

POTENCIAL DE LICUACIÓN DE LOS SUELOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE VALENCIA, VENEZUELA

Liquefaction potential of soils in the metropolitan area of Valencia, Venezuela

Adalgiza Pombo⁽¹⁾, Oscar Ramirez⁽²⁾, Michael Schmitz⁽³⁾, Zulay Niño⁽⁴⁾

^(1,2,4)Universidad de Carabobo- Naguanagua, Carabobo, Venezuela.

granada372@gmail.com

⁽³⁾Fundacion Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS, Caracas. Venezuela.

Recibido: 05-03-14 / Aceptado: 18-04-14

RESUMEN

El Área Metropolitana de Valencia (AMV), conformado por los municipios: Valencia, Naguanagua, Libertador, San Diego, Los Guayos y Guacara, se encuentra afectada por dos sistemas de fallas: San Sebastián y La Victoria; capaces de generar sismos de gran magnitud y cuya actividad sísmica es constante. La historia sísmica de la zona, nos revela la presencia del fenómeno de la licuación, por ser una región de suelos formados en su mayoría por procesos sedimentarios y cercanos a cuerpos de agua, entre los que se encuentra el río Cabrales y el Lago de Valencia. Para la determinación del potencial de licuación de los suelos del AMV, se debió conocer: la litología, el ambiente tectónico y geológico y el histórico sísmico, así como también, la aplicación de los criterios de susceptibilidad a la licuación establecidos en la norma sismoresistente, para finalmente, mediante métodos simplificados, obtener el factor de seguridad, que es indicativo del potencial de licuación de los suelos. El estudio se realizó, para sismos de magnitud momento (Mw) 6, 6.5, 7 y 7.5. Se recopilaron, analizaron y evaluaron 707 perforaciones de ensayos SPT, encontrándose, que los suelos que resultaron potencialmente licuables o Factor de seguridad (FS) menor a uno, en el AMV, coinciden en su ubicación, con los sistemas de falla de San Sebastián y La Victoria, así mismo, suelos de algunas zonas densamente pobladas como Valencia, Naguanagua y San Diego, son potencialmente licuables para sismos de magnitud Mw 6.0.

Palabras clave: Licuación, suelo, sismo, fallas, ensayos SPT.

SUMMARY

The Metropolitan Area of Valencia (MAV), comprising the municipalities: Valencia, Naguanagua, Libertador, San Diego, Los Guayos and Guacara, is affected by two fault systems: San Sebastián and La Victoria; capable of generating major earthquakes and seismic activity which is constant. The seismic history of the area, reveals the presence of

the phenomenon of liquefaction, as a region soils formed mostly by sedimentary and near bodies of water, including the Cabriales River and Lake Valencia is processes. To determine the liquefaction potential of soils MAV, lithology, tectonic and seismic geological environment and historical, as well as the application of the criteria established susceptibility to liquefaction in earthquake resistant standard must be known. Finally, using simplified methods to obtain the safety factor, which is indicative of liquefaction potential of soils. The study was conducted for earthquakes of magnitude moment (M_w) 6, 6.5, 7 and 7;707 borings SPT assayswere collected, analyzed and evaluated, finding that soils that were potentially liquefiable or FS less than one in the AMV , agree on its location, with the systems fault San Sebastián and La Victoria, therefore, soils with some densely populated areas such as Valencia, Naguanagua and San Diego, are potentially liquefiable for earthquakes of magnitude 6.0 M_w .

Keywords: liquefaction, soil, earthquake, faults, tests SPT.

INTRODUCCIÓN

Un alto porcentaje de la población venezolana, se encuentra ubicada en zona de alto riesgo sísmico, lo que convierte a Venezuela en un país altamente vulnerable ente desastres de origen natural y tecnológico.

El norte de Venezuela, se encuentra en la frontera de dos placas tectónicas, la placa del Caribe y la placa Suramericana (Audemard, 1993), por esta entre otras causas, se han registrado eventos sísmicos destructivos a lo largo de la historia, que pudieron desencadenar entre otros eventos, el fenómeno de la licuación. Este evento se presenta, por la ocurrencia de un terremoto en depósitos de suelos saturadas, con poca o ninguna cohesión (gravas, arenas y limos libres de partículas de arcilla), cercanos a cuerpos de agua (Idriss, 2004). Durante el proceso de licuación, el suelo experimenta una pérdida súbita de resistencia, dejando de comportarse como sólido para hacerlo como un líquido viscoso, causando el colapso de grupos de partículas, lo cual hace, que se incremente la presión de poros entre los granos cuando el drenaje no puede ocurrir, modificándose de esta manera la estructura del suelo.

En Venezuela, se han presentado diversos eventos sísmicos en los cuales se ha evidenciado el fenómeno de la licuación, como es el caso del sismo de Caracas del año 1967, donde se registraron desplazamientos laterales, en una zona cercana a la población de

Guigue, al sur del Lago de Valencia, a una distancia de 85 km del epicentro del sismo, con una magnitud M_w de 6.5. La falla que se produjo, provocó el desplazamiento de un bloque de 750 m de largo y entre 120 m y 180 m de ancho, unos 30 m dentro del Lago (De Santis, 1989). Igualmente se puede señalar más recientemente, el terremoto de Tucacas, ocurrido en septiembre de 2009, en el que resultaron dañadas un número importante de edificaciones (Garsés, 2009) y donde también se observó el fenómeno de licuación.

El procedimiento más conocido para la evaluación del potencial de licuación es el simplificado propuesto inicialmente, por Seed y Idriss en el año 1971, este procedimiento está basado en registros del Ensayo de Penetración Normal (por sus siglas en inglés SPT) (ASTMD-1586-08, 2008), el cual posteriormente fue revisado y actualizado por Youd & Idriss en el año 2001, por Seed en el año 2003, e Idriss & Bolanger en el 2004.

Esta investigación, está dirigida a conocer el comportamiento de los suelos del Área Metropolitana de Valencia (AMV), conformada por los municipios: Valencia, Naguanagua, Libertador, San Diego, Los Guayos y Guacara ante un eventual sismo, con la finalidad de determinar su potencial de licuación, más allá de la evaluación de la susceptibilidad contemplada en la norma Venezolana de Edificaciones Sismorresistentes COVENIN 1756-01 (Venezuela, 2001). El resultado obtenido, se presentará mediante un sistema de información geográfica, que permitirá la ubicación de las áreas potencialmente licuable, con el fin de contribuir con la actualización de la normativa sismorresistente vigente, y ofrecer a los organismos competentes, elementos que le permitan la toma de decisiones relativas al ordenamiento territorial y establecer políticas públicas apropiadas.

METODOLOGÍA

Para esta investigación se analizaron 707 perforaciones en el AMV (Marvéz, Aguilera, Peña, 2013), con ensayos SPT, considerando relevante la información hasta los 10 m de profundidad, debido a que el fenómeno de la licuación tiene allí mayor incidencia (EERI, 1994).

Se aplicaron los criterios de evaluación establecidos en la Norma COVENIN 1756-01 (Venezuela, 2001), en la cual se consideraron los siguientes parámetros:

a) Parámetros Geológicos: se consideró la cercanía a fallas activas, debido a que al estado Carabobo es atravesado por dos de los más importantes sistemas de fallas del país, como son: San Sebastián y La Victoria, en los cuales se tienen suelos con características particulares (Audemard *et al.*, 2000).

Otro aspecto relevante a considerar para el estudio de la licuación es el historial sísmico (Grases, 1990), por lo que considerarlo permite observar una serie de eventos, que han tenido repercusiones en el AMV

b) Parámetros Geotécnicos:

Se tomaron en cuenta para la siguiente investigación los aspectos que podrían facilitar la licuación, tales como: la baja densidad del suelo, restricciones de drenaje, el contenido de arcilla, la magnitud de deformación del suelo (el cual dependerá del espesor y profundidad del estrato licuable), la pendiente del terreno, el área de extensión del estrato y la distribución de las cargas aplicadas por las edificaciones existentes (EERI, 1994). En relación a la litología del suelo, la licuación ocurre principalmente en arenas (SP, SW), arenas limosas (SM) o arenas arcillosas (SC) con bajo contenido arcilla, por lo que en la zona de estudio se determinaron los tipos de suelo utilizando la metodología de clasificación correspondiente (ASTMD 2487-98, 1998).

Igualmente en los estudios analizados, se descartaron los estratos de suelo cuyo valor de número de golpes (N) obtenido del ensayo SPT, fueron mayores a 30 golpes /pie. El ensayo SPT, es susceptible a errores humanos, por lo que se debió corregir por un valor ($N_{1(60)}$), que es la resistencia del ensayo SPT a la penetración normalizado, para un esfuerzo de sobrecarga de 100 KPa y una eficiencia del martillo de 60%.

Evaluación del Potencial de Licuación

I.- Evaluación de Susceptibilidad a la Licuación (Preliminar)

El AMV, se encuentra ubicada en una zona de alta peligrosidad sísmica y con presencia de cuerpos de agua por lo que se realizó una evaluación de susceptibilidad, de acuerdo a lo establecido, en la norma COVENIN 1756-2001. Factores del criterio Chino(1979) y el modificado por el US Army (Venezuela, 2001).

II.- Obtención del factor de Seguridad (Método Simplificado)

Una vez determinada la susceptibilidad a la licuación del suelo, utilizando los criterios preliminares, se procedió a determinar el potencial de licuación según los criterios simplificados de Idriss y Boulanger, 2004, el cual, involucra la caracterización tanto de la carga sísmica a la que está sometido el suelo, como a la resistencia a la licuación del mismo.

Para la determinación del factor de seguridad del suelo, se evaluaron los estratos de suelo de la perforación, con profundidad mayor o igual a un metro. Igualmente la evaluación del potencial de licuación del suelo, se realizó para sismos de magnitudes Mw de: 7.5, 7.0 y 6.5. En los casos en que el suelo resultó potencialmente licuable para sismos de magnitud Mw 6,5, se evaluó también el factor de seguridad, para magnitud Mw 6. No se consideraron variaciones en los niveles de los acuíferos, debido a cambios estacionales, solo los reportados en los estudios geotécnicos considerados.

Para la obtención del factor de seguridad (FS) de cada perforación, se tomó como característico, el menor valor obtenido del análisis de cada estrato. Así mismo se consideró como suelos potencialmente licuables, aquellos cuyo factor de seguridad (FS) resultó igual o menor que 1 (≤ 1) (Idriss, 2004).

Para la evaluación fue necesario estimar dos variables (Idriss, 2004):

Relación de esfuerzos cíclicos (CSR)

$$CSR = (\tau_{av}/\sigma') = 0,65 \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) \cdot rd(1)$$

Resistencia a la licuación del suelo (CRR)

Está basado en una extensa base de datos del ensayo SPT, la cual se ha robustecido a través de los años. Este criterio se representa en términos de un gráfico de (CSR) versus $(N1)_{60}$ [2]:

$$CRR_{M=7,5;\sigma'=1} = \exp. \left(\frac{(N1)_{60cs}}{14,1} + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N1)_{60cs}}{23,6} \right)^3 + \left(\frac{(N1)_{60cs}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \right) \quad (2)$$

Corrección por escala de magnitud de sismo

Los valores utilizados para construir las curvas (CRR) están basados en observaciones sobre sismos de magnitud 7,5. Para ajustar el valor (CRR) a magnitudes menores de sismos $M_w 7,5$; fue necesario aplicar factores de corrección de escala. Estos factores de seguridad se pueden calcular según la siguiente expresión:

$$FS = (CRR_{M'} \cdot \sigma'_{vc} / CSR_{M'} \cdot \sigma'_{vc}) \quad (3)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presentan los municipios estudiados con el número de perforaciones encontradas por municipio y los porcentajes de esas perforaciones que resultaron zonas licuables para sismos con magnitudes $M_w 7.5, 7.0, 6.5$ y 6 . Por tanto, del análisis hecho a 707 perforaciones con ensayos SPT, arrojaron, 691 zonas con susceptibilidad a licuar (Fig. 1), encontrando que 117 de ellas, tienen probabilidad de licuar para un sismo de magnitud mayor o igual a $M_w 6.0$. Igualmente se encontró que en 58 zonas del AMV, el potencial de licuación se ubica en estratos de suelo de profundidad menor o igual 5 metros, lo que nos permite observar que esas zonas, van a requerir revisiones más detalladas para la construcción de edificaciones de poca altura.

Tabla 1. Porcentajes del potencial de licuación ($FS \leq 1$), en el AMV

Municipios	N° Perforaciones	Magnitud del sismo			
		7.5	7.0	6.5	6.0
Valencia	257	25,95%	24,57%	22,11%	17,38%
Los Guayos	39	22,36%	10,49%	19,0%	10,26%
Naguanagua	87%	29,0%	38,0%	57,0%	47,13%
San Diego	115	24,79%	24,79%	23,97%	21,49%
Guacara	197	0,47%	0,47%	0,47%	0,47%
Libertador	12	33,33%	16,67%	16,67%	16,67%

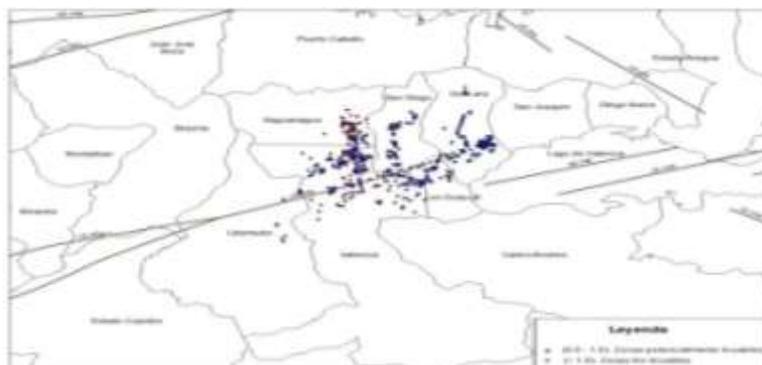


Fig. 1. Ubicación de zonas potencialmente licuables, $FS \leq 1$, en el AMV.

Otro aspecto importante a resaltar, es que el tipo de suelo predominante en las zonas que resultaron con probabilidad de licuar, es el de arena limosa (SM) en un 65%. A continuación se presentan mediante el uso de sistema de información geográfica el mapa de licuación del AMV, para sismo de magnitud Mw. 6.0.

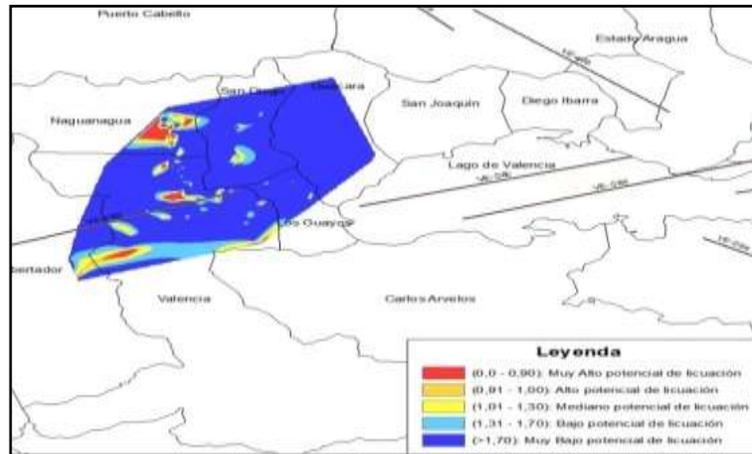


Fig. 2. Potencial de Licuación de los suelos del AMV, para un sismo Mw. 6.0.

CONCLUSIONES

En el AMV, se encontraron suelos potencialmente Licuables, primordialmente en los municipios Naguanagua, Valencia y San Diego, coincidiendo estos con su cercanía a cursos de agua y a los sistemas de falla de San Sebastián y La Victoria.

Se observó en las zonas potencialmente licuables del AMV, que el suelo predominante es la arena limosa (SM), por lo que se corrobora la posibilidad de que en dichas zonas se pueda producir la licuación.

Debido a la cantidad de lugares donde se encontró licuación a profundidades hasta los 5m, para sismo de Mw 6.0, se puede inferir, que un número importante de estructuras de baja altura, pudieran verse afectadas por este fenómeno.

Es importante el número de zonas o lugares en el AMV, que resultaron licuables para sismo de magnitud Mw. 6.0, ya que este valor es menor que el histórico sísmico.

Los factores de seguridad de licuación obtenidos, muestran la existencia de extensas aéreas urbanas con riesgo de licuación, por lo que se requerirán estudios más detallados que permitan un uso seguro de estas zonas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, L. y De Santis, F. (1997). Licuación de suelos: su ocurrencia en la historia sísmica de Venezuela. III conferencia de ingenieros jóvenes geotécnicos, Caracas Venezuela. pp. 1-12.
- Aguilera E., Franco I. (2013). Determinación del Potencial de Licuación de los suelos de los Municipios: San Diego, Guacara, San Joaquín, Diego Ibarra, Estado Carabobo. Tesis pregrado Universidad de Carabobo. Naguanagua. 55 pp.
- ASTMD2487-98. (1998). Practicas estándar para clasificar suelos para fines ingenieriles (unified soil Classification). USA. 300 pp.
- ASTM D-1586-08.(2008). Standard test Method for Standard Penetration Test (spt) and Split-Barrel Sampling of Soils.Oct. 1, USA. 600 pp.
- Audemard, F. A. (1993). Néotectonique, Sismotectonique et Alea Sismique du Nord-ouest du Venezuela (Système de failles de Oca-Ancon). PhD, Universite Montpellier II, France. 112 pp.
- Audemard, F.A., M. Machette, M., Cox, J., Dart, R., Haller, K. (2000).Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions.US Geological Survey Open-File Report, Caracas.00-0018.
- De Santis, F., Singer, A., Audemard, F. (1989).Manifestaciones de lateral spread en el delta lacustre de Guigue, costa sur del Lago de Valencia, durante el terremoto de Caracas del 29-07-67. VII congreso geológico venezolano. Barquisimeto. 1124 – 1136.
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI). (1994). Earthquake basics brief N°:1 Liquefaction, what it is and what to do about it. Oakland, California.
- Garses, F. (2009). The Mw 6.4 Tucacas, Venezuela Quake of September 12, 2009.EERI Newsletter, Volume 43, Number 11, 6 – 7.
- Grases, José. (1945). Terremotos destructores del Caribe 1502-1990. Unesco-Relacis. Caracas.

- Idriss, I. M. 1999). An update to the seed Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential, in proceedings, TRB workshop on new approaches to liquefaction, publication N°. FHWA-RD-99-165, Federal Highway administration.
- Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004). Soil Liquefaction during Earthquakes. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Davis. 76 pp.
- Marvéz M., Rondón, D. (2013). Determinación del Potencial de Licuación de los suelos de los Municipios Los Guayos y Valencia, Estado Carabobo. Tesis pregrado Universidad de Carabobo. Naguanagua. 84 pp.
- Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 1756-2001. (2001). Edificaciones Sismorresistentes (1 Revisión). FONDONORMA. Caracas, Venezuela.
- Peña E. (2013). Determinación del Potencial de Licuación de los suelos del Municipios Naguanagua, Estado Carabobo. Tesis pregrado Universidad de Carabobo. Naguanagua. 76 pp.
- Rodríguez, L., Audemard, F., Rodríguez, J. 2006. Casos históricos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., Vol. 21, N°3, 5–32.
- Seed, H. B. & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential journal of soil mechanics and foundation division, ASCE, 97:SM9, pp.1249-1273.
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss R., Krammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., Riemer, M F., Sancio, R. B., Pray, J. D., Kayen, R. E. and Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework 26 annual ASCE Los Angeles geotechnical spring seminar. Long Beach. California.
- Urbani, F. (2000). Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Geos, UCV. Caracas. 33: 1-170.
-
- Youd, T.L. Idriss. 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of liquefaction resistance of soils. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. Vol. 127, N° 4, pp 297-313.
-