

# IMPORTANCIA DEL MONITOREO TOPOGRÁFICO EN LA DETECCIÓN TEMPRANA DE EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA

Jorge Jiménez<sup>1</sup>, Carlos Buenahora<sup>2</sup>, Fabián Amaya<sup>3</sup>, Fabián Castellanos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>E.D Ingeotecnia S.A.S, Santander, jorge.jimenez.consultor@gmail.com, Colombia

<sup>2</sup>E.D Ingeotecnia S.A.S, Santander, director@ingeotecnia.com.co, Colombia

<sup>3</sup>E.D Ingeotecnia S.A.S, Santander, namaya@ingeotecnia.com.co, Colombia

<sup>4</sup>E.D Ingeotecnia S.A.S, Santander, fcastellanos@ingeotecnia.com.co, Colombia

## RESUMEN

Ante la ocurrencia de eventos de remoción en masa generados por lluvias, sismos o la misma intervención del hombre que constituyen causa frecuente en la afectación de la infraestructura de las obras del país y el riesgo para las personas, se requieren estrategias que nos aproximen a una mejor prevención del desastre. La dificultad de lograr este objetivo radica en que si no se tiene claridad en el alcance de lo que se quiere medir no es posible definir el método más efectivo a utilizar. Por tanto, se hace necesario medir para determinar, con criterio preventivo, ya sea cuándo se van a presentar dichos eventos o cuando estos se vienen dando en el tiempo, aunque los mismos no hayan llegado a la condición de falla. En este sentido, la topografía concebida de manera apropiada constituye una herramienta fundamental en la observación del comportamiento del terreno objeto de estudio, la cual puede ser validada con otras técnicas de monitoreo. Para esto es necesario tener en cuenta tres aspectos relevantes: El primero, el planteamiento de una hipótesis sobre el comportamiento del evento. El segundo se refiere a la definición de una línea base y su consecuente medición continua para construir la historia de cierto fenómeno. Finalmente, el tercero, es la necesidad de establecer la escala en la cual se quiere realizar las mediciones. Lo anterior se justifica si se tiene en cuenta que, para intentar determinar la ocurrencia de eventos de inestabilidad, es necesario conocer el contexto regional, local y puntual dependiendo del elemento vulnerable. Este concepto se validará a partir de unos ejemplos prácticos, precisamente nuestra experiencia, que determinan la importancia del monitoreo topográfico en la detección temprana de eventos de remoción en masa. Con tal finalidad, acudiremos a Imágenes de dron en el tiempo, los mojones y inclinómetros y a casos específicos como Limoncito, Quebrada seca y Cortinas.

**Palabras clave:** Monitoreo topográfico; Eventos de remoción en masa; julio 2024.

## 1. Introducción

Los eventos de remoción en masa, ya sean deslizamientos, desprendimientos, reptaciones o flujos de lodo, son en términos generales el desplazamiento de suelo, roca y/o tierra ladera abajo por acción de la fuerza de gravedad (UNGRD, 2020), estos eventos representan una amenaza significativa para la infraestructura y la seguridad de las personas. Estos fenómenos pueden ser desencadenados por lluvias torrenciales, terremotos y/o erupciones volcánicas, entre otros fenómenos naturales, o por la influencia de la actividad humana al realizar cortes, excavaciones, sobrecargas, explotación de bancos de materiales, vertido de agua, deforestación, cambio de uso de suelo, colocación de rellenos en estado suelto, etc. (Gallardo et al., 2013). Para prevenir este tipo de desastres, es crucial desarrollar estrategias efectivas que ayuden a la mitigación y control de las problemáticas, sin embargo, muchas veces es difícil saber cuándo ocurrirán estos eventos e incluso a veces es demasiado tarde generándose pérdidas materiales y de vidas humanas, por esta razón, es importante en primera instancia conocer el contexto regional, local y puntual del sitio de interés al cual se busca proteger y dependiendo de este elemento o elementos vulnerables definir un sistema de monitoreo que permita observar y medir señales en el terreno con motivo de evaluar el nivel de alerta del sitio estudiado.

Sin embargo, la dificultad de proponer un tipo de monitoreo radica en la falta de claridad sobre qué medir y cómo hacerlo. ¿Cuándo se presentarán estos eventos? ¿Cómo detectarlos antes de que alcancen la condición de falla? Aquí es donde entra en juego el monitoreo topográfico. La topografía adecuadamente concebida se convierte en una herramienta fundamental para observar el comportamiento del terreno. Pero, ¿cómo abordar este desafío? En esta investigación, se explorarán tres aspectos clave. Primero, plantear la hipótesis sobre el comportamiento de los eventos. Segundo, definir una línea base y su consecuente medición continua para construir una historia del fenómeno presentado. Y tercero, establecer la escala de las mediciones según el contexto regional, local y puntual, considerando los elementos vulnerables para de esta forma definir un nivel de alerta que permita tomar decisiones a tiempo evitando la pérdida de vidas humanas y afectaciones materiales.

## 2. Marco teórico

Si bien, el contenido del presente artículo se enfoca en el concepto del monitoreo topográfico como una de las herramientas por excelencia para la aplicación de la predicción de fenómenos de remoción en masa, se considera oportuno señalar que tal práctica deriva de conceptos teórico-prácticos más amplios dentro de los cuales se enmarca.

Es así como, en general, dentro del contexto del mantenimiento, ya sea en lo referente a temas de orden mecánico o civil, Edgar Fernández Álvarez, en su trabajo de 2018 para graduación de Maestría, señala que:

**“El Mantenimiento de conservación: Está destinado a compensar el deterioro de equipos sufrido por el uso, de acuerdo con las condiciones físicas y químicas a las que fue sometido. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:”**

*o Mantenimiento Correctivo: Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos.*

*o Mantenimiento Preventivo: Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.*

*o Mantenimiento Predictivo: Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema. Para ello, este mantenimiento identifica variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados”*

En concordancia con este panorama general, las estrategias aplicadas, por ejemplo, en el mantenimiento Basado en Condición (MBC) se fundamenta en la información obtenida a través de las técnicas de predicción las cuales se han perfeccionado ostensiblemente sobre todo por el continuo mejoramiento de la tecnología en la que se apoya (Santamaría, 2002).

En particular, quienes hemos incursionado en el estudio y tratamiento de los fenómenos de remoción en masa, consideramos la información proveniente de la predicción como uno de los componentes por excelencia para intentar predecir el comportamiento de las áreas objeto de estudio y prevenir ya sea su manifestación o sus efectos.

Fundamentalmente, desde nuestra perspectiva, marco teórico de referencia para el presente artículo, la predicción se soporta en dos componentes conceptuales principales, a saber: a) El conocimiento que el geotecnista encargado tenga del fenómeno objeto de observación, el cual no permite prever sus características y su comportamiento necesarios para plantear las hipótesis sobre el mecanismo y la magnitud de la amenaza que, en un momento dado, pueda constituir sobre el elemento vulnerable en el cual surtiría sus efectos y b) La técnica y la tecnología que se utilicen para realizar las mediciones necesarias para validar o para desvirtuar las hipótesis que se hayan planteado y, consecuentemente, tomar las acciones correspondientes.

Cuando el Geotecnista profundiza en el conocimiento de un fenómeno de remoción en masa y, mediante el planteamiento de sus hipótesis, se atreve preestablecer cómo variaría su comportamiento en función de la interacción entre los factores condicionantes (aquellos que derivan de su naturaleza, tales como la cohesión, el ángulo de fricción interna, su densidad y su presión de poros, entre otros) y los factores detonantes (los que derivan de la influencia externa, tales como la lluvia, los sismos y/o la intervención humana), se requiere una técnica de medición que sea sistemática, que obedezca a una metodología y que sea suficientemente precisa ya sea para comprobar o para desvirtuar lo preestablecido por el geotecnista. Es en esta instancia donde cobran importancia las técnicas de medición.

En ese orden de ideas, en concordancia con nuestras experiencias –las que más adelante describimos– y sin ignorar que las técnicas de medición se pueden aplicar con diferentes tipos de instrumentación, es indiscutible que la topografía, dentro de este contexto, se aplica de manera invariable y con mayor intensidad que cualquier otra disciplina.

Es por ello que, en términos generales, el geotecnista y el topógrafo deberían concertar, como mínimo en los siguientes tres aspectos: a) La disposición de los equipos de medición, b) la distribución de los elementos objeto de observación y c) la precisión en las cifras objeto de las mediciones deberían ser concertada a través de un trabajo de equipo entre el geotecnista y el topógrafo; circunstancia que explica la importancia y relevancia de tal interrelación para los propósitos que se persiguen en el estudio, la predicción y el tratamiento de los fenómenos de remoción en masa.

Si bien, predecir la ocurrencia de movimientos, especialmente los súbitos, no es una tarea sencilla ni completamente definida. En la bibliografía existente, se han encontrado ciertas correlaciones entre las lluvias, la saturación del suelo y el monitoreo de movimientos previos antes de un deslizamiento. Sin embargo, los resultados son específicos para cada sitio, condición, topografía y tipo de suelo. Además, existen diversas técnicas de caracterización y monitoreo, las principales se presentan en el siguiente diagrama (ver Figura 1).



Figura 1. Investigación de deslizamientos a través de métodos geofísicos y técnicas de monitoreo (Vázquez, 2013).

Dentro del presente documento, nos centraremos únicamente en monitoreo topográfico, el monitoreo mediante inclinómetros y el monitoreo mediante imágenes aéreas obtenidas mediante vuelos de dron.

### 2.1. Monitoreo topográfico

Esta metodología consiste en la medición de desplazamientos tri-direccionales superficiales, mediante el uso de instrumentos topográficos tales como estación total de alta precisión y la instalación de “mojones”. Los datos recopilados se utilizan para analizar la deformación del terreno, y determinar, a través del tiempo los movimientos que se estén presentando en el sitio de estudio, en función de la frecuencia con que se realice el monitoreo (ver Figura 2).

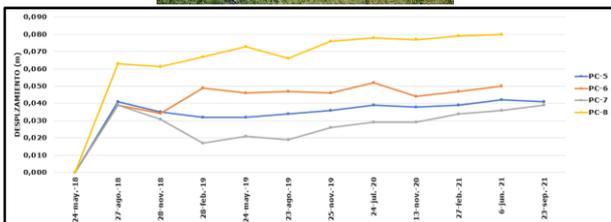


Figura 2. Equipo y resultados típicos monitoreo topográfico.

### 2.2. Monitoreo con inclinómetros

Esta metodología consiste en la realización de una perforación profunda en el talud o zona de análisis, la cual es recubierta por tubería para la posterior medición de inclinaciones a diferentes profundidades mediante una sonda que transmite una señal eléctrica proporcional a la inclinación. A través de varias mediciones en el tiempo es posible conocer y cuantificar los movimientos del terreno. La Figura 3 muestra los resultados típicos de un monitoreo con inclinómetros.

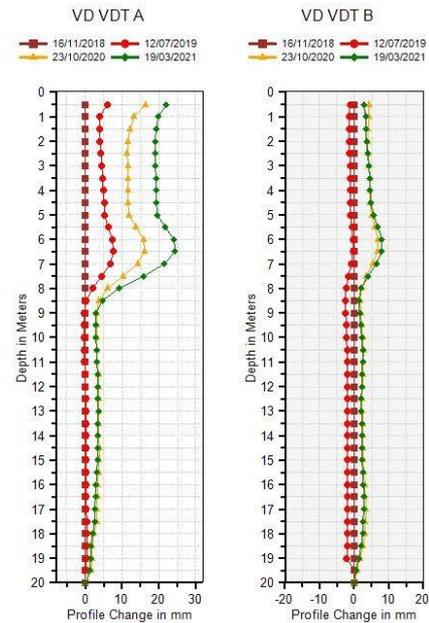
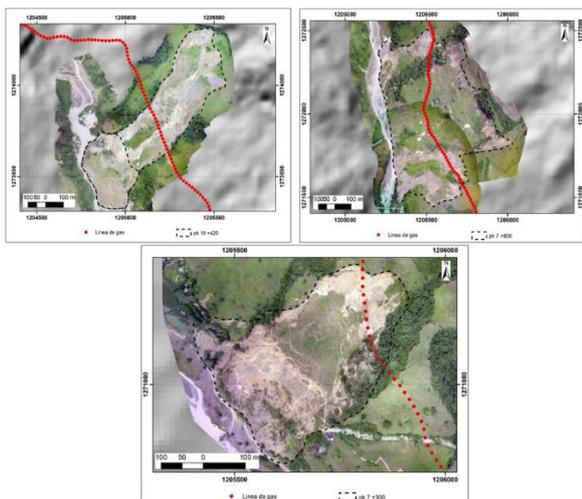


Figura 3. Resultados típicos monitoreo con inclinómetros.

### 2.3. Monitoreo con imágenes de Dron

La toma y procesamiento de imágenes de dron propone una herramienta muy útil para el estudio de posibles riesgos geológicos, los efectos de la evolución de un proceso geológico y/o geomorfológico, que a menudo se pueden lograr mediante la comparación de información previa y posterior. La cámara toma imágenes superpuestas mientras vuela sobre un área de estudio. Estas imágenes se pueden procesar a través de un flujo de trabajo fotogramétrico para obtener una nube de puntos o también conocido como modelo digital de superficie, una ortofoto o un modelo 3D completo de la escena (ver Figura 4).



**Figura 4.** Estudios típicos con imágenes de dron.

A continuación, se presenta una tabla con ventajas y desventajas para cada uno de los sistemas de monitoreo mostrados anteriormente (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas para diferentes tipos de monitoreo.

Método de monitoreo	Ventajas	Desventajas
Topográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona datos precisos sobre cambios en la forma y posición de la superficie terrestre.</li> <li>- Puede cubrir grandes áreas y detectar movimientos generales del terreno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere personal capacitado y equipos especializados para realizar mediciones.</li> <li>- Puede ser costoso, especialmente si se necesitan mediciones frecuentes o en áreas muy extensas.</li> <li>- La vegetación densa o la presencia de obstáculos pueden dificultar la realización de mediciones precisas, aumentando también los tiempos de ejecución en campo.</li> </ul>
Inclinómetro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona mediciones directas de la inclinación del terreno hasta la profundidad de la tubería.</li> <li>- Puede detectar movimientos locales y cambios en la estabilidad de taludes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere instalación física en el terreno, lo que puede ser invasivo y costoso.</li> <li>- Las lecturas pueden ser afectadas por la deformación del instrumento o la interferencia de otros factores.</li> <li>- No es adecuado para monitorear áreas extensas o cambios globales en el terreno.</li> </ul>
Imágenes de dron	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona imágenes de alta resolución de áreas específicas, lo que permite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere equipos y capacitación específica para operar drones de manera segura y eficiente.</li> </ul>

### Método de monitoreo

### Ventajas

### Desventajas

detectar cambios detallados en la superficie terrestre.  
 - Es más flexible y accesible que otros métodos de monitoreo.  
 -No genera ningún tipo de afectación sobre el terreno

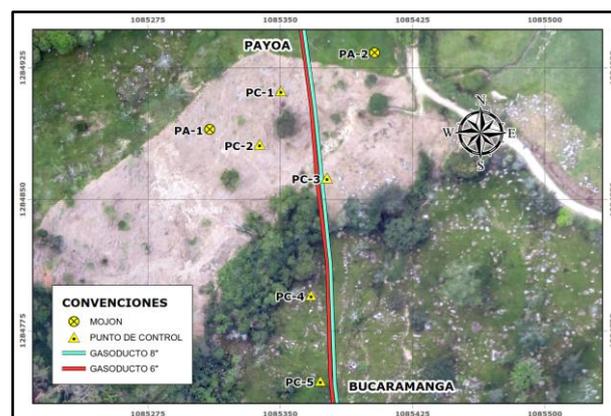
- La cobertura puede ser limitada en comparación con otros métodos, especialmente en áreas extensas o de difícil acceso.  
 - La interpretación de las imágenes puede requerir experiencia y software especializado.

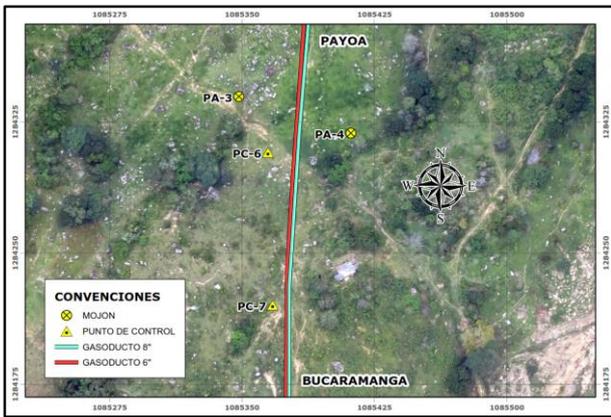
## 3. Casos de estudio

A continuación, se presentarán algunos casos de estudio en donde se mostrarán los resultados para los diferentes tipos de monitoreo empleados, además, se describirá el contexto regional, local y puntual y como se determinó el tipo de monitoreo más adecuado para cada uno de los casos.

### 3.1. Sector La Francia

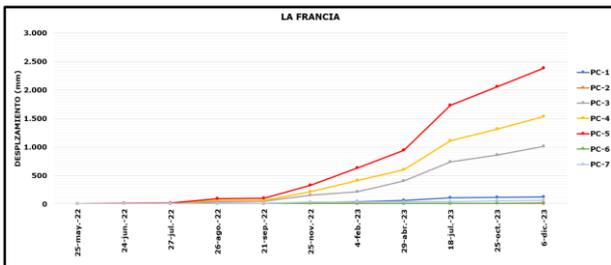
El sector de La Francia sobre el cual concurren dos tuberías de transporte de gas, se encuentra localizado principalmente sobre depósitos de suelos coluviales en zona de ladera, de espesor indeterminado y con evidencias de movimientos lentos a lo largo del tiempo, esto según la exploración geotécnica desarrollada anteriormente en el sector. Por esta razón, desde mayo de 2022 se empezó con un sistema de monitoreo topográfico inicialmente cada mes durante seis meses y luego cada tres meses. La Figura 5 muestra la ubicación de los puntos de monitoreo instalados.





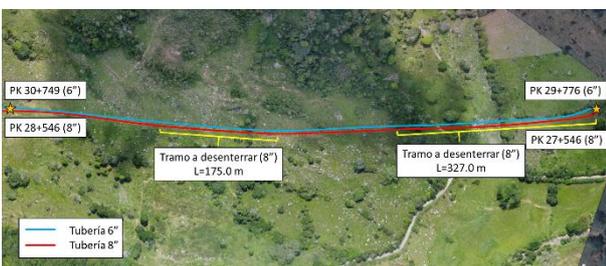
**Figura 5.** Ubicación de los puntos de monitoreo topográfico sector La Francia.

Los resultados de este monitoreo mostraron inicialmente movimientos lentos durante los seis primeros meses, sin embargo, posteriormente estos fueron incrementándose gradualmente hasta diciembre de 2023, fecha en la cual se realizó el último monitoreo, dentro de este, se observó movimientos acumulados en el terreno de hasta 2.3 metros para el punto de control 5 y de hasta 1.5 metros para el punto de control 4 (ver Figura 6).



**Figura 6.** Resultados monitoreo topográfico sector La Francia.

Dada la magnitud de los desplazamientos obtenidos, se recomendó proceder de manera urgente con la liberación de varios tramos de la tubería (desenterrar) de tal manera que se mitigara cualquier efecto de sobrepresión del suelo sobre la tubería (ver Figura 7).



**Figura 7.** Tramos de tubería liberada sector La Francia.

Durante la posterior visita, previo a la liberación de la tubería, se observó que efectivamente el terreno se estaba moviendo, algunos sectores del alineamiento de la tubería fueron desplazados e inclusive algunos se encontraban totalmente fuera de sus soportes (ver Figura 8). Al momento de la liberación, se realizó una inspección mecánica de la tubería y se determinó que las soldaduras se encontraban a una capacidad de 15% próximas a la falla. Este caso en particular permitió mostrar la importancia del control topográfico, ya que

con él se evitó la rotura de la tubería producto de los movimientos del terreno y se pudo tomar la decisión de liberar la tubería a tiempo antes de que ocurriese la falla. Una vez realizada la liberación de la tubería podrán realizarse estudios adicionales con motivo de evaluar el paso a seguir para controlar el movimiento del terreno.



**Figura 8.** Tubería desplazada fuera de los soportes sector La Francia.

### 3.2. Sector Limoncito

En enero de 2018, este sector experimentó una falla en el gasoducto debido al movimiento del terreno. Esta falla ocurrió de manera repentina, sin previo aviso, durante las inspecciones periódicas del gasoducto no se identificaron grietas ni fisuras. Este sector se caracteriza por presentar un depósito de ladera de gran extensión, pero con un espesor relativamente bajo el cual está generando empujes sobre la tubería de gas debido al movimiento de la masa de suelo (ver Figura 9).

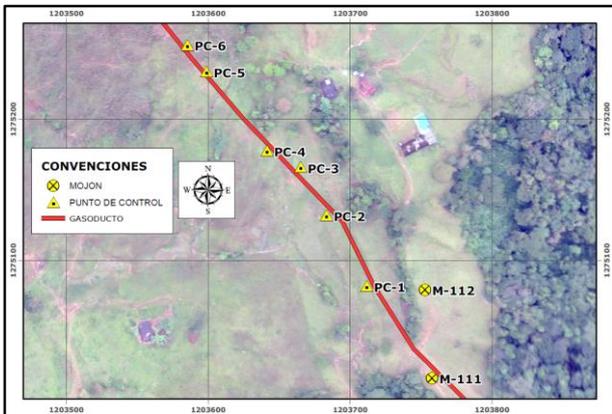


**Figura 9.** Dirección del movimiento sector Limoncito.

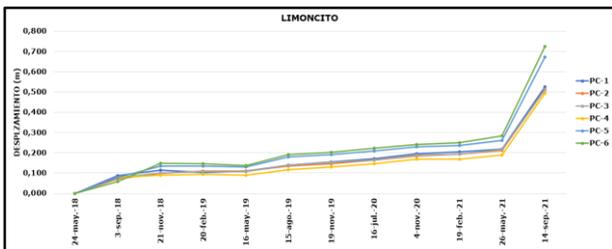
Debido a la anterior ruptura del gasoducto, una vez realizadas las reparaciones, en mayo de 2018 se instaló una campaña de monitoreo consistente en mojones y puntos de control a lo largo del trazado (ver Figura 10).

Durante esta campaña se tomó información desde mayo de 2018 hasta septiembre de 2021, se observa que se presentó un desplazamiento acumulado de entre 50 y 70 cm para los puntos de control (ver Figura 11) debido a estos movimientos excesivos, se tomó la decisión de liberar la tubería para evitar que se siguieran acumulando esfuerzos del terreno, durante la liberación, se encontró que la tubería presentaba curvas verticales y horizontales

excesivas las cuales fueron reparadas a tiempo evitando la posible ruptura del mismo, aprovechando que se destapo y reparo la tubería, se generó una nueva curvatura que permita tener cierta holgura frente a nuevos movimientos.



**Figura 10.** Ubicación de los puntos de monitoreo topográfico sector Limoncito.



**Figura 11.** Resultados monitoreo topográfico sector Limoncito

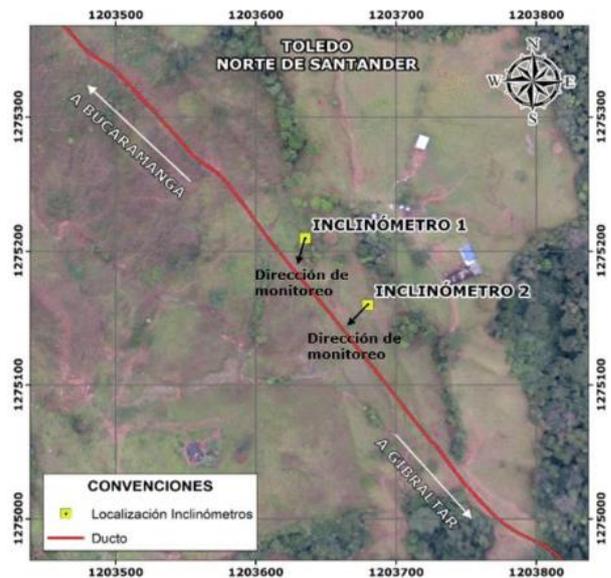


**Figura 12.** Puntos de monitoreo instalados en campo Limoncito.

Teniendo en cuenta lo anterior y mientras se definía un plan de acción y se ejecutaba la exploración geotécnica necesaria para determinar el tipo de obras a implementar, se recomendó seguir con la misma campaña de monitoreo incluyendo nuevos puntos de control (ver Figura 13) y adicionando dos inclinómetros, los cuales fueron instalados en la siguiente ubicación (ver Figura 14).



**Figura 13.** Ubicación de los puntos de monitoreo topográfico sector Limoncito.



**Figura 14.** Ubicación inclinómetros instalados sector Limoncito.

Desde la instalación de los inclinómetros, se han realizado múltiples mediciones a lo largo de dos años, entre el 10/06/2022 y el 09/07/2024.

La Figura 15 muestra los desplazamientos generados en el inclinómetro No. 1 respecto a la medición realizada el 10 de junio de 2022 (medida inicial). De allí se puede observar los desplazamientos a lo largo del inclinómetro. El desplazamiento máximo en el eje A=79.07mm y en eje B=-28.67mm (09/07/2024), respecto a la medida del 10/06/2022.

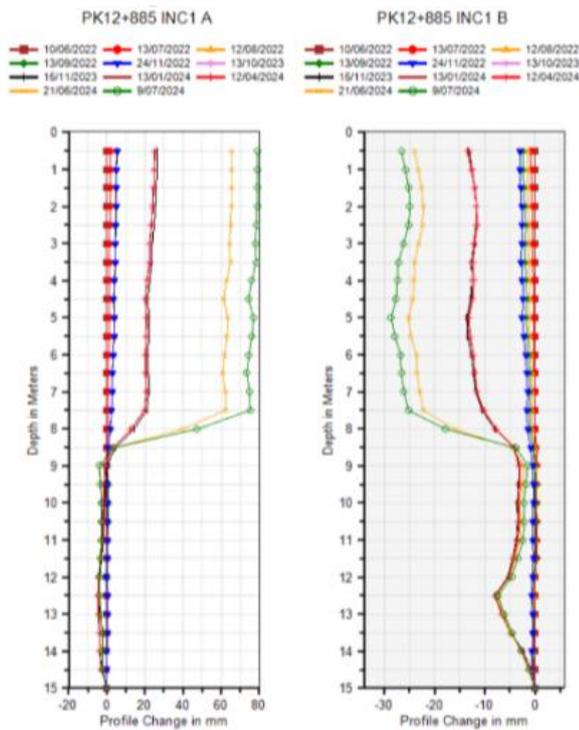


Figura 15. Resultados monitoreo inclinómetro número 1.

La Figura 16 muestra los desplazamientos generados en el inclinómetro No. 2 respecto a la medición realizada el 10 de junio de 2022 (medida inicial). De allí se puede observar los desplazamientos a lo largo del inclinómetro. El desplazamiento máximo en el eje A=6.91mm y en eje B=20.60mm (09/07/2024), respecto a la medida del 10/06/2022.

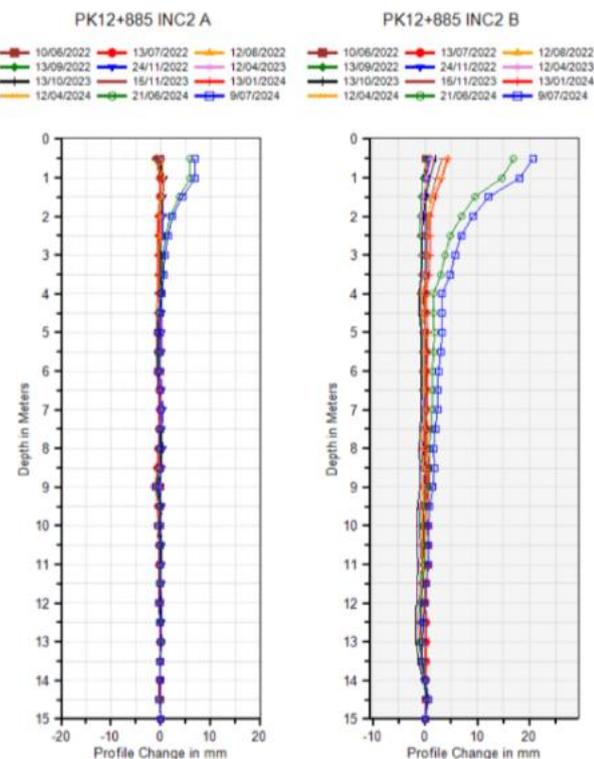


Figura 16. Resultados monitoreo inclinómetro número 2.

Teniendo en cuenta que el inclinómetro No.1, muestra un aumento de 13.5 mm (eje A) y 3.39mm (eje B) con respecto a la medida anterior del 21 de junio de 2024, por

se recomendó continuar con un monitoreo frecuente (por lo menos mensual) para revisar el avance de los movimientos. El inclinómetro No.2 no muestra movimientos que generen alerta al gasoducto.

El nuevo monitoreo geotécnico con puntos de control, el cual se desarrollo entre junio de 2022 y junio de 2024 encontró movimientos del orden de los 40.00mm a 60.00mm concordantes con los resultados de los inclinómetros. La diferencia radica en que los inclinómetros permiten ver la profundidad del material que se esta moviendo que en este caso se estima entre 4.0 y 8.0 metros, no obstante, la ventaja con los puntos de monitoreo es que permiten cubrir áreas de estudio apreciablemente mas grandes que los inclinómetros a un costo muchísimo menor.

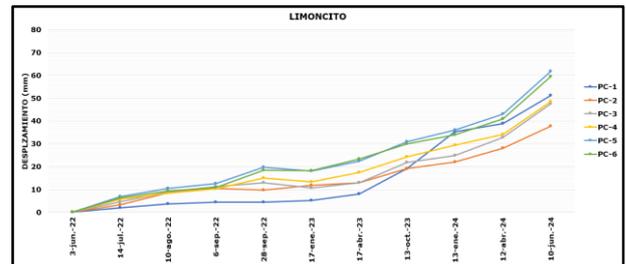


Figura 17. Resultados segundo monitoreo topográfico sector Limoncito

Según lo anterior, mediante estos monitoreos se ha realizado un control al sector y dando más tiempo mientras se definen las obras a ejecutar y aprueban los presupuestos para las mismas, estas mediciones generan alertas que permiten evaluar el nivel de riesgo del sitio, permitiendo tener la tranquilidad de que se podrán tomar las decisiones a tiempo.

### 3.3. Sector Quebradaseca

El día 21 de mayo de 2024 en horas de la mañana, se genera un colapso de parte de la estructura de contención para las excavaciones del proyecto ubicado en la avenida Quebrada seca con carrera 30, los costados fallados corresponden específicamente con el costado norte y oriental. Las afectaciones a la estructura de contención corresponden a la esquina nororiental del proyecto (carrera 30 con avenida Quebrada seca), donde justamente se encontraba un pozo de alcantarillado el cual falló por posible colapso hidráulico. Esta falla súbita ocasiono que fuesen cerradas tanto la avenida Quebrada seca como la carrera 30, por lo tanto, fue necesario realizar unas obras temporales para poner en funcionamiento las vías lo antes posible y continuar con la construcción de los muros de contención de la edificación evitando el retraso de la obra. Estas obras consistieron en unas filas de trinchos fijadas con anclajes (ver Figura 18).



**Figura 18.** Obras temporales realizadas para la habilitación del paso vehicular

Teniendo en cuenta la criticidad del sitio y la urgencia de habilitar la vía, se realizó un control topográfico a lo largo de toda la construcción (ver Figura 19), esto con motivo de evaluar las deformaciones de la misma y poder tomar decisiones a tiempo en caso de que se intensase presentar un nuevo desprendimiento de material.



**Figura 19.** Ubicación de los puntos de control topográfico a lo largo de las pantallas.

Posteriormente antes de iniciar el servicio de la vía, se realizó una prueba de carga a la obra (ver Figura 20), durante toda la prueba se monitorearon los taludes revisando sus deformaciones, en este caso las deformaciones no superaron los cinco milímetros permitiendo habilitar el paso vehicular en el sector.



**Figura 20.** Resultados monitoreo topográfico sector La Francia.

Luego de la habilitación de la vía, se continuo con el monitoreo del sector evaluando la incidencia del tránsito vehicular sobre la obra para el cual no se presentaron nuevas deformaciones que presenten algún tipo de riesgo para la obra, igualmente para el costado de la carrera 30

en donde el talud no presenta nuevas deformaciones que pongan en peligro la escuela que queda en este costado.

#### 4. Conclusiones y discusión

La experiencia señalada en el presente artículo pone en evidencia que es útil y apropiado prevenir que el geotecnista imponga su criterio ignorando la opinión del topógrafo y, además, que el topógrafo, obviando su ánimo crítico, se limite a hacer realidad lo señalado por el geotecnista. Tal situación se podría prevenir si lograran concertar en tres aspectos que se proponen como referencia para la partida del trabajo de monitoreo: a) La disposición de los equipos de medición, b) la distribución de los elementos objeto de observación y c) la precisión en las cifras objeto de las mediciones. Este trabajo, en conjunto, este trabajo en equipo, entre geotecnista y Topógrafo, o de los representantes de las dos disciplinas, **le generarán indiscutiblemente mayor agregado al proceso de monitoreo y a la predicción de la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa.**

#### 5. Referencias

Gallardo R. J., Guerrero T. E, Macgregor A. A. (2013). Investigación geotécnica Para La estabilización de las laderas el barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia). INGE CUC, 9(2), 66-74.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). 2010. "Riesgo por movimientos en masa en Colombia" [online] Disponible en <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>.

R. Santamaría, "Tendencias del Mantenimiento Predictivo," 2002. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.tam.com.mx/images/descargas/articulos/tam07.pdf>.

Vázquez Roura, A. V. (2013). *Investigación de deslizamientos a través de métodos geofísicos y técnicas de monitoreo* (Bachelor's thesis). Retrieved from <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3355>.