

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL ÁREA URBANA DE HUAYCAN – ATE

Kelly Pari, Hernando Tavera, Isabel Bernal, J.C. Gómez, Henry Salas

Dirección de sismología, instituto Geofísico del Perú., kpari8@hotmail.comHernando.tavera@igp.gob.pe

RESUMEN

En el marco del Programa Presupuestal por Resultados N°068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres se ejecutó el proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica”, el mismo que tuvo como una de sus actividades la “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” obteniéndose como resultado la Zonificación Sísmica - Geotécnica del Área Urbana de Huaycan, distrito de Ate - Lima. El estudio permite conocer el comportamiento dinámico del suelo a partir de la aplicación métodos sísmicos, geofísicos, geológicos, geotécnicos y geomorfológicos.

Los resultados obtenidos para el área urbana de Huaycan han permitido identificar, según el procedimiento establecido en la Norma E-030, la existencia de dos (2) zonas sísmicas-geotécnicas correspondientes a suelos Tipo S1 y S2.El Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el Área propuesta, se constituye como información primaria a ser utilizada por los ingenieros civiles y arquitectos en el diseño y construcción de estructuras.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la historia sísmica de Perú, la región central ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en cada área urbana. Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana.

Los análisis del comportamiento dinámico del suelo permiten tener mayor conocimiento sobre las características físicas del suelo sobre el cual se levantan las áreas urbanas y/o futuras áreas de expansión. En el presente estudio se realiza el análisis del comportamiento dinámico del suelo en el área urbana de Huaycan a partir de la recolección de datos en campo del tipo sismológico, geofísico, geológico, geomorfológico y geotécnico. El análisis e interpretación de esta información permitirá obtener el mapa de zonificación sísmica - geotécnica para el área urbana de Huaycan. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo.

ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS: En el área urbana de Huaycan se ha identificado la existencia de cuatro unidades geomorfológicas:

- Quebradas ubicadas en la margen izquierda del valle del río Rímac en las zonas U, X, M, S, T, V, Q, N y Zentre las cotas 480 y 850 m.s.n.m.
- Terrazas que se han formado por acumulaciones de depósitos aluviales de corrientes relativamente antiguas quedado en posiciones topográficas superiores por las deformaciones tectónicas recientes. que las han elevado con pliegues de amplio radio de curvatura.
- Colinas son parte de estas unidades los cerros de poca elevación no sobrepasan los 100 m.
- Laderas de pendiente media y empinada estas unidades demarcan a las laderas de las cadenas premontañosas de la Cordillera Occidental.

ESTUDIOS GEODINÁMICOS: Se ha identificado:

- Flujos de detritos: Se han inventariado 22 flujos de detritos que debido a lluvias pueden provocar la reactivación de las quebradas. Estos flujos están circunscritos en quebradas que conforman la cuenca del río Rímac: quebradas ubicadas en la Zona U, Zona X, Zona M, Zona S, Zona T, Zona Q, Zona Z, Zona N y en Horacio Zevallos, parte alta y baja.
- Caídas de rocas: Se han inventariado 4 zonas de caída de rocas, en la en la Urb. Luna Pizarro, Zona Q y H-L. Estos eventos ocurren en zonas de altas pendientes y están asociados al grado de meteorización, fracturamiento y a la alteración de los macizos rocosos.

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS: Se estableció la construcción de 15 calicatas para la obtención de muestras de suelo a fin de realizar los análisis granulométricos, límites de elasticidad, contenido de humedad y corte directo (capacidad portante). Estas permitieron clasificar a los suelos utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Lográndose identificar la presencia de hasta 9 tipos de suelos cuyas características se describen en la Tabla 1.

Según la capacidad portante los suelos en el sector de Horacio Zevallos presentan valores de capacidad media en un 95% del área a excepción de un lente de suelo ubicado en la Residencial las Praderas de Pariachi de capacidad baja. Los suelos del extremo Noroeste y Sureste de la localidad Huaycan presentan valores de capacidad media en un 80% del área; mientras que, los suelos en la Urb. El Descanso, Urb. Los Portales, Plaza Huaycan, Zona B, Zona O y la Zona P corresponden el 20% y presentan valores de capacidad baja.

Tabla 1: Clasificación de suelos SUCS para el área de Huaycan

CALICAT AS	Profundidad (m).	Grava (> 4.76mm)	Arena (>0.074mm, <4.76mm)	Finos (<0.074mm)	Uniformidad	Curvatura	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Contenido de Humedad (%)	CLASIFICACION SUCS	Denominación
C-36	2.40	58.0	28.0	14.0	-	-	NT	NP	-	1.27	GM con arena	Grava con finos mal Gradada
C-37	2.80	47.0	45.0	8.0	51.21	0.59	NT	NP	-	2.52	GP-GM con arena	Grava pob. Gradada con limo
C-38	2.50	13.0	33.0	54.0	-	-	29.38	21.41	7.97	8.96	CL arenoso	Arcillas inorgánicas
C-39	2.40	51.0	22.0	27.0	-	-	37.41	20.31	17.10	2.76	GC con arena	Grava reg. Gradada con arcilla
C-40	2.50	49.0	50.0	1.0	22.70	2.78	NT	NP	-	1.00	SW con grava	Arena bien Gradada
C-41	3.00	15.0	84.0	1.0	11.48	0.47	NT	NP	-	6.75	SP con grava	Arena pob. Gradada
C-42	2.80	18.0	67.0	15.0	-	-	NT	NP	-	3.95	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-43	2.20	41.0	47.0	12.0	82.35	1.36	NT	NP	-	1.51	SW-SM con grava	Arena reg. Gradada con gravas
C-44	2.90	58.0	34.0	8.0	102.27	2.93	NT	NP	-	3.43	GW-GM con arena	Grava reg. Gradada con finos
C-45	2.10	54.0	32.0	14.0	-	-	NT	NP	-	1.65	GM con arena	Grava mal Gradada con finos
C-46	2.00	34.0	46.0	20.0	-	-	NT	NP	-	3.39	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-47	2.80	38.0	46.0	16.0	-	-	NT	NP	-	6.60	SM con grava	Arena limosa mal Gradada
C-48	2.20	33.0	63.0	4.0	22.65	0.53	NT	NP	-	3.36	SP con grava	Arena pob. Gradada
C-49	2.50	0.0	66.0	34.0	-	-	NT	NP	-	3.61	SM	Arena limosa
C-50	2.10	26.0	58.0	16.0	-	-	NT	NP	-	1.79	SM con grava	Arena limosa mal Gradada

ESTUDIOS SÍSMICOS Y GEOFÍSICOS

Para la aplicación de la técnica H/V, se procedió a disponer del mapa catastral del área urbana de Huaycan a fin de definir la distribución y el número de puntos para la toma de datos de vibración ambiental. Se consideró 310 puntos de medición de vibración ambiental y para cada uno, se ha tomado un tiempo de registro de 20 minutos, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis. Se obtuvo mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes considerando diferentes rangos: entre 0.5 y 3.0 Hz; y entre 3.0 y 20 Hz. Esta clasificación se hace en razón que varios puntos de medición presentan entre uno y dos picos de frecuencias predominantes, y ambos sugieren que el suelo es bastante heterogéneo y complejo.

Asimismo, se observa importantes diferencias en la forma de las curvas de H/V. Por ejemplo, las razones espectrales con predominio de dos picos de frecuencias se encuentran principalmente en el extremo SE del área de estudio y los de solo un pico en la zona central, lo cual sugiere la presencia de dos y una capa de suelos respectivamente.

Finalmente, los espectros presentan amplificaciones menores a 2 en los puntos que se encuentran en la zona sur del área de estudio. El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar gran

variedad de frecuencias predominantes que van desde 0.5 a 20 Hz, lo cual sugiere que el suelo sobre el cual se encuentra el área urbana de Huaycan es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 3 y 20 Hz ha permitido identificar la presencia de tres áreas con similares valores de frecuencias, lo cual confirma la heterogeneidad del suelo.

Para la técnica de arreglos lineales la data se registró utilizando un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24 canales), geófonos de 4.5Hz y registros a una resolución de 24 bits con un rango dinámico mayor a 110dB. Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. Los parámetros de registro, tales como la geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos (entre 3 y 6 metros) y el punto de impacto del martillo, fue variable ya que dependía de la geomorfología de la zona de estudio. La calidad del registro fue verificada en campo y analizada con el software Geopsy 2.8.

Los estudios con arreglos sísmicos lineales y circulares han permitido identificar la presencia de suelos con velocidades de ondas de corte (V_s) de 160 a 280 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 2 a 7 metros, suelos con velocidades V_s de 350 a 490 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 3 a 9 metros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 450 a 800 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras.

La técnica de prospección eléctrica o tomografía eléctrica, es un método geofísico que proporciona información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad del mismo al paso de la corriente eléctrica. En el área de estudio se realizó 01 sección de tomografía eléctrica en la zona Arqueológica de Huaycan y para su procesamiento, se ha hecho uso de los algoritmos de inversión dcip2d y oasis montaj.

Se obtuvo zonas de alta resistividad con valores de 700 y 800 Ohm-m para la primera capa de espesor entre 4 y 5 metros, estando posiblemente relacionada con la presencia de material de grano grueso consolidado a la que subyace, hacia el extremo derecho de la línea, una segunda capa con resistividades menores a 500 Ohm-m y espesores entre 5 y 8 metros aproximadamente, estando constituida por material poco consolidado. Hacia el extremo izquierdo de la línea, esta segunda capa desaparece para dar paso a resistividades entre 500 y 700 Ohm-m. Por otro lado, entre los 70 y 90 metros, desde el punto de inicio de la línea, se observa un pequeño afloramiento con resistividades del orden de 400 ohm-m constituido por material poco consolidado y con posible presencia de humedad.

RESULTADOS

Las características dinámicas del suelo en Huaycan analizadas y evaluadas a partir de datos sísmicos, geofísicos, geomorfológicos, geológicos y geotécnicos han permitido identificar de acuerdo a la Norma de Construcción Sismoresistente (Norma E030), la existencia de suelos de Tipo S1 y S2.

ZONA I: Esta zona está conformada por estratos de grava con arena que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural, determinados por las mediciones de vibración ambiental, entre 0.1 y 0.3 s correspondientes a suelos de Tipo S1.

ZONA II: En esta zona se considera a las planicies aluvionales conformadas por columnas de gravas y arenas intercaladas con niveles finos limosos y arcillosos cuyos espesores varían entre 6 y 25 m. Los periodos dominantes del terreno, determinados por las mediciones de vibración ambiental, se encuentran entre 0.3 y 0.5 s y corresponden a suelos de Tipo S2. Esta zona abarca principalmente la parte céntrica del área urbana de Huaycan.

Esta información es primordial para la gestión de riesgo orientado al control y expansión urbana.

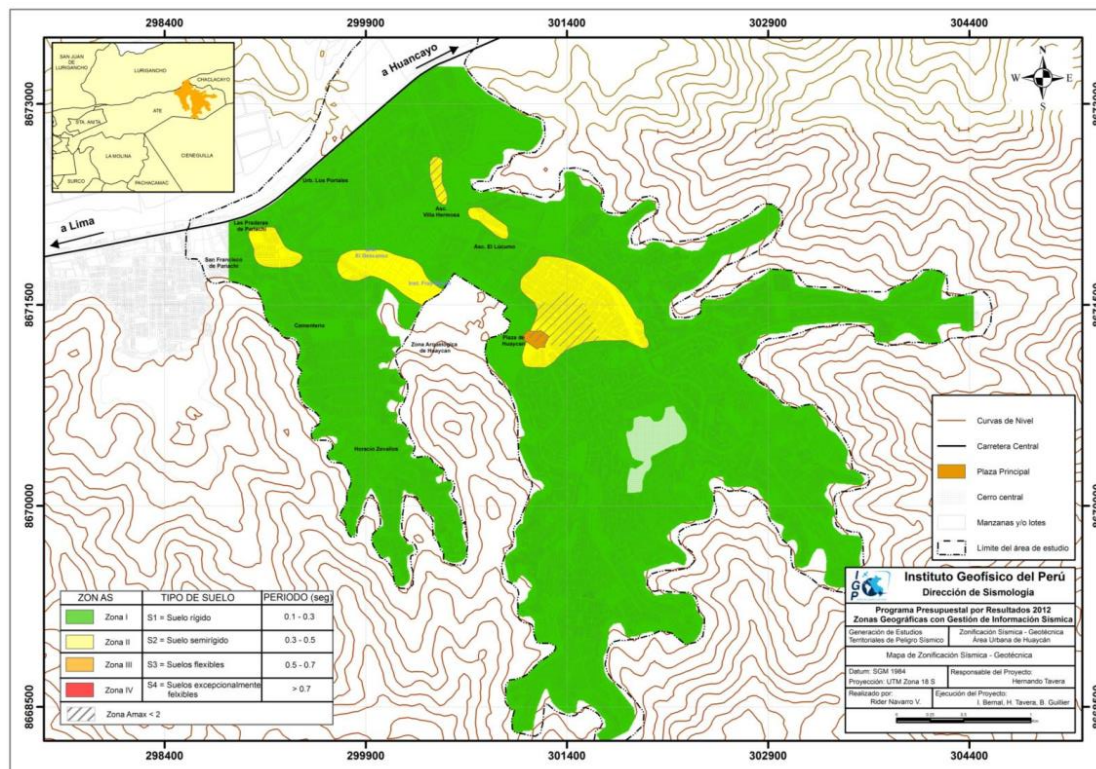


Figura 1: Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de Huaycan

REFERENCIAS

1. Alfaro, A., Egozcue y A. Ugalde (1999): Determinación de características dinámicas del suelo a partir de microtemores. Memorias del Primer Congreso de Ingeniería Sísmica, España.
2. Aki, K., (1957): Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtemors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 35, 415-457.
3. Bernal, I. (2006): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala - México. Tesis de Maestría, II-UNAM, Mexico.
4. Bernal, I. y H. Tavera (2007): Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condormarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad.
5. Casagrande, A. (1948): Classification and identification of soils, American Society of Civil Engineers, Transactions, Vol. 113, 901-991.
6. Nakamura, Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR of RTRI, 30, No.1, 25-33 pp.
7. Norma E-30 (2003): Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismorresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.
8. PREDES (1989): Chosica - Lima, huaycos del año 1987.
9. Silgado, E. (1978): Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú entre 1513 y 1974. Instituto Geológico Minero del Perú, Lima, Perú.
10. Tavera, H., Buforn, E. (2001): Source mechanism of earthquakes in Peru. Journal of Seismology 5: 519-539, 2001.

INTRODUCCIÓN

Los análisis del comportamiento dinámico del suelo permiten tener mayor conocimiento sobre las características físicas del suelo sobre el cual se levantan las áreas urbanas y/o futuras áreas de expansión.

En el presente estudio se realiza el análisis del comportamiento dinámico del suelo en el área urbana de Huaycan a partir de la recolección de datos en campo del tipo sismológico, geofísico, geológico, geomorfológico y geotécnico. El análisis e interpretación de esta información permitirá obtener el mapa de zonificación sísmica - geotécnica para el área urbana de Huaycan. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo, en la Figura 1 vemos la geomorfología de la zona.

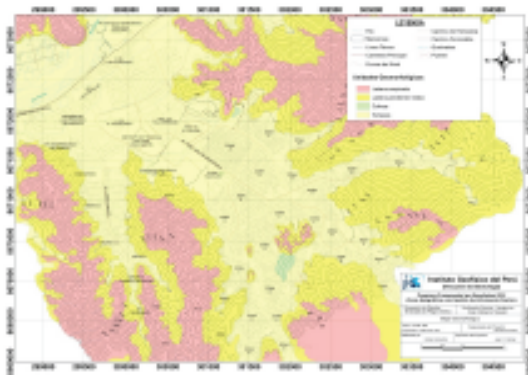


Figura 1. Mapa geomorfológico para el área urbana de Huaycan.

ESTUDIOS GEODINÁMICOS:

-Flujos de detritos: Debido a lluvias pueden provocar la reactivación de las quebradas.



-Caídas de rocas: Estos eventos ocurren en zonas de altas pendientes y están asociados al grado de meteorización, fracturamiento y a la alteración de los macizos rocosos.



Figura 2. Depósito de flujo de detritos (arriba) y caída de rocas (abajo) en la zona de estudio.

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS:

Mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se logró identificar la presencia de 9 tipos de suelos cuyas características se describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de suelos SUCS para el área urbana de Huaycan.

Horizonte	Indicador	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	Clasificación	Grupos	
US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US	US

ESTUDIOS SÍSMICOS Y GEOFÍSICOS:

Los estudios con arreglos sísmicos lineales y circulares han permitido identificar suelos con V_s de 160 a 280 m/s correspondiente a suelos duros, también suelos con velocidades V_s de 350 a 490 m/s correspondiente a suelos muy duros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 450 a 800 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras.

Mediante la aplicación de la técnica H/V se obtuvo mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes considerando diferentes rangos: entre 0.5 y 3.0 Hz; y entre 3.0 y 20 Hz. Esta clasificación se hace en razón que varios puntos de medición presentan entre uno y dos picos de frecuencias predominantes y ambos sugieren que el suelo es bastante heterogéneo y complejo.

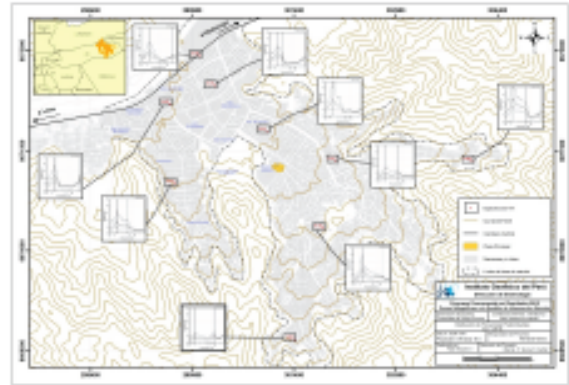


Figura 3. Distribución espacial de razones espectrales (H/V) representativas para el rango de frecuencias entre 0.5 y 5 Hz.

La técnica de tomografía eléctrica, es un método geofísico que proporciona información sobre las propiedades físicas del subsuelo mediante la evaluación del parámetro de resistividad del mismo al paso de la corriente eléctrica. En la Figura 4 mostramos el perfil tomográfico.

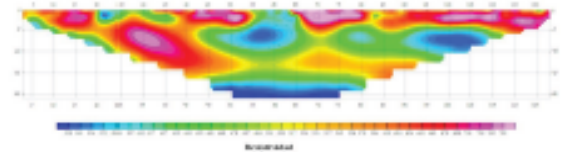


Figura 4. Perfil tomográfico tomada en la zona Arqueológica de Huaycan

RESULTADOS

Las características dinámicas del suelo en Huaycan analizadas y evaluadas a partir de datos sísmicos, geofísicos, geomorfológicos, geológicos y geotécnicos han permitido identificar de acuerdo a la Norma de Construcción Sismoresistente (Norma E030), la existencia de suelos de Tipo S1 y S2.

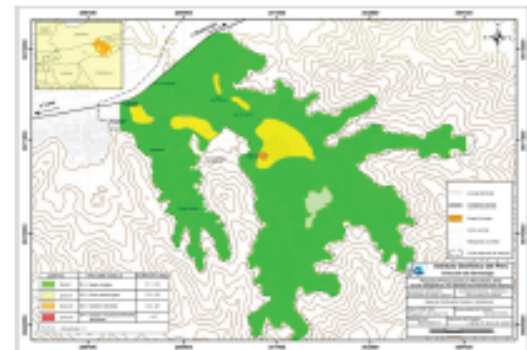


Figura 5. Mapa de Zonificación Sísmica - Geotécnica para el área urbana de Huaycan

Bibliografía

Bernal, I. y H. Tavera (2007): Pruebas de vibración ambiental realizadas en la localidad de Condoramarca, provincia de Bolívar. Dpto. de la Libertad.
 Bernal, I. (2008): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tlaxcala - México. Tesis de Maestría, II-UNAM, México.
 Nakamura, Y., (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, 30, No.1.25-33pp.
 Norma E-30 (2003): Technical Building Standard E.030 Earthquake Resistant Standards (E-030 Diseño Sismoresistente). Ministry of Housing, Construction and Sanitation.