

EL EXTENSÓMETRO DE CABLE. VENTAJAS RESPECTO A LA AUSCULTACIÓN TRADICIONAL Y EXPERIENCIA DE APLICACIÓN EN EL VERTEDERO DE EPELE (GIPUZKOA)

**IÑAKI IBARBIA (1), IOSEBA JUGO (1), JUAN JOSÉ LANCHO (1),
JOAN MARTINEZ-BOFILL (2, 3), MIKEL ALBISU (1) y MIKEL FERRERES (1)**

(1) Ikerlur S.L.
inaki.ibarbia@ikerlur.com

(2) Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Joan.martinez-bofill@upc.edu

(3) Geomar Ingeniería del Terreno, S.L.P.
martinezbofill@geomar.cat

RESUMEN

La auscultación de las laderas de los vertederos es imprescindible para estudiar su estabilidad, tanto en fase de explotación, como una vez clausurados. Una técnica habitual es instalar inclinómetros y piezómetros, para monitorizar el movimiento del terreno, y su relación con el nivel freático. La principal limitación de los inclinómetros es que no admiten deformaciones importantes que terminan por inutilizarlos. El uso del extensómetro de cable permite superar esta limitación y medir deformaciones decimétricas y superiores, permitiendo establecer sistemas de auscultación más eficientes y seguros.

En el presente trabajo se describe la experiencia de auscultación del vertedero de Epele, en Gipuzkoa, mediante inclinómetros, piezómetros y extensómetros. Los equipos extensométricos han sido desarrollados a partir de un diseño de la UPC. Desde su instalación en 2007, en un ambiente altamente agresivo, los equipos funcionan satisfactoriamente, mientras que algunos inclinómetros quedaron inutilizados en menos de 2 años. En el año 2020, se ha ampliado la auscultación con dos nuevos equipos de extensómetro de cable que permiten el almacenamiento y envío automatizado de datos al cliente vía web. De esta forma, el extensómetro de cable es un dispositivo de auscultación que permite calibrar los modelos geotécnicos y la validación de los análisis de estabilidad, y es una herramienta eficaz y durable como sistema de detección de peligro y alerta temprana.

1. INTRODUCCIÓN

El vertedero de Epele, situado en el término municipal de Bergara (Gipuzkoa), presta servicio a las empresas de la comarca del Alto Deba desde el año 1993, aceptando para su eliminación controlada residuos no peligrosos, fundamentalmente residuos industriales (escorias y similares), inertes de construcción y demolición, y mezclas de residuos no peligrosos. En julio de 2019, la explotación del vertedero de Epele se paralizó temporalmente. En 2022, tras tres años de inactividad, la Mancomunidad de Debagoiena, organismo público encargado de la gestión de residuos de los municipios de Antzuola, Aretxabaleta, Arrasate, Bergara, Elgeta, Eskoriatza, Leintz-Gatzaga y Oñati, tiene intención de reabrir el vertedero, dando servicio a 62.000 habitantes.

La auscultación de las bermas y taludes de los vertederos resulta imprescindible para conocer las condiciones de estabilidad que presenta el relleno, tanto durante su fase de explotación, como posteriormente, una vez clausurado. Un ejemplo de vertedero clausurado en Gipuzkoa y dotado de auscultación, es el vertedero de Urteta, en la Mancomunidad de Urola Kosta.

Una de las técnicas más habituales de auscultación es instalar inclinómetros y piezómetros para monitorizar el movimiento del terreno, y estudiar su relación con el nivel freático, para establecer sistemas de alerta. Los inclinómetros de tubo son uno de los elementos de auscultación geotécnica más comunes para el control de la estabilidad de las laderas. Básicamente permiten determinar la profundidad de la superficie de rotura, el espesor del plano de cizalla y la evolución de los movimientos del terreno. Como principal ventaja está su elevada precisión (milimétrica), pero sin embargo su lectura suele ser manual y admiten desplazamientos de tan sólo algunos centímetros. Para deformaciones mayores, tal y como ocurre en vertederos, es habitual que queden inutilizados ya que el tubo queda cortado o deformado de tal forma que el sensor no puede desplazarse a través de las guías.

En cuanto al equipo extensométrico de cable, tiene la ventaja respecto a los inclinómetros que permite admitir grandes desplazamientos (Angeli et al, 1988) que pueden ser de decímetros a metros, y consigue un registro automatizado de medidas en continuo de los desplazamientos (monitorización), que se almacenan en el data logger. Cuando se acompaña con la instalación de piezómetros, también permite detectar las variaciones del nivel freático, pudiéndose correlacionar los datos de desplazamiento con las presiones de agua en el terreno.

En el presente trabajo se describe la experiencia de auscultación del vertedero de Epele, en Gipuzkoa, mediante inclinómetros, piezómetros y extensómetros. Los equipos extensométricos han sido desarrollados a partir de un diseño de la UPC (Corominas et al, 2000). Desde su instalación hace más de 12 años, el equipo de extensómetro de cable, sometido a un ambiente altamente agresivo, ha funcionado de manera satisfactoria, proporcionando datos de los desplazamientos profundos del terreno con frecuencia horaria.

En el año 2020, con el vertedero en parada temporal, se implementaron dos nuevos equipos de extensómetro de cable con piezómetro eléctrico, así como un nuevo inclinómetro. Estos nuevos equipos de extensómetro de cable permiten el almacenamiento y envío automatizado de datos al cliente vía web. El sistema incorpora una unidad de alimentación, compuesta por una batería, además de placas solares que permiten su recarga automática.

2. CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO

El vertedero de Epele ocupa actualmente una superficie de aproximadamente 47 Ha y colmata una antigua vaguada por cuyo eje circulaba un arroyo principal que recogía las aguas de dos arroyos superiores. Este arroyo desemboca aguas abajo del vertedero, en la regata Epele, que constituye el límite entre los T.M. de Arrasate/Mondragón y Bergara.



Figura 1. Izqda.: Plano de situación. Dcha.: Fotografía aérea del vertedero de Epele (Bergara)

Tras las obras de drenaje de aguas limpias ejecutadas en el año 2009, las aguas de escorrentía fueron desviadas perimetralmente al vertedero, discurriendo en superficie mediante cunetas y bajantes escalonadas.

La explotación del vertedero se efectúa mediante taludes de aproximadamente unos 25° de inclinación, de 15 metros de altura y con bermas horizontales intermedias de unos seis metros de ancho.

El Proyecto de Construcción contempla crear una plataforma final a la cota +380, alcanzándose en ese estado final una capacidad de almacenamiento total de 1.817.100 m³.

El vertedero presenta actualmente seis bermas, a las cotas +275 (1ª berma), +290 (2ª berma), +305 (3ª berma), +320 (4ª berma), +335 (5ª berma) y +350 (6ª berma). Está previsto ejecutar el recrecido hasta las bermas 7ª (+365) y 8ª (+380).

Desde el inicio de la explotación en la primera de sus fases, hasta la paralización temporal de la actividad (julio de 2019), se han introducido en el vertedero, un total de 297.500 T, quedando por ocupar un volumen aproximado de 268.000 m³; muy similar al ya ocupado. Por lo tanto, el vertedero se encuentra aproximadamente a algo más del 50% de su capacidad, y presenta posibilidad de crecer.

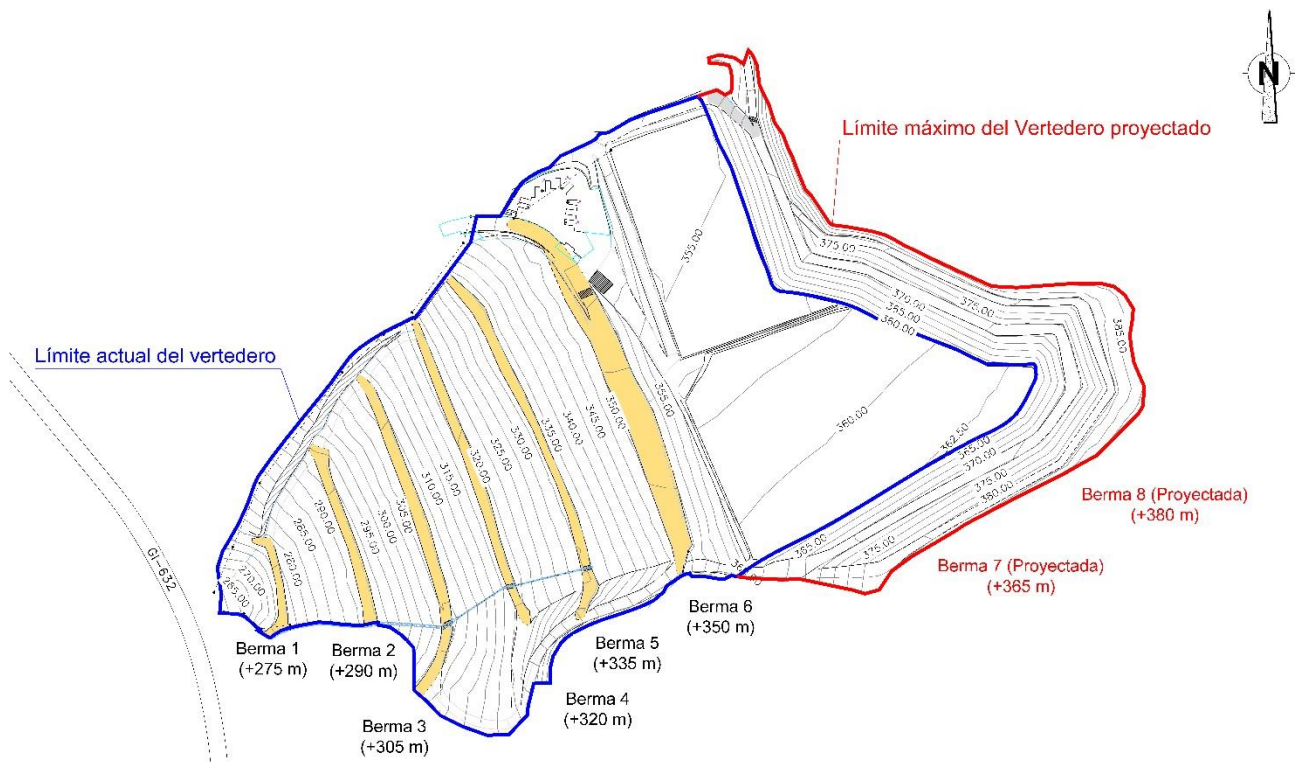


Figura 2. Límites del vertedero y bermas 1 a 6 (situación actual, 2022)

3. CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO GENERAL

La zona investigada pertenece, desde el punto de vista geológico, a la envolvente mesozoica del macizo paleozoico de Cinco Villas, situándose en el flanco SW del Sinclinorio de Gipuzkoa, dentro de la Cuenca Vasco-Cantábrica.

Litoestratigrafía

Los afloramientos de roca existentes en las inmediaciones del vertedero de Epele son de edad Albiense superior-Cenomaniense, encuadrándose en el Complejo Supraurgoniano, que posee un claro carácter regresivo.

Se trata de limolitas silíceas gris oscuras a negras, de aspecto bastante masivo, que presentan intercalaciones ocasionales de areniscas micáceas. Si bien las limolitas son de aspecto masivo, también llegan a aparecer finamente laminadas, alternando con finos estratos de arenisca. Resulta muy característica la presencia, dentro de las limolitas, de nódulos ferruginosos de forma ovoidea alineados y elongados según la estratificación. Con frecuencia las limolitas sufren un tipo de alteración supergénica, originándose una disyunción en “capas de cebolla”, que a veces alcanzan un tamaño métrico.

En cuanto a las areniscas, son micáceas y se encuentran bien estratificadas, dando lugar a capas con un espesor de orden centimétrico a decimétrico. Ocasionalmente, entre los niveles de limolitas y areniscas, aparecen intercalaciones de argilitas.

Las proporciones entre las diferentes litologías de la serie supraurgoniana varían, predominando las limolitas sobre las areniscas en algunas zonas, y viceversa.

Rellenos del vertedero

En la actualidad el máximo espesor de rellenos en el vertedero se sitúa bajo la berma 6, donde se alcanzan espesores próximos a los 40 m. En la Figura 3 se presenta una Planta Geotécnica General donde se indican los límites actuales del vertedero de Epele y la situación final, cuando se alcance la cota +380 según Proyecto.

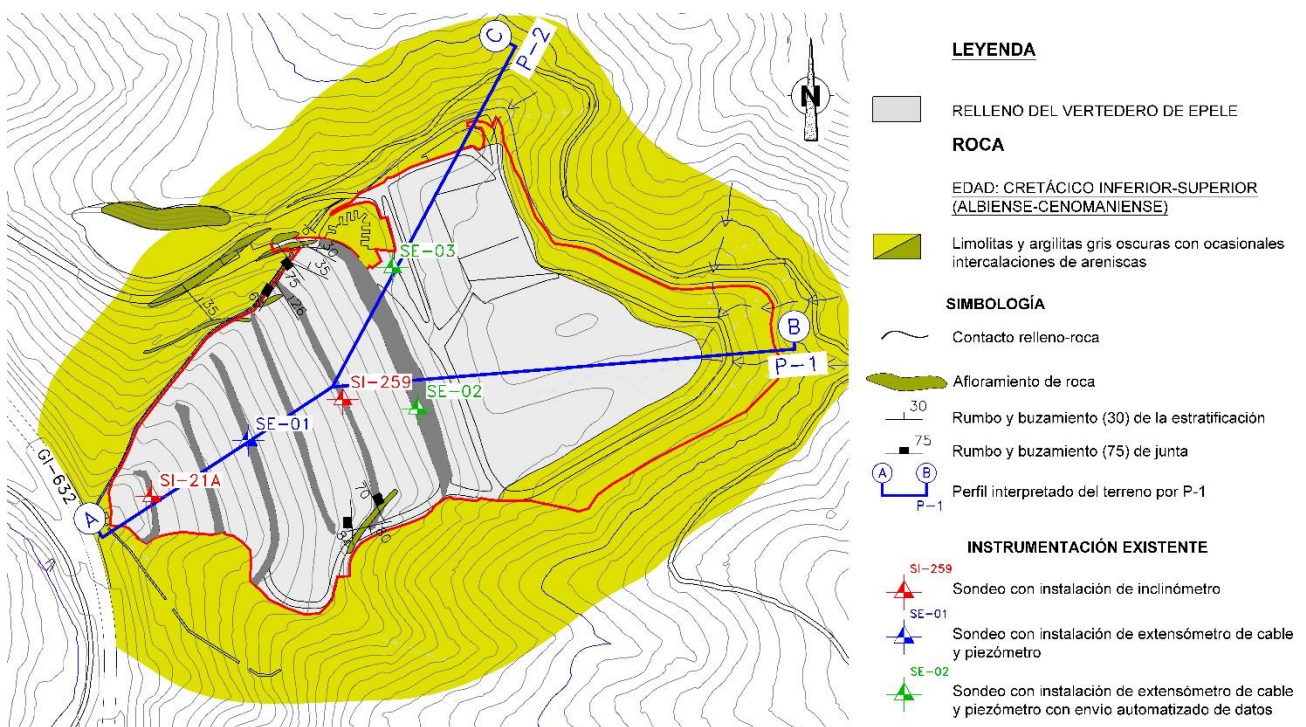


Figura 3. Planta Geotécnica General del vertedero

En la Figura 4 se presentan dos cortes interpretados del terreno en los que se reflejan la geometría del vertedero.

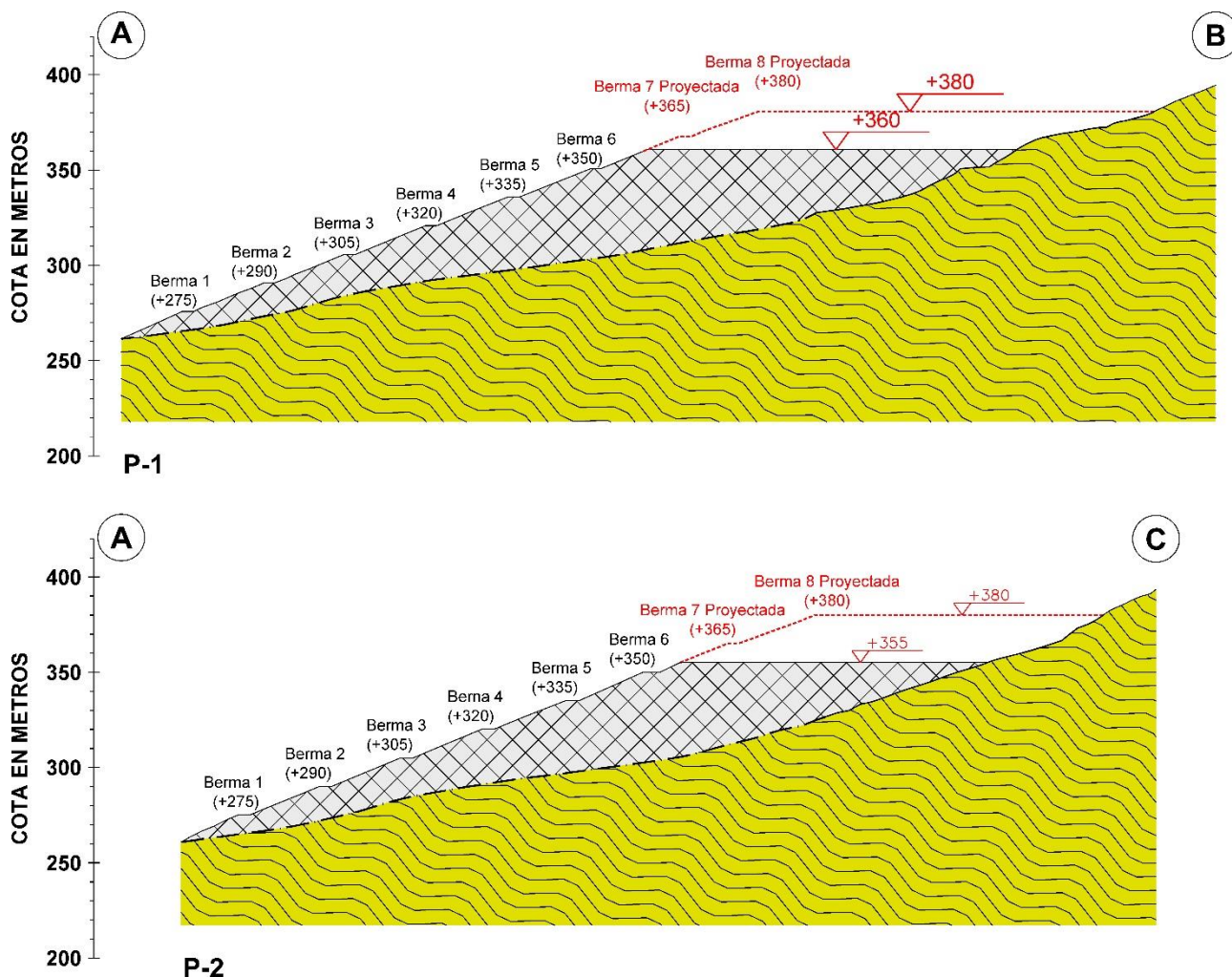


Figura 4. Cortes del interpretados del terreno

Estructura

La estratificación se dispone según rumbos aproximados NO-SE, y buzamientos comprendidos entre 45° y 80° hacia el N y NE, con ocasionales cambios en el sentido de buzamiento de los estratos.

Hidrogeología

El vertedero se ubica en un valle con morfología en “Y”, resultado de la existencia de dos arroyos que se unían constituyendo un único curso hasta desembocar en la regata Epele, tributaria del río Deba. Las aguas de escorrentía fueron desviadas perimetralmente al vertedero, con anterioridad a la ejecución del mismo.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el substrato rocoso, limolitas y argilitas, debido a su alto contenido en finos, presentan una permeabilidad baja en estado sano ($K \leq 10^{-5}$ m/s), no constituyendo acuíferos de interés. Los rellenos presentan una permeabilidad alta ($K \geq 10^{-2}$ m/s).

Sin embargo, los paquetes de arenisca intercalados en el sustrato rocoso sí pueden presentar una permeabilidad por porosidad, si bien no presentan acuíferos de interés al tratarse de finos niveles intercalados entre materiales impermeables. Por ello, pueden existir pequeñas humedades y fluencias de agua, sin interés hidrogeológico, en aquellos niveles de roca que se encuentran más meteorizados, en los niveles más arenosos, así como a través del contacto suelo-roca.

No existe nivel freático generalizado dentro de la masa de relleno.

4. DISPOSITIVOS DE AUSCULTACIÓN

Con objeto de detectar deformaciones profundas en los rellenos y en el contacto con la roca, en julio de 2005 se instalaron dos inclinómetros (I-20 e I-21). La medida inicial de referencia de ambos inclinómetros se realizó el día 29 de Julio de 2005, realizándose posteriormente mediciones periódicas.

El inclinómetro I-21, situado en la 1ª Berma (+279 m), resultó dañado durante los trabajos de sellado del vertedero en su zona inferior, y se repuso posteriormente en marzo de 2014 (I-21A).

El inclinómetro I-20 (3ª berma, a +305 m), quedó fuera de servicio por exceso de deformación en junio de 2007 (23 meses de operatividad). Hasta ese momento, acumuló una deformación total en cabeza de unos 33 mm (velocidad media de desplazamientos de 1,43 mm/mes).

En 2009 se puso en marcha en la 3ª berma (+305m) el equipo SE-01, equipo de extensómetro de cable y piezómetro eléctrico con almacenamiento horario de datos en data logger. Desde entonces los datos son rescatados in situ con una frecuencia semestral.

En septiembre de 2020 se instaló el inclinómetro I-259 (5ª berma, a la +335 m), así como dos nuevos equipos de extensómetro de cable+ piezómetro (SE-02 y SE-03, en la 6ª berma), con almacenamiento horario y envío de datos de manera automatizada vía web.

Consiguientemente, el vertedero cuenta con la siguiente instrumentación operativa (Ver Figura 5):

- 2 inclinómetros: I-21A, de 19 m de profundidad, en la Berma 1ª (“lectura 0” efectuada el 10/03/2014), e I-259, de 45 m de profundidad, en la Berma 3ª, (“lectura 0” el 04/09/2020).
- Equipos de extensómetro de cable y piezómetro: SE-01, operativo desde marzo de 2010, en la Berma 3 (+305 m), de 27 m de profundidad. Datos almacenados en el data logger y con descarga manual cada 6 meses.
- En 2021, se montaron dos equipos con envío automatizado de datos; SE-02 en la 6ª berma (zona vaguada Sur) a la +353 m), de 51,5 m de profundidad, y SE-03, instalado en la Berma 6ª (zona vaguada Norte, cota +355), siendo su profundidad de 49,6 m. Estos nuevos equipos están funcionando correctamente desde su instalación, enviando diariamente los datos de los desplazamientos del cable y de la variación del nivel piezométrico.

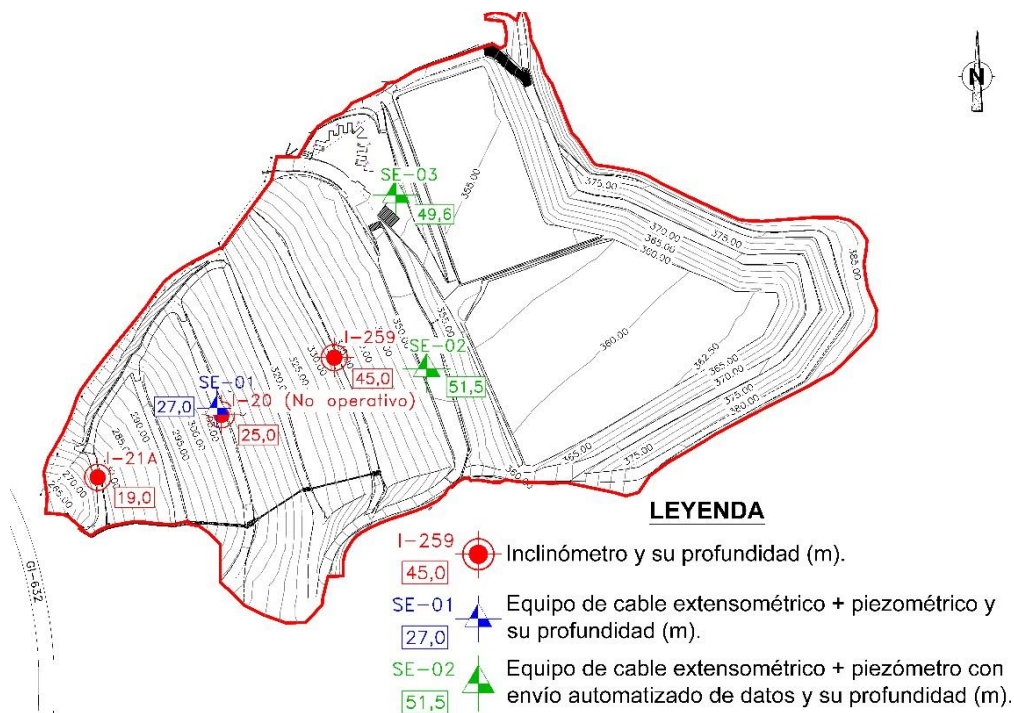


Figura 5. Instrumentación instalada en el vertedero de Epele

A continuación, se incluye en la Figura 6 un cuadro resumen de los diferentes equipos de auscultación, en el que se indica los valores máximos de desplazamiento registrados, su operatividad actual y el tiempo de servicio.

TIPO DE INSTRUMENTACIÓN	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO	OPERATIVIDAD ACTUAL	TIEMPO DE ACTIVIDAD
INCLINÓMETRO I-20	33 mm	NO OPERATIVO	Aprox. 2 años
INCLINÓMETRO I-21	23 mm	NO OPERATIVO	Aprox. 7 años
INCLINÓMETRO I-21A	20 mm	OPERATIVO	Aprox. 8 años
INCLINÓMETRO I-259	19 mm	OPERATIVO	1 año y 9 meses
EXTENSÓMETRO + PIEZÓMETRO SE-01	140 mm	OPERATIVO (Piezómetro no operativo)	12 años y 3 meses
EXTENSÓMETRO + PIEZÓMETRO SE-02	12 mm	OPERATIVO	1 año
EXTENSÓMETRO + PIEZÓMETRO SE-03	7 mm	OPERATIVO	1 año

Figura 6. Cuadro resumen de auscultación del vertedero de Epele

5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE CABLE EXTENSOMÉTRICO

El equipo de cable extensométrico permite medir los desplazamientos del terreno y establecer mediante el piezómetro anexo las relaciones con los niveles de agua subterránea, de tal manera que, en conjunto puede utilizarse este dispositivo como sistema de detección del peligro y alerta temprana.

El extensómetro de cable utilizado es un dispositivo no comercial, que ha sido diseñado y desarrollado en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la UPC Universitat Politècnica de Catalunya (Corominas et al, 2000). El equipo ha sido fabricado en un taller especializado y está diseñado para auscultar desplazamientos de forma continua. Los desplazamientos son medidos en un sondeo que ha de atravesar la superficie de rotura. El sondeo debe contar con un tubo de revestimiento de PVC para evitar que se puedan desprender sus paredes. Su principal ventaja es que permite un registro continuo (cada 30 minutos o 60 minutos, por ejemplo), y admite además grandes deformaciones, de orden métrico, inasumible en sondeos dotados con tubería inclinométrica.

El instrumento consiste en un cable de acero que se introduce hasta el fondo del sondeo. El cable de acero se encuentra protegido en el interior del sondeo por una funda de plástico sellada para evitar su posible corrosión por parte del agua subterránea o terreno agresivo.

El extremo inferior del cable está anclado en el fondo del sondeo, por debajo de la superficie de rotura, mediante un mortero de cemento. El otro extremo del cable está en el exterior y se mantiene a tensión constante por medio de una polea y un contrapeso. Dicho contrapeso se sitúa en otro sondeo auxiliar de un metro de profundidad realizado al lado del sondeo principal.

Un movimiento a lo largo de un plano de deslizamiento ocasiona el desplazamiento del cable y la rotación de la polea. La rotación de la polea se puede medir en campañas sucesivas de manera visual y directa en un dial acoplado a la misma, o bien de manera continua mediante un potenciómetro solidario con el eje de la polea y que está conectado a un dispositivo de registro, llamado data logger, que almacena las lecturas a intervalos de tiempo prefijados (una lectura cada hora, por ejemplo).

El esquema del dispositivo de un extensómetro de cable es el siguiente:

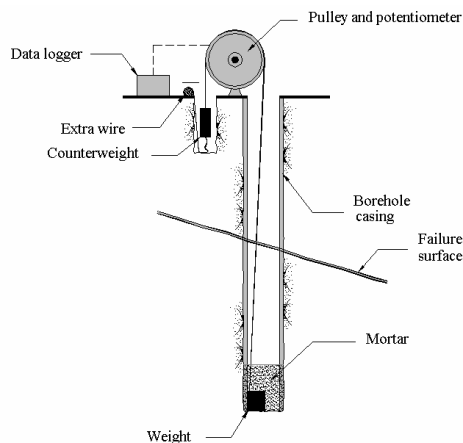


Figura 7. Esquema de dispositivo de cable extensométrico. J. Corominas et al. / Engineering Geology 55 (2000), p. 151

El equipo permite medir grandes desplazamientos. Es importante señalar que la variación de la longitud del cable no coincide exactamente con el movimiento de traslación a lo largo del plano de rotura (Corominas et al. 2000). Muchas veces, en una fase inicial, el cable no se desplaza en sentido del movimiento, sino que se recoge, en función de la profundidad, ángulo y espesor de la zona de rotura y también del diámetro de la perforación y de lo que se deforme el terreno a lo largo de la zona de rotura.

Como principales limitaciones, el equipo no permite la detección de la profundidad de la superficie de rotura, ni tampoco la determinación del vector desplazamiento. Si esto fuera necesario, la solución sería instalar un inclinómetro de sacrificio junto al equipo de extensómetro de cable.

Adicionalmente, dentro del sondeo se instala un piezómetro eléctrico, que consta de un sensor eléctrico o sonda de nivel, que se sitúa en la parte inferior de un tubo piezométrico ranurado de tipo abierto. El piezómetro se conecta con el data logger existente en superficie, que es el encargado de registrar las mediciones de presión de agua a intervalos de tiempo prefijados.

La presión de agua registrada en el sensor estará en función de la columna de agua existente sobre el mismo. Conocida la profundidad de instalación del sensor es fácil determinar la profundidad del nivel freático.



Figura 8. Izda.: Equipo de extensómetro de cable+piezómetro SE-01. Centro: Nuevo equipo de extensómetro de cable+piezómetro SE-02. Dcha.: Caseta protección equipo SE-03

Un ejemplo de experiencia en el uso de extensómetros similares a los instalados en el vertedero de Epele, se encuentra en el deslizamiento instrumentado desde 1987 en Vallcebre, en el Pirineo Oriental (Gili et al, 2021).

6. RESULTADOS OBTENIDOS

El extensómetro de cable SE-01 ha permitido registrar de manera continuada los desplazamientos del terreno en la 3ª berma del vertedero, desde el mes de marzo de 2010 hasta la actualidad.

El equipo se programó para realizar una lectura cada hora. Los datos registrados por el equipo son almacenados en un data logger situado junto al mismo. Los datos se descargan cada 6 meses para su interpretación.

A fecha actual (junio 2022) el desplazamiento total acumulado registrado por el extensómetro en estos 12 años alcanza los 140 mm. La velocidad media de los movimientos desde origen se sitúa aproximadamente en 0,95 mm/mes. Sin embargo, en este extensómetro se observa claramente que la velocidad media de los desplazamientos se ha ralentizado a partir del año 2012.

El piezómetro instalado junto al extensómetro indicó la ausencia de nivel de agua en el relleno en el periodo que se mantuvo operativo (10 años).

A continuación, se incluye un gráfico con la evolución temporal de los desplazamientos registrados en el extensómetro SE-01.

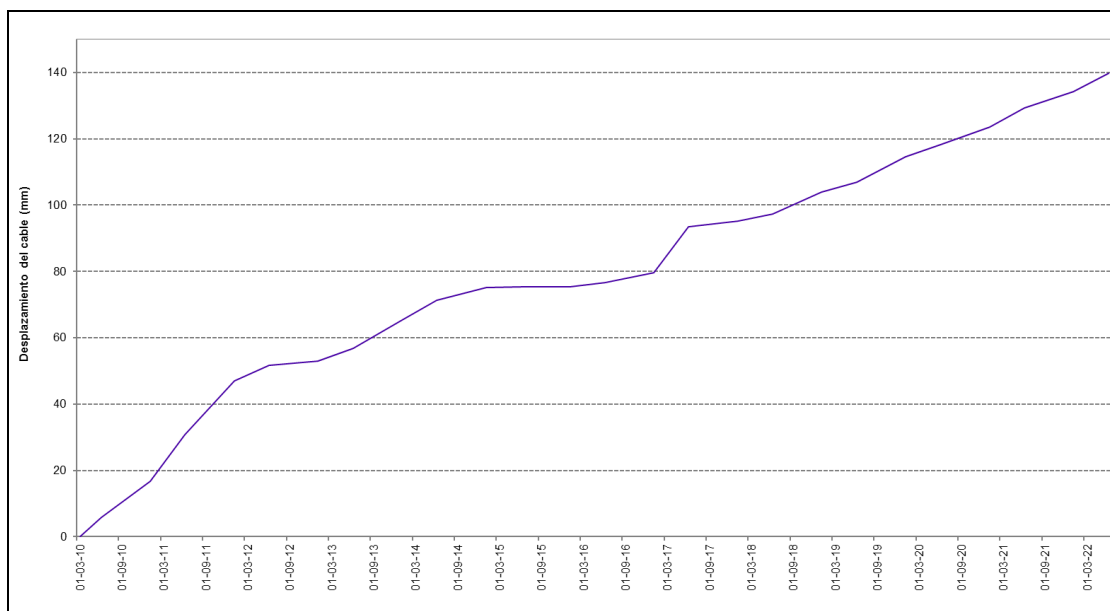


Figura 9. Extensómetro SE-01. Gráfico de desplazamiento total acumulado

El extensómetro de cable SE-02 ha permitido registrar de manera continuada los desplazamientos del terreno en la 6ª berma (sector Norte) desde el mes de julio de 2021 hasta la actualidad.

El equipo se programó igualmente para realizar una lectura cada hora. Los datos registrados por el equipo son almacenados en el data logger situado junto al equipo. Diariamente el data logger envía los datos vía web a un servidor, donde son analizados prácticamente a tiempo real.

A fecha actual (junio 2022) el desplazamiento total acumulado registrado por el extensómetro en estos últimos 11 meses ha sido de unos 12 mm. La velocidad media de los movimientos se sitúa aproximadamente en 1,05 mm/mes, similar a la del equipo SE-01.

El piezómetro instalado junto al extensómetro registra igualmente mediciones horarias del nivel de agua en el terreno. Las lecturas realizadas hasta el momento indican la ausencia de nivel de agua en el relleno.

A continuación, se incluye un gráfico con la evolución temporal de los desplazamientos registrados en el extensómetro SE-02.

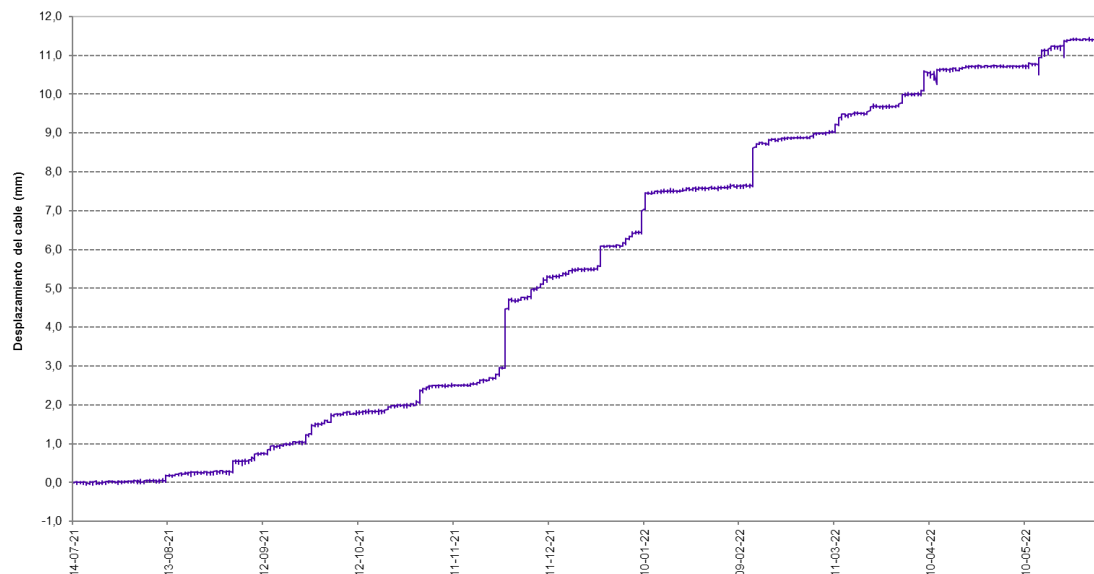


Figura 10. Extensómetro SE-02. Gráfico de desplazamiento total acumulado

El extensómetro de cable SE-03 ha permitido registrar de manera continuada los desplazamientos del terreno en la 6ª berma (sector Sur) desde el mes de abril de 2021 hasta la actualidad.

El equipo se programó para realizar una lectura cada hora. Los datos registrados por el equipo son almacenados en el data logger situado junto al equipo. Diariamente el data logger envía los datos vía web a un servidor donde son analizados prácticamente a tiempo real.

A fecha actual (junio 2022) el desplazamiento total acumulado registrado por el extensómetro en estos últimos 14 meses ha sido de unos 7 mm. La velocidad media de los movimientos se sitúa aproximadamente en 0,50 mm/mes, inferior a la registrada en los equipos SE-01 y SE-02.

El piezómetro instalado junto al extensómetro indica presencia puntual de nivel de agua en el fondo del sondeo.

A continuación, se incluye un gráfico con la evolución temporal de los desplazamientos registrados en el extensómetro SE-03.

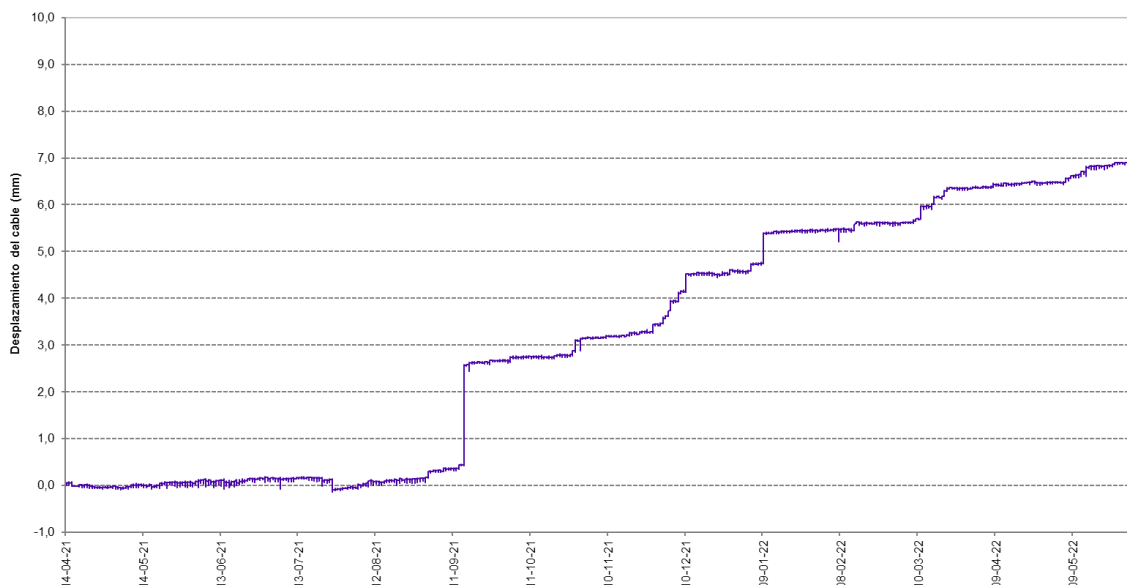


Figura 11. Extensómetro SE-03. Gráfico de desplazamiento total acumulado

Analizando los datos de movimientos con respecto a los datos de pluviometría y evolución de los niveles freáticos, se ha comprobado que los “saltos o incrementos puntuales” medidos por los equipos extensométricos, no tienen una relación directa con la pluviometría o variaciones del nivel freático.

En cualquier caso, se trata de variaciones pequeñas de 1-2 mm, hecho que demuestra la buena sensibilidad del equipo. El motivo puede ser debido a ajustes del equipo, o bien a pequeños asentamientos de la masa de relleno. En cualquier caso, permite constatar que la masa del relleno es estable.

7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se describe la experiencia de auscultación del vertedero de Epele, en Gipuzkoa, mediante inclinómetros, piezómetros y extensómetros de cable. La auscultación de las laderas de los vertederos es imprescindible para estudiar su estabilidad, tanto en fase de explotación, como una vez clausurados.

Una técnica habitual es instalar inclinómetros y piezómetros, para monitorizar el movimiento del terreno, y su relación con el nivel freático. La principal limitación de los inclinómetros es que no admiten deformaciones importantes que terminan por inutilizarlos. En nuestro caso, uno de los inclinómetros quedó inutilizado tras 23 meses, debido a un desplazamiento de 33 mm.

El uso del extensómetro de cable permite superar esta limitación y medir deformaciones decimétricas y superiores, permitiendo establecer sistemas de auscultación más eficientes y seguros. El extensómetro de cable utilizado es un dispositivo no comercial, que ha sido diseñado y desarrollado en el Departamento de Ingeniería civil y ambiental de la UPC Universitat Politècnica de Catalunya (Corominas et al, 2000). El equipo ha sido fabricado en un taller especializado, y está diseñado para auscultar desplazamiento de forma continua.

El equipo de cable extensométrico permite medir los desplazamientos del terreno y establecer mediante el piezómetro anexo las relaciones con los niveles de agua subterránea, de tal manera que, en conjunto puede utilizarse este dispositivo como sistema de detección del peligro y alerta temprana.

En el vertedero de Epele de Bergara existe un histórico de correcto funcionamiento de uno de estos equipos a lo largo de más de 12 años, sometidos a un ambiente altamente agresivo.

En conclusión, el extensómetro de cable ha resultado muy adecuado para monitorizar vertederos y deslizamientos en los que se prevean grandes desplazamientos, inasumibles con la inclinometría convencional. Cuando se acompaña con la instalación de piezómetros, este equipo permite correlacionar los datos de desplazamiento con las presiones de agua almacenadas en el data logger. La tecnología actual consigue poder remitir los datos de manera telemática, sirviendo como sistema de detección del peligro y alerta temprana.

AGRADECIMIENTOS

Este Artículo técnico no hubiera sido posible sin la colaboración y el interés mostrado por DEBAGOINENNEKO MANKOMUNITALEA/MANKOMUNIDAD DE DEBAGOIENA.

También agradecemos al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya, y especialmente al profesor José Moya por su soporte en el desarrollo de los equipos extensométricos y su inestimable ayuda en la instalación y puesta en marcha.

REFERENCIAS

- Angeli, M.G., Gasparetto, P., Silvano, S., Tonnetti, G. (1988). "An automatic recording system to detect the critical stability of slopes". *Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, 10-15 July 1988, vol. 1, pp 375-378.*
- Corominas, J., Moya, J., Lloret, A., Gili, J.A., Angeli, M.G., Pasuto, A., Silvano, S. (2000) "Measurement of landslide displacements using a wire extensometer". *Engineering Geology 55, pp. 149-166.*
- Gili, J.A., Moya J., Corominas, J., Crossetto, M., Monserrat, O. (2021) "Past, Present and Future Monitoring at the Vallcebre Landslide (Eastern Pyrenees, Spain)". *MDPI, Applied Sciences 2021, 11, 571.*