

PROBLEMAS GEOTÉCNICOS EN EDIFICACIONES DESPLANTADAS SOBRE DEPÓSITOS ALUVIALES EN LLANURAS Y PENILLANURAS DE INUNDACIÓN

GEOTECHNICAL PROBLEMS IN BUILDINGS ON ALLUVIAL DEPOSITS IN FLOODPLAINS AND PENIPLAINS

Dr. Oscar Andres Cuanalo Campos^a, Msc. Romel Jesus Gallardo Amaya^b, Msc. Gabriel Polanco^c,
Ing. Leidy Johana Quintero Lemus^d

^aUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación en Geotecnia y Medio Ambiente, GIGMA
Rafael Alduci 228, Puebla, México, oscarcuanalo@hotmail.com

^bUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación en Geotecnia y Medio Ambiente, GIGMA, Sede Algodonal, Vía Acolsure, Ocaña, Colombia,
rjgallardo@ufpso.edu.co

^cTecnosolum Ingeniería y Cimentaciones S.A. de C.V.,
Calle Tepate 104, Villahermosa Tabasco, México, gpolanco@tecnosolum.com

^dUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación en Geotecnia y Medio Ambiente, GIGMA, Sede Algodonal, Vía Acolsure, Ocaña, Colombia,
lquinterole@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 25-07-2016

Fecha de aprobación: 30-11-2016

Resumen: En este artículo se presenta la caracterización estratigráfica del subsuelo en el fraccionamiento “Edén Premier” ubicado en Tabasco, México, determinada a partir de 8 sondeos mixtos realizados en el área de estudio, el cual está constituido por depósitos aluviales heterogéneos que han provocado hundimientos diferenciales de diversa magnitud y en diferentes direcciones en varias casas de la unidad habitacional. El terreno se ubica en llanuras y penillanuras de inundación de los ríos que rodean a la ciudad de Villahermosa, Tabasco cuyos suelos incluyen arenas finas, limos, arcillas y turbas. Estos depósitos aluviales son de mala calidad y presentan serios problemas geotécnicos a las edificaciones desplantados sobre ellos debido a su baja resistencia al esfuerzo cortante y grandes deformaciones que sufren cuando se aplican sobrecargas.

Palabras clave: Caracterización Estratigráfica, Hundimiento Diferencial, Distorsión Angular, Depósitos Aluviales, Llanuras de Inundación.

Abstract: In this paper the subsoil stratigraphic profile of the housing “Eden Premier” located in Tabasco México, is presented. The subsoil characterization was made from 8 mixed surveys conducted in the study area, which is made up of heterogeneous alluvial deposits that have led to differential subsidence of different magnitude and in different directions in several houses of the neighborhood. The land is located on floodplains and peniplains of rivers surrounding the city of Villahermosa, Tabasco, whose soils include fine sand, silt, clay and peat. These alluvial deposits are of poor quality and lead big geotechnical problems for buildings built on them due to their low shear strength and large deformations when overloads are applied.

Keywords: Stratigraphic Profile, Differential Subsidence, Angular Distortion, Alluvial Deposits, Floodplains.

1. INTRODUCCIÓN

En muchas regiones alrededor del mundo que colindan con las líneas costeras, existen planicies y terrenos con pendientes muy suaves donde encontramos abanicos y llanuras aluviales, lagunas, pantanos, barras y esteros, además son sitios donde desembocan varios de los ríos más caudalosos e importantes: el **Misisipi** en los Estados Unidos, el **Usumacinta** y el **Grijalva** en México, el **Amazonas** que recorre Perú, Colombia y Brasil, y el **Orinoco** en Venezuela, entre otros. En estas regiones existen depósitos de suelos aluviales formados por sedimentos acarreados por los ríos, los cuales incluyen arenas finas, limos, arcillas, turbas y sus mezclas.

Los suelos finos aluviales de estas regiones se caracterizan por su baja resistencia al esfuerzo cortante, lo que reduce significativamente su capacidad de carga; además presentan alta compresibilidad debido a su alta relación de vacíos en estado

natural y a su susceptibilidad de reducir drásticamente su volumen al someterlos a esfuerzos de compresión, originados por las sobrecargas que transmiten las construcciones.

Los asentamientos totales y diferenciales que sufren las estructuras desplantadas en estos suelos, en general son de gran magnitud, cuyos valores son muy superiores a los permisibles en el estado límite de servicio especificado en los códigos o reglamentos de construcción. En el caso de las turbas, cabe señalar que la consolidación secundaria es particularmente mucho mayor que la primaria, y de aquí que los asentamientos debidos al efecto de la consolidación secundaria puedan extenderse a periodos de decenas de años.

DEPOSITOS SEDIMENTARIOS EN LLANURAS Y PENILLANURAS DE INUNDACIÓN

Las llanuras y penillanuras de inundación son áreas adyacentes a ríos que están sujetas

a inundaciones frecuentes, la diferencia entre unas y otras es la morfología del terreno; en las primeras, el terreno es sensiblemente plano y en las segundas está formado por pequeños lomeríos o relieves originados por la erosión hídrica. Esta erosión produce segregación, transporte y sedimentación de partículas de suelo dando origen a depósitos sedimentarios con perfiles estratigráficos muy heterogéneos y complejos, tanto en dirección vertical como horizontal. El subsuelo en estos sitios presenta grandes variaciones en el espesor de las capas, tipos de materiales, propiedades físicas y propiedades mecánicas: para estas últimas, principalmente su resistencia al esfuerzo cortante y su compresibilidad.

Las inundaciones son eventos naturales que se producen debido a lluvias fuertes o lluvias continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos y arroyos (Hupp et al, 2009). En la región de estudio, correspondiente al sureste de la República Mexicana, en especial en el estado de Tabasco se presentan inundaciones frecuentes como la de octubre del 2007, considerada como el peor desastre natural ocurrido en este estado en los últimos 50 años; aproximadamente el 80% del territorio tabasqueño quedó bajo el agua con un tirante entre 4 y 8 m como se observa en la Figura 1. La inundación se debió al desbordamiento de los ríos Grijalva y Usumacinta, que rebasaron sus niveles normales por las lluvias torrenciales ocurridas en esta región y en las serranías del Estado de Chiapas (Ayuntamiento, 2005;

Gama 2008; Perevochtchicova et al, 2010: Senado de la República, 2008)

En la ciudad de Villahermosa, capital de estado de Tabasco, las inundaciones se han presentado frecuentemente a largo de la historia con registros en los años de 1868, 1879, 1888, 1889, 1909, 1918, 1926, 1927, 1929, 1931, 1932, 1935, 1942, 1944, 1952, 1955, 1956, 1958, 1959, 1969, 1973, 1980, 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2007 y 2008.



Figura 1. Inundación de Tabasco en octubre de 2007

2. METODOLOGÍA

PROCESO CONSTRUCTIVO EN EDIFICACIONES

Las morfología plana y de lomerío suave del terreno en la ciudad de Villahermosa la hacen muy propensa a inundaciones, por lo que antes de realizar cualquier edificación, se tiene que elevar el nivel de desplante a una cota arriba de la cota de inundación, mediante la construcción de un terraplén o relleno compactado, el cual transmite una sobrecarga importante adicional al peso de la edificación sobre el suelo blando, que puede originar grandes asentamientos.

La construcción de edificaciones en la región de estudio se efectúa utilizando las corridas de cimentación, generalmente rigidizadas con contratraves, las cuales se desplantan sobre un terraplén de arena, el cual se va colocando en capas compactadas, y en la medida que se va hundiendo el suelo blando, se agrega más y más arena hasta que se estabiliza parcialmente el terreno. No existe una regla o metodología técnica que permita calcular el espesor del terraplén de apoyo, o el desplazamiento vertical que debe alcanzarse en el terreno compresible antes de desplantar la cimentación de la edificación. Es común encontrar espesores de terraplén variables entre 3 y 11 m, para el desplante de las cimentaciones de edificios (Figura 2).

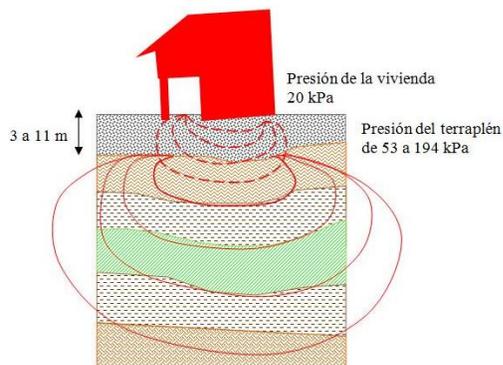


Fig. 2. Croquis esquemático de distribución de presiones

PROBLEMAS GEOTÉCNICOS Y ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES DESPLANTADAS SOBRE DEPÓSITOS ALUVIALES

Las edificaciones desplantadas en terrenos de cimentación constituidos por suelos finos blandos incluyendo arcillas, limos, turbas y sus mezclas, como los existentes en la ciudad de Villahermosa y sus zonas conurbadas, son susceptibles de experimentar fallas por capacidad de carga y

grandes deformaciones, evaluadas estas últimas en términos de hundimientos o asentamientos, originados por las sobrecargas que transmiten las construcciones. Los problemas geotécnicos y estructurales que pueden sufrir las estructuras desplantadas en suelos finos blandos altamente compresibles incluyen los siguientes (Cuanalo et al, 2015):

- Falla por capacidad de carga.
- Hundimientos totales y diferenciales mayores a los permisibles en los códigos y reglamentos de construcción.
- Agrietamientos de muros, pisos, losas, traves y elementos constructivos.
- Distorsión angular de la estructura.
- Reducción del factor de seguridad estructural.
- Generación de momentos debido a que el centro de cargas de la estructura se ha desplazado y no coincide con el centro geométrico de la cimentación.
- Riesgo potencial de colapso debido a momentos generados durante eventos sísmicos.
- Distorsión de marcos en puertas y ventanas.
- Daño en instalaciones subterráneas (electricidad, gas, drenaje, etc.)

3. RESULTADOS

FRACCIONAMIENTO EDÉN PREMIER (VILLAHERMOSA TABASCO, MÉXICO)

El Fraccionamiento Edén Premier se localiza al Suroeste de la ciudad de Villahermosa, en una superficie de 8.125 Has, en las coordenadas geográficas 17° 57'

15.5'' N y 92° 57' 15.7'' O. Aproximadamente a 100 m al lado izquierdo del fraccionamiento pasa el río Mezcalapa, tributario del río Grijalva (Figura 3).



Fig. 3. Ubicación del Fraccionamiento Edén Premier

3.1. Condición geohidrológica del subsuelo

El fraccionamiento objeto de estudio está emplazado en terrenos clasificados como penillanuras de inundación y zonas pantanosas, en las cuales existen depósitos aluviales originados por el escurrimiento y desplazamiento histórico del cauce del río Mezcalapa, afluente del río Grijalva y ubicado actualmente a escasos 100 m al lado izquierdo del fraccionamiento (Figura 4). Los depósitos sedimentarios del sitio incluyen arenas finas, limos, arcillas y sus mezclas, intercalados con estratos de turba o materia orgánica cuyo espesor varía entre 1.8 y 5.4 m.



Figura 4. Ubicación del fraccionamiento Edén Premier contiguo al río Mezcalapa

Bajo los depósitos aluviales se encuentra una roca blanda de origen sedimentario marino clasificada como lutita, muy meteorizada y que produce arcillas de alta plasticidad CH, donde los agentes climatológicos han jugado un papel fundamental en la descomposición y desintegración de la roca y de sus minerales (sol, agua, temperatura, humedad, etc.).

Hundimientos diferenciales y distorsiones angulares en casas habitación

Las casas habitación del fraccionamiento tienen una edad aproximada de 10 años y son en su mayoría de 2 niveles; transmiten una presión a nivel de desplante de la cimentación de 20 kPa. Desde el inicio de su construcción en el año 2007 se tuvieron problemas de falla por capacidad de carga y hundimientos significativos durante la construcción del terraplén que sirve de apoyo a la losa corrida de cimentación. A la fecha se han registrado hundimientos diferenciales en varias casas habitación, cuyo resumen se consigna en la Tabla 1, y la

representación gráfica de la dirección de su movimiento se presenta en la Figura 5.



Figura 5. Dirección de hundimientos y ubicación de sondeos exploratorios

De la tabla 1 se puede observar que el terraplén de apoyo para las losas de cimentación presenta espesores variables entre 5.4 y 11.4 m, lo que es indicativo de que se presentaron hundimientos de diferente magnitud al colocar el relleno arenoso, además los asentamientos diferenciales medidos en varias casas del fraccionamiento arrojaron valores entre 8.3 y 16.3 cm. De la Fig. 5 se aprecia que la dirección de los movimientos registrados en las casas habitación no siguen un patrón de desplazamiento uniforme, y las inclinaciones de las casas van en diferentes sentidos.

Tabla 1. Hundimientos diferenciales y distorsiones angulares en varias casas del fraccionamiento Edén Premier

Caracterización estratigráfica del subsuelo

Para entender el origen de los movimientos, su diferente magnitud e interpretar la dirección en la que se están registrando los desplazamientos, se realizaron 8 sondeos

mixtos exploratorios en el área de estudio (Figura 5), combinando la prueba de penetración estándar con el muestreo

Manzana	Casa/lote	Espesor terraplén (m)	Hundimiento dif. (cm)		Hundimiento/claro	
			De la casa	Permitido	De la casa	Permitido
7	9*	6.8	14	1.5	0.019	0.002
	10	6	ND		ND	
	11	6	ND		ND	
9	7	11.4	12	1.5	0.019	0.002
	13 y 14	6.6	16.3		0.022	
10	1	6.6	ND	1.5	ND	0.002
	8	5.4	14.3		0.019	
	11	11.4	9		0.012	
	12	11.4	9		0.012	
11	1	7.2	10.8	1.5	0.014	0.002
	2	7.2	8.3		0.011	
	6	5.4	< 5			
12	1 y 2	7.2	< 5	1.5	0.004	0.002
	3*	7.2	< 5		0.004	

ND: Valor no determinado hasta el momento
 *Casa demolida

inalterado mediante tubo Shelby. Estos sondeos permitieron determinar el espesor del terraplén de relleno, el perfil estratigráfico del terreno y obtener las muestras para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los estratos encontrados (Figuras 6 y 7).

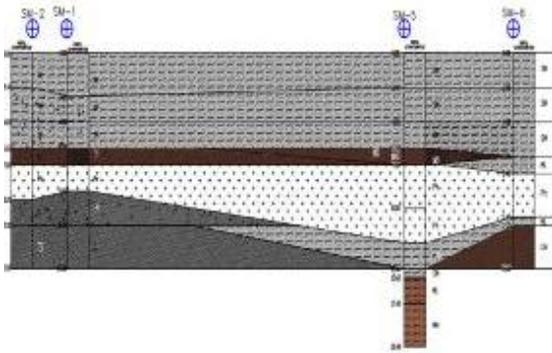


Fig. 6. Perfil estratigráfico del terreno a través de los sondeos 2, 1, 5 y 6

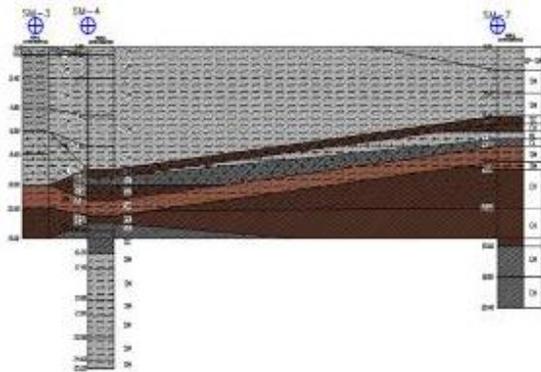


Fig. 7. Perfil estratigráfico del terreno a través de los sondeos 3, 4 y 7

Sondeos 2, 1, 5 y 6

- Superficialmente y hasta una profundidad promedio de 8 m aparece el terraplén de relleno constituido por arenas limosas SM en estado medianamente compacto y compacto, el número de golpes en la prueba de penetración estándar varió entre 5 y 70, y su contenido natural de agua entre 10 y 17%.
- Subyaciendo a la capa anterior encontramos un estrato de turba Pt con espesor variable entre 1.8 y 5.4 m, número de golpes de 2 a 5, y un

contenido de agua variable de 110 a 237%.

- En los sondeos 1 y 2, bajo las capas anteriores y hasta la profundidad máxima de los sondeos de 15 m, aparecen sedimentos aluviales constituidos por arcillas y limos de baja plasticidad CL y ML, arenas arcillosas y limosas SC y SM, con número de golpes entre 5 y 28, y un contenido natural de agua entre 25 y 55%.
- En los sondeos 5 y 6, bajo los depósitos sedimentarios, se encuentra una lutita muy meteorizada que da origen a arcillas de alta plasticidad CH con número de golpes entre 13 y 70, y contenido natural de agua entre 26 y 44%.
- El nivel freático se encontró entre 0.5 y 2 m de profundidad.

Sondeos 3, 4, 8 y 7

- Superficialmente y hasta una profundidad variable entre 6.6 y 11.4 m, aparece el terraplén de relleno constituido por arenas limosas SM en estado compacto, con número de golpes variable entre 20 y 80 en la prueba de penetración estándar, y un contenido natural de agua entre 5 y 16%.
- Subyaciendo a la capa anterior encontramos el estrato de turba Pt con espesores entre 1.8 y 4.2 m, número de golpes de 3 a 5 y un contenido natural de agua de 50 a 124%.
- En los sondeos 3, 4 y 8, bajo las capas anteriores y hasta la profundidad máxima de los sondeos de 20 m, aparecen sedimentos aluviales constituidos por arcillas y limos de baja plasticidad CL y ML, arenas arcillosas y

limosas SC y SM, con número de golpes entre 4 y 8, y un contenido natural de agua entre 28 y 50%.

- d) En el sondeo 7, bajo los depósitos sedimentarios, se encuentra una lutita muy meteorizada que da origen a arcillas de alta plasticidad CH con número de golpes entre 28 y 70, y contenido natural de agua entre 26 y 34%.

El nivel freático se encontró entre 1.8 y 2.4 m de profundidad.

4. CONCLUSIONES.

- a) Varias casas del fraccionamiento Edén Premier han sufrido hundimientos diferenciales en diferentes dirección y con valores entre 5 y 16.3 cm; estos valores son mayores a los permisibles en el estado límite de servicio para estructuras desplantadas sobre losas de cimentación ($\delta_{\text{permisible}} = 0.002 L = 1.5$ cm). Lo anterior ha provocado diversos daños en la estructura de las casas y ponen en riesgo su estabilidad ante eventos sísmicos.

- b) Las causas de los hundimientos diferenciales son las siguientes:

- ✓ El terraplén de relleno a base de arena limosa en estado medianamente compacto y compacto, con espesores variables entre 5.4 y 11.4 m; este terraplén se emplea para el desplante de las losas de cimentación en suelos blandos de esta región.
- ✓ El terreno de cimentación constituido por zonas pantanosas y penillanuras de

inundación conformadas por lutitas muy meteorizadas. Los lomeríos de estas penillanuras están total o parcialmente rellenos por depósitos sedimentarios aluviales, los cuales presentan diferentes espesores e incluyen arcillas, turbas, limos, arenas y mezclas de todos estos.

- ✓ Los depósitos sedimentarios son de baja resistencia al esfuerzo cortante y alta compresibilidad.
- ✓ Un estrato de turba que aparece intercalado entre los sedimentos aluviales, de espesor variable y a diferentes profundidades.
- ✓ Los bulbos de presión de las diferentes casas que se superponen e incrementan los esfuerzos entre las viviendas.

5. BIBLIOGRAFÍA

Hupp C., Pierce A. and Noe G. (2009) “*Floodplain geomorphic processes and environmental impacts of human alteration along coastal plain rivers, USA*”. WETLANDS Vol. 29 (2), USA, pp. 413-429.

Ayuntamiento del municipio Centro (2009) “Atlas de Riesgo del Municipio Centro”. México, pp 21-71. En Internet: http://www.villahermosa.gob.mx/protec_civil/atlas_de_riesgo.pdf

Gama L. (2008) “Evaluación de la vulnerabilidad de los estados del Sureste de México ante lluvias extremas debidas a la variabilidad y el cambio climático: Tabasco, estudio de caso”. Informe Final, INE, UJAT, SEMARNAT. México. 131 p.

Perevochtchicova M. y Lezama J. (2010) “Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México”. *Journal of Latin American Geography*, 9 (2). Conference of Latin Americanist Geographers. pp. 73-98.

Senado de la República (2008) “Informe de las inundaciones de 2007 en el estado de Tabasco”. Diagnostico preliminar. Comisión de Asuntos Hidráulicos, México, 48 p.

Cuanalo O., Polanco G. y Quintero L. (2015) “Hundimientos diferenciales en edificaciones. Proceso de subexcavación”. Editorial Académica Española, Alemania, 100 p.