

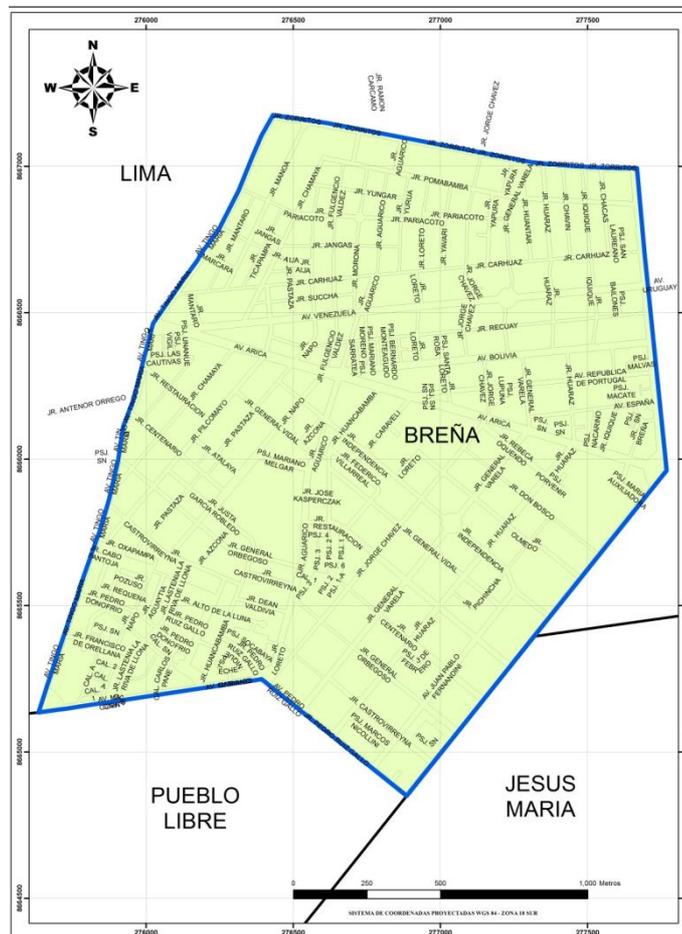


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



“CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE
EL CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL
RIESGO DE DESASTRES (CENEPRED) Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERÍA (UNI) “EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE
BREÑA”

INFORME N°3



ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE BREÑA

LIMA – NOVIEMBRE, 2012



ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	3
1.2.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
II.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	3
2.1.	GENERALIDADES	3
2.2.	SISMICIDAD DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	4
2.3.	HISTORIA SÍSMICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	4
2.4.	ANÁLISIS SÍSMICO PROBABILÍSTICO	6
III.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO	7
3.1.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA.....	7
3.2.	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.	9
IV.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS.....	10
4.1.	MAPA DE ISOPERÍODOS.	10
4.2.	PERFILES DE SUELO.	12
V.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	14
VI.	MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	15
VII.	MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	15
VIII.	REFERENCIAS	16



LISTA DE APENDICES

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

LISTA DE MAPAS

- I-01** : Plano Base del distrito de Breña.
- I-02** : Mapa de Microzonificación Sísmica del distrito de Breña.
- I-03** : Mapa de Aceleraciones Máximas Esperadas del Suelo del distrito de Breña.
- I-04** : Mapa de Velocidades Máximas del Esperadas Suelo del distrito de Breña.



RESUMEN

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) firmaron un convenio específico para ejecutar la “**Evaluación del Riesgo Sísmico del Distrito de Breña**”.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente Informe N° 3 es elaborar el Mapa de Microzonificación Sísmica para el distrito de Breña.

Este trabajo se ha desarrollado mediante la determinación del peligro sísmico probabilístico (Apéndice A), las características geotécnicas, y dinámicas del suelo; las cuales son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B) e Isoperiodos (Apéndice C) respectivamente y como resultado final el Mapa de Microzonificación Sísmica presentado en este informe.

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, los cuales son presentados en detalle en el Apéndice B..

Por otro lado, las características dinámicas, fueron determinadas a partir de mediciones de la vibración del suelo y su posterior análisis mediante métodos descritos en el Apéndice C.

En función de los mapas de microzonificación geotécnica (Apéndice B) y de Isoperiodos (Apéndice C) se ha identificado dos áreas en el Mapa de Microzonificación Sísmica. Las Zona I que refleja el comportamiento sísmico del suelo que predomina en el área de estudio y que corresponde a un suelo rígido y otra área en donde se ubican material de relleno.

En los Apéndices A, B y C se presentan a detalle los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados, utilizando tanto la información recopilada como la generada en este trabajo. Adicionalmente en base a los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica se generan mapas de velocidad máxima y aceleración máxima para el suelo del distrito de Ventanilla, información necesaria para la estimación del riesgo.



“EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE BREÑA”.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE BREÑA

I. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), firmaron un convenio específico para ejecutar la “EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE BREÑA”.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente Informe N°3 es elaborar un mapa de microzonificación sísmica para el distrito de Breña.

1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

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

- Por el Norte, Este y Oeste con el Cercado de Lima.
- Por el Sur con los distritos de Pueblo Libre y Jesús María.

La zona de estudio se puede observar en el mapa I-02

II. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

2.1. GENERALIDADES

El presente informe documenta los resultados de la revisión y el análisis de la información referente a la actividad sísmica en la región central del Perú, y específicamente en la ciudad de Lima, departamento de Lima, tal como se muestra en el Mapa M-01. Como es conocido el Perú presenta una alta actividad sísmica, debido principalmente a la zona de interacción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, donde existen evidencias históricas de la ocurrencia de grandes eventos sísmicos, siendo los más importantes los sismos del 17 de octubre de 1966 (8.1 Mw), 31 de mayo de 1970 (7.9 Mw), 03 de octubre de 1974 (8.1 Mw) y del 15 de agosto del 2007 (8.0 Mw).

La determinación del peligro sísmico se realizó mediante los métodos probabilísticos determinándose los niveles máximos de sollicitación sísmica al que estará sometida el área de estudio que contempla el proyecto en base a diferentes modelos de atenuación sísmica. Para el cálculo del análisis probabilístico se han establecido fuentes sismogénicas para sismos continentales y de subducción, las cuales están basadas en el trabajo de tesis de investigación de Gamarra (2009). La definición de las fuentes sismogénicas se realizó en base a la distribución espacial de la actividad sísmica, las características geotectónicas y los datos de mecanismos focales de los eventos sísmicos más importantes ocurridos



en el Perú, cada fuente sismogénica asocia un comportamiento sísmico espacial y temporalmente homogéneo. Las fuentes sismogénicas han sido clasificadas de acuerdo a los siguientes tipos: Fuentes de subducción de interfase e intraplaca, y fuentes continentales. Las fuentes de subducción de interfase e intraplaca, modelan la interacción de la placa Sudamericana y de Nazca, simulando el ángulo de subducción de esta última, es decir, no se considera una profundidad promedio constante para toda una fuente, sino que varía en función a forma en que subduce la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

A continuación se presenta un resumen del estudio de peligro sísmico para el distrito de Breña, mayores detalles pueden ser revisados en el Apéndice A.

2.2. SISMICIDAD DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Para la identificación de las fuentes sismogénicas y la caracterización de su actividad, la evaluación del peligro sísmico, además de los estudios geológicos y tectónicos, requiere de una información detallada de la sismicidad del área de influencia. Esta información, que es obtenida de catálogos de sismos históricos e instrumentales, permite delimitar en forma más precisa la ubicación de las fuentes sismogénicas y la estimación de la frecuencia de ocurrencia de sismos en los últimos cientos de años.

2.3. HISTORIA SÍSMICA DE LA ZONA 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 A-1 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, para el área de influencia del proyecto, existe poca información histórica. La mayor cantidad de información está referida a sismos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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.
- 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 A-2 del Apéndice A 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.

2.4. ANÁLISIS SÍSMICO PROBABILÍSTICO

El peligro sísmico es una medida de la probabilidad que el sismo más fuerte que puede ocurrir en una zona, en un cierto número de años, exceda (o no exceda) un determinado nivel de intensidad sísmica (intensidad, aceleración, velocidad, etc).

Cornell (1968) propuso una metodología para realizar el análisis de peligro sísmico probabilísticamente. Esta metodología fue sistematizada por Mc Guire (1974) en su programa de cómputo RISK, el cual es ampliamente usado en la actualidad, convirtiéndose en una herramienta básica para este análisis, dado que únicamente determina los niveles de demanda sísmica para la aceleración máxima en la base del terreno.

En el presente estudio se han empleado leyes de atenuación para cuantificar la aceleración horizontal máxima del suelo en la base, 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. El detalle de estas leyes de atenuación se pueden encontrar en el Apéndice A.

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



El resultado de aplicar estas leyes de atenuación para estos tipos de suelo, se propone un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.34g para roca, y un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.46g para suelo Tipo C, y 0.54g para suelo D, estimado para 475 años de periodo de retorno.

III. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO

3.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

A continuación se presenta un resumen del contenido del estudio geotécnico para el distrito de Breña, mayores detalles se pueden revisar en el Apéndice B.

La principal fuente de información existente sobre las características geotécnicas del distrito de Breña lo constituye el estudio de Microzonificación Geotécnica Sísmica realizada por el CISMID, en el año 2004. En este estudio, se recopilaron 19 calicatas. Los registros de los sondajes recopilados en el estudio del año 2004 se presentan en el Anexo B-1; y la ubicación de los mismos, en el Mapa B-1 del Apéndice B.

Adicionalmente, en el presente estudio (CISMID, 2012), se ha recopilado información de estudios de mecánica de suelos con fines de cimentación, ejecutados en el distrito de Breña por empresas privadas de prestigio reconocido. Esta información incluye 5 calicatas. Los registros de estos sondajes se presentan en el Anexo B-2 del Apéndice B; y la ubicación de los mismos, en el Mapa B-1 del Apéndice B.

A continuación se presenta parte del contenido del estudio del CISMID para el distrito de Breña, realizado durante el año 2004, en lo que concierne, específicamente, a las características geotécnicas.

Dentro del área en estudio se han trazado 3 ejes a través de los sondajes representativos, con la finalidad de presentar perfiles estratigráficos que cubran toda el área en estudio. La ubicación de estos perfiles, cuya descripción se presenta a continuación, se muestra en el Plano B-1 del Apéndice B

Perfil Estratigráfico A-A, presenta un estrato superficial conformado por relleno limpio, cuyo espesor varía de 0.50 a 1.00 m. Por debajo de este material se encuentra el terreno natural, constituido por un suelo fino o material de cultivo. Este estrato está conformado por suelos arcillosos de mediana a alta plasticidad (CL y CH), así como por limos (ML) y arenas limosas (SM) aisladamente. Subyaciendo a este estrato se encuentra la grava mal gradada (GP), no plástica, de compacidad media, TM 15", este material se encuentra hasta la profundidad investigada (3.30 m.).

Perfil Estratigráfico B-B, presenta un estrato superficial de suelos finos compuestos por limos de baja a nula plasticidad, de compacidad media a compacta, cuyo espesor varía desde 0.60 hasta 3.00 m. Por debajo de este estrato se encuentra la grava del cono aluvial del río Rímac, la cual,



según la conformación de su matriz, varía desde una grava bien graduada hasta una grava limosa. Estas gravas presentan bolonería y boleos de TM 11”.

Perfil Estratigráfico C-C, presenta superficialmente un estrato de relleno que alcanza una profundidad máxima de 0.80 m. Por debajo de este estrato se encuentra una arcilla de baja plasticidad, de consistencia media. Subyace a este material el conglomerado de Lima, consistente en una grava arenosa mal graduada cuya compacidad va de media a densa.

El programa de exploración de campo se realizó el 19 de octubre de 2012, y consistió en la excavación de calicatas y en la descripción de un talud de excavación existente. En su conjunto, para este estudio se han ejecutado 04 puntos de exploración geotécnica, que incluyen: 03 calicatas y descripción de 01 talud existente.

En base a la información recopilada, los puntos de exploraciones geotécnicas ejecutados en el presente estudio fueron distribuidos convenientemente dentro del área en estudio; buscando, principalmente, reforzar los sectores sin información disponible.

Las calicatas (excavaciones) se ejecutaron con personal obrero. La finalidad de estas excavaciones fue evaluar las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación. En las tres (03) calicatas realizadas, se procedió a la toma de muestras de los diferentes tipos de suelos, siguiendo la norma de recolección y muestreo (ASTM D420); así mismo, se realizó la clasificación visual del material encontrado en campo de acuerdo a los procedimientos indicados en la norma ASTM D2488.

La ubicación de las calicatas ejecutadas se presenta en el Mapa B-1 del Apéndice B; sus registros, en el Anexo B-3; su panel fotográfico, en el Anexo B-5, y la relación de las mismas, en la Tabla B-3 del Apéndice B.

Durante los trabajos de campo se estimó conveniente realizar la descripción de un perfil de suelo en un talud de excavación existente, ubicado dentro del área en estudio. En este talud, así como en las calicatas, fue posible realizar una identificación y descripción de suelos.

La ubicación del talud se presenta en el Mapa B-1 del Apéndice B, su registro, en el Anexo B-3 del Apéndice B, su panel fotográfico, en el Anexo B-5 del Apéndice B, y un resumen del mismo en la Tabla B-4 del Apéndice B.

A fin de complementar los perfiles estratigráficos recopilados, representados en los ejes A-A, B-B y C-C, se presenta, también, en el Plano B-1 del Apéndice B, un perfil estratigráfico adicional, representado por el eje D-D, el mismo que se describe a continuación.

El perfil estratigráfico D-D, presenta un estrato superficial conformado por terreno de cultivo y limo de baja plasticidad (ML), cuyo espesor varía entre 0.45 a 1.20 m de profundidad. Subyaciendo a este estrato, y hasta 3.0 m de profundidad, se encuentra la grava mal graduada y bien graduada (GP y GW), no plástica, de compacidad suelta a media, con presencia de bolonería de tamaño máximo 11”. Hasta la profundidad explorada no se registró la presencia del nivel freático.



3.2. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

El distrito de Breña, a la fecha, cuenta con una microzonificación geotécnica realizada por el CISMID, en el año 2004. Por 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 por tipo de suelos con características geotécnicas similares, cuyo producto se presenta en los Mapas B-2 y B-3 del Apéndice B. A partir de esta delimitación, se ha procedido a agrupar los diferentes tipos de suelos 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 la construcción de viviendas 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 profundidad de desplante mínimo 0.80 m). 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 tres zonas, los mismos que se describen a continuación:

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

Zona I

Esta zona incluye a los depósitos de gravas emplazadas en la mayor parte del distrito de Breña y a los estratos superficiales, de poco espesor, de limos, arcillas y arenas. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

En el caso de que la cimentación se desplante sobre los depósitos de grava, la capacidad de carga admisible resulta ser un valor mínimo de 3.0 kg/cm²; y, en el caso que se desplante sobre los estratos superficiales, de poco espesor, de limos, arcillas o arenas, la capacidad admisible varía



entre 0.5 y 1.0 kg/cm²; para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada a 1.0 m mínimo de profundidad —en ambos casos—.

Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre los depósitos naturales y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Zona de rellenos

Esta zona incluye a los rellenos antrópicos de poca potencia, identificados en sectores específicos del área urbana. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que estas zonas, actualmente, no son aptas 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 B-4 del Apéndice B presenta la microzonificación geotécnica propuesta para el distrito de Breña.

IV. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

La caracterización dinámica de los suelos en el distrito de Breña se ha llevado a cabo mediante ensayos geofísicos consistentes en mediciones de microtemblores.

Con el objeto de determinar los periodos predominantes de vibración natural en la zona de estudio se realizaron mediciones de microtemblores en forma puntual, para luego procesarlos por el método de los cocientes espectrales H/V.

En base a los períodos encontrados se ha desarrollado un mapa de isoperíodos. A continuación se presenta un resumen de este estudio, mayor detalle se puede encontrar en el apéndice “C”.

Por otro lado, para conocer la estructura de velocidades de ondas de corte en el distrito se realizaron arreglos de microtemblores, los cuales consistieron en observar las ondas superficiales registradas simultáneamente en un grupo de sensores. El análisis consistió en correlacionar las señales y posteriormente hacer un proceso de inversión.

4.1. MAPA DE ISOPERÍODOS.

Los microtemblores son conocidos como microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores (Flores, 2004). Lermo (1992) y Lermo y Chávez-García (1994) definen los microtemblores como vibración o ruido ambiental.



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). De acuerdo a la frecuencia los microtemores son originados por:

- A bajas frecuencias (por debajo de 0.3 Hz a 0.5 Hz) son causados por las ondas oceánicas que ocurren a grandes distancias.
- A frecuencias intermedias (0.3–0.5 Hz y 1 Hz) los microtemores son generados por las olas del mar cercanas a las costas.
- Para altas frecuencias (mayores a 1 Hz), las fuentes están ligadas a la actividad humana.

Inicialmente el análisis de las amplitudes espectrales se realizaba obteniendo la Transformada de Fourier de las señales medidas y observando el periodo predominante correspondiente a la mayor amplitud espectral. Para eliminar el efecto de la fuente de generación de las vibraciones, Nakamura (1989) propuso evaluar la relación espectral H/V, es decir determinar la relación de espectros de Fourier de las componentes horizontales entre la componente vertical (relación H/V) la cual representa mejor el comportamiento dinámico del perfil del terreno. En el presente estudio, se ha empleado la relación o cociente espectral H/V propuesta por Nakamura, para estimar el periodo de vibración del suelo. La relación espectral H/V puede ser expresada en términos de una o dos componentes horizontales tal como se muestra en las siguientes expresiones.

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

Para el ensayo de medición de puntos de microtemores se utilizó el velocímetro (sensor de velocidad) de bobina móvil CR 4.5-1S, cuyo periodo natural es de un segundo, con el sistema de adquisición de datos GEODAS 15HS producido por la Compañía Anet Co., Ltd. El software de medición es el Mtobs que está incluido en el GEODAS 15HS.

Las mediciones de microtemores son realizadas sobre la superficie del terreno o a diferentes profundidades dentro de una perforación, utilizando sensores suficientemente sensibles. Estas mediciones registran las velocidades de los microtemores, las que luego son almacenadas en forma digital, para su posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instala el sensor triaxial en la superficie del terreno, orientando sus componentes horizontales en las direcciones E-W y N-S (Foto 1, Apéndice C). Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtemores por un lapso de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas por el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor.

En este estudio se ha hecho la medición de microtemores en 08 puntos distribuidos en el distrito



con el objetivo de complementar las mediciones realizadas anteriormente, la ubicación de estos puntos se presenta en el Mapa C0-1. Mediante el análisis de los espectros H/V se han determinado los períodos naturales de vibración, los cuales varían de 0.06s a 0.17s.

Asimismo, se han incluido 08 puntos de microtemores recopilados que corresponden al estudio APESEG desarrollado por el CISMID en el año 2004. Los períodos de vibración de estos puntos varían de 0.08 a 0.12s.

El mapa C-03 del Apéndice C, muestra que todo el distrito de Breña posee una característica de vibración uniforme, esto se ve reflejado en la determinación de una única zona de isoperiodos, denominada Zona I.

La zona I mostrada en color verde, está definida para períodos de vibración menores a 0.20s. Esta zona abarca todo el distrito y es característico de la zona central de Lima. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido

4.2. PERFILES DE SUELO.

El principio de la medición de arreglos de microtemores 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, Tokimatsu et al., 1992b).

La velocidad de ondas de corte (V_s) es un parámetro dinámico importante de un depósito de suelo debido a que se utiliza para la evaluación de su respuesta sísmica.

El análisis de las Ondas Rayleigh captadas en los arreglos de Microtemores se puede dividir en dos partes principales, la primera se refiere al análisis de correlación espectral entre las señales de los sensores; y la segunda al análisis de inversión. Detalles de los métodos de análisis se encuentran en el Apéndice C.

Para la medición de ondas superficiales se utiliza el velocímetro (sensor de velocidad) de bobina móvil CR 4.5-1S, con el sistema de adquisición de datos GEODAS 15HS producido por la Compañía Anet Co., Ltd. Las características de este equipo son:

- 01 Sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS,
- 01 Computadora portátil NEC, modelo Versa Pro VS-8
- 06 sensores de 1Hz de frecuencia para medición de velocidad del suelo tipo CR4.5-1S
- 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS
- Cables de 50 m de longitud.
- 01 cable de conexión para batería



-
- Software de adquisición de datos: Microtremor Observation
 - Software de procesamiento de datos: Lfk2.exe, Hrfk8.exe, Calhvm4.exe.

El sistema permite visualizar y registrar las vibraciones ambientales a diferentes frecuencias de muestreo. Una vez que las ondas han sido grabadas en el disco duro de la computadora, éstas pueden ser procesadas en gabinete, mediante el software desarrollado con diferentes métodos de procesamiento como el análisis espectral F-K y nc-CCA. Mediante estos procedimientos, se pueden obtener las curvas de dispersión, (velocidad de fase vs frecuencia).

En primer lugar, se define la geometría de los arreglos circulares (para diferentes radios) y posteriormente de los arreglos lineales (para diferentes distancias entre sensores). Seis sensores son instalados sobre la superficie del terreno para formar un arreglo circular, con un sensor en el centro y cinco sensores que forman un pentágono con un radio constante para cada medición. En los arreglos lineales los sensores son colocados en línea con la fuente activa a una determinada distancia de uno de los extremos. Luego, los sensores son conectados al equipo de adquisición mediante cables de longitud de 50m.

El radio de los arreglos circulares así como también el espaciamiento entre sensores de los arreglos lineales está en función de la profundidad de exploración requerida, por lo que se recomienda que sea expandida o contraída por un valor cercano a dos, con el fin de cumplir con este propósito.

A partir del análisis de las señales captadas en los sensores de los arreglos, se han obtenido dos perfiles de velocidades de ondas de corte (Anexo C-2, C-3, y C-4 del Apéndice C), los cuales se describen a continuación:

En el Perfil A01 se observa una capa superficial de 3 metros aproximadamente, con una velocidad de ondas de corte de 300m/s. De acuerdo a este valor y a los estudios geotécnicos realizados en el área, este suelo corresponde a un suelo gravoso medianamente rígido. Subyaciendo a esta capa se encuentra otra de espesor de 8m aproximadamente con una velocidad de ondas de corte de 600m/s aproximadamente, esta velocidad corresponde a un suelo gravoso rígido. Por debajo de esta capa, se encuentra una de espesor 30m aproximadamente, con velocidad de ondas de corte de 1000m/s, lo cual corresponde a una grava muy rígida. Finalmente, se encuentra un estrato de espesor no definido con velocidades de ondas de corte de 1800m/s aproximadamente.

En el Perfil A02, al igual que en el perfil A01, se observa una capa superficial de 3 metros de espesor aproximadamente, con una velocidad de ondas de corte de 300m/s aproximadamente, lo cual corresponde a un suelo gravoso medianamente rígido. Seguidamente, hay una capa de 8m de espesor aproximadamente con una velocidad de 600m/s aproximadamente, esta capa corresponde a un suelo gravoso rígido. Por último, se observa una capa de espesor no definido con una velocidad de ondas de corte de 1000 m/s aproximadamente, esta velocidad corresponde a un suelo gravoso muy rígido.



V. 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 Breña y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa B-4, Apéndice B) y de Isoperiodos (Mapa C-03, Apéndice C) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar dos áreas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02). A continuación se describen estas zonas:

Zona I

Esta zona incluye a los depósitos de gravas emplazadas en la mayor parte del distrito de Breña y a los estratos superficiales, de poco espesor, de limos, arcillas y arenas. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

En el caso de que la cimentación se desplante sobre los depósitos de grava, la capacidad de carga admisible resulta ser un valor mínimo de 3.0 kg/cm²; y, en el caso que se desplante sobre los estratos superficiales, de poco espesor, de limos, arcillas o arenas, la capacidad admisible varía entre 0.5 y 1.0 kg/cm²; para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada a 1.0 m mínimo de profundidad —en ambos casos—.

Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre los depósitos naturales y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

El periodo de oscilación del suelo es menor a 0.20 s

Zona de rellenos

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

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.

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.



VI. 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 Breña (Apéndice A) que corresponde para un suelo "Tipo C" (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.460 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 0.460 g de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima
I	1.0	450 cm/s ²
Rellenos	1.5	676 cm/s ²

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el mapa I-03

VII. 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 Breña, 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-02 del presente informe y el plano C-03 del Apéndice C respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Breña se muestran en el mapa I-04.



VIII. 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.
- Ayquipa C. (1995), "Microzonificación Sísmica de Chorrillos y Barranco", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- 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 (2004), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de 32 distritos de Lima y Callao". Informe Técnico, Lima, Perú
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol58, 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.
- 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.
- Hoek E. Bray J. W (1977) "Rock Slope Engineering" London, 2da Edición.
- Idriss I. (1985), "Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice". XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA.
- Flores, H.C. (2004), "Método SPAC : Una alternativa para la Estimación de Modelos de Velocidades en el Valle de México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- HIDROENERGIA CONSULTORES EN INGENIERIA SRL (2010), "Estudio Geotécnico con Fines de Cimentación de 05 Reservorios – R-03 Collique", Informe Técnico, Lima, Perú.
- 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.
- 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.
- Kuroiwa, J.M.; Mansen, A.J; Rodríguez, E. (2004). Use of a Rock Ramp for Erosion Control.
- Kuroiwa, J.M., Mansen, A.J.; Romero, F.M.; Castro, L.F.; Vega, R. (2011) "Narrowing of the Rimac River due to Anthropogenic Causes - Partial Engineering Solutions". Congreso Mundial de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Organizado por la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE). Palm Springs, Florida, Estados Unidos. Mayo 2011.
- Hydrology Days 2004. American Geophysical Union and Colorado State University. Fort Collins, Colorado. Estados Unidos de Norteamérica.
- Lankston, R. W., "High Resolution Refraction Data Acquisition and Interpretation", Geo-Compu-Graph, Inc., U.S.A.
- 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, Nº 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. Nº3. 25-30.
- Park, C., Miller, R. y Xia, J. (1999), "Multichannel analysis of surface waves". Geophysics. Vol. 64. Nº 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.
- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. (2001^a). "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. Pagina 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.
- Rodríguez, E; Mansen, A; Kuroiwa, J; Abanto, G. (2001) Labores de Emergencia para la Mitigación de Socavación del Puente Dueñas. Para INVERMET.
- 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.
- SEDAPAL (2009), Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Optimización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de Redes y Actualización de Catastro – Área de Influencia Planta Huachipa – Área de Drenaje Puente Piedra – Chillón – Lima", Informe Técnico, 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 Nº3, 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.



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

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



-
- 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 Engrg., 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.