes de pozos de agua subterránea y 4 sondajes de perforaciones diamantinas que en su conjunto suman 93 puntos de exploración geotécnica recopilada.



## **5.2. Tipos de Suelos**

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

### **5.2.1. Gravas y rocas**

Conformados por dos tipos de suelo para la cimentación, las gravas y rocas.

Las rocas identificadas en el área de estudio, son materiales conformados principalmente por rocas intrusivas pertenecientes a la Superunidad Patap y Santa Rosa. Se encuentran emplazados en gran parte del área de estudio conformando sectores topográficamente elevados, ubicados desde el sector de Amancaes hasta el Cerro San Cristóbal y también en la parte posterior del área que corresponde a la Universidad Nacional de Ingeniería. Son materiales que presentan diversos grados de fracturamiento y afectados por procesos físico-mecánicos.

Por otro lado se encuentran las gravas que son materiales de origen aluvial y coluvial, 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 e intermedias del área de estudio, y sub angulosos a angulosos en las partes topográficamente elevadas del área de estudio y de humedad baja. Se encuentran emplazados principalmente en las zonas bajas e intermedias del área de estudio por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas; y superficialmente, sobre rocas en las partes altas del área de estudio.

### **5.2.2. Arenas**

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales y coluviales, conformados por arenas de compacidad media y sin la presencia del nivel freático. Se encuentran emplazadas en la zona norte del área de estudio en un sector de Amancaes.

### **5.2.3. Limos y Arcillas**

Son materiales finos, de consistencia media y sin la presencia del nivel freático. Se encuentran emplazados juntos a las arenas y en menor extensión con relación a estas, encontrándose en sectores en la zona de Amancaes.



#### **5.2.4. Rellenos**

Son depósitos antrópicos, tales como materiales de demolición de construcciones antiguas, basura, restos de cerámicas antiguas, etc. Identificados en una zona en el área de estudio, en lo que corresponde actualmente a sectores de la Asociación de Cantagallo y la Subgerencia de Operaciones de Seguridad de la Municipalidad de Lima. Son materiales heterogéneos sin selección, constituidos por diversos materiales que van desde gravas, arenas y finos hasta concreto, ladrillos, cerámicas y desechos.

### **5.3. Microzonificación Geotécnica**

El mapa C-4 del Apéndice C describe las zonas I, II y V con el material y las características geotécnicas que ofrecen para la cimentación de edificaciones convencionales considerando el tipo de suelo y las condiciones particulares del lugar. Adicionalmente, donde correspondía, se incluyó la estimación de la capacidad de carga admisible que tendría la cimentación de una edificación convencional definida como cimientos corridos de 0.60 m de ancho y profundidad de cimentación mínima de 0.80 m. La descripción de esta zona se presenta en los ítems siguientes. Es importante mencionar que no se han identificado zonas III y IV en este estudio ya que corresponden a suelos flexibles no encontrados en este distrito.

#### **5.3.1. Zona I**

La Zona I comprende a las zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y a los depósitos de gravas de compacidad media a densa. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona es mayor a 5.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana y de 2.0 kg/cm<sup>2</sup> a 4.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

#### **5.3.2. Zona II**

Esta zona se encuentra emplazada en el sector norte del área de estudio e incluye a las arenas de compacidad media y a los limos y arcillas de consistencia media. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 kg/cm<sup>2</sup> y 2.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la arena, y entre 0.7 kg/cm<sup>2</sup> y 1.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre los limos y



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

### 5.3.3. Zona V

Comprende a las zonas con escombros y depósitos de rellenos antrópicos. Identificados en una zona en el área de estudio, en lo que corresponde actualmente a sectores de la Asociación de Cantagallo y la Subgerencia de Operaciones de Seguridad de Lima. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que la cimentación no debe estar asentada en este material.

Los rellenos podrían ser reemplazados por material competente, esto podrá ser posible siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos, que respalden técnicamente esta decisión.

## 6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO

### 6.1. Metodología

Para la caracterización dinámica del suelo se utilizaron 3 propiedades que están íntimamente ligadas con su respuesta dinámica. Estas son, el periodo de vibración del suelo y la velocidad de ondas de corte y de compresión de los diferentes estratos de suelo.

#### 6.1.1. Periodo de Vibración del Suelo

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

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

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

En este estudio se realizó la medición de 68 microtremores en puntos distribuidos en toda el área de estudio, formando una malla de 0.5 a 0.8 km de separación entre puntos. Además se han recopilado 13 microtremores realizados por el CISMID (2005). Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

### 6.1.2. Perfil de Velocidades de Ondas de Corte

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

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 23 ensayos geofísicos MASW en el área de estudio.

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

EL método F-k fue desarrollado por Capon (1969), y es una técnica simple para la extracción de las velocidades de propagación en un rango de frecuencias determinado para un registro



de microtremores (Asten, M. y Henstridge, J., 1984). Capon (1969) sugirió el uso de los espectros cruzados entre cada par de sensores como un factor útil para el cómputo del espectro de poder F-K.

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

El método SPAC (Método de Auto-correlación Espacial) fue propuesto por Aki (1957) teniendo en cuenta la teoría de microtremores que se basa en el registro de ondas superficiales y asumiendo que son estacionarios en el espacio y tiempo. Se considera un arreglo circular de microtremores que registra ondas Rayleigh generadas por el ruido ambiental, para posteriormente extraer la onda superficial en forma de dispersión, con lo que tendríamos la velocidad de fase en función de la frecuencia.

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

Se llevaron a cabo 01 mediciones de arreglos de microtremores. Estas mediciones tuvieron un radio máximo de 45 m para arreglos circulares y una separación mínima de 0.5 m entre sensores para arreglos lineales. Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

### **6.1.3. Perfil de Velocidades de Ondas de Compresión**

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

La energía generada viaja directamente a través de la capa de suelo más superficial o por las capas de suelo más profundas antes de regresar a la superficie debido a la refracción. Así, las ondas son registradas por los sensores o geófonos igualmente espaciados a cierta distancia establecida. Después de cierta longitud desde el punto de la generación de energía, la onda refractada es observada como la primera onda en arribar. La refracción sísmica usa



el proceso de refracción crítica para inferir profundidades de fronteras entre capas de suelo y velocidades de estas (Anomohanran, 2013).

Se han realizado 19 ensayos de Refracción Sísmica. Para más detalles sobre los ensayos realizados puede referirse al Apéndice D del presente informe.

## **6.2. Mapa de Zonas de Isoperiodos**

El mapa D-3 del Apéndice D muestra una zona definida por un intervalo de período clasificada de acuerdo a sus características dinámicas de vibración y relacionadas con las velocidades de ondas de corte encontradas. La descripción de esta zona se presenta en el ítem siguiente.

### **6.2.1. Zona I**

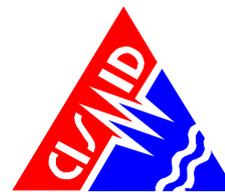
La Zona I comprende el área con períodos de vibración menores a 0.20 s. Esta zona abarca la zona norte, este, oeste sur del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido. Según los perfiles obtenidos con el ensayo MASW se presentan estratos rígidos a partir de los 2.3 m de profundidad aproximadamente y a los 11.3 m de profundidad en promedio presentan valores de velocidades de ondas de corte mayores a los 760 m/s, representando estratos de material muy rígidos.

### **6.2.2. Zona II**

La Zona II comprende el área con períodos de vibración de 0.20 s a 0.30 s. Esta zona se encuentra ubicada en parte exterior de la zona central 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, presentan estratos rígidos a partir de los 2.3 m de profundidad en promedio y a la máxima profundidad explorada de 30.0 m presentan velocidades de ondas de corte entre 665 m/s y 810 m/s, representando estratos rígidos de material granular denso con aumento en la rigidez para mayores profundidades. De los perfiles sísmicos obtenidos del ensayo de arreglo de microtemores se puede concluir que existe un material granular denso de espesor menor a 35.0 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.

## **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 presenta cuatro zonas, cuyas descripciones se presentan en los siguientes ítems. Es necesario indicar que no existe la zona III en esta microzonificación debido a que corresponde a suelos flexibles no encontrados en este distrito.

### **7.1. Zona I**

Esta zona comprende a las zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y a los depósitos de gravas de compacidad media a densa. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona es mayor a  $5.0 \text{ kg/cm}^2$  si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana y de  $2.0 \text{ kg/cm}^2$  a  $4.0 \text{ kg/cm}^2$  si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos. En esta zona se encuentran períodos de vibración lateral del suelo menores a 0.20 s.

Adicionalmente, esta zona incluye áreas definidas con peligro geológico bajo. Estas corresponden a áreas planas conformadas por depósitos aluviales.



## **7.2. Zona II**

Esta zona incluye a las arenas de compacidad media y a los limos y arcillas de consistencia media. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 kg/cm<sup>2</sup> y 2.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la arena, y entre 0.7 kg/cm<sup>2</sup> y 1.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre los limos y arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos. En esta zona se encuentran períodos de oscilación lateral del suelo menores a 0.30 s.

Adicionalmente, esta zona incluye áreas definidas con peligro geológico medio, debido a la presencia de laderas de cerros con pendiente moderada.

## **7.3. Zona IV**

Comprende a las laderas de cerros con pendiente fuerte a moderada conformadas por material rocoso con diferentes grados de fracturación

## **7.4. Zona V**

Comprende a las zonas con escombros y depósitos de rellenos antrópicos. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que la cimentación no debe estar asentada en este material.

Los rellenos podrían ser reemplazados por material competente, esto podrá ser posible siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos, que respalden técnicamente esta decisión.

## **8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO**

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativa estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico que corresponde para un suelo "Tipo C" (IBC, 2006) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 441.25 cm/s<sup>2</sup>; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica I-2 se obtienen multiplicando el factor del suelo propuestos en la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 por la aceleración máxima PGA de 441.25 cm/s<sup>2</sup> de la siguiente manera:



Zona	Factor	Aceleración Máxima (cm/s <sup>2</sup> )
I	1.0	441.25
II	1.2	529.50
IV	1.4	617.75
V	1.5	661.88

Los valores obtenidos para el área de estudio son mostrados en el Mapa I-3.

## 9. MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

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

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

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

donde la velocidad máxima esperada del suelo,  $V_{max}$ , se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo,  $A_{max}$ , y del periodo de oscilación del suelo,  $T_s$ , para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito del Rímac, se deberá utilizar como datos de entrada la aceleración máxima del suelo y el periodo de oscilación del suelo estimados anteriormente y representados en el Mapa I-3 del presente informe y el Mapa D-3 del Apéndice D. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Rímac se muestran en el Mapa I-4 y varían en un intervalo de velocidades máximas predominantes de 60 cm/s a 120 cm/s.



## 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 (7CUUE) & 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.

