



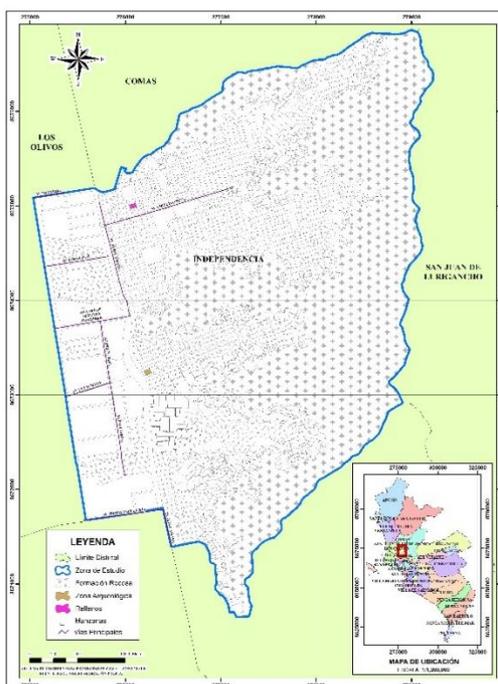
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



**PROGRAMA: 0068 REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIA POR DESASTRE**

**PRODUCTO: 3.000481 GOBIERNOS LOCALES CON  
EVALUACIÓN DE RIESGOS ANTE SISMOS Y TSUNAMIS**

**ACTIVIDAD: 5.003430 DESARROLLO DE  
MICROZONIFICACIÓN ANTE SISMO Y TSUNAMI**



# **INFORME MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA**

**LIMA – AGOSTO, 2013**



## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	4
1.2.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
II.	ESTUDIO GEOLÓGICO.....	5
2.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	5
2.2.	GEOLOGÍA LOCAL.....	6
2.3.	ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y PELIGRO GEOLÓGICO POTENCIAL.....	7
III.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.....	8
3.1.	SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
3.2.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.....	10
IV.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO.....	10
4.1.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE MATERIAL.....	10
4.2.	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	13
V.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS.....	15
5.1.	MAPA DE ZONAS DE ISOPERÍODO.....	16
VI.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	17
VII.	MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	19
VIII.	MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	19
IX.	REFERENCIAS.....	20



### **LISTA DE APENDICES**

- APÉNDICE A** : Estudio Geológico en el distrito de Independencia.
- APÉNDICE B** : Evaluación del Peligro Sísmico en el distrito de Independencia.
- APÉNDICE C** : Características Geotécnicas del Suelo en el distrito de Independencia.
- APÉNDICE D** : Caracterización Dinámica del Suelo en el distrito de Independencia.

### **LISTA DE MAPAS**

- I-01** : Mapa de Ubicación de Zona de Estudio del distrito de Independencia
- I-02** : Mapa de Microzonificación Sísmica del distrito de Independencia
- I-03** : Mapa de Aceleraciones Máximas Esperadas del Suelo del distrito de Independencia
- I-04** : Mapa de Velocidades Máximas Esperadas del Suelo del distrito de Independencia



## RESUMEN

La Universidad Nacional de Ingeniería a través del CISMID-FIC-UNI participa como pliego en la estrategia de gestión “Presupuesto por Resultados” (PpR) del Ministerio de Economía y Finanzas, específicamente en el programa “**0068 Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**”, recibiendo el presupuesto necesario para ejecutar la actividad “**Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami**”, dentro del producto “**Gobiernos Locales con Evaluación de Riesgos Ante Sismos y Tsunamis**”.

Cumpliendo con el compromiso adquirido, el producto principal del presente estudio es elaborar un Mapa de Riesgo para un escenario sísmico en el distrito de Independencia, para ello es necesario ejecutar previamente un estudio dirigido a obtener un mapa de Microzonificación Sísmica y de Peligro Geológico para el distrito de Independencia, integrando para ello las diferentes especialidades como geología, geotécnica y geofísica; y complementando con otros estudios anteriormente realizados, dicho estudio comprende el contenido del 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.

Inicialmente se identificaron en el área de estudio del distrito de Independencia aquellas zonas declaradas como intangibles, cuyo uso como zona residencial es prohibido y está declarado como zona de otros usos, asimismo se identificaron las zonas declaradas por el Instituto Nacional de Cultura como monumentos arqueológicos, También se limitaron e identificaron áreas ubicadas en las partes superiores y las laderas de fuerte pendiente de las formaciones rocosas existentes en el distrito, cuyo uso también está restringido como zona residencial. Luego, se priorizó ejecutar el estudio en las zonas urbanas ocupadas con construcciones formales e informales y las zonas de expansión urbana.

Este informe comprende el desarrollo de diferentes estudios. El primero corresponde a las características geológicas en el distrito de Independencia (Apéndice A), como segundo estudio se evalúa el peligro sísmico para estimar estadísticamente la aceleración máxima horizontal (PGA) en roca y suelo (Apéndice B), el cual es importante para determinar las aceleraciones del terreno en superficie. Los siguientes son las características geotécnicas, y dinámicas del suelo; que son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice C) y de Isoperiodos (Apéndice D).

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.



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

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



A partir de la superposición de los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice C), Isoperíodos (Apéndice D) se obtiene el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02), el cual fue el objetivo para el presente informe.

Se han identificado tres zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica. Las Zonas I, II y IV reflejan el comportamiento geotécnico y sísmico del suelo en el área de estudio, de manera cuantitativa y cualitativa; estas zonas se presentan ordenadas de más a menos competente ante sollicitaciones de cargas estáticas y ante la ocurrencia de un evento sísmico severo. El resultado final es un mapa que se convierte en un gran instrumento para la planificación y desarrollo urbano o para la reconstrucción después de un desastre sísmico. Asimismo el Mapa de Peligro Geológico (A-03) se ubica en el Apéndice A.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún tipo de edificación en algún punto específico de la zona de estudio. Estos resultados no reemplazan a los estudios que deben ejecutarse siguiendo los procedimientos exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y la Norma Técnica de Edificación E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de obligatorio cumplimiento

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



INFORME

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA

I. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

La Universidad Nacional de Ingeniería a través del CISMID participa como pliego en la estrategia de gestión pública “Presupuesto por Resultados” (PpR) del Ministerio de Economía y Finanzas, que vincula la asignación de recursos a productos y resultados medibles a favor de la población, que requiere la existencia de una definición de los resultados a alcanzar, el compromiso para lograr dichos resultados por sobre otros objetivos secundarios, la determinación de responsables, los procedimientos de generación de información de los resultados, productos y de las herramientas de gestión institucional, así como la rendición de cuentas.

Los programas presupuestales son unidades de programación de las acciones del Estado que se realizan en cumplimiento de las funciones encomendadas a favor de la sociedad. Su existencia se justifica por la necesidad de lograr un resultado para una población objetivo, en concordancia con los objetivos estratégicos de la política de Estado formulados por el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), órgano rector del Sistema Nacional de Planeamiento Estratégico. El CISMID-FIC-UNI participa como pliego específicamente en el programa **0068 Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres**, recibiendo el presupuesto necesario para ejecutar la actividad “**Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami**”, dentro del producto “**Gobiernos Locales con Evaluación de Riesgos Ante Sismos y Tsunamis**”.

El objetivo del presente estudio es elaborar un mapa de Microzonificación Sísmica y de Peligro Geológico para el distrito de Independencia, integrando para ello las diferentes especialidades como geología, geotécnica y geofísica; y complementando con otros estudios anteriormente realizados. Los resultados obtenidos serán utilizados para elaborar un Mapa de Riesgo para un escenario sísmico en el distrito de Independencia.

Inicialmente se identificaron en el área de estudio del distrito de Independencia aquellas zonas declaradas como intangibles, cuyo uso como zona residencial es prohibido y está declarado como zona de otros usos, asimismo se identificaron las zonas declaradas por el Instituto Nacional de Cultura como monumentos arqueológicos, también se limitaron e identificaron áreas ubicadas en las partes superiores y las laderas de fuerte pendiente de las formaciones rocosas existentes en el distrito, cuyo uso también está restringido como zona residencial. Luego, se priorizó ejecutar el estudio en las zonas urbanas ocupadas con construcciones formales e informales y las zonas de expansión urbana.

La actividad desarrollada se sustenta en el presente informe **Microzonificación Sísmica del distrito de Independencia**.



## **1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El distrito de Independencia se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima, limita con los siguientes distritos:

- Por el Norte con el distrito de Comas.
- Por el Sur con los distritos de San Martín de Porres y El Rímac.
- Por el Este con el distrito de San Juan de Lurigancho.
- Por el Oeste con el distrito de Los Olivos.

El Mapa I-01 del presente informe muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

## **II. ESTUDIO GEOLÓGICO**

Se efectuó la Evaluación Geológica y de Peligro geológico de las zonas con afloramiento rocoso en cuyas laderas se encuentran emplazadas las construcciones urbanas del distrito de Independencia. Mayor detalle se puede encontrar en el Apéndice A.

### **2.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área en estudio, han sido modelados por eventos plutónicos y/o tectónicos, así como por procesos de geodinámica externa.

Las unidades geomorfológicas existentes en el área estudiada son clasificadas como quebradas y estribaciones de la Cordillera Occidental.

La secuencia estratigráfica de la región abarca las formaciones o superunidades que se ubican unas fuera del área de estudio y otras en el marco del área de estudio. La geología regional comprende rocas y suelos con edades que van desde el Cretáceo Superior, Terciario y Cuaternario, hasta la más reciente.

Producto de la fase compresiva del Terciario Inferior en el área de estudio, se ha desarrollado un sistema de fallamiento con dirección NO – SE paralelo a la Cadena Andina, que ha favorecido el rápido desarrollo de la erosión lineal, así como un sistema de fracturas que obedecen a procesos tectónicos de compresión Post – batolito. Los grandes esfuerzos tangenciales han causado el fracturamiento intenso de los cuerpos rocosos ígneos, con fracturas ligeramente meteorizadas a limpias, que presentan aberturas que van desde milímetros a centímetros, lo que ocasiona que en superficie éstas se encuentren disturbadas, propensos a la inestabilidad.

Para mayor detalle de los aspectos geomorfológico, formaciones y aspectos geodinámicos, revisar el Apéndice A (Informe Geológico del distrito de Independencia).



## 2.2. GEOLOGÍA LOCAL

Esta actividad consistió en una apreciación y evaluación geológica del Mapa Urbanístico del distrito de Independencia en contraste con el plano geológico del INGEMMET en las áreas comprometidas con las construcciones de viviendas especialmente. Se evaluó los Tramos TG1, TG2, TG3, TG4, TG5, y TG6 con la finalidad de identificar las distintas formaciones rocosas, así como la posibilidad que ocurran fenómenos de geodinámica externa (ver Mapa A-02 del Apéndice A). A continuación se detallan los tramos indicados.

### TRAMO GEOLÓGICO TG1

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la Quebrada q1 denominada Payet y la Quebrada q2 denominada Tahuantinsuyo, conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria y gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

### TRAMO GEOLÓGICO TG2

Este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la **Quebrada q3** conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria y gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

### TRAMO GEOLÓGICO TG3

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la **Quebrada q4** conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria y gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

### TRAMO GEOLÓGICO TG4

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la **Quebrada q5** conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria y gravas con formas que van de subangulosas a



angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

Para la evaluación la dividiremos en margen derecha, partes altas y margen izquierda de la quebrada en mención.

#### TRAMO GEOLÓGICO TG5

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la **Quebrada q6** conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria y gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

Para la evaluación la dividiremos en margen derecha, partes altas y margen izquierda de la quebrada en mención.

#### TRAMO GEOLÓGICO TG6

Este tramo está conformado por las laderas que se pueden apreciar desde la Av. Túpac Amaru que están comprometidos con la formación marcavilca (Ki-m); este tramo esta propenso, si se dan las condiciones, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo y caída de bloques de roca (Ver Fotos N° 34). El Peligro Geológico Potencial de estas laderas es Moderado.

### 2.3. ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y PELIGRO GEOLÓGICO POTENCIAL

Esta actividad consistió en delimitar zonas geológicas ZG1, ZG2 y ZG3, condicionados por los fenómenos de geodinámica externa que pudieran ocurrir en el tiempo geológico, que nos da como resultado los peligros geológicos potenciales.

La zonificación geológica asociado al peligro geológico potencial puede apreciarse en el Mapa A-03 del Apéndice A. A continuación se detalla la zonificación realizada:

#### ZONA GEOLÓGICA ZG1

Están asociadas a las quebradas q5 y q6 y su margen derecha e izquierda respectiva, con fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo y caída de bloques de roca, con Peligro Geológico Potencial Moderado.

#### ZONA GEOLÓGICA ZG2

Están asociadas a las quebradas q1, q2, q3, q4 y su margen derecha e izquierda respectiva, fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca, con Peligro Geológico Potencial de Moderado a Alto.



### ZONA GEOLÓGICA ZG3

Comprometida con las quebradas q1, q2, q3, q4 en sus partes altas respectivas, con fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca, reactivación de material de deslizamiento y huayco antiguo; con Peligro Geológico Potencial Alto.

### III. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

A continuación se describe la sismicidad del área de estudio y se presenta la evaluación del peligro sísmico mediante métodos probabilísticos. Mayor detalle se puede encontrar en el Apéndice B.

#### 3.1. SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992), hace una recopilación de datos sobre los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú desde el año 1513. Este trabajo constituye una fuente de información básica para el conocimiento de las intensidades sísmicas de los sismos históricos. Según esta información, los mayores terremotos registrados en la costa central del Perú son los de 1586, 1687 y el de 1746, este último destruyó completamente la ciudad de Lima y generó un maremoto con olas de 15 a 20 m de altitud. Así mismo, se reporta que durante el período de 1513 a 1959, Lima fue destruida sucesivamente por un total de 15 terremotos (Silgado, 1978)

Alva Hurtado et al (1984), basándose en esta fuente han elaborado un mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú. La confección de dicho mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes. Las intensidades máximas registradas en la zona costa central, donde se localiza el área de estudio, alcanzan valores de hasta IX en la escala MMI.

En el Anexo B-1 (Apéndice B) se presenta una descripción resumida de los sismos que han ocurrido en el área de influencia. Este anexo está basado fundamentalmente en el trabajo de Silgado y en el Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS). Así mismo, se incluye la descripción de los sismos recientes ocurridos en la región en estudio y que se consideran significativos para los fines de este estudio.

Del análisis de la información existente se deduce que en la zona andina, existe poca información histórica. La mayor cantidad de información está referida a sismos ocurridos principalmente a lo largo de la costa centro y sur, debido probablemente a que en esta región se establecieron las ciudades más importantes después del siglo XVI. Se debe indicar que dicha actividad sísmica, tal como se reporta, no es totalmente representativa, ya que pueden haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, que no fueron reportados.

Los sismos más importantes que afectaron la región y cuya historia se conoce son:

- El sismo del 9 de Julio de 1586, con intensidades de IX MMI en Lima y VI MMI en Ica.



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



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

- El sismo del 13 de Noviembre de 1655, con intensidades de IX MMI en el Callao y VIII MMI en Lima.
- El sismo del 12 de Mayo de 1664, con intensidades de X MMI en Ica, VIII MMI en Pisco y IV MMI en Lima.
- El sismo del 20 de Octubre de 1687, con intensidades de IX MMI en Cañete, VIII MMI en Ica y VII MMI en Lima.
- El sismo del 10 de Febrero de 1716, con intensidades de IX MMI en Pisco y V MMI en Lima.
- Sismo del 28 de Octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX –X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca.
- El sismo del 30 de Marzo de 1828, con intensidad de VII MMI en Lima.
- El sismo del 04 de Marzo de 1904, con intensidad de VII - VIII MMI en Lima.
- Sismo del 24 de Mayo de 1940 a las 11:35 horas: Intensidad de VIII (MMI) en Lima, VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo.
- El sismo del 17 de Octubre de 1966, con intensidad VII MMI en Lima.
- El sismo del 03 de Octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.
- El sismo del 18 de Abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.
- El 15 de Agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico  $M_w=7.9$  de acuerdo al Instituto Geofísico del Perú y de 8.0 según el Nacional Earthquake Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima. VI en las localidades de Yauyos (Lima), Huaytará (Huancavelica), IV en las ciudades de Huaraz y localidades de Canta, Puquio, Chala. Este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas, y una licuación generalizada en un área de más de 3Km de longitud por 1.0 Km de ancho en las zonas de Canchamaná y Tambo de Mora en Chincha.

En el Anexo B-2 (Apéndice B) se presentan los Mapas de Isosistas disponibles, los cuales corresponden a los siguientes sismos ocurridos en el área en estudio: 9 de Julio de 1586, 20 de Octubre de 1687, 28 de Octubre de 1746, 06 de Enero 1725, 28 de Octubre de 1746, 24 de Mayo



de 1940, 28 de Mayo de 1948, 17 de Octubre de 1966, 31 de Mayo de 1970, 3 de Octubre de 1974, 18 de Abril de 1993 y 15 de Agosto del 2007.

Se concluye que, de acuerdo a la historia sísmica del área de estudio, en los últimos 400 años han ocurrido sismos con intensidades de hasta IX.

### **3.2. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO**

En el presente estudio se han empleado leyes de atenuación para cuantificar la aceleración horizontal máxima del suelo en la base, así como leyes de atenuación que permiten estimar los niveles de demanda sísmica para diferentes periodos de vibración del suelo publicados en la literatura técnica, denominados leyes de atenuación para ordenadas espectrales. Dada esta tendencia mundial, se ha empleado en este estudio relaciones de atenuación de ordenadas espectrales para aceleraciones, que distingue sismos de subducción de interfase e intraplaca. Se ha empleado los modelos de atenuación de Youngs et al. (1997) y la ley de atenuación CISMID obtenida mediante el procesamiento estadístico bayesiano de registros de movimientos fuertes de suelo de sismos registrados dentro del territorio peruano y captados por la Red Acelerográfica del CISMID. Esta investigación fue realizada por Chávez, J. (2006). Así mismo, se ha empleado el modelo de atenuación para aceleraciones espectrales propuestas por Sadigh, et al, 1997 para sismos continentales.

En base a la clasificación de sitio definida en el código International Building Code (IBC), la ley de atenuación de Youngs et al, 1997 elaborada para roca aplica para un suelo Tipo B (velocidades promedio de ondas de corte  $V_s$  entre 760 m/s y 1500 m/s), la ley de atenuación de Youngs et al, 1997 elaborada para suelo, aplica para un suelo firme "Stiff soil" Tipo D (velocidades promedio de ondas de corte  $V_s$  que varían de 180 m/s a 360 m/s), la ley de atenuación de CISMID se aplica para un tipo de suelo "Tipo C", debido a que presenta una velocidad de 530 m/s, según los resultados obtenidos de mediciones realizados en la Estación "Jorge Alva Hurtado".

Los resultados obtenidos proponen un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.33g para roca, y un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.45g para suelo Tipo C, y 0.53g para suelo D, estimado para 475 años de periodo de retorno.

## **IV. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO**

### **4.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE MATERIAL**

El presente informe documenta las actividades realizadas para desarrollar el estudio de Microzonificación Geotécnica del distrito de Independencia. En éste se documenta la recopilación de la información disponible, los trabajos de exploración de campo, los ensayos de laboratorio y la caracterización mecánica de los suelos de cimentación, que constituyen la información básica para definir las zonas con características geotécnicas similares, teniéndose como producto final el Mapa de Microzonificación Geotécnica del distrito de Independencia.



La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del distrito de Independencia lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizada por el CISMID, en el año 2004. En este estudio, se recopilaron 20 calicatas y un sondaje de pozo de agua subterránea.

Adicionalmente, en el presente estudio (CISMID, 2013), se ha recopilado información de estudios de mecánica de suelos con fines de cimentación, ejecutados en el distrito de Independencia por empresas privadas. Esta información incluye cuatro registros de sondajes representativos.

La ubicación de los sondajes recopilados se presenta en el Mapa C-1; sus registros, en el Anexo C-1, y una relación de los mismos, en las Tablas C-1 y C-2. Todos ellos en el Apéndice C (Características Geotécnicas del Suelo en el distrito de Independencia).

Las características geotécnicas del distrito Independencia han sido determinadas mediante sondajes y perfiles de pozos de agua recopilados y sondajes ejecutados durante el presente estudio. La ubicación de todos estos sondajes se muestran en el Mapa C-1 del Apéndice C y un resumen de los mismos, en las tablas C-1 y C-2 del Apéndice C.

A continuación se describe los perfiles estratigráficos:

Dentro del área en estudio se han trazado 4 ejes a través de los sondajes representativos (Ejes A-A, B-B, C-C y D-D), con la finalidad de presentar perfiles de suelos que cubran las diferentes áreas de la zona en estudio. La representación de estos perfiles de suelos se encuentra en el Anexo C-2 del Apéndice C (Láminas 01 al 04), y son los que se describen a continuación:

Sección A-A (Lámina 01): Presenta en su mayor parte un estrato superficial conformado por rellenos que varían entre 1.10 m a 0.50 m de espesor, iniciando a la altura de la intersección de la Av. Túpac Amaru y Carlos Izaguirre y desapareciendo al llegar a la Av. Tomás Valle, donde superficialmente tenemos un capa de 0.25 m de espesor de arcilla (CL). Subyaciendo a esta primera capa se encuentran los suelos arcillo limosos (CL-ML y ML) y continuando, el material granular (GP/GW), que se alterna a mayores profundidades con suelos arenosos y arcillosos (tal como se aprecia en el sondaje E12).

Sección B-B (Lámina 02): Superficialmente se registra la presencia de material de relleno, de 1.0 m de espesor aproximadamente en buena parte de su extensión, salvo en el extremo izquierdo del perfil cerca de la Av. Alfredo Mendiola, donde el estrato superficial es un limo (ML). Subyace a este material un suelo arenoso con limos (SP-SM, SM, SW y SW-SM), que continua hasta la profundidad de 6.00 m en el sondaje E06. El suelo predominante es de tipo granular fino, no encontrándose la grava aluvial hasta la profundidad explorada.

Sección C-C (Lámina 03): Se presenta superficialmente un suelo arenoso (SW-SM, SP-SM), en prácticamente toda su longitud hasta la profundidad máxima investigada de 4.00 m, salvo en el sondaje E08 que tiene un estrato superficial de 0.30 m de arcilla (CL) y en el estrato E11 donde el estrato superficial corresponde a un material de relleno de 1.20 m de potencia.



Sección D-D (Lámina 04): Este perfil presenta superficialmente un relleno de 0.40 m de espesor y presenta una potencia de 3.00 m en la zona del sondaje E14. Subyaciendo a este material se registran la presencia de suelos que van desde finos arcillosos hasta arenas limosas, que alcanzan 2.70 m de profundidad en el sondaje E13 y 1.90 m de profundidad en la calicata C02. Continuando, se encuentran los materiales gravosos (GP y GW-GM), hasta 4.00 m de profundidad que se registra en la calicata C02.

Con la información geotécnica obtenida de la exploración de campo, la información recopilada y los resultados de los ensayos de mecánica de suelos, se ha procedido a delimitar el área en estudio, según tipos de suelos y rocas con características geotécnicas similares. Las características de cada uno de estos tipos de materiales y los criterios seguidos para su subdivisión se describen a continuación:

### **Formaciones rocosas**

En base al informe de Geología, las formaciones rocosas, identificadas en el área de estudio, son materiales conformados, principalmente, por gabrodioritas, adamelitas y areniscas cuarzosas. Estos tipos de materiales presentan características geotécnicas favorables para la cimentación superficial de edificaciones.

Se encuentran en los sectores topográficamente elevados del distrito de Independencia. Están representados por los registros de sondajes recopilados, que se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C; y por los registros de la calicata ejecutada C-2 y los taludes descritos T-1, T-2, T-3, T-5, T-6, que se presentan en el Anexo C-2 del Apéndice C.

### **Depósitos de gravas**

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales. Se caracterizan por ser densos, de bordes subredondeados, en la parte baja del distrito, y angulosos, en la parte elevada, y de humedad baja. Se encuentran emplazados, principalmente, en la superficie de las formaciones rocosas y, en gran parte del área del distrito, a partir de 1.5 m de profundidad, por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas.

Están representados por los registros recopilados, que se documentan en el Anexo C-1 del Apéndice C; y por los registros de las calicatas ejecutadas C-1, C-3, C-4, C-5 y C-7, que se presentan en el Anexo C-2 del Apéndice C.

### **Depósitos de arenas**

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales, de compacidad media a densa, y con espesores variables. Subyaciendo a este material se registra la presencia de materiales gravosos con intercalaciones de arenas, limos y arcillas. Se encuentran en gran parte del distrito de Independencia. Están representados por los registros de sondajes recopilados, que se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C, y los registros de las calicatas ejecutadas C-1, C-2, C-4, C-5 y C-7, que se presentan en el Anexo C-2 del Apéndice C.



### Depósitos de limos y arcillas

Son materiales finos, de consistencia media y de poco espesor. Se encuentran en la superficie y, en algunos casos, intercalados con gravas y arenas.

Se encuentran en sectores específicos y de menor altura topográfica del distrito de Independencia. Están representados por los registros de sondajes recopilados, que se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C, y por el registro de la calicata ejecutada C-3, que se presenta en el Anexo C-2 del Apéndice C.

### Rellenos antrópicos

Son depósitos antrópicos, tales como materiales demolición de construcciones antiguas, basura, etc. Son materiales heterogéneos sin selección, constituidos por diversos materiales que van desde gravas, arenas y finos hasta concreto, ladrillos, maderas y desechos. Estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico, por lo que, se recomienda su remoción total. Estas acumulaciones han sido identificadas en sectores específicos del distrito de Independencia.

Los Mapas C-2 y C-3 del Apéndice C muestran los tipos de materiales a 1.0 y 2.5 m de profundidad, respectivamente.

## 4.2. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

El distrito de Independencia, a la fecha, cuenta con una microzonificación geotécnica realizada por el CISMID, en el año 2004. Por lo tanto, los puntos de exploración geotécnica programados en el presente estudio fueron ejecutados con el fin de complementar a los realizados en dicha microzonificación.

La evaluación geotécnica del área en estudio ha permitido delimitar los diferentes tipos de materiales con características geotécnicas similares, cuyo producto se presenta en los Mapas C-2 y C-3 del Apéndice C. A partir de esta delimitación, se ha procedido a agrupar los diferentes tipos de materiales según sus características geotécnicas. El propósito de esta agrupación ha sido definir un Mapa de Microzonificación Geotécnica el cual permita identificar zonas favorables y desfavorables para viviendas existentes y proyectadas del tipo convencional.

Esta microzonificación incluyó, para cada zona, la estimación de la capacidad de carga admisible que tendría la cimentación de una edificación convencional (cimiento corrido de 0.60 m de ancho y profundidades de desplante mínimos de 0.80 m, en el caso de suelos, y 0.40 m, en el caso rocas). El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

- La cimentación debe ser segura contra la falla de corte del suelo que la soporta, y,
- Los asentamientos producidos por la carga transmitida por la cimentación deben ser igual o menores que los permisibles para cada tipo de edificación.



Para tal fin, se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973).

En consecuencia, se ha dividido el área de estudio en cuatro zonas, los mismos que se describen a continuación:

### **Zona I**

Esta zona incluye a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturación que se encuentran en los cerros y en caso estén habitadas, y a los depósitos de gravas, que se registran en gran parte del distrito de Independencia. Los tipos de materiales descritos en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la grava a una profundidad mínima de 0.8 m; y mayor a 5.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

### **Zona II**

Esta zona se encuentra en el sector noroeste del distrito, incluye, predominantemente, a los depósitos de arenas de compacidad media a densa, de espesores mayores a 3.0 m, y, escasamente, a los depósitos de limos y arcillas de consistencia media, de poco espesor. Los tipos de suelo descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y a una profundidad mínima de 0.80 m, varía entre 1.0 y 3.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la arena; y entre 0.7 y 1.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre los limos o las arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

### **Zona IV**

Se muestran las zonas topográficas que presentan pendiente fuerte propensa a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo caída de bloques de roca tal como se indica en el Apéndice A "Estudio Geológico en el distrito de Independencia".

### **Zona V**

Esta zona incluye a los rellenos antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que estos sectores, actualmente, no son aptos para la construcción de edificaciones.



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.

El Mapa C-4 presenta la microzonificación geotécnica propuesta para el distrito de Independencia. Es necesario indicar que en este distrito no se ha encontrado material del suelo que corresponda a una caracterización de Zona III (suelos flexibles según la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente), por ello este tipo de zona no existe en este mapa.

## V. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

El presente estudio consiste en la determinación de las características dinámicas de vibración del suelo en el ámbito del distrito de Independencia. Estas características están definidas por parámetros dinámicos tales como el período natural de vibración y la velocidad de ondas de corte. Los períodos naturales de vibración han sido hallados mediante la medición de puntos de microtremores distribuidos en toda el área del distrito. Los lugares de medición fueron propuestos teniendo en cuenta áreas donde no se tenía información previa. Por otro lado, se han ejecutado y recopilado perfiles sísmicos obtenidos mediante el ensayo geofísico MASW y así como también se han recopilado perfiles obtenidos a través de ensayos de arreglos de microtremores, con el propósito de estimar la velocidad de propagación de ondas en el suelo; todos los métodos y sus características son descritos en el Apéndice D.

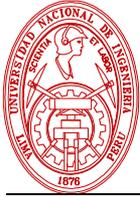
En este estudio se ha hecho la medición de 20 microtremores distribuidos en toda el área del distrito de Independencia, formando una malla de 1 a 1.5 km de separación entre puntos. La distribución de los puntos de medición se pueden observar en el Mapa D-1 del Apéndice D.

Mediante el análisis de los espectros H/V se han determinado los períodos naturales de vibración, los cuales varían de 0.08 s a 0.38 s (Anexo D-1 del Apéndice D).

Los resultados obtenidos muestran una buena correlación con mediciones realizadas anteriormente en el lugar los años 2005 (CISMID 2005) y 2012 (Gonzales 2014). Así, la zona oeste es la que presenta mayores periodos de vibración y de forma general, los valores de los periodos de vibración encontrados en el distrito de Independencia reflejan la existencia de un suelo rígido en la mayor parte del área de estudio y las zonas que corresponden a laderas y cerros predomina la roca fracturada a roca sana.

Se han realizado 05 ensayos geofísicos MASW con el fin de obtener perfiles de velocidades de ondas de corte en el distrito de Independencia; así como también se han recopilado 05 perfiles de ensayos MASW desarrollados por la empresa ZER GEOSYSTEM PERU S.A. y 04 Arreglos de Microtremores desarrollados por el CISMID (2012).

En el Anexo D-2 del Apéndice D, se muestran los registros de las Ondas Sísmicas MASW realizadas, en ellas se puede observar la llegada de las ondas superficiales en cada geófono en el tiempo medido. En el Anexo D-3 del Apéndice D, se muestran las curvas de dispersión halladas del análisis



de los registros de ondas sísmicas y en el Anexo D-4 del Apéndice D, se muestran los resultados de los perfiles de ondas de corte hallados con los ensayos MASW.

El perfil hallado con el arreglo MASW01, ubicado en la zona Sur-Este del distrito de Independencia (Mapa D-2 del Apéndice D), muestra la existencia de un material aluvial medianamente denso hasta los 3.0 m de profundidad, subyaciendo a este estrato se encuentra un material aluvial compacto, y a partir de los 22.00 m se tiene una velocidad mayor a los 750 m/s velocidad que se asocia a material de roca alterada.

El perfil MASW02, ubicado en la zona oeste del distrito presenta un material aluvial medianamente compacto en sus primeros 4.00 m, seguido por un material aluvial compacto que aumenta su velocidad en un ritmo rápido llegando a los 600 m/s de acuerdo a la profundidad investigada.

El perfil MASW03 muestra un material de relleno en los primeros 4.00 m metros de exploración, el cual se encuentra sobre un material aluvial compacto que llega a una velocidad de 600 m/s. de acuerdo a la profundidad investigada.

Los perfiles MASW04 y MASW05 ubicado en la zona Oeste del distrito presentan un material aluvial medianamente denso cuyo espesor de estrato varía entre 5.00 m y 13.00 m, seguido de un material aluvial compacto, para el caso del MASW04 llegando a una velocidad de 420 m/s y para el MASW05 una velocidad de 600m/s de acuerdo a la profundidad investigada

En el Anexo D-5 se presentan los perfiles de ondas de corte recopilados, obtenidos mediante el ensayo MASW. En general se puede observar que hay un material de relleno hasta los 3 m, seguidos de un material de grava medianamente densa hasta los 12 m de profundidad, con velocidades de ondas de corte de 350 m/s aproximadamente, subyaciendo a este estrato se encuentra la grava densa con velocidades de ondas de corte que aumentan con la profundidad. Es importante resaltar que estos perfiles se encuentran en un lugar puntual dentro del distrito.

Los perfiles de velocidades de ondas de corte de los arreglos de microtemores recopilados se presentan en el Anexo D-6 del Apéndice D. Los perfiles AR01, AR02 y AR04, que se encuentran en los cerros del distrito, presentan un material medianamente denso, cuyo espesor varia de 1 m a 7 m. Subyaciendo a este estrato se encuentra una velocidad que se asocia a un material de roca. El perfil AR03 presenta un estrato superficial denso hasta los 25 m de profundidad aproximadamente.

A pesar de que el perfil AR03 ubicado fuera del área del distrito, ha permitido establecer la diferencia entre las características de los depósitos de suelos en los cerros y en la parte baja del distrito.

## 5.1. MAPA DE ZONAS DE ISOPERÍODO.

El mapa D-3 del Apéndice D muestra el distrito de Independencia con cuatro zonas de isoperiodos.

**La Zona I** mostrada en color verde oscuro abarca todas las laderas de los cerros del distrito de Independencia que de acuerdo a los resultados de la exploración geotécnica tienen roca con grava



superficial. Los períodos de vibración de esta zona son menores a 0.1 s. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido.

**La Zona II** mostrada en color verde medio abarca el borde de las zonas aledañas a las laderas de los cerros. En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.1 y 0.2 s. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido.

**La Zona III** mostrada en color verde bajo se concentra a lo largo de la parte central del área de estudio. En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.2 s y 0.3 s. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido.

**La Zona IV** mostrada en color amarillo se concentra en un sector reducido de la zona oeste. En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.3 s y 0.4 s. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible.

## VI. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Independencia y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa C-4, Apéndice C) y de Isoperiodos (Mapa D-3, Apéndice D) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar cuatro zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02) del presente informe, es necesario indicar que en este distrito no se ha encontrado material de suelo correspondiente a una caracterización de Zona III (suelos flexibles según la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente), por ello este tipo de zona no existe en este mapa. A continuación se describen estas zonas:

### Zona I

Esta zona incluye a las formaciones rocosas con diferentes grados de fracturación que se encuentran en los cerros y en caso estén habitadas, y a los depósitos de gravas, que se registran en gran parte del distrito de Independencia. El tipo de suelo descrito en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, cimentada en una profundidad mínima de 0.80m, varía entre 2.0 kg/cm<sup>2</sup> y 4 kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona se encuentran entre 0.10 s y 0.20 s.



### Zona II

Esta zona incluye depósitos de arenas de compacidad media a densa de espesor mayor a 1.5 m, sobre grava densa. Esta zona se ubica en la zona oeste del área de estudio, limitando con el distrito de los Olivos. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y a una profundidad mínima de 0.80 m, varía entre 1.0 y 3.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la arena; y entre 0.7 y 1.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre los limos o las arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona se encuentran entre 0.20 s y 0.40 s.

### Zona IV

Esta zona se describe como potencial de peligro de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caída de bloques de roca y reactivación de materiales de deslizamiento y/o huaycos antiguos. Esta zona se ubica en la parte superior de las faldas de los cerros.

### Zona V

Esta zona incluye a los escombros y rellenos antrópicos, identificados en zonas puntuales del distrito de Independencia. Dadas las características desfavorables de los materiales de escombros y rellenos, se considera que estas zonas, actualmente, no son aptas para la construcción de edificaciones.

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

De acuerdo a la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones (1997), no está permitido cimentar sobre un relleno heterogéneo, por lo cual en lugares como este no es posible estimar la capacidad de carga para cimentaciones. Así mismo estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico. Por lo cual se ha demostrado en la experiencia que edificaciones cimentadas sobre este tipo de suelo sufren grandes asentamientos y daño severo, por lo que se recomienda su remoción total en caso que estas áreas sean utilizadas con fines urbanos.

Se debe mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún tipo de edificación en algún punto específico de la zona de estudio. Estos resultados no reemplazan a los estudios que deben ejecutarse siguiendo los procedimientos exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y la Norma Técnica de Edificación E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de cumplimiento obligatorio y se encuentran vigentes a la fecha de elaboración de este informe.



## VII. 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 cuantitativamente estimando el valor de aceleración horizontal máximo 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 para el distrito de Independencia (Apéndice B) que corresponde para un suelo “Tipo C” (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.450 g; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica I-02 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente por la aceleración máxima PGA de 0.450 g de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima
I	1.0	439.080 cm/s <sup>2</sup>
II	1.2	526.896 cm/s <sup>2</sup>
IV	1.4	614.712 cm/s <sup>2</sup>

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el Mapa I-03 del presente informe.

## VIII. 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 del 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:

$$\ln V_{max} = -1.8349 + 1.1146 \ln A_{max} + 0.4043 \ln T_s$$

Donde la velocidad máxima esperada del suelo ( $V_{max}$ ) se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo ( $A_{max}$ ) y del periodo de oscilación del suelo ( $T_s$ ) para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito de Independencia, 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-03 del presente informe y el plano D-3 del Apéndice D respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Independencia se muestran en el mapa I-04 del presente informe.



IX. REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Asten M.W. and Henstridge J.D., (1984), "Array Estimators and the use of Microseisms for Sedimentary Basin Reconnaissance": Geophysics v. 49, 1828–183.
- Ayashi, K. (2003), "Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods". Short Course - SAGEEP 2003.
- Bard, P. (1998), Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation? The effects of Surface Geology on Seismic Motion, Irikura, Kudo, Okada y Sasatani (eds), 1251-1279.
- Bermúdez M., Franco L., Martínez S. y Ojeda A., (2002), "Uso de las Microtremores para la evaluación de la Respuesta Dinámica de los Suelos"
- Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
- Berrocal J., Deza E. y Shikiya J. (1975), "Estudio de Sismicidad para el Proyecto de Derivación del Río Mantaro a Lima", Informe del Instituto Geofísico del Perú a ELECTROPERUS.A.
- Bieniawski Z.T (1989), "Engineering Rock Mass Clasificación "Willey Intersciencie Publication, USA.
- Capon J. (1969), "High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis": Proc. IEEE, v. 57, 1408-1418.
- Calderon, J., Sekiguchi, T., Aguilar, Z., Lazares, F. y Nakai, S. (2011), Dynamic Characteristics of the Surface Soils in Lima, Proc., Eighth International Conference on Urban Earthquake Engineering, 8CUEE Tokyo, Japan, 537-542.
- Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo - Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- CISMID (1991), "Memorias del Seminario Taller de Dinámica de Suelos". Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- CISMID (1992), "Estudio de Peligro Sísmico para el Afianzamiento Hídrico del Río Cañete–Lima". Informe Técnico, Lima, Perú.
- CISMID (2005), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 42 distritos de Lima y Callao". Ayuda Memoria Informe Técnico, Lima, Perú
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs.1538-1606.
- Das, B. M. (1996), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", México Thomson Editores, 4ta Edición, México.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
- Figuerola, J., C. (1974), "Tratado de Geofísica Aplicada", LITOPRINT, Madrid.



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

- Flores, H.C. (2004), "Método SPAC: Una alternativa para la Estimación de Modelos Velocidades en el Valle de México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gabriels, P., Snider, R., and Nolet, G. (1987), In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves: *Geophys. Prospecting*, 35, 187-196.
- González de Vallejo, L. y Ferrer M. (2002), "Ingeniería Geológica", Prentice Hall, Madrid, España.
- Gonzales, C. (2014), "Effects of Irregular Topography on the Dynamic Response of a Populated Slope in Lima City", Tesis de Maestría, Universidad de Chiba, Japón.
- Hoek E. Bray J. W (1977) "Rock Slope Engineering" London, 2da Edición.
- Hunt, Roy E (1986), "Geotechnical Engineering – Techniques and Practices", McGraw-Hill, USA.
- Instituto Geofísico del Perú. (2000), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- Idriss I. (1985), "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice". XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA.
- INGEMMET (1992), "Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica "Boletín N°43 – Hoja: 24-i.
- Instituto Tecnológico de España (1991) "Manual de Ingeniería de Taludes"
- Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R. (1968), "Seismology and Global Tectonics", *Journal of Geophysical Research*, Vol73, N°18, 5855-5899.
- Jaimes Miguel A., Reinoso Eduardo, Ordaz Mario y Arredondo Cesar (2009), "Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico", publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pag. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS).
- JICA (1988). "Final Report the Master Plan Study on the Disaster Prevention Project in the Rimac River Basin". Main Report. Tokio, Japón.
- Kramer, S.L. (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Lermo J., Rodríguez M., y Singh S. K. (1988), "Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements, *Earthquake Spectra*", 4, 805-14.
- Lermo, J. and F. J. Chavez-Garcia (1994), Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83,1350-1364.
- McGuire R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", MIT Report R74-51 Cambridge MA, USA.
- McGuire R.K. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- Miller, R. D., Pullan, S.E., Waldner, J. S., Haeni, F. P., (1986), "Field comparison of shallow seismic sources", *Geophysics*, Vol. 51, N° 11, 2067 – 2092, U.S.A.
- Nakamura, Y. (1989). "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface". *Quarterly Report Railway Technology. Research Institute.*, Vol. 30. N°3. 25-30.
- Park, C., Miller, R. y Xía, J. (1999), "Multichannel analysis of surface waves". *Geophysics*. Vol. 64. N° 3.800-808.
- Park., C.B., R. D. Miller, and J. Xia, Julian M. (1999), *Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock*, Kansas Geological Survey, Lawrence, Kansas, U.S.



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

- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. (2001<sup>a</sup>). "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surfaces Waves (MASW) method". Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.
- Plan de Ordenamiento Territorial y Ambiental -POTA- (2011), Geología de la Cuenca Chillón.  
[http://www.alter.org.pe/cuenca/sis\\_natural\\_fisico.html](http://www.alter.org.pe/cuenca/sis_natural_fisico.html). Página accedida en Marzo del 2011.
- Roma V. (2001), "Soil Properties and Site Characterization by means of Rayleigh Waves", PhD Degree in Geotechnical Engineering, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Technical University of Turin (Politecnico), Italy.
- Redpath, B., B. (1973), "Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations", Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California, U.S.A.
- Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J. L, Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- Silgado E. (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp.33-44.
- Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más notables ocurridos en el Perú 1955-1970", Geofísica Panamericana, Vol2, 179-243
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
- Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.
- Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- Tavera, H., y E. Buforn. (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N°10, pp.187-219. España.
- Tokimatsu K., Miyadera Y. and Kuwayama S. (1992a), Determination of Shear Wave Velocity Structures from Spectrum Analyses of Short-Period Microtremors, Proc., 10th World Conf. on Earthquake Eng., 1, 253-258.
- Tokimatsu K., Shinzawa K., Kuwayama S. (1992b), Use of short-period microtremors for Vs profiling, J. Geotechnical Eng., vol. 118 (10), ASCE, pp. 1544-1558.
- U. S. Army Corps of Engineers (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.