



Universidad de Oviedo

**MODELIZACIÓN GEOLÓGICA DE UN DESLIZAMIENTO
DE LADERA EN LA BOCA NORTE DEL TÚNEL DEL TESO**

Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica

Trabajo Fin de Máster

Curso 2013 / 2014

D. Pablo Fuentes Suárez



D. PABLO FUENTES SUÁREZ, autor del Trabajo Fin de Máster titulado “MODELIZACIÓN GEOLÓGICA DE UN DESLIZAMIENTO DE LADERA EN LA BOCA NORTE DEL TÚNEL DEL TESO”, confirma que es un trabajo original y solicita su presentación en el Máster Universitario Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 10 de julio de 2014

Fdo. PABLO FUENTES SUÁREZ

El Dr. D. CARLOS LÓPEZ FERNÁNDEZ, Profesor Titular del Área de Geodinámica Interna del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, confirma que ha tutelado el trabajo “MODELIZACIÓN GEOLÓGICA DE UN DESLIZAMIENTO DE LADERA EN LA BOCA NORTE DEL TÚNEL DEL TESO”, realizado por D. PABLO FUENTES SUÁREZ, y autoriza su presentación y defensa como Trabajo Fin de Máster en el Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 10 de julio de 2014

Fdo. CARLOS LÓPEZ FERNÁNDEZ



A todas aquellas personas que han estado a mi lado apoyándome en estos difíciles momentos tanto personales como laborales. A mi familia, a mis amigos, a mis profesores y compañeros de la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo, a Carlos López, mi tutor en el presente trabajo, por su comprensión, ayuda y trato tan cordial, y especialmente y sobre todo y todos a mi padre, Francisco Fuentes.

Gracias a todos.



ÍNDICE:

RESUMEN.	5
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.	6
Situación geográfica.	6
Contexto geológico.	8
Litotipos.	12
2. MODELO GEOTÉCNICO.	15
Metodología y datos de partida.	15
Instrumentos de medida.	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	20
Modelo de profundidades de rotura.	20
Modelo de superficie de rotura.	21
Modelo de orientaciones.	22
Modelo de desplazamientos del terreno.	24
Desplazamiento mensual medio.	25
Desplazamientos mensuales y desplazamientos acumulados.	26
Influencia de la calidad de las mediciones.	41
Modelo de flujo acumulado sobre la superficie topográfica.	43
4. SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN.	44
Alternativas de estabilización.	45
Otras soluciones de estabilización.	46
5. CONCLUSIONES.	49
6. REFERENCIAS.	51



ANEXOS.	52
Anexo I. Cortes geológicos. Arias (2010).	52
Anexo II. Documentación inclinómetros en sondeos. (INGE).	62
Anexo III. Representaciones gráficas de desplazamientos y precisiones.	68



RESUMEN.

El presente trabajo representa la modelización geológica de un importante deslizamiento de ladera localizado en la boca norte del Túnel del Teso, dentro del Lote 6 de la “Variante de Pajares” (Corredor Norte-Noroeste de Alta Velocidad Ferroviaria). A partir de los datos cartográficos y las lecturas inclinométricas aportados por el propietario de la obra, y mediante la generación de modelos realizada con un sistema de información geográfica, se ha elaborado un modelo del comportamiento del terreno en la zona de estudio durante el periodo de tiempo que abarca desde octubre de 2007 hasta enero de 2010. Mediante los modelos generados se ha delimitado la superficie de rotura y estimado el volumen de material involucrado en este deslizamiento. Asimismo, se han determinado las magnitudes de los desplazamientos, en el tiempo, de cada punto de la superficie del deslizamiento, así como las direcciones principales del movimiento. Se alcanzan los 90 mm de desplazamiento en la zona norte del área de estudio mostrando una dirección preferente norte-noreste; resultando, por tanto, oblicuos a las infraestructuras principales del trazado ferroviario. En la zona este, los desplazamientos se aproximan a los 50 mm, y su dirección se produce hacia el trazado de la vía, por lo que estos movimientos podrían entrañar mayores consecuencias para la infraestructura. El espesor medio de la masa deslizante es de unos 25 m y su volumen aproximado es de superior a los 5.940.000 m³.

ABSTRACT.

This is the geological modelling of a gravitational slide in the northern side of the tunnel Teso, located in the North-Northwest High Speed Railway Corridor. With cartography and inclinometer readings, provided by the project developer, and by the generating of models performed with a geographic information system computer support, we have got one possible interpretation of what the behavior of the slide was, during the period of time from October 2007 until January 2010, at the study area. By the generation of models, we have defined the fracture surface and the estimated volume of material involved in the slide. Also, the magnitudes of the movements have been estimated for each point on the slide surface, as well as the main directions of displacements. Displacements have reached 90 mm in the northern part of the study area. They are north-northeast direction, so they are oblique to the railway infrastructure. In the East, the displacements are close to 50 mm and their direction goes towards the railway, so these movements could be harmful to the infrastructure. The average thickness of the sliding mass is about 25 m, and its volume is around 5.940.000 m³.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

En el presente trabajo se presenta la modelización geológica y geotécnica de un deslizamiento de ladera que afecta al emboquille norte de los Túneles de Teso, en las obras del tramo “Sotiello-Campomanes” (Lote 6) de la Variante de Pajares (Línea de Alta Velocidad Madrid-Asturias). El trabajo se enmarca dentro del estudio geológico-geotécnico general realizado por el Grupo de Geología Aplicada a la Ingeniería del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo.

A partir de toda la información disponible relativa a este caso, el objetivo principal de este trabajo ha sido determinar la afección a la infraestructura ferroviaria y recomendar posibles medidas correctoras. Para ello, se han definido los litotipos presentes en la zona, elaborado el modelo geológico a partir de los datos de sondeos y confeccionado, a partir de los resultados de los inclinómetros, un modelo de comportamiento.

Situación geográfica.

El área de estudio se encuentra localizada en el término municipal de Lena (Asturias), aproximadamente a 1 km al sur de la localidad de Campomanes, en la carretera Le-8, (Campomanes-La Cubilla). La misma se ubica en el margen izquierdo del Río Huerna y al este de la localidad de Tiós (Figura. 1-1).

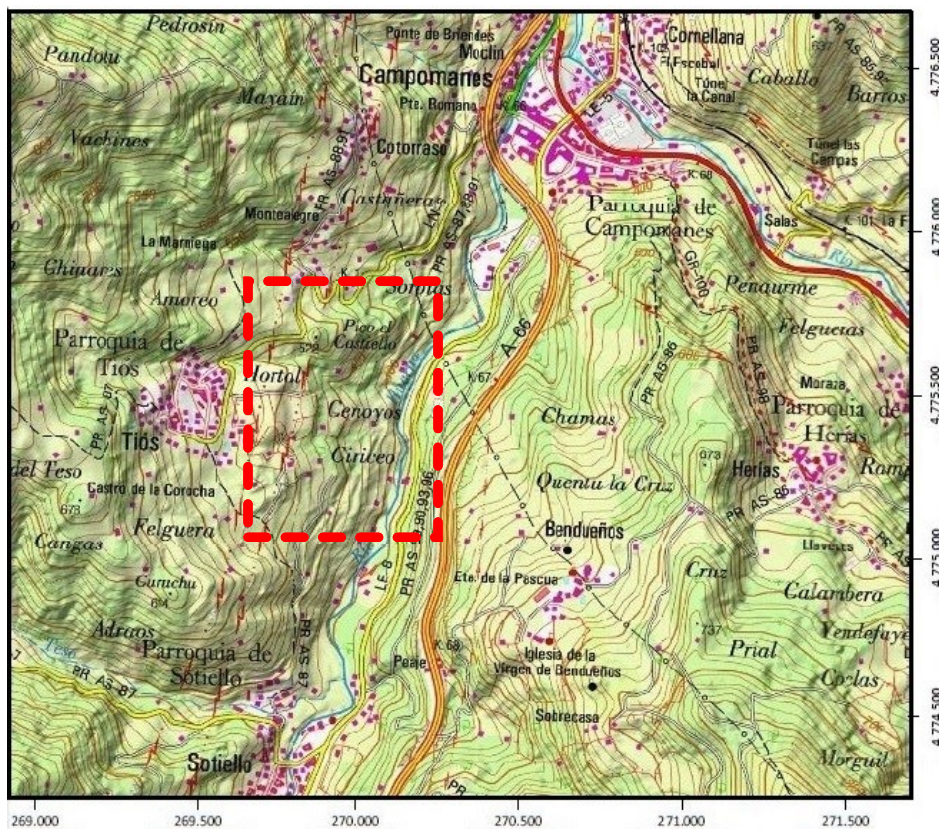


Figura 1-1. Localización del área de estudio. (Tomada del Instituto Geográfico Nacional, 2014).

El tramo Sotiello-Campomanes de la Variante Ferroviaria de Pajares (LAV Madrid-Asturias) alcanza una longitud de 4,3 km. Formado por dos plataformas independientes para cada vía, entre sus elementos singulares destacan: los túneles bitubo de Sotiello (909 m lado este y 917 m lado oeste), y de Teso (634 m lado este y 661 m lado oeste), y los viaductos dobles de Sotiello (134 m lado este y 110 m lado oeste), de Teso (363 m lado este y 338 m lado oeste), y el viaducto triple de Campomanes (116 m lados este y central y 82 m lado oeste). En Campomanes se sitúa un Puesto de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes (PAET). Las obras, adjudicadas a Acciona, contaron con un presupuesto de 79.780.212,47 euros y un plazo de ejecución de 30 meses (Fig. 1-2).

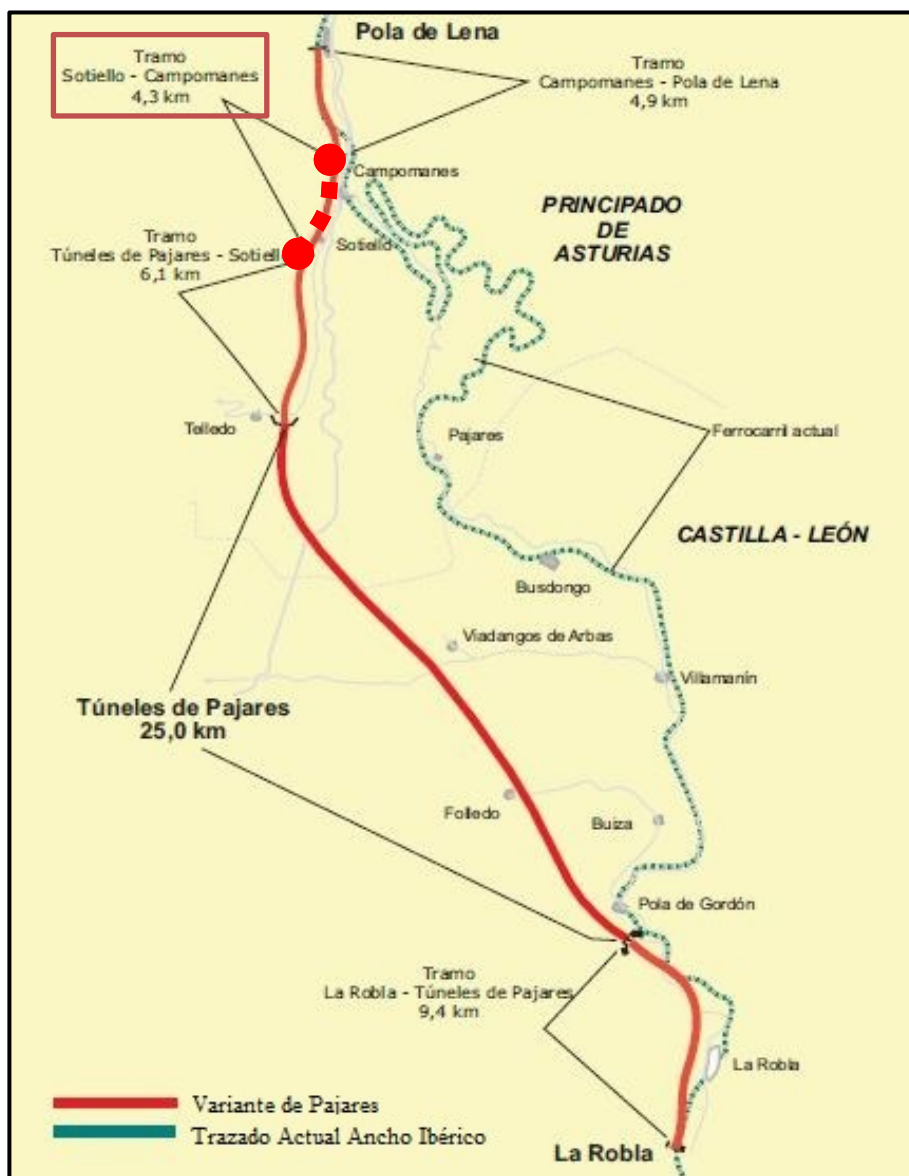


Figura 1-2. Trazado Línea de Alta velocidad León-Asturias. Tomada de ADIF - Ministerio de Fomento.

Contexto geológico.

El área objeto de estudio se sitúa en la Zona Cantábrica del Macizo Varisco del Noroeste Peninsular (Lotze, 1945; Julivert et al., 1972). Dentro de esta zona, más concretamente, lo hace dentro de la Cuenca Carbonífera Central (Alonso et al., 2009) (Fig. 1-3), en la que predominan los materiales carboníferos.

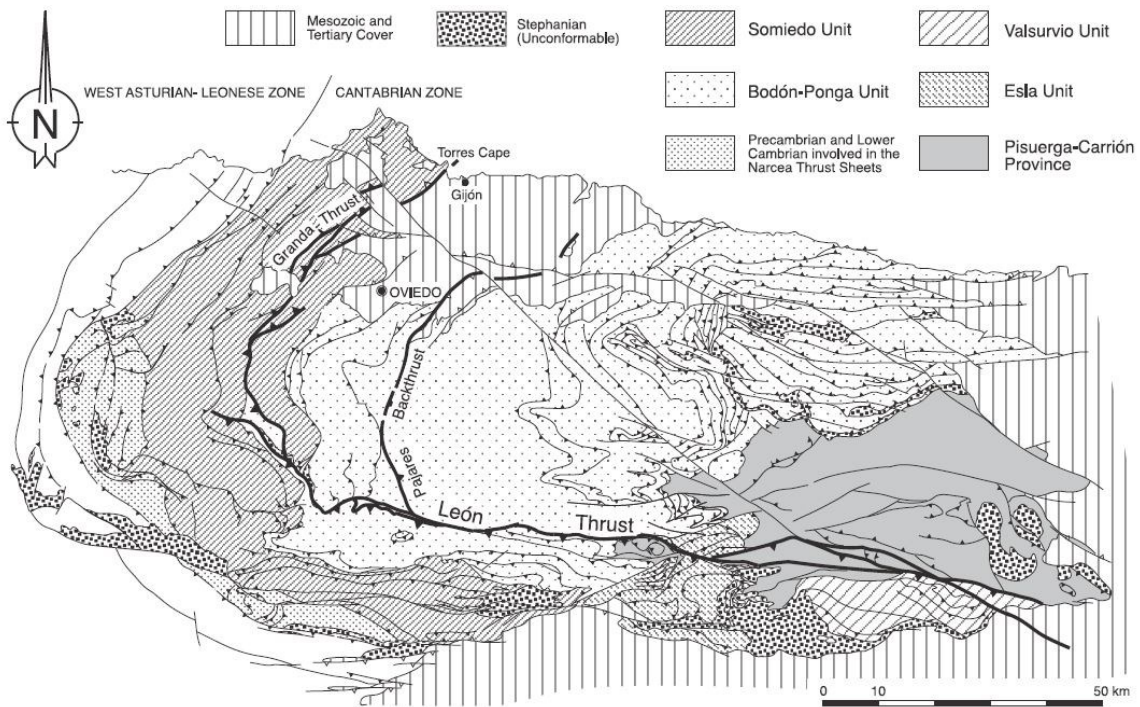


Figura 1-3. Localización Cuenca Carbonífera Central dentro de la zona Cantábrica. Tomada de Alonso et al. (2009).

En la zona de estudio, el sustrato rocoso está formado por materiales siliciclásticos y carbonatados de los conocidos como Grupos Lena y Sama (Barba et al., 1991) (Fig. 1-4). El denominado Grupo Lena está formado por una potente sucesión pizarroso-limolítica en la que se intercalan niveles de calizas de tonos grises. También se encuentran en esta serie niveles de areniscas, que suelen contener una gran cantidad de fragmentos de rocas. Aparecen en los niveles más altos pequeñas capas de carbón presentando a muro un suelo con raíces. Por encima del Grupo Lena aparece el Grupo Sama. La transición entre ambos viene marcada por la desaparición de las calizas y un aumento general de intercalaciones de areniscas y de capas de carbón (Barba y Colmenero, 1994) (Fig. 1-5).

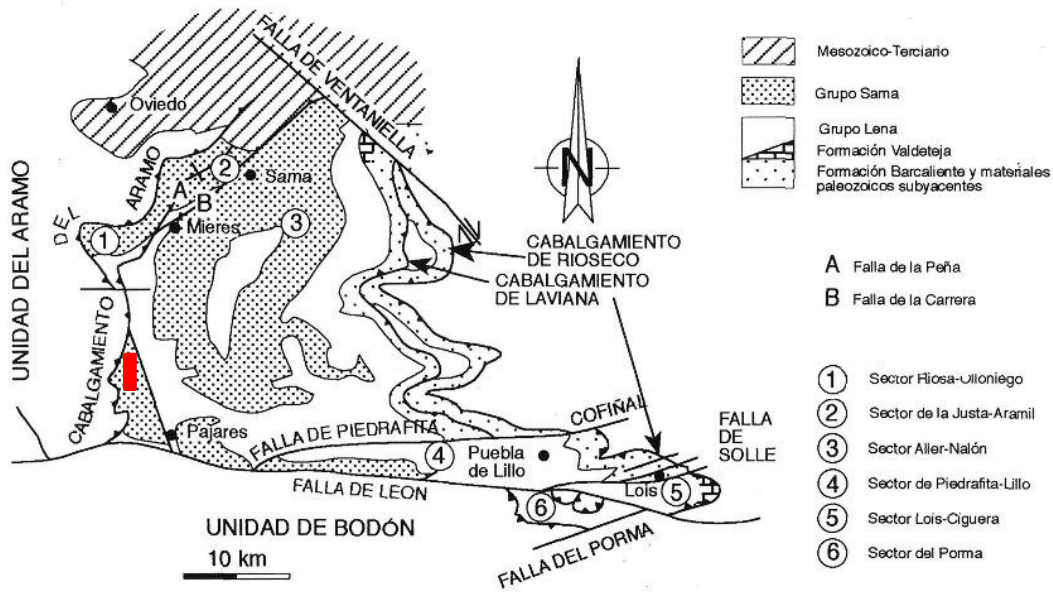


Figura 1-4. Sectores de la Cuenca Carbonífera Central. Tomado de Barba et al., (1991).

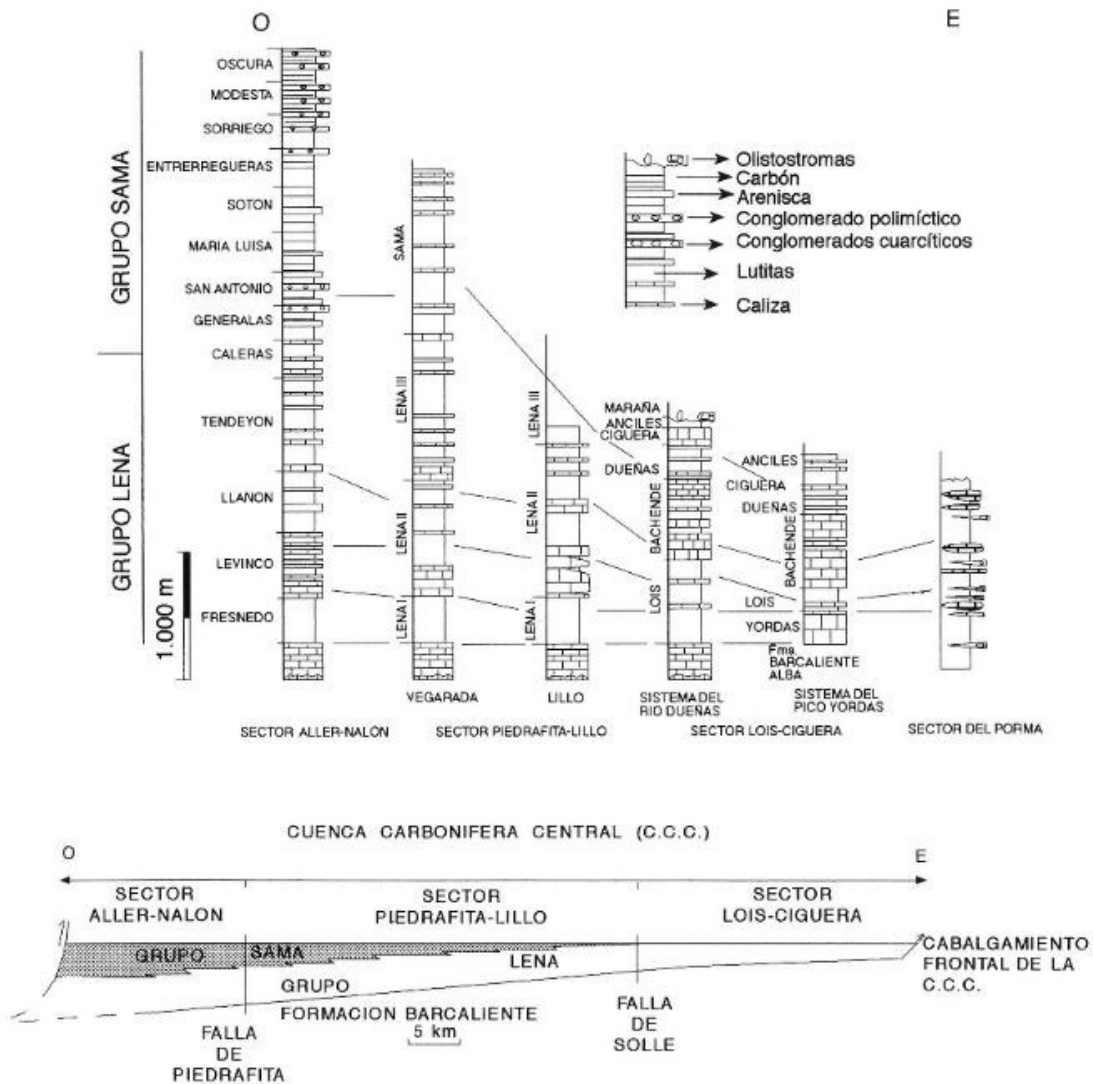


Figura 1-5. Secuencia estratigráfica Grupos Lena y Sama. Tomado de Barba y Colmenero, (1994).

Esta secuencia estratigráfica que forman los Grupos Lena y Sama aparece plegada y fracturada por la Orogenia Varisca, posiblemente reactivándose algunas fallas durante la Orogenia Alpina, de carácter compresivo (Velando et al., 1973). En toda la ladera a estudio destaca, desde el punto de vista estructural, la presencia de un sistema de fallas sub-verticales de dirección aproximada este-oeste. Estas estructuras tienen gran importancia en la posterior aparición de deslizamientos coluvionales. Superpuesto a estos materiales carboníferos aparecen depósitos cuaternarios. Destacan los mencionados depósitos coluvionales junto depósitos aluviales producidos por la actividad fluvial (Fig. 1-6).

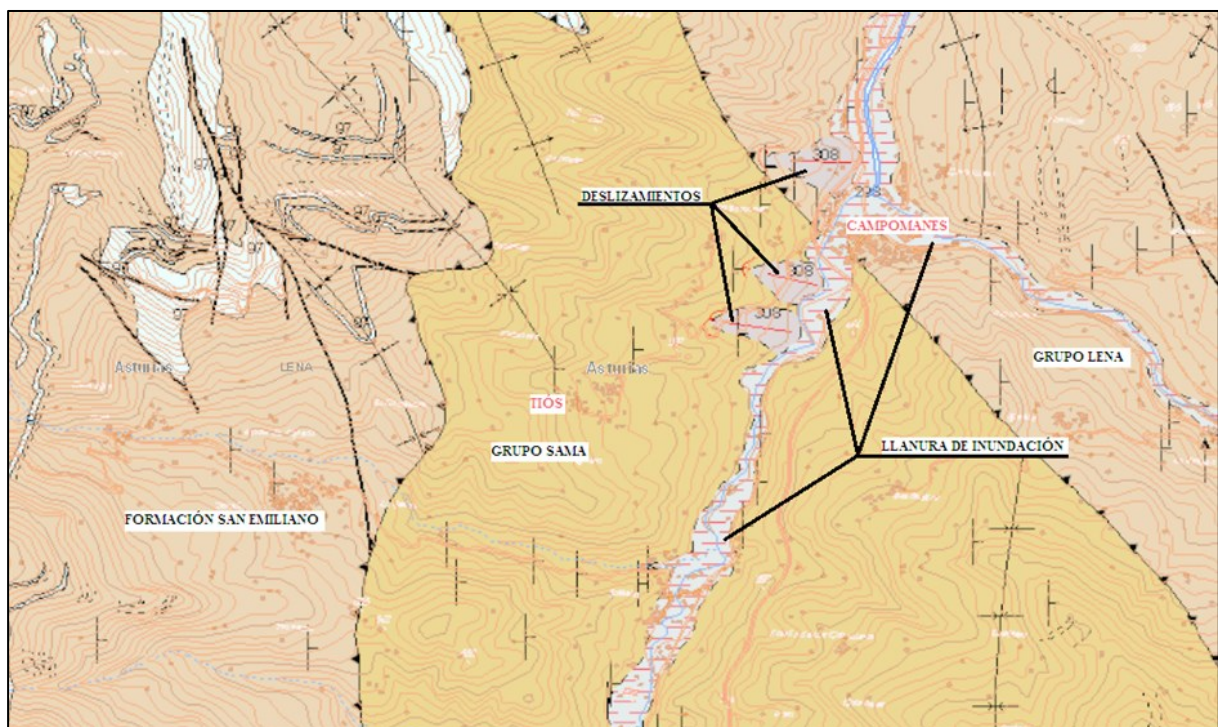


Figura 1-6. Localización del área de estudio. Tomado de Velando et al., (1973).

El movimiento del terreno objeto de estudio se encuentra en una ladera orientada al este, cuya pendiente media es del 18° (oscilando entre 11 y 22°). Las limolitas y lutitas alternan con areniscas y capas de carbón intercaladas, mostrando las capas un buzamiento de entre 20° y 60° y una dirección similar a la de la pendiente de la ladera. Hacia el oeste, las capas están plegadas en un antiforme con un eje orientado N10E (Díaz-Díaz et al., 2014) (Figs. 1-7 y 1-8).

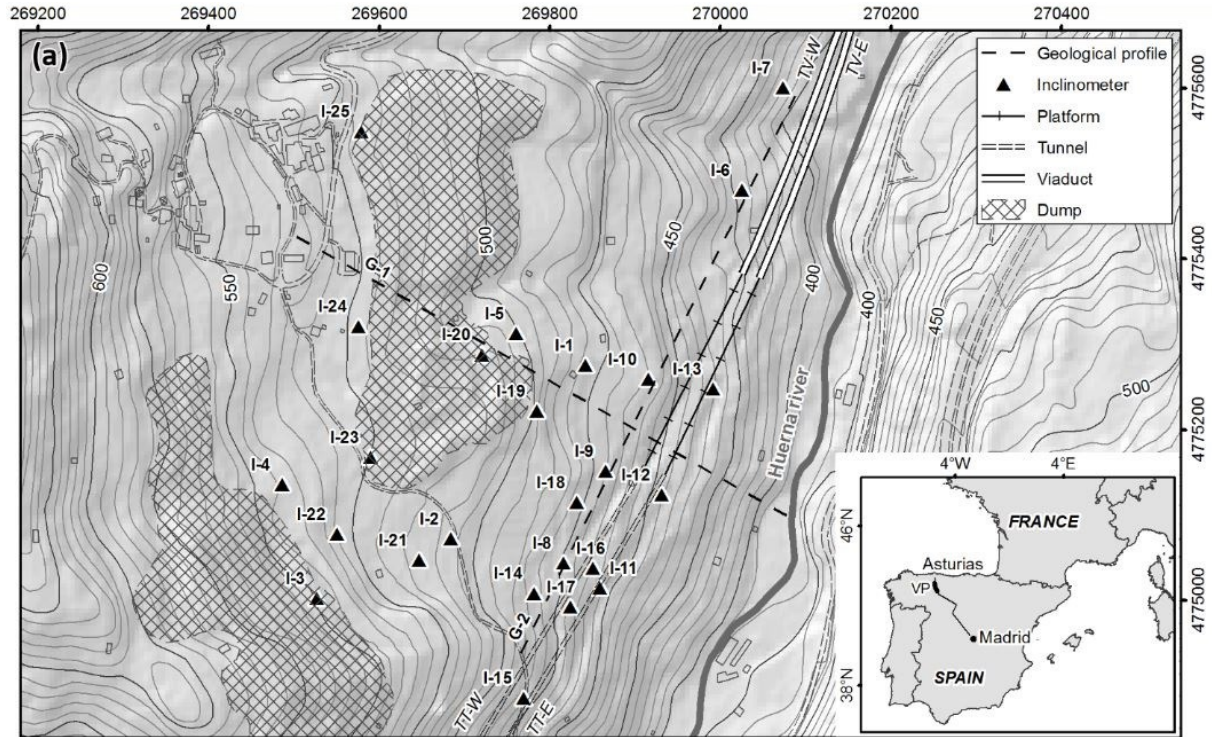


Figura 1-7. Localización del área de estudio. Secciones longitudinal y transversal al trazado. Tomado de Díaz-Díaz, et al., 2014.

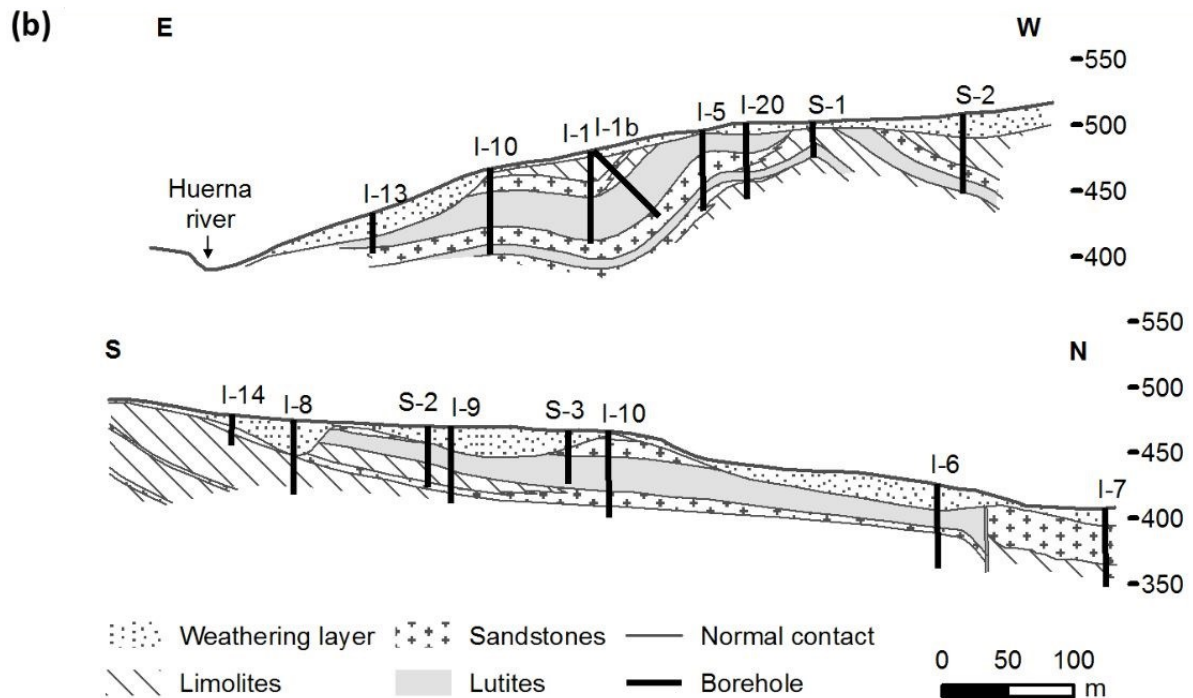


Figura 1-8. Cortes geológicos longitudinal y transversal al trazado. Tomado de Díaz-Díaz, et al., 2014.

Litotipos.

En la zona del emboquille septentrional del Túnel del Teso aflora una secuencia siliciclástica perteneciente al Grupo Sama en la que se identifican:

- **Limolitas.** Litología más abundante. Son rocas grises, de tonos oscuros, con frecuentes intercalaciones arenosas de grano fino.
- **Areniscas.** Es la segunda litología más importante. Rocas de color gris claro, frecuentemente de grano fino. Localmente se presentan capas con espesores métricos de areniscas de grano medio a grueso, a veces con cantos blandos. Son propias de rellenos de canales de alta energía.
- **Lutitas Carbonosas Brechificadas.** Rocas de grano fino y color negro. Destaca la presencia de materia orgánica en cantidades altas. Visualmente presentan un aspecto brechoide con una matriz arcilloso-carbonosa que une clastos principalmente limolíticos y en algunos casos clastos areniscosos. En la zona de estudio, esta litología forma una capa principal con espesores de hasta unos 30 m y tiene una gran importancia en la cinemática de la estructura geológica.
- **“Carboneros”.** Se reconocen varios intercalados en la secuencia siliciclástica. Son poca potencia y ligados a niveles de areniscosos.
- **Coluvión.** En toda la zona de estudio se presenta un depósito coluvionar de hasta 20 m de potencia.
- **Aluvión.** En el límite norte de la zona de estudio se ha localizado un abanico aluvial desarrollado en el arroyo que baja del pueblo de Tiós y que desemboca en el río Huerna.

Con los datos obtenidos de la testificación de los sondeos han sido elaborados una serie de perfiles geológicos de la zona a estudio. En la figura 1-9 se representa la localización de los diferentes perfiles elaborados, y en las figuras 1-10 a 1-13 se representan, como ejemplo, un perfil longitudinal al trazado y tres transversales al mismo. La totalidad de los perfiles, reelaborados a partir del trabajo de Arias (2010), están contenidos en el Anexo I.

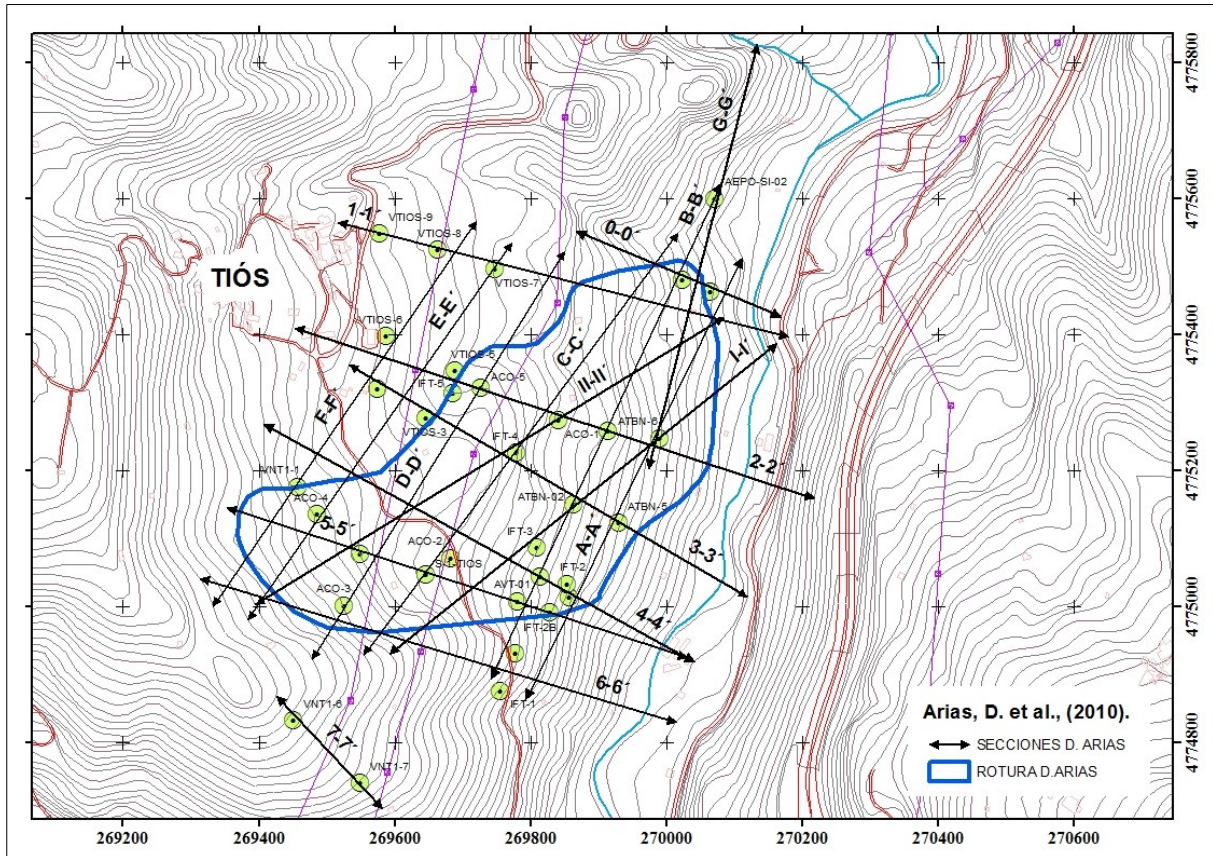


Figura 1-9. Localización de los diferentes cortes geológicos.

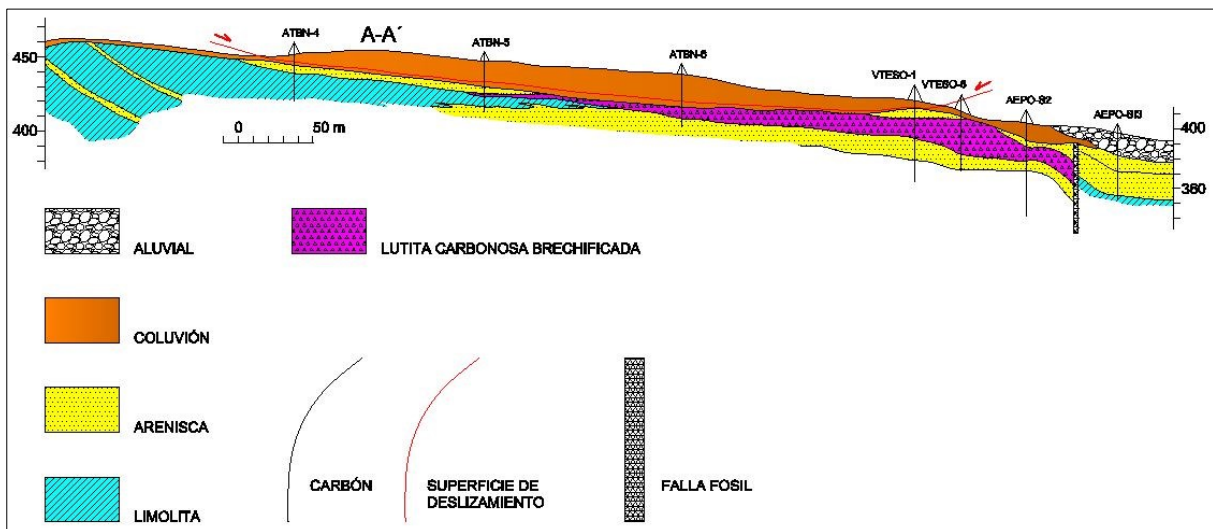


Figura 1-10. Corte geológico A-A' paralelo al trazado ferroviario. Tomado de Arias (2010).

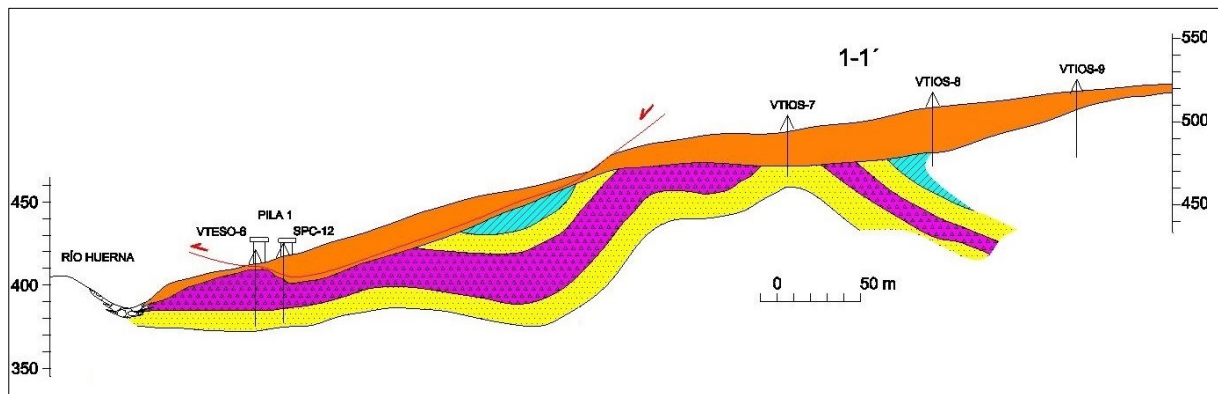


Figura 1-11. Corte geológico 1-1', perpendicular al trazado ferroviario. Tomado de Arias (2010).

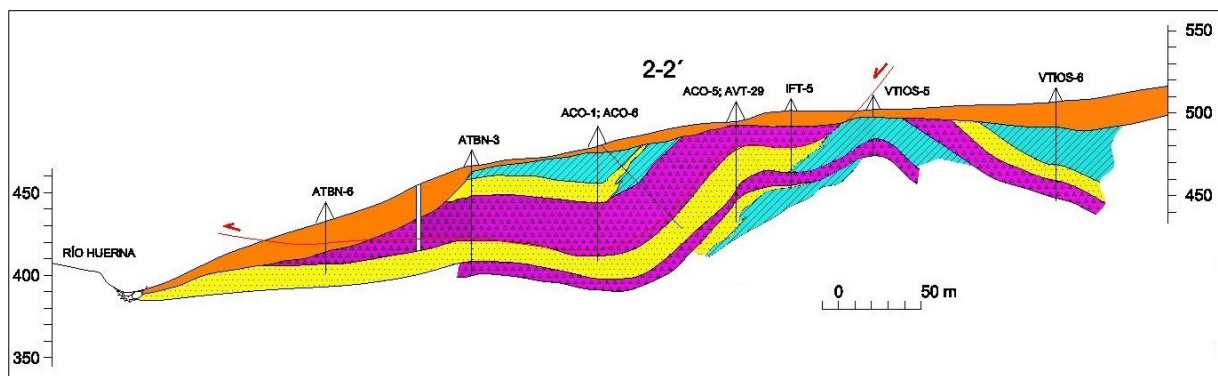


Figura 1-12. Corte geológico 2-2', perpendicular al trazado ferroviario. Tomado de Arias (2010).

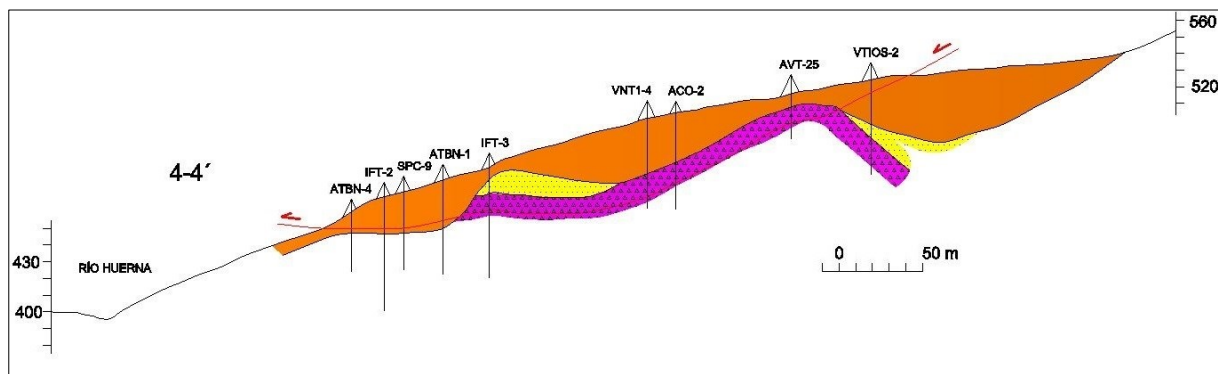


Figura 1-13. Corte geológico 4-4', perpendicular al trazado ferroviario. Tomado de Arias (2010).

2. MODELO GEOTÉCNICO.

Metodología y datos de partida.

Para elaborar el modelo integral de la ladera objeto de estudio se ha empleado el sistema de información geográfica implementado en el programa informático ArcGIS10 (ESRI).

Los datos de partida, en los que se sustenta la modelización, han sido los obtenidos de las mediciones inclinométricas realizadas por la empresa *INGE* (Instrumentación Geotécnica y Estructural, S.L.) a petición de *ACCIONA INFRAESTRUCTURAS*, realizadas entre septiembre de 2007 y enero de 2010. En la Tabla 2-1 se enumeran los sondeos estudiados indicando si han sufrido o no desplazamiento y, en caso afirmativo, las fechas entre las que se han realizado las mediciones. Su ubicación geográfica se presenta en la figura 2-1.

En el Anexo II de este trabajo se adjunta la documentación original relativa a los inclinómetros empleados en el estudio.

Tabla 2-1. Listado de los sondeos/inclinómetros estudiados.

Inclinómetro	Inicio mediciones	Fin mediciones	Movimiento
ACO-1	13/07/2009	22/12/2009	Sí
ACO-2	23/06/2009	22/12/2009	Sí
ACO-3	13/07/2009	23/12/2009	Sí
ACO-4	23/06/2009	23/12/2009	Sí
ACO-5	25/09/2009	23/12/2009	Sí
AEPO-SI-01	19/10/2007	22/12/2009	Sí
AEPO-SI-02	11/09/2007	22/12/2009	Sí
ATBN-01	11/09/2007	10/09/2008	Sí
ATBN-02	07/11/2007	21/12/2009	Sí
ATBN-03	11/09/2007	21/12/2009	Sí
ATBN-4	27/02/2008	23/09/2008	Sí
ATBN-5	27/02/2008	24/08/2009	Sí
ATBN-6	27/02/2008	21/12/2009	Sí
AVT-01	11/09/2007	20/04/2009	Sí
IFT-2	23/03/2009	18/12/2009	Sí
IFT-3	28/05/2009	22/10/2009	Sí
IFT-4	12/06/2009	18/12/2009	Sí
IFT-5	28/05/2009	18/12/2009	Sí
S-1-TIOS	22/02/2009	23/12/2009	Sí
VTIOS-11	10/03/2008	22/12/2009	Sí

AEPO-S2	-	-	No
ASGT-2TT	-	-	No
IFT-1	-	-	No
IFT-2B	-	-	No
VNT1-1	-	-	No
VNT1-6	-	-	No
VNT1-7	-	-	No
VTIOS-3	-	-	No
VTIOS-4	-	-	No
VTIOS-5	-	-	No
VTIOS-6	-	-	No
VTIOS-7	-	-	No
VTIOS-8	-	-	No
VTIOS-9	-	-	No

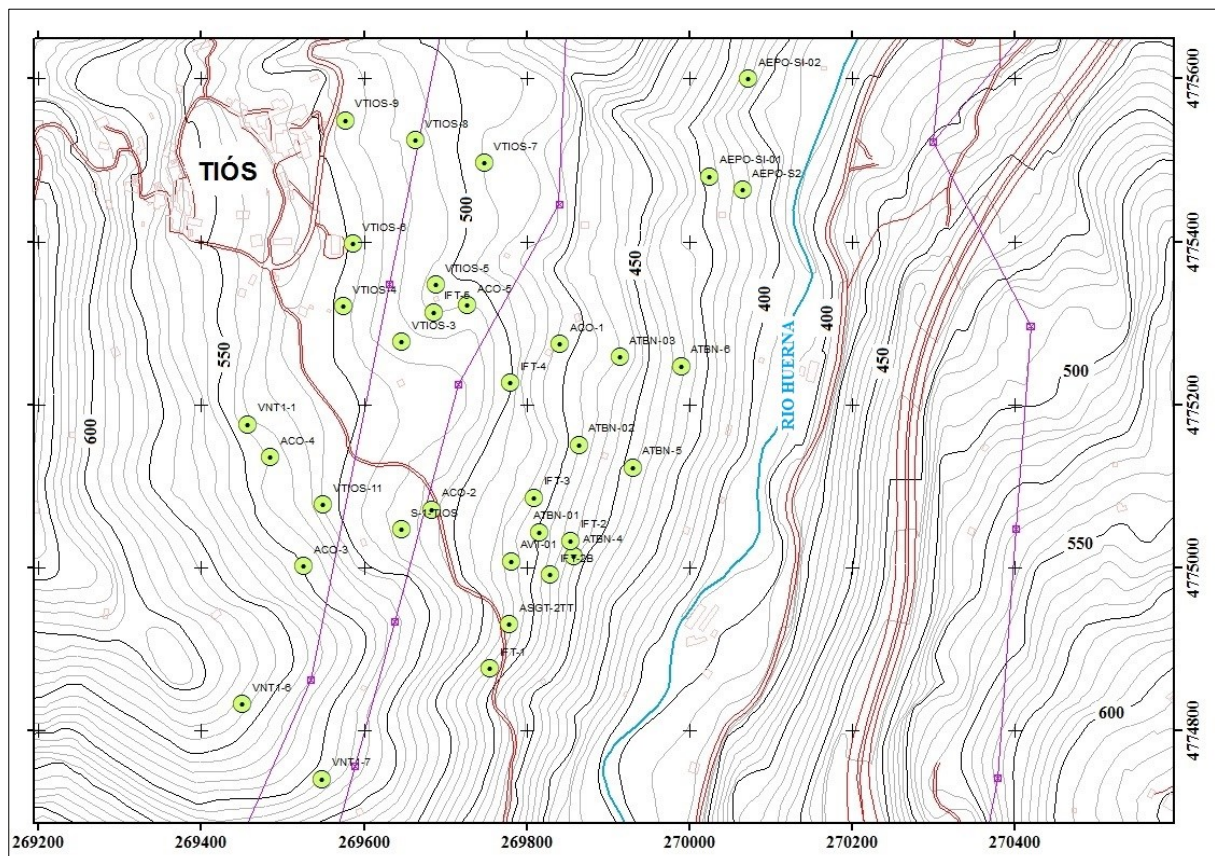


Figura 2-1. Localización de los inclinómetros analizados.

Toda la información disponible fue implementada en el Sistema de Información Geográfica (situación geográfica de los sondeos, profundidad de rotura del terreno, desplazamientos,

direcciones con respecto al norte de los desplazamientos), efectuando a continuación el proceso de modelización. Con las profundidades de rotura supuestas en las lecturas de los inclinómetros se generó un modelo de profundidades de rotura. Seguidamente, esta superficie potencial de rotura se combinó con el modelo digital del terreno, obteniendo con ello un modelo digital de la superficie de deslizamiento. El procedimiento realizado ha sido representado mediante un diagrama de flujo en la figura 2-2.

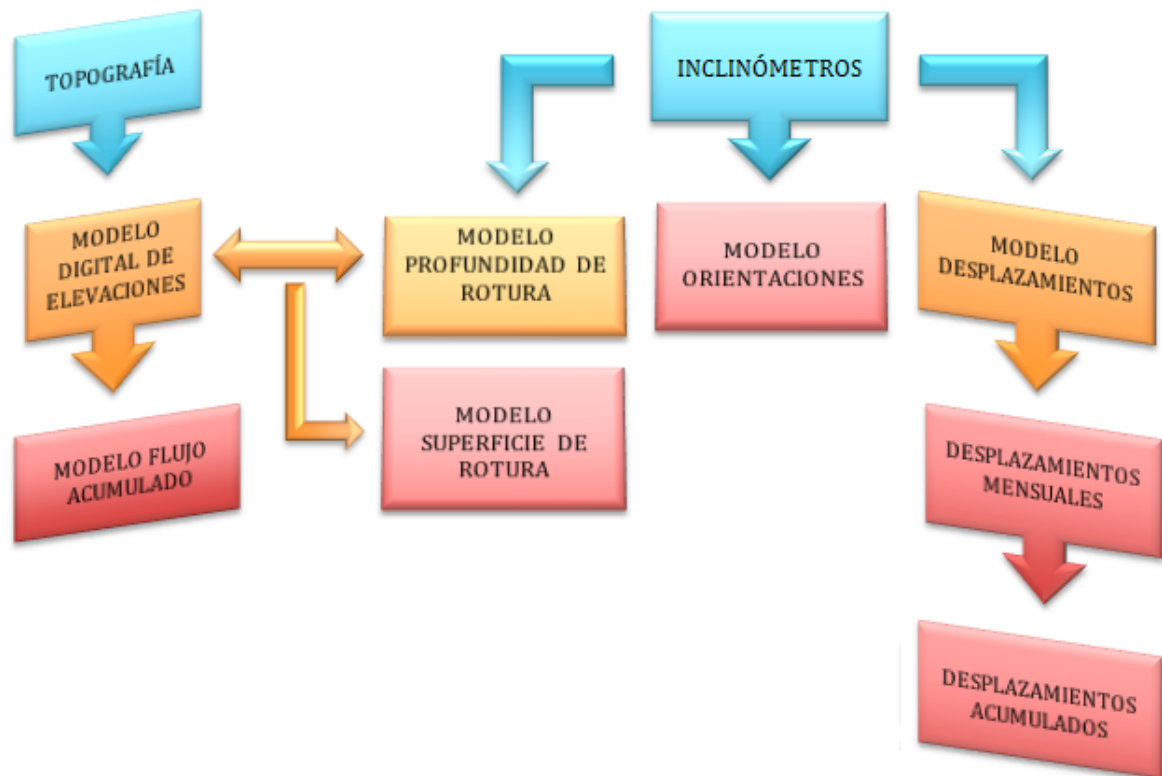


Figura 2-2. Diagrama de flujo, evolución de los trabajos realizados.

Con los datos introducidos, y en base a la información aportada por los sondeos inclinométricos, se generó asimismo un modelo de orientaciones del deslizamiento del terreno y de los desplazamientos mensuales y acumulados. Los modelos basados en desplazamientos durante un determinado periodo de tiempo, permiten proporcionar la posibilidad de correlacionar estos movimientos y las diferentes fases de la obra, permitiendo la búsqueda de posibles relaciones entre posibles causas y efectos observados.

En las figuras 2-3 y 2-4 se representan gráficamente las lecturas de los desplazamientos en los inclinómetros, acumuladas y mensuales respectivamente. Estas graficas resultan de gran utilidad para comprobar los periodos de movimiento del terreno en cada sondeo.

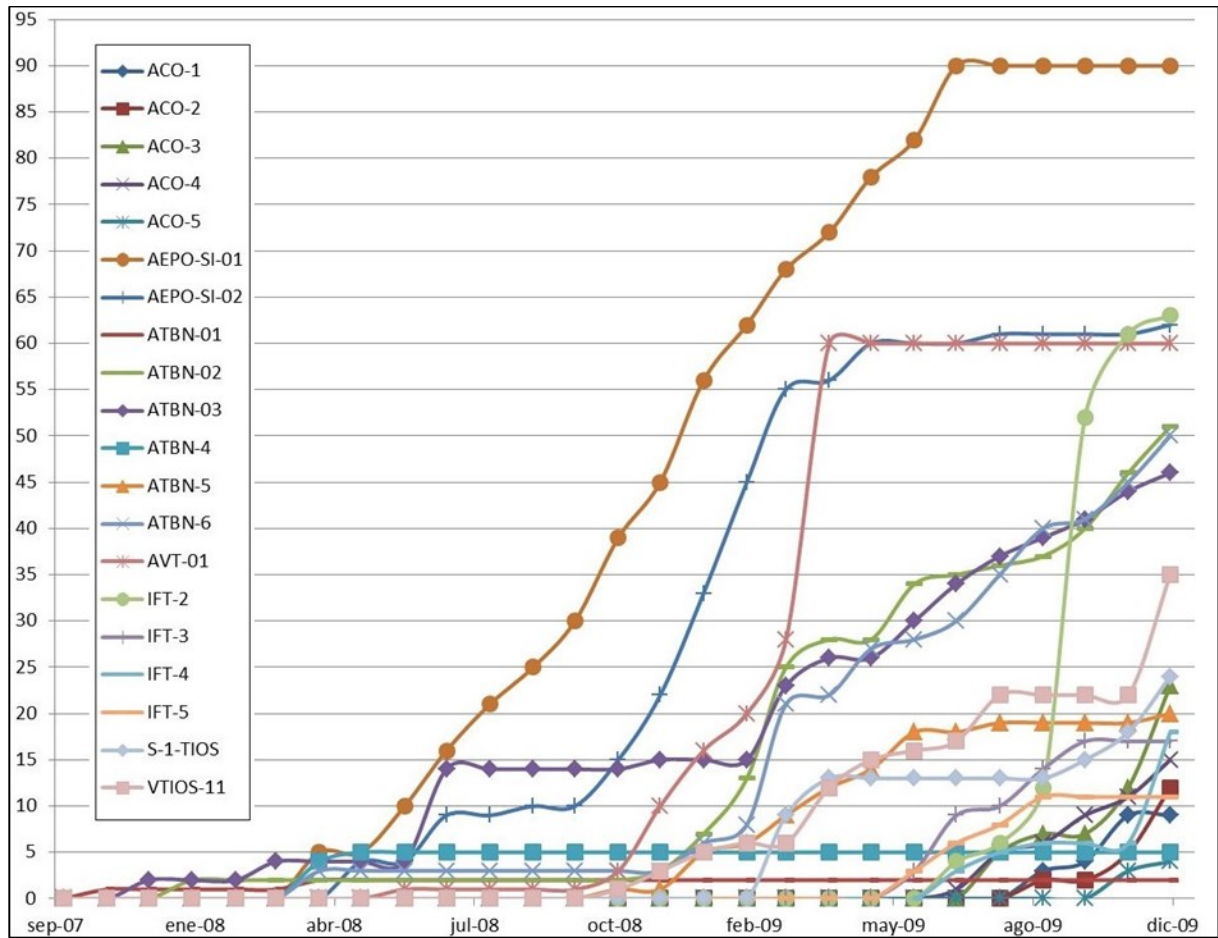


Figura 2-3. Representación de desplazamientos acumulados en sondeos, expresados en mm, para el periodo septiembre 2007- diciembre 2009.

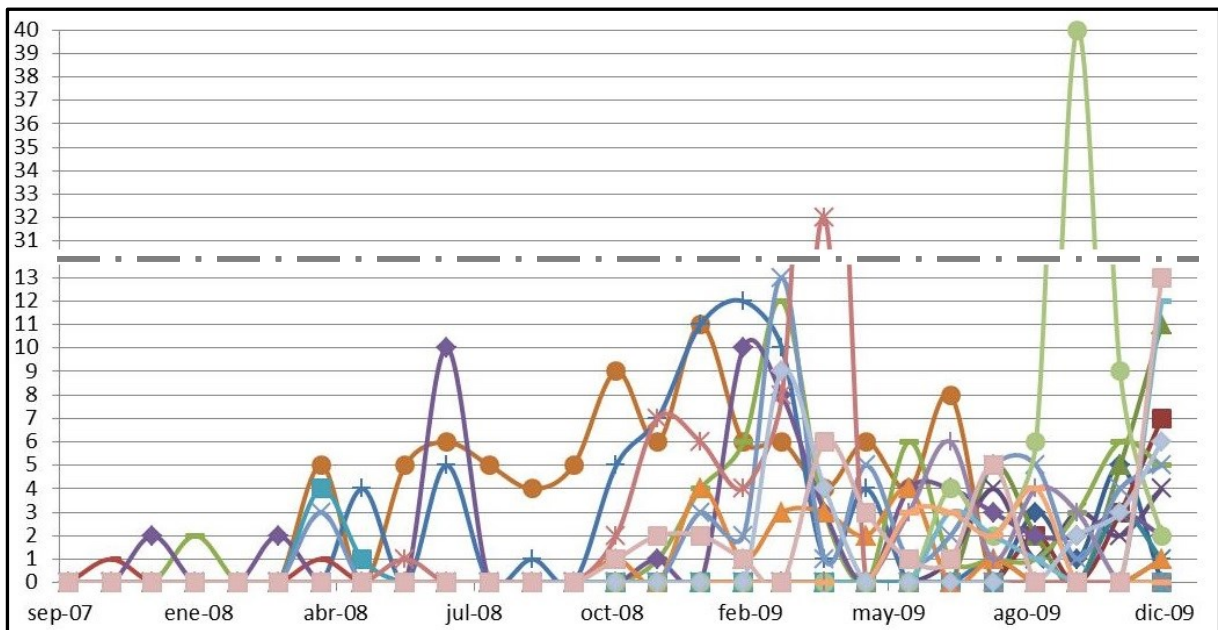


Figura 2-4. Representación de desplazamientos mensuales en sondeos, expresados en mm.

Instrumentos de medida.

Los equipos empleados para las mediciones tienen una precisión de ± 6 mm por cada 25 m de sondeo medido. El error estimado para cada uno de los sondeos está representado en la Tabla 2-2, determinados en función de la documentación técnica de los aparatos de medida, en Anexo II. Las representaciones graficas de desplazamientos mensuales y acumulados frente a errores de los aparatos de medida se encuentran recogidas en el Anexo III; a modo de ejemplo se presentan los datos correspondientes a los sondeos ACO-2 y ATBN-06 en las figuras 2-5 y 2-6.

Tabla 2-2. Errores calculados aplicables a las lecturas tomadas en cada uno de los sondeos inclinométricos. (Según documentación aportada por el tomador de las lecturas).

NOMBRE	PROFUNDIDAD (m)	ERROR (mm) (± 6 mm/25 m de sondeo)	MÁXIMO MOVIMIENTO (mm)
ACO-1	69	± 17	9
ACO-2	53	± 13	12
ACO-3	29,5	± 7	23
ACO-4	32,5	± 8	15
ACO-5	61	± 15	4
AEPO-SI-01	59	± 14	90
AEPO-SI-02	59	± 14	62
ATBN-01	54	± 13	2
ATBN-02	54	± 13	51
ATBN-03	64	± 15	46
ATBN-4	29,5	± 7	5
ATBN-5	27,5	± 7	20
ATBN-6	31	± 7	50
AVT-01	24	± 6	60
IFT-2	64	± 15	63
IFT-3	64,5	± 15	17
IFT-4	60,5	± 15	18
IFT-5	62,5	± 15	11
S-1-TIOS	34	± 8	24
VTIOS-11	30,5	± 7	35

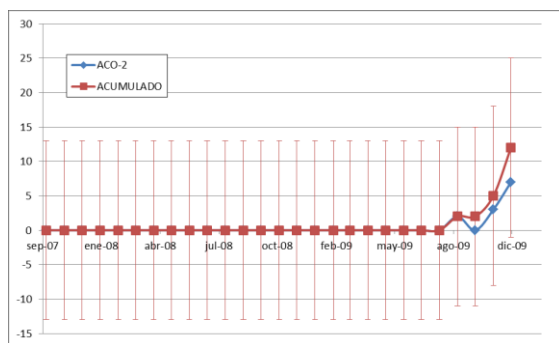


Figura 2-5. Sondeo ACO-2. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

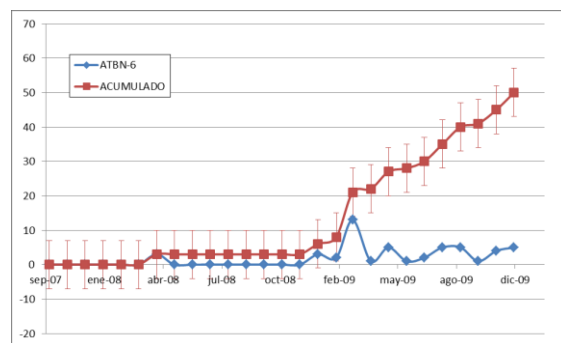


Figura 2-6. Sondeo ATBN-06. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Modelo de profundidades de rotura.

La modelización de la superficie generada por las profundidades de rotura en cada sondeo proporciona un primer acercamiento a la posible morfología que pueda presentar la potencial superficie de rotura (Fig. 3-1). El modelo, lógicamente, está limitado por el número y ubicación de los sondeos, observándose unos límites más difusos en las zonas norte y oeste.

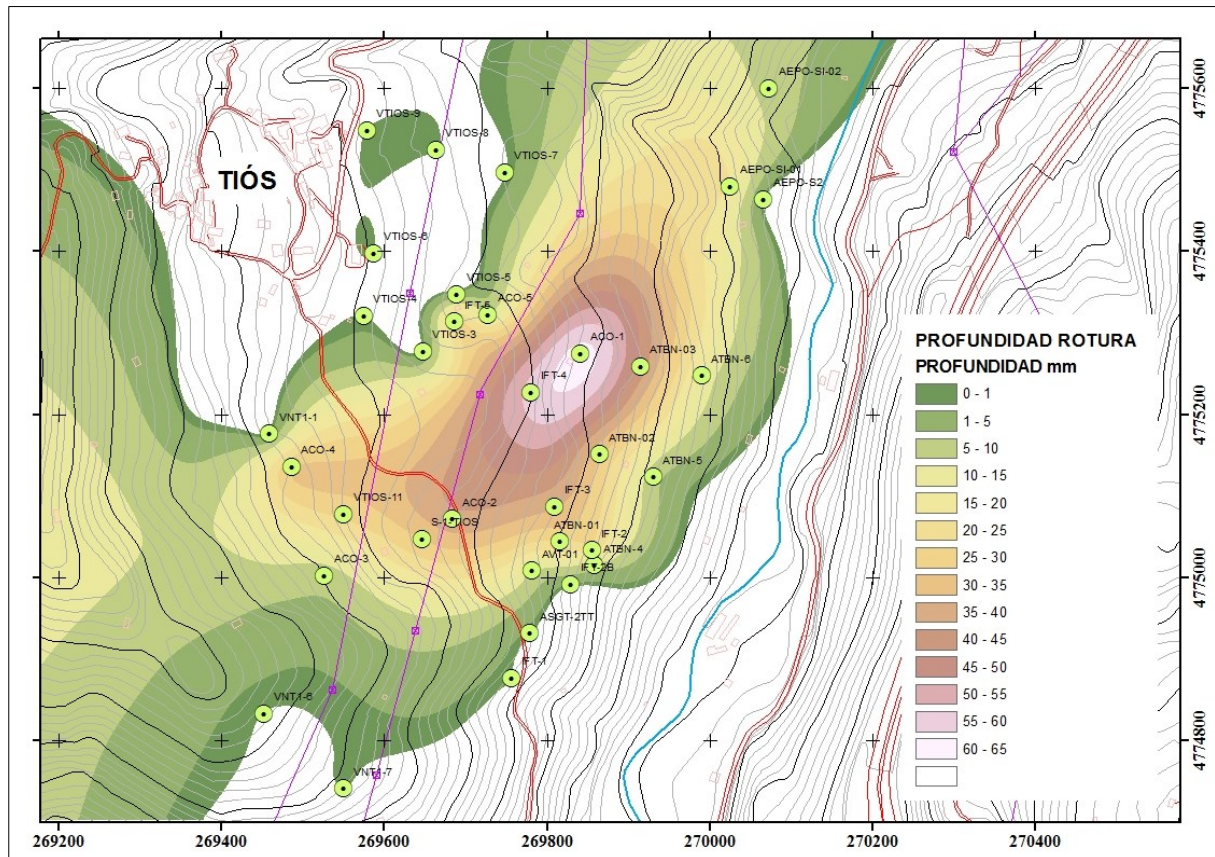


Figura 3.1. Modelo digital de profundidades de la superficie de rotura.

Modelo de superficie de rotura.

Tras realizar el cálculo de la posible superficie de rotura y comparándola con la topografía de la ladera, se delimita el posible perímetro de la superficie de rotura (Fig. 3-2).

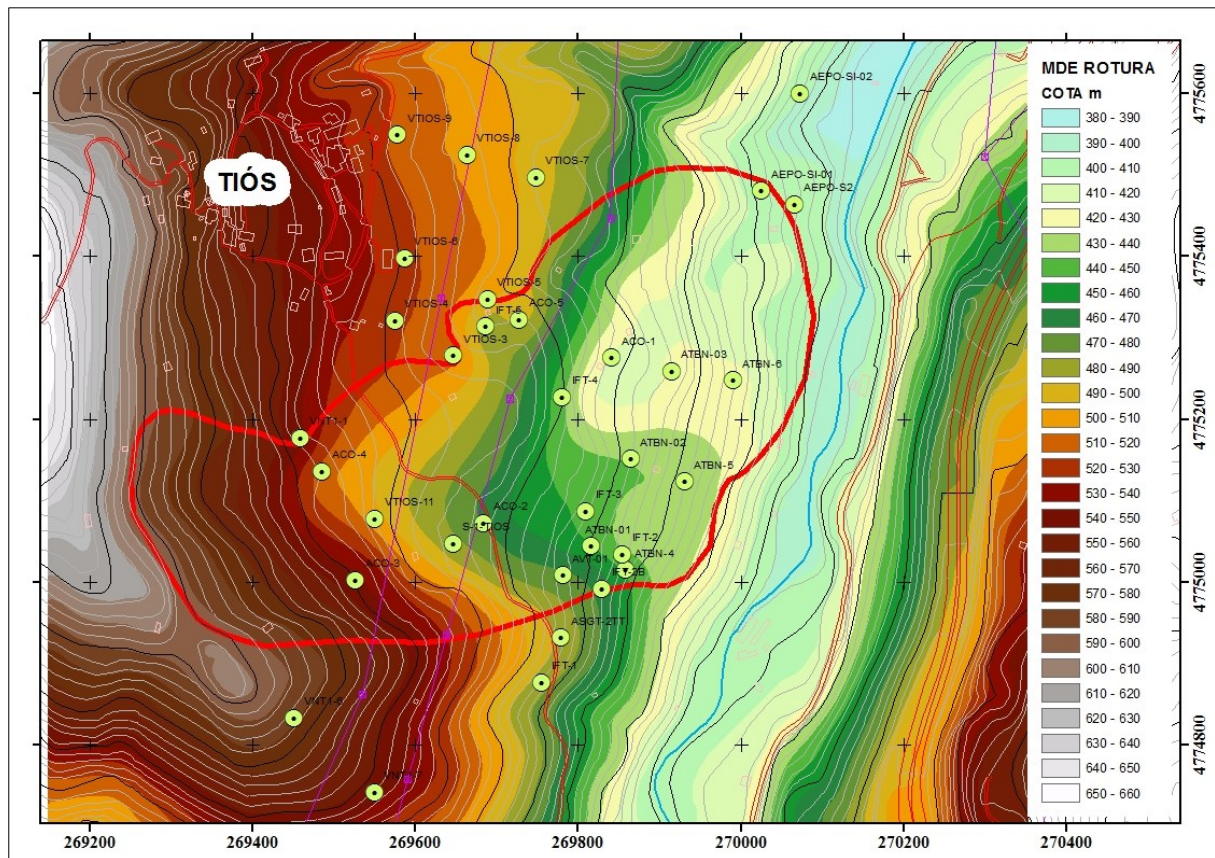


Figura 3-2. Superposición de curvas de nivel del terreno sobre modelo digital de la supuesta superficie de rotura. En rojo perímetro estimado de la superficie de rotura.

En la figura 3-2 se observa la existencia de una zona de vaguada sobre el modelo de la superficie de rotura, con una dirección O-E en la zona más occidental del área de estudio y girando a dirección SO-NE en la zona más oriental. Los límites de la superficie de rotura son claros en las zonas donde la información de los sondeos es mayor, pero están menos constreñidos en la zona norte y occidental. En la zona norte el límite estimado se define por las crestas de las laderas hasta las proximidades del arroyo de Tiós donde se localiza uno de los sondeos que no presentan desplazamiento (AEPO-S2). En la zona occidental, el supuesto límite se define siguiendo las líneas de cresta de las laderas, prolongando el perímetro de rotura hacia el oeste hasta el punto en el que las curvas de nivel del terreno se vuelven paralelas a las del modelo digital de la superficie de rotura. De esta manera –mediante este tratamiento informático- queda delimitada la zona a estudio, siendo el área en planta de la superficie de rotura de aproximadamente 282.675 m^2 , alcanzando el potencial volumen de materiales movilizado los $5.941.526 \text{ m}^3$.

Modelo de orientaciones.

En la figura 3-3 se representa el modelo de orientaciones con respecto al norte de los desplazamientos del terreno. Este modelo ha sido elaborado a partir de las direcciones de desplazamiento facilitadas en cada sondeo. Se observa que las direcciones representadas en cada caso tienden a dirigirse principalmente hacia las zonas donde se realizaron trabajos de desmote. En la figura 3-4 pueden observarse estos trabajos, identificando sobre la citada figura la zona de túnel y su boca norte, zona de desmote estabilizada mediante pantalla de pilotes y zona sur del viaducto.

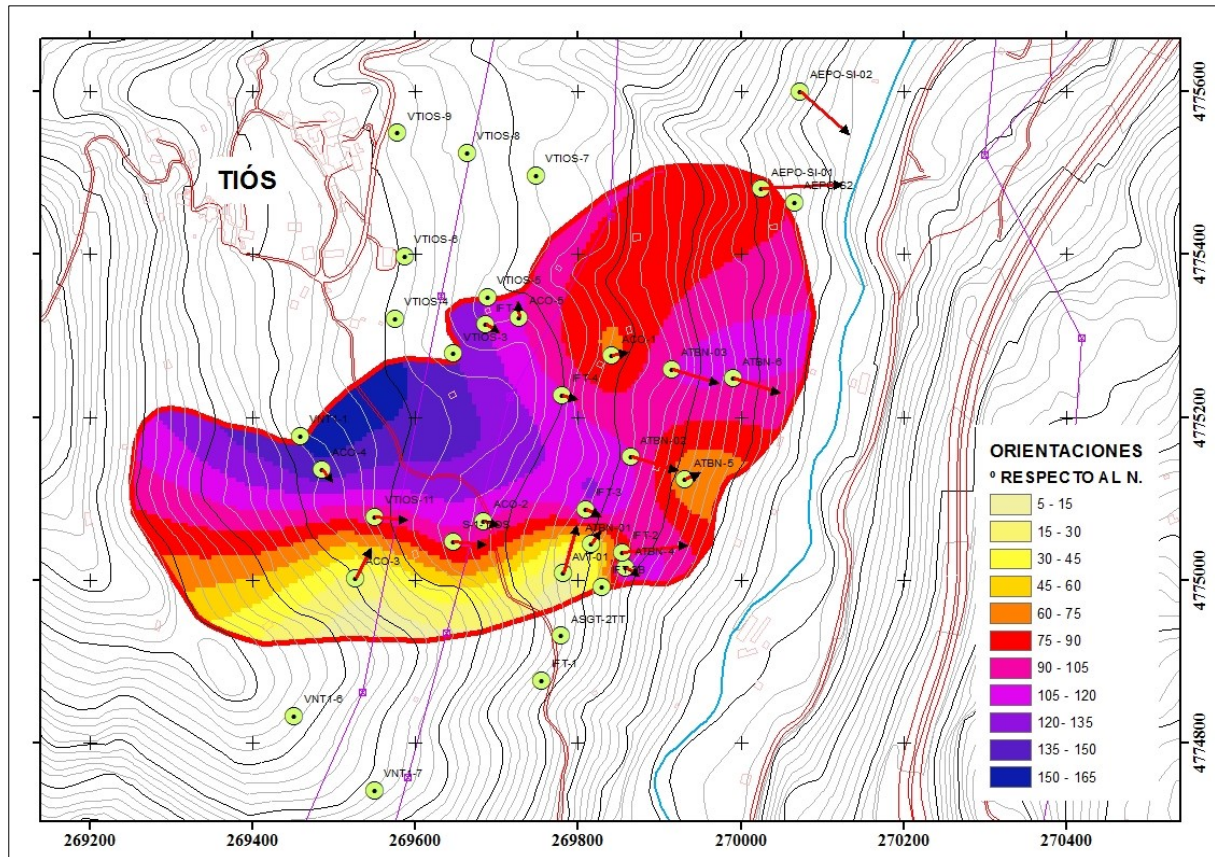


Figura 3-3. Orientaciones -con respecto al Norte- de las direcciones de desplazamiento del terreno en la potencial superficie de rotura.

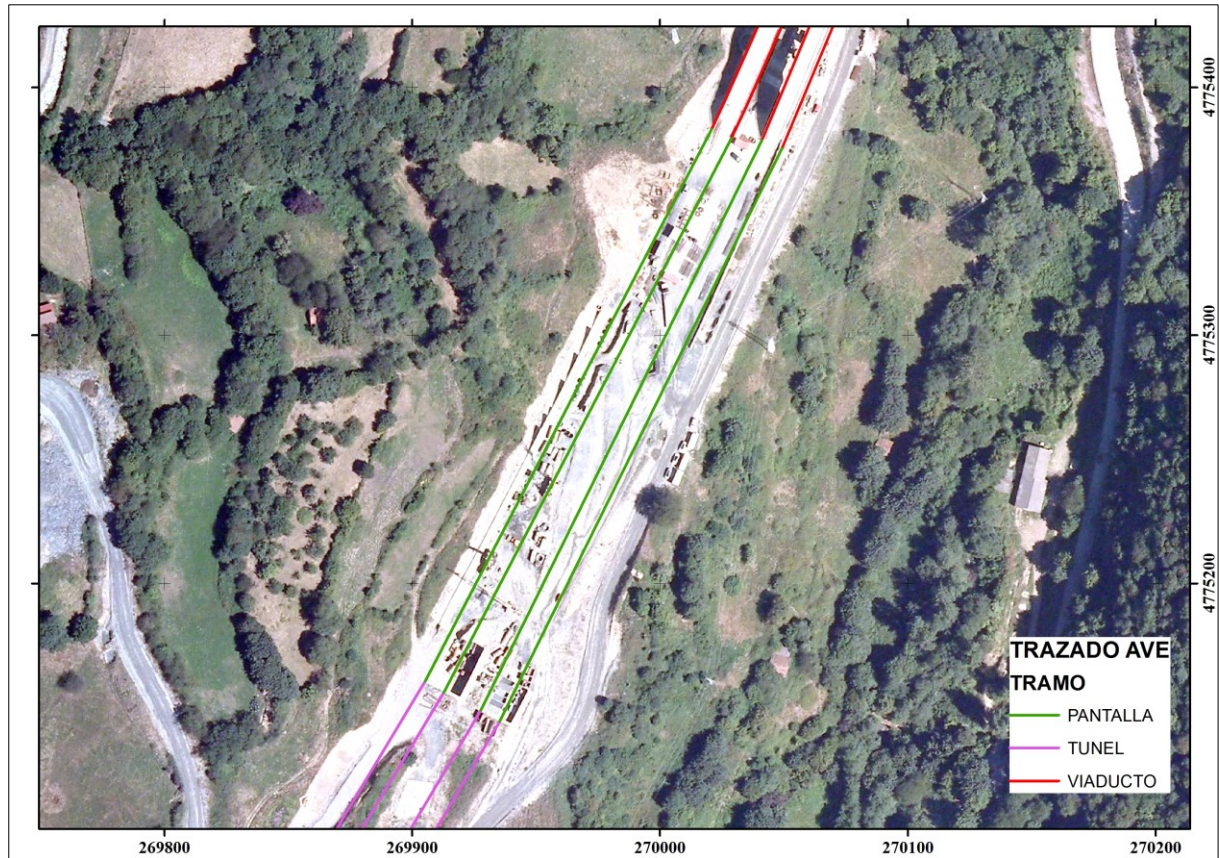


Figura 3-4. Ortofoto del trazado de la línea del AVE en el lugar donde se realizaron trabajos de desmonte. Identificación de zona de túnel, zona estabilizada por pantalla de pilotes y zona de viaducto.

Modelo de desplazamientos del terreno.

Otra de las modelizaciones realizadas ha sido la de los desplazamientos del terreno durante todo el periodo de estudio. Como se puede observar en la figura 3-5, en ningún caso este desplazamiento supera los 100 mm y las zonas donde el desplazamiento se aproxima más a esta magnitud se concentran en las proximidades del trazado de la línea del AVE principalmente (donde se realizaron trabajos de desmonte de la plataforma y vías auxiliares). El desplazamiento disminuye de magnitud según se asciende de cota en el terreno y al aproximarse a la localidad de Tiós, donde pasa a ser prácticamente nulo.

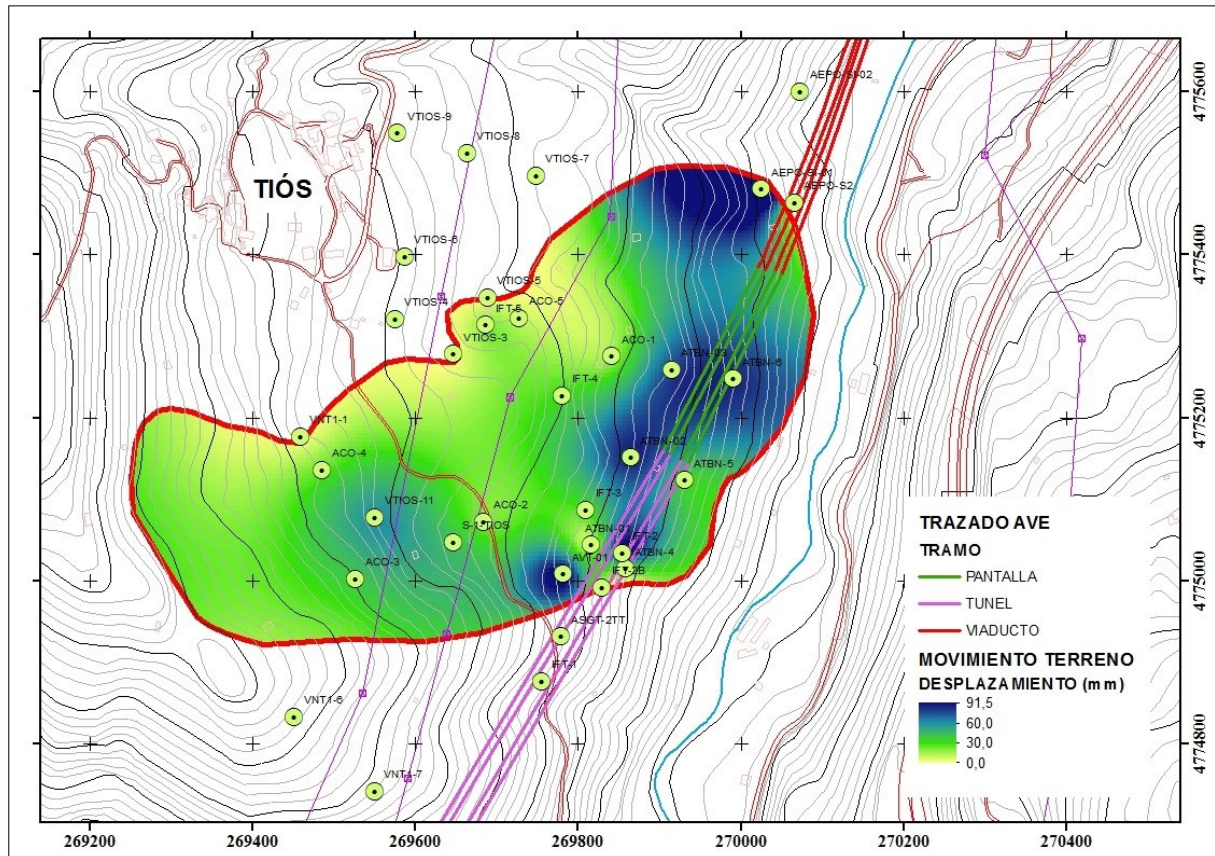


Figura 3-5. Desplazamientos del terreno y localización del trazado de la línea del AVE.

Desplazamiento mensual medio.

En la figura 3-6, a partir de la velocidad media mensual a la que se movió cada inclinómetro durante su propio periodo de estudio, se ha realizado una extrapolación a todos los puntos del recinto seleccionado. El modelo permite, por tanto, observar las velocidades medias mensuales a las que se desplazó cada punto del terreno. Se aprecia que, en la mayoría de los casos, estos desplazamientos medios mensuales son inferiores a la precisión de los aparatos de medida. En ninguno de los casos hubo un desplazamiento medio mensual superior a 10 mm. Se debe tener en cuenta que el error medio en las lecturas inclinométricas en cada uno de los sondeos es de ± 12 mm, por lo que se encuentra por encima de los valores de desplazamientos mensuales medios calculados.

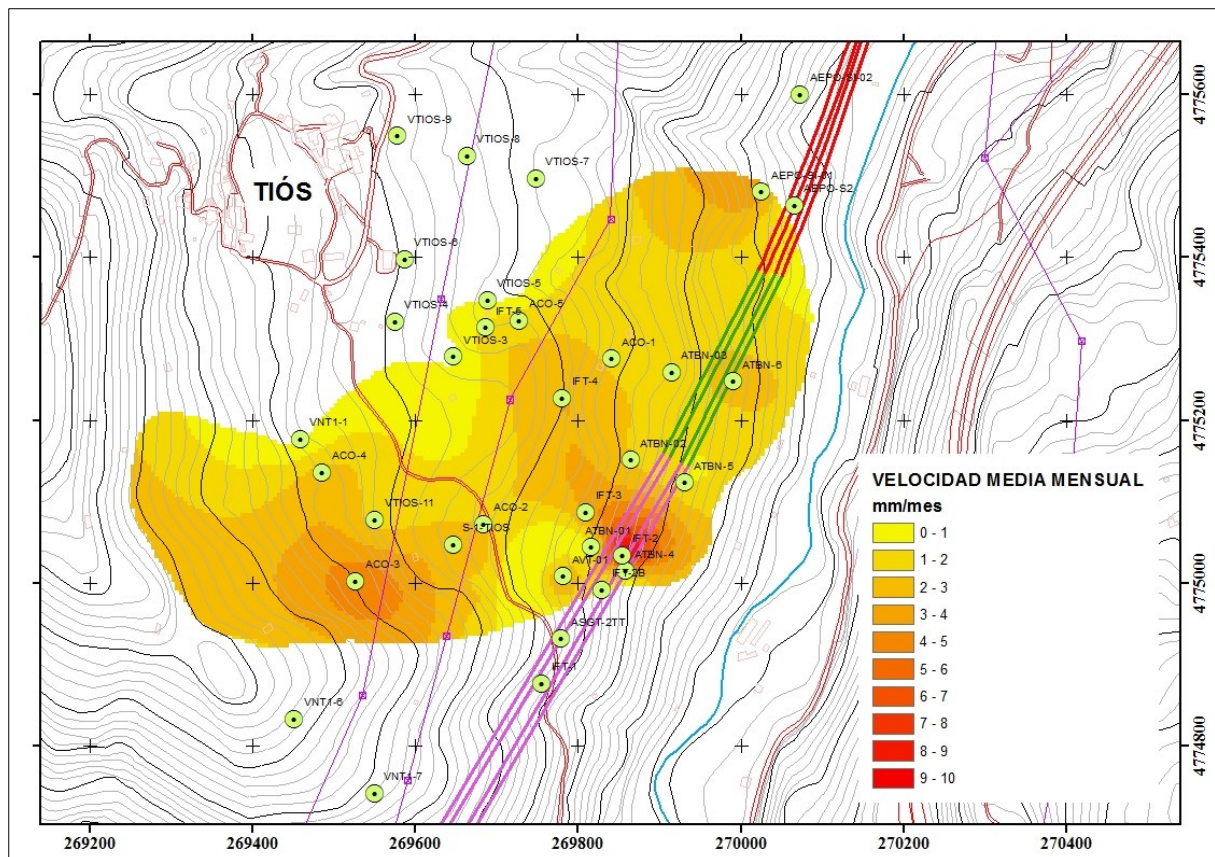


Figura 3-6. Modelo de desplazamiento mensual medio del terreno.

Desplazamientos mensuales y desplazamientos acumulados.

En la figura 3-7 se representa el desplazamiento durante el mes de diciembre de 2009, último mes del que se dispone de datos inclinométricos. En la figura se observa desplazamientos de entre 0 y más de 10 mm, que se concentran en los sondeos VTIOS-11 y IFT-4, en que los desplazamientos alcanzan la mayor magnitud. En la zona de pantalla los desplazamientos durante este último mes no sobrepasan en ningún caso los 5 mm.

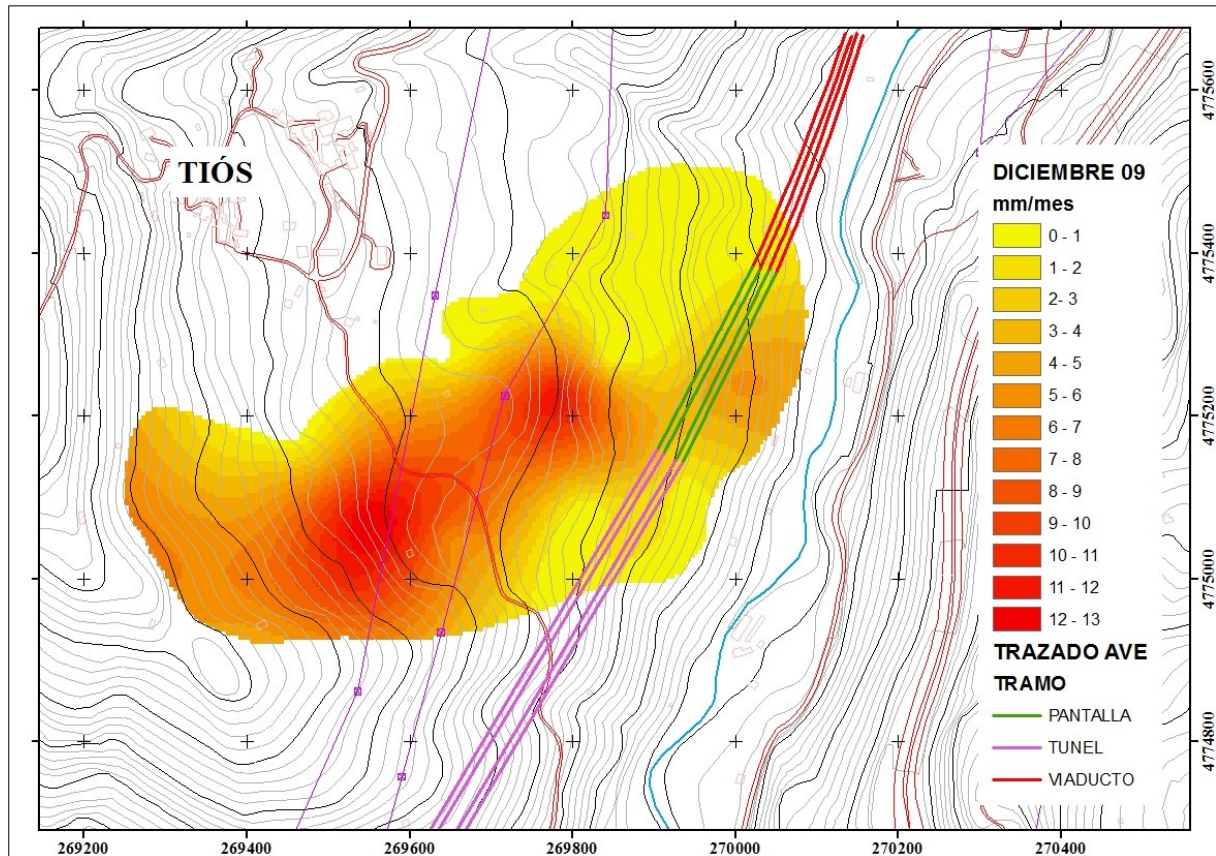


Figura 3-7. Velocidad de desplazamiento del terreno diciembre 2009.

Los modelos representados en las figuras 3-8 a 3-34 permiten analizar los movimientos del terreno en el tiempo, representando los desplazamientos mensuales y desplazamientos acumulados en el área de estudio. Con ellos, y conociendo la evolución y desarrollo de la obra, se pueden relacionar las diferentes fases constructivas y los posibles desplazamientos, muy interesante a la hora de establecer posibles relaciones de causa y efecto. La variación mensual en las lecturas no suele sobrepasar los 10 – 15 mm, salvo en dos situaciones, AVT-01 en abril de 2009 y IFT-2 en octubre de 2009, en los que se sobrepasaron los 30 mm/mes.

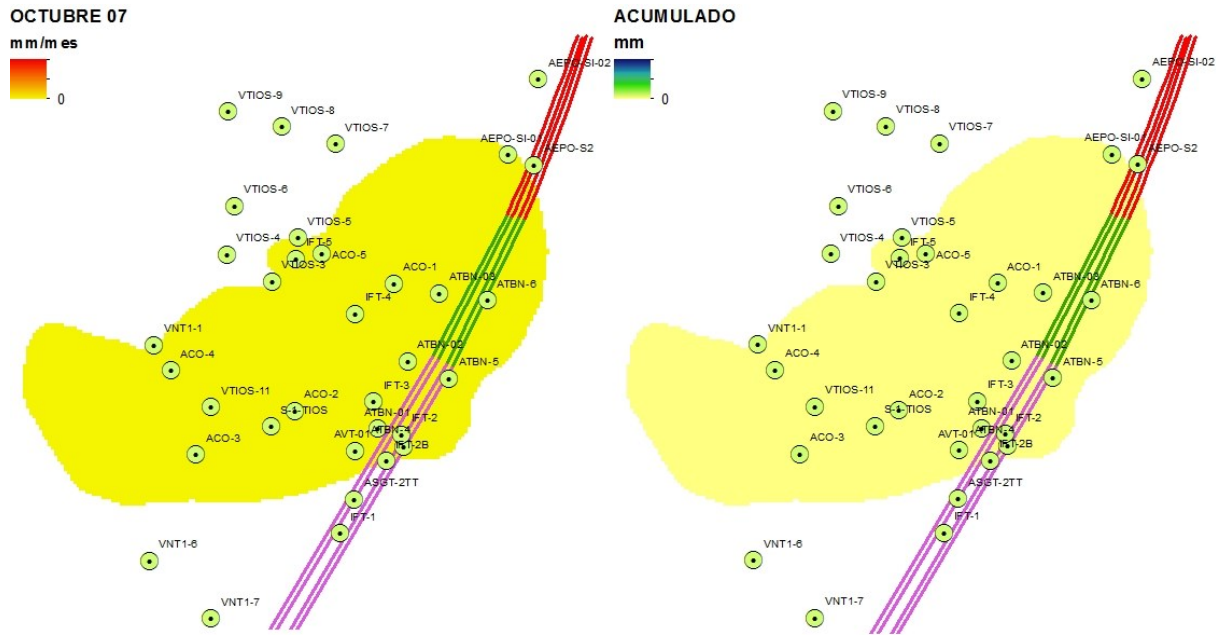


Figura 3-8. Desplazamientos del terreno en octubre de 2007 y desplazamientos acumulados.

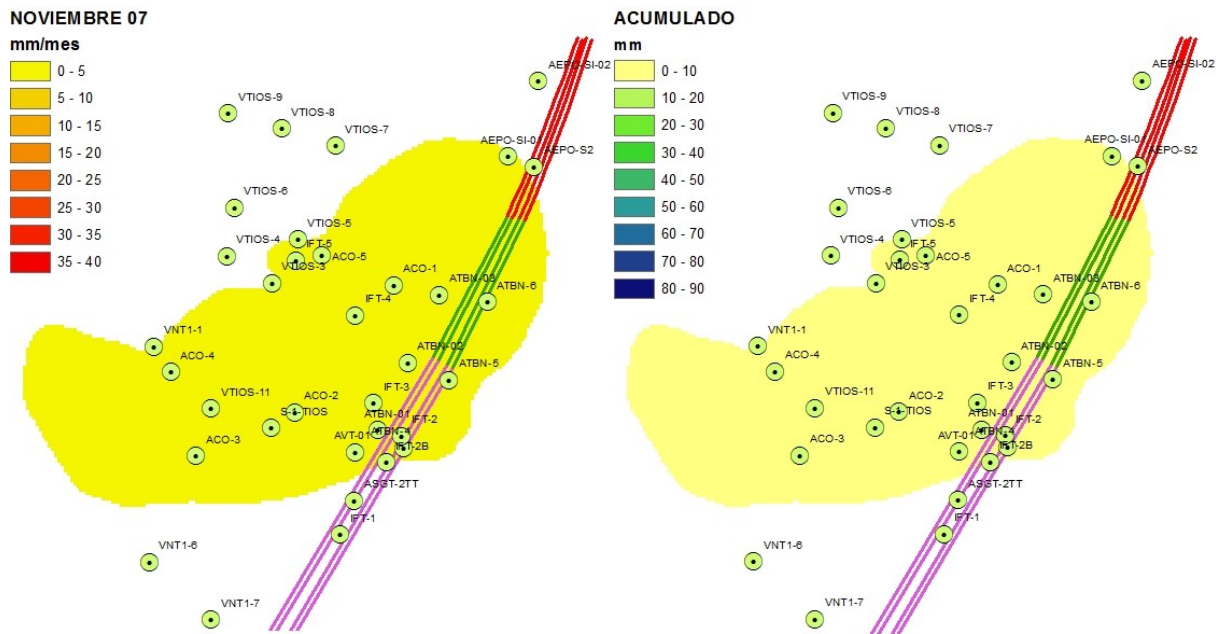


Figura 3-9. Desplazamientos del terreno en noviembre de 2007 y desplazamientos acumulados.

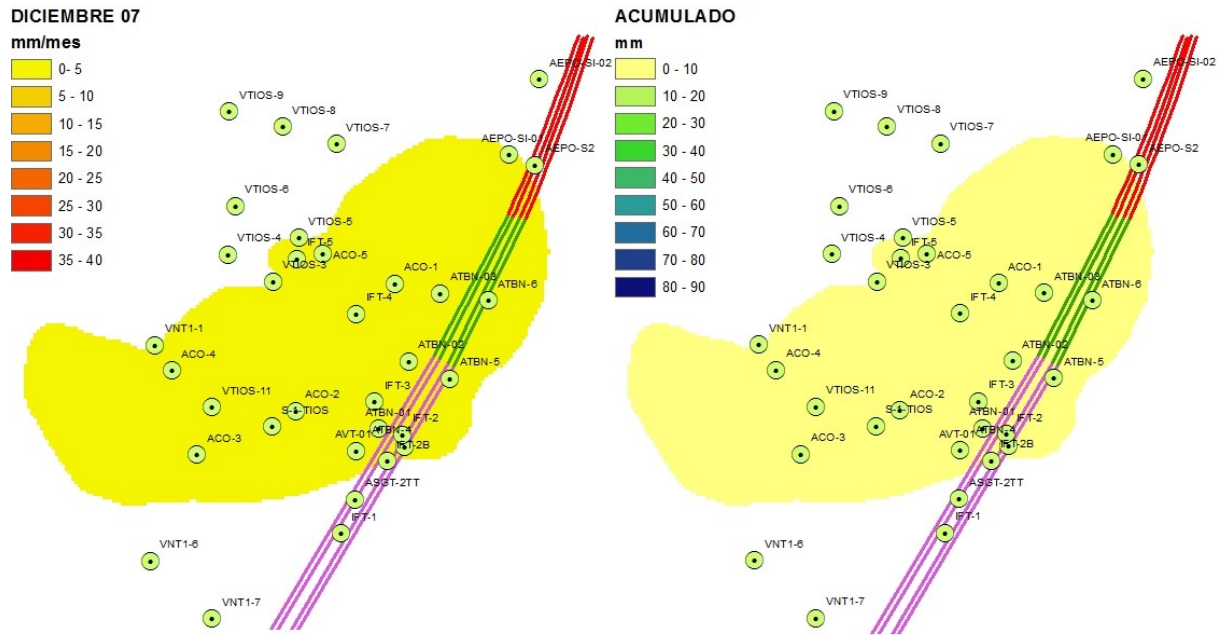


Figura 3-10. Desplazamientos del terreno en diciembre de 2007 y desplazamientos acumulados.

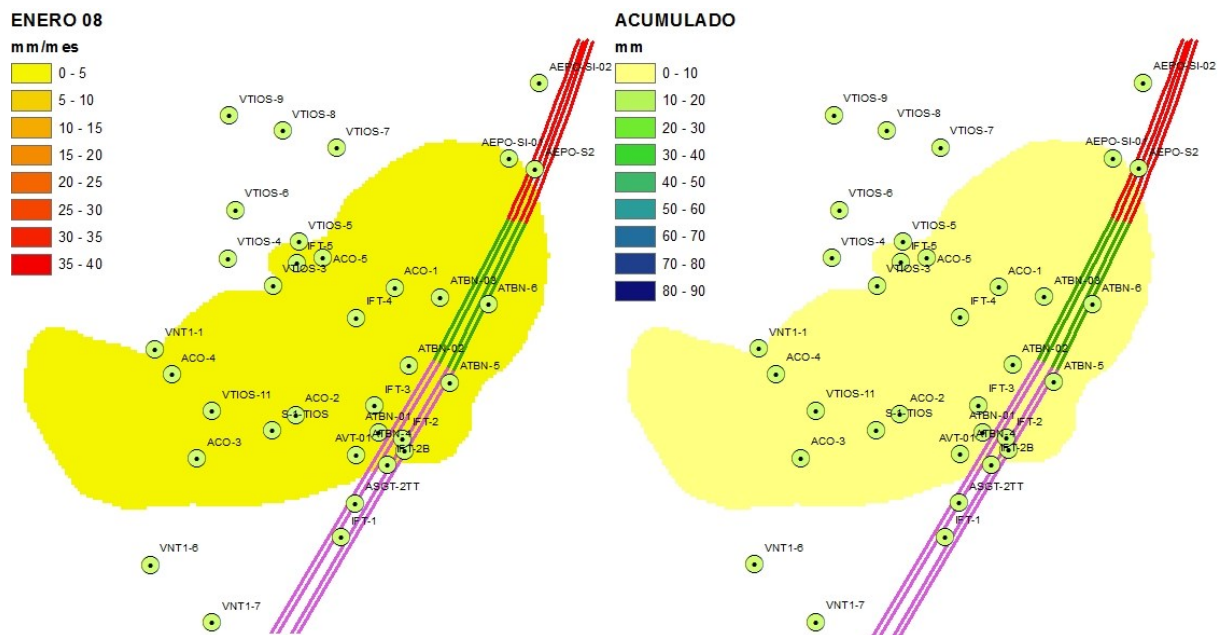


Figura 3-11. Desplazamientos del terreno en enero de 2008 y desplazamientos acumulados.

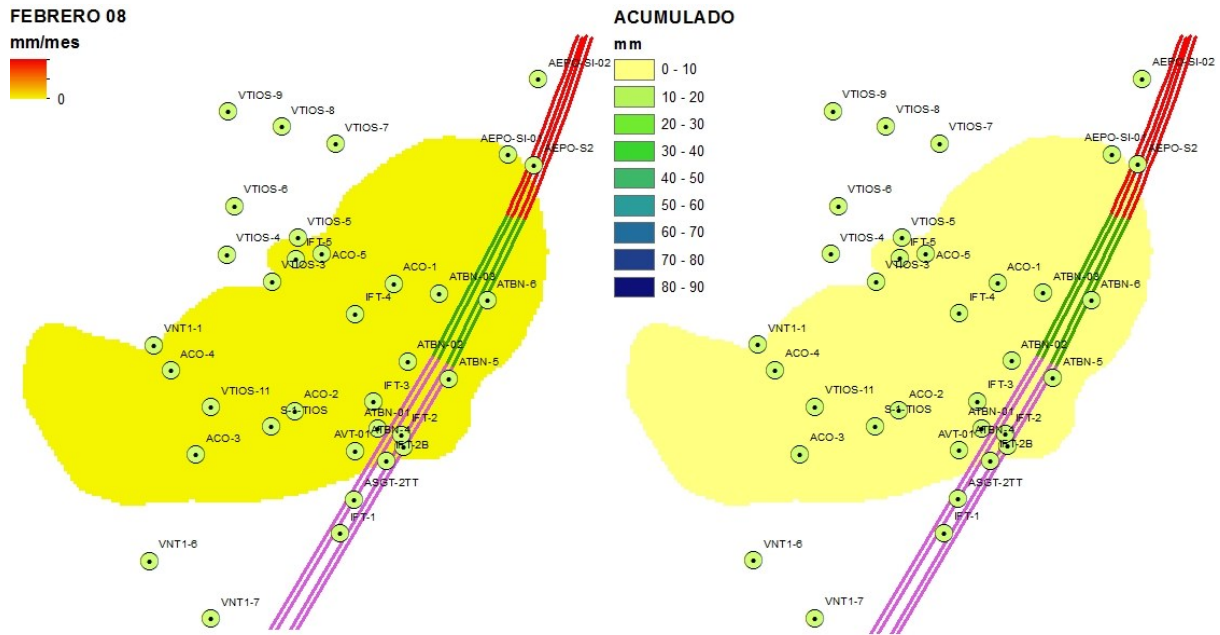


Figura 3-12. Desplazamientos del terreno en febrero de 2008 y desplazamientos acumulados.

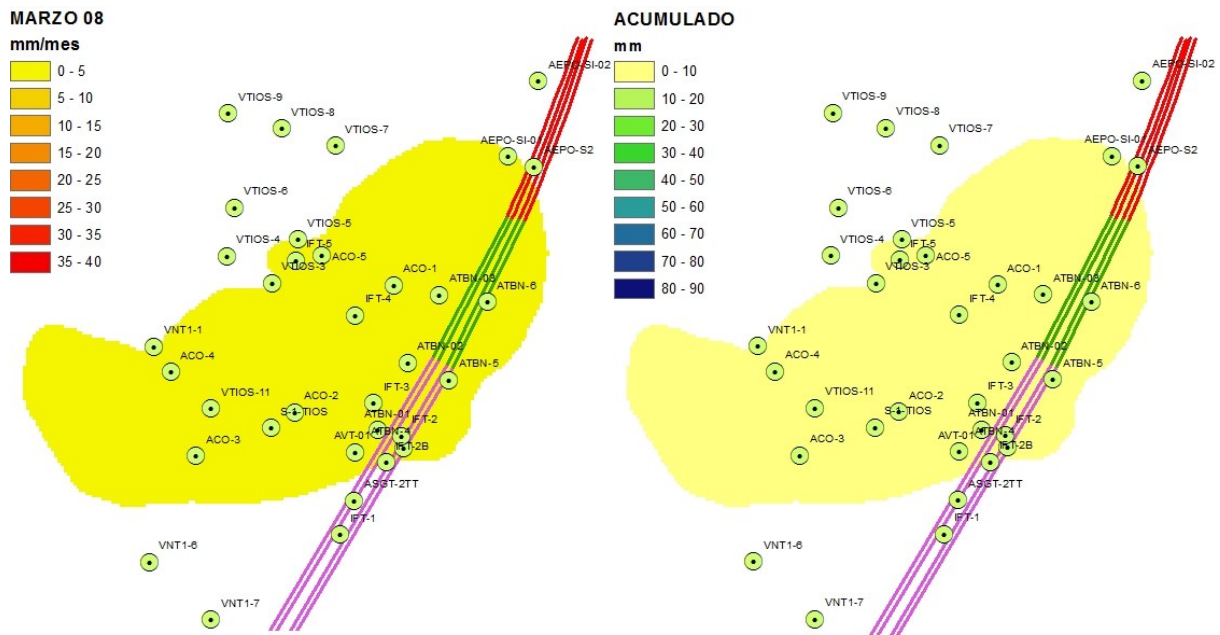


Figura 3-13 Desplazamientos del terreno en marzo de 2008 y desplazamientos acumulados.

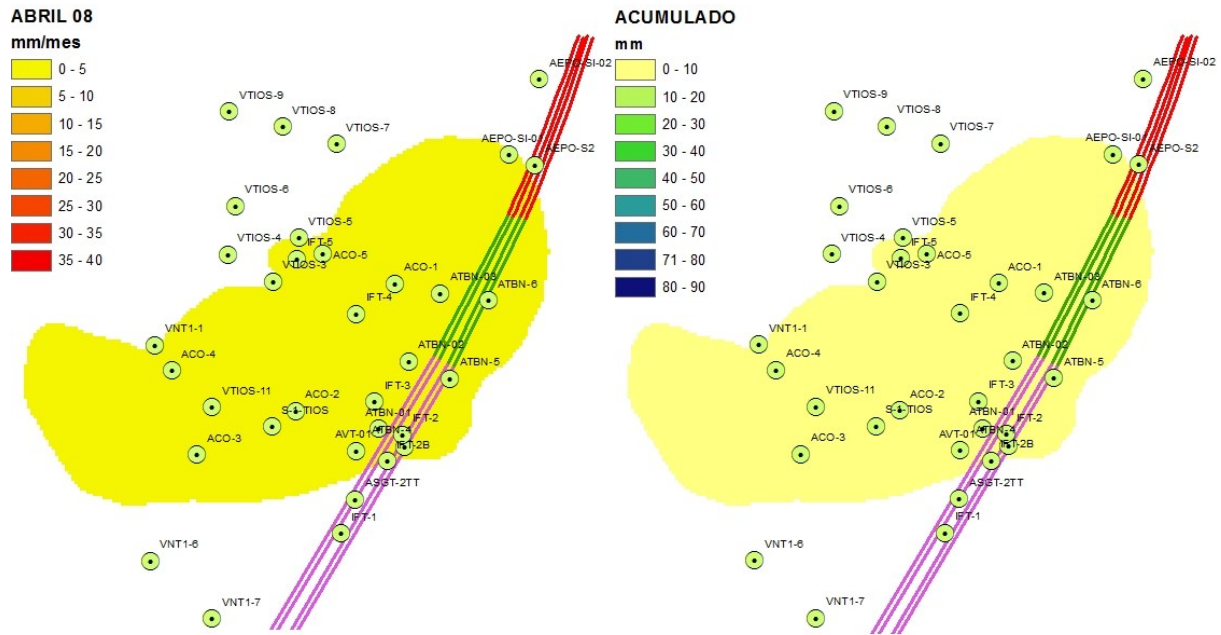


Figura 3-14. Desplazamientos del terreno en abril de 2008 y desplazamientos acumulados.

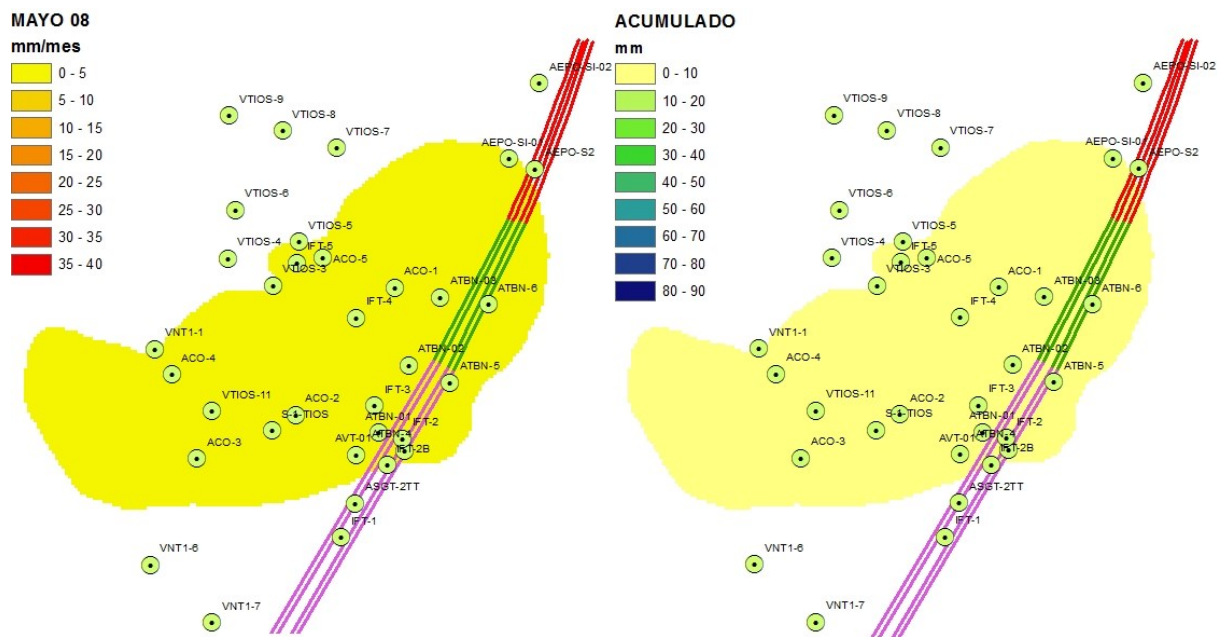


Figura 3-15. Desplazamientos del terreno en mayo de 2008 y desplazamientos acumulados.

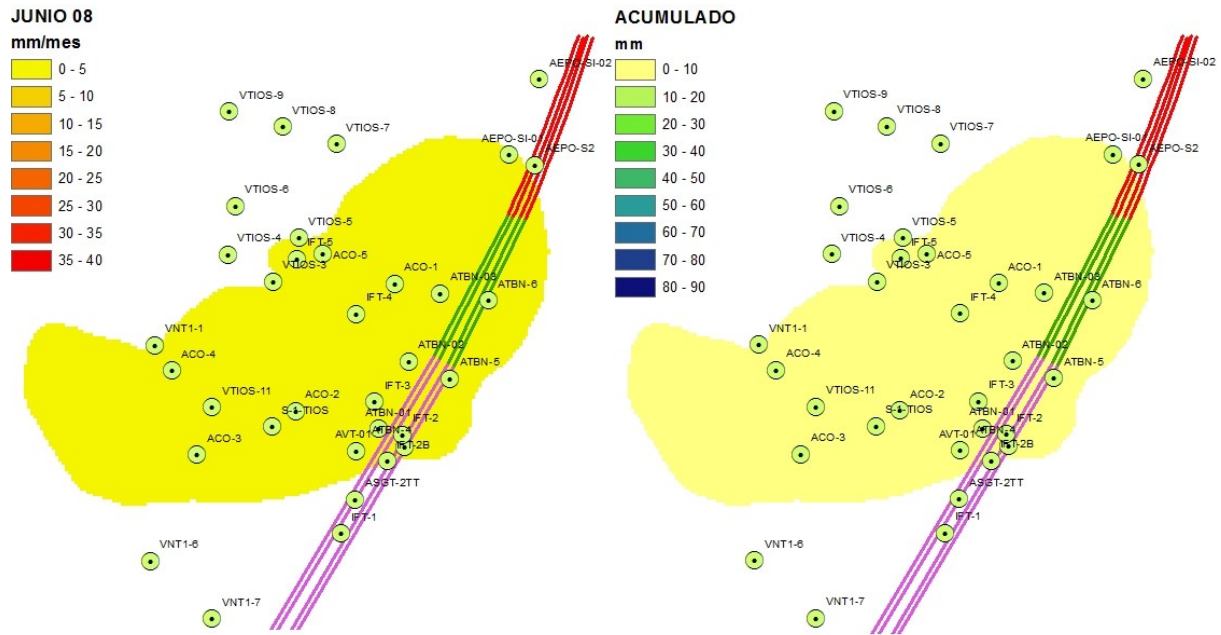


Figura 3-16. Desplazamientos del terreno en junio de 2008 y desplazamientos acumulados.

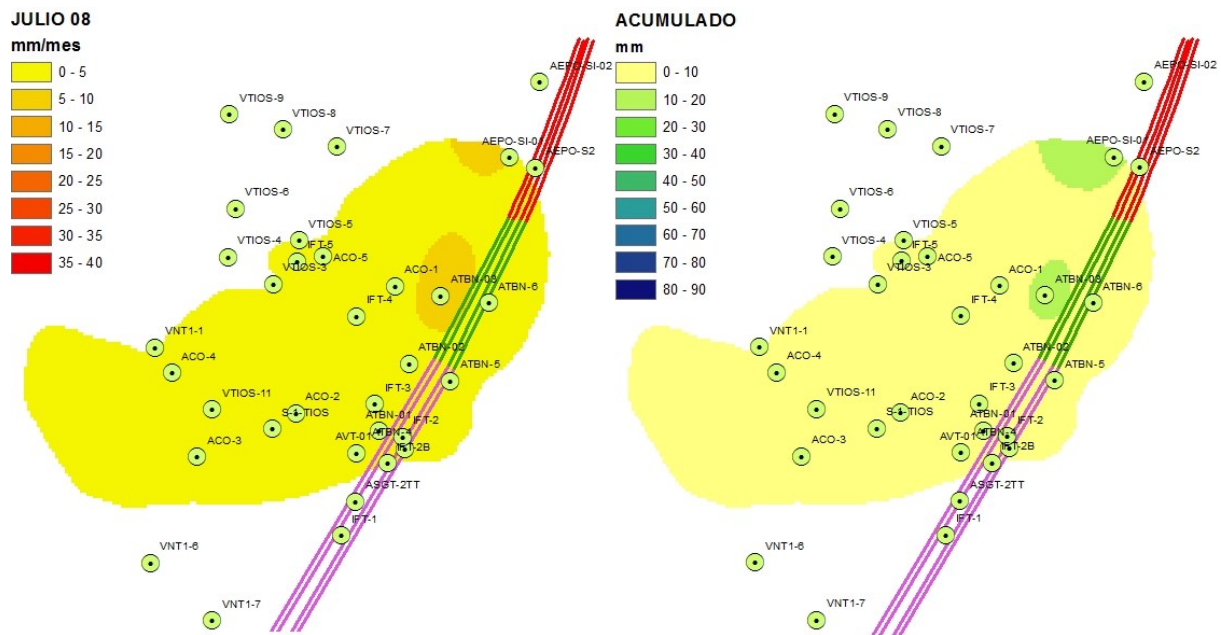


Figura 3-17. Desplazamientos del terreno en julio de 2008 y desplazamientos acumulados.

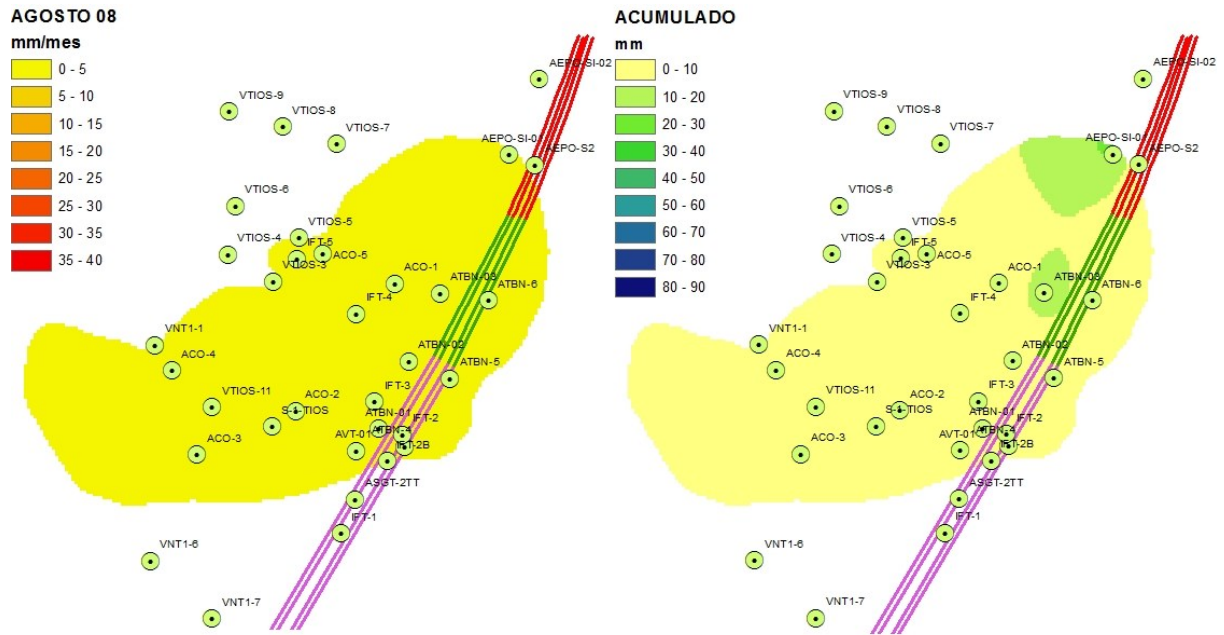


Figura 3-18. Desplazamientos del terreno en agosto de 2008 y desplazamientos acumulados.

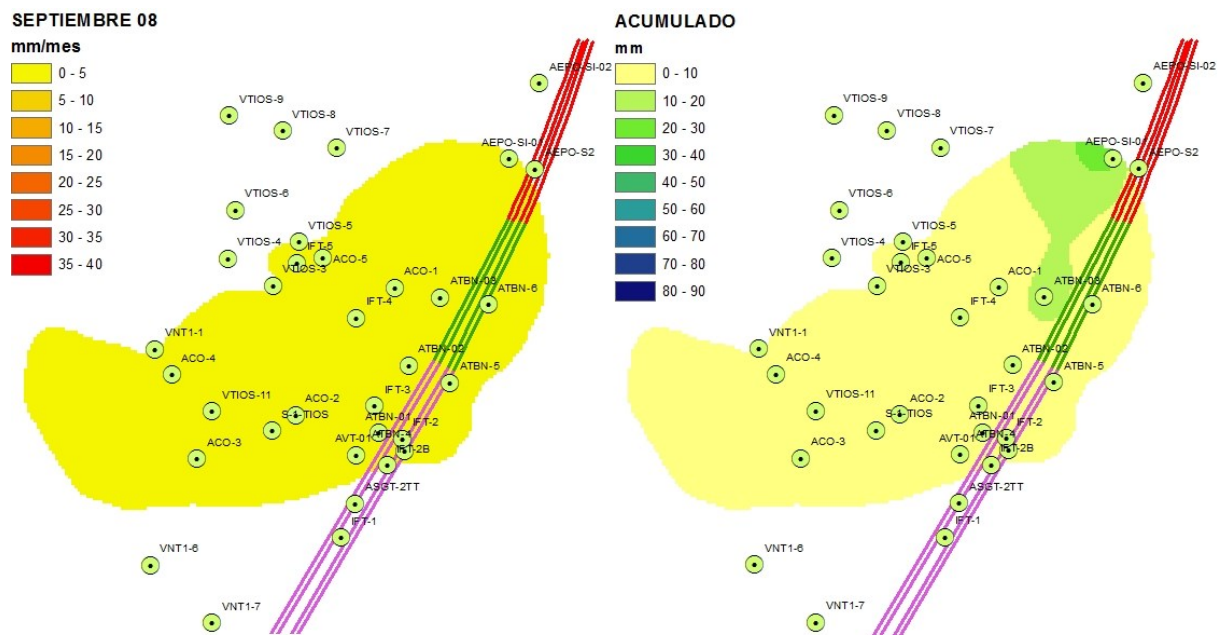


Figura 3-19. Desplazamientos del terreno en septiembre de 2008 y desplazamientos acumulados.

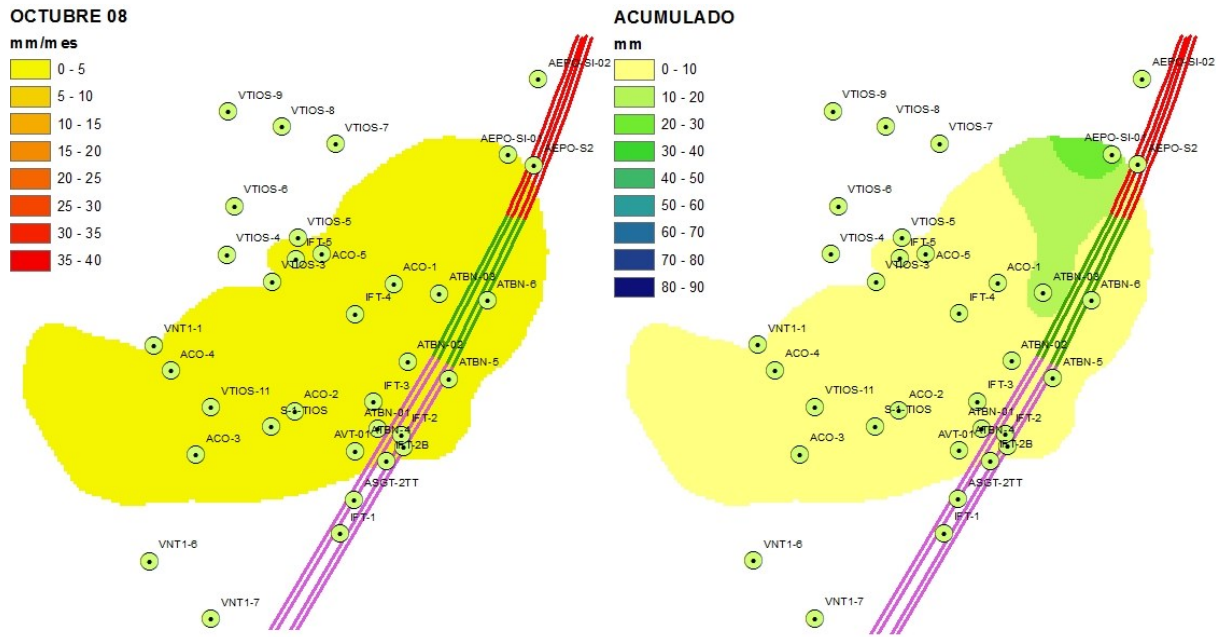


Figura 3-20. Desplazamientos del terreno en octubre de 2008 y desplazamientos acumulados.

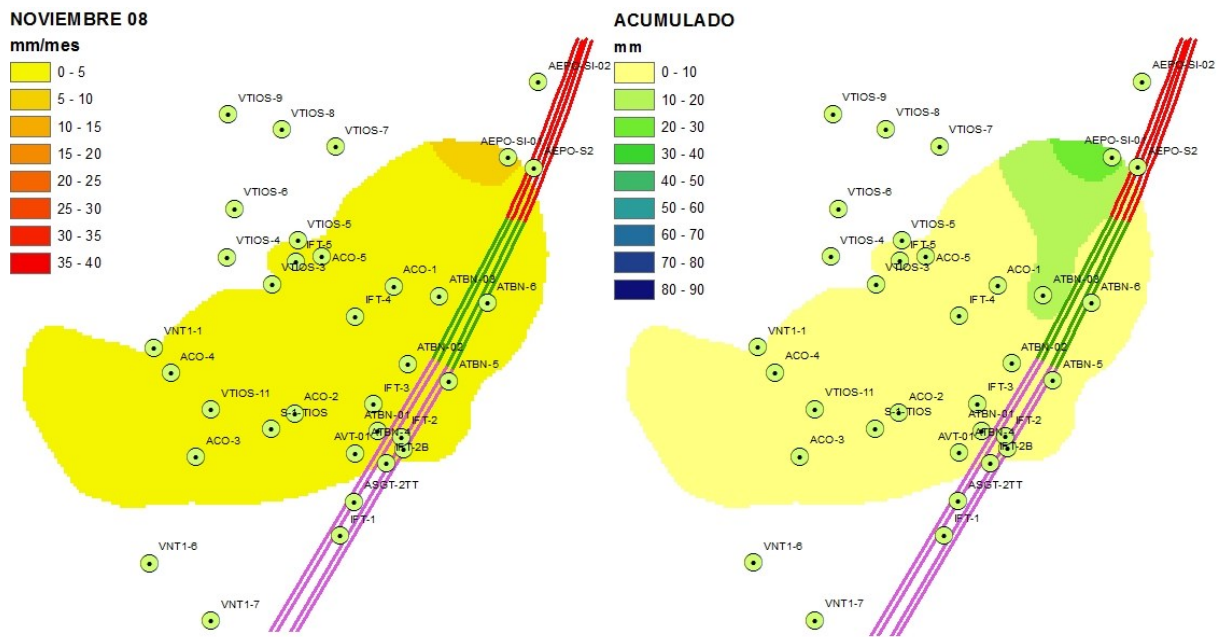


Figura 3-21. Desplazamientos del terreno en noviembre de 2008 y desplazamientos acumulados.

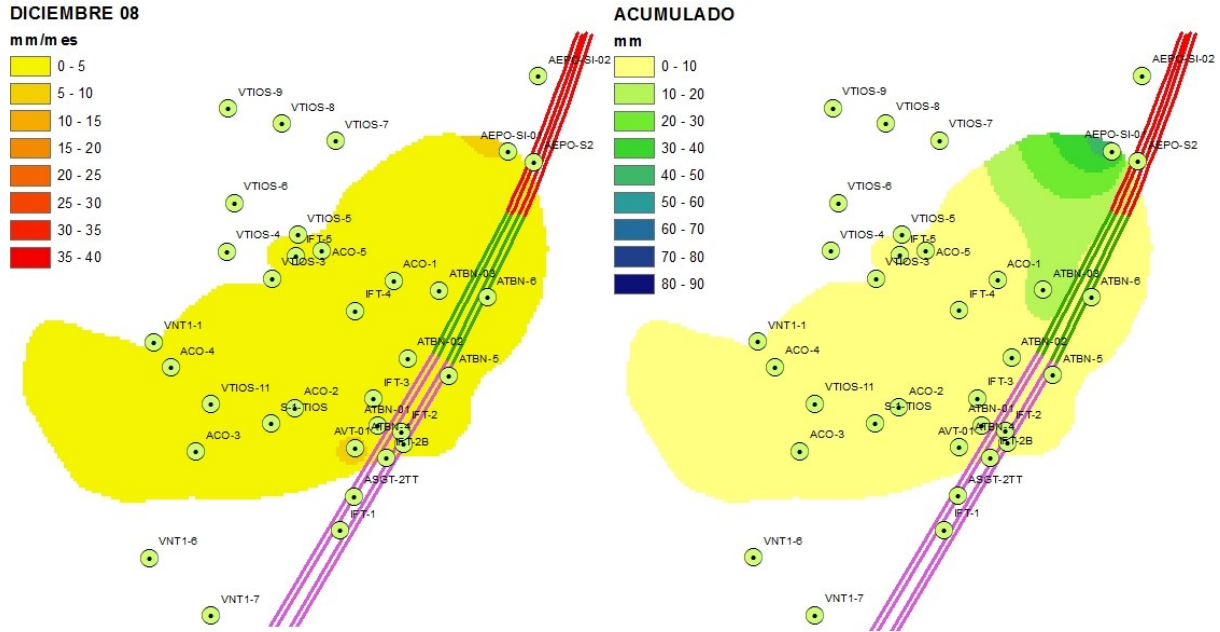


Figura 3-22. Desplazamientos del terreno en diciembre de 2008 y desplazamientos acumulados.

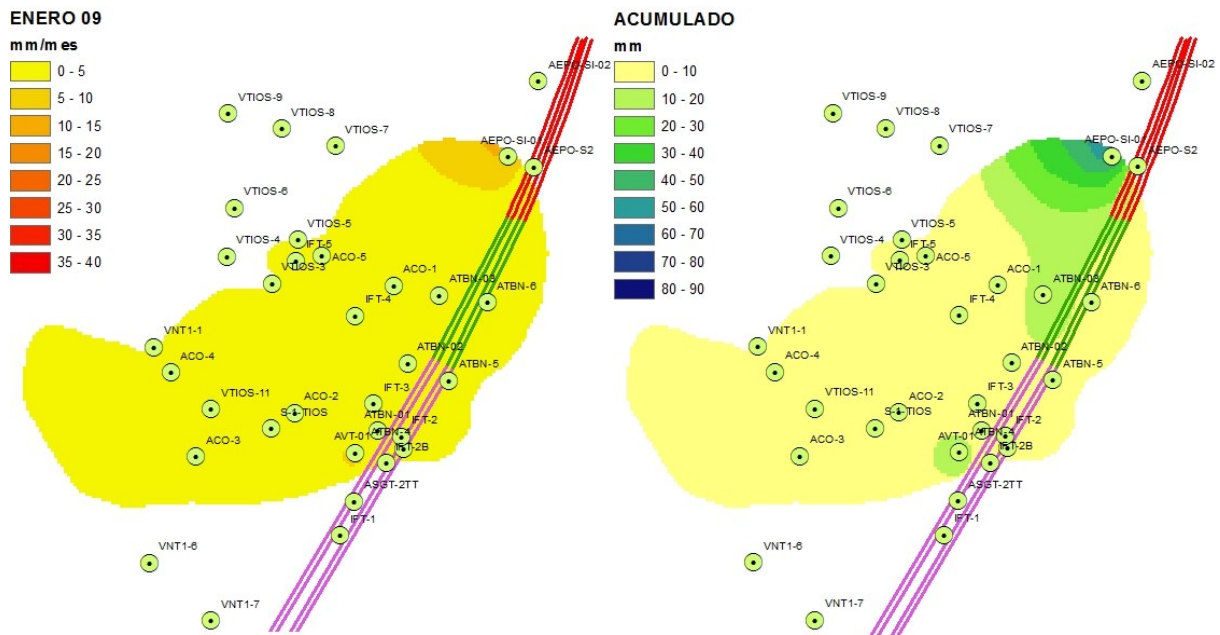


Figura 3-23. Desplazamientos del terreno en enero de 2009 y desplazamientos acumulados.

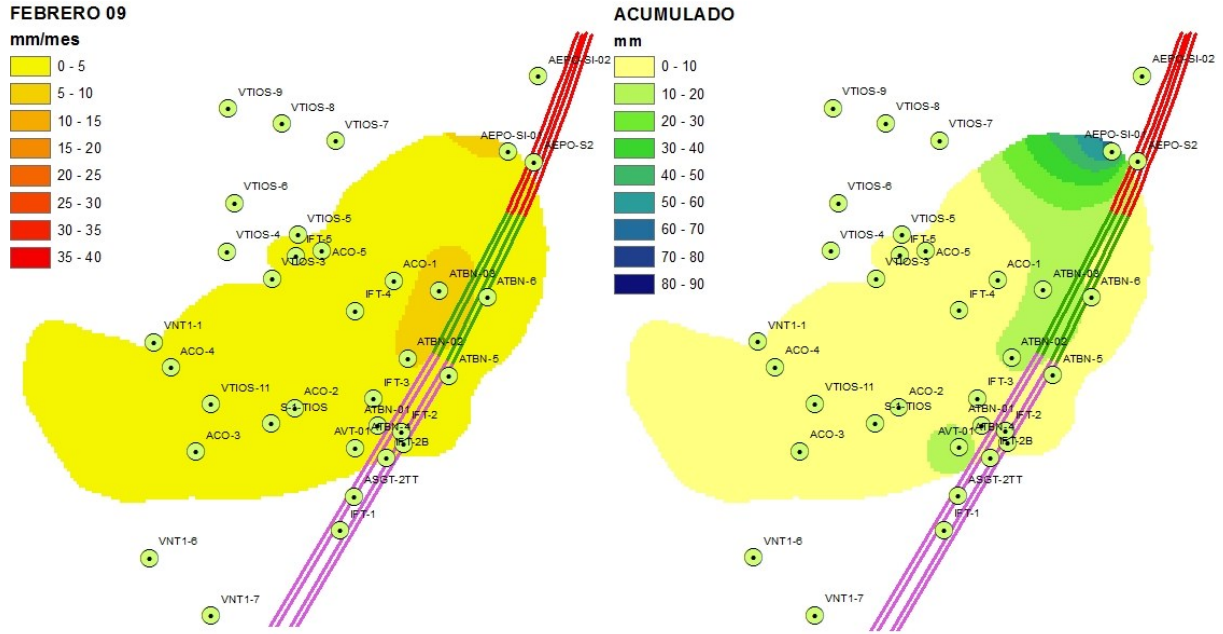


Figura 3-24. Desplazamientos del terreno en febrero de 2009 y desplazamientos acumulados.

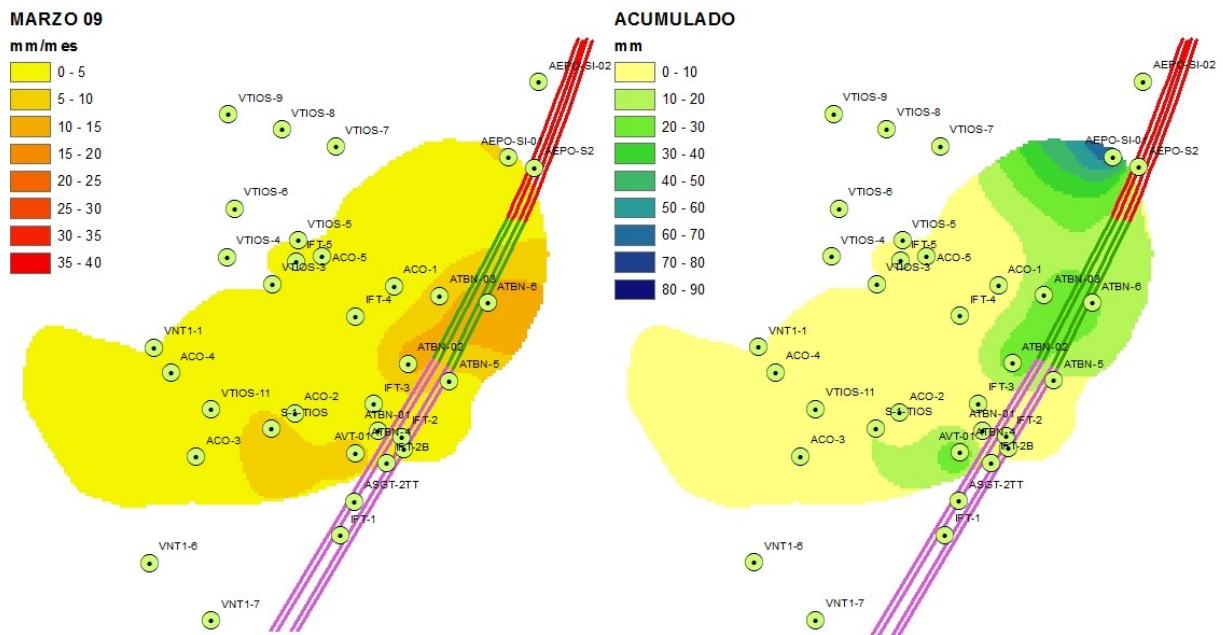


Figura 3-25. Desplazamientos del terreno en marzo de 2009 y desplazamientos acumulados.

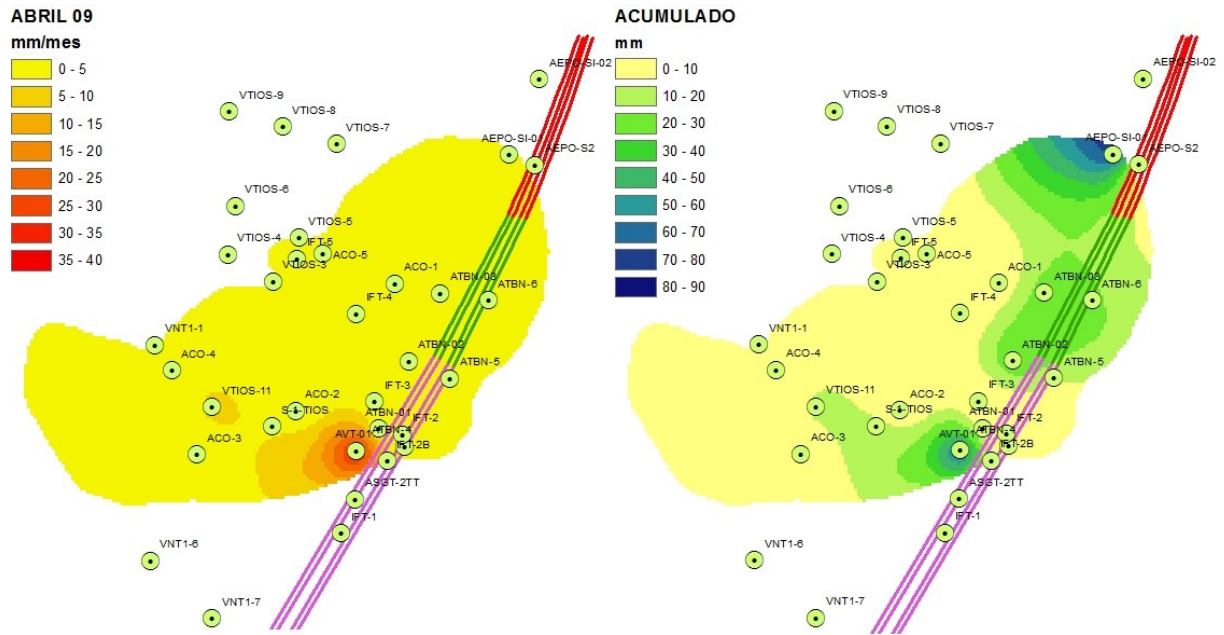


Figura 3-26. Desplazamientos del terreno en abril de 2009 y desplazamientos acumulados.

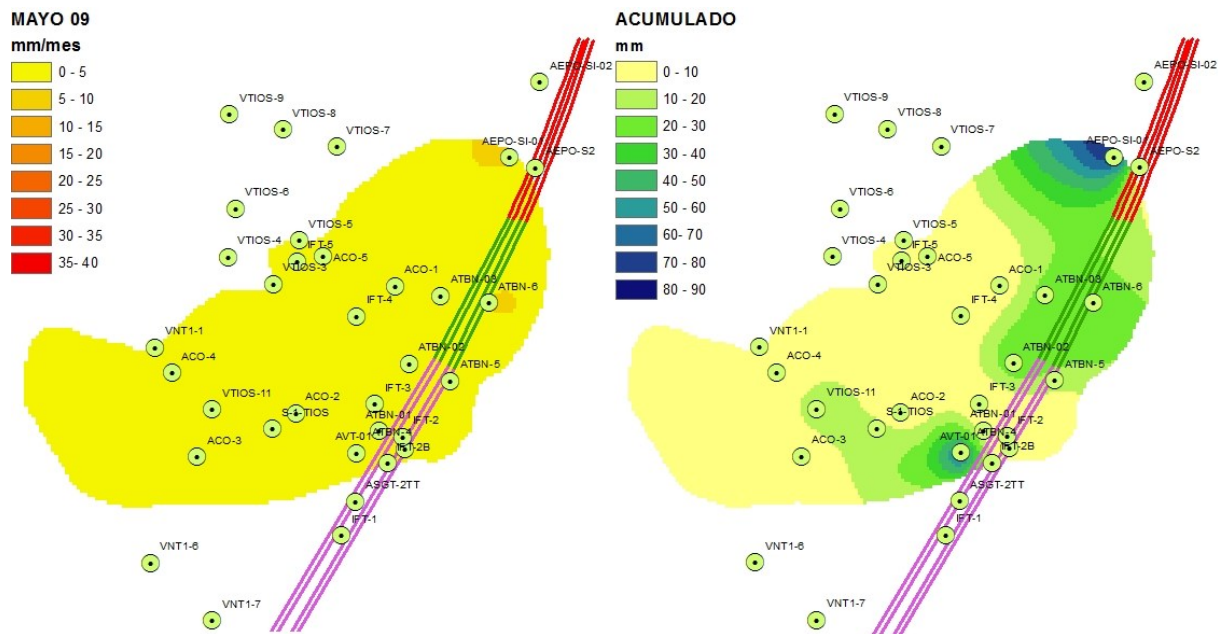


Figura 3-27. Desplazamientos del terreno en mayo de 2009 y desplazamientos acumulados.

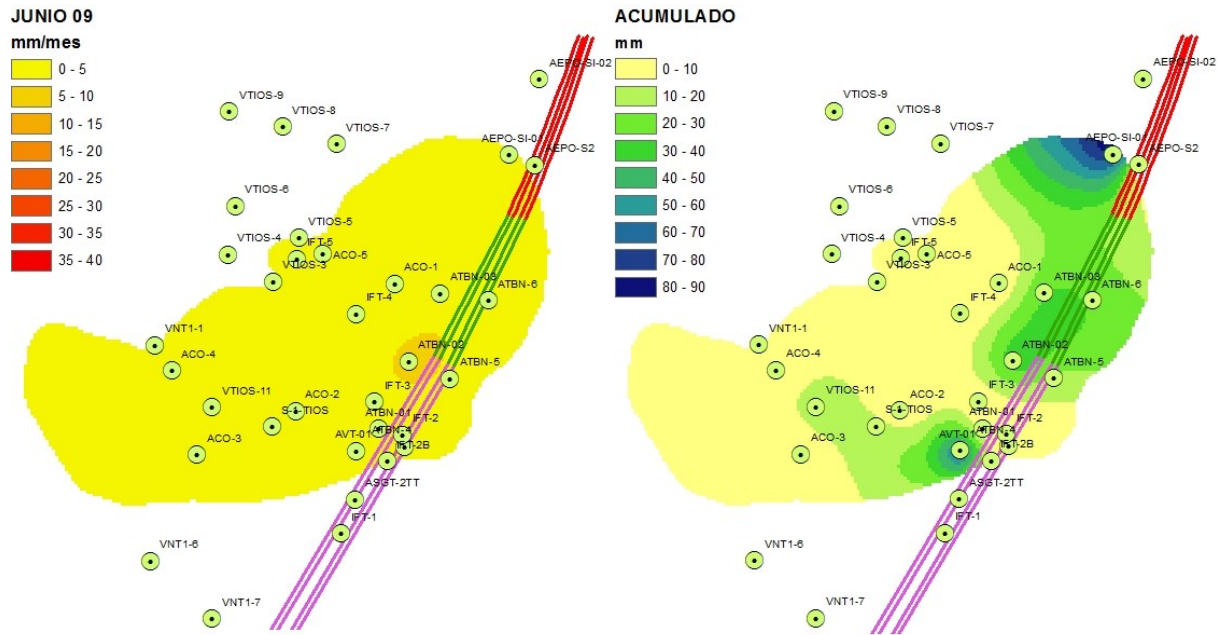


Figura 3-28. Desplazamientos del terreno en junio de 2009 y desplazamientos acumulados.

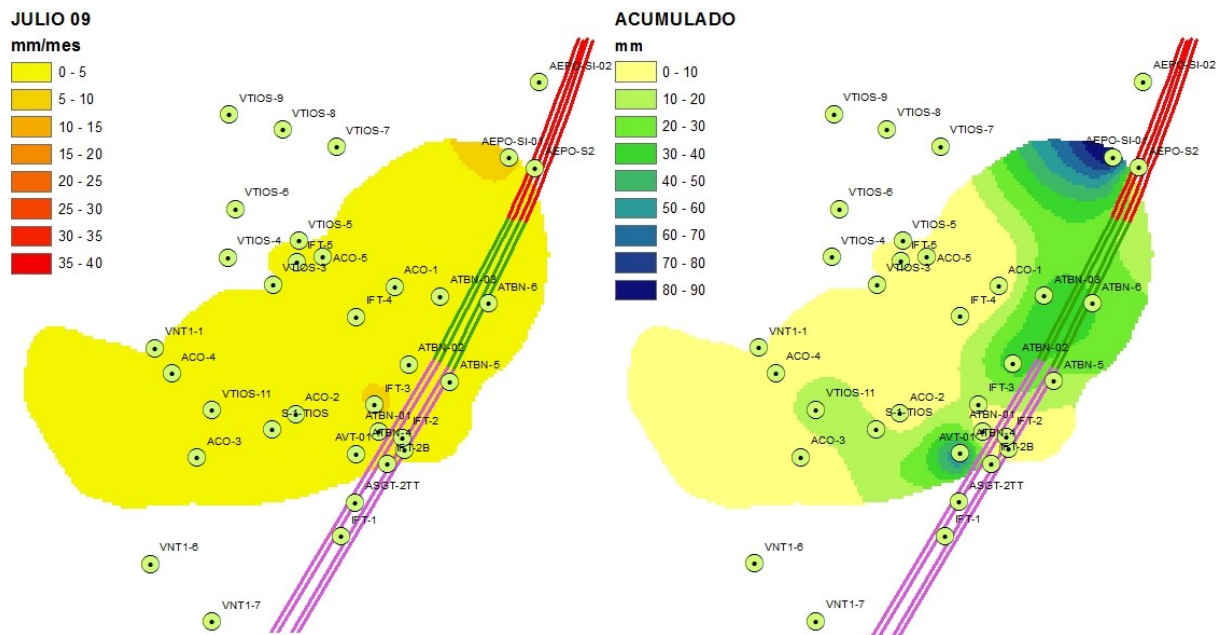


Figura 3-29. Desplazamientos del terreno en junio de 2009 y desplazamientos acumulados.

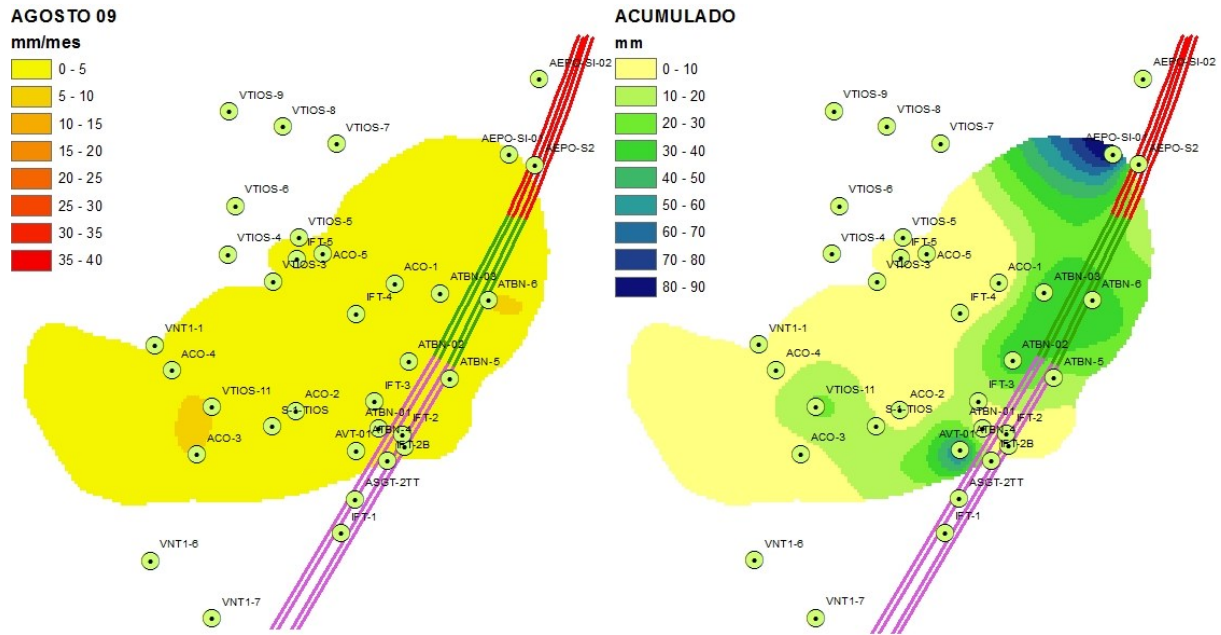


Figura 3-30. Desplazamientos del terreno en agosto de 2009 y desplazamientos acumulados.

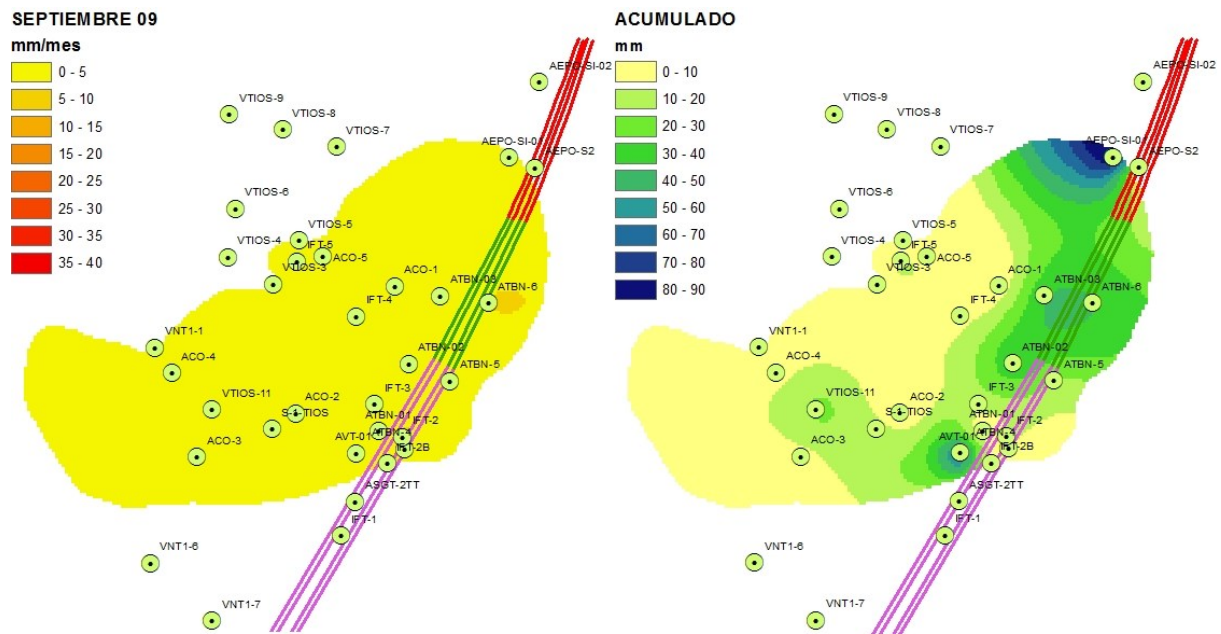


Figura 3-31. Desplazamientos del terreno en septiembre de 2009 y desplazamientos acumulados.

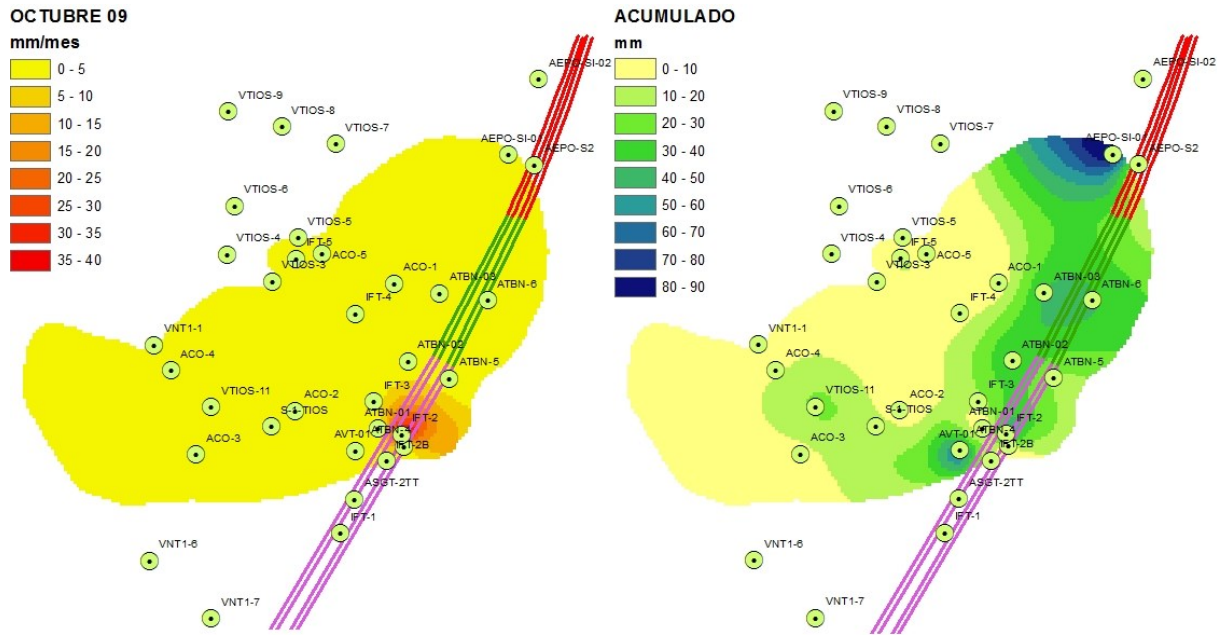


Figura 3-32. Desplazamientos del terreno en octubre de 2009 y desplazamientos acumulados.

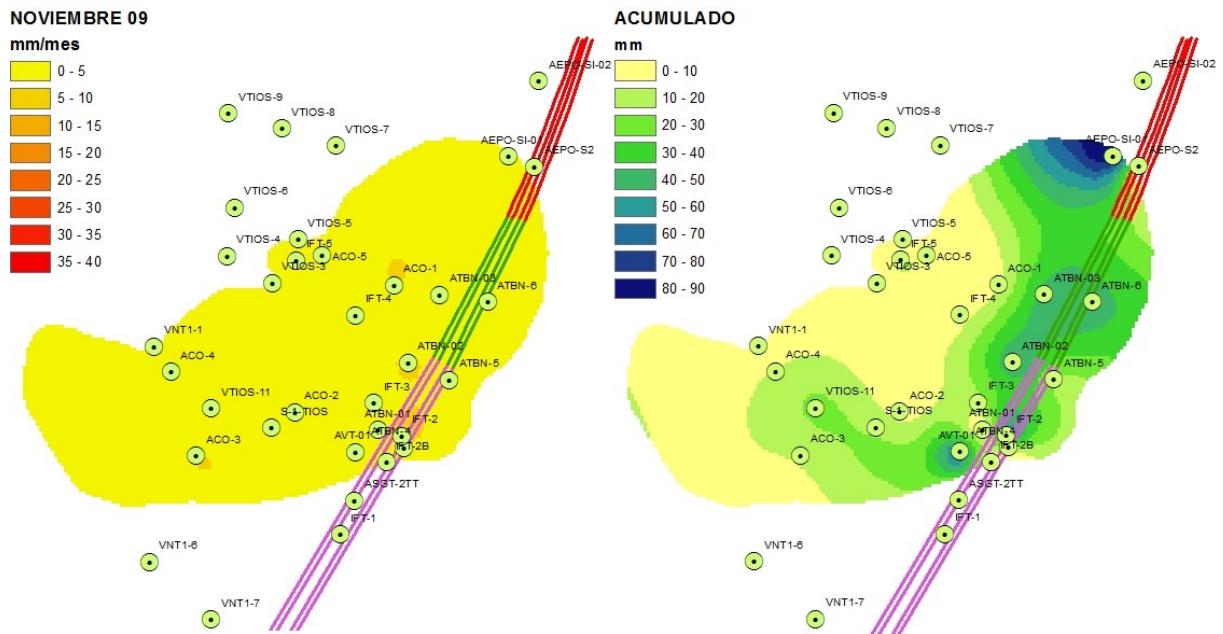


Figura 3-33. Desplazamientos del terreno en noviembre de 2009 y desplazamientos acumulados.

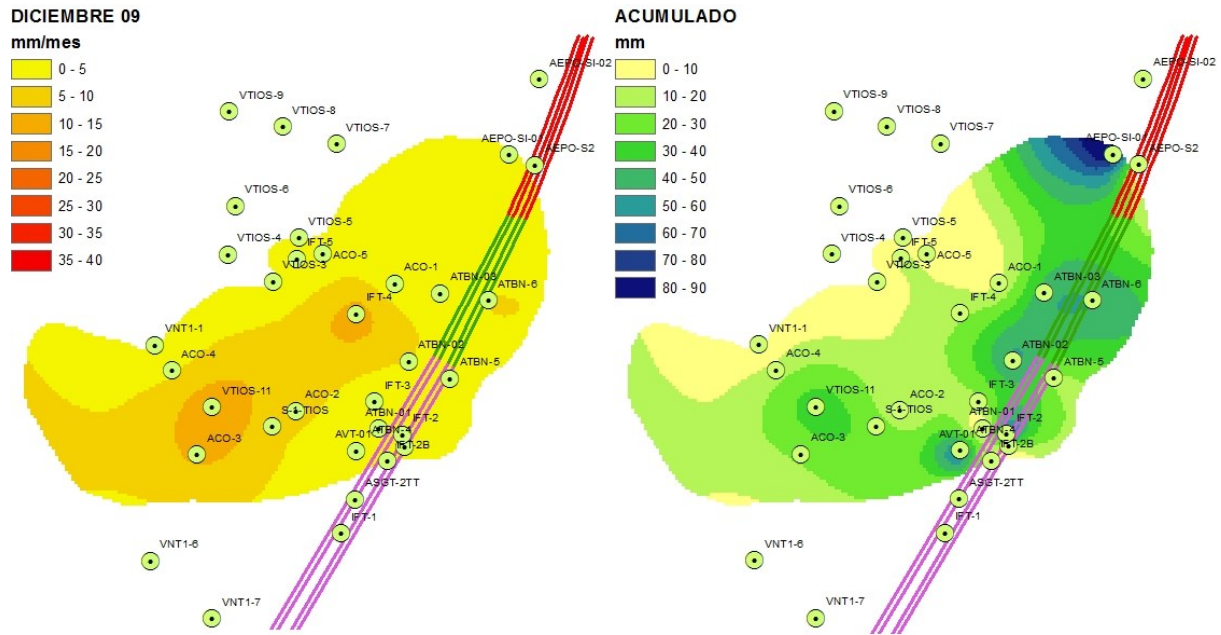


Figura 3-34. Desplazamientos del terreno en diciembre de 2009 y desplazamientos acumulados.

Influencia de la calidad de las mediciones.

En la figura 3-35 se observan importantes desplazamientos en la zona más septentrional del área de estudio de hasta 90 mm. Estos desplazamientos presentan una dirección norte-nor-noreste, por lo que no afectan de forma directa a las infraestructuras de este tramo. En la zona este, los desplazamientos rara vez superan los 50 mm y su dirección se dirige hacia el trazado de la vía, por lo que estos movimientos sí podrían entrañar consecuencias para la infraestructura. El problema se presenta a la hora de la interpretación de los valores obtenidos. Debido a la limitada precisión de los equipos de medida, los errores en la lectura de los desplazamientos pueden llegar a los ± 20 mm en algunos sondeos, siendo el error medio de ± 12 mm. En la figura 3-35 se representa la horquilla en la que se encuentran los posibles desplazamientos condicionados por los errores de medición de cada inclinómetro. Se representa el caso teóricamente más favorable, restándole a la medida el error máximo posible del aparato, y el caso más desfavorable, sumándole a la medida el error máximo posible del equipo. Todas las situaciones intermedias serían posibles.

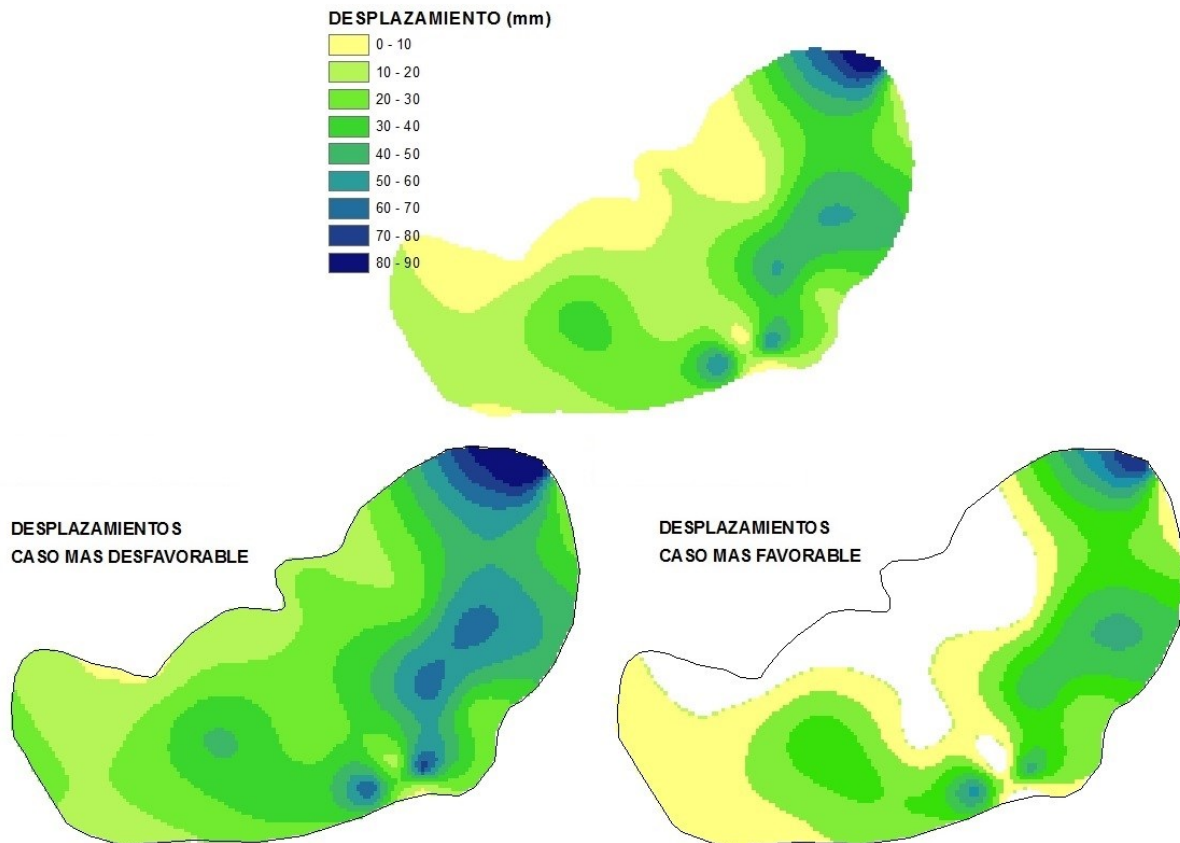


Figura 3-35. Desplazamiento acumulado del terreno durante el periodo de estudio. Caso más desfavorable y más favorable en función de los posibles errores de los aparatos de medida.

El presente trabajo se basa en las lecturas inclinométricas realizadas entre octubre de 2007 y enero de 2010; durante ese periodo de tiempo se observa la evolución de los movimientos del terreno con las siguientes discrepancias. Desde el mes de noviembre de 2007 se aprecian desplazamientos en las lecturas, a pesar de ello no se puede afirmar que estos desplazamientos se hayan producido realmente hasta julio de 2008 en la zona norte y hasta diciembre de 2008 en la zona este, donde realmente puede afectar a las infraestructuras, figura 3-36. No es posible afirmar que éstos se hayan producido al no superar las lecturas los márgenes de error de los aparatos. No se puede asegurar tampoco que haya habido desplazamientos potencialmente peligrosos para el trazado desde octubre de 2007 hasta el comienzo de 2009, dadas las limitaciones de los instrumentos utilizados.

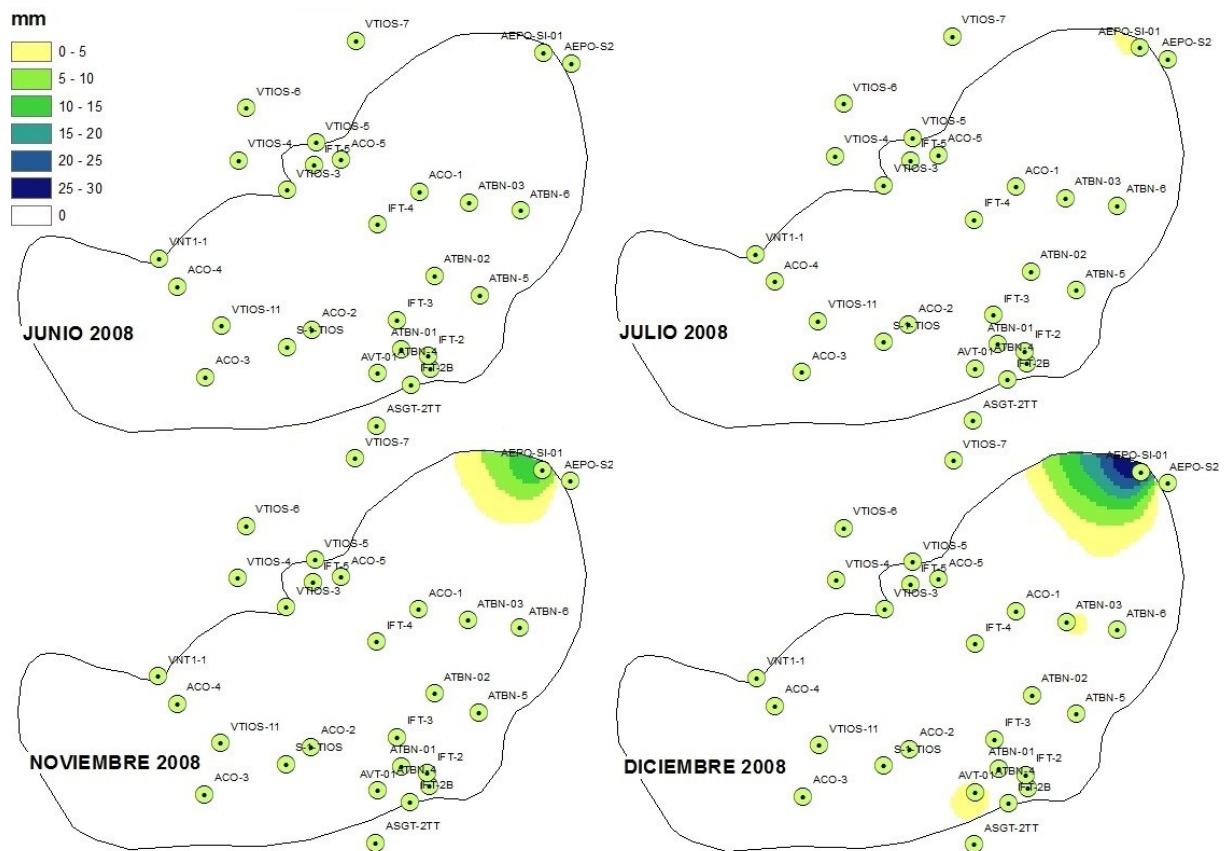


Figura 3-36. Representación gráfica del comienzo de los desplazamientos del terreno demostrables y condicionados por la precisión de los aparatos, en la zona norte (Julio 2008) y en la zona este (diciembre de 2008).

Modelo de flujo acumulado sobre la superficie topográfica.

Un modelo adicional, generado a partir del plano topográfico de la zona a estudio, es el representado en la figura 3-37. Se trata de un modelo de flujo acumulado, que podría facilitar el posterior diseño de una posible red de recogida de pluviales. El correcto diseño de esta red facilitaría la canalización de la mayor parte de las precipitaciones recogidas en la zona de estudio y en zonas de cotas superiores. Esta canalización permitiría minimizar las infiltraciones de agua de lluvia en el terreno, conduciéndola mediante diferentes sistemas fuera de la zona problemática.

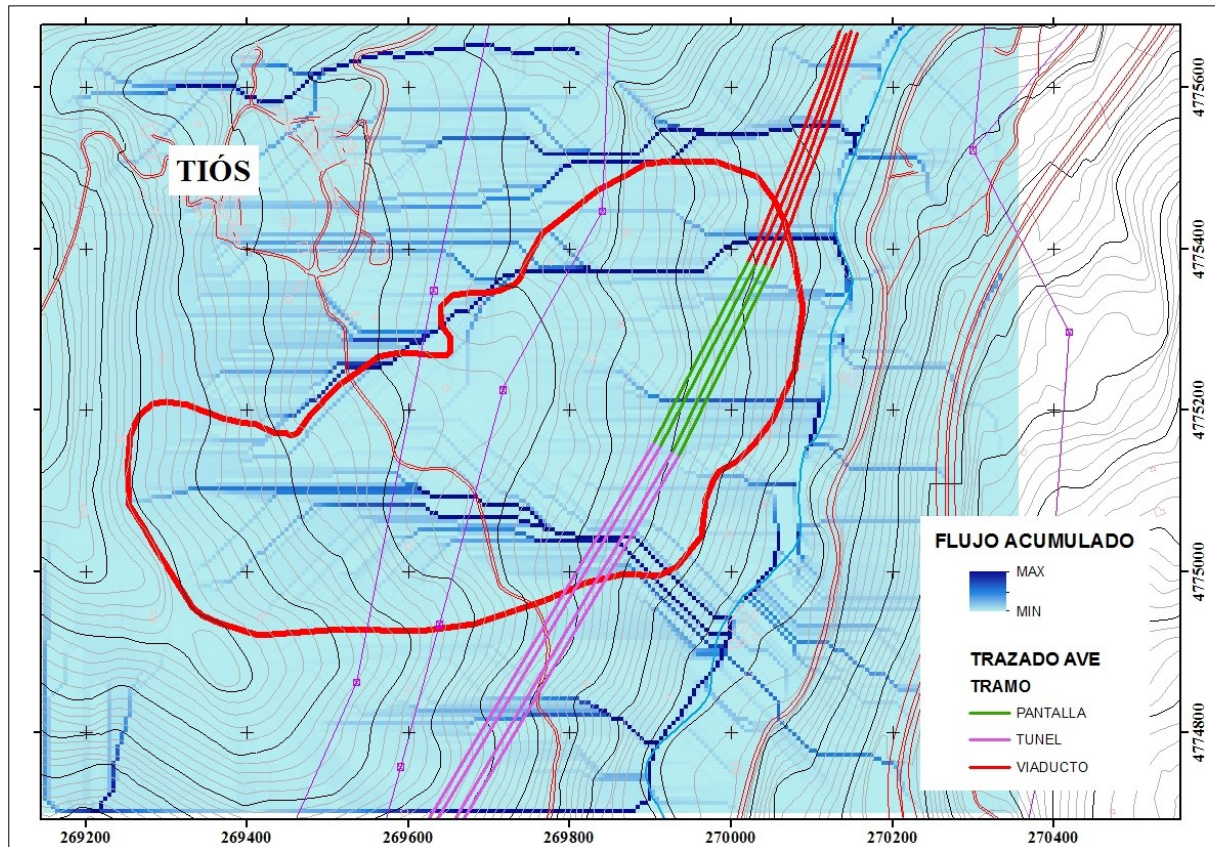


Figura 3-37. Modelo de flujo acumulado sobre la superficie topográfica.

4. SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN.

Los desplazamientos medidos en los inclinómetros y la apertura de varias grietas milimétricas en el hormigón proyectado en las proximidades de la boca norte del Túnel del Teso han aconsejado la construcción de un muro anclado de pilotes secantes doble como medida de estabilización por parte de la propiedad de la obra. Esta estructura tiene 165 metros de longitud y es paralela al trazado del ferrocarril. Además de los pilotes, de un diámetro de 2.300 mm, fue perforada, por métodos convencionales, una galería de drenaje de 330 m de longitud y 6 m de diámetro, también subparalela al trazado bajo la masa deslizada (Fig. 3-38). El coste de ambas actuaciones, no incluido en el proyecto inicial, ascendió a 14.675.990,78 €, incrementando un 17 % del presupuesto de la obra. Asimismo, como consecuencia, las obras se prolongaron más de tres años. No se dispone de ningún dato sobre el comportamiento de la ladera posterior a la realización de las medidas correctoras descritas. En la figura 3-39 se representa una sección transversal al trazado de la línea del AVE, localizada en la Figura 3-38.

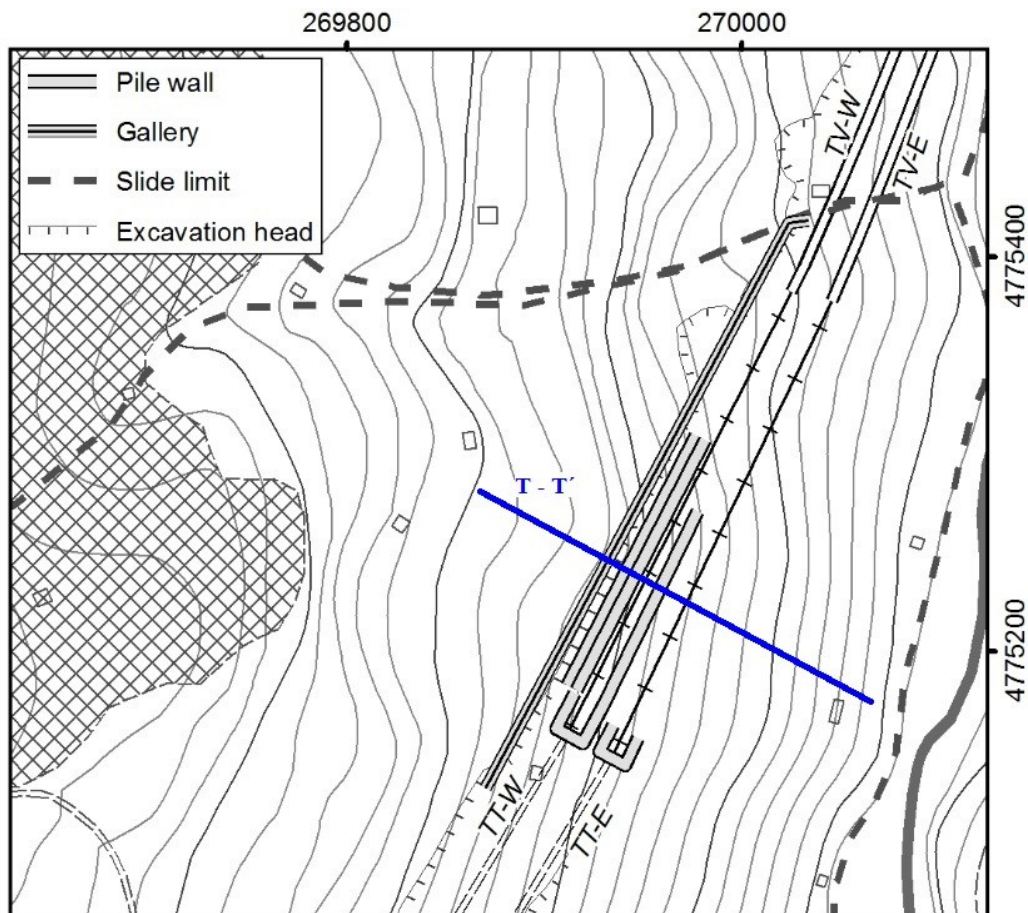


Figura 3-38. Medidas de estabilización de la ladera. Tomado de Díaz-Díaz et al., 2014.
Localización de corte geológico T-T'.

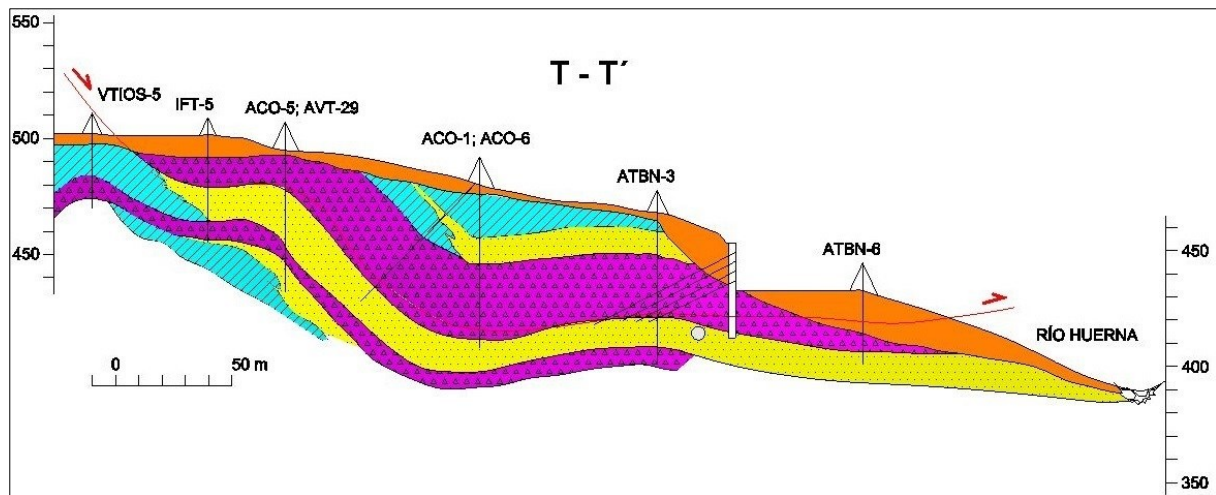


Figura 3-39. Corte geológico T-T'; medidas de estabilización de la ladera.

Alternativas de estabilización.

Como alternativa a los trabajos de estabilización realizados se podrían plantear otras medidas, entre las que se pueden señalar las siguientes.

En la parte superior del deslizamiento objeto de estudio se localizan dos vertederos que acogen distintos excedentes de la propia obra. Sería necesario analizar si ejercen algún tipo de influencia sobre el mismo y, en su caso, proceder a la retirada, al menos parcial, del material acopiado.

Una segunda medida a estudiar podría ser el acopio de material en el pie del deslizamiento, entre la traza de la vía y el Río Huerna. De esta forma, el incremento de carga en esta localización trabajaría positivamente reteniendo el deslizamiento. La construcción, por ejemplo, de una escollera paralela al Río Huerna aumentaría la capacidad de acopio, permitiendo de esta manera la acumulación de una mayor carga. En todo caso, la falta de espacio, las particulares condiciones ambientales de la zona y la afección al cauce pueden convertir en inviable esta opción.

Una tercera medida, que contribuiría a la eficacia de la galería subterránea de drenaje, sería captar y reconducir todas las aguas de escorrentía. Como es sabido, ésta actúa negativamente en el comportamiento del deslizamiento y aumenta los empujes en los sistemas de contención. Utilizando como apoyo el modelo de flujo acumulado elaborado en el presente trabajo se puede diseñar el sistema de canalizaciones que conduzcan los pluviales de la zona de estudio, y de las zonas de cotas superiores, directamente hacia el Río Huerna.

Otras soluciones de estabilización.

En este apartado se plantean otras soluciones técnicas de estabilización, cuya viabilidad y validez debería ser confirmada con los oportunos estudios técnicos.

Como medidas más importantes de estabilización adicional se plantea la ejecución de nuevas pantallas ancladas de pilotes de gran diámetro, tal como se describe en el comienzo del capítulo de sistemas de estabilización, pero con las siguientes diferencias en su ejecución.

Construir los pilotes anclados sobre base competente y con un cierto ángulo de inclinación hacia el origen de las fuerzas de empuje permite la transmisión directa de parte de los esfuerzos al sustrato rocoso. Esta inclinación permite trabajar a los pilotes en mayor medida a compresión, esfuerzo que soporta el hormigón con menor problema, y no totalmente a tracción como en el caso de pilotes verticales. En la actualidad la tecnología nos permite ejecutar pilotes *in situ* con ángulos cenitales de hasta 25° (hasta 65° respecto a la horizontal). La construcción con este ángulo máximo de inclinación disminuye el esfuerzo perpendicular al pilote, por descomposición de la fuerza de empuje en las componentes paralela y perpendicular al eje del mismo, en aproximadamente un 10%. Además de esto, la construcción del muro con una disposición de arco de circunferencia mejora la distribución de empujes sobre el muro, pues una parte de los esfuerzos sufridos por cada pilote se irán compensando dos a dos. Figura 3-42.

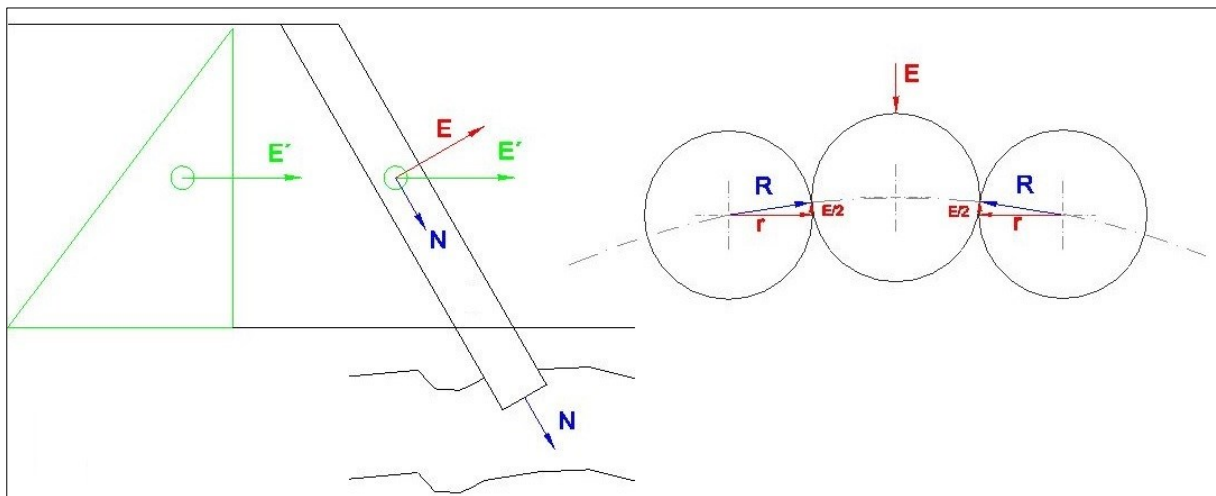


Figura 3-42. Distribución de esfuerzos en muro de pilotes en situación de equilibrio.

En la Figura 3-43 y 3-44 se representa, en planta y en sección respectivamente, una posible alternativa de muro de pilotes inclinado y con distribución en forma de arco de circunferencia.

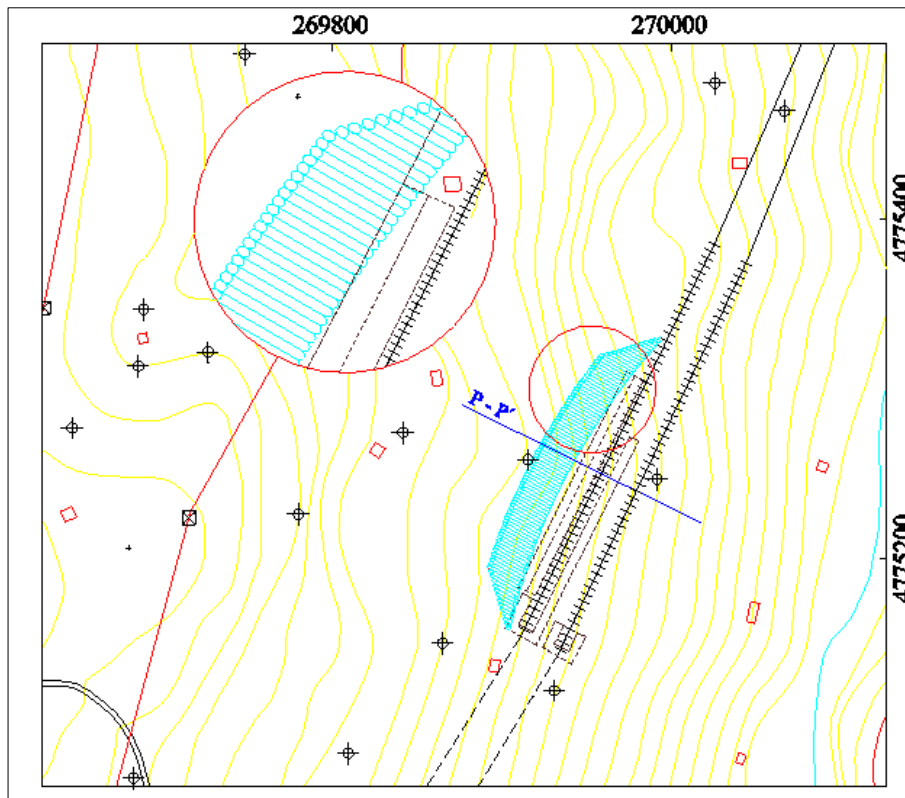


Figura 3-43. Posible construcción de muro de pilotes secantes inclinados y anclados, en planta y detalle. Localización de corte geológico P-P'.

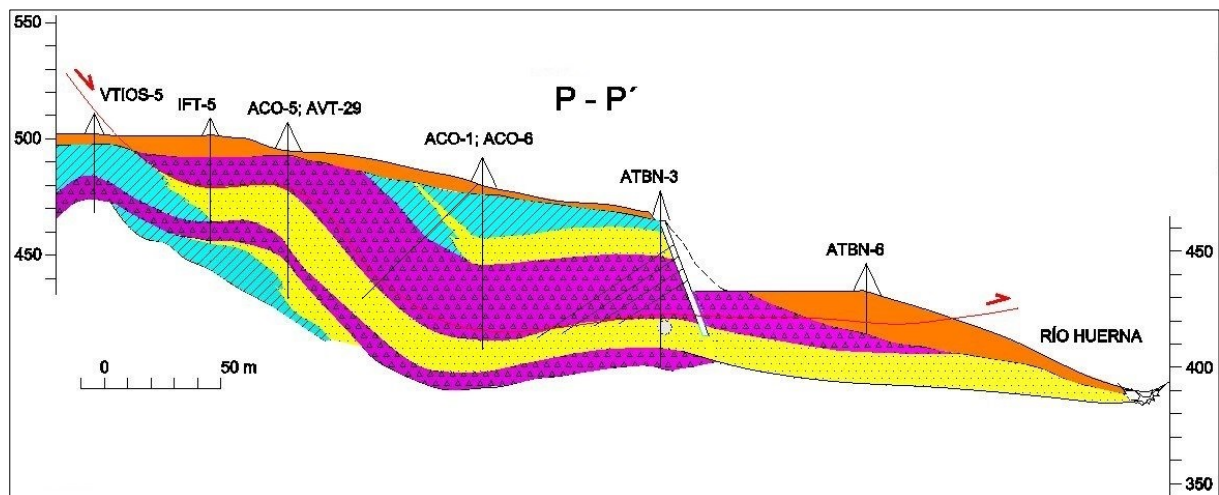


Figura 3-44. Corte geológico P-P'; posible alternativa de construcción de muro de pilotes inclinados y anclados.

Con un correcto diseño de una red de células de carga sobre determinados anclajes se estudia cómo evoluciona el empuje del terreno sobre el muro y como es la distribución de esfuerzos soportados sobre el mismo. De esta manera se controla si los empujes son uniformes o si existen zonas donde los esfuerzos soportados son mayores. La configuración del muro en forma de arco de circunferencia no solo permite una distribución más homogénea de los esfuerzos, en caso necesario permite la construcción de nuevas baterías de pilotes, verticales o

inclinados, en el vacío cóncavo situado entre el trazado de la vía y el muro de pilotes en forma de arco. Esta configuración permite la construcción de contrafuertes de disposición radial al muro y que transmitan el esfuerzo a la nueva batería de pilotes. Figura 3-45 y 3-46.

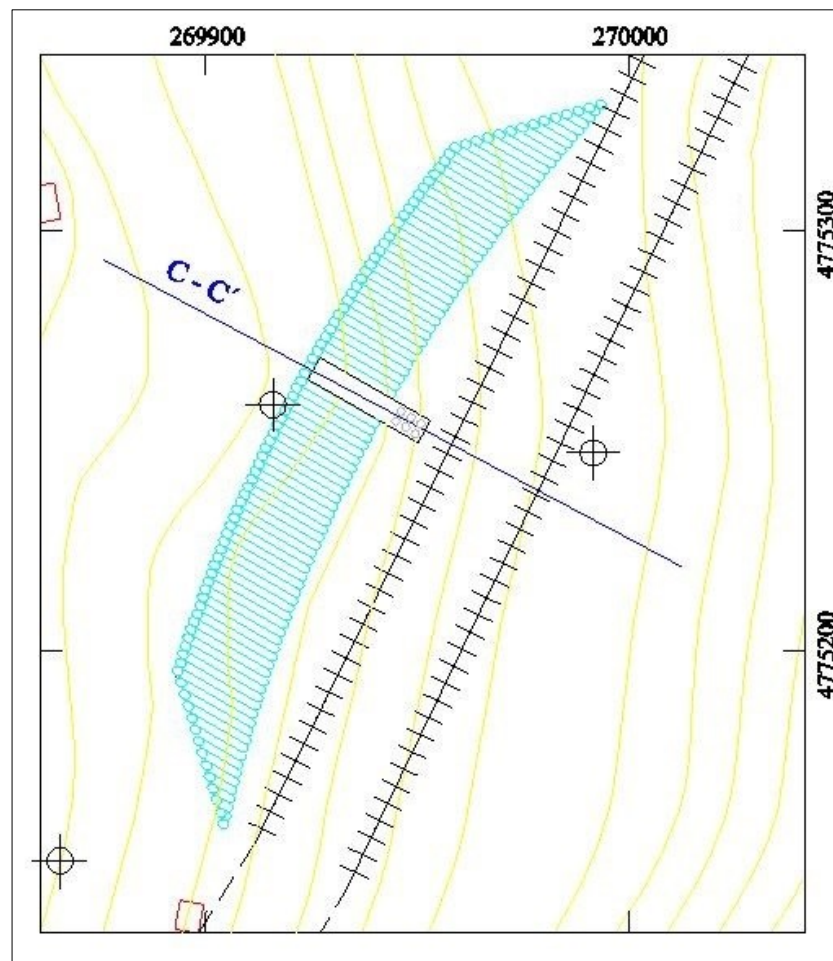


Figura 3-45. Posible construcción de contrafuerte reforzando muro de pilotes. Localización del corte geológico C-C'.

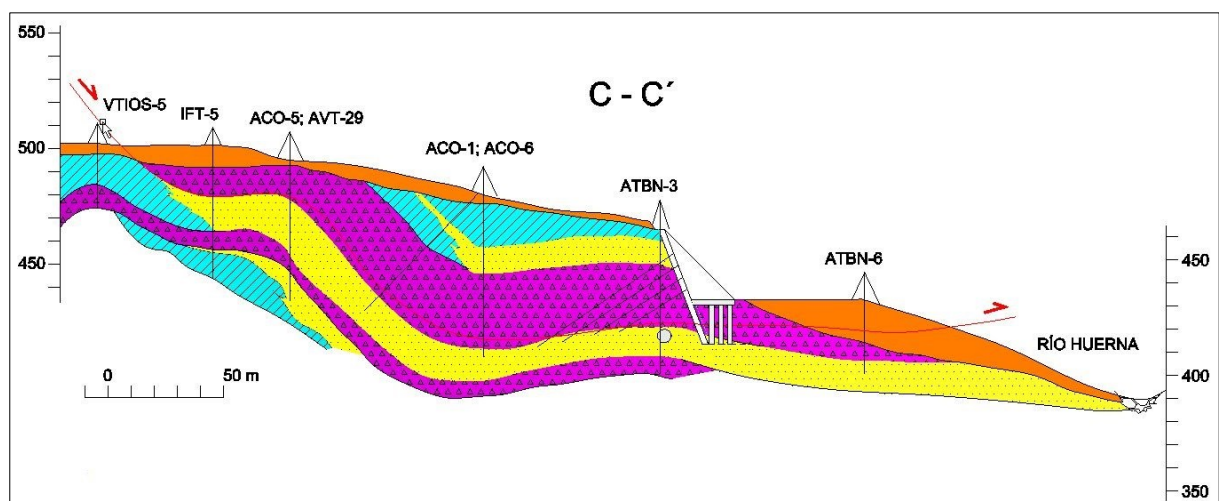


Figura 3-46. Corte geológico C-C'; posible alternativa de construcción de contrafuerte sobre muro de pilotes inclinados y anclados.

5. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se ha abordado la modelización geológica de un importante deslizamiento de ladera localizado en la boca norte del Túnel del Teso, Lote 6 de la Variante de Pajares (Corredor Norte-Noroeste de Alta Velocidad Ferroviaria). A partir de los datos cartográficos y las lecturas inclinométricas aportados por el propietario de la obra y mediante la generación de modelos realizada con el soporte informático de un sistema de información geográfica, se ha elaborado un modelo del comportamiento del terreno en la zona de estudio durante el periodo de tiempo que abarca desde octubre de 2007 hasta enero de 2010. Como principales conclusiones del mismo se pueden señalar las siguientes.

- Los modelos generados evidencian la existencia un importante deslizamiento en la ladera. El espesor medio calculado de la masa deslizante es de unos 25 m; el área de la superficie de rotura sería aproximadamente 282.675 m², y el volumen implicado en el movimiento alcanzaría los 5.941.526 m³.
- Los desplazamientos medidos alcanzan los 90 mm en la zona septentrional del área de estudio, no afectando directamente al trazado de la obra. En la zona este no sobrepasan los 50 mm, pero si podrían tener consecuencias en la infraestructura. En la zona superior del deslizamiento los desplazamientos no superan los 20 mm.
- Los instrumentos de medida presentan una limitada precisión para extraer conclusiones más detalladas, situándose la misma en ± 6 mm / 25 m de sondeo. Los errores estimados en la medida de los desplazamientos puede llegar a los ± 20 mm en algunos inclinómetros siendo el error medio de ± 12 mm.
- La magnitud del posible error de medida de los aparatos en algunos casos supera a la propia magnitud de la medida. En la zona con mayores desplazamientos observados (zona este) podría alcanzar el 50% del valor leído.
- Desde noviembre de 2007 se aprecian desplazamientos en las lecturas, aunque no se puede afirmar que estos desplazamientos se hayan producido hasta julio de 2008 en el norte y diciembre de 2008 en el este, al no superar éstas los márgenes de error de los aparatos.
- La instrumentación empleada no ha sido la más idónea para el posterior desarrollo del estudio, dado que no permite conocer realmente la magnitud de los desplazamientos del terreno ni la fecha cuando estos han comenzado a producirse.
- En esta zona se han aplicado los siguientes sistemas de estabilización:
 - Muro anclado de pilotes secantes doble.
 - Galería de drenaje bajo la masa deslizada.
- Otras posibles medidas de estabilización, a falta de un estudio técnico específico, podrían ser:
 - Retirar, al menos de forma parcial, del material acopiado en los vertederos en la parte superior del deslizamiento.



- Acopio de material en el pie del deslizamiento. La construcción de una escollera paralela al Río Huerna permitiría la acumulación de una mayor carga.
- Diseñar el sistema de canalizaciones que conduzcan los pluviales de la zona de estudio, y de las zonas de cotas superiores, directamente hacia el Río Huerna.
- Muro de pilotes anclado e inclinado hacia el origen de las fuerzas de empuje.
- Disposición en forma de arco de circunferencia del muro de pilotes para mejorar la distribución de empujes permitiendo la posibilidad de construcción de contrafuertes en caso necesario.



6. REFERENCIAS.

Alonso, J.L., Marcos, A. y Suárez, A. (2009): Paleogeographic inversion resulting from large out of sequence breaching thrust: The León Fault (Cantabrian Zone, NW Iberia). A new picture of the external Variscan Thrust Belt in the Ibero-Armorican Arc. *Geológica Acta*, 7: 451-473.

Arias, D., Cuesta, A., Antuña, J.G., López-Fernández, C., Fernández, I., (2010). Modelización geológica de una falla gravitacional en la boca norte del túnel del Teso. Informe inédito. Universidad de Oviedo, 19 p.

Barba, P. (1991). Estratigrafía y Sedimentología de la sucesión westfaliense del borde sureste de la Cuenca Carbonífera Central. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, 237 p.

Barba, P. y Colmenero, J.R., (1994). Estratigrafía y sedimentología de la sucesión Westfaliense del borde sureste de la cuenca carbonífera central. (Zona cantábrica, Norte de España). *Studia Geológica Salmanticensia*, XXX, 139-204.

Díaz-Díaz, L.M., Arias, D., López-Fernández, C., Pando, L., (2014). Monitoring and analysis of large landslides: a case study of Teso Tunnel (N Spain). *Proceedings. EGU General Assembly*. Viena.

Instituto Geográfico Nacional, (2014). Cartografía.
<http://www2.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html>

Instrumentación Geotécnica y Estructural, INGE, (2010). Inclínómetros en Sondeos. Descripción, cálculo de deformaciones y características técnicas.

Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A., Conde, L. (1972). Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. I.G.M.E., 113 pp.

Lotze, F., (1945). Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotekt. Forsch.*, 6, 78-92 (traducido al español en *Publ. Extr. Geol. España*, 5, 149-166).

Velando, F., Castello, R., Orviz, F. Instituto Geológico y Minero de España, (1973). Hoja 78 MAGNA, Pola de Lena.

ANEXOS.

Anexo I. Cortes geológicos. Arias (2010).

En la Figura 1 se encuentra la localización de los diferentes cortes geológicos según Arias, (2010). Cada uno de los diferentes cortes se representa en las Figuras 2 a 10.

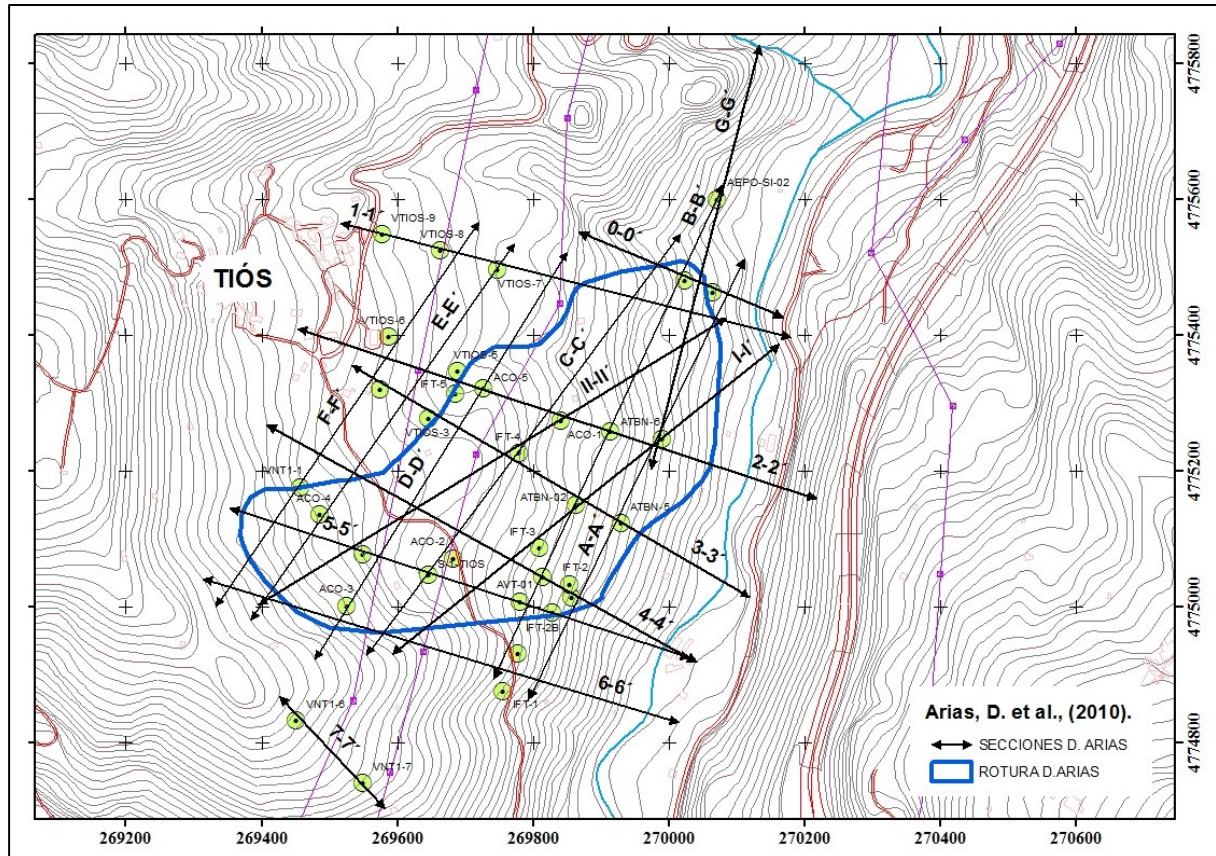


Figura 1. Localización de los diferentes cortes geológicos según Arias, D. et al., (2010).

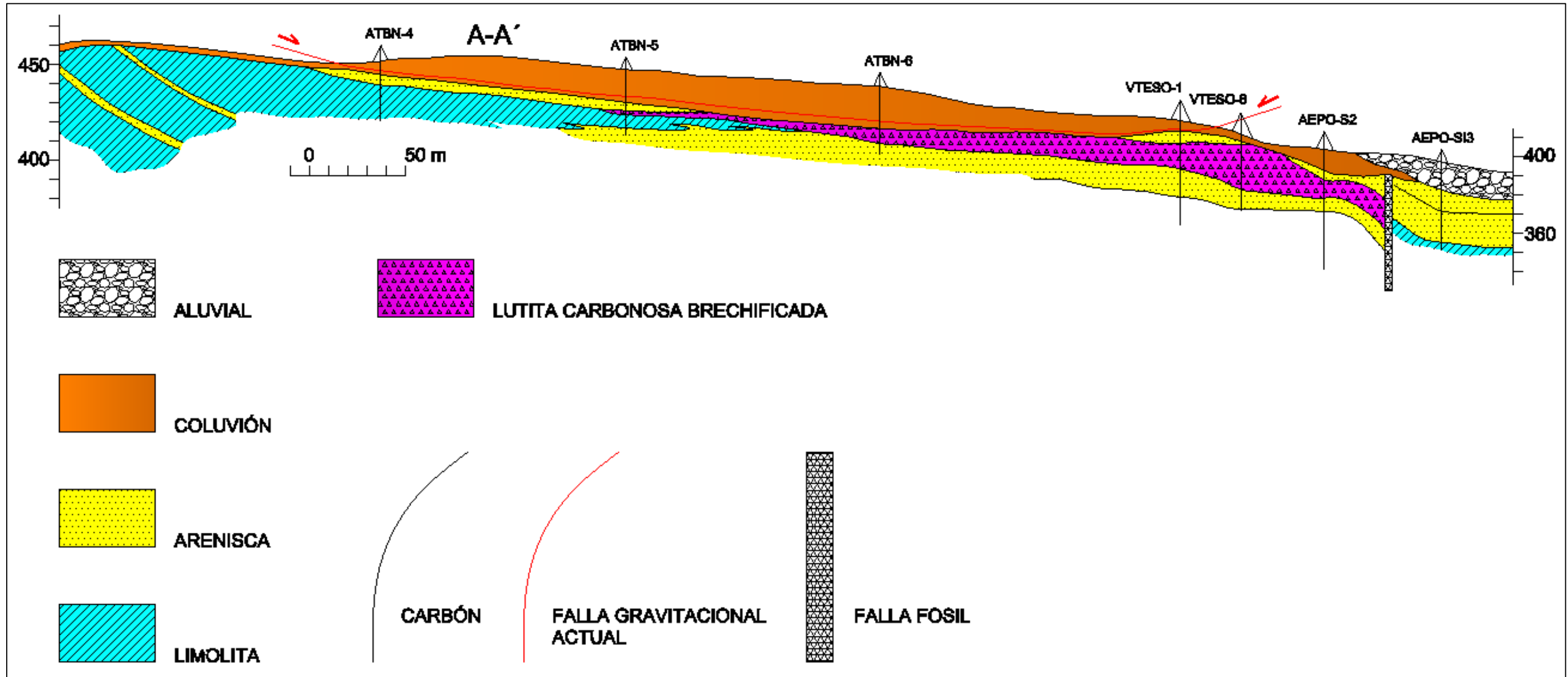


Figura 2, Corte geológico A-A' y leyenda aplicable a todos los cortes.

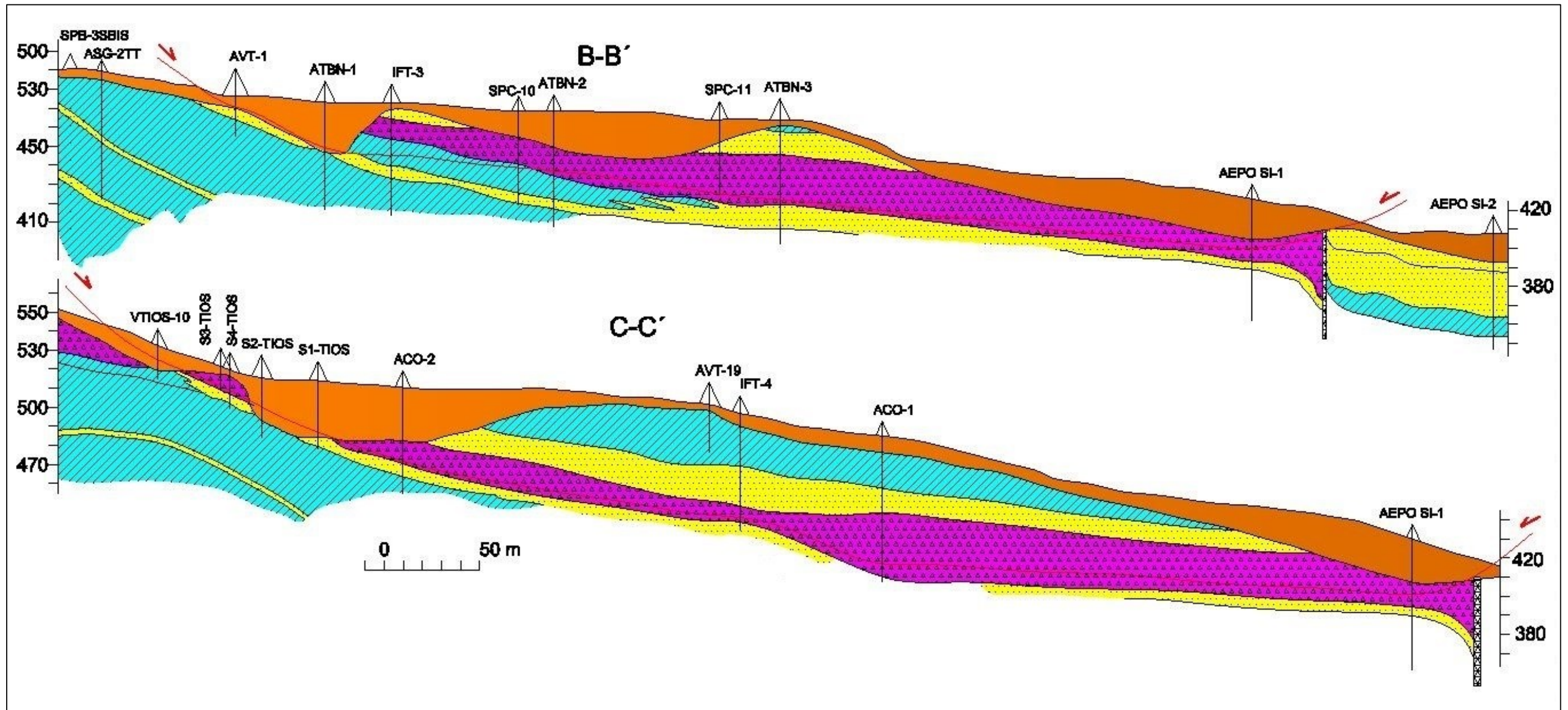


Figura 3, Cortes geológicos B-B' y C-C'.

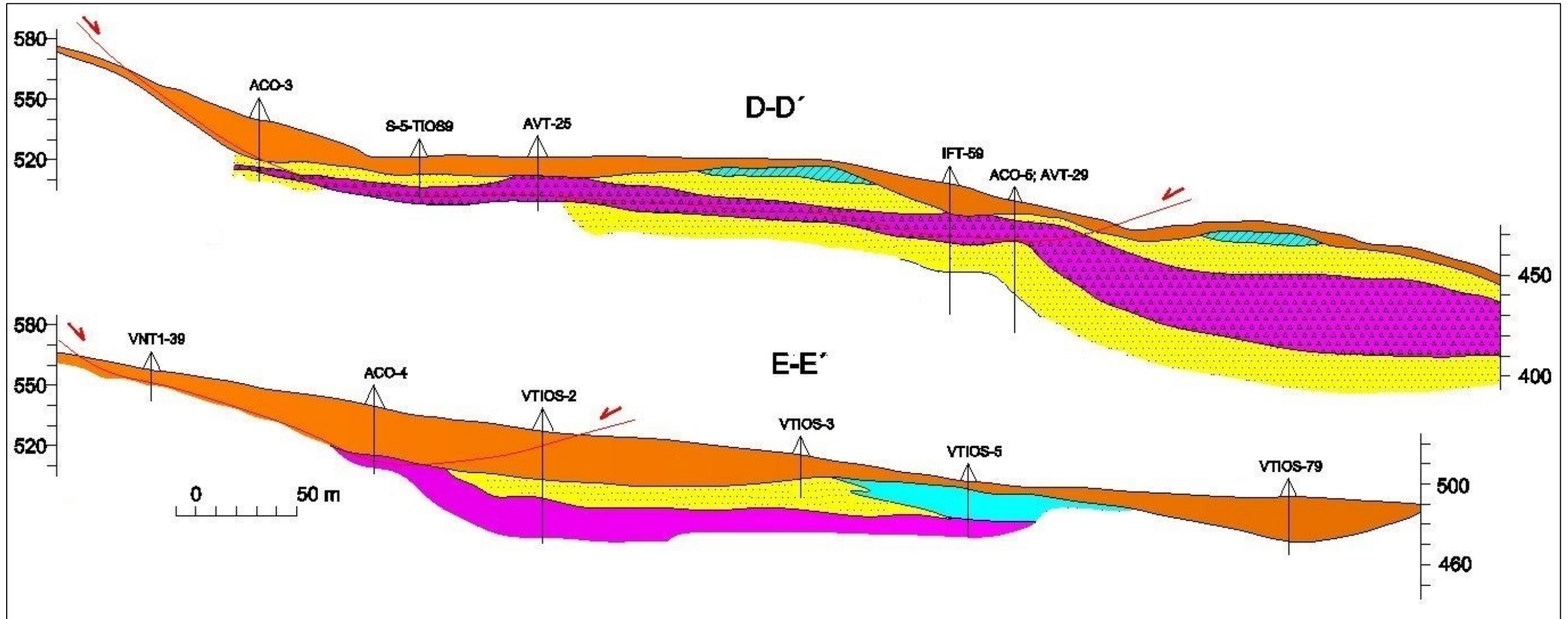


Figura 4, Cortes geológicos D-D' y E-E'.

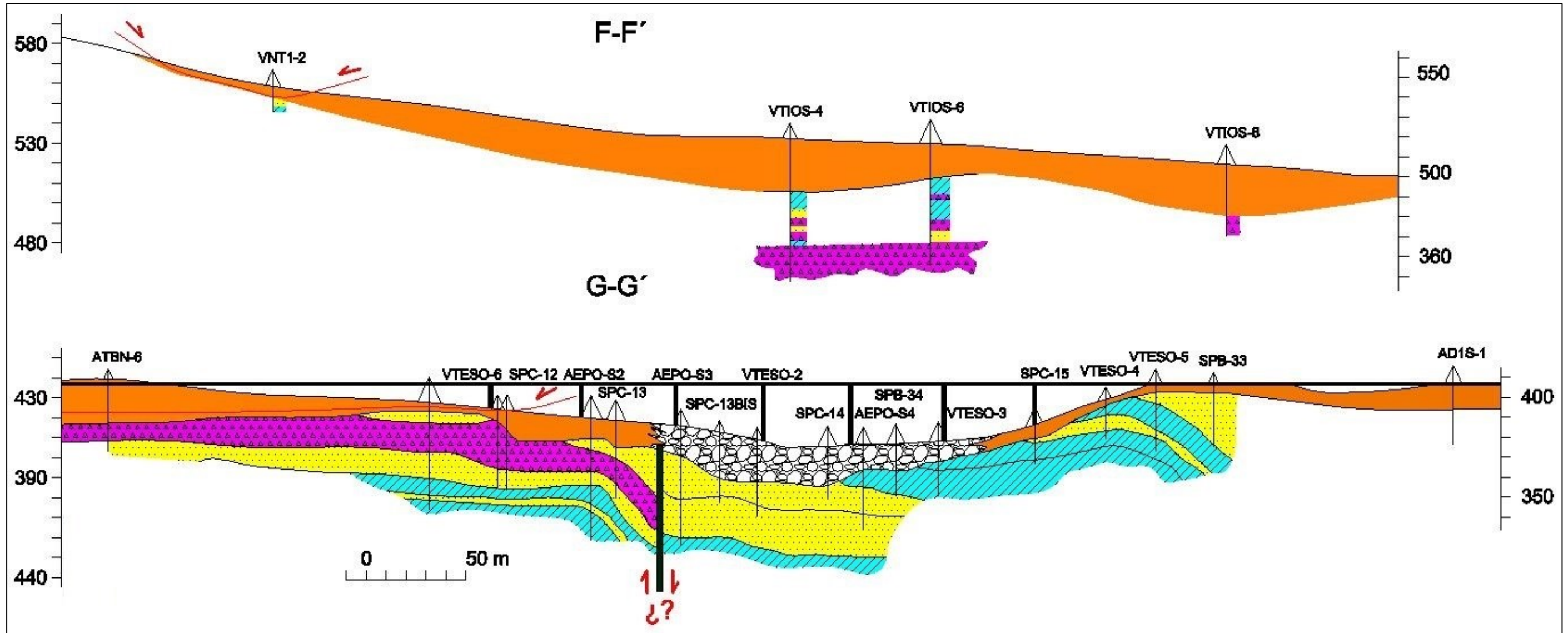


Figura 5, Cortes geológicos F-F' y G-G'.

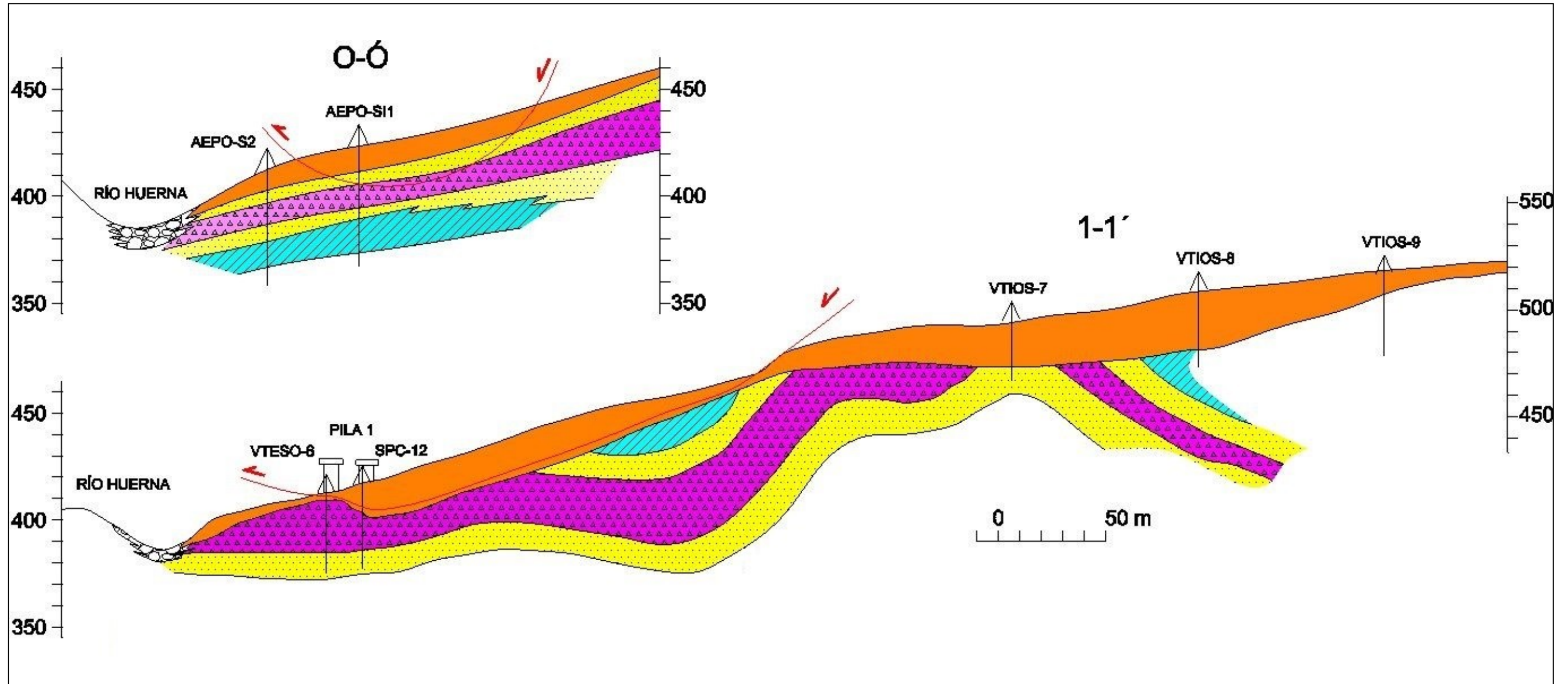


Figura 6, Cortes geológicos 0-0' y 1-1'.

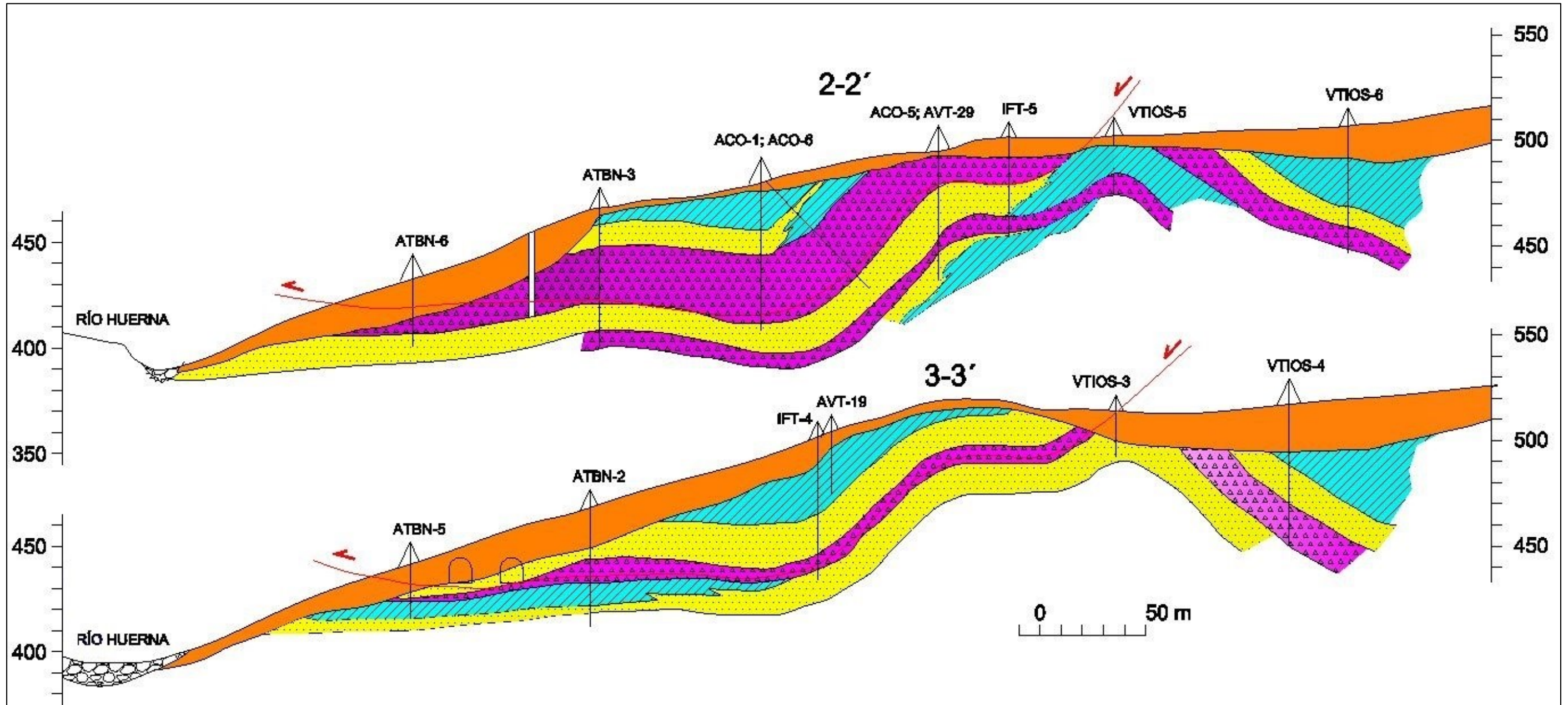


Figura 7, Cortes geológicos 2-2' y 3-3'.

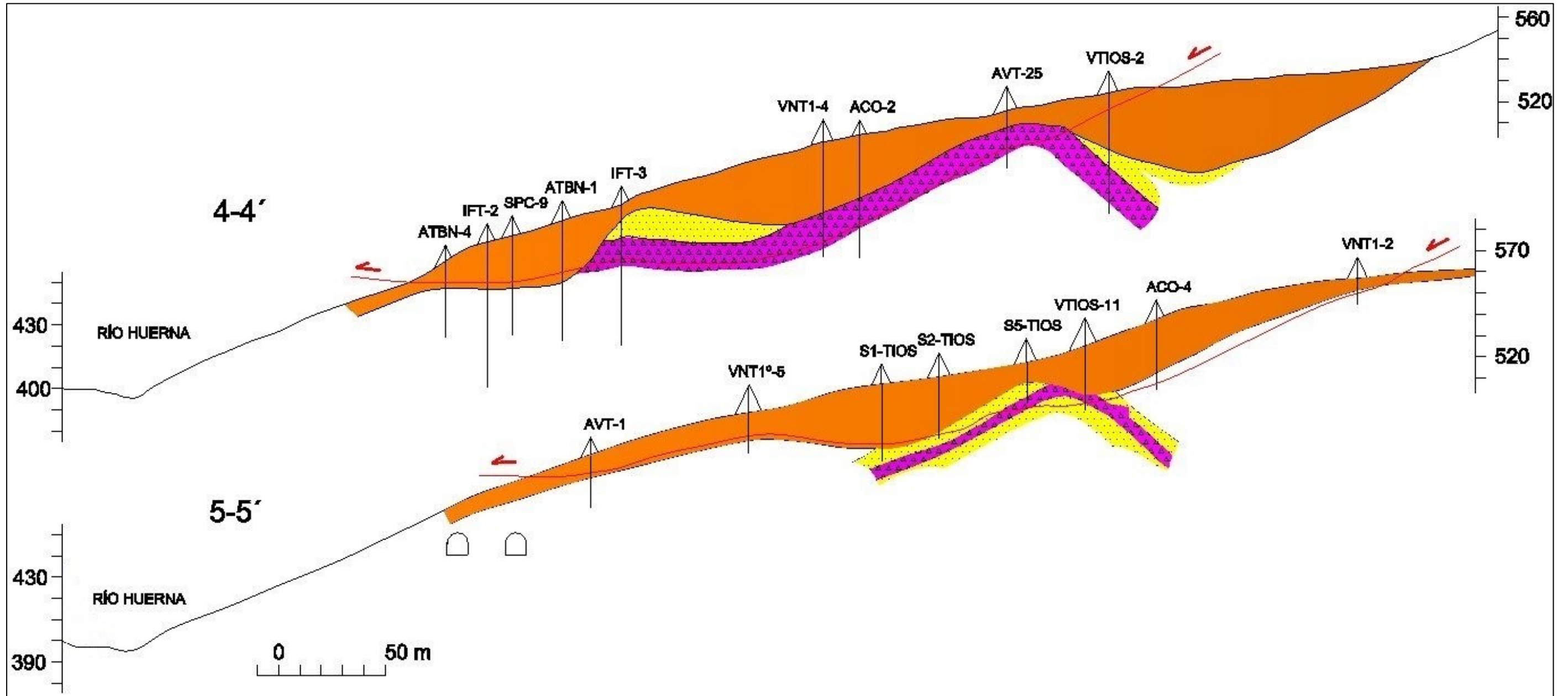


Figura 8, Cortes geológicos 4-4' y 5-5'.

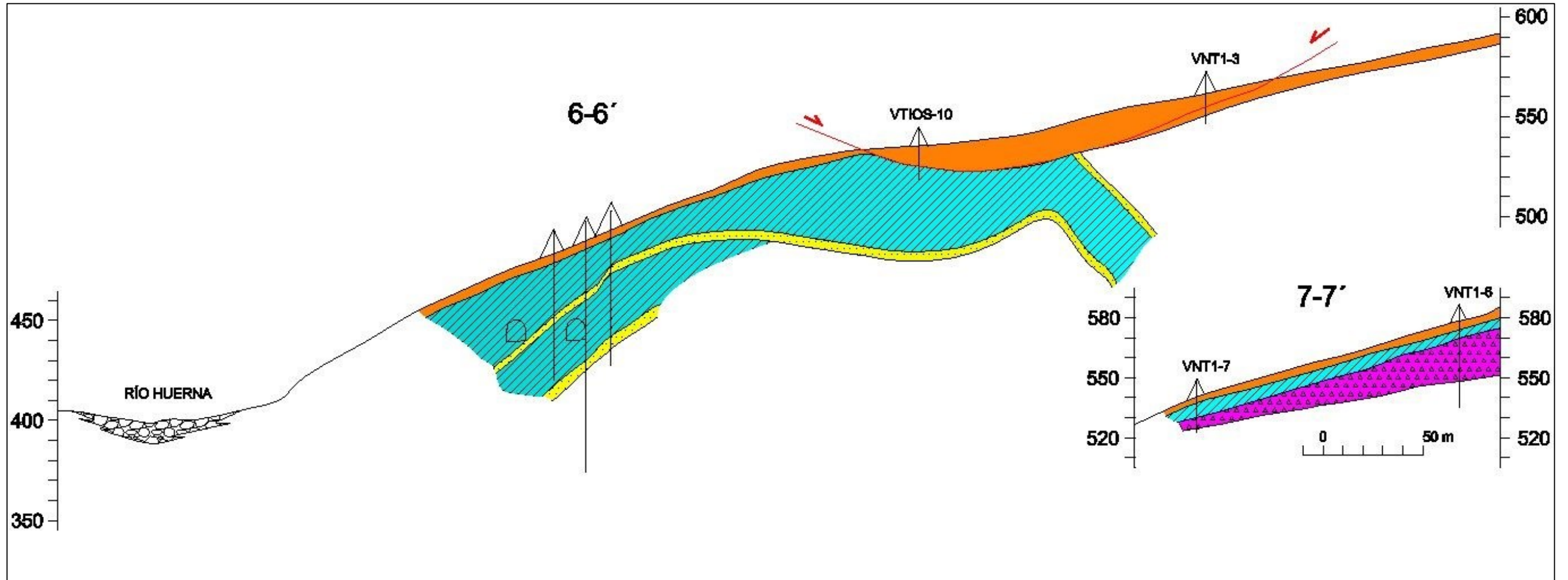


Figura 9, Cortes geológicos 6-6' y 7-7'.

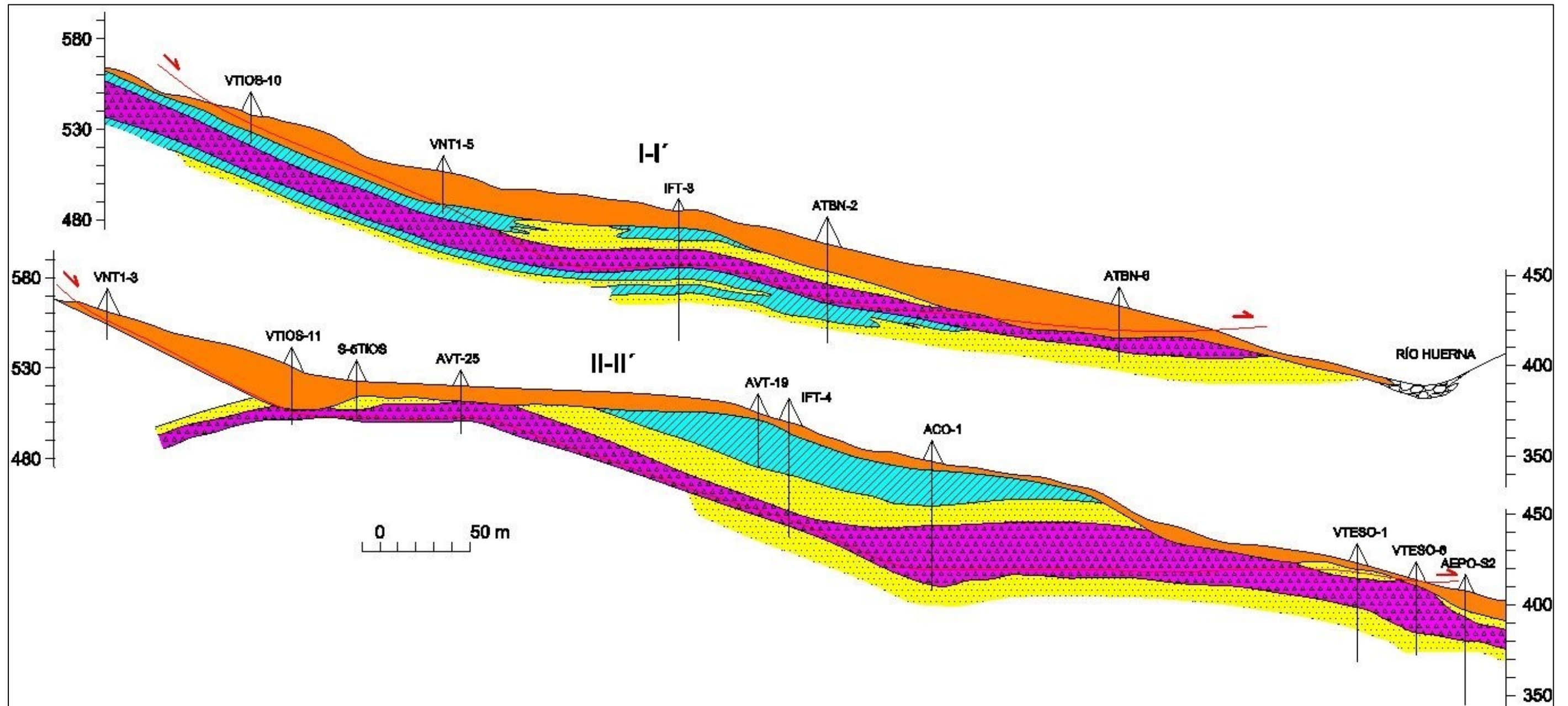


Figura 10, Cortes geológicos I-I' e II-II'.

Anexo II. Documentación inclinómetros en sondeos. (INGE).

ACCIONA INFRAESTRUCTURAS
A6102 PLATAFORMA SOTIELLO-CAMPOMANES

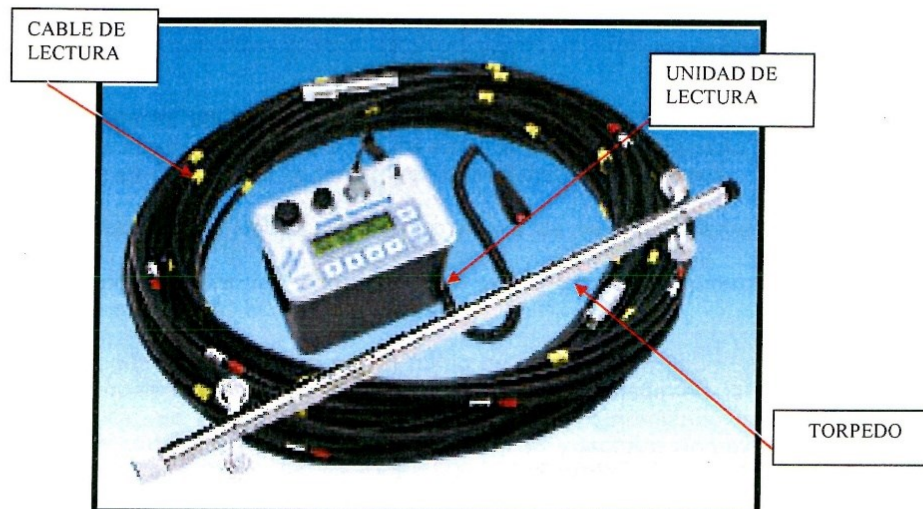


➤ INCLINÓMETROS EN SONDEOS

Un inclinómetro es un dispositivo para medir la deformación perpendicular al eje de una tubería, pasando una sonda a lo largo de ella, que mide los ángulos de inclinación de la tubería con respecto a la línea vertical. En general, la tubería inclinométrica se instala en una perforación lo más vertical posible. Posteriormente, la medida original (medida 0), en principio, reflejará la verticalidad de la perforación, pero conforme pasa el tiempo las medidas sucesivas indicarán diferencias de posición de la tubería inclinométrica o lo que es lo mismo, la deformación perpendicular a su eje. Por lo tanto, las medidas obtenidas indican la deformación horizontal subterránea.

La sonda empleada se puede ver representada en la imagen. Se trata de una sonda biaxial.

Las sondas biaxiales usan dos sensores (servoacelerómetros) internos, orientados a 90° el uno del otro, para poder hacer lecturas en direcciones ortogonales al mismo tiempo, con el fin de indicar la orientación de la sonda respecto a la vertical.



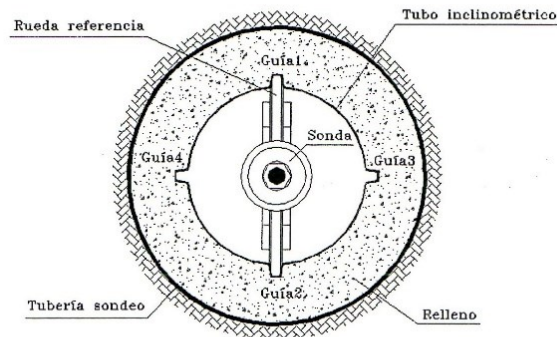
INCLINÓMETRO SLOPE INDICATOR. Torpedo, cable y unidad de lectura.

ACCIONA INFRAESTRUCTURAS
A6102 PLATAFORMA SOTIELLO-CAMPOMANES



La perforación debe hacerse lo más vertical posible y por lo menos avanzar 5m más allá de la zona donde se espera movimiento con el objetivo de obtener un punto fijo en el fondo de la perforación.

La tubería inclinométrica se inserta en la perforación. Tomando como referencia la dirección hacia donde se estima que se desplazará el terreno, alineamos las guías 1-2 en esa dirección. La tubería inclinométrica presenta unas guías por las que se desliza la sonda inclinométrica, como se muestra en la figura.



El espacio anular entre la pared de la perforación y la tubería inclinométrica se rellena con el fin de hacerla solidaria al terreno. Así las deformaciones del terreno se transmiten directamente a la tubería.

Se realizan las lecturas iniciales después de dejar suficiente tiempo para que la tubería inclinométrica esté estable. Estas lecturas se toman como referencia para las observaciones siguientes. Para realizar estas medidas se procede de la siguiente forma:

La sonda se introduce hasta el fondo de la tubería inclinométrica con la rueda superior, en la dirección de referencia señalada en la tubería inclinométrica. Se hace un recorrido de medidas manteniendo la sonda estacionaria cada 0.5m y registrando profundidad y lectura. Completado el recorrido, se saca la sonda, se gira 180°, y se repite el procedimiento, haciendo las medidas exactamente a las mismas profundidades que en el primer recorrido. Para sondas biaxiales, dos recorridos completan un conjunto de medidas.

T-034/07-19

ACCIONA INFRAESTRUCTURAS
A6102 PLATAFORMA SOTIELLO-CAMPOMANES

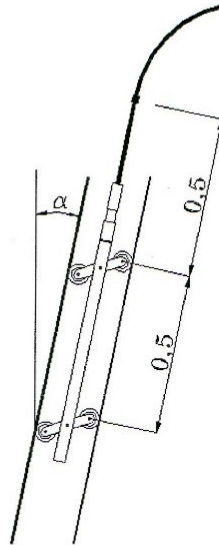


Para realizar estas medidas se dispone de un cable especial con unas marcas cada 0,5 m. De uno de sus extremos se suspende la sonda inclinométrica, y el otro extremo, se conecta a la unidad de lectura de adquisición de datos automática.

La frecuencia de las observaciones dependerá de la velocidad de movimiento y de los movimientos permitidos. Las mediciones se realizan con el mismo procedimiento descrito para las lecturas iniciales.

Con todas estas medidas, puede obtenerse el desplazamiento relativo de la boca de la perforación respecto a su base, así como los desplazamientos sufridos por el eje de la tubería en las distintas profundidades.

Los datos que se recogen se refieren al ángulo α representado en la figura, es decir a la desviación respecto a la vertical de la tubería inclinométrica.



T-034/07-19

ACCIONA INFRAESTRUCTURAS
A6102 PLATAFORMA SOTIELLO-CAMPOMANES



➤ CALCULO DE LAS DEFORMACIONES A PARTIR DE LAS MEDICIONES INCLINOMÉTRICAS

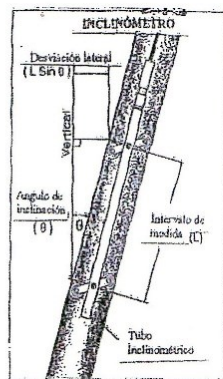
Como el torpedo mide $L=0.5$ m, y la lectura se hace cada 0.5 m; si conocemos el ángulo que forma el torpedo con la vertical (q), la desviación en ese punto será:

$$d = L \times \text{sen } q, \text{ siendo } L = 500 \text{ mm y } q \text{ lectura obtenida en grados.}$$

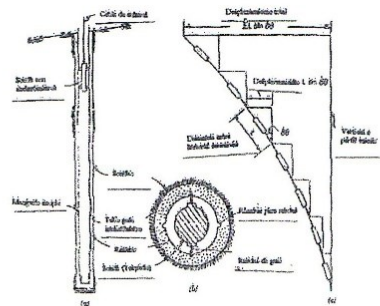
Los equipos automáticos modernos dan una lectura que corresponde a $I = K \times \text{sen } q$, con lo que se puede conocer el seno del ángulo despejándolo de la ecuación. En estos tipos de aparatos automáticos, las mediciones de I se guardan sobre la memoria del lector o "Datalogger" pudiendo descargarse sobre un PC.

La deformación en un punto será la suma algebraica de las deformaciones desde el punto más bajo. La medida de referencia es la primera (medida 0), que nos informa de la forma real del tubo en ese momento. Las siguientes medidas se restan de la primera para obtener la deformación relativa entre dos medidas separadas por un intervalo de tiempo.

Las figuras inferiores muestran un esquema del funcionamiento, de su montaje y cálculo de deformaciones.



FUNCIONAMIENTO DEL INCLINÓMETRO



INCLINÓMETRO

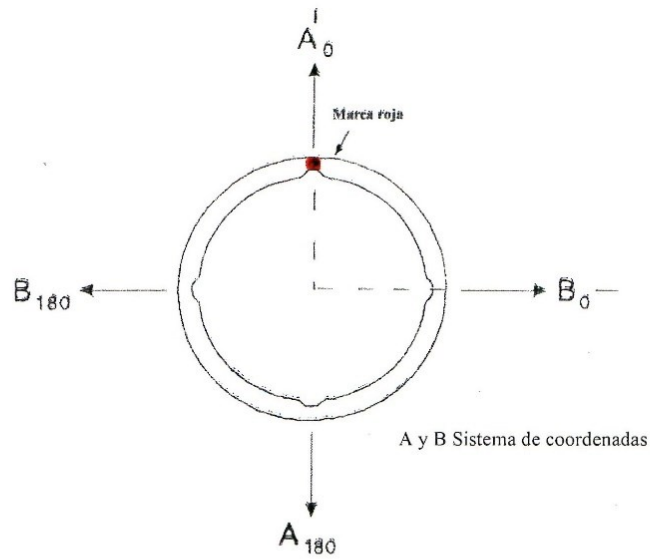
- Sección vertical mostrando el sondeo, tubería inclinométrica y sonda
- Sección horizontal mostrando el sondeo, tubería inclinométrica y sonda
- Diagrama de los desplazamientos y desplazamiento total

T-034/07-19

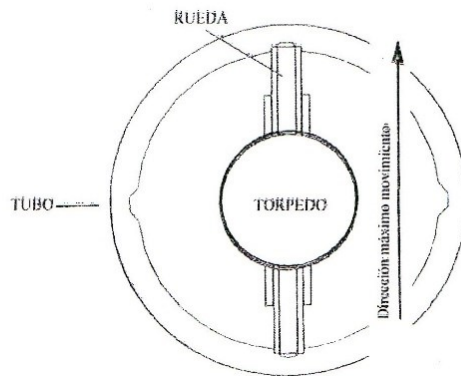
ACCIONA INFRAESTRUCTURAS
A6102 PLATAFORMA SOTIELLO-CAMPOMANES



➤ ORIENTACIÓN DE LOS EJES DEL TUBO INCLINOMÉTRICO



CORTE HORIZONTAL DEL TUBO E INSTRUMENTO DE MEDIDA (TORPEDO)



T-034/07-19

ACCIONA INFRAESTRUCTURAS
A6102 PLATAFORMA SOTIELLO-CAMPOMANES



CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS DE MEDIDA

SENSOR INCLINOMÉTRICO	
NÚMERO DE ORDEN	50302510
BASE DE LAS RUEDAS	500 mm
ACELEROMETRO	Dos servoacelerómetros (force balance)
RANGO DE MEDIDA	± 53° desde la vertical
RESOLUCIÓN	0,02 mm por 500 mm
REPETIBILIDAD	± 0,01 % FS
LINEALIDAD	± 0,02 % FS
SENSIBILIDAD	1,000± 0,001
FACTOR DE ROTACIÓN	± 0,0045
PRECISIÓN	± 6 mm por 25 m
MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	2,2 m para recuperar; 4,5 m para lectura
RANGO DE TEMPERATURA	-20 a 50 °C
COEFICIENTE DE TEMPERATURA	0,005 % FS
DIMENSIONES	25,4 mm diámetro x 653 mm longitud
PESO	1,80 Kg
MATERIALES	Acero inoxidable

Nota: El procedimiento seguido para realizar el control y seguimiento inclinométrico se efectúa según la norma ASTM (D 6230-98), "Standard Test Method For Monitoring Ground Movement Using Probe-Type Inclinometers"

T-034/07-19

Anexo III. Representaciones gráficas de desplazamientos y precisiones.

Representación de los desplazamientos mensuales y desplazamientos acumulados en cada uno de los sondeos a estudio con sus correspondientes precisiones. Se observa que el posible error en la medición, en muchos de los casos, es mayor que la propia lectura del desplazamiento. En los casos en los que se da este supuesto no se puede asegurar que se haya producido realmente un movimiento del terreno, figuras 1 a 20. El error medio en el global de todos los sondeos medidos es de aproximadamente ± 12 mm. En la figura 21 se representa el modelo de desplazamientos totales del terreno, el modelo de errores para cada punto y los modelos con los casos más favorables y más desfavorables en función de estos errores.

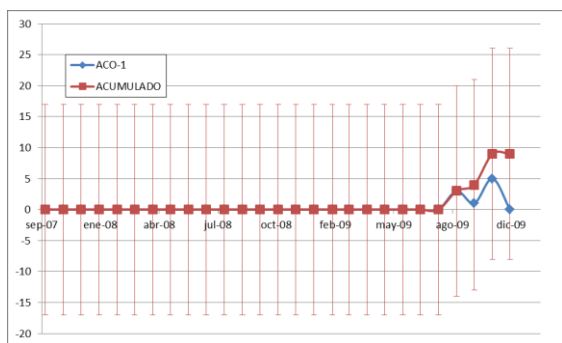


Figura 1. Sondeo ACO-1. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

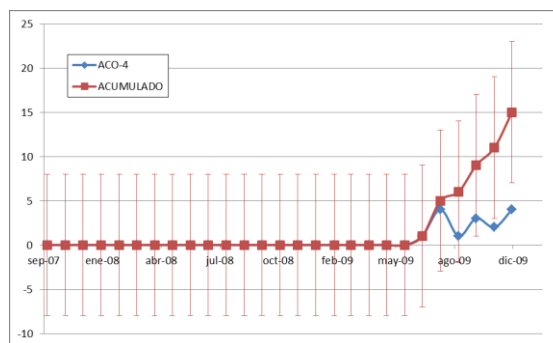


Figura 4. Sondeo ACO-4. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

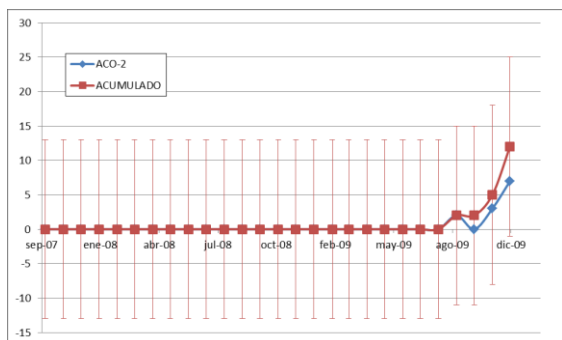


Figura 2. Sondeo ACO-2. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

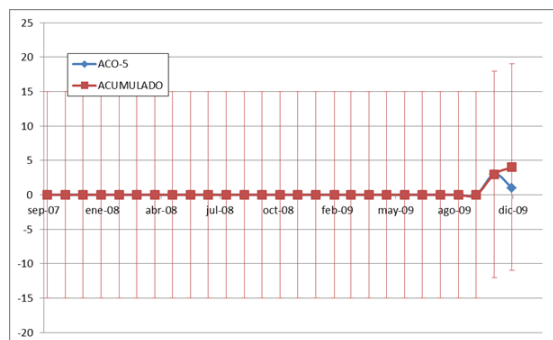


Figura 5. Sondeo ACO-5. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

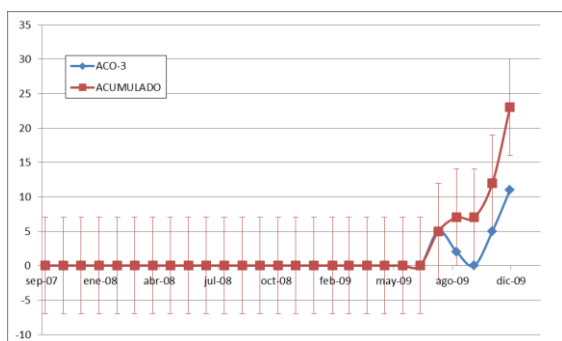


Figura 3. Sondeo ACO-3. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

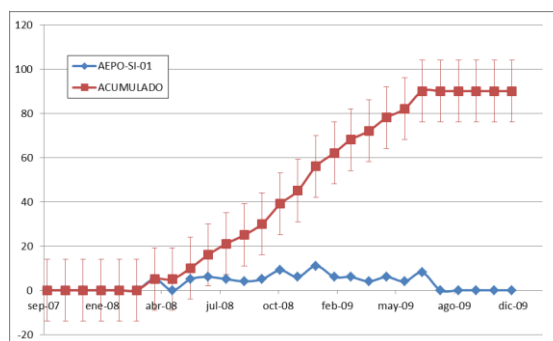


Figura 6. Sondeo AEPO-SI-01. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

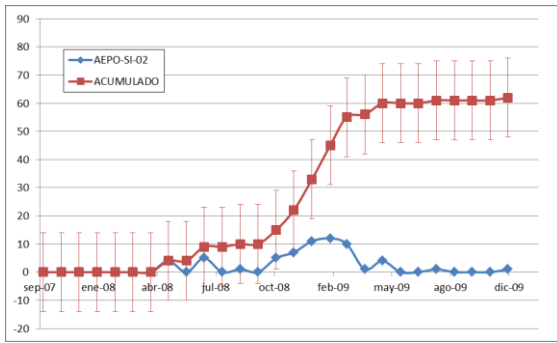


Figura 7. Sondeo AEPO-SI-02. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

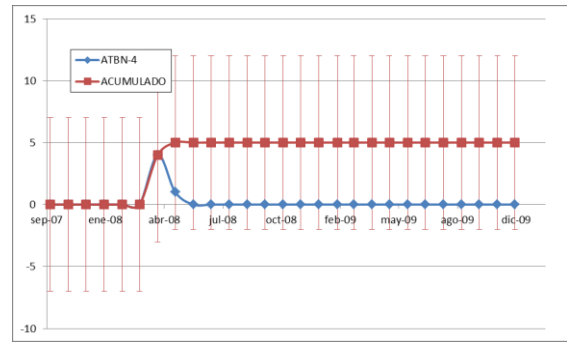


Figura 11. Sondeo ATBN-04. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

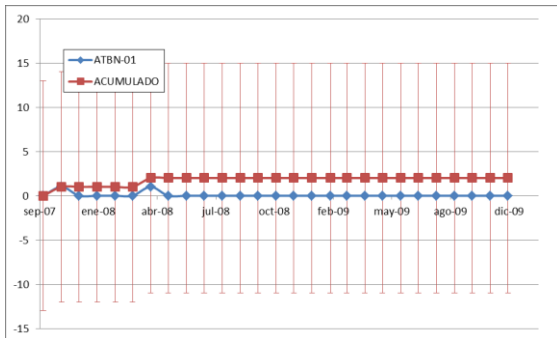


Figura 8. Sondeo ATBN-01. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

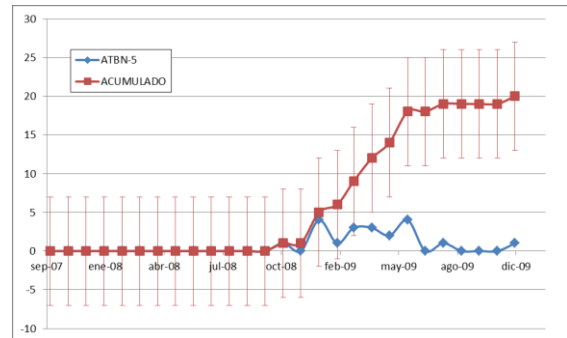


Figura 12. Sondeo ATBN-05. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

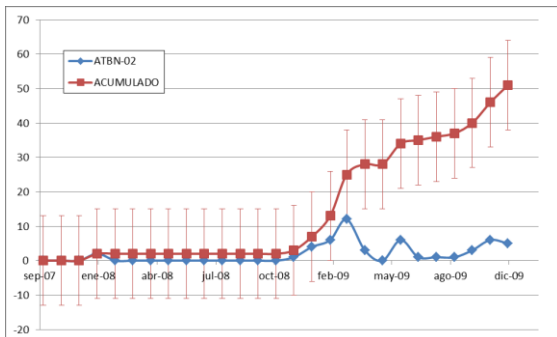


Figura 9. Sondeo ATBN-02. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

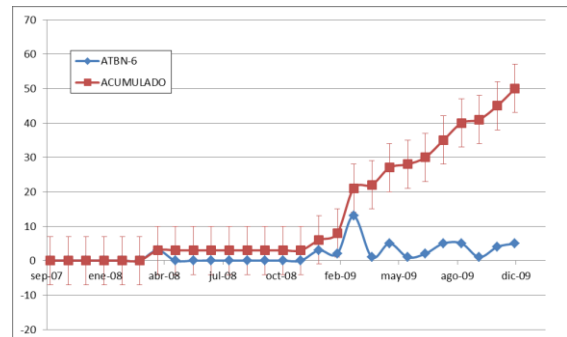


Figura 13. Sondeo ATBN-06. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

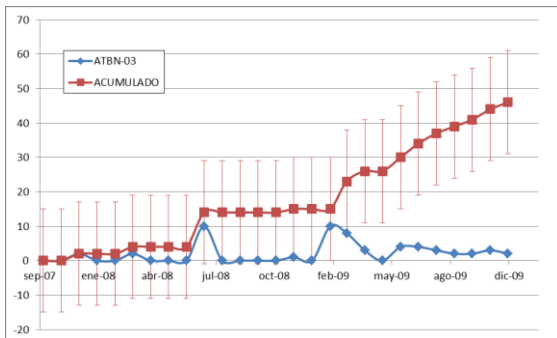


Figura 10. Sondeo ATBN-03. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

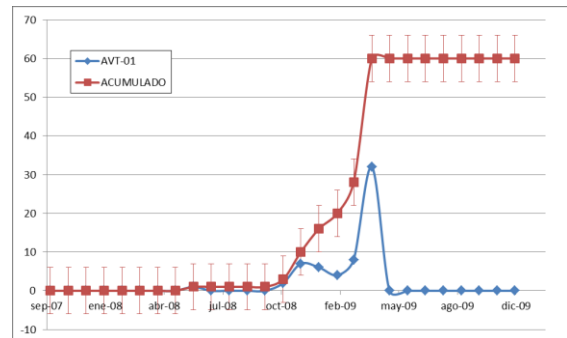


Figura 14. Sondeo AVT-01. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

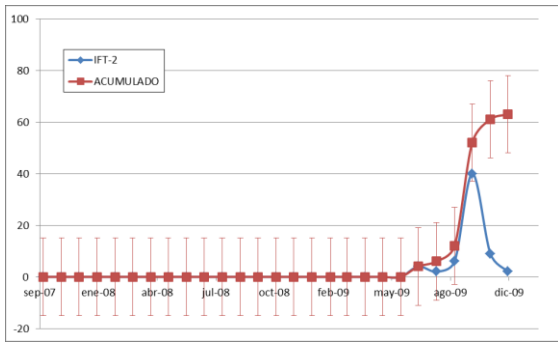


Figura 15. Sondeo IFT-02. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

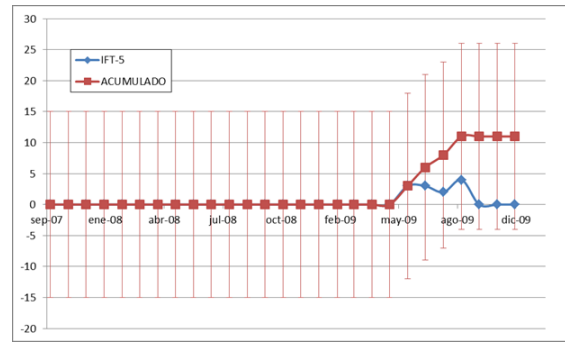


Figura 18. Sondeo IFT-05. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

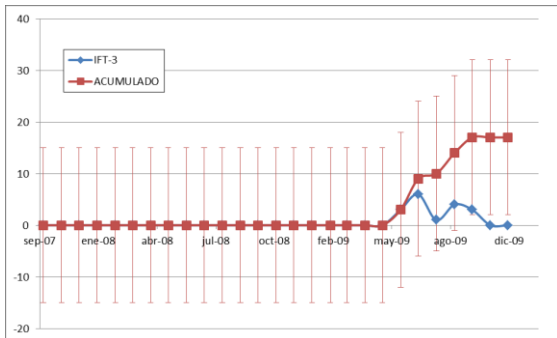


Figura 16. Sondeo IFT-03. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

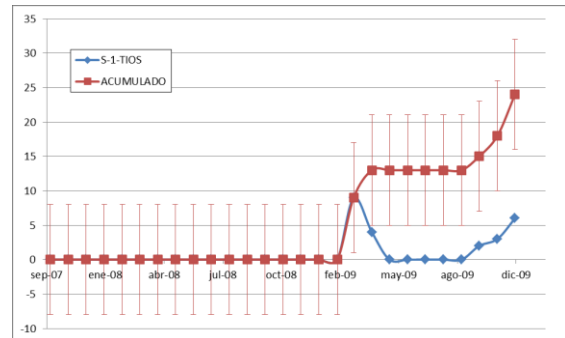


Figura 19. Sondeo S-1-TIOS. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

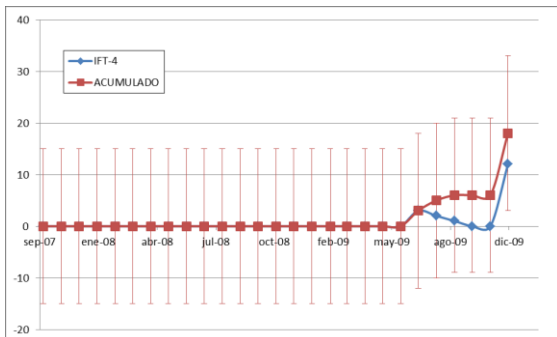


Figura 17. Sondeo IFT-04. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

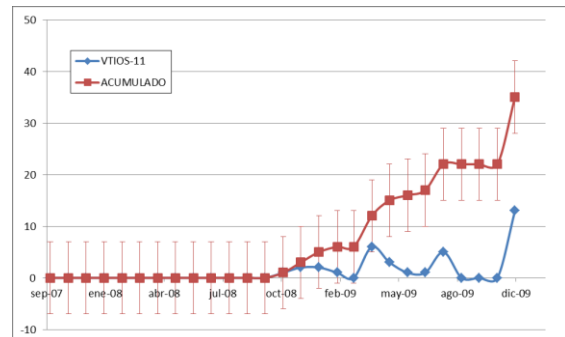


Figura 20. Sondeo VTIOS-11. Desplazamientos mensuales y acumulados con su correspondiente precisión.

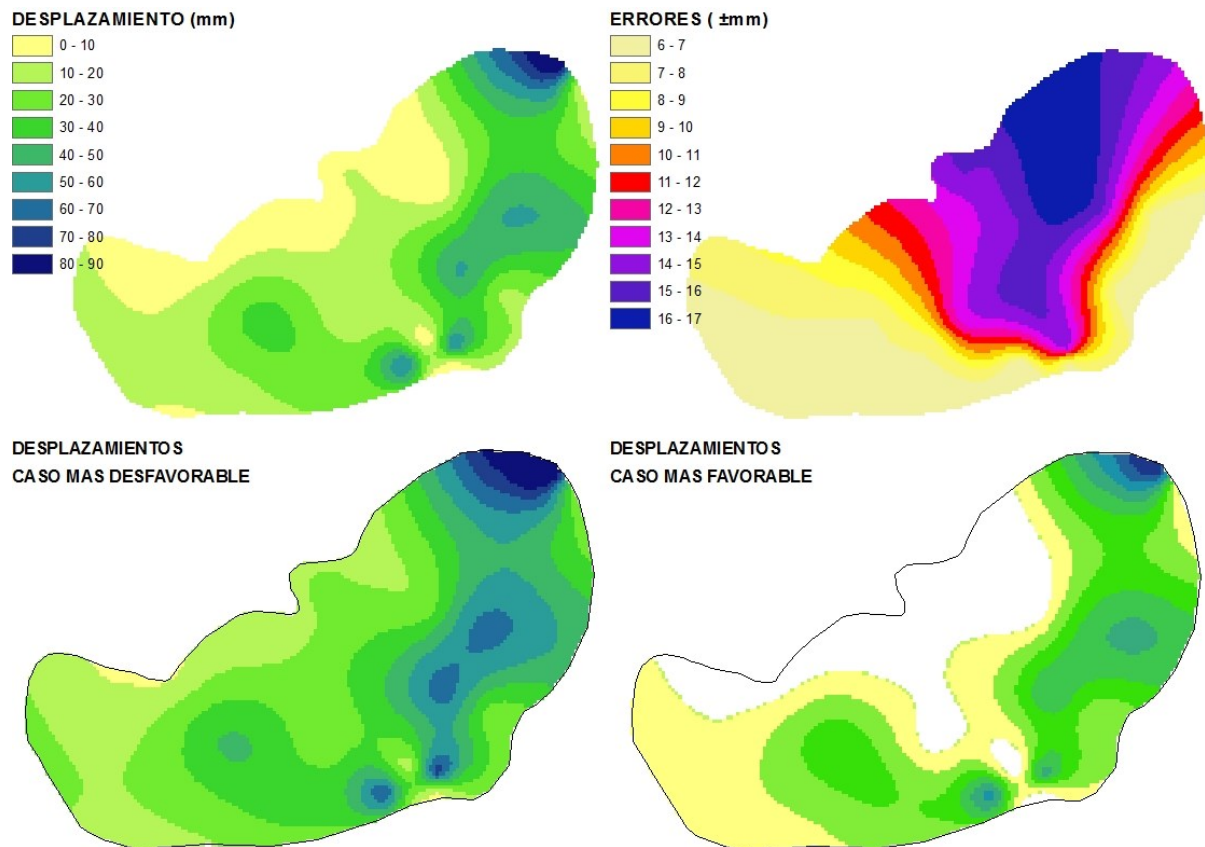


Figura 21. Representación gráfica de errores en las lecturas en los inclinómetros en el área de estudio. Modelos de desplazamientos en los casos más favorables y desfavorables en función de los posibles errores.