

Experiencias en el uso del dilatómetro Marchetti para la caracterización y medidas de reparación para deslizamientos en Costa Rica

Experiences in the use of the Marchetti dilatometer in the characterization and countermeasures for landslides in Costa Rica

Fecha de entrega: 28 de febrero 2025

Fecha de aceptación: 2 de abril 2025

Julio César Duarte y Luis Ángel Vargas

MYV Soluciones Geotécnicas, Diseño Geotécnico, San José, Costa Rica, jcduarte@myv-sg.com, lavargas@myv-sg.com

El contexto geológico y climático de Costa Rica lo hace altamente vulnerable a la ocurrencia de deslizamientos. Debido a esto es que una apropiada caracterización geotécnica es clave para la exploración y diseño de una solución. Esto implica dos aspectos: la definición del mecanismo de ruptura y su geometría, no obstante, las herramientas cualitativas y cuantitativas usualmente utilizadas como la experiencia del geólogo, geotecnista, y ensayos tradicionales como el SPT o geofísica, tienden a generar información dispersa o inconclusa, que debe ser tratada con cuidado. Bajo este escenario de incertidumbre se decide implementar el dilatómetro Marchetti DMT que es un ensayo que permite estudiar de forma directa la deformabilidad, resistencia e historial de esfuerzos del terreno, lo cual posibilita caracterizar de mejor manera el suelo e identificar la geometría de la superficie de ruptura, que a su vez facilita optimizar el diseño y la implementación de las soluciones de estabilización y reparación del deslizamiento. En este artículo se presentan tres casos de estudio donde el DMT fue implementado para definir la geometría de la superficie de ruptura y desarrollar la solución del deslizamiento desde la fase de diseño hasta su construcción.

Palabras clave: dilatómetro, deslizamiento, DMT, caracterización, Costa Rica

The geological and climatic contexts of Costa Rica make the country highly vulnerable to the occurrence of landslides. Given the latter, the proper geotechnical characterization of a given landslide is key in the search and design of a repair solution. This involves both an accurate definition of failure mechanism and the definition of geometry. However, the qualitative and quantitative tools, such as the experience of geologists, geotechnical engineers, and traditional tests like SPT, or geophysics, tend to generate scattered or inconclusive information that must be treated with care. Under this scenario of uncertainty the Marchetti dilatometer DMT was chosen to be implemented, given that this is a test that allows the study of the deformability, strength, and stress state of the soil. This makes possible the performance of a better soil characterization and the identification of the failure surface geometry, optimizing the design and implementation of the landslide stabilization and repair solutions. Three successful study cases are presented where the DMT was implemented to identify the geometry of the corresponding failure surface to develop the landslide repair from design to construction.

Keywords: dilatometer, landslide, DMT, characterization, Costa Rica

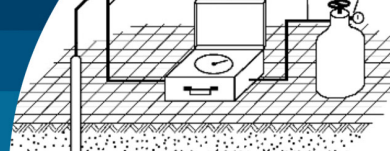
Introducción

Costa Rica como país tropical es vulnerable a la ocurrencia de deslizamientos de todo tipo y magnitud, por tanto, la geotecnia es una disciplina crucial para el desarrollo de la infraestructura tanto pública como privada. Es en este contexto que la apropiada caracterización geotécnica de los deslizamientos es vital para su adecuada solución.

Para lograr una adecuada caracterización geotécnica de los deslizamientos, es clave determinar su geometría,

principalmente la forma de la superficie de ruptura, lo cual es difícil con herramientas convencionales, siendo que en Costa Rica una de las principales utilizadas en geotecnia es el ensayo de penetración estándar (SPT), la cual por su naturaleza no permite realizar una estimación precisa de la geometría de la superficie de ruptura.

Bajo este escenario de incertidumbre es que se decide implementar el dilatómetro Marchetti DMT (ASTM



D6635, 2017), que es una herramienta capaz de proporcionar una mejor caracterización geotécnica que ayuda en la definición del mecanismo de falla y geometría de los deslizamientos, lo que a su vez permite optimizar el diseño e implementación de las soluciones.

Antecedentes

En 2012 se presentó una primera investigación sobre el uso del DMT en Costa Rica (Vargas y Coto, 2012), donde se detalla su uso para las siguientes aplicaciones: diseño de fundaciones, estimar el potencial de licuación (SDMT) y caracterizar un deslizamiento ubicado en la zona sur de Costa Rica. Al respecto de esta última aplicación, Vargas y Coto (2012) determinan diferentes parámetros medidos de forma directa del DMT, y estiman la profundidad de la superficie de ruptura aplicando la metodología definida por Totani *et al.* (1997), que implementa correlaciones con el índice de tensión horizontal K_D para suelos finos sobreconsolidados.

Descripción general del ensayo DMT

El ensayo DMT consiste en insertar una paleta plana que tiene una membrana metálica, la cual mediante la

inyección de gas nitrógeno se expande 1.1 mm. Esta expansión genera presión sobre el terreno, que es registrada por manómetros conectados al sistema. Se hacen dos lecturas de presión: A que es la presión requerida para que la membrana comience a empujar el suelo y B que es la presión necesaria para expandir la membrana 1.1 mm. El ensayo se repite avanzando la paleta en intervalos de 20 cm de profundidad en ciclos de avance inflado – desinflado de la membrana hasta la profundidad requerida. La Figura 1 muestra un esquema de los componentes del equipo DMT y la ejecución del ensayo.

Parámetros directos del DMT

Las medidas de presión A y B, deben ser corregidas por rigidez de la membrana y otras calibraciones respectivamente a P_0 y P_1 . Estas presiones se denominan parámetros directos del DMT, y son utilizadas en la determinación de los parámetros intermedios. Existe una tercera lectura (valor C), la cual se mide al desinflar lentamente la membrana después de realizada la lectura B, esto aplica principalmente para suelos granulares, donde el valor C se correlaciona con la presión de poro en equilibrio, ya que el desinflado de la membrana genera un espacio entre el suelo y la paleta, el cual puede ser ocupado por el agua, siendo esta presión residual = presión de poro (debido a que no hay presión efectiva). Esta lectura no es necesaria realizarla en todos los intervalos de profundidad, usualmente se hace cada metro, no obstante, dependerá de los requerimientos técnicos del proyecto.

Parámetros intermedios del DMT

El ensayo DMT está basado en correlaciones empíricas relacionadas derivados de P_0 y P_1 para estimar tres parámetros que se denominan parámetros intermedios: índice de material (I_D), índice de tensión horizontal (K_D) y módulo dilatométrico (M_D).

Índice de material I_D

Corresponde con una clasificación del tipo de suelo basado en su comportamiento mecánico. El valor de I_D oscila del 0.1 a 10, ver eq. (1) y Tabla 1.

$$I_D = (P_1 - P_0) / (P_0 - u_0) \quad (1)$$

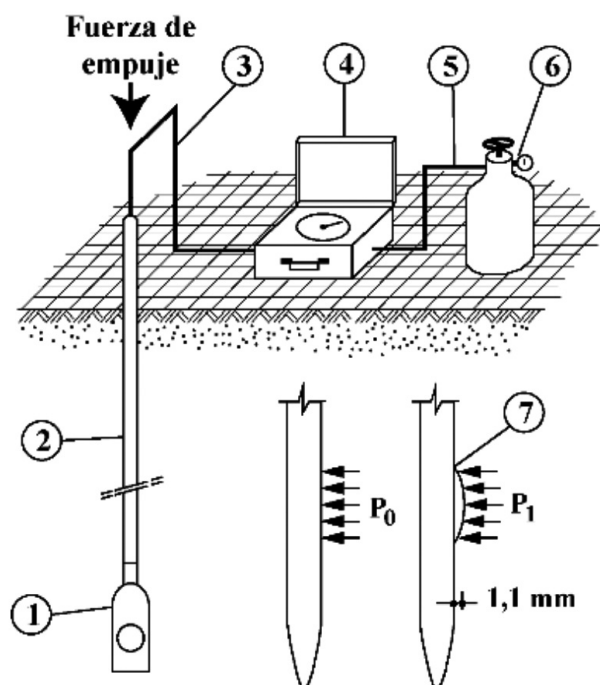


Figura 1: Esquema de ensayo y equipo DMT: 1. Paleta DMT, 2. Barras de empuje, 3. Cable neumático-eléctrico, 4. Unidad de control, 5. Cable neumático, 6. Tanque de gas, 7. Expansión de la membrana (Marchetti *et al.*, 2001)

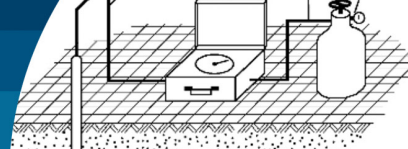


Tabla 1: Clasificación del tipo de suelo con base en el I_D (Marchetti, 1980)

Tipo de suelo	I_D
Turba/ Arcillas sensibles	< 0.1
Arcilla	0.1 – 0.35
Arcilla limosa	0.35 – 0.60
Limo arcilloso	0.60 – 0.90
Limo	0.90 – 1.20
Limo arenoso	1.20 – 1.80
Arena limosa	1.80 – 3.30
Arena	> 3.30

Índice de tensión horizontal K_D

Se puede comparar con el coeficiente de empuje en reposo K_0 , pero amplificado debido a la penetración de la paleta del DMT. Es útil para caracterizar el historial tensional del suelo debido a su relación con el OCR y estimar la ubicación de potenciales superficies de ruptura como se explicará en los apartados subsecuentes.

$$K_D = (P_0 - u_0) / \sigma'_{v0} \quad (2)$$

Módulo del dilatómetro E_D

Representa la relación esfuerzo – deformación que se da al expandir la membrana dentro del suelo. Este parámetro se debe usar únicamente en conjunto con I_D y K_D , para estimar el módulo de compresibilidad unidimensional M_D y no se debe confundir con el módulo de Young.

$$E_D = 34.7(P_1 - P_0) \quad (3)$$

Caracterización de deslizamientos a partir de parámetros DMT y sus correlaciones

Con el objeto de analizar la solución para un problema específico se requieren dos elementos: la asignación de relaciones constitutivas de los diferentes estratos (ver sección siguiente) y la geometría de la masa inestable (ver sección subsiguiente).

Estimación de parámetros geotécnicos

Con respecto a los parámetros geotécnicos necesarios en el análisis es posible estimarlos a partir de correlaciones que consideran a los parámetros intermedios del DMT (I_D , K_D , y M_D), de esta forma se pueden obtener los valores requeridos para calibrar los modelos constitutivos que se requieran. La Tabla 2 presenta un extracto de las principales correlaciones disponibles (Marchetti *et al.*, 2001).

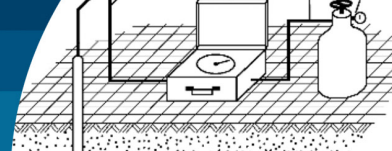
En la literatura existen más correlaciones que incluso se aplican a tipos de suelo en específico, sin embargo, la mayoría son derivaciones de las correlaciones básicas que Marchetti *et al.* (2001) han definido.

Estimación de la geometría del deslizamiento

Como se mencionó anteriormente, uno de los parámetros indirectos correlacionados a partir del ensayo DMT, y que

Tabla 2: Correlaciones básicas del DMT (Marchetti *et al.*, 2001)

Símbolo	Descripción	Fórmula	Observaciones
K_0	Presión de terreno in situ	$K_{0,DMT} = (K_D / 1.5)^{0.47} - 0.6$	Para $I_D < 1.2$
OCR	Razón de sobre consolidación	$OCR_{DMT} = (0.5 K_D)^{1.55}$	Para $I_D < 1.2$
c_u	Resistencia no drenada	$C_{u,DMT} = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$	Para $I_D < 1.2$
Φ	Ángulo de fricción	$\Phi_{DMT} = 28^\circ + 14.6^\circ \log K_D - 2.1^\circ \log^2 K_D$	Para $I_D > 1.8$
C_h	Coefficiente de consolidación	$C_{h,DMT} \approx 7 \text{ cm}^2 / t_{flex}$	---
K_h	Coefficiente de permeabilidad	$K_h = C_h \gamma_w / M_h (M_h \approx K_0 M_{DMT})$	---
M	Módulo restringido drenado vertical	$M_{DMT} = R_M E_D$ Si $I_D \leq 0.6$ $R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D$ Si $I_D \geq 3$ $R_M = 0.5 + 2 \log K_D$ Si $0.6 < I_D < 3$ $R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D$ Si $I_D > 0.10$ $R_M = 0.32 + 2.18 \log K_D$	---
E	Módulo de elasticidad	$E \approx 0.8 M_{DMT}$	---



permite estudiar el historial de esfuerzos del terreno es K_D (índice de tensión horizontal), el cual según Totani *et al.* (1997) se puede utilizar para identificar superficies de ruptura. La metodología propuesta por Totani *et al.* (1997), se basa en el K_D para verificar la presencia de superficies de ruptura en suelos finos sobreconsolidados (OC), considerando los siguientes criterios:

- Ser parte de la observación que luego de un deslizamiento en una masa de suelo se da un proceso de reconsolidación, que genera zonas normalmente consolidadas (NC) a lo largo de la superficie debido a la pérdida de estructura o cementación.
- De acuerdo con Marchetti *et al.* (2001), en las arcillas NC el valor de $K_D \approx 2$, por tanto, esta observación fue utilizada por Totani *et al.* (1997) para identificar arcillas remoldeadas asociadas con superficies de ruptura (ver Figura 2).

El método requiere identificar específicamente el valor numérico de $K_D \approx 2$, para evitar confundir las superficies de ruptura con zonas de debilidad o suelos blandos

Peiffer (2015) indica que el valor de K_D para identificar la superficie de ruptura puede variar en función del tiempo debido a que el terreno puede experimentar un nuevo proceso de consolidación posterior a la ocurrencia del deslizamiento. Por tanto, en aquellos casos donde el evento sea reciente el valor de K_D puede ser ligeramente menor a 2. Sin embargo, en aquellos casos donde haya transcurrido

un periodo de tiempo significativo (años), es posible que el valor de K_D en las zonas de ruptura sea ligeramente mayor a 2. Por ende, se debe considerar este factor a la hora de caracterizar los deslizamientos por este método. Grabar *et al.* (2024) realizaron un análisis comparando los valores de K_D con datos de inclinómetros, y concluyó que el valor de K_D se puede extender a un rango de $K_D = 1.8 - 2.5$, lo cual concuerda con las observaciones también realizadas previamente por Peiffer (2015).

Casos de estudio

El presente apartado muestra tres casos de estudio ubicados en el sector oeste del área metropolitana, donde la implementación del DMT fue clave en la caracterización de los suelos y la definición de la geometría de los deslizamientos, así como su posterior solución.

Contexto geológico local para los casos de estudio

Geológicamente este sector del Área Metropolitana está conformado por materiales volcánicos del periodo Terciario. Estos materiales corresponden principalmente con La Formación Pacacua que se caracteriza por areniscas volcaniclasticas de granulometría diversa, destacan tonos rojos, morados y verdes. Presenta estratificaciones que varían desde centimétricas hasta métricas (Denyer y Arias, 1991). Localmente esta Formación presenta zonas con una fuerte alteración hidrotermal, que da origen a mineralizaciones y arcillificación que puede estar de forma pervasiva o concentrada a lo largo de los planos de fracturas por donde se permearon los fluidos hidrotermales.

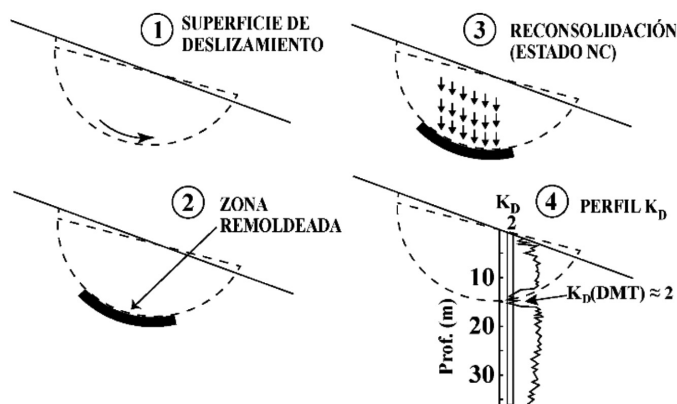


Figura 2: Criterio para identificar superficies de ruptura en suelos finos OC (Totani *et al.*, 2001)

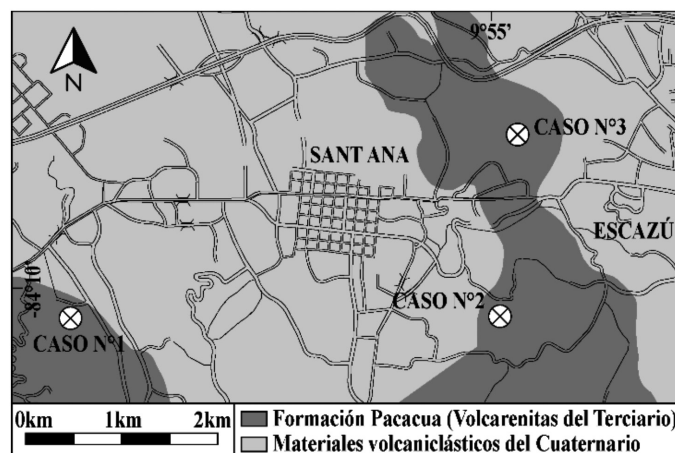
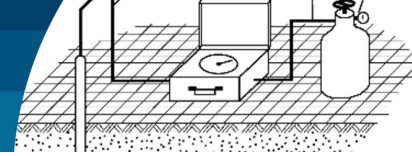


Figura 3: Mapa geológico para los casos de estudio (Denyer y Arias, 1991)



Estos planos hidrotermalizados y arcillificados son los que generan la mayor cantidad de problemas de inestabilidad de taludes y laderas en la zona de Escazú y Santa Ana (donde se llevaron a cabo los casos de estudio). La Figura 3 muestra un mapa geológico con la georreferenciación de los casos de estudio.

CASO N°1: Santa Ana

Este caso corresponde con un deslizamiento ubicado en el sector sur del Cantón de Santa Ana, en San José.

Descripción de la problemática (Caso N°1)

El deslizamiento fue activado durante la construcción de un muro de retención que separaba dos propiedades vecinas. La causa del deslizamiento se relaciona con un corte vertical de 8 m de altura (temporal) y 65 m de longitud, pero debido a lo agresivo de las excavaciones sumado a un período de fuertes lluvias el terreno se deslizó y afectó tanto al propietario que estaba construyendo el muro como a los propietarios del terreno vecino.

Sondeos DMT efectuados (Caso N°1)

Se realizaron un total de cinco sondeos DMT con una profundidad variable entre 11 m y 13 m (profundidades definidas a partir de la morfología del deslizamiento). Estos sondeos se distribuyeron sobre la corona y en el interior del deslizamiento (ver Figura 4).

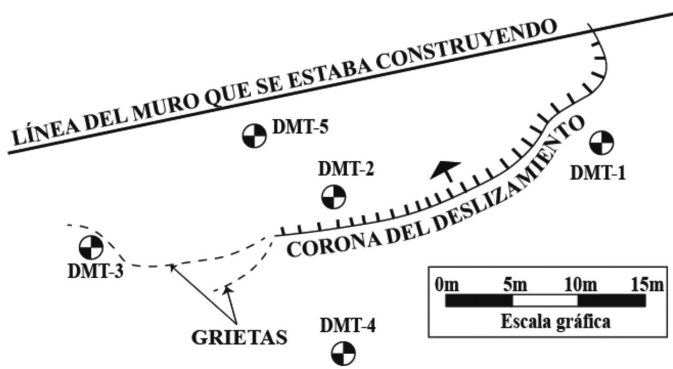


Figura 4: Croquis de ubicación de sondeos DMT con respecto al deslizamiento para el caso N°1.

Resultados geotécnicos (Caso N°1)

La Figura 5 muestra el gráfico correspondiente con el índice de tensión horizontal K_D para los sondeos DMT realizados y el índice de material I_D para el sondeo más representativo.

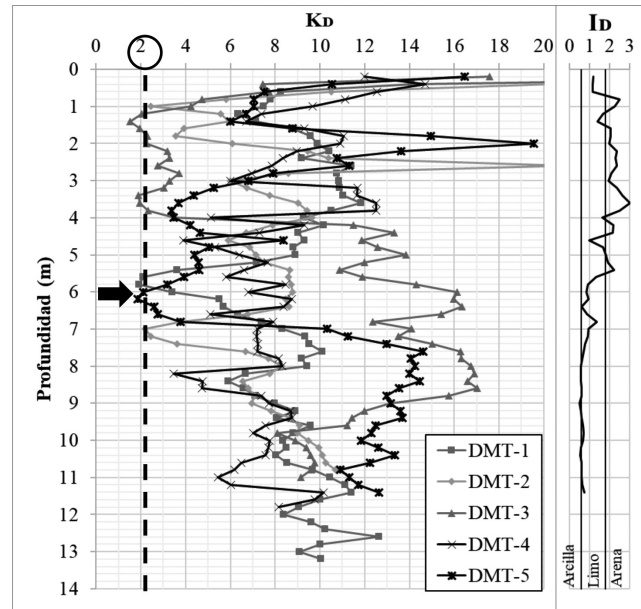


Figura 5: Perfil de K_D para los sondeos DMT realizados, caso N°1.

➡ Superficie de ruptura estimada.

Tal como se muestra en la Figura 5, todos los sondeos DMT identificaron zonas con un $K_D \approx 2$ a profundidades que varían entre 5.5 m y 4.0 para los sondeos realizados sobre la corona del deslizamiento (DMT-1, 3 y 4), y entre 6 m a 7 m para los sondeos realizados en el interior del deslizamiento (DMT-2 y 5). Con base en la información de los sondeos DMT más correlaciones y observaciones de campo y un levantamiento geológico, fue posible establecer una geometría de la superficie de ruptura activa que estaba afectando el sitio de proyecto (ver Figura 6).

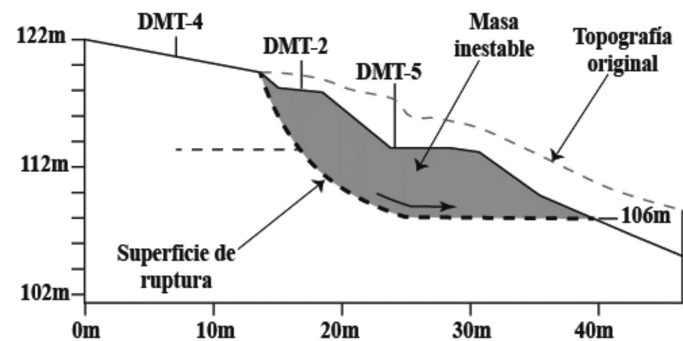
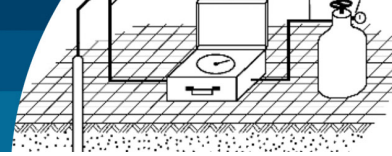


Figura 6: Sección transversal modelo de ruptura del deslizamiento para el caso N°1.

Solución Caso N°1

Debido a la afectación que sufrió el terreno vecino, donde se perdió área útil de la propiedad y se truncaron dos



servidumbres de acceso, era necesario recuperar el área perdida para conformar nuevamente las servidumbres y además generar el muro de retención con el proyecto que se estaba desarrollando. Se optó por realizar un movimiento de tierras para retirar la mayor cantidad de masa deslizada posible y en la base de la superficie de ruptura generar una llave de cortante (*shear key*) para dar estabilidad al terreno y a partir de esta construir tres muros mecánicamente estabilizados con geogrillas y paramento de gavión para recuperar el terreno deslizado. La Figura 7 muestra un esquema de la solución implementada.

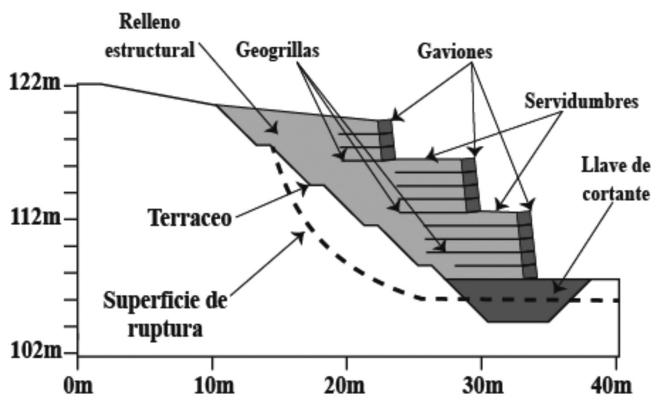


Figura 7: Sección transversal modelo de ruptura más solución implementada para el caso N°1.

CASO N°2 (Santa Ana B)

Este caso corresponde también con un deslizamiento ubicado en el sector sur del cantón de Santa Ana, en la provincia de San José

Descripción de la problemática (Caso N°2)

Se trata de un deslizamiento activado durante la construcción de un muro de suelo cocido (*soil nailing*), que igual al caso anterior limita dos propiedades vecinas. La causa del deslizamiento se relaciona con dos aspectos: el primero un sobre espesor y falta de apuntalamiento del paramento del muro, y la segunda un plano arcilloso con un buzamiento desfavorable que contribuyó a la inestabilidad del terreno. El deslizamiento contaba con 7 m de altura y 45 m de longitud.

Sondeos DMT efectuados (Caso N°2)

Se realizaron un total de seis sondeos DMT con una profundidad variable entre 4 m y 8 m (profundidades

definidas a partir de la morfología del deslizamiento). Estos sondeos se distribuyeron en el interior del deslizamiento (ver Figura 8).

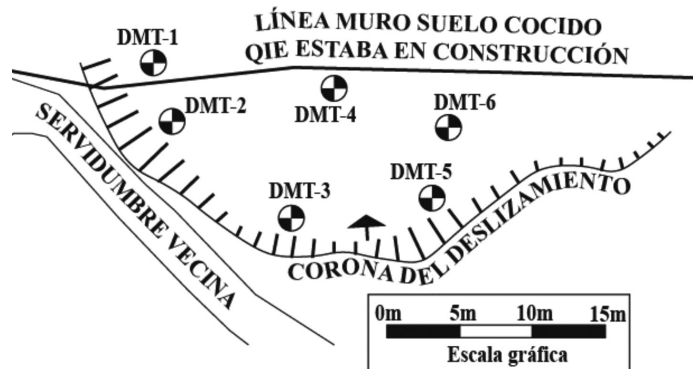


Figura 8: Croquis de ubicación de sondeos DMT con respecto al deslizamiento para el caso N°2.

Resultados geotécnicos (Caso N°2)

La Figura 9 muestra el gráfico correspondiente con el índice de tensión horizontal K_d para los sondeos DMT realizados y el índice de material I_D para el sondeo más representativo.

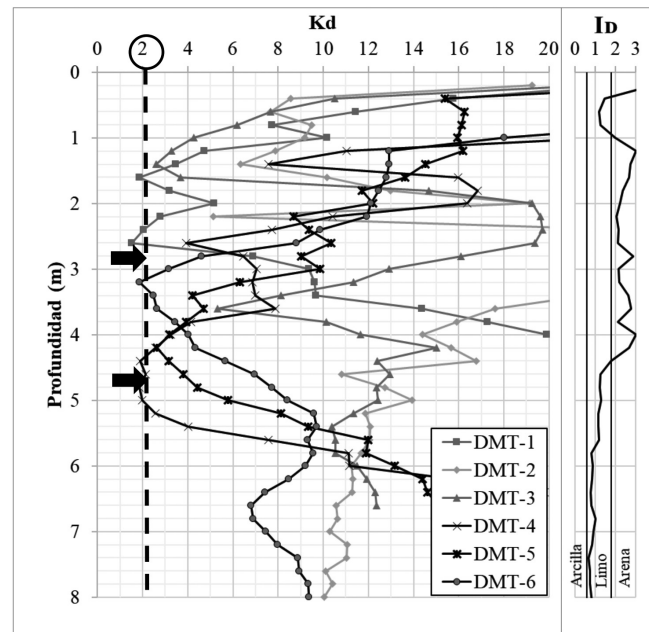
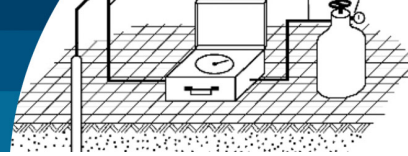


Figura 9: Perfil de K_d para los sondeos DMT realizados, caso N°2.

➡ Superficie de ruptura estimada.

Tal como se muestra en la Figura 9, la mayoría de los sondeos DMT identificaron zonas con un $K_d \approx 2$ a profundidades que varían entre 2.5 m y 3.5 m para los



sondeos DMT-1 y 6, y entre 4.0 m a 5.5 m para los sondeos DMT-4 y 5.

Con base en la información de los sondeos DMT más correlaciones con observaciones de campo y un levantamiento geológico, fue posible establecer una geometría de la superficie de ruptura activa que estaba afectando el sitio de proyecto (ver Figura 10).

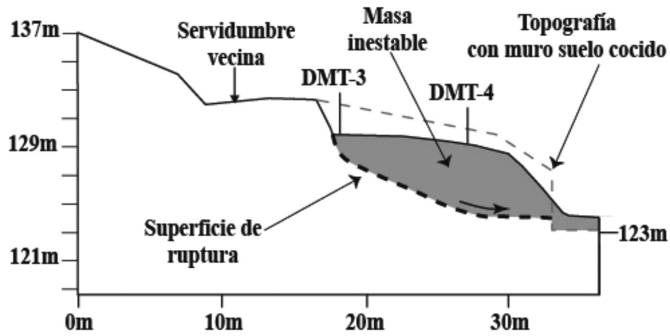


Figura 10: Sección transversal modelo de ruptura del deslizamiento para el Caso N°2.

Solución Caso N°2

Debido a la afectación que sufrió el terreno vecino, donde se perdió área útil de la propiedad, y se puso en riesgo una servidumbre de acceso, fue necesario implementar dos tipos de soluciones, la primera remover el material inestable mediante un terraceo para construir un muro mecánicamente estabilizado con un relleno estructural, geogrietas y paramento de gavión para sustituir el muro de suelo cocido que había fallado y así recuperar parte del área perdida en la propiedad vecina. La segunda solución es requerida para garantizar la estabilidad de la servidumbre

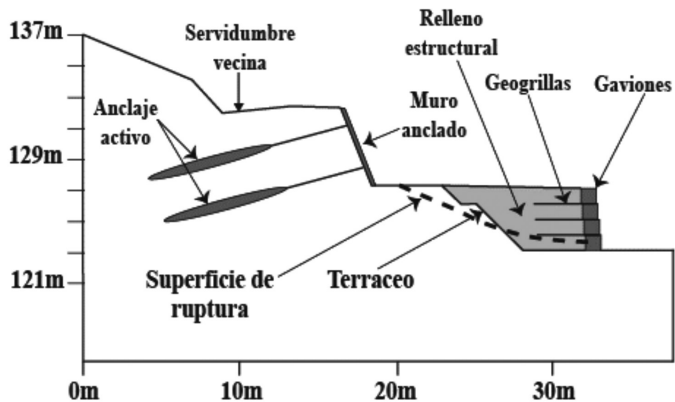


Figura 11: Sección transversal modelo de ruptura más solución implementada para el Caso N°2.

de acceso, donde se construyó un muro anclado con elementos activos. La Figura 11 muestra un esquema de la solución implementada.

CASO N°3 (Escazú)

Este caso corresponde con un deslizamiento ubicado al sur del cantón de Escazú en la provincia de San José.

Descripción de la problemática (Caso N°2)

Este caso corresponde con un deslizamiento planar de bajo ángulo (7°), activado por procesos de excavación inadecuados y disparados por las lluvias. Al momento de detectarse el movimiento, se encontraba en construcción una estructura de dos niveles que empezó con grietas en la losa de contrapiso y posteriormente se hizo perceptible que las placas y muros perimetrales se inclinaban hacia un talud de corte que se conformó cerca del borde de la estructura. A diferencia de los casos anteriores, en este no se tiene una corona de deslizamiento bien definida debido a que es un movimiento lento que aún no tenía una expresión clara en superficie.

Ensayos DMT efectuados (Caso N°3)

Se realizaron un total de cuatro sondeos DMT con una profundidad variable entre 5 m y 12 m. Estos sondeos se distribuyeron en la periferia de la estructura afectada (ver Figura 12).

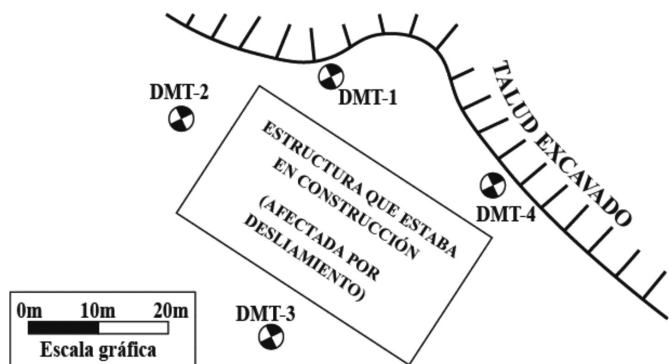


Figura 12: Croquis de ubicación de sondeos DMT para el caso N°3.

Resultados geotécnicos (Caso N°3)

La Figura 13 muestra el gráfico correspondiente con el índice de tensión horizontal K_D para los sondeos DMT realizados y el índice de material I_D para el sondeo más representativo.

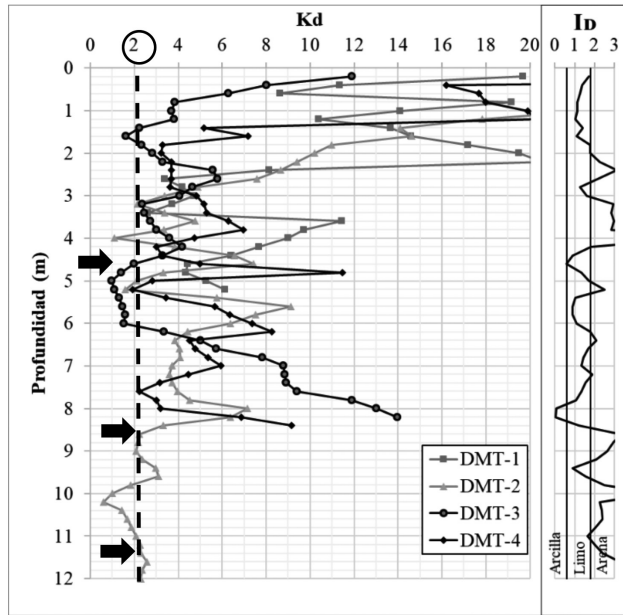
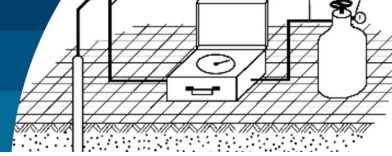


Figura 13: Perfil de K_D para los sondeos DMT realizados, caso N°3.

➔ Superficie de ruptura estimada.

Tal como se muestra en la Figura 13, todos los sondeos DMT identificaron zonas con un $K_D \approx 2$ a profundidades que varían entre 2.5 m y 5.0 m. El DMT-2 particularmente identificó una segunda superficie a mayor profundidad, entre 11 m y 12 m, que fue posible correlacionar con un afloramiento identificado en la parte baja de la ladera, donde también se tuvieron problemas de estabilidad.

Con base en la información de los sondeos DMT, así como correlaciones con observaciones de campo y un levantamiento geológico, fue posible establecer una geometría de la superficie de ruptura activa que estaba afectando el sitio de proyecto (ver Figura 14).

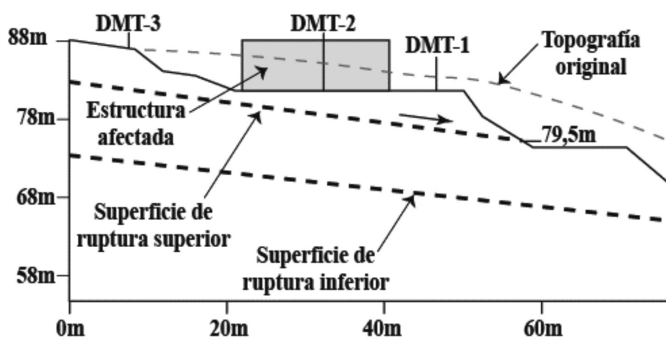


Figura 14: Sección transversal modelo de ruptura del deslizamiento para el Caso N°3.

Solución Caso N°3

En este caso existe la particularidad de tener dos superficies de ruptura, una superior que se activó durante la construcción de la estructura, y una inferior que generó problemas en excavaciones que se hicieron más abajo en la ladera para conformar una terraza donde en el futuro se va a construir una torre de condominios. El plan de acción que se ideó consistió en hacer una intervención en dos etapas, en la primera etapa se va a construir una pantalla de pilotes para estabilizar el terreno en la superficie inferior. La segunda corresponde con demoler la estructura ya afectada y realizar una sustitución de suelo que permita eliminar todo el material que está por encima de la superficie de ruptura superior, para lo cual se requiere generar una excavación temporal de 4.5 m de profundidad. Para estabilizar esta excavación temporal se optó por construir un muro con anclajes activos. Una vez listos la pantalla de pilotes, el muro anclado y la sustitución de suelos, se procedió a iniciar nuevamente la reconstrucción de la estructura afectada. La Figura 15 muestra un esquema de la solución implementada.

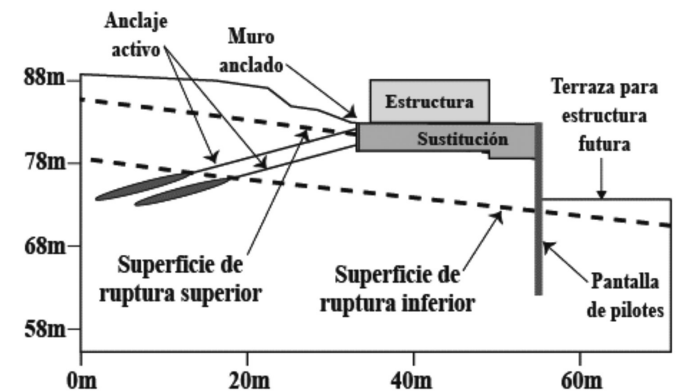
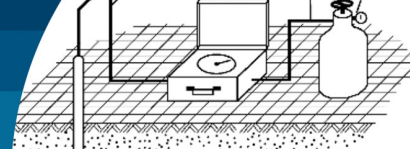


Figura 15: Sección transversal modelo de ruptura más solución implementada para el Caso N°3.

Conclusiones

En las Figuras 7, 11 y 15 se observa que todas las soluciones fueron definidas geoméricamente a partir del conocimiento de la forma y profundidad de la superficie de ruptura basado en los valores de K_D obtenidos de los ensayos DMT. Las soluciones fueron implementadas entre el año 2020 (casos N°1 y N°2) y 2022 (Caso N°3), por lo cual ya han sido puestas a prueba durante mínimo dos estaciones lluviosas, donde no se han registrado movimientos del terreno o las



estructuras asociadas, confirmado que los análisis basados en la metodología del DMT fueron correctos.

Agradecimientos

Agradecemos al personal técnico de MYV por su vital aporte en la operación y ejecución de los respectivos ensayos DMT, especialmente en ambientes tan complicados como los son los deslizamientos que siempre presentan retos que deben ser resueltos en campo.

Referencias

ASTM D6635 (2017). Standard test method for performing the flat plate dilatometer. West Conshohocken, PA, USA.

Denyer, P. y Arias, O. (1991). Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 12: 1-59

Grabar, K., Jug, J., Bek, A. and Strelec, S. (2024). Comparison of the piezocone penetrometer (CPTU) and flat dilatometer (DMT) methods for landslide characterisation. *Geosciences* 14(3): 64, 1-23

Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. and Calabrese, M. (2001). The flat dilatometer test (DMT) in soil investigations. Report by the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering ISSMGE Technical Committee TC16 on Ground Property Characterization from In-situ Testing.

Marchetti, S. (1980). In situ tests by flat dilatometer. *Journal of the Geotechnical Engineering Division* 106(3): 299-321

Peiffer, H. (2016). A comparative analysis of the stability of a slope in an overconsolidated clay pit based on CPT and DMT measurements. *International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization 5*, B. Lehane, H.E. Acosta-Martínez and R. Kelly (eds.). Sydney, Australia, Australian Geomechanics Society, vol. 2, 1359-1364

Totani, G., Calabrese, M., Marchetti, S. and Monaco, P. (1997). Use of in situ flat dilatometer (DMT) for ground characterization in the stability analysis of slopes. *XIV International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Hamburg, Germany, vol. 1, 607-610

Totani, G., Marchetti, S., Monaco, P. and Calabrese, M. (2001). Use of the flat dilatometer test (DMT) in geotechnical design. *International Conference on In Situ Measurement of Soil Properties*, Bali, Indonesia.

Vargas, L.A. and Coto, M. (2012). Experiences in the use of DMT – SDMT in Costa Rica, Central America. *International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4*, R.Q. Coutinho and P.W. Mayne (eds.). Porto de Galinhas, Brazil, CRC Press, vol. 1, 375-382