

ESTABILIDAD DE TALUDES EN ARCILLAS “LUTITAS” DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SLOPE STABILITY IN “LUTITAS” CLAYS OF THE CITY OF TUXTLA GUTIÉRREZ

Jorge Ordóñez R., Alejandro Ordóñez A.,
Arcadio Zebadúa S.¹

RESUMEN

Se presentan los resultados de los trabajos de investigación de campo y laboratorio. Con las propiedades índice y mecánicas obtenidas de los estratos de los taludes y laderas naturales de subsuelo de la zona geotécnica B. Se realiza el análisis de estabilidad de taludes y se determina el comportamiento para la condición de suelos saturados y no saturados. Se determina la superficie potencial de deslizamiento de los taludes y los tipos de riesgos. Se presentan las alternativas para mitigar los tipos de riesgos geotécnicos.

Palabras clave: Caracterización, arcillas “lutitas”, riesgos geotécnicos, estabilizar taludes, superficie de deslizamiento.

ABSTRACT

The results of the field and laboratory research are presented, With the index and mechanical properties obtained from the clay strata of the slopes and hillsides of geotechnical zone B. Slope stability analysis is performed and the behavior is determined for the condition of saturated and no saturated. The potential slip surface and the risks types is determined. The alternatives for mitigation of geotechnical risks are presented.

Keywords: Characterization, “lutitas” clay, geotechnical risks, slope stability, slip surface.

INTRODUCCIÓN

En esta investigación se recopila información teórica y empírica para resolver el problema de deslizamientos de taludes o laderas ubicadas en la zona geotécnica B, de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Ordóñez, J. 2008 y 2014). Los taludes de las laderas naturales están conformados por arcillas “lutitas” y se ubican en las zonas urbanas del sur poniente y oriente de la Ciudad. La investigación se realizó en la Universidad Autónoma de Chiapas, con financiamiento externo. Se concentró la información teórica existente sobre estudios geotécnicos y trabajos de investigación que describan las características geotécnicas de los estratos de arcillas “lutitas” y se propone los tipos de riesgos.

Para realizar el análisis de estabilidad de taludes, se consideró la geometría, propiedades índice y mecánicas de los estratos de arcillas que conforman los taludes. Con los trabajos de campo y laboratorio, se determinaron los parámetros geotécnicos y se realizó la caracterización de los estratos de arcillas “lutitas”. Con la información obtenida se realiza el análisis de la estabilidad e inestabilidad de los taludes y definen su comportamiento: suelo saturado en época de lluvias y suelo no saturado en época de estiaje.

Para los estratos de arcillas “lutitas”, la condición más crítica para las laderas se presenta en la época de lluvias. Los estratos superficiales de 0.25 m a 3 m de profundidad, presentan riesgos de alto potencial de deslizamiento al incrementarse el contenido de agua y disminuye la resistencia al esfuerzo cortante de los estratos de arcillas. En los estratos de 3 a 5 m, se registran riesgos de deslizamientos de potencial medio y a partir de 5 m de profundidad se presentan

¹ Profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: jordonez@unach.mx; zebadua@unach.mx

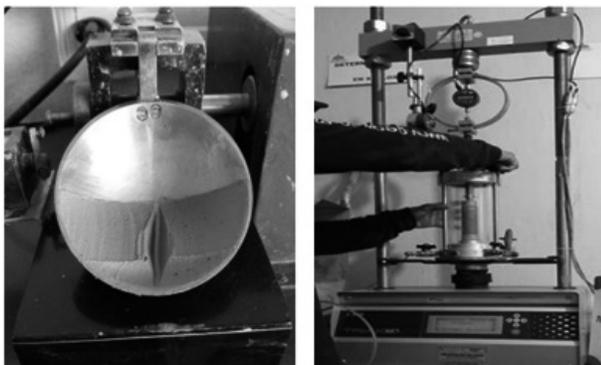
riesgos de bajo potencial de deslizamiento. La superficie potencial de deslizamiento se determinó con el ensayo SPT y el equipo PANDA. Al reactivarse los flujos o corrientes de agua se satura la estructura del suelo y en consecuencia se genera erosión y deslizamientos de los taludes con pendientes de 6° a 15°.

Se presenta la clasificación de tres tipos de riesgos geotécnicos en deslizamientos de taludes: alto, medio y bajo. Esta clasificación está en función de la pendiente del talud o ladera, contenido de agua, número de golpes y la resistencia al esfuerzo cortante de las arcillas. Se presentan alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos y la estabilización de los taludes y laderas naturales.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Se presentan los resultados de la investigación de campo y de laboratorio realizado en las zonas urbanas ubicadas en la zona sur oriente y poniente de la ciudad. Las áreas estudiadas son los fraccionamientos: Cueva del Jaguar, Lomas del Oriente, Terranova. Predios del libramiento sur oriente: Gasolinera Olin, predios del sindicato de Telmex y Mactumactzá.

En los predios descritos se realizaron trabajos de exploración y muestreo. Los tipos de sondeos realizados son: Pozo a Cielo Abierto (PCA), Sondeo Profundo Mixto (SPM) con el ensayo de penetración estándar (SPT). Se recuperaron muestras de suelo en estado alterado e inalterado. En el laboratorio se determinaron las propiedades índices y mecánicas de las muestras de suelo extraídas.



(a)

(b)

Figura 1. Pruebas de laboratorio, a) límite líquido, b) triaxial rápida (Ordóñez J. 2020).

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE SITIOS DE LA ZONA GEOTÉCNICA B

Las áreas urbanas que comprende la zona sur oriente y poniente de la ciudad, el subsuelo está conformado por estratos de suelos y rocas, conocidas en la literatura de la geotecnia como "lutitas". Los sondeos y ensayos de laboratorio se realizaron en épocas de lluvias, por considerar que es la época del año que los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante son menores y representan la condición más crítica en el análisis de estabilidad de taludes. El estrato superior de 0 a 7 m de espesor corresponde a un estrato de arcilla de color café claro, de media a baja y alta compresibilidad (CL y CH), con incrustaciones de estratos de arena y gravas. En ocasiones estos estratos de arcillas, al clasificarlos en el Sistema Único de Clasificación de Suelos, se definen como arenas con arcillas (SC) o gravas con arcillas (GC). Los estratos de suelos que conforman los taludes naturales del sitio en estudio presentan en un ciclo anual de lluvias y estiaje comportamiento de suelos saturados

$\sigma' = \sigma - u_w$ y no saturados $\sigma' = (\sigma - u_w) + \chi(u_a - u_w)$, u_w , u_a es la presión de poro del agua. Es necesario considerar las propiedades índice, mecánicas y las condiciones ambientales para realizar la caracterización del subsuelo de esta zona geotécnica.

En épocas de estiaje, las arcillas "lutitas" por la conformación de su microestructura presentan fisuras y agrietamientos por desecación, incrementándose la presión de poro del aire (u_a). Al disminuir el contenido de agua se presentan desprendimientos verticales en taludes con ángulos de inclinación $\beta > 60^\circ$, los estratos de arcilla se depositan al pie del talud (figura 2).



Figura 2. Deslizamiento del talud por desecación de la arcilla lutita (Ordóñez J. 2016)

Estos deslizamientos generan empujes activos sobre elementos de retención, sobrecargas que deben considerarse en el diseño estructural de los muros. En épocas de lluvias se activan los flujos y corrientes de agua, saturan los estratos de arcillas y se comportan como un suelo saturado, con pérdida de su resistencia al corte, presentándose los deslizamientos de taludes (figura 3).



Figura 3. Deslizamiento del talud en condiciones saturadas (Ordóñez J. 2014)

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

En el subsuelo de la zona geotécnica B, la saturación de los estratos de arcilla se genera por la reactivación de los flujos y corrientes de agua en época de lluvias. Esta condición hidrológica, ocasiona erosión en la estructura del suelo y es la causa de los deslizamientos en los taludes con pendientes mayores a 6 a 15%. El estrato superficial de 0.25 a 3 m de profundidad, registra incremento en su contenido de agua $w=30$ a 39% y disminuyen los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo $C_{uu}=0.1$ a 0.5 kg/cm² (10 a 50 kPa). A partir de los 4 a 5 m de profundidad, el registro del número de golpes varía de $N=1$ a 10 en los estratos de arcilla. Cuando los contenidos de agua se presentan de $18\% < w < 24\%$, el número de golpes varía de $N > 15$ a 30. A partir de los 5 m de profundidad, los estratos de arcilla registran contenidos de agua con intervalos de $10\% < w < 18\%$ y número de golpes en el SPT > 30 a 35.

Se presenta el procedimiento para el análisis de estabilidad de un talud con una superficie de falla no circular o plana. El planteamiento del problema se inicia con la expresión de resistencia al esfuerzo cortante que considera la presión efectiva (Terzaghi, 1925).

$$s = c + \bar{\sigma} \tan \phi \quad \text{ecuación 1}$$

Para el equilibrio de la dovela se determina la resistencia potencial en su base a partir del conocimiento del esfuerzo normal efectivo y de la envolvente de resistencia en términos de esfuerzos efectivos ($\bar{\sigma}$). El esfuerzo normal efectivo puede determinarse con las ecuaciones siguientes:

$$\bar{\sigma}_i = \frac{W_i}{b} \cos^2 \alpha - u \quad \text{ecuación 2}$$

$$\bar{\sigma}_i = \left(\frac{W_i}{b} - u \right) \cos^2 \alpha \quad \text{ecuación 3}$$

Donde: W_i , es el peso de la dovela; u , es la presión de poro; b , ancho de la dovela y α ángulo de inclinación de la dovela.

Para evaluar el momento resistente (M_R), se elige un polo arbitrario de momentos 0. Entonces para la i -ésima dovela el momento resistente se expresa en las ecuaciones 3 y 4. si es la máxima resistencia al corte en la base de cada dovela (M_R) y (l) la distancia del centro de cada dovela, porque la superficie de falla no es circular.

$$M_R = a s_i \Delta L_i \quad \text{o} \quad M_R = \sum a s_i \Delta L_i \quad \text{ecuación 4}$$

$$\sum W_i l = \sum T_i a + \sum N_i f + \frac{1}{2} \gamma_w d^2 a_i \quad \text{ecuación 5}$$

El brazo a es diferente para cada dovela, porque la superficie de falla no es circular. (f) es la distancia del centro de la superficie de falla al centro de cada dovela. El efecto conjunto de todas las fuerzas T_i , en todas las dovelas T_i , deberá de ser neutralizado por la resistencia al esfuerzo cortante que haya de movilizarse a lo largo de la superficie de falla. El Factor de seguridad del talud se determina por la relación:

$$F_s = \frac{\sum T_i a}{\sum s_i \Delta L_i a} \quad \text{ecuación 6}$$

En un ciclo anual hidrológico de lluvias y estiaje, las condiciones geotécnicas de los taludes son de un suelo saturado y no saturado. Para un suelo saturado, debe considerarse la presión neutral u en la base de

cada dovela y para un suelo no saturado no influye la presión de poro del agua. Para un suelo no saturado, debe considerarse la presión del aire u_a . Con la presencia de la presión de poro del aire, se presenta el fenómeno de desecación, se genera desprendimiento en las paredes de los taludes, en condiciones de desecación.

$$\Sigma T_i a = \frac{1}{F_s} \Sigma s_i \Delta L_i a \tag{ecuación 7}$$

$$N_i = \bar{N}_i + u \Delta L_i \tag{ecuación 8}$$

Para la condición de saturación de los estratos de arcilla “lutitas”, por la presencia de flujos de agua en épocas de lluvias, disminuye la resistencia al esfuerzo cortante de las arcillas “lutitas” y se presenta el deslizamiento de los taludes o laderas naturales. Para la condición de saturación de los estratos de suelos que conforman los taludes, el Factor de seguridad se determina con la siguiente ecuación 9.

$$F_s = \frac{\Sigma s_i \Delta L_i a}{\Sigma (W_i - \gamma_w z b) l - \Sigma [\bar{N}_i + (u - \gamma_w z) \Delta L_i] f}$$

Para un suelo no saturado el Factor de seguridad se determina con la siguiente ecuación

$$F_s = \frac{\Sigma s_i \Delta L_i a}{\Sigma (W_i - \gamma_w z b) l - \Sigma \bar{N}_i f} \tag{ecuación 10}$$

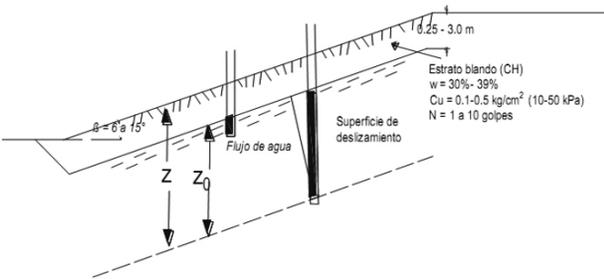


Figura 4. Análisis de estabilidad del talud, sondeo No.7 en condiciones de saturación del talud y baja resistencia al corte de la arcilla “lutita”.

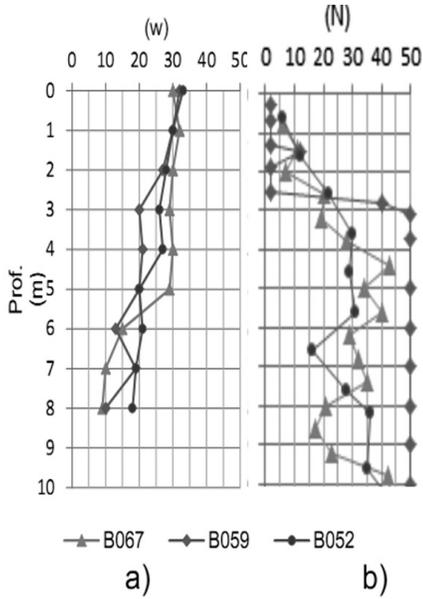


Figura 5. Perfiles de contenido de agua (a) y número de golpes (b), (Ordóñez J. 2014).

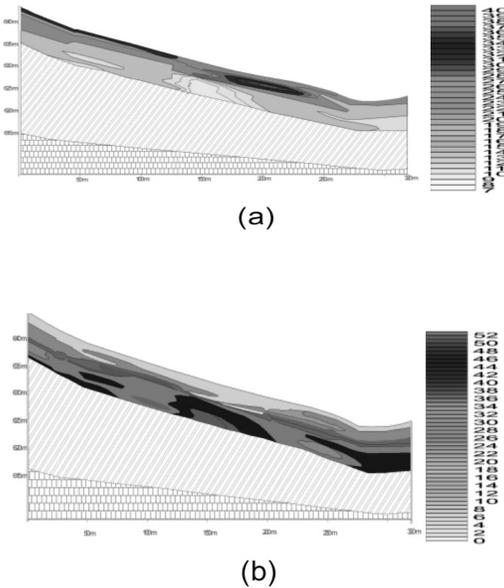


Figura 6. Perfil estratigráfico para el contenido de agua (a) y perfil estratigráfico para el número de golpes, (Ordóñez J. 2014).

ALTERNATIVAS PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS EN TALUDES DE ARCILLA "LUTITA"

Se presenta las alternativas para mitigar los riesgos geotécnicos para deslizamiento de taludes o laderas naturales, que se han registrado en la zona geotécnica B. La condición más crítica para el deslizamiento de los taludes se presenta en época de lluvias, al reactivarse los flujos o corrientes de agua. Al incrementar el contenido de agua en la estructura de las arcillas, se comporta como suelo saturado y en estas condiciones los estratos de arcilla registran disminución en la resistencia al esfuerzo cortante. Existen diferentes alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos en taludes conformados por arcillas "lutitas". Se presentan las propuestas y procedimientos siguientes.

Diseñar y construir obras de drenaje y subdrenaje, para desalojar el agua del interior del suelo. Para definir las dimensiones y profundidad de las obras de drenaje y subdrenaje, definir la ubicación de los flujos de agua y la máxima precipitación pluvial para un periodo de retorno de $T=100$ años. Esta alternativa evita la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante de los estratos de arcilla y el deslizamiento de taludes o laderas.

La profundidad de las obras de subdrenaje debe construirse en función de la superficie potencial de deslizamiento (figura. 7). Para el análisis de estabilidad de los taludes conformados por estratos de arcillas "lutitas", se recomienda considerar fallas planas (Morgenstern and Price, 1965). Para cambiar la superficie de falla se recomienda construir bermas en forma de escalones, que disminuyan el peso de la masa de suelo por deslizarse y se incrementa el F.S. de talud. Para evitar cortes de espesores mayores de 2 y 3 m, se recomienda construir muros mecánicamente estabilizados, con materiales de la región. El geomaterial granzón que pasa la malla N°40, proporciona parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de $C_{uu} > 0.72 \text{ kg/cm}^2$ (72 kPa) y ángulos de fricción interna $\phi_v > 20^\circ$. El diseño del muro debe considerar que la superficie de falla pase de 2 m, de la profundidad de desplante. Esta propuesta desarrollará empujes activos en la parte frontal del muro de retención. El reforzamiento de los muros debe garantizar, que los factores de seguridad por capacidad de carga, deslizamiento y volteo, para condiciones estáticas y

dinámicas, cumplan con las normas técnicas complementarias establecidas. Los muros deben dotarse de obras de drenaje y subdrenaje (figura 7).

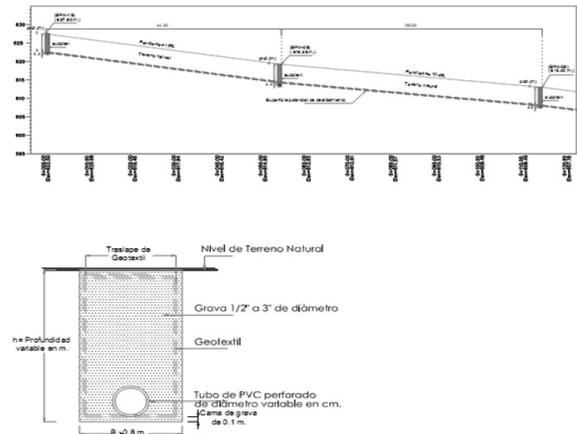


Figura 7. Estabilización de taludes con obras de drenaje y subdrenaje. (Ordóñez J. 2014).

CONCLUSIONES

Se ha comentado en esta revista que edita la Facultad de ingeniería, que la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, está expuesta a tres tipos de riesgos naturales: hidrológicos, sísmicos y geotécnicos. En esta edición de la revista se abordan los riesgos geotécnicos, asociados a los fenómenos hidrológicos.

Se abordan el problema de deslizamientos de laderas naturales y taludes construido para el desarrollo urbano de la ciudad. Se presenta en esta investigación los resultados de los daños causados por deslizamientos de laderas naturales o taludes. Los resultados de la investigación teórica y experimental, permite concluir que es necesario contribuir con los resultados de las investigaciones relacionados con la mitigación de los riesgos geotécnicos que genera la inestabilidad de los taludes y las laderas naturales. Los alcances de los avances sobre la estabilización de los taludes, para no generar daños estructurales severos a las edificaciones, que registran pérdidas económicas muy fuertes en la construcción de obras de ingeniería civil en la zona geotécnica B de la ciudad. Se propone procedimientos para diseñar y construir:

- Ubicar los flujos o corrientes de agua y encauzar la salida del flujo de agua de las 15 subcuencas, para mitigar riesgos geotécnicos en edificaciones y pavimentos.
- Es necesario construir obras de drenaje pluvial, para mitigar riesgos en el diseño y construcción de los pavimentos de la ciudad.
- Es muy importante considerar obras de drenaje y subdrenaje en la construcción de taludes; realizar programas de mantenimiento de las obras de ingeniería civil en la zona geotécnica **B**. Esta propuesta mitiga riesgos geotécnicos y pérdidas importantes en la reconstrucción de las obras de ingeniería.
- Se recomienda construir muros mecánicamente estabilizados, con materiales de la región. El geomaterial granzón que pasa la malla N°40, proporciona parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de $C_{uv} > 0.72 \text{ kg/cm}^2$ (72 kPa) y ángulos de fricción interna $\phi_v > 20^\circ$.
- El diseño del muro debe considerar que la superficie de falla pase a 2 m, de la profundidad de desplante.

REFERENCIAS

- Jambu, N. – Applications of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis. Procs. European Conference on Stability of Earth Slopes. – Vol. III. – Stokolm, 1954.
- Jambu, N. – Slope stability computations. – Contribución a la obra Embankment-Dam Engineering del volume A. Casagrande. – Preparado por R. C. Hirschfeld y S. J. Poulos. – Edit. John Wiley and Sons Interscience Publications. 1973.
- Juárez B., Rico R. (2010).- Mecánica de Suelos, Tomo 2. Editorial Limusa, México, D.F.
- Morgenstern, N. R. and Price, V.E. (1965).- The Analysis of the stability of general slip surfaces.-Geotechnique, Vol. 15.
- Ordóñez, J. (2014). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. - Tesis doctoral. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Ordoñez, J. Auvinet, G., Juárez, C. (2015).- Caracterización del subsuelo y Análisis de Riesgos Geotécnicos, Asociados a las Arcillas Expansivas de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez.- Revista de Ingeniería de la UNAM (2015). Editado por la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México.
- Ordóñez, R.J. (1998).- "El Subsuelo de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez", SMMS, México. Memorias de la XIX reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Puebla, Pue., México.
- Rico, R y Del Castillo, M. (2006).- La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Vol.1. Ed. Limusa, México, D.F.
- Skempton, A.W. y Delory, F.A.- Stability of Natural Slopes in London Clay. Memoria del IV Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Vol. II, Londres.
- Terzaghi (1956).- Theoretical Soil Mechanics. Eighth Printing, 1956. Printed In The United States Of America.
- Zeevaert, L., (1982).- "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions", Second Edition. Van Nostrand-Reynhold Company, New York, N.Y., USA.