

Liderando la industria en aseguramiento de calidad de construcción de geomembranas con métodos de detección eléctrica de fugas



El método de dipolo utiliza adquisición basada en GPS para detectar fugas a través del suelo de cobertura

Introducción

Las geomembranas se utilizan como barrera de protección contra materiales potencialmente peligrosos y el contacto con aguas subterráneas y/o suelos en instalaciones de contención a gran escala, como rellenos sanitarios, estanques de aguas residuales, aplicaciones mineras, almacenamiento secundario de combustibles y reservorios de agua potable. Aunque estos revestimientos de geomembrana son fundamentales para proteger el medio ambiente, son vulnerables a sufrir daños. Cuando una geomembrana presenta incluso una pequeña cantidad de fugas, junto con las arrugas típicas de las instalaciones de geomembranas, su desempeño es apenas superior al de un revestimiento de suelo de baja permeabilidad (Giroud y Wallace, 2016).

La evidencia demuestra que los protocolos típicos de Aseguramiento de Calidad en la Construcción (CQA, por sus siglas en inglés) que excluyen el uso de estudios de detección de fugas no son suficientes para garantizar que una geomembrana esté intacta después de la construcción. Las fugas causadas por métodos de sellado deficientes, cortes con cuchillos, perforaciones y daños por equipos son detectadas rutinariamente mediante estudios de Detección Eléctrica de Fugas (ELL, por sus siglas en inglés).

El daño más significativo a la geomembrana suele ser causado por el equipo durante la colocación del material de cobertura. Los esfuerzos de CQA normalmente se enfocan en las uniones, mientras que los estudios ELL pueden evaluar el 100% del área revestida en busca de fugas, tanto antes como después de colocar el material de cobertura.

Incluso con métodos de construcción cuidadosos y un alto nivel de CQA, no se puede garantizar que una geomembrana haya sido instalada sin fugas a menos que se apliquen métodos ELL como parte del proceso de construcción del proyecto.

Métodos de Detección Eléctrica de Fugas (ELL)

La inspección de detección eléctrica de fugas es una tecnología comprobada en campo que se utiliza para localizar fugas en geomembranas instaladas, tanto antes como después de la colocación de agua o suelo. Existen varios métodos ELL disponibles, pero todos operan bajo el principio de que las geomembranas son eléctricamente aislantes. Por lo tanto, cuando se aplica electricidad a la superficie de la geomembrana y se conecta a tierra en la capa subyacente, el recorrido de la electricidad puede rastrearse directamente a través de cualquier fuga presente en la geomembrana.

Los métodos ELL pueden agruparse en dos categorías:

1. Métodos para geomembranas expuestas
2. Métodos para geomembranas cubiertas

Las descripciones de estos métodos, incluyendo sus ventajas y limitaciones, se encuentran en la norma ASTM D6747 - Guía estándar para la selección de técnicas de detección eléctrica de fugas en geomembranas.

Pruebas en Geomembranas Cubiertas

Las inspecciones para detección de fugas pueden realizarse en geomembranas que ya han sido cubiertas. Durante la prueba de geomembranas cubiertas, el inyector de corriente se coloca en el material que cubre la geomembrana, el retorno de corriente se coloca en la capa subyacente, y el material de cobertura distribuye el voltaje aplicado a lo largo de toda el área de inspección.

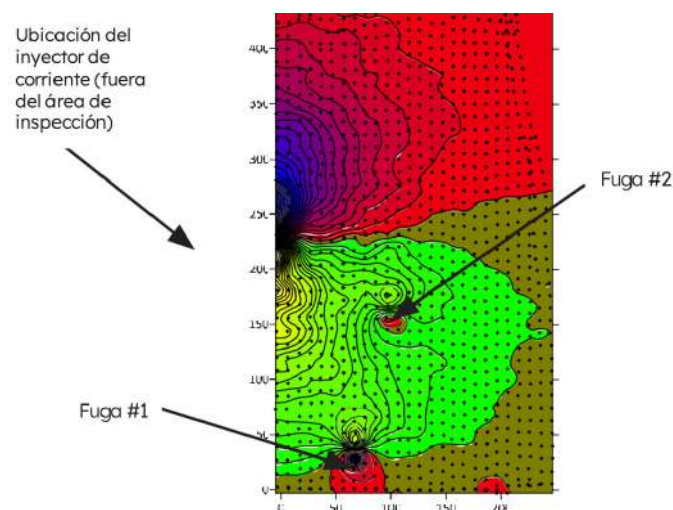


Figura 1: Mapa de Voltaje del Método de Dipolo en un rea de Inspección Cubierta con Suelo

Luego, se adquieren mediciones de voltaje en un patrón de cuadrícula en toda el área evaluada. El potencial de voltaje será más alto en la ubicación del inyector de corriente y más bajo en el punto donde exista una ruptura en la geomembrana. Se utiliza un dipolo (un aparato con dos puntos de medición muy cercanos entre sí) para medir el gradiente de voltaje y amplificar la pendiente del campo de potencial eléctrico, siendo una pendiente descendente pronunciada indicativa de la dirección de una fuga (cuando el voltaje se mide de adelante hacia atrás).

Los datos recopilados por un instrumento de dipolo se organizan en un mapa de voltaje del área de inspección, como se muestra en la Figura 1. Para las pruebas con el método de dipolo, se elige una dirección de inspección y el dipolo debe mantenerse en la misma orientación mientras recopila datos de voltaje en un patrón de cuadrícula en toda el área. En el mapa de voltaje de la Figura 1, la dirección de desplazamiento del dipolo es de abajo hacia arriba, con mediciones de voltaje obtenidas entre el pie delantero y el pie trasero mientras el dipolo está orientado en la dirección del desplazamiento. Las marcas en el mapa indican los puntos de adquisición de mediciones. Los valores de voltaje negativos se codifican cambiando de rojo a azul a negro con magnitud creciente. Los valores positivos se codifican cambiando de verde a amarillo a blanco con magnitud creciente. Si la corriente fluye desde el inyector de corriente, el dipolo medirá una polaridad negativa/positiva en toda el área, con valores positivos debajo del inyector y negativos por encima.

Las ubicaciones donde la corriente sale del área (por ejemplo, fugas) aparecerán como lo opuesto: un área negativa directamente debajo de una positiva. Estas áreas negativa/positiva formarán círculos arriba y abajo de la ubicación de la fuga, separados por líneas de contorno muy juntas que parecen una mariposa de lado. Dado que una fuga muy cercana al inyector de corriente puede quedar enmascarada por los altos voltajes alrededor, el inyector debe moverse al menos una vez para mantener distancia. La mayor ventaja de los métodos para geomembranas cubiertas es que se realizan después de la instalación del material de cobertura, detectando las fugas más grandes que de otro modo pasarían desapercibidas o mientras se aplica carga hidráulica a la geomembrana.

La desventaja es que la sensibilidad de detección depende en gran medida de las condiciones del sitio, la sección transversal del revestimiento y los materiales del sitio, además de la habilidad del operador y la metodología. La norma ASTM D7007 fue creada originalmente para el método de dipolo en su forma más simple. Más recientemente, se publicó la norma ASTM D8265 para controlar las condiciones del sitio, la instrumentación del dipolo y los procedimientos de prueba. ASTM D8265 requiere que se genere un mapa de voltaje como el presentado en la Figura 1 como parte del informe final, lo que permite que los resultados de la prueba

sean revisados por un tercero. El informe requerido por ASTM D8265 es el documento de control de calidad más sólido que se puede generar para demostrar la integridad de un sistema de revestimiento al finalizar la construcción.

Soluciones de Producto

Como se mencionó anteriormente, el material directamente debajo de la geomembrana debe ser suficientemente conductivo eléctricamente. En algunos proyectos, esto no es posible. En ese caso, se puede utilizar la geomembrana **GSE Leak Location Conductive** para facilitar y mejorar todos los métodos ELL. La instalación de este producto debe seguir pasos específicos descritos en la Guía de Instalación de **GSE Leak Location Conductive** para asegurar una inspección ELL efectiva. Si no se siguen estos pasos de instalación, entonces solo será viable el método ELL expuesto mediante prueba por chispa.

Las directrices de instalación de **GSE Leak Location Conductive** incluyen dos funciones básicas: **aislamiento y conectividad a tierra en una cuadrícula**. El aislamiento se refiere a la solapa superior expuesta después de soldar los paneles. La parte inferior de esta solapa puede conducir corriente y actuar como si fuera una fuga en la geomembrana.

- 1. Aislamiento:** Se deben completar tres áreas de aislamiento en la solapa expuesta: las soldaduras por fusión (utilizando una cuña de aislamiento), los parches sobre las soldaduras por fusión y la solapa en la zanja de anclaje.
- 2. Conectividad a tierra:** Se requieren dos tipos de conexiones: conectores de panel y conectores de parche ubicados debajo de la geomembrana. Típicamente, se voltea un trozo de geomembrana conductiva de aproximadamente 1 m x 1 m y se coloca entre dos paneles. La pieza del conector de parche debe tener el ancho del agujero y ser lo suficientemente larga como para conectar el parche a ambos paneles, dejando al menos 30 cm de material excedente.

Existen otros tipos de productos geosintéticos conductivos disponibles para realizar pruebas en la geomembrana primaria de una instalación con doble revestimiento. Una desventaja de estos productos es que no ofrecen el contacto íntimo que proporciona la geomembrana con respaldo conductivo. Además, carecen del historial comprobado en la industria que ha ganado la geomembrana con respaldo conductivo a lo largo de varias décadas.

Preparación del Sitio y Soporte para Pruebas

Para todos los métodos ELL, debe haber una capa conductiva continua directamente debajo de la geomembrana que se va a probar. La conductividad del material terroso (suelos in situ, subrasante preparada) rara vez representa un desafío. Sin embargo, pueden surgir problemas en instalaciones con doble revestimiento. En la mayoría de los casos, se debe especificar una geomembrana con respaldo conductivo como geomembrana primaria. Un geosintético de arcilla encapsulado (GCL), es decir, sellado entre una geomembrana secundaria y una primaria, puede ser problemático. El contenido de humedad de fábrica debería ser suficiente, pero si el GCL no se cubre en el sitio y queda expuesto en un ambiente árido, puede secarse hasta el punto de dejar de ser conductivo eléctricamente. En ese caso, el control de la humedad del GCL debe formar parte de la construcción del proyecto, como se detalla en Beck et al. (2008).

Pruebas en Geomembranas Expuestas

Las pruebas en geomembranas expuestas generalmente se realizan inmediatamente después de la instalación del revestimiento, pero también pueden llevarse a cabo durante la instalación y hasta su finalización. El área de inspección debe estar despejada. Para los métodos basados en alto voltaje, la geomembrana debe estar limpia y seca. No se requiere soporte externo para las pruebas. Para los métodos basados en agua, el suministro de agua suele ser responsabilidad del contratista general. Se debe proporcionar una fuente de agua (por ejemplo, un camión cisterna) junto con una serie de mangueras que alcancen toda el área de inspección. Además, se requiere personal para ayudar con el movimiento de las mangueras. Puede haber algo de agua en el área antes de la prueba de charco, pero debe limitarse a charcos dispersos.

Pruebas en Geomembranas Cubiertas

Los requisitos del sitio para las inspecciones eléctricas en geomembranas cubiertas pueden resumirse en cuatro puntos:

1. El material que cubre la geomembrana debe ser suficientemente conductivo.
2. El material debajo de la geomembrana debe ser suficientemente conductivo.
3. Debe haber material suficientemente conductivo dentro de la(s) fuga(s).
4. El material sobre la geomembrana no debe tocar el material debajo de la geomembrana excepto a través de las fugas.



Figura 2: Brecha de aislamiento perimetral alrededor del área de inspección cubierta con suelo

Cuanto más se pueda inducir a la corriente a pasar únicamente por las fugas, mayor será la sensibilidad de la inspección.

Para todos los métodos ELL en geomembranas cubiertas, el material de cobertura debe estar aislado de la capa conductiva subyacente. Esto se logra típicamente dejando una franja de geosintéticos sin cubrir a lo largo de todo el perímetro del área de inspección. Un ejemplo de esta “brecha de aislamiento” se muestra en la Figura 2. El inyector de corriente se coloca dentro del área de inspección, con el electrodo de retorno conectado a la capa conductiva subyacente. En el caso de una instalación con un solo revestimiento, esto sería el terreno circundante.

La corriente siempre sigue el camino de menor resistencia desde el electrodo inyector de corriente hasta el electrodo de retorno. Por esta razón, el material del área de inspección debe estar aislado; el único camino entre los electrodos debe ser a través de cualquier fuga presente en la geomembrana. La electricidad viaja por el camino de menor resistencia; si alguna característica conductiva (por ejemplo, suelo, agua, tubería metálica, etc.) permite que la corriente fluya desde el interior hacia el exterior, una parte de la corriente puede o no fluir a través de los agujeros presentes, lo cual es un requisito previo para su detección.

Además de proporcionar aislamiento en el área de inspección, el soporte para pruebas incluye el acondicionamiento de humedad del material de cobertura (en el caso de cobertura con material terroso) y la excavación de las ubicaciones de las fugas.

Cómo Especificar y Diseñar para Métodos ELL

Las especificaciones del proyecto para métodos ELL en geomembranas cubiertas deben incluir, como mínimo:

1. Especificar el uso de la norma ASTM D8265.
2. Requerir humedad adecuada en el material sobre la geomembrana y a través de cualquier fuga.
3. Requerir una capa suficientemente conductiva debajo de la geomembrana o una geomembrana conductiva y contacto eléctrico con esta capa (si es una instalación con doble revestimiento).
4. Requerir aislamiento eléctrico entre el material que cubre la geomembrana y la capa debajo de ella.

La mayoría de las especificaciones de proyecto asignan la responsabilidad del contenido de humedad y del aislamiento

eléctrico al contratista general. Una especificación típica es dejar una franja de 30 cm de ancho sin material de cobertura a lo largo de todos los bordes. El contacto eléctrico con el material debajo de la geomembrana en instalaciones con doble revestimiento implica la instalación de un sistema de cables de cobre como parte de la instalación del revestimiento. El diseño específico del sistema de cables de cobre debe ser generado por el contratista ELL.

Una de las preguntas más comunes al preparar una inspección con dipolo es cuánta agua debe aplicarse al material de cobertura. La respuesta depende de los materiales del sitio, pero el contenido mínimo de humedad suele estar en el rango de 0.5 a 6.0 por ciento para lograr una conductividad eléctrica suficiente a través de materiales terrosos típicos.

Si el material es conductivo, se puede realizar la inspección, pero esto no garantiza que se detecten fugas con solo el contenido mínimo de humedad necesario para la conductividad. Para geomembranas cubiertas con geocompuestos o geomembranas arrugadas, es probable que el material deba saturarse para que los agujeros en la geomembrana realmente filtren, ya sea poco antes o durante la inspección. Si se puede aplicar incluso una pequeña carga hidráulica sobre la geomembrana justo antes de la inspección, deberían poder detectarse las fugas más pequeñas, siempre que el sitio esté bien aislado. Si esto no es factible, se debe utilizar un método de geomembrana expuesta antes de colocar el material de cobertura para asegurar que se detecten todas las fugas.

La principal decisión de diseño respecto a los métodos ELL es qué método(s) elegir. Esta elección dependerá no solo de la configuración del proyecto, sino también del objetivo de desempeño. La Tasa de Fugas Permitida (ALR, por sus siglas en inglés) debe utilizarse para determinar qué materiales y métodos se incluirán en el diseño. Los sitios con menor tolerancia a fugas requerirán un enfoque más riguroso.

Junto con la especificación de ELL, las arrugas deben abordarse en el diseño, ya que la combinación de arrugas y fugas desempeña el papel más significativo en las filtraciones de una instalación. Un análisis estadístico realizado para celdas de expansión de rellenos sanitarios mostró que para ALRs de 20 galones por acre por día (gpad), deben utilizarse tanto métodos ELL expuestos como cubiertos. Para ALRs de 5 gpad, se debe emplear una estrategia de reducción de arrugas junto con ambos métodos ELL. Si el objetivo es cero fugas, entonces las arrugas deben eliminarse junto con ambos métodos ELL (Beck, 2015).

Una forma práctica de lograr esto es utilizando geomembrana con respaldo conductivo. Esta no elimina las arrugas, pero sí elimina los problemas de filtración que estas generan al permitir la detección de fugas sobre arrugas.

Las instalaciones con doble revestimiento presentan desafíos para los métodos ELL, ya que normalmente se construyen sin una capa conductiva entre las geomembranas. Si no se especifica una capa conductiva que permita la prueba de la geomembrana primaria, entonces la capa entre los dos revestimientos debe llenarse con agua para permitir la prueba. Esto implica colocar agua sobre la geomembrana primaria para evitar el levantamiento del revestimiento. Como resultado, solo se puede utilizar el método de dipolo con cobertura de agua, y únicamente en las áreas cubiertas por agua. No se pueden realizar pruebas con geomembrana expuesta.

Las celdas de relleno sanitario son particularmente difíciles de inspeccionar completamente, ya que normalmente se construyen junto a una celda existente. El área donde la celda antigua se conecta con la nueva se denomina área de empalme (“tie-in”). Esta zona es propensa a sufrir daños durante la excavación de materiales existentes, y la soldadura en esta área es complicada debido a condiciones húmedas, sucias y desiguales. Además, esta área suele quedar dentro de la brecha de aislamiento requerida para la prueba con dipolo, por lo que no se inspecciona cuando solo se especifica el método de dipolo. Por lo tanto, incluso si no se requiere un método de prueba con geomembrana expuesta para cumplir con los objetivos de desempeño, el área de empalme debe inspeccionarse utilizando el método de prueba por arco.

Conclusión

Una geomembrana solo funcionará como se espera si las fugas pueden minimizarse o eliminarse antes de que la instalación entre en operación. El grado en que las geomembranas y los revestimientos compuestos presentan fugas depende del diseño, la construcción y el aseguramiento de calidad en la construcción (y de si se implementa ELL y qué tan bien se hace). La única manera de garantizar que se cumplan los objetivos de contención es especificar ELL como parte de la construcción del proyecto y asegurar que estos métodos se apliquen correctamente.

References

1. ASTM D6747. "Standard Guide for Electrical Leak Location of Leaks in Geomembranes"
2. ASTM D7002. "Standard Practice for Electrical Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Water Puddle Method"
3. ASTM D7007. "Standard Practices for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earthen Materials"
4. ASTM D7240. "Standard Practice for Electrical Leak Location using Geomembranes with an Insulating Layer in Intimate Contact with a Conductive Layer via Electrical Capacitance Technique (Conductive-Backed Geomembrane Spark Test)"
5. ASTM D7703. "Standard Practice for Electrical Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Water Lance Method"
6. ASTM D7953. "Standard Practice for Electrical Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Arc Testing Method"
7. ASTM D8265. "Standard Practices for Electrical Methods for Mapping Leaks in Installed Geomembranes"
8. Beck, A., Kramer, E. and Smith, M. (2008). "Specifications for Moisture Content of GCL to Perform Electrical Leak Location Surveys," Proceedings of EuroGeo4, Edinburgh, Scotland
9. Beck, A. (2015). "Available Technologies to Approach Zero Leaks," Geosynthetics 2015 Conference Proceedings, Feb. 15-18, 2015, Portland, Ore
10. Forget, B., Rollin, A.L., and Jacquelin, T. (2005). "Lessons Learned from 10 Years of Leak Detection Surveys on Geomembranes," Proceedings of the Sardinia Conference
11. Gilson, A. (2019). "Electrical Leak Location Testing for Zero Leak Verification," Proceedings of IFAI Geosynthetics Conference, Houston
12. Giroud, J.P. and Wallace, R.B. (2016). "Quantified impact of geomembrane wrinkles on leakage through composite liners," Proceedings of the 3rd Pan-American Conference on Geosynthetics, April 10-13, 2016, Miami Beach, Fla
13. Solmax Leak Location Conductive Installation Guide