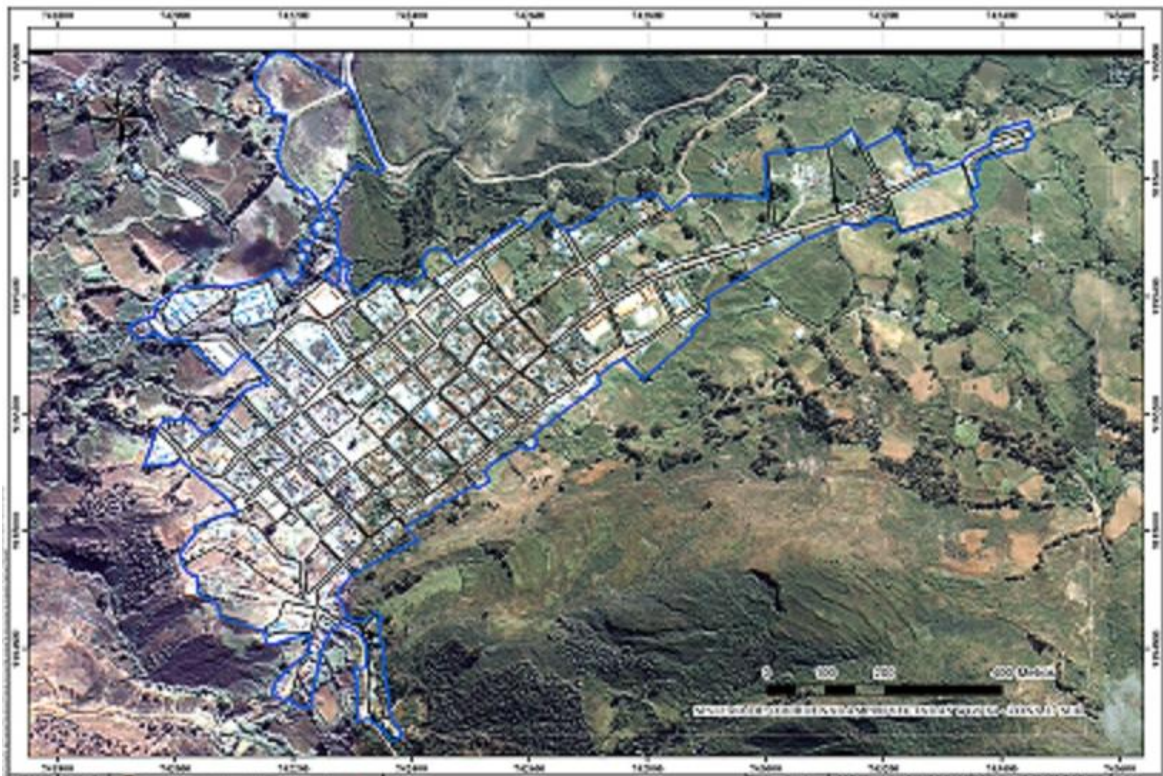




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



**“ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA,
MAPAS DE PELIGROS MÚLTIPLES Y ANÁLISIS DE
RIESGO DE LOS DISTRITOS DE CERCADO DE
LIMA, VENTANILLA Y DE LAS CIUDADES DE
CHINCHA Y CONTUMAZÁ”**



**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGROS MÚLTIPLES
DE LA CIUDAD DE CONTUMAZÁ**

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.	SISMICIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
2.2.	EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	5
III.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO	5
3.1.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE SUELO.....	5
3.2.	MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.	8
IV.	CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS.....	9
4.1.	MAPA DE ZONAS DE ISOPERÍODO.	12
V.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	12
VI.	MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO	13
VII.	MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	14
VIII.	MAPA DE PELIGROS MULTIPLES PARA LA CIUDAD DE CONTUMAZÁ	14
IX.	REFERENCIAS	15



LISTA DE APENDICES

- APÉNDICE A** : Evaluación del Peligro Sísmico en la Ciudad de Contumazá
- APÉNDICE B** : Características Geotécnicas del Suelo en la Ciudad de Contumazá.
- APÉNDICE C** : Caracterización Dinámica del Suelo en la Ciudad de Contumazá.
- APÉNDICE D** : Evaluación de Peligros de Origen Natural en la Ciudad de Contumazá.

LISTA DE MAPAS

- I-01** : Plano Base de la Ciudad de Contumazá
- I-02** : Mapa de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Contumazá
- I-03** : Mapa de Aceleraciones Máximas Esperadas del Suelo de la Ciudad de Contumazá
- I-04** : Mapa de Velocidades Máximas Esperadas del Suelo de la Ciudad de Contumazá
- I-05** : Mapa de Peligros Múltiples de la Ciudad de Contumazá.



RESUMEN

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento firmaron un convenio específico para ejecutar el **“Estudio de Microzonificación Sísmica, Mapas de Peligros Múltiples y Análisis de riesgo de los distritos de Cercado de Lima, Ventanilla y de las ciudades de Chincha y Contumazá”**.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de Microzonificación Sísmica para el área objeto de estudio, complementando trabajos anteriormente desarrollados. El presente estudio corresponde a la Microzonificación Sísmica para la Ciudad de Contumazá

Este trabajo se ha desarrollado mediante varios estudios. El primero es el estudio del peligro sísmico para estimar probabilísticamente la aceleración máxima horizontal (PGA) en roca y suelo (Apéndice A), el cual es importante para determinar las aceleraciones del terreno en superficie. Los siguientes son las características geotécnicas, y dinámicas del suelo; estas características son plasmadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B) y de Isoperiodos (Apéndice C). En necesario indicar que no se encontró estudios anteriormente ejecutados de tipo geotécnico para esta zona.

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 su posterior análisis mediante métodos descritos en el Apéndice C.

A partir de la superposición de los mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B), Isoperiodos (Apéndice C) se obtiene el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02), el cual fue el objetivo de este estudio.

Se han identificado tres zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica. Las Zonas I, II y el área de rellenos 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.

El Mapa de Peligro de Origen Natural ha considerado el peligro geológico que puede existir en esta Ciudad, determinando zonas de peligro de niveles bajo a moderado y alto que se muestra en el Apéndice D.

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 trabajo.

Finalmente se muestra el Mapa de Peligros Múltiples, indicando dos niveles de peligro para esta Ciudad.



“ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA, MAPAS DE PELIGROS MÚLTIPLES Y ANÁLISIS DE RIESGO DE LOS DISTRITOS DE CERCADO DE LIMA, VENTANILLA Y DE LAS CIUDADES DE CHINCHA Y CONTUMAZÁ”.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y PELIGROS MÚLTIPLES DE LA CIUDAD DE CONTUMAZÁ

I. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

La Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, firmaron un convenio específico para ejecutar el Estudio de Microzonificación Sísmica, Mapas de Peligros Múltiples y Análisis de riesgo de los distritos de Cercado de Lima, Ventanilla, y de las ciudades de Chincha y Contumazá.

En cumplimiento del convenio, el objetivo principal del presente estudio es elaborar un mapa de microzonificación sísmica para la Ciudad de Contumazá.

1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Ciudad de Contumazá se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima, limita con los siguientes distritos:

- Por el Nor- Oeste con el distrito de Chilete.
- Nor- Este con Magdalena
- Por el Sur Este con el distrito de Cospan
- Por el Sur con el distrito de Cascas
- Por el Este con el distrito de Asunción.
- Por el Sur Oeste con San Benito
- Por el Oeste con el distrito de Santa Cruz de Toledo.

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

II. 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 A.

2.1. 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 norte, donde se localiza el área de estudio, alcanzan valores de hasta VII en la escala MMI.

En el Anexo A-1 del Apéndice A 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 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:

- Sismo del 6 de enero de 1725, con intensidades de VIII (MMI) en Huaura y Barranca, VI (MMI) en Trujillo y Lima.
- Sismo del 28 de octubre de 1746 con intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaura, IX-X (MMI) en Lima y VIII en la Cordillera Negra.
- Sismo del 24 de julio de 1912, con intensidad superior a X (MMI) en Piura y Huancabamba, VII (MMI) en Cajamarca y V (MMI) en Huaraz.
- Sismo del 14 de mayo de 1928, con intensidad de X (MMI) en Chachapoyas, V (MMI) en Trujillo y IV (MMI) en Chimbote.
- Sismo del 10 de noviembre de 1946, con intensidad de X (MMI) en Mayas y San Miguel, VIII en Quiches y Conchucos y V en Chimbote y Trujillo.
- Sismo del 31 de mayo de 1970, con intensidad de IX (MMI) en Casma y Chimbote, VIII en el Callejón de Huaylas y VII en Trujillo, Moche y Paramonga.

En el Anexo A-2 del Apéndice A se presentan los Mapas de Isosistas compilados por Alva Hurtado (2004) y de publicaciones del Instituto Geofísico del Perú, los cuales corresponden a los siguientes sismos



ocurridos en la región norte, centro y sur del Perú y que han tenido influencia en el área en estudio: 6 de enero de 1725, 24 de julio de 1912, 14 de mayo de 1928, 12 de diciembre de 1953, 17 de octubre de 1966, 31 de mayo de 1970 y 15 de agosto del 2007. De acuerdo a la historia sísmica de la región de estudio, se concluye que en los últimos 400 años han ocurrido sismos con intensidades de hasta VII (MMI) en la zona del proyecto.

2.2. 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.

En la zona del proyecto, de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs et al, 1997, la aceleración horizontal máxima promedio del sismo de diseño considerando un suelo del Tipo B (roca), con velocidades de ondas de corte V_s entre 760 m/s a 1500 m/s, de acuerdo al IBC, 2006, es de 0.26 g para la zona de estudio, considerando la media (P.50) del modelo de atenuación.

Así mismo, la Tabla 11 del Apéndice A muestra las máximas aceleraciones horizontales esperadas en la base de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs et al, 1997.

La aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo firme del Tipo D, con velocidades de ondas de corte V_s que varían entre 180 m/s a 360 m/s, de acuerdo al IBC 2006, presenta aceleración máxima de (PGA) 0.41 g, considerando la media (P.50) del modelo de atenuación utilizado.

III. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUELO

3.1. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y MAPA DE TIPOS DE SUELO

A continuación se describe el estudio de Evaluación Geotécnica y Tipos de Suelos, mayores detalles se pueden encontrar en el Apéndice B del presente Informe.

El programa de exploración de campo se realizó entre el 19 y el 21 de octubre de 2012, y consistió en la ejecución de cinco (05) calicatas y en la descripción de dieciséis (16) taludes, sumando un total de veintiún (21) puntos de exploración geotécnica. Asimismo, se identificó zonas de rellenos y escombros.

Los puntos de exploraciones geotécnicas, que se describen a continuación, fueron distribuidos adecuadamente dentro del área en estudio.



Las calicatas (excavaciones) se ejecutaron con personal obrero. La finalidad de estas excavaciones fue evaluar las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación. En las cinco 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-1 del Apéndice b; su panel fotográfico, en el Anexo B-3 del Apéndice B, y la relación de las mismas, en la tabla B-1 Apéndice B.

Durante los trabajos de campo se estimó conveniente realizar la descripción de los perfiles de suelo y roca en taludes existentes, ubicados dentro del área en estudio. Estos taludes, en algunos casos, son naturales, y, en otros casos, producto de cortes para las construcciones de carreteras y de edificaciones tradicionales de la ciudad. En los taludes, así como en las calicatas, fue posible realizar una identificación y descripción de suelos. Se han descrito veintiún taludes en total.

La ubicación de los taludes se presenta en el Mapa B-1 del Apéndice B, sus registros, en el Anexo B-1 del Apéndice B, su panel fotográfico, en el Anexo B-3 del Apéndice B, y la relación de los mismos en la tabla B-2 del Apéndice B.

El perfil de suelos está representado por las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4 y C-5 y los taludes descritos T-1, T-2, T-3, T-4, T-5, T-6, T-7, T-8, T-9, T-10, T-11, T-12, T-13, T-14, T-15 y T-16 Este perfil muestra la presencia, predominante, de arcillas de baja plástica (CL) de consistencia blanda a rígida y formaciones rocosas. De manera aislada se registró la presencia de arenas y gravas arcillosas (SC y GC).

Las arcillas rígidas y las formaciones rocosas se registraron, principalmente, en las zonas altas de la ciudad. Las arcillas de consistencia blanda a media se registraron en gran parte de la zona céntrica de la ciudad. Asimismo, se identificaron, en zonas específicas del área urbana y alrededores, la presencia de depósitos de rellenos y escombros (R). Hasta la profundidad explorada no se registró la presencia del nivel freático.

El perfil estratigráfico se ha desarrollado para los ejes A-A, B-B y C-C, que se presentan en el Plano P-01 del Apéndice B.

Con la información geotécnica obtenida de la exploración de campo y los resultados de los ensayos de mecánica de suelos, se ha procedido a delimitar el área en estudio, según tipos de



suelo 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

Son materiales conformados, principalmente, por areniscas silicificadas y lutitas. Estos tipos de materiales presentan características geotécnicas favorables para la cimentación superficial de edificaciones.

Se encuentran en los sectores topográficamente elevados de la ciudad de Contumazá. Están representados por los registros de las calicatas ejecutadas C-02 y C-03 y los taludes descritos T-01, T-08, T-09, T-10, T-11, T-12, T-13, T-15 y T-16, que se presentan en el Anexo B-1 del Apéndice B.

Arcillas de consistencia dura a rígida

Son materiales que se han originado por la meteorización de las lutitas, de consistencia dura a rígida y de baja plasticidad. Subyaciendo a este material, y a poca profundidad, se encuentran los materiales rocosos. Este tipo de material, al igual que en el caso anterior, presenta características geotécnicas favorables para cimentaciones superficiales de edificaciones convencionales.

Se encuentran entre las zonas sur y este de la ciudad de Contumazá. Están representados por los registros de la calicata ejecutada C-01 y los taludes descritos T-02, T-04, T-05, T-06, que se presentan en el Anexo B-1 del Apéndice B..

Arenas y gravas arcillosas aisladas

Son materiales granulares arcillosos, de compacidad media a densa y de baja plasticidad. Este tipo de materiales, presentan características geotécnicas favorables para cimentaciones superficiales de edificaciones convencionales.

Se encuentran de forma aislada en la ciudad de Contumazá. Están representados por los registros de los taludes descritos T-03 y T-07, que se presentan en el Anexo B-1 del Apéndice B..

Arcillas de consistencia blanda a media

Son materiales de consistencia blanda a media, de baja plasticidad y humedad media. Este tipo de material, presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para cimentaciones superficiales de edificaciones convencionales.



Se encuentran en el sector central de la ciudad de Contumazá. Están representados por los registros de las calicatas ejecutadas C-04 y C-05 y los taludes descritos T-02 y T-14, que se presentan en el Anexo B-1 del Apéndice B.

Rellenos y escombros antrópicos

Corresponde a acumulaciones de materiales efectuados por el hombre, tales como terraplenes, basura, materiales de demolición de construcciones antiguas, etc. Son depósitos heterogéneos sin selección, constituidos por diversos materiales que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos. Estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico y se agrava en sectores con presencia de agua subterránea superficial, se recomienda su remoción total. Estas acumulaciones han sido identificadas en las áreas urbanas de la ciudad de Contumazá y alrededores.

Los Mapas B-2 y B-3 del Apéndice B. muestran los tipos de suelo propuestos en el presente estudio para una profundidad de corte de 1.0 m y 2.5 m respectivamente.

3.2. MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

La evaluación geotécnica del área en estudio ha permitido delimitar los diferentes tipos de suelo y materiales 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 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). Los parámetros de resistencia cortante utilizados fueron obtenidos de los ensayos de corte directo.



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

Zona I

Esta zona incluye a las formaciones rocosas, las arcillas de consistencia dura a rígida y a las arenas arcillosas, y se ubica, principalmente, en los sectores altos de la ciudad. El tipo de suelo descrito en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

Zona II

Esta zona incluye a las arcillas de consistencia blanda a media, y se ubica en el sector central de la ciudad. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

Zonas de rellenos y escombros

Estas zonas incluyen a los rellenos y escombros antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana y alrededores. Dadas las características desfavorables de estos materiales, 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 concreto de la cimentación, en toda la ciudad de Contumazá, debe ser diseñado con cemento que tenga buena resistencia a los sulfatos. Por ello, se recomienda el uso de cemento portland puzolánico tipo IP.

El Mapa B-4 del Apéndice B presenta la microzonificación geotécnica propuesta para la ciudad de Contumazá..

IV. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

La caracterización dinámica de los suelos en el ámbito de la Ciudad de Contumazá se ha realizado mediante ensayos geofísicos consistentes en mediciones de microtemores. Mayores detalles de este estudio de caracterización dinámica se pueden encontrar en el Apéndice C.



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 microtemblores 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 microtemblores 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.

La técnica de medición de microtemblores ha sido utilizada desde principios del siglo XX para determinar las propiedades dinámicas del terreno. Omori (1908) inició las investigaciones sobre microtemblores empleando un instrumento muy simple para observar la vibración natural del suelo que no correspondía a una vibración sísmica ni a alguna oscilación pulsatoria y encontró que dicha vibración natural podría ser causada por el viento, olas marinas, o perturbaciones artificiales como el tráfico, vibración de máquinas, etc. Para definir este tipo de vibraciones, que tiene periodos cortos y sus amplitudes son más pequeños que las oscilaciones pulsatorias, Omori utilizó el término de “microtembloraciones”.

Existen varios métodos para analizar los microtemblores y estimar el periodo natural y el factor de amplificación, entre ellos tenemos el **MÉTODO DE NAKAMURA (H/V)**, que fue propuesto por Nakamura (1989) y es conocido como el cociente espectral H/V ya que realiza el cociente del espectro de Fourier de las componentes horizontales del registro de microtemblores entre el espectro de Fourier de la componente vertical; el cociente obtenido permite estimar el periodo natural y su amplificación asociada.

Este método es el más utilizado para analizar los registros de microtemblores por su bajo costo y corto tiempo de aplicación, sin embargo es el más discutido por sus bases teóricas y sus resultados (Flores, 2004). Su aplicación indiscriminada en los últimos años y resultados obtenidos sin una adecuada aplicación de criterios ha llevado a una falta de confiabilidad respecto a la utilidad de los microtemblores.

El cociente H/V presenta en teoría, un máximo en la frecuencia predominante del terreno. Generalmente, para esta frecuencia la curva muestra un pico bien definido por valle-cresta-valle. Estos picos son más definidos en terrenos formados por depósitos blandos, mientras son más



anchos en terrenos duros o intermedios, o compuestos de materiales heterogéneos (Ordaz y Vera, 2003).

En general, cuanto mayor sea el contraste entre los depósitos de suelo y el semi-espacio o estrato duro resistente, se tendrá una mejor definición en los picos de las curvas de los cocientes espectrales H/V y se podrán identificar más fácilmente las frecuencias predominantes. El uso de estudios de vibración ambiental resulta económico y los resultados se obtienen con relativa facilidad y rapidez y ventaja, desde el punto de vista de la caracterización de la respuesta sísmica, a otros procedimientos, sobre todo en sitios donde no se cuenta con información acelerográfica (Ordaz y Vera, 2003)

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.

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

Actualmente se sabe que el periodo predominante del suelo determinado por medición de microtremores tiene una gran correlación con los efectos de sitio, aún cuando la respuesta dinámica del terreno durante movimientos severos no es exactamente predicha por el análisis de los microtremores.

Para el ensayo de medición de puntos de microtremores 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 microtremores 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 microtremores, 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 del Apéndice C). Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtremores 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 microtremores en 30 puntos distribuidos en toda la ciudad, formando una malla uniforme de 200 m separación entre puntos. Mediante el análisis de los espectros H/V se han determinado los periodos naturales de vibración, los cuales varían de 0.08s a 0.29s.



Los resultados obtenidos muestran una buena correspondencia con las características geológicas del área de estudio, así, se han obtenido valores de periodos menores a 0.2 s en las zonas perimetrales coincidentes con los afloramientos rocosos y suelos rígidos de poco espesor y periodo mayores a 0.2 s en la zona central de la ciudad, donde los suelos arcillosos superficiales tienen mayor espesor.

4.1. MAPA DE ZONAS DE ISOPERÍODO.

El mapa C-02 del Apéndice C muestra que la Ciudad de Contumazá posee dos zonas con diferentes características de vibración del suelo.

La zona I mostrada en color verde oscuro abarca la mayor parte urbana de la Ciudad concentrándose principalmente en las partes altas. Los periodos de vibración de esta zona son menores a 0.2 s y corresponden a un depósito de suelo de poco espesor y rígido o afloramientos de roca.

La zona II mostrada en color verde claro abarca la parte central baja de la Ciudad; asimismo, un área al extremo norte de la Ciudad y al extremo este (al frente del Estadio). En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.2 y 0.3 s, y corresponden a un depósito de suelo arcilloso de mayor espesor que el de la zona I.

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 la Ciudad de Contumazá 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 zonas más un área de rellenos y escombros en el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02). A continuación se describen estas zonas:

Zona I

Esta zona incluye a las formaciones rocosas, las arcillas de consistencia dura a rígida y a las arenas arcillosas, y se ubica, principalmente, en los sectores altos de la ciudad. El tipo de suelo descrito en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0.20 s. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo S1 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.



Zona II

Esta zona incluye a las arcillas de consistencia blanda a media, y se ubica en el sector central de la ciudad. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración natural en esta zona son menores a 0.30 s. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo equivalente a tipo S2 de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

Zona de Escombros y Rellenos

Estas zonas incluyen a los rellenos y escombros antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana y alrededores. Dadas las características desfavorables de estos materiales, 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.

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.

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 la Ciudad de Contumazá (Apéndice A) que corresponde para un suelo "Tipo D" (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.41 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 0.410 g de la siguiente manera:



Zona	Factor	Aceleración Máxima
I	1.0	400 gal
II	1.2	480 gal
Rellenos	1.4	560 gal

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.

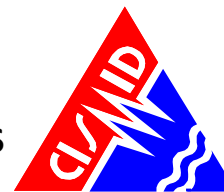
Para la elaboración del mapa de velocidades máximas se utiliza la relación matemática presentada en el artículo técnico titulado “**Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico**”, (Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar 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 la Ciudad de Contumazá, 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 C-03 del Apéndice C respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para la Ciudad de Contumazá se muestran en el mapa I-04.

VIII. MAPA DE PELIGROS MÚLTIPLES PARA LA CIUDAD DE CONTUMAZÁ

El Mapa D-01 de Peligro Geológico del Apéndice D se superpone con el Mapa I-02 de Microzonificación Sísmica del presente informe, generándose el Mapa de Peligros Múltiples I-05 para la Ciudad de Contumazá, debe tenerse en cuenta que para la determinación del mapa de Microzonificación Sísmica ya se ha considerado el resultado del estudio de peligro sísmico para esta Ciudad. Por lo tanto el Mapa de Peligros Múltiples de la Ciudad de Contumazá I-05, muestra zonas con diferente respuesta debido a la ocurrencia de un sismo severo y a eventos de tipo geológico. Se han identificado dos zonas de diferente peligro: Bajo a Medio y Alto.



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.
- 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.
- Figueroa, 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 Velocidades en el Valle de México", Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 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 (1980), "Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba" "Boletín N°31 – Hoja: 15-f.
- 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).
- Kramer, S.L.,(1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- 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, 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 Xia, 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.



- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. (2001^a). "Seismic characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method". Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.
- 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 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.