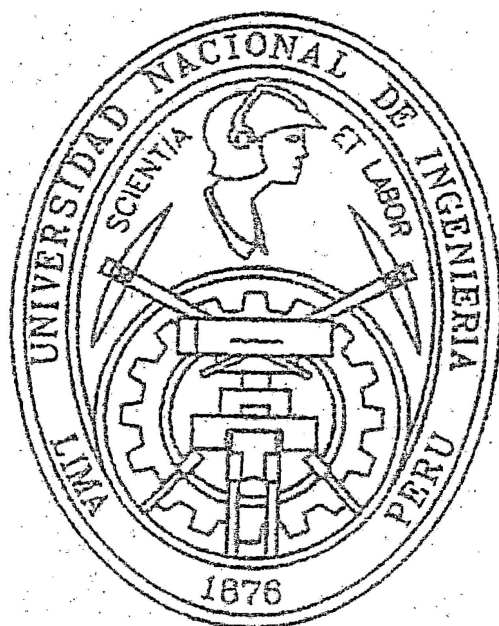


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**DETECCIÓN DE FUGAS A TRAVÉS DE MÉTODOS
GEOFÍSICOS EN SISTEMAS DE
REVESTIMIENTO COMPUESTO POR GEOMEMBRANA**

**TESIS
PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

: HERBERT MIGUEL ANGEL MATURANO RAFAEL

LIMA – PERÚ

Digitalizado por:

2008

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

Dedico la presente tesis a mi Madre,
por el amor incondicional y el empuje que siempre me brinda.
Así también, esta tesis va dedicada a todas
aquellas personas que confiaron y confían en mí.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN	7
CAP 1.0 CONCEPTOS GENERALES	8
1.1- Minería a Cielo Abierto	8
1.2.- Impactos Ambientales de la Minería a Cielo Abierto	8
1.3.- Procesos de Operación de la Minería a Cielo Abierto	11
1.3.1.- Exploración	11
1.3.2.- Pre - Minado	12
1.3.3.- Minado	12
1.3.4.- Proceso de Lixiviación	13
1.3.5.- Plataforma de Lixiviación	13
1.3.6.- Regado de la Solución Cianurada	13
1.3.7.- Concentración de Cianuro que se Utiliza en la Solución Cianurada	13
1.3.8.- Proceso de Columnas de Carbón.....	14
1.3.9.- Proceso de Merrill - Crowe	14
1.3.10.- Proceso de Refinería	15
1.4.- Material de Baja Permeabilidad (Soil liner)	15
1.5.- Material de Sobre- revestimiento (Overliner).....	16
1.6.- Tipos de Geomembrana utilizados en Sistemas de Revestimientos	17
1.6.1.- HDPE Liso	17
1.6.2.- LLDPE Liso.....	17
1.6.3.- HDPE y LLDPE Texturizado	17
1.7.- Separación en Geomembranas (SIP)	18
CAP 2.0 ALCANCES Y ANTECEDENTES	23
2.1.- Principios Básicos.....	23
2.2.- Aplicación del Método de Resistividad en la Obtención de una Interpretación Cuantitativa del Subsuelo.....	23
2.2.1.- Método de Wenner	27

2.2.2.- Método de Schlumberger	29
2.2.3.- Perfil de Resistividad	30
2.3.- Revisión de la Información existente con respecto a las Pruebas Geoeléctricas.....	31
2.4.- Análisis Económico del Funcionamiento de los Sondeos.....	33
2.4.1.- Entorno al sondeo de Detección Eléctrica de Fugas	34
2.5.- Análisis Probabilístico de la Relación Beneficio-Costo.....	35
2.6.- Cálculo de filtración promedio de fuga a través de la geomembrana	37
2.6.1.- Resultados de Sensibilidad	40
2.7.- Estadística Actual y previsión al futuro.....	41
CAP 3.0 MÉTODO DE LANZA DE AGUA	46
3.1.- Esquema Funcional	46
3.1.1.- Significado y Uso del Método	52
3.1.2.- Prácticas en el Empleo del Método Lanza de Agua	52
3.2.- Secuencia y Operación del Ensayo	54
3.2.1.- Antes de Salir al Campo	54
3.2.2.- Arribo al Campo.....	55
3.2.3.- Instalación en Campo	56
3.2.4.- Realización del Trabajo	56
3.2.5.- Final del Día	57
3.2.6.- Final de la Misión.....	57
3.3.- Procedimiento del Ensayo	57
3.3.1.- Movimientos y Posturas.....	57
3.3.2.- Procedimientos	58
3.3.3.- Planificación y Dirección del Trabajo	60
3.4.- Ensayos de Equipos y Técnicas Complementarias.....	63
3.4.1.- Técnicas Complementarias	67
3.5.- Problemas y Soluciones Encontrados en Campo	74
3.6.- Seguridad en Campo.....	79
CAP 4.0 MÉTODO DE BIPOLO	81
4.1.- Esquema Funcional	81
4.2.- Procedimientos del Ensayo.....	87
4.2.1.- Movilización del Equipo	89

4.2.2.- Requerimientos de Reporte.....	90
4.2.3.- Llegada y Partida al Lugar de Trabajo.....	90
4.2.4.- Actividades Diarias	91
4.3.- Limitaciones Específicas de la Técnica.....	92
4.3.1.- Espesor del Material de Cobertura	93
4.3.2.- Aislante Eléctrico en el Trabajo Proyectado	93
4.3.3.- Humedad en Suelos Recubiertos	93
4.3.4.- Otros Elementos a Considerar.....	94
4.4.- Características del Potencial de Campo y Señal de Fuga.....	94
4.4.1.- Sonido Eléctrico.....	94
4.4.2.- Potencial de Campo Producido por una Fuente de Corriente	95
4.5.- Perfil de la Señal de Fuga.....	95
4.6.- Descripción y Especificaciones del Equipo	98
4.6.1.- La Fuente de Energía Directa.....	98
4.6.2.- Detector Móvil (Bipolo Doble)	98
4.6.3.- Instrumento de Medición de Potencial.....	99
4.7.- Manejo del Equipo de Detección de Fugas en el Área de Trabajo.....	99
4.7.1.- Instalación y Preparación del Equipo.....	99
4.7.2.- Preparación del Suelo Proyectado	102
4.7.3.- Planificación de la Superficie Proyectada y su Metodología.....	104
4.7.4.- Validación de la Técnica.....	107
4.7.5.- Análisis de Medición y Criterios de Conformidad.....	110
4.7.6.- Mantenimiento del Equipo	112
4.8.- Seguridad en Campo	113
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	120

RESUMEN

El objetivo básico del uso de la geomembrana en una instalación es prevenir que los líquidos y particularmente líquidos contaminantes contenidos en ellos, entren en contacto con el Medio Ambiente. Las prospecciones para la detección de fugas en geomembranas son técnicas muy conocidas y ampliamente aplicadas alrededor del mundo en obras de ingeniería como pozas, rellenos sanitarios, tanques, etc., así mismo estas técnicas han sido incluidas como parte del programa de control de calidad en la instalación de Geosintéticos durante la construcción, así como después de la puesta en marcha de instalaciones en varios países Europeos y principalmente en la parte Este de los Estados Unidos. Su utilización en proyectos mineros se resume básicamente a la realización de prospecciones sobre geomembranas instaladas en las plataformas de lixiviación y pozas de procesos. Actualmente los métodos más aplicados en minería son: método "Lanza de Agua" para la prospección de geomembranas sin recubrimiento (expuestas), principalmente en plataformas de lixiviación y pozas de agua y puede ser realizado en forma coordinada durante la instalación o antes de la puesta en operación; el Método "Bipolar" para prospecciones en geomembranas recubiertas principalmente con suelos es utilizado para localizar daños posteriores a la puesta en operación; y el método "Bipolar en Agua" utilizado para realizar prospecciones en pozas que ya están en operación y contienen sustancias peligrosas.

La técnica Lanza de Agua está diseñada para detectar fugas sobre geomembranas expuestas, su aplicación es apropiada durante la instalación de geomembranas luego de concluidos los trabajos de control de calidad o después de haber sido culminada la instalación en su totalidad y finalizados los trabajos de calidad, ha demostrado ser una herramienta mas complementaria e independiente a los programas comunes de control de calidad para asegurar la integridad de la geomembrana.

El método Bipolar tiene dos variantes Bipolar en Suelo y en Bipolar en Agua, esta tesis hace referencia a su utilización en suelos. Su aplicación tiene como finalidad localizar fugas en la geomembrana luego de que ésta ha sido cubierta con algún tipo de suelo, por esta razón se convierte en sumamente ventajosa e importante ya que permite realizar la prospección luego de finalizados los procesos constructivos sobre la geomembrana. Generalmente los materiales

sobre la geomembrana son colocados con el uso de equipo mecánico que puede causar daños muy considerables en la instalación.

Ambas técnicas se complementan y hacen en conjunto un sistema dinámico de aseguramiento de control de calidad y un buen manejo del control ambiental dependiendo de las necesidades del caso.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 - Especificaciones Granulométricas del Soil Liner	15
Cuadro 1.2 - Especificaciones Sistema de Sobre-revestimiento.....	17
Cuadro 2.1 - Muestra el rango y los valores más probables de las variables usadas.....	36
Cuadro 2.2 - Relaciones Beneficio - Costo para el Oro.....	39
Cuadro 2.3 - Relaciones Beneficio - Costo para el Cobre.....	40
Cuadro 2.4 - Frecuencias de Agujeros.....	42
Cuadro 2.5 - Resumen de fugas y daños encontrados en proyectos mineros....	43
Cuadro 3.1 - Aplicaciones del Ensayo.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Separación en el centro de la hoja HDPE de 2.0 mm.....	18
Figura 1.2 - Separación de forro núcleo HDPE de 2.0 mm.....	20
Figura 2.1 - Megger de Cuatro Terminales.....	27
Figura 2.2 - Disposición de electrodos.....	28
Figura 2.3 - Disposición de la Resistividad.....	29
Figura 2.4 - Perfil de la Resistividad.....	30
Figura 2.5 - Piletas Geotermales - USA California.....	44
Figura 2.6 - Planta Geotermal - Tanque revestido 60mts de diámetro, paredes verticales de 5m - USA California.....	44
Figura 2.7 - Plataforma de Lixiviación - Argentina San Juan.....	45
Figura 2.8 - Plataforma de Lixiviación - Perú Trujillo.....	45
Figura 3.1 - Esquema Genérico de Método Lanza de Agua.....	47
Figura 3.2 - Daño en la Geomembrana.....	48
Figura 3.3 - Esquema de la Lanza.....	51
Figura 3.4 - Ejecución del Método sobre la geomembrana expuesta.....	53
Figura 3.5 - Ejecución del Método sobre Taludes pronunciados.....	54
Figura 3.6 - Postura Correcta del Operador.....	58

Figura 3.7 - Ubicación de una Fuga.....	59
Figura 3.8 - Control de los paños avanzados al finalizar el trabajo diario.....	60
Figura 3.9 - Presencia de Ondas en la Geomembrana.....	61
Figura 4.1 - Esquema básico de disposición de equipos para una prospección por el Método Bipolar.....	84
Figura 4.2 - Parte superior: grafico de una fuga típica. Parte inferior: curvas de potencial en campo.....	85
Figura 4.3 - Curvas Iso Potenciales alrededor de la fuga obtenidos del ensayo de cama (sobre arenas).....	96
Figura 4.4 - Progresión de un Potencial Eléctrico tomado sobre una línea proyectada que pasa sobre la ubicación de la Fuga.....	97
Figura 4.5 - Estructura del Bipolo doble.....	101
Figura 4.6 - 3D Grafico de la medida de Potencial Eléctrico 3075 m ² de Área..	106
Figura 4.8 - Diagrama de Determinación de LS / BNmax ratio.....	111

INTRODUCCIÓN

El ámbito de la minería se viene desarrollando de manera acelerada, técnicas innovadoras en su ejecución y control de calidad de sus procesos constructivos nos dan una mejor visión del respaldo y avance que se tiene día a día. Los métodos de detección de fugas mediante pruebas geoelectricas generan confianza en lo que respecta a control de calidad de materiales de revestimiento, dado que comúnmente se ven dañadas por diversos motivos, exponiendo al medio ambiente y al buen funcionamiento de la construcción. Los métodos mencionados se vienen desarrollando en forma exitosa en Norte de América, Argentina, y recientemente en Perú, se estima que en los próximos años sea una normativa este tipo de control de calidad ya que muestra solidez de sustentación en sus resultados. Tanto el Método Lanza de Agua como el Método Bipolar son importantes y necesarios para revestimientos (liners) expuestos como para revestimientos con material de cobertura, ambos de la mano como parte del aseguramiento de calidad.

CAP 1.0 CONCEPTOS GENERALES

1.1- Minería a Cielo Abierto

En lo fundamental, la minería a cielo abierto es el tipo de minería que se desarrollaría en las explotaciones de oro que se pretenden implementar por lixiviación con cianuro. Por las implicaciones que tiene este tipo de minería, se tratará de ser exhaustivo en su descripción.

La minería a cielo abierto es una actividad industrial de alto impacto ambiental, social y cultural. Es también una actividad industrial insostenible por definición, en la medida en que la explotación del recurso supone su agotamiento.

Las innovaciones técnicas que ha experimentado la minería a partir de la segunda mitad del presente siglo han modificado radicalmente la actividad, de modo que se ha pasado del aprovechamiento de vetas subterráneas de gran calidad a la explotación en minas a cielo abierto de minerales de menor calidad diseminados en grandes yacimientos.

La minería a cielo abierto remueve la capa superficial o sobrecarga de la tierra para hacer accesibles los extensos yacimientos de mineral de baja calidad. Los modernos equipos de excavación, las cintas transportadoras, la gran maquinaria, el uso de nuevos insumos y las tuberías de distribución permiten hoy remover montañas enteras en cuestión de horas, haciendo rentable la extracción de menos de un gramo de oro por tonelada de material removido.

La minería a cielo abierto utiliza, de manera intensiva, grandes cantidades de cianuro, una sustancia muy tóxica, que permite recuperar el oro del resto del material removido. Para desarrollar todo este proceso, se requiere que el yacimiento abarque grandes extensiones y que se encuentre cerca de la superficie. Como parte del proceso, se cavan cráteres gigantescos, que pueden llegar a tener más de 150 hectáreas de extensión y más de 500 metros de profundidad.

1.2.- Impactos Ambientales de la Minería a Cielo Abierto

Las actividades mineras comprenden diversas etapas, cada una de las cuales conlleva impactos ambientales particulares. En un sentido amplio, estas etapas serían las siguientes:

- Prospección y exploración de yacimientos,
- Desarrollo y preparación de las minas,
- Explotación de las minas,
- Tratamiento de los minerales obtenidos en instalaciones respectivas con el objetivo de obtener productos comerciables.

Es importante mencionar las siguientes actividades individuales como posibles causas de impacto ambiental durante la fase de exploración:

- Preparación de los caminos de acceso,
- Mapeos topográficos y geológicos,
- Montaje de campamentos e instalaciones auxiliares,
- Trabajos geofísicos,
- Investigaciones hidrogeológicas,
- Apertura de zanjas y pozos de reconocimiento,
- Tomas de muestras.

Durante la fase de explotación, los impactos que se producen están en función del método utilizado

- **Afectación de la superficie:** la Minería a Cielo Abierto devasta la superficie, modifica severamente la morfología del terreno, apila y deja al descubierto grandes cantidades de material estéril, produce la destrucción de áreas cultivadas y de otros patrimonios superficiales, puede alterar cursos de aguas y formar grandes lagunas para el material descartado.
- **Afectación del entorno en general:** la Minería a Cielo Abierto transforma radicalmente el entorno, pierde su posible atracción escénica y se ve afectado por el ruido producido en las distintas operaciones, como por ejemplo en la trituración y en la molienda, en la generación de energía, en el transporte y en la carga y descarga de minerales y de material estéril sobrante de la mina.
- **Contaminación del aire:** el aire puede contaminarse con impurezas sólidas, por ejemplo polvo y combustibles tóxicos o inertes, capaces de penetrar hasta los pulmones, provenientes de diversas fases del proceso. También puede contaminarse el aire con vapores o gases de cianuros, mercurio, dióxido de azufre contenidos en gases residuales, procesos de combustión incompleta o

emanaciones de charcos o lagunas de aguas no circulantes con materia orgánica en descomposición.

- **Afectación de las aguas superficiales:** los residuos sólidos finos provenientes del área de explotación pueden dar lugar a una elevación de la capa de sedimentos en los ríos de la zona. Diques y lagunas de oxidación mal construidas o en malas condiciones, o inadecuado manejo, almacenamiento o transporte de insumos (como combustibles, lubricantes, reactivos químicos y residuos líquidos) pueden conducir a la contaminación de las aguas superficiales.

- **Afectación de las aguas subterráneas o freáticas:** aguas contaminadas con aceite usado, con reactivos, con sales minerales provenientes de las pilas o botaderos de productos sólidos residuales de los procesos de tratamiento, así como aguas de lluvia contaminadas con contenidos de dichos botaderos, o aguas provenientes de pilas o diques de colas, o aguas de proceso contaminadas, pueden llegar a las aguas subterráneas. Además, puede haber un descenso en los niveles de estas aguas subterráneas cuando son fuente de abastecimiento de agua fresca para operaciones de tratamiento de minerales.

- **Afectación de los suelos:** la Minería a Cielo Abierto implica la eliminación del suelo en el área de explotación, y produce un resecamiento del suelo en la zona circundante, así como una disminución del rendimiento agrícola y agropecuario. También suele provocar hundimientos y la formación de pantanos en caso que el nivel de las aguas subterráneas vuelva a subir. Además, provoca la inhabilitación de suelos por apilamiento de material sobrante.

- **Impacto sobre la flora:** la Minería a Cielo Abierto implica la eliminación de la vegetación en el área de las operaciones mineras, así como una destrucción parcial o una modificación de la flora en el área circunvecina, debido a la alteración del nivel freático. También puede provocar una presión sobre los bosques existentes en el área, que pueden verse destruidos por el proceso de explotación o por la expectativa de que éste tenga lugar.

- **Impacto sobre la fauna:** la fauna se ve perturbada y/o ahuyentada por el ruido y la contaminación del aire y del agua, la elevación del nivel de sedimentos en los ríos. Además, la erosión de los amontonamientos de residuos estériles puede afectar particularmente la vida acuática. Puede darse también envenenamiento

por reactivos residuales contenidos en aguas provenientes de la zona de explotación.

- Impacto sobre las poblaciones: la Minería a Cielo Abierto puede provocar conflictos por derechos de utilización de la tierra, dar lugar al surgimiento descontrolado de asentamientos humanos ocasionando una problemática social y destruir áreas de potencial turístico. Puede provocar una disminución en el rendimiento de las labores de pescadores y agricultores debido a envenenamiento y cambios en el curso de los ríos debido a la elevación de nivel por sedimentación. Por otra parte, la MCA puede provocar un impacto económico negativo por el desplazamiento de otras actividades económicas locales actuales y /o futuras.

- Cambios en el microclima: la Minería a Cielo Abierto puede causar cambios en el microclima y puede provocar una multiplicación de agentes patógenos en charcos y áreas cubiertas por aguas estancadas.

- Impacto escénico posterior a la explotación: la Minería a Cielo Abierto deja profundos cráteres en el paisaje. Su eliminación puede conllevar costos tan elevados que puedan impedir la explotación misma.

1.3.- Procesos de Operación de la Minería a Cielo Abierto

La Minería a cielo abierto pasa por un conjunto de procesos los cuales mencionaremos a continuación:

1.3.1.- Exploración

Es el primer paso de la minería y consiste en ubicar zonas donde exista yacimiento de minerales cuya exploración sea económicamente rentable. En las primeras etapas se recogen muestras (rocas) del suelo o de zanjas para conocer los elementos y minerales que lo conforman.

Si los análisis de estas muestras dan resultados positivos se procede con trabajos más específicos que confirmen la información obtenida, para estos trabajos se cuenta con moderna tecnología como imágenes de satélite o fotografías aéreas, técnicas geoquímicas, geofísicas, etc.

Sin embargo, es con la perforación que determinaremos con mayor exactitud estos datos, para esto, se sacan unas muestras de diferentes profundidades (llamadas testigos) que son analizadas en laboratorios para determinar tipo,

cantidad, profundidad y otras características del mineral. Para todas estas actividades se siguen procedimientos y normas internacionales, y se utilizan productos biodegradables que no dañen el medio ambiente. Para realizar las perforaciones es necesario tener la aprobación del Ministerio de Energía y Minas, quien mediante resolución autoriza a realizar estos trabajos.

La muestra de roca o testigo tiene un diámetro de 8 a 10 cms y puede medir varios metros de longitud.

Del proceso de exploración se sacan 2 conclusiones:

- Si se comprueba la existencia del mineral, se inicia el estudio de factibilidad que determinará si el proyecto minero es rentable o no.
- Luego se elabora el estudio de impacto ambiental (EIA), el mismo que se presenta a las autoridades competentes y población, para que luego de su aprobación se proceda con su explotación.

1.3.2.- Pre - Minado

Antes de iniciar el trabajo de explotación en sí, es necesario retirar del terreno la capa superficial o top soil (Capa de Tierra orgánica que permite el crecimiento de vegetación en la superficie terrestre así como el material que no contiene mineral. El top soil es almacenado en áreas especiales donde se conserva adecuadamente para ser utilizado posteriormente en trabajos de conformación y restauración del terreno, es decir, en los trabajos para dejar el terreno lo más parecido a como estaba antes en los trabajos de exploración.

1.3.3.- Minado

Es un proceso que consiste en la extracción y transporte del material de alta ley desde el tajo (área donde se encuentra el mineral) a las pilas de lixiviación, este proceso se presenta en 4 etapas:

Perforación: Con ayuda de las perforadoras se hacen agujeros de 7" de diámetro y de 10 mts a 14 mts de profundidad, en la zona en que se va a trabajar.

Voladura: Los agujeros hechos en la etapa de perforación son llenados con material explosivo, que al detonar fragmentan la roca, lo que facilita el traslado del material.

Carguío: A través de palas mecánicas gigantes se carga el material fragmentado en los camiones gigantes. El material que se recoge es de 2 clases principales: Mineral (Material con alta ley), Desmonte (Material con baja ley o ningún contenido de la misma).

Acarreo. En esta etapa los camiones gigantes llevan el mineral extraído del tajo a la pila de lixiviación acondicionada previamente, estas pilas son estructuras parecidas a cerros que se van formando por capas conforme se acumula el mineral. Este proceso es controlado a través de un sistema computarizado denominado Dispatch, que permite conocer la ubicación (por satélite) en tiempo real de cada equipo (camiones y palas) dedicado al trabajo de carguío y acarreo.

1.3.4.- Proceso de Lixiviación

El material con alta ley proveniente de los tajos es depositado en las pilas o canchas de lixiviación (también se le conoce como PAD), luego es regado (por goteo) con una solución de cianuro de sodio para obtener o recuperar mineral puro que se encuentra en el material. En el mineral encontrado hay una serie de metales que deben ser separados entre sí. Por ello esta solución disuelve (lixivia) los metales y a medida que filtra hacia abajo, los lleva hacia unas tuberías colectoras que se encuentran en la base de la plataforma, las que a su vez conducen esta solución enriquecida (llamada también solución rica) hacia las pozas de operaciones (lugar donde se deposita la solución rica).

Luego la solución es llevada de la poza de operaciones hacia la planta de Merrill Crowe y/o Columnas de Carbón para la recuperación del oro.

1.3.5.- Plataforma de Lixiviación

Es una estructura donde se acumula el mineral extraído del cerro para ser lixiviado (disuelto) y recuperar la solución rica existente.

1.3.6.- Regado de la Solución Cianurada

Con un sistema de riego por goteo, es decir mangueras con perforaciones por donde sale la solución.

1.3.7.- Concentración de Cianuro que se Utiliza en la Solución Cianurada

En promedio se utiliza una solución de 50 ppm que significa 50 partes de cianuro en un millón de partes de agua que es lo mismo que decir 50 gr de cianuro en 1000 litros de agua.

1.3.8.- Proceso de Columnas de Carbón

Este proceso permite concentrar la cantidad de oro de la solución rica que hay en las pozas de operaciones, para luego recuperarlo en el proceso Merrill Crowe.

Este proceso de carbón pasa por 2 etapas:

- La Adsorción.- Consiste en pasar la solución rica a través de columnas cargadas con carbón activado, para que sea atrapado el mineral puro en los poros del carbón.
- La Desorción.- Consiste en sacar el oro atrapado en la superficie del carbón haciendo una solución circular cianurada que atrapa el oro y que luego pasa al proceso de Merrill Crowe.

1.3.9.- Proceso de Merrill - Crowe

La finalidad de este proceso es convertir el oro a estado sólido. Para esto se agrega a la solución rica en polvo de zinc el cual precipita el oro (se vuelve sólido). Las etapas de este proceso son:

Clarificación.- Es un proceso de filtrado, que se usa para limpiar la solución rica y que ésta pase aún más limpia a la siguiente fase (el mineral puro disuelto en la solución).

Desoxigenación.- Consiste en la eliminación del oxígeno de la solución rica para que pueda efectuarse la reacción química de precipitación de manera eficiente.

Precipitación.- En esta etapa se agrega polvo de zinc a la solución rica para que el mineral puro precipite y se pueda recuperar. Estas partículas de material precipitado (sólidos) son recuperados en filtros y luego enviado a retortas (ambientes donde el precipitado se calienta a grandes temperaturas) y hornos de fundición, para obtener el producto final.

La solución rica, dejó de serlo, pues el mineral puro existente fue precipitado y recuperado, ahora es una solución pobre, llamada también barren. Esta solución pobre es enviada de nuevo al pad, pasando antes por un tanque de cianuración para agregarle el cianuro que se consumió durante el proceso y seguir manteniendo la concentración necesaria para seguir lixiviando. De esta manera se completa un circuito cerrado donde la solución utilizada no sale al medio ambiente, Se reutiliza constantemente.

1.3.10.- Proceso de Refinería

El precipitado del material puro que ha sido obtenido en el proceso de Merrill Crowe es sometido a operaciones de secado en retortas, a temperaturas de 650°C para recuperar el agua y el mercurio contenido en el precipitado. Luego, este precipitado casi seco, se lleva a los hornos de fundición, que son hornos eléctricos de gran capacidad donde se funde el precipitado a una temperatura de 1300 °C. Finalmente se obtiene el producto final Doré que es una mezcla de oro y plata.

1.4.- Material de Baja Permeabilidad (Soil liner)

Se debe considerar 300mm de alto de material de revestimiento de suelo antes de la colocación de la geomembrana en la plataforma de lixiviación, en las capas de colección intermedia de la plataforma de lixiviación, el revestimiento de suelo de baja permeabilidad debe tener 100mm de espesor y deben ser compactado. En forma previa o durante la instalación y compactación, el material de la capa de suelo es compactado y rastrillado o procesado de alguna manera para remover todas las partículas mayores de 75mm en su dimensión máxima. La capa de suelo deberá cumplir los requerimientos granulométricos descritos en el siguiente cuadro:

Tamaño de la Malla		% que pasa
SI	Norma E.E.U.U	
75mm	3 pulg	100
38mm	1.5 pulg	80 - 100
25mm	1 pulg	75 - 100
13mm	1/2 pulg	65 - 95
4.75mm	#4	50 - 85
0.45mm	#40	30 - 65
0.075mm	#200	20 - 55
Índice de Plasticidad		Mayor que 10
Permeabilidad		< 0.000005 cm/s

Cuadro 1.1 Especificaciones Granulométricas del Soil Liner

La capa de suelo no se debe colocar ni compactar a temperaturas inferiores a 0° C ni sobre terreno congelado. Para asegurarse que la superficie compactada este preparada para recibir carga antes de la colocación de los materiales de la capa de suelo, se debe probar pasando rodillo a la subrasante. Todas las pruebas de compactación serán efectuadas en presencia del ingeniero encargado. Las áreas que contienen suelos blandos u otros materiales considerados inaceptables deberán ser preparadas nuevamente con los métodos aprobados por el ingeniero responsable. Los materiales de relleno estructural usados en la preparación de la subrasante de la capa de suelo son compactados en base a los procedimientos descritos anteriormente.

Previo a la compactación, el ingeniero responsable verificará que el material que conforma la capa de suelo haya sido debidamente preparado y humedecido. Los materiales existentes en el lugar deberán ser escarificados en el sentido transversal donde sea posible acondicionados con humedad y compactados. En taludes con fuerte pendiente, los materiales podrán ser escarificados en dirección longitudinal. Los materiales deberán disponerse en una capa, la cual deberá ser compactada en un 95% de la densidad seca máxima con un contenido de humedad en el rango de -2% y +4% del valor óptimo, si es necesario hacer una segunda capa, previamente la superficie de la segunda capa deberá ser escarificada a una profundidad de 50mm para asegurar una unión completa entre las capas, si el contenido de humedad no está dentro del rango establecido, se volverá a trabajar y compactar el material hasta obtener un valor de humedad adecuado. Después de que la capa de suelo sea colocada según las especificaciones, se nivela el terreno de modo tal de dar a la superficie una pendiente positiva y deberá sellar la superficie pasando por un rodillo suave para luego realizar un levantamiento topográfico sobre la superficie de la capa de suelo de baja permeabilidad para luego realizar los ensayos de control de calidad respectivos.

1.5.- Material de Sobre- revestimiento (Overliner)

Los materiales de sobre-revestimiento u overliner tendrán como finalidad proteger el sistema de revestimiento de los posibles daños ocasionados por el transporte y esparcido del mineral en la plataforma de lixiviación. Los materiales de sobre-revestimiento podrán consistir en mineral seleccionado durable o podrá

provenir de una fuente de préstamo aprobada por el ingeniero y deberán tener alta permeabilidad. El material de sobre-revestimiento deberá cumplir con los requerimientos indicados en la tabla siguiente:

Tamaño de la Malla		% que pasa
SI	Norma E.E.U.U	
63mm	2.5"	100
38mm	1.5"	85 - 100
25mm	1"	60 - 95
12mm	½"	30 - 70
4.75mm	#4	15 - 45
0.45mm	#40	10 - 25
0.075mm	#200	0 - 5
Índice de Plasticidad		No plástico
Permeabilidad		Mayor de 0.1

Cuadro 1.2 Especificaciones Granulométricas del Material de Sobre-revestimiento

1.6.- Tipos de Geomembrana utilizados en Sistemas de Revestimientos

La aplicación de geomembranas se manifiesta en diversos ámbitos, como son rellenos sanitarios, contenedores secundarios, estanques, depósitos, piscifactorías, canales de irrigación, plantas de tratamiento para aguas residuales, y lagunas para residuos industriales, entre otras.

1.6.1.- HDPE Liso

Recubrimiento de polietileno de alta densidad (HDPE) proveen una barrera impermeable contra una amplia gama de sólidos y líquidos. Muestran una excelente resistencia química y contra los rayos ultravioleta, impermeabilidad, deformabilidad y resistencia para ser sellados por fusión térmica.

1.6.2.- LLDPE Liso

Recubrimiento de polietileno de baja densidad (LLDPE) nos ofrecen una solución a las desafiantes aplicaciones de los contenedores que requieren de un material significativamente flexible, además de su fuerza y durabilidad.

1.6.3.- HDPE y LLDPE Texturizado

Recubrimiento texturizado contienen ángulos de alta fricción para permitir una mayor estabilidad en aplicaciones sobre elevados declives de terreno. La

texturización de uno o dos lados de la geomembrana se encuentra disponible tanto en los productos de HDPE como en los de LLDPE.

1.7.- Separación en Geomembranas (SIP)

La separación en Plano o SIP, es un fenómeno que ocurre cuando algún material - en este caso, la geomembrana - se cizalla paralelamente o sub-paralelamente a la superficie. En una hoja múltiple, como el polipropileno reforzado, una de las formas de la SIP es la de-laminación de los pliegues individuales, Por lo tanto, el termino de-laminación se aplica también para esta condición. La imagen de la Figura 1.1 demuestra la condición mencionada mejor que alguna descripción.

La geomembrana mas común utilizada en aplicación minera es el polietileno, usualmente con características de densidad alta (HDPE) o resinas de densidad baja linear (LLDPE). La SIP prácticamente no existe en LLDPE, pero ocasionalmente ocurre en HDPE.

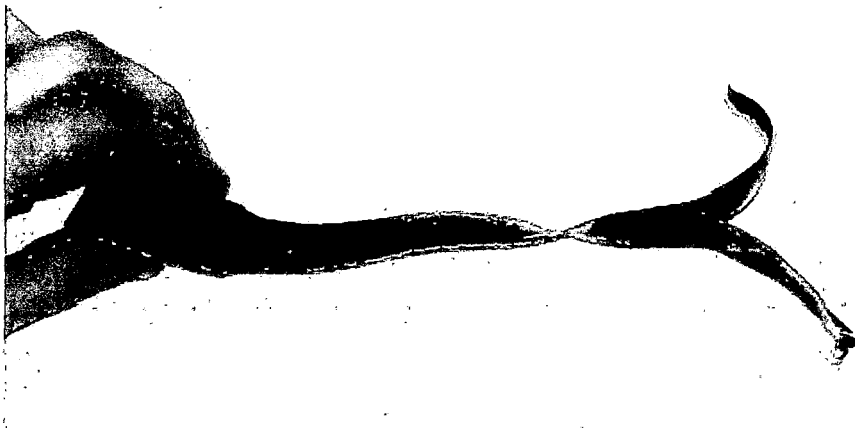


Figura 1.1 - Separación en el centro de la hoja HDPE de 2.0 mm

Como se detecta la separación en Geomembranas?

Usualmente, la SIP se descubre durante los ensayos de uniones de soldadura, dado que estas uniones regularmente están sujetas a ensayos de corte directo conforme a especificaciones. Por lo tanto, la primera identificación de la SIP es normalmente responsabilidad del personal encargado de asegurar el control de

calidad de la construcción. La mayoría de las especificaciones de HDPE no mencionan la separación en plano y por lo tanto surge allí un problema muy serio acerca de la aceptación del funcionamiento del SIP; dado que la interpretación de especificaciones de la construcción es subjetiva, ello origina muchos reclamos y discusiones. De tal manera, anticipar el problema relacionado con especificaciones podría evitar atrasos costosos de la construcción y también discusiones sobre los contratos.

Se estima que casi 1% de la producción de HDPE presenta señales de SIP la mayoría de ellos presentes exclusivamente en geomembranas a partir de 1.5 mm (60 mil) de espesor. En realidad, en la práctica no existe información sobre el funcionamiento de HDPE a largo plazo que describa los problemas o ausencias de ellos en lo que respecta a la separación en plano. La falta de información es el problema principal, dado que el mayor interés está en el funcionamiento a largo plazo, y este factor es más difícil de verificar, especialmente durante la fase de construcción.

Cuales son las causas del SIP?

La resinas (Geomembranas) de polietileno de alta densidad se producen por mezclado o composición de HDPE puro, usualmente con algunos polietilenos de densidad mas baja para mejorar tanto la resistencia a rajaduras (por presión) como la producción de planta. La mezcla con el negro de humo y otros aditivos se realizan para asegurar la resistencia a los rayos ultravioleta y fortalecer otros factores. En otros casos se agrega revestimiento reciclado, generalmente llamado "regrind" (remolido). En algunas plantas se utiliza exclusivamente los jebes pre-compuestos y varias mezclas de la planta, que permitan optimizar las propiedades físicas, así como producción y costos.

La Causa del SIP

Entonces se produce el fenómeno del SIP?. En este aspecto no hay consensos en la industria. Las opiniones tienden a agruparse en las siguientes áreas generales:

- 1 El enfriamiento rápido de la geomembrana al ser extrusada en la planta. Este produce una gradiente de cristalización en la sección de cruce de

- hojas y dando al núcleo un módulo de elasticidad, densidad y fuerza de tensión diferente que en las zonas externas.
- 2 Una temperatura ambiente elevada en la planta. Este factor retarda el enfriamiento diferencial, y también detiene el proceso de enfriamiento total. A su vez, ello causa mayor densidad, mayor modulo y mayor fuerza de tensión por el cruce de la hoja. En este caso es el módulo mayor, el cual podría contribuir en el comportamiento del SIP.
 - 3 Una dispersión o mezcla inapropiada del aditivo negro de humo u otros, o mezcla inapropiada de resina en general.
 - 4 Todos los factores ya mencionados.

Las 2 primeras opiniones están basadas en la idea de que la SIP es más común en las hojas de mayor grosor y – al menos en la opinión de un fabricante, es una situación que ocurre solo durante las temperaturas máximas del verano. La tercera teoría esta basada por los casos específicos del SIP es mucho más común en la hoja con negro de humo que en las hojas claras. Aquí nos inclinaremos por el cuarto punto, es decir por suponer que el problema se produce por una combinación crítica de todos estos factores que originan este fenómeno poco común.

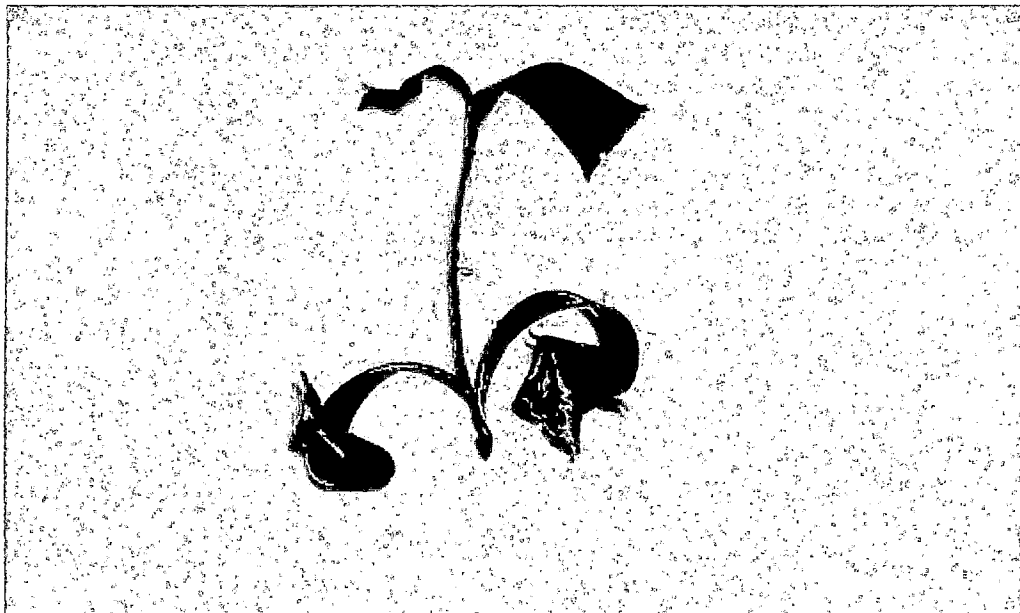


Figura 1.2 - Separación de forro núcleo HDPE de 2.0 mm

Es la SIP un fenómeno aceptable?

La voz del consenso geosintético de las Américas es el Geosynthetic Research Institute (GSI). El Geosynthetic Research Institute elabora sus especificaciones después de las especificaciones consideradas por el comité y observaciones de los miembros. Algunos ingenieros de diseño adoptan estas especificaciones sin objeciones y enteramente, otros las adoptan como una referencia o con modificaciones, e incluso algunos las ignoran.

La Sociedad Americana de Ensayos y Materiales es la principal organización que establece los estándares para ensayos de materiales. El uso de las especificaciones ASTM por ingenieros de diseño y fabricantes es prácticamente universal en América del Norte y bastante común en un balance de las Américas. Ambos documentos se refieren a la SIP y la consideran un patrón de rotura aceptable. Lo cual quiere decir que una unión que presenta separación por la SIP en la hoja base es una unión aceptable. La lógica aquí reside en que dado que la resistencia de una unión no puede ser mayor que la resistencia de la hoja base, los ensayos – de las uniones – que terminan por mostrar una separación en plano son considerados aceptables.

Esto ha causado una confusión en la industria; algunos fabricantes han utilizado estos estándares para implicar que la SIP en la hoja base también sea aceptable. Definitivamente esto no es lo que dicen los estándares ASTM y GSI. El objetivo de las especificaciones estándares es establecer un criterio estandarizado de aceptación/falla para las uniones soldadas en el terreno. Dichas especificaciones no se refieren al problema de la SIP en la hoja base. No hay consensos referentes a que significa la SIP para el funcionamiento de la hoja base. En otras palabras, esto plantea una pregunta: El comportamiento de la SIP supone un problema a largo plazo que pueda cortar su vida útil?. Es una muy buena pregunta, especialmente cuando el propósito es una aplicación oculta, tal como una plataforma de lixiviación o un depósito de relaves.

La mayoría de los fabricantes están de acuerdo en que la SIP es un fenómeno aceptable y han publicado documentación a favor de su posición, Sin embargo, en cada uno de los documentos se argumenta que por ejemplo la SIP no es una falla en unión . Como ya hemos puntualizado antes, uno de los fabricantes considera que el fenómeno es normal y está causado por el efecto de enfriamiento de la capa exterior. Otra opinión es que esto se produzca por altas temperaturas ambientales. Una tercera opinión atribuye al problema, en algunos

instantes específicos, al uso de resinas mezcladas en la planta versus resinas pre-compuestas. Ninguno de estos estudios ha hecho ensayos en un plazo suficientemente largo como para comprobar su hipótesis o mostrar si existe un problema potencial, y si es así, bajo qué condiciones se debería esperar la aparición de dicha dificultad.

Uno de los problemas más antiguos y serios con HDPE es el grado excesivo de cristalización, o alta cristalización. Los revestimientos anteriores tenían problemas con las fallas de fatiga, ruptura de uniones y fragilidad por la alta cristalización. Las resinas de geomembranas modernas se caracterizan por la cristalización significativamente mas baja y de mas baja densidad en comparación con las características de las hojas de hace 20 años, y las fórmulas modernas prácticamente han eliminado los problemas de fracturas por presión. Pero, en caso que la sugerida cristalización, es posible pensar que la SIP es una señal de advertencia de la rajadura de presión, una condición que podría tomar años para manifestarse en el terreno.

Por otra parte, si la SIP está relacionada con la mezcla y dispersión de los aditivos, como lo demuestran las evidencias, entonces la SIP podría ser una advertencia de la existencia de una mezcla inadecuada, de una dispersión incompleta o resinas pobremente compuestas. O, en otro caso, una advertencia de una problemática combinación de la mezcla imperfecta o cristalización excesiva. Una mezcla pobre de negro de humo y otros aditivos pueden reducir significativamente la resistencia a los rayos ultravioletas, así como causar otros problemas.

En nuestra opinión, ha existido una inadecuada comprensión de la ciencia hacia el fenómeno de la SIP, simplemente aceptándola sin consideración posterior.

Para las instalaciones críticas donde la geomembrana no puede ser directamente monitoreada y no hay posibilidad de un reemplazo razonable – cosa que ocurre en la mayoría de las pilas de lixiviación o en las instalaciones de los depósitos de relaves – la decisión de usar un revestimiento en que se observa el fenómeno de SIP tiene que ser tomada cuidadosamente por el ingeniero. La responsabilidad del ingeniero para tomar esta decisión no debería ser anulada a favor de especificaciones estandarizadas (asumiendo que ellas hayan sido promulgadas) que no pueden anticipar las demandas específicas del desarrollo del proyecto. Por otro lado, el rechazo de material durante la

construcción por causa del SIP puede resultar problemático en caso que las especificaciones no anticipen esto, y muchas de ellas no lo hacen. Por lo tanto, la decisión debe tomarse antes que las especificaciones se escriban y los contratos de construcción se firmen, y así el comportamiento aceptable esté claramente definido en las especificaciones.

CAP 2.0 ALCANCES Y ANTECEDENTES

2.1.- Principios Básicos

De acuerdo a resultados obtenidos de prospecciones realizadas en las plataformas principalmente de oro y cobre, en los cuales se ha ejecutado el Aseguramiento de la Calidad de la Construcción (CQA) de la instalación de la geomembrana, la mayoría de daños se encontraron en la geomembrana propiamente dicha (parte central de los paneles), y una menor cantidad en las costuras y reparaciones. En investigaciones se han hecho cálculos económicos de costo/beneficio sobre la aplicación de programas de detección de fugas en plataformas de lixiviación, resultando económicamente rentable su ejecución comparada con las pérdidas de solución rica a través de los agujeros o fugas por largos periodos de tiempo; dependiendo del tiempo de operación.

2.2.- Aplicación del Método de Resistividad en la Obtención de una Interpretación Cuantitativa del Subsuelo

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito tener el conocimiento claro para calcular y diseñar la puesta a tierra de variados sistemas. La resistividad del suelo es la propiedad que se tiene para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de la presente tesis, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno". También se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado.

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- Sales solubles
- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Estado higrométrico
- Temperatura
- Compactación

Definiremos los puntos mencionados anteriormente:

- Sales Solubles.-

La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; esto es, por la humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es prácticamente la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.

- Composición del Terreno.-

La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohms respectivamente. En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 ohm o menos con una sola varilla electrodo es virtualmente imposible.

- Estratigrafía.-

El terreno obviamente no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos.

- Granulometría.-

Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.

- Estado Higrométrico.-

El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

- Temperatura.-

A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos, los cuales influyen en la resistividad de la tierra

- Compactación.-

La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Por ello, se procurará siempre colocar los electrodos en los terrenos más compactos posibles.

- Medición de la Resistividad del Suelo.-

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y ancho del estrato rocoso en estudios geofísicos, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, sistema electrónico, planta generadora o transmisora de

radiofrecuencia. Asimismo puede ser empleada para indicar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión.

En este punto es necesario aclarar que la medición de la resistividad del terreno, no es requisito para hacer una malla de puesta a tierra. Aunque para diseñar un sistema de tierras de gran tamaño, es aconsejable encontrar el área de más baja resistividad para lograr la instalación más económica.

El perfil de la resistividad del suelo determinará el valor de la resistencia a tierra vs la distancia entre los electrodos.

Para medir la resistividad del suelo se requiere de un terrómetro (llamado en otros países: telurómetro) o *Megger* de tierras de cuatro terminales.

Los aparatos de mayor uso, de acuerdo a su principio de operación, pueden ser de 2 tipos: del tipo de compensación de equilibrio en cero y el de lectura directa.

Los terrómetros deben inyectar una corriente de frecuencia que no sea de 60 Hz para evitar se midan voltajes y corrientes que no se deban al aparato sino a ruidos eléctricos. Por ejemplo, si estamos cerca de una subestación o de una línea en servicio, y vamos a realizar mediciones de resistividad y resistencia de tierra, con un aparato de 60 Hz, dichos sistemas van a inducir corrientes por el suelo debido a los campos electromagnéticos de 60 Hz y darán una lectura errónea.

De igual manera sucede cuando los electrodos de prueba están mal conectados o tienen falsos contactos, darán señales falsas de corriente y voltaje. Si hay corrientes distintas a las que envió el aparato, éste leerá otras señales de voltaje y corriente que no son las adecuadas.

También estos aparatos de repente tienen oscilaciones en sus lecturas y no es posible leerlas.

Un aparato inteligente, lleva conductores blindados, coaxiales, tiene sistemas de filtraje, de análisis y mide lo que halla, pero esa información la analiza, la filtra y luego la deduce. Por ejemplo, para hacer una medición manda una señal de 100 Hz y mide; luego manda otra señal de 150 Hz y vuelve a medir y puede seguir

enviando otras altas frecuencias hasta que los valores van siendo similares, forma una estadística y obtiene un promedio.

Como la medición obtenida por un terrómetro es puntual, se deben hacer mediciones en un sentido, en otro a 90 grados del primero, y, en el sentido de las diagonales. En la medición de resistividad de un terreno, es común encontrar valores muy dispares, causados por la geología del terreno, por lo que es una práctica común de una tabla con lecturas, el eliminar los valores que estén 50% arriba o abajo del promedio aritmético de todos los valores capturados.

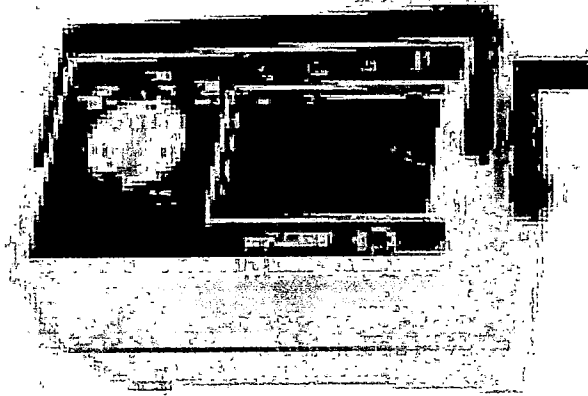


Figura 2.1 - Megger de Cuatro Terminales

2.2.1.- Método de Wenner

En 1915, el Dr. Frank Wenner del *U.S. Bureau of Standards* desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre.

Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es

conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.

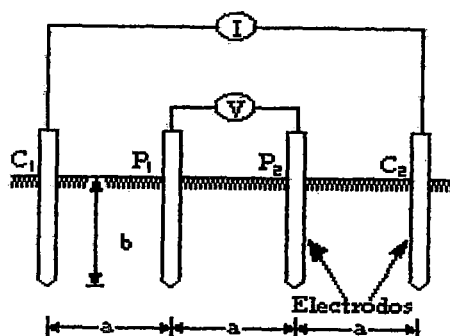


Figura 2.2 – Disposición de electrodos

En la figura se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores. La resistividad aparente está dada por la siguiente expresión:

$$\rho := \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left[1 + \left[\frac{2 \cdot A}{(A^2 + 4 \cdot B^2)^{0.5}} \right] - \frac{2 \cdot A}{(4 \cdot A^2 + 4 \cdot B^2)^{0.5}} \right]}$$

Donde

ρ : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m

A : Distancia entre electrodos en metros.

B : Profundidad de enterrado de los electrodos en metros

R : Lectura del terrómetro en ohms.

Si la distancia enterrada (B) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (A). O sea $A > 20B$, la siguiente fórmula simplificada se puede aplicar:

$$\rho := 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

La resistividad obtenida como resultado de las ecuaciones representa la resistividad promedio de un hemisferio de terreno de un radio igual a la separación de los electrodos.

Como ejemplo, si la distancia entre electrodos A es de 3 metros, B es 0.15 m y la lectura del instrumento es de 0.43 ohms, la resistividad promedio del terreno a una profundidad de 3 metros, es de 8.141 ohm-m según la fórmula completa y de 8.105 ohms-m según la fórmula simplificada. Se recomienda que se tomen lecturas en diferentes lugares y a 90 grados unas de otras para que no sean

afectadas por estructuras metálicas subterráneas. Y, que con ellas se obtenga el promedio.

2.2.2.- Método de Schlumberger

El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial (a) se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos (na) de la separación base de los electrodos internos (a).

La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura.

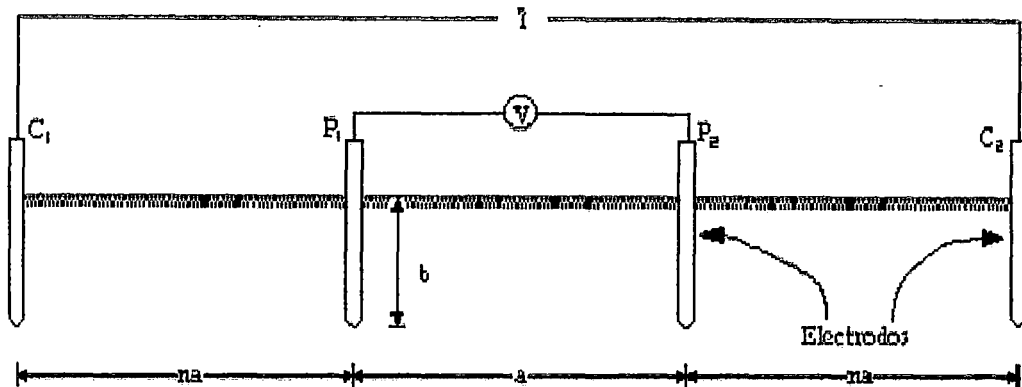


Figura 2.3 – Disposición de la Resistividad

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot (n + 1) \cdot na$$

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones como con el método Wenner. Se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90 grados para que no resulten afectadas las lecturas por estructuras subterráneas. Los métodos mencionados anteriormente se muestran con el objetivo de exponer la variedad de métodos existentes con fines de analizar e

identificar suelos altamente conductivos, esto último debido a que para el buen desempeño de las pruebas geoelectricas es necesario contar con suelos de características conductivas de electricidad.

2.2.3.- Perfil de Resistividad

Para obtener el perfil de resistividad en un punto dado, se utiliza el Método de Wenner con espaciamientos entre electrodos de prueba cada vez mayores. Por lo general, para cada espaciamiento se toman dos lecturas de resistividad en direcciones perpendiculares entre sí.

La gráfica resultante de trazar el promedio de las mediciones de Resistividad (R) vs. Distancia entre Electrodo (a) se denomina perfil de resistividad aparente del terreno.

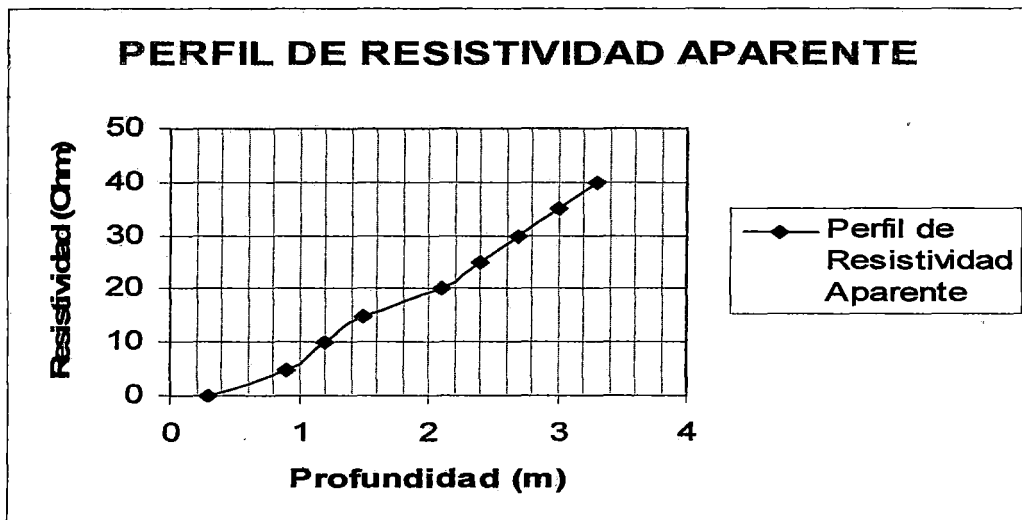


Figura 2.4 – Perfil de la Resistividad

Datos de la Resistividad en Suelos Típicos

<u>MATERIAL</u>	<u>RESISTIVIDAD (ohm-metro)</u>
Permafrost	3500 - 4000
Asfalto Seco	$2 \cdot 10^6 - 30 \cdot 10^6$
Asfalto Mojado	$10000 - 6 \cdot 10^6$
Concreto Seco	1200-28000
Concreto Mojado	21-100
Compuesto Grava Pobremente Gradada seca (GP)	0.032
Compuesto GP con 30% de agua en masa	0.015

2.3.- Revisión de la Información existente con respecto a las Pruebas Geoeléctricas

En la actualidad los sistemas de impermeabilización por medio de geomembranas son eficaces gracias a la integridad de los materiales. La presencia de perforaciones en la geomembrana es el factor más importante en el débito de fugas y, por lo tanto, la causa de la migración de líquidos al exterior de la obra. Las estadísticas sobre la utilización de un sistema de impermeabilización con geomembrana demuestran que es común encontrar un promedio de 10 a 20 perforaciones por hectárea en las obras actuales. Las causas de fuga de la geomembrana son múltiples por poner ejemplos:

- Mala soldadura.
- Corte con elemento filoso.
- Punzonamiento.
- Perforación causada por la colocación de material de recubrimiento.
- Material de cimiento malo.
- Operación inadecuada de la obra.

Con el objetivo de verificar la integridad de una geomembrana en todo tipo de superficie, ya sea expuesta o recubierta de suelo o líquidos, actualmente se han

creado métodos de inspección tanto para las membranas expuestas como para las ya recubiertas de material. Estas tecnologías innovadoras permiten detectar la presencia de perforaciones de hasta 1mm de diámetro, incluso sobre un recubrimiento de suelo de 500mm de espesor.

En la actualidad, en los proyectos relacionados a la minería se ha verificado miles de metros cuadrados de geomembrana con la ayuda de sus técnicas de detección geoeléctricas de fugas con lanza de agua y con bipolar.

Los controles de calidad, y asimismo la prospección geoeléctrica de fugas, tienen por objeto mejorar la calidad en la obra. Gracias a su capacidad para medir la impermeabilidad de la geomembrana instalada y para conocer así la perfecta integridad hidráulica de la obra de confinamiento, la detección de fugas se vuelve un elemento crucial que integrar en un Programa de Aseguramiento de la Calidad. Los propietarios y gestores de sitios de confinamiento benefician así de un rendimiento global de sus operaciones y de una gran rentabilidad de sus inversiones.

Los métodos de inspección de los sistemas de impermeabilización consisten en:

- Calibrado de los equipos de detección de fugas.
- Localización de las fugas en geomembranas expuestas.
- Prospección geoeléctrica con la lanza de agua.
- Análisis de estado de las geomembranas recubiertas.
- Detección geoeléctrica con bipolar.
- Informe de prospección y certificación de la conformidad de la obra.

La integridad hidráulica de las obras de confinamiento es una gran preocupación de los propietarios, gestores, operadores, consultores y empresarios que trabajan en campos de aplicaciones tan variados como la minería, la gestión y el tratamiento del agua, la gestión de desechos y de materias residuales.

En las minas, es esencial conservar todos los líquidos producidos durante la operación (pilas de lixiviación, piscinas de almacenaje, rellenos sanitarios), tanto por razones económicas como ambientales.

- En las piscinas de agua potable cada litro de agua perdido impide el consumo o la utilización de este valioso líquido para la población, Las fugas en las piscinas de tratamiento de aguas servidas generan un problema de contaminación en la napa freática.
- En las celdas de relleno de desechos industriales, domésticos o peligrosos, el lixiviado no recuperado o no controlado contamina la napa freática.

Hasta la actualidad, utilizando tecnologías de detección de fugas se ha desarrollado con gran satisfacción trabajos de impermeabilización de celdas de relleno sanitario para desechos domésticos, industriales o peligrosos, impermeabilización de plataformas de lixiviación, de estanques, trabajos de construcción y creación de programas de Aseguramiento de la calidad.

2.4.- Análisis Económico del Funcionamiento de los Sondeos

Se ha desarrollado un análisis económico del funcionamiento de los sondeos de detección geoelectrica de fugas en plataformas lixiviación para la explotación de oro y cobre. Lo más probable es que las variables de ingreso produzcan relaciones beneficio - costo de 6.2 para la minería de oro y 5.6 para el caso del cobre. La probabilidad que la relación beneficio - costo para la lixiviación de oro sea mayor que 1 fue de 97%. Las relaciones beneficio - costo fueron determinadas a partir del cálculo de la proporción de fuga del revestimiento y el valor equivalente de la solución perdida versus el costo del funcionamiento del sondeo de detección de fugas para encontrar dichas fugas.

Debido a la gran fluctuación de los parámetros operativos para cada zona de las plataformas de lixiviación, se deberá desarrollar el análisis de una zona específica para determinar la manera más precisa de obtener una adecuada relación beneficio - costo, especialmente cuando se lixivia mineral de baja permeabilidad, u operando con una carga baja.

La tecnología del sondeo para la detección geoelectrica de fugas ha sido desarrollada y aplicada a lo largo de los 20 últimos años (Laine y Darilek, 1993).

El área de aplicación más grande de esta tecnología ha sido en la aplicación de la industria de desechos contaminantes. El proceso de lixiviación se desarrolla en plataformas normalmente revestidos con geomembrana que yace por debajo de una capa de drenaje de roca chancada para facilitar la recuperación de la solución lixiviada. La solución pasa a través de la masa del mineral y disuelve el mineral deseado. Entonces se recupera la solución rica de lixiviación (PLS), se extrae el mineral y luego la solución es recirculada nuevamente a la plataforma de lixiviación. Los solventes usados para la minería de oro y cobre son cianuro y ácido sulfúrico respectivamente.

Generalmente las plataformas de lixiviación no experimentan el proceso regulador de una instalación de desechos sólidos o peligrosos. Adicionalmente, muchos no incluyen ningún colchón de geotextil en la parte superior del revestimiento para amortiguar el impacto de la colocación de la roca sobre el revestimiento. Desarrollando un sondeo de detección de fugas antes de la operación del pad, no se perdería solución PLS a través de los agujeros que pasarían por alto sin ser detectados.

2.4.1.- Entorno al sondeo de Detección Eléctrica de Fugas

Los sondeos de ubicación eléctrica de fugas pueden ser desarrollados sobre geomembranas expuestas o cubiertas, con tal que la geomembrana usada sea eléctricamente aislante. Los sistemas doblemente revestidos (usados en algunos tipos de plataformas de lixiviación) podrían ser sondeados si se instala una capa conductiva entre las dos geomembranas, tales como un geosintético y arcilla (GCL) o un geotextil conductivo. En algunos casos la capa de detección de fugas puede ser inundada para facilitar la detección de fugas. El Método de Lanza de agua es usado para ubicar agujeros en geomembranas expuestas y secas. Esta técnica es capaz de detectar agujeros creados durante la instalación del revestimiento, lo que incluye pequeñísimos agujeros, los cuales son invisibles para la vista humana. En el caso que haya un agujero, el agua crea una entrada para que se dirija al material de baja permeabilidad (soil liner) ubicado debajo del revestimiento. Un amperímetro detecta la presencia de un incremento en el flujo, lo cual pone en evidencia un agujero en el revestimiento.

El método Bipolar es usado para ubicar agujeros en el revestimiento, después que ha sido cubierto con agua o material de sobre revestimiento (over liner). En

el caso de una cubierta de suelo o roca, el espesor de la capa de cubierta puede afectar la sensibilidad del equipo. Se pueden ubicar agujeros de hasta 5mm de diámetro bajo 0.6 metros de cubierta, y se han realizado sondeos exitosos sobre 1.5 metros de material, aunque la sensibilidad de la detección está sujeta a muchas variables específicas de la zona.

Para realizar el sondeo, se coloca un electrodo positivo en el over liner y se introduce un alto voltaje. El instrumento BIPOLAR toma las medidas del potencial de voltaje en un modelo de red sobre el área del sondeo. Ante la presencia de un agujero el caudal fluye a través del mismo creando un pequeño pico en el potencial de voltaje, seguido por una caída antes de condensar los valores del "ruido de fondo". Este método es especialmente útil para plataformas de lixiviación, ya que los daños son mas significativos en los revestimientos que se dan durante la colocación del over liner. Adicionalmente, las pozas de solución podrán ser sondeadas usando el método del Bipolo después de llenarlas.

2.5.- Análisis Probabilístico de la Relación Beneficio-Costo

Muchos de los parámetros usados en el cálculo del valor de los servicios de detección de fugas para zonas mineras de oro y cobre son muy variables. Por este motivo, se tomo una estimación estadística para hallar la probabilidad de que la relación beneficio-costo sea mayor que la unidad. Empleando el método estadístico desarrollado por Duncan (Duncan, 2000). Los valores promedios mas probables (VP) de todas las variables fueron asumidos, así como los valores concebibles mas altos (VC) y el mas bajo (VB). Los valores escogidos representan una mejor estimación de los promedios para las plataformas de lixiviación convencionales alrededor del mundo, recabado en la experiencia en cuanto a ingeniería de minas e ingeniería geotécnica, así como los datos escogidos.

En el caso de las pilas dinámicas hay variaciones considerables en términos de porcentajes de vida activa donde el revestimiento esté mojado, así como un posible defecto en la frecuencia.

Las plataformas de lixiviación en valles tienen cargas hidráulicas considerablemente mas elevadas (hasta 40m en algún caso). Debido a que las zonas mineras de las plataformas de lixiviación no tienen la misma normativa y

requerimientos para el aseguramiento de la calidad de construcción (CQA). A continuación presentamos un cuadro resumen estimado:

Variable	Unidades	VC	VP	VB
Frecuencia de Agujeros	Nro de agujeros/ha	30	17	5
Diámetro del Agujero	mm	50	11	1.6
Carga	m	3	1	0.3
Conductividad Eléctrica		5.0 E-05	1.0 E-05	5.0 E-07
Factor de Contacto	cm/seg	1.15	0.6	0.3
Concentración de Oro en Solución Rica	ppm	2	1.5	1
Concentración de Cobre en Solución Rica	ppm	7,000	5,500	4,000
Costo de Estudio	\$/ha	\$5,380	\$3,230	\$2,150

Cuadro 2.1 - Muestra el rango y los valores más probables de las variables usadas.

Para los parámetros de ingreso de las variables se han hecho muchas suposiciones. Se asumió un tiempo de vida útil del pad de 10 años, con cualquier parte del pad mojada solo 25% de esta vida. Se asumió una subrasante de 2" con la permeabilidad hidráulica dada. Los efectos del revestimiento se consideraron de forma circular (aunque la forma de la deficiencia tiene un segundo grado de importancia en la fuga). Se utilizaron valores de metales igual a \$12.88 por gramo de oro (\$365/oz.) y \$2.76 por kilo de cobre (\$1.25/lb.). Para calcular la relación Beneficio-Costo, se asumió una tasa de interés de 20%, lo cual es común en minería. Se asumió también una concentración de cianuro en la solución de lixiviación de 75mg/L con un costo de \$1.21/Kg. (\$0.55/lb.) para el oro. Se asumió una concentración de ácido sulfúrico en la solución de lixiviación para el cobre de 1.5% con un costo de \$0.16/L (\$80/ton).

Algunos costos adicionales no se tomaron en cuenta para este estudio, tales como los costos pasivos de potencial para degradación ambiental de filtraciones químicas. El costo de reparación de los agujeros, una vez que han sido ubicados no han sido contabilizados.

Dada la magnitud de los proyectos mineros, sería común para la mayoría de los sondeos de agujeros, ser realizados mientras la cuadrilla de soldadura se encuentre aún en la zona. Esto no siempre sería el caso, de cualquier forma, podría afectar el actual valor neto del análisis en unos cuantos miles de dólares.

2.6.- Cálculo de filtración promedio de fuga a través de la geomembrana

Las relaciones de Beneficio – Costo fueron calculadas encontrando la relación promedio de filtración y el valor correspondiente de la solución perdida durante la vida de la instalación y comparándolo con el costo de llevar a cabo el sondeo de detección de fugas. La relación de filtración fue calculada usando la ecuación de relaciones de filtración para el agujero circular en un revestimiento compuesto mostrada a continuación:

$$\frac{Q}{A} = 0.6 \cdot a \cdot \sqrt{2gh}$$

- Q: Filtración (m³/s).
A: Area de Geomembrana desplegada (m²)
n: Nro de anomalías en la geomembrana.
a: Área de la anomalías (m²).
g: Aceleración de la Gravedad (m/s²).
h: Altura de Agua sobre la geomembrana (m)

En base a lo mencionado y a experiencias logradas en diferentes proyectos, se presenta el siguiente cuadro con datos reales donde se encontraron 24 fugas para una plataforma de lixiviación de 231,398 m² indicando el cálculo de filtración de fugas a través de la su sistema de revestimiento:

Nro	A (m ²)	Diámetro Anomalia (m)	a (m ²)	g (m/s ²)	h (m)	Q (m ³ /s)
1	231398	0.015	0.0002	9.8	0.02	3.652E-10
2	231398	0.010	0.0001	9.8	0.02	1.623E-10
3	231398	0.010	0.0001	9.8	0.015	1.405E-10
4	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
5	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
6	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
7	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
8	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
9	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
10	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
11	231398	0.009	0.0001	9.8	0.03	1.610E-10
12	231398	0.011	0.0001	9.8	0.03	2.405E-10
13	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
14	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
15	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
16	231398	0.010	0.0001	9.8	0.03	1.988E-10
17	231398	0.010	0.0001	9.8	0.025	1.815E-10
18	231398	0.010	0.0001	9.8	0.025	1.815E-10
19	231398	0.010	0.0001	9.8	0.02	1.623E-10
20	231398	0.009	0.0001	9.8	0.02	1.314E-10
21	231398	0.009	0.0001	9.8	0.02	1.314E-10
22	231398	0.009	0.0001	9.8	0.02	1.314E-10
23	231398	0.009	0.0001	9.8	0.02	1.314E-10
24	231398	0.009	0.0001	9.8	0.025	1.470E-10

Promedio: 1.856E-10

La relaciones de beneficio – Costo (B/C) para el oro y para el cobre, fueron calculados para los valores mas probables (VP) y menos una desviación estándar (σ). Las diferencias obtenidas en las relaciones beneficio-costos fueron usadas para calcular la desviación estándar global y el coeficiente de variación para las relaciones beneficio-costos. Asumiendo una distribución normal fue calculada la probabilidad de que la relación beneficio-costos sea mayor que 1. Los cuadros 2.2 y 2.3 muestran las relaciones beneficio-costos para el oro y el cobre respectivamente.

ORO B/Cmlv= 6.18			
Variable	Condición	B/C	Delta B/C
Frecuencia de Agujeros	VP+σ=	7.7	3.03
	VP+σ=	4.67	
Tamaño de Agujeros	VP+σ=	7.58	3.4
	VP+σ=	4.18	
Carga	VP+σ=	9.14	5.75
	VP+σ=	3.39	
Conductividad Hidráulica	VP+σ=	9.65	7.94
	VP+σ=	1.7	
Factor de Contacto	VP+σ=	7.64	2.92
	VP+σ=	4.72	
Ley de Solución Rica	VP+σ=	6.86	1.37
	VP+σ=	5.5	
Costo de Estudio	VP+σ=	5.3	-2.12
	VP+σ=	7.42	

Cuadro 2.2 - Relaciones Beneficio – Costo para el Oro

COBRE B/C_{mlv}= 5.6			
Variable	Condición	B/C	Delta B/C
Frecuencia de Agujeros	VP+σ=	6.98	2.75
	VP+σ=	4.23	
Tamaño de Agujeros	VP+σ=	6.87	3.08
	VP+σ=	3.79	
Carga	VP+σ=	8.28	5.21
	VP+σ=	3.08	
Conductividad Hidráulica	VP+σ=	8.74	7.2
	VP+σ=	1.54	
Factor de Contacto	VP+σ=	6.93	2.65
	VP+σ=	4.28	
Ley de Solucion Rica	VP+σ=	6.04	0.88
	VP+σ=	5.16	
Costo de Estudio	VP+σ=	4.8	-1.92
	VP+σ=	6.72	

Cuadro 2.3 - Relaciones Beneficio – Costo para el Cobre

2.6.1.- Resultados de Sensibilidad

Este estudio muestra que en promedio, lo más probable es que sea económicamente beneficioso para una plataforma de lixiviación de una zona minera realizar un sondeo de detección de fugas, con un 97% de probabilidad para el oro y el 96% de probabilidad para el cobre.

De cualquier forma, hay muchos parámetros específicos operacionales para cada una de las zonas mineras que puedan bajar la relación costo – beneficio por debajo de la unidad. Las tres variables usadas en este análisis que dependen de la zona de estudio son: la carga hidráulica sobre el revestimiento, la concentración del metal en la solución pura, y la conductividad hidráulica del soil liner. Si una zona opera con una carga promedio de 0.3 metros y permanece dentro de un rango de 0.1 a 0.4 metros, sin cambiar las otras variables, las relaciones de beneficio-costos serán de 1.9 para el oro y de 1.7 para el cobre, con

sus respectivas probabilidades de excedencia unitaria de 70% y 66%. Algunas zonas de lixiviación de relaves de baja ley tienen concentraciones de solución pura tan bajas como de 0.3 ppm de oro.

Dejando las variables tal como aparecen en la Tabla 1, y cambiando el rango de la concentración de oro a 0.3 (VB) hasta (VC) y el VP a 0.4, la relación de beneficio – costo para la minería aurífera sería de 1.7, con una probabilidad de excedencia de la unidad de 60%. Debido a la naturaleza de la conductividad hidráulica de los suelos, los cuales pueden ofrecer valores para el orden de magnitud diversos, este parámetro específico de zona puede variar drásticamente la relación beneficio – costo.

Se conocen las cargas hidráulicas sobre plataformas de lixiviación convencionales que exceden los 10 metros, y plataformas de lixiviación dinámicas (pads on/off) tienen expuesto el revestimiento a la solución cerca del 75% del tiempo, versus los 25% asumidos en este estudio; y las cargas de servicio altas y cíclicas probablemente resulten de defectos de frecuencia y tamaños más grandes. Incrementar estos parámetros incrementaría significativamente las relaciones beneficio – costo y las probabilidades asociadas presentadas.

Si bien las concentraciones de metal y los precios del Mercado varían considerablemente entre las operaciones de oro y cobre, el valor de litro de PLS es casi el mismo. Para muchas de las zonas de lixiviación de oro y cobre, el costo beneficio debe realizar un sondeo de detección geoelectrica de fugas inicialmente podría, en general, llevar ahorros de \$15,000 a mas, netos del actual valor por hectárea de área revestida a lo largo de la vida útil de la instalación. Para un pad de lixiviación grande de 100 ha, esto equivale a un ahorro de \$1, 500,000 de valor actual durante la vida de la instalación.

Adicionalmente del valor económico que un sondeo de detección de fugas le da a la plataforma de lixiviación, se puede evitar una cantidad incalculable de degradación ambiental.

2.7.- Estadística Actual y previsión al futuro

La mayor parte de las estadísticas de perforaciones provienen de aplicaciones de contención residual, menor cantidad de perforaciones aplicando CQA y

revestimientos de mayor espesor. Mediante estudios se ha demostrado que el 97% de daños en revestimientos ocurren durante la etapa de la construcción luego de terminadas las actividades de CQA.

- 70% de las perforaciones han sido encontradas en paneles y no en soldaduras.

La velocidad de prospección es un factor de suma importancia a la hora de planificar un programa de Detección de Fugas. Se ha determinado de acuerdo a información de prospecciones realizadas en plataformas de lixiviación, pozas y otras instalaciones que un operador con experiencia puede realizar un promedio de 3500 m² durante un turno de trabajo, cabe resaltar que puede haber variaciones en la velocidad mencionada por características particulares de los lugares a prospectar o factores climáticos.

En el cuadro 2.4, abajo, se presenta un resumen de frecuencia de agujeros encontrados en prospecciones realizadas durante 10 años de experiencia:

Pruebas	Frecuencia (Agujeros/Hectárea)
Lanza de Agua (con CQA)	4
Lanza de Agua (sin CQA)	22

Cuadro 2.4 - Frecuencias de Agujeros

El Método Lanza de Agua se viene desarrollando con gran éxito en plataformas de lixiviación de proyectos mineros en Perú y Argentina. En los proyectos ejecutados se localizaron fugas tanto en la mitad de los paneles como en algunas costuras. Con el método Lanza de Agua se inspeccionó casi toda la instalación, se detectó y extrajo piedras debajo de la geomembrana que podrían causar fugas en el futuro debido al peso del over liner y de los materiales de apilamiento. A continuación mostraremos un cuadro resumen de anomalías presentadas sobre la geomembrana en proyectos desarrollados en Perú y Argentina.

PROYECTO	ÁREA PROSPECTADA (m2) APROX	NUMERO DE FUGAS ENCONTRADAS	NUMERO DE DEFECTOS CONSIDERABLES	No DE PIEDRAS DEBAJO DE LA GEOMEMBRANA
MINA 1, PERU	236 613	21	1	300
MINA 2, ARGENTINA	400 000	29	28	500

Cuadro 2.5 - Resumen de fugas y daños encontrados en proyectos mineros

Luego de ser reparadas estas anomalías se realizó una segunda evaluación local para asegurar la efectividad de la reparación. Los datos mostrados fueron extraídos de los reportes finales de campo. Las pruebas geoelectricas han venido desarrollándose de manera globalizada en diversos proyectos de obras en Minería, como por ejemplo: Plataformas de Lixiviación, Piletas Geotermiales, Pozas de Monitoreo, Rellenos Sanitarios, cuidando su medio ambiente y dando mayor seguridad para la producción de material lixiviado, la variedad de proyectos involucrados en este tema es un indicador importante para atreverse a decir que el tema de Detección de Fugas mediante métodos geoelectricos seguirá creciendo a nivel de Mundial. Actualmente en la zona Este de los Estados Unidos se está implementado la normativa que en todas las construcciones de rellenos sanitarios se hagan las respectivas pruebas de Detección de fugas antes de colocar el material de relleno.

A continuación se presentan fotografías que manifiestan el desarrollo de ejecución de las pruebas geoelectricas en diversos proyectos tanto en Perú como en el extranjero:



Figura 2.5 - Piletas Geotermiales – California USA



**Figura 2.6 - Planta Geotermal - Tanque revestido 60mts de diámetro,
paredes verticales de 5m – California USA**



Figura 2.7 - Plataforma de Lixiviación – San Juan Argentina



Figura 2.8 - Plataforma de Lixiviación – Trujillo Perú

Actualmente en nuestro país son pocos los proyectos que cuentan con este tipo de servicio, es necesario resaltar que tanto en plataformas de lixiviación como en

rellenos sanitarios el cuidado para evitar las fugas presentadas es sumamente importante, las filtraciones o fugas causan contaminación, erosión y daños en los suelos. Por tal motivo, hacia un futuro muy próximo será necesario normalizar el desarrollo de esta técnica con la finalidad de mejorar sistemas ambientales vigentes.

CAP 3.0 MÉTODO DE LANZA DE AGUA

3.1.- Esquema Funcional

La técnica de detección de fugas mediante el Método Lanza de Agua consiste en la aplicación de un potencial eléctrico entre el suelo debajo de la geomembrana y el agua esparcida en la superficie, sabemos que la geomembrana es un material plástico eléctricamente aislante, entonces ante la presencia de una fuga, el agua llega al suelo debajo de la geomembrana, generándose una diferencia de potencial, para permitir el flujo de corriente eléctrica, el aparato detector informa al operador (vía visual y en forma auditiva) la presencia de filtraciones y perforaciones en la geomembrana.

Inicialmente se coloca voltaje a través de la geomembrana para luego ubicar zonas donde el flujo eléctrico corra a través de discontinuidades o de costuras. Como se muestra en la figura 3.1, un polo de la corriente se coloca en el agua del charco formado sobre la geomembrana, el otro polo de la fuente eléctrica se coloca introduciendo el electrodo de cobre en la zona del anclaje de la geomembrana. Las medidas se realizan usando el sistema de medición de corriente eléctrica, la intensidad de la corriente está directamente relacionada con el tamaño del orificio. El sistema dispone de un amplificador sonoro cuya frecuencia es proporcional al flujo de corriente.

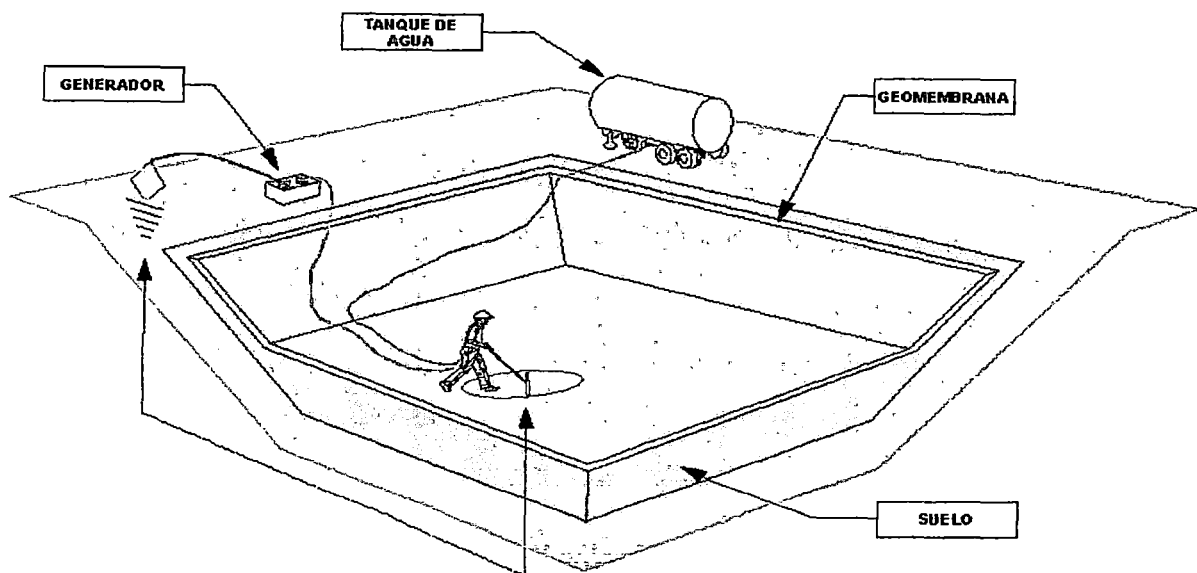


Figura 3.1 Esquema Genérico de Método Lanza de Agua

En la Figura 3.1 mostrada se presenta un esquema de disposición para la prospección sobre un área revestida por una capa simple de geomembrana y suelo conductivo debajo del área a prospectar. En caso de tener un doble recubrimiento se deberá evaluar en primer lugar la geomembrana más cercana al suelo en su totalidad y posteriormente la más superficial. Si en la instalación no hay un material conductivo instalado entre ambas geomembranas, se podrá inundar el espacio entre ambas para realizar la prospección. Como vemos, es importante el prever en el diseño la instalación de un material conductivo entre ambas geomembranas o la utilización de geomembrana conductiva para facilitar una prospección en el futuro.

Otro detalle que deberá ser tomado en cuenta durante la prospección es cuidar que el agua cargada con el voltaje sobre la instalación no entre en contacto con la tierra fuera de ésta a menos que sea por alguna fuga, de darse este caso se crearán lecturas erróneas en el aparato lector.

La velocidad de prospección es un factor de suma importancia a la hora de planificar un programa de Detección Eléctrica de Fugas. Se ha determinado de acuerdo a información de prospecciones realizadas en plataformas de lixiviación, pozas y otras instalaciones que un operador con experiencia puede realizar un promedio de 3500 m² durante un turno de trabajo, con

condiciones favorables, cabe resaltar que puede haber variaciones en la velocidad mencionada por características particulares de los lugares a prospectar o factores climáticos.

El sistema de Detección de Fugas mediante el Método de Lanza de Agua en geomembranas expuestas consiste en:

- Usualmente desde una cisterna con agua o un tanque de agua provisto con una bomba se conecta una manguera hasta la boquilla del equipo de detección de fugas, la boquilla consta de varias aberturas por donde sale el flujo de agua a presión.
- La energía directa de las baterías de 18 a 27 voltios es suficiente para la realización del trabajo.
- Para la detección de fugas, el agua encharcada se empuja hacia la zona a probar y detectar donde se incrementa el flujo de corriente eléctrica.
- La señal del equipo es amplificada y reproducida en audífonos, el sonido incrementa en intensidad y amplitud con mayor flujo eléctrico (mientras se vaya acercado a la fuga).
- Cuando una señal de fuga se activa, se marca el punto de fuga en la geomembrana, como se muestra en la fotografía.

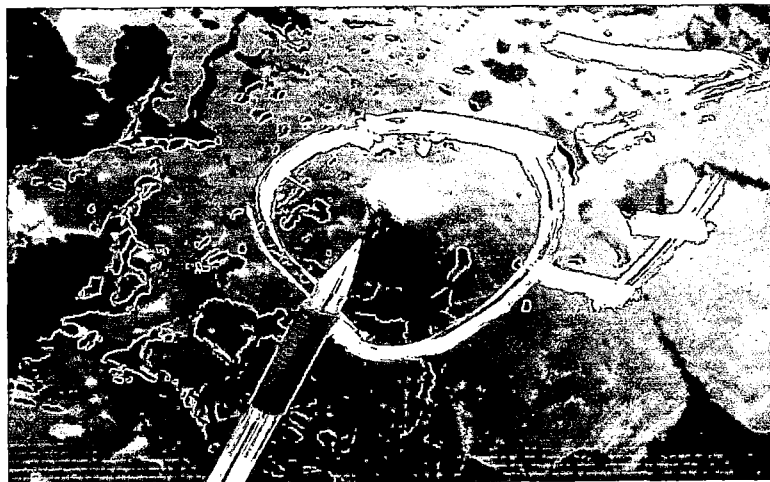


Figura 3.2 Daño en la Geomembrana

- La sensibilidad del sistema es buena para la detección de fugas, orificios menores a 1mm de diámetro son rutinariamente hallados así como fugas por costuras en la geomembrana.
- El rendimiento de la detección de fugas depende tanto de la habilidad del operador y factores climáticos hasta factores mecánicos referidos a los

equipo que pueden ser ancho de la boquilla, del chorro y de la presencia de arrugas y ondas en la geomembrana instalada.

Preparación y consideraciones de las lecturas:

- Es necesario para realizar las prospecciones contar un material conductor debajo de la geomembrana a probar. La conductividad de suelos en cada proyecto es diferente y varía de acuerdo a los contenidos mineralógicos y contenidos de humedad de cada suelo. La experiencia demuestra que las arcillas son materiales muy conductivos mientras que los materiales arenosos requieren tener un mayor contenido de humedad para favorecer la conductividad eléctrica.
- Las lecturas de las pruebas deben ser tomadas cuando las arrugas de la geomembrana sean mínimas. La gente de apoyo puede ir eliminando las arrugas frente al técnico que maneja el equipo de detección de fugas. De no poder aplanar las arrugas la prueba deberá efectuarse en horas de la noche o madrugada.
- Para mejores resultados, los elementos conductivos como tuberías de metal, bombas, y/o vigas de concreto, deben ser aislados en la geomembrana para evitar falsas lecturas.
- En el Cuadro 3.1 presentado a continuación indicamos la disponibilidad de ejecución del ensayo de acuerdo a ciertas características del medio en que se desarrolla la prueba::

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO		DISPONIBILIDAD
Geomembranas	HDPE, VLDPE, PVC, FPP, Bituminosa, CSPE,	Aplicable
	CPE, EPDM, GCL.	No Aplicable
	Expuesta	Aplicable
	Cubierta	No Aplicable
Tiempo	Tiempo de Entrenamiento	1 día
	Tiempo de Calibración	1 a 3 hrs.
	Tiempo de Medición	Instantánea
	Tiempo para ubicar la fuga	10 minutos máx.
	Humedad del Suelo	> 0.7%
	Velocidad Promedio (Superficie Horizontal)	500 m ² por hora por operador
	Fuente de Energía	12 o 24 voltios DC o AC
Costura	Todos los tipos, soldaduras, tapas, adhesivos, engomados y otros	Aplicable: Proyecto específico
	Juntas	En tuberías sintéticas y accesorios de estructuras permanentes
Estudios	Durante la construcción de la Fase (Instalación de Geomembrana)	Aplicable
	Después de la Instalación (Expuesta)	Aplicable
	Después de suelo recubierto	No Aplicable
	Presencia de ondas y de arrugas largas	No Aplicable
	Taludes	Aplicable: Proyecto específico
	Subrasante desecados (conductividad equivalente a la arena con humedad < 0.7 %)	No Aplicable
	Durante el tiempo de vida del servicio (si es expuesto)	Aplicable
Estudios	Estructura conductiva eléctricamente aislada	Aplicable
	Clima	Soleado, temperado, caliente
Fuga Detectada	Tiempo de lluvia, tiempo de congelación	No Aplicable
	Tamaño de 1 mm y más	Aplicable
	Separación entre fugas Múltiples	Aplicable

Cuadro 3.1 Aplicaciones del Ensayo

Como se puede observar la base para llevar a cabo este tipo de prospección es el uso de electricidad aplicada en bajos voltajes; este bajo voltaje es

proveniente de una fuente de poder, así la polaridad positiva es conectada a una "Lanza" la cual es deslizada por el operador sobre la geomembrana y la polaridad negativa es conectada a tierra; por lo general fuera del área a ser prospectada. Por medio de la lanza sale un chorro de agua proveniente de una bomba y debido a que la lanza está fabricada de metal, el chorro de agua está también cargado con el bajo voltaje suministrado por la fuente de poder. En el caso de la presencia de un agujero en la geomembrana se cierra el circuito entre el polo positivo sobre la geomembrana y el negativo debajo de ésta, creándose un flujo de corriente. Este flujo de corriente es registrado por un detector que se encuentra instalado en serie en el sistema, originando una lectura y sonido de alerta que el operador deberá ser capaz de reconocer e interpretar, para realizar una inspección mas detallada del área. El esquema del equipo es presentado a continuación:

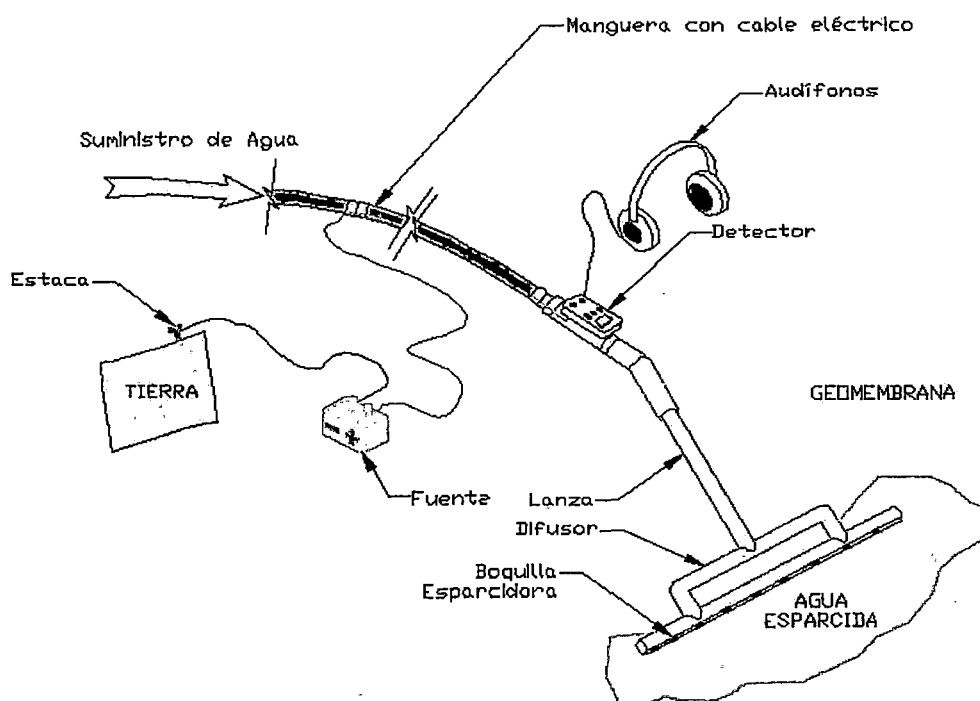


Figura 3.3 Esquema de la Lanza

Como se muestra en la Figura 3.3 el equipo consta de las siguientes partes:

- **Lanza de Acero Corrugado.**- Cuya función es de servir como nexo de paso de agua hacia las boquillas esparcadoras.

- **Detector.-** Instrumento electrónico cuya función es la de brindar la información necesaria al operador indicándole la ubicación de una fuga.
- **Audifonos.-** Instrumento auxiliar útil (dependiendo del operador), generalmente se usa en caso exista confusión auditiva para el operador con respecto a la bulla existente en el área de trabajo.
- **Manguera con cable eléctrico.-** Cuya función es transportar el agua de la fuente de suministro de agua hacia la lanza.
- **Suministro de Agua.-** Consta de una cisterna la cual abastece de agua para la ejecución del ensayo ya sea por gravedad o por sistema de bombeo.
- **Estaca.-** Instrumento que sirve para hacer tierra el cable del dispositivo negativo.

3.1.1.- Significado y Uso del Método

- Las Geomembranas se emplean como barreras de contención de líquidos y evitar su fuga al medio ambiente, en lagunas, tanques, etc. Donde se requiere total impermeabilidad.
- Los líquidos pueden contener contaminantes que liberados causarían daño al medio ambiente. Las filtraciones o fugas causan erosión y daños en los suelos. La fuga genera pérdida del líquido, se debe lograr su perfecta impermeabilización para cumplir con el propósito del reservorio.
- Normalmente la geomembrana se despliega y une por fusión en el campo.
- Las fugas en la geomembrana se pueden deber a la mala calidad del material colocado sobre la geomembrana, accidentes, falta de cuidado en su instalación o mal trato por los trabajadores.
- El método de detección de fugas eléctrico es muy efectivo para ubicar fugas no fácilmente visibles y una herramienta más para ayudar a garantizar la integridad de la geomembrana.

3.1.2.- Prácticas en el Empleo del Método Lanza de Agua

- La sensibilidad del equipo debe ser calibrada antes de realizar una prueba real del área y verificar la señal auditiva.
- Al hacer la prueba de calibración en una fuga artificial, se deberá hacer un hueco de 1mm en el medio de un paño, el ancho del paño debe ser por lo

menos cuatro veces el ancho de la boquilla del chorro de agua calibra el equipo a la mejor sensibilidad de registro de la corriente eléctrica. El hueco de la prueba debe parcharse debidamente.

- El flujo de energía eléctrica y el suministro de agua se deben abrir y el detector se debe empujar sobre el punto de fuga a la velocidad de detección del recorrido.

- Si el resultado de la lectura es de al menos 10% de la escala total, se considera un éxito la demostración del equipo.

- La detección de fugas debe conducirse con la misma velocidad que en la prueba de demostración y calibración.

- Un chequeo periódico del equipo de detección de fugas es recomendable (Cada 15 o 20 minutos), por lo menos se debe comprobar el correcto funcionamiento al iniciar y al concluir el trabajo. Si el equipo falla las pruebas de calibración, el área probada deberá revisarse de nuevo.



Figura 3.4 Ejecución del Método sobre la Geomembrana Expuesta



Figura 3.5 Ejecución del Método sobre Taludes Pronunciados

3.2.- Secuencia y Operación del Ensayo

3.2.1.- Antes de Salir al Campo

Se deben realizar cierto número de tareas, abarcando así todos los requerimientos del trabajo.

La siguiente secuencia debe ser tomada en cuenta:

- Listar los materiales con la finalidad de proveer de herramientas necesarias.
- Probar cada elemento usado en campo.
- Discutir con el jefe de Proyecto el contenido del contrato, la duración planificada, incluyendo todos los planes, documentos disponibles, etc.
- Buscar las mejores condiciones en campo (material in situ, diseños, naturaleza de los geosintéticos, tipos de suelo, clima, recursos de sitio, etc.).
- Hacer a un lado los elementos que puedan afectar el trabajo y analizar los riesgos de ocurrencia durante el trabajo, tomar las medidas necesarias del caso.
- Discutir con el Jefe de Proyecto la disponibilidad de materiales necesarios.

- Preparar el equipo y llenar la lista de inventario.

3.2.2.- Arribo al Campo

Estar seguro de contar con todos los materiales necesarios, prevenir percances, contar con todas las partes y realizar un nuevo ensayo de trabajo en caso fuese necesario.

Otras acciones también que deben ser tomadas en cuenta para asegurar un buen ambiente de trabajo:

- Con la debida presencia del cliente, asegurarse de un correcto funcionamiento de todos los equipos necesarios (agua de tanque, fuente de energía, etc.).
- Reunión con las personas adecuadas en campo (Cliente, Contratista, proveedores varios).
- Recorrer el campo con el cliente o alguna otra persona encargada con la finalidad de entender el proyecto y sus particularidades.
- Explicar el funcionamiento del método usado al cliente durante su visita.
- Es necesario recorrer el campo una vez más por uno mismo para evaluar la secuencia del trabajo.

Prestar atención particular a los siguientes puntos:

- Riesgos de Seguridad en Campo.

Consultar la lista de puntos seguros:

Anotar las áreas en problemas (taludes, ondas en la geomembrana, conexiones de tuberías).

- Estudiar y optimizar la ubicación de la fuente de energía.
- Evaluar la secuencia del ensayo.
- Ensayos de Calibración.

Consultar la hoja de procedimientos: Ensayos de Calibración y Métodos de Verificación.

Presentar este Plan al Cliente (Después de haber revisado la autorización del Proyecto) y asegurar la autorización del mismo antes de iniciar la prospección.

3.2.3.- Instalación en Campo

Una vez que el cliente haya dado su consentimiento, el equipo instalado y todo este en orden con respecto a los materiales de trabajo, la instalación en campo debe ser desarrollada de la siguiente manera:

- Ubicar la fuente de energía en la parte alta del campo, tan cerca como sea posible a la zona proyectada y al suministro de agua.
- Desenrollar las mangueras, empezar con el suministro de agua y avanzar hasta la parte baja de la zona proyectada (zona de entrada).
- Ubicar la placa de tierra o anclarla cerca de la fuente, fuera del área de trabajo.
- Seguir los procedimientos iniciales.
- Repetir este procedimiento cada mañana antes de empezar con el trabajo o después del despliegue de materiales.

3.2.4.- Realización del Trabajo

Añadir la calibración de equipos con un hoyo de calibración

El siguiente método será aplicado a todas las zonas proyectadas:

Las acciones a tomar serán las siguientes:

- Abrir el circuito de agua y girar la válvula ubicada en la lanza.
- Asegurarse que el detector esté en la posición ON esté encendido.
- Asegurarse que la sensibilidad sea alta.
- Asegurarse de tener una posición de trabajo estable y ergonómico.
- Usar solo la presión necesaria en la lanza de acuerdo al tipo de material y las condiciones de la superficie (ondas, rugosidad, etc.).
- Adoptar una prospección uniforme y rápida, adaptada a la superficie.
- Ajustar el flujo de agua como sea necesario para obtener una rápida prospección.
- Repetir el procedimiento en cada paso de la prospección.
- Cuando se escuche la señal auditiva, es una señal que se ha encontrado una fuga.

3.2.5.- Final del Día

Al final de la prospección diaria, los siguientes pasos deben ser tomados en cuenta para un mejor desempeño:

- Colocar el material en el almacén indicado mientras se cuida de la humedad a la fuente de energía.

Enrollar las mangueras y dejarlas totalmente limpias.

- Redactar el reporte diario y emitirlo tan pronto como sea posible al jefe de proyecto.
- Preparar un plan de trabajo para el día siguiente.
- Siempre que sea posible, llenar la hoja de aprobación de área, entregársela al cliente y al jefe de Proyecto.

3.2.6.- Final de la Misión

Al final de la misión, un cierto número de acciones serán tomadas en cuenta:

- Entregarle al cliente la aprobación del área proyectada.
- Entregar el reporte de trabajo de Detección de Fugas y emitirlo para su aprobación al jefe de proyecto o al Ingeniero Residente.
- Recibir el material y llenar la hoja de materiales usados.

3.3.- Procedimiento del Ensayo

3.3.1.- Movimientos y Posturas

Una buena postura asegura una buena calidad del trabajo. Las siguientes reglas deben ser tomadas en cuenta:

- Mientras se avanza hacia delante, mantener el espaldar lo más recto posible, doblar las rodillas durante el trabajo sin curvar tu espalda.
- Presionar la lanza con un brazo, la otra mano presiona el antebrazo para aplicar presión adicional.

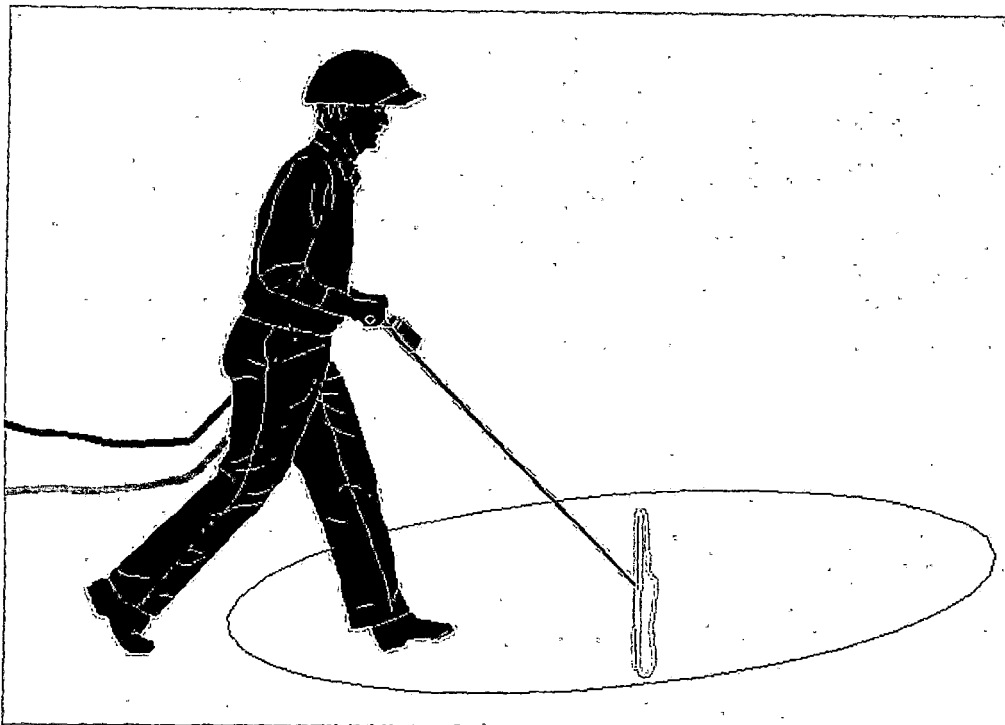


Figura 3.6 Postura Correcta del Operador

En la Figura 3.6 mostrada se puede observar la forma adecuada de realizar dicho ensayo, la columna erguida y ejerciendo presión sobre la lanza para una mejor realización del ensayo, en caso exista una pendiente notoria se debe tratar de mantener al máximo las indicaciones indicadas.

3.3.2 Procedimientos

Ubicación de la Fuga después de la Señal y acciones a tomar

La siguiente operación debe ser tomada en cuenta para ubicar una fuga luego de señal (la luz, sonido de la señal y movimientos de la aguja).

- Colocar la sensibilidad del detector en el modo "LOW", apagar la lanza de agua, hacer la lanza a un lado para que uno de sus extremos toque la geomembrana y realice círculos de arcos concéntricos en radios de aproximadamente 1 metro.
- Presionar firmemente la lanza cuando la señal sea alta antes de ampliar el perforación lo mas notorio posible (si es necesario, mantener un extremo de la lanza con una mano y usar la otra mano para ubicar el perforación).
- Ubicar la perforación, secarlo externamente, marcarlo, numerarlo y avisar a la persona encargada.

- Apuntalar en la libreta de campo toda la información necesaria relacionada a la perforación y a su detección. Incluir todas las referencias pertinentes de la perforación en la geomembrana y tomar una foto mientras se ubica con un objeto al costado de la misma (lapicero, pie).
- Continuar con el trabajo

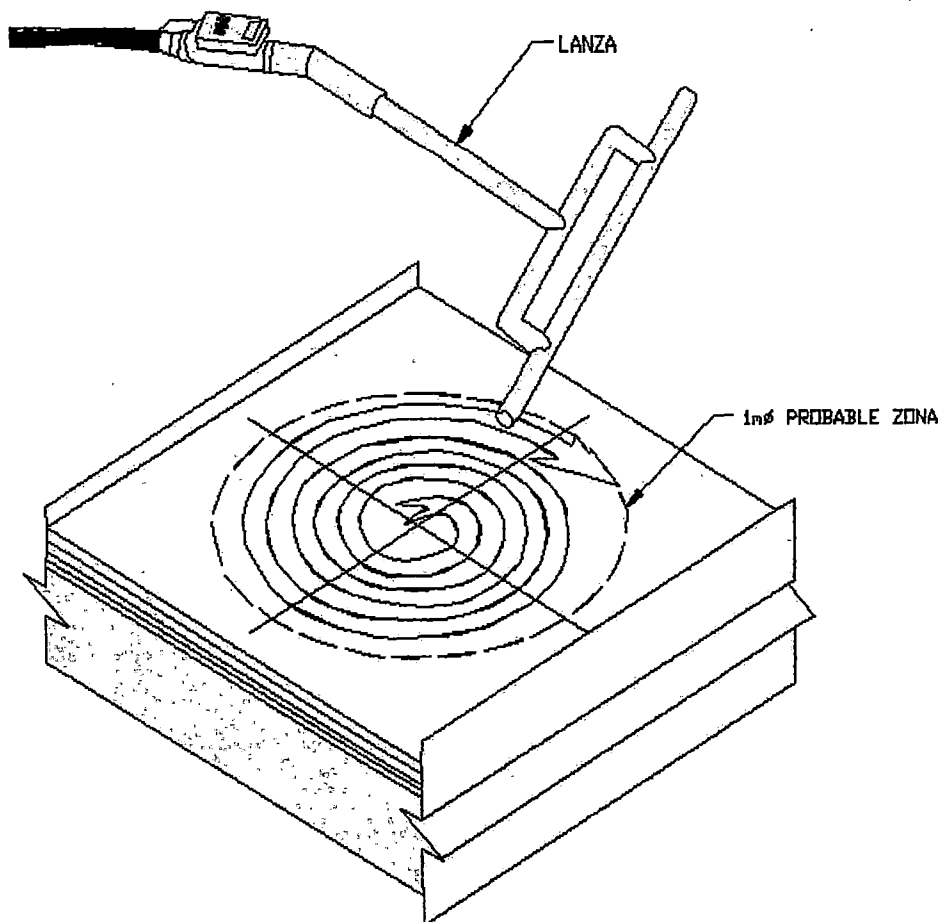


Figura 3.7 Ubicación de una Fuga

Cuando el orificio es detectado por el equipo, pero no es perceptible por el ojo humano, con la lanza se traza ejes para luego generar círculos, tal como se indica en la Figura 3.7, esto último con la finalidad de ir acercándose al orificio, mientras la lanza esté más cerca del orificio, el sonido del equipo se hará más notorio..

3.3.3.- Planificación y Dirección del Trabajo

- La prospección en la superficie es planificada independientemente a su instalación o en pleno proceso de la instalación de la geomembrana.
- La geomembrana es instalada completamente o instalada desde la parte superior:
- Definir el área proyectada empezando por un punto bajo en campo y continuando con los otros puntos ("Ellos deben ser proyectados en forma prioritaria").
- Separar las prospecciones en secciones equivalentes por día de trabajo.
- La geomembrana está siendo instalada desde la parte baja:
- Definir la prospección, tomando en consideración que las soldaduras deben estar terminadas en todas las zonas.
- Separar la superficie en secciones equivalente por el día de trabajo.
- Planificar el completo aislamiento de la zona a trabajar.
- Al finalizar el día controlar lo avanzado marcando en un plano general los paños avanzados como se muestra en la siguiente figura:

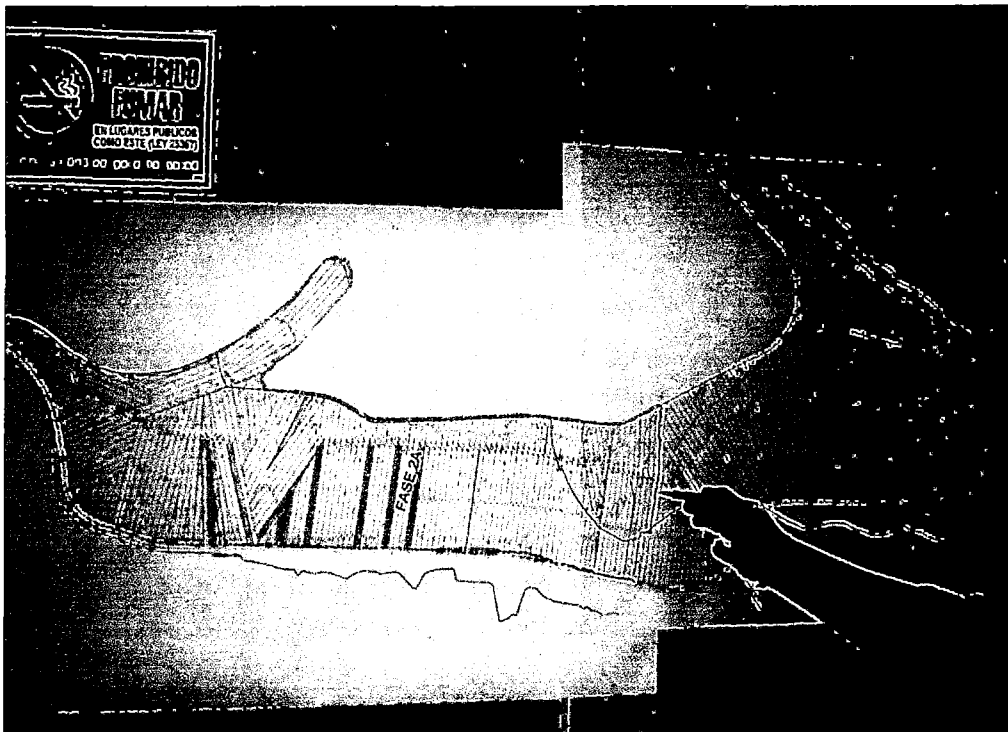


Figura 3.8 Control de los paños avanzados al finalizar el trabajo diario

Prospección Rápida

- La prospección rápida depende de muchos factores (materiales, flujo de agua, geometría de campo). 300m²/hr es un promedio razonablemente rápido para HDPE, 500m²/hr para una membrana bituminosa.
- Tener especial cuidado cuando se trabaja en soldaduras (la rapidez disminuye, realizar una presión considerable en la Lanza).
- Debe tenerse mucho cuidado al trabajar en zonas con presencia de ondas. Es necesario trabajar a presión firme con la lanza en una aglomeración de ondas, es recomendable en caso sea posible aplastar la aglomeración de ondas antes de esparcir el agua con la Lanza.

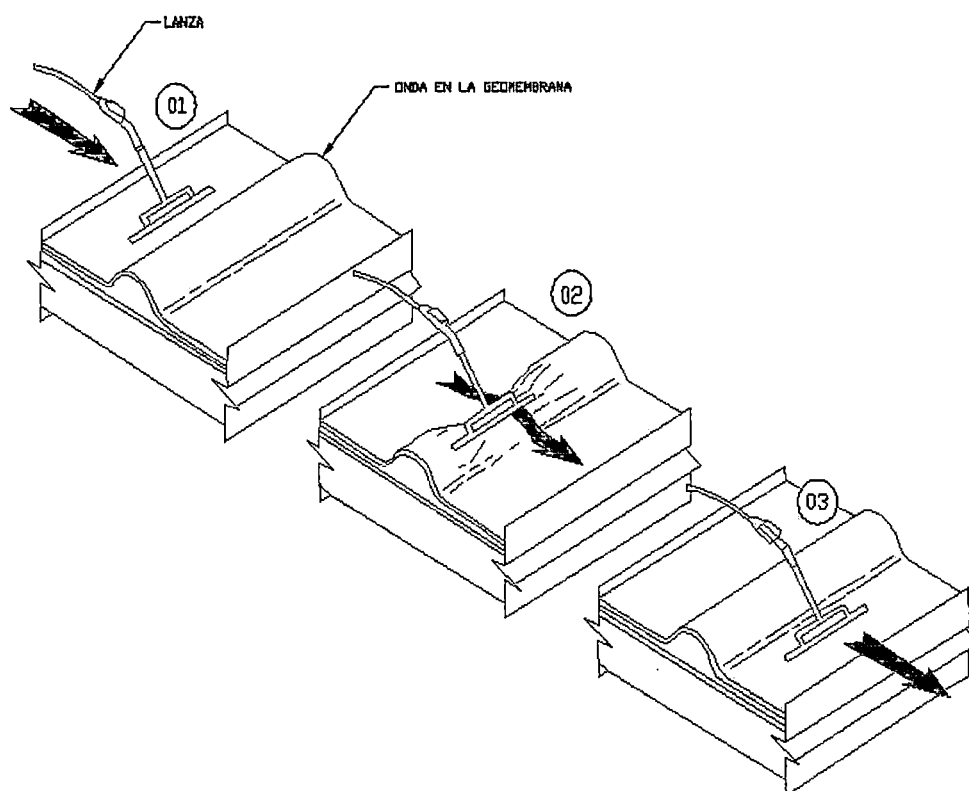


Figura 3.9 Presencia de Ondas en la Geomembrana

En la Figura 3.9 se muestran 3 etapas ante la presencia de ondas en la geomembrana debido al efecto de dilatación térmica, la etapa 01 es la inicial en la cual la geomembrana expuesta se arruga mientras la lanza está próxima a ella, en la etapa 02 el operador ejerce presión sobre la geomembrana con la finalidad de aplastarla y crear contacto entre la geomembrana y el suelo de baja permeabilidad

ubicado debajo, la etapa 03 es la etapa final en la cual la lanza ha pasado sobre la ondas en la geomembrana, habiéndose realizado el ensayo de manera satisfactoria.

La presencia de ondas en la geomembrana es un fenómeno causado por la dilatación térmica, la altura de las ondas puede ser significativa en el caso de una geomembrana HDPE. Las ondas por lo general logran su amplitud máxima por la tarde cuando la temperatura es alta. De la misma manera, un "trampolín" puede aparecer en la parte inferior del talud durante la noche, cuando la temperatura disminuye, se debe tomar en cuenta que la creación de ondas es mucho menos notoria cuando la geomembrana es reforzada, como es el caso de las geomembranas bituminosas.

Trabajar sobre geomembrana puede causar un problema significativo. Efectivamente, para detectar una perforación, el agua debe atravesar el perforación y crear un contacto continuo con la tierra debajo de la geomembrana. Antes de hacer esto, el operador debe aplastar la geomembrana caminando sobre ella. No todas las ondas pueden ser aplastadas debido a su dimensión, en este caso se debe realizar una inspección visual sobre la cresta de la onda, es evidente que la presencia de ondas disminuyen la velocidad del trabajo. Trabajar de noche con baja temperatura es una solución interesante, permitiendo la realización de un trabajo rápido. Sin embargo, el efecto "trampolín" puede ocurrir en la parte inferior de las pendientes.

- **Presencia de Charcos**

Existen charcos significativos en la geomembrana después de una fuerte lluvia o al limpiar la poza, la perforación se encuentra en forma visual en la zona mojada cuando la señal se presente. Cuando una perforación se presenta en una zona cubierta con agua (charcos), se emite una señal de fuga, pero será casi imposible que se encuentre visualmente, por motivos del área abarcada por el charco.

Así, cuando se presentan charcos en la geomembrana, es posible trabajar de la siguiente manera: Si no se emite señal durante el contacto de la lanza con el charco, entonces no hay fuga en la zona. Por otro lado, si la señal es detectada, la superficie en cuestión debe ser secada y una evaluación convencional se realiza.

- Taludes Abruptos

El principal problema causado por taludes abruptos es el difícil acceso a los mismos. La capacidad que se tiene para trabajar en taludes depende de su ángulo y del tipo de geomembrana. Es posible caminar sobre taludes de 3H: 1V cubiertos con geomembranas bituminosas o de polipropileno, pero es completamente imposible en geomembranas no texturadas HDPE. Cuando se es imposible caminar directamente sobre la geomembrana, se hace uso de escaleras de sogas, pero solo deben ser usados para inspección de zonas de riesgo (extrusión de soldaduras, geomembranas transversales, etc.)

La sensibilidad de la detección de fuga depende del espesor del depósito de agua en la geomembrana. La acumulación sobre taludes, minimiza la acumulación de agua, reduciendo la velocidad del trabajo.

3.4.- Ensayos de Equipos y Técnicas Complementarias

Durante la realización del Método se realiza una serie de ensayos e instalaciones antes y durante la prospección, es necesario seguir un orden, llevando a cabo una serie de normativas con la finalidad de un mejor desarrollo y funcionamiento del ensayo. Aquí mencionaremos una secuencia de ordenamiento de su funcionamiento:

Ensayos de Trabajo de la Fuente de Energía:

- Para verificarse el trabajo de la fuente de energía, debe realizarse la siguiente operación:
- Conectar cada nodo del multímetro a cada nodo de la fuente de energía.
- La lectura no debe indicar un valor menor de 23 voltios.
- Si el valor es menor a 23 voltios, cargar con baterías de 9 voltios, así se puede acumular el valor de 27 voltios (máximo 3×9 voltios = 27 voltios).
- Ubicar el switch del detector en la posición "ON".
- Presionar el botón "TEST" para visualizar el cargado de las baterías.
- Si la aguja indica un valor bajo, debe cargarse las baterías.

Ensayos de Conductividad o Verificación de la Resistencia de los Materiales (Material Geosintético Conductivo)

Verificar la conductividad de los Materiales, las siguientes Operaciones deben ser realizadas:

Tomar una muestra de los materiales en campo de al menos 30 mts de longitud.

Colocar un terminal del multímetro en cada extremo de la muestra tomada.

Ensayo de Conductividad: seleccionar el modo de conductividad del multímetro, el sonido de la señal indica que el material es conductivo.

Ensayo de Resistencia: Seleccionar el modo π , un valor de 1π o menos indica que el material es altamente conductivo.

En cualquier otro caso, avisar inmediatamente al jefe de campo.

Ensayo de Continuidad en los Equipos

Al comienzo de cada sesión (Instalación e Inicio) y después de cada 20 minutos de trabajo, debe realizarse un ensayo de Continuidad en los Equipos:

Apagar la Lanza de Agua.

Si hay terreno expuesto en la parte superior de la periferia en campo y es accesible (no recubrir con geomembrana), colocar la Lanza directamente al terreno.

Si no se tiene acceso al terreno, usar los aparatos de continuidad eléctrica, ubicar el extremo del cable conductivo en el esparcidor (en caso el aparato no sea ensamblado, realizarlo mientras se sigue con las indicaciones (Instrucciones de Construcción en Campo).

En todos los casos debe escucharse una señal eléctrica de fuga.

Si no se escucha el sonido de la señal de fuga, consultar al manual para los problemas correspondientes. Una vez que el problema haya sido resuelto, regresar tan pronto como sea posible al inicio del trabajo con la última continuidad eléctrica válida.

Ficha de Inicio del Trabajo:

Operadores:	1.- 2.-
Fecha:	
Nombre del Proyecto:	
Cliente:	
Dirección del Cliente:	
Tareas del Operador:	
Retorno:	
Hecho por:	
Notas:	

La ficha de inicio se llena al comenzar el proyecto con la finalidad de darle cierto orden al trabajo, los datos deben ser llenados de la manera más sencilla y precisa.

Presentación de Materiales

(Durante 30 días)

ITEM	Para 1 operador	Para 2 operadores
Boquilla	3	4
Lanza	2	3
Manguera (adherida a un cable eléctrico)	1.5 x un máx. longitud en Campo	3 x un máx longitud en Campo
Fuente de Energía	2 - 3	4 - 6
Baterías 9v	3	3
Multímetro	1	1
Detector	2	3
Cabezal	2	3
Placa Metálica	2	4
Marcador	1	2
Cable eléctrico cortado	1	1
Conector	1	1
Herramientas (desentornillador, alicate, Cabezal múltiple, etc.)	1	1
Rodillo de goma	1	1
Conectores de Mangueras	4 pares	8 pares
Tapa de Teflón	1	1
Cámara Digital	1	1
Reportes Diarios	1	2

Materiales de Construcción en Campo (Requerimientos previos y Control en Campo)

ITEM	Comentario
Fuente de Agua	De preferencia un tanque.
Bomba Eléctrica	En caso donde el área a trabajar se encuentre en un lugar alto.
Almacén de seguridad	
Spray	Este material debe brindarse al operador una vez que este en campo.

Se presenta esta lista de materiales considerando los elementos a necesitar durante la ejecución del ensayo y previniendo posibles percances del equipo en campo.

3.4.1.- Técnicas Complementarias

3.4.1.1.- Instalación In-Situ

- Instalación de sistemas de Tierra

En el caso de materiales naturales, el método mas usado para el sistema de tierra es el de placa.

Antes de la instalación del sistema de tierra el ensayo de continuidad debe ser realizado entre la placa y el final del cable conectado a la fuente de energía. Este ensayo es usado para verificar la calidad del cable y sus conexiones con la placa, es desarrollado con un multímetro (modo diodo). La continuidad eléctrica debe ser perfecta.

El sistema de tierra debe ser instalado fuera de la instalación impermeable. Debe ser anclada hasta aproximadamente 20 cm., estar seguro de que existe un contacto apropiado entre la placa y la tierra. Tener en cuenta que la distancia entre el sistema de tierra y el área a trabajar no debe afectar el trabajo en general.

- Conexiones de Mangueras

Las mangueras deben ser muy consistentes, deben tener una longitud aceptable, dependiendo del área del terreno. Lo ideal es mantener la manguera lo

suficientemente extendida, para que la presión de agua se haga presente sin ningún contratiempo.

- **Conexión Eléctrica**

Desde que el cable eléctrico esta envuelto alrededor de la manguera, el operador debe estar seguro que la conexión sea buena en cada conector.

- **Instalación de la Fuente de Energía**

La fuente de energía puede ser instalada dentro o fuera de la geomembrana. El cable que hace tierra con la placa es conectado al Terminal negativo de la fuente de energía, mientras el Terminal positivo es conectado al cable que va al detector. El voltaje debe ser revisado diariamente antes de iniciar el trabajo. La lectura de potencial leída en el voltímetro es anotada en el reporte diario. Es necesario recalcar que la fuente de energía debe estar permanentemente activa, aun cuando el detector este apagado. El operador no debe dejar la lanza descansar directamente sobre la tierra una vez que este conectada o cuando la corriente esté generada, la cual solicitara innecesariamente la fuente de energía y reducirá su voltaje.

- **Instalación de Lanza de Agua**

Las partes de la Lanza deben ser fácilmente conectadas con conectores. Las boquillas o esparcidores pueden ser adicionados dependiendo del tipo de trabajo que se realice.

- **Conexiones de la Fuente de Agua**

La fuente de agua puede ser asegurada de diferentes maneras:

Con un tanque, el cual funciona por gravedad (diferencia de alturas entre el agua y la superficie), cuando el lugar lo permite o mediante la conexión de una bomba (la necesidad de una bomba adicional depende de la altura del tanque en comparación con la superficie, de la longitud de las mangueras y del número de operadores).

En un circuito cerrado donde la bomba ubicada en el punto mas bajo de la superficie a ser trabajada (previamente llenada con agua). El método requiere una geometría apropiada.

Uso de una red de agua (acueducto). Este método es adecuado solo cuando la presión de agua es suficiente y no se presenta el sonido eléctrico perceptible, la conformidad del ensayo debe ser realizada una vez que el equipo sea instalado para asegurar que el detector no hace sonido de eléctrico de fuga.

- **Conexión del Detector**

El detector es instalado en la Lanza, esto permite la conexión del cabezal y de los cables eléctricos. El cable de la fuente de energía es conectado al Terminal de la red del detector, mientras que la lanza es conectada al otro Terminal.

Una vez que el equipo sea conectado completamente, el ensayo de verificación debe ser realizado para asegurar un correcto funcionamiento de la lanza. Para simular la fuga, se coloca la lanza en tierra, fuera de la superficie trabajada. Las señales resultantes (visual y audio) deben ser máximas.

3.4.1.2 Dirección y Planificación de Trabajo

- **Planificación de la Superficie Proyectada**

Se debe tomar en consideración si habrá o no instalación simultánea de geomembrana.

- **Instalación Completa de Geomembrana**

Una vez que se haya terminado la instalación de la geomembrana, el operador tiene la potestad de manejar a su mejor criterio la superficie. Es recomendable que el punto más bajo sea trabajado con prioridad, dado que la acumulación de agua puede causar fuga. La ubicación podría requerir del vaciado de la zona baja.

- **Trabajo realizado durante la instalación de la Geomembrana**

En este caso, factores adicionales deben ser tomados en cuenta, desde el punto más bajo, hasta el punto más alto o viceversa. Es recomendable que el trabajo se realice una vez que la geomembrana esté completamente instalada, las actividades relacionadas a la detección de fugas están descritas en las especificaciones del instalador. La planificación debe ser claramente definida antes de empezar el trabajo.

- Instalación de Geomembrana desde el punto más alto hasta el punto más bajo

La detección no puede realizarse durante el trabajo de soldadura, en muchos casos la detección de fugas se realiza en el momento apropiado (por la noche, una vez que la soldadura haya sido terminada). Para evitar que el agua corra fuera de la geomembrana y haga contacto con tierra, se coloca bolsas de arena en los límites de la geomembrana. Estas bolsas son generalmente colocadas en la geomembrana por el instalador para protegerla.

- Instalación de Geomembrana desde el punto más bajo hasta el punto más alto

En este caso, las mismas consideraciones son aplicadas cuando la geomembrana este completamente instalada.

3.4.1.3.- Ensayos de Verificación

Los ensayos de verificación permiten al operador asegurarse que el equipo se encuentra en buenas condiciones. Estos ensayos son realizados antes del inicio del trabajo, una vez que el equipo esté conectado y después, con una frecuencia de 20 minutos aproximadamente. Cuando el ensayo muestra una falla en el equipo eléctrico, esta debe ser corregida inmediatamente.

Los ensayos de verificación consisten en una simulación de fuga colocando la lanza en contacto con la tierra donde la placa ha sido anclada (fuera de la celda o debajo de la geomembrana). Cuando el suelo no es fácilmente accesible es necesario contar con una segunda placa y llevar el cable cerca de la zona a trabajar. El contacto entre el esparcidor de la lanza y la tierra simula un contacto con la tierra, la cual alerta al detector.

- Inspección de Soldaduras

La soldadura es una actividad sensible en la instalación de la geomembrana. Las estadísticas muestran que un porcentaje importante de las perforaciones son encontradas en las soldaduras por extrusión, las cuales ocurren con frecuencia en caso de las geomembranas HDPE, cuando pequeñas piezas son usadas para completar tramos y otras piezas irregulares. Desde que la soldadura es usada por

partes, ciertos cortes se pueden encontrar cerca de las soldaduras, no solo por la soldadura misma.

Para geomembranas bituminosas, solo un tipo de soldadura es usada, la cual es una fusión de aire caliente. Pocos métodos permiten el aseguramiento de calidad de estos tipos de soldaduras, es importante que el operador proceda con una inspección sistemática de las soldaduras.

- Evaluación Rápida

Una evaluación rápida puede variar entre aproximadamente 300m²/hr y 500m²/hr, dependiendo de los siguientes parámetros:

1. El tipo de geomembrana.
2. La disponibilidad del flujo de agua.
3. La geometría de la zona a trabajar.
4. La presencia de ondas en la geomembrana.
5. La presencia de objetos en la geomembrana.

Para geomembranas HDPE, el operador realiza el trabajo a una velocidad promedio de 300m²/hr esto debido a la frecuente presencia de ondas y por ende a las dificultades de riego.

Para el caso de geomembrana bituminosa se trabaja con un promedio de 500m²/hr, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

El número de horas trabaja en el día varían de acuerdo a las condiciones físicas en campo.

3.4.1.4.- Al Final del Día

Al finalizar la labor del día, una serie de acciones se llevan a cabo para un adecuado manejo y control del ensayo, como lo mencionaremos a continuación:

- Manejo de los Materiales en Campo

Para el caso de un proyecto que requiere de varios días de trabajo, la lanza de agua, detectores y la fuente de energía no deben ser dejados en el campo toda noche. Se deben de guardar luego de finalizado el día. Las mangueras se quedan en el campo en una ubicación segura donde la posibilidad de que se dañen sea mínima.

Las partes del equipo de detección de fugas (detectores, suministros, lanzas) deben disponer de 2 o 3 repuestos, para evitar demoras en el trabajo.

- **Reportes Diarios**

Los reportes diarios se realizan diariamente, se incluye toda la información relacionada al trabajo y los resultados obtenidos en el día. Si el trabajo se realiza durante la instalación de la geomembrana el reporte debe ser presentado al encargado del aseguramiento de control de calidad de geosintéticos.

- **Problemas encontrados durante la realización del trabajo**

En algunos proyectos se encuentran elementos particulares que pueden tener una influencia significativa en la detección de una fuga. Esta sección muestra las condiciones problemáticas y presenta algunas soluciones a tomar en cuenta.

- **Geomembranas Transversales**

Algunos diseños proveen la evacuación de líquidos (agua o lixiviados) mediante tuberías transversales en la geomembrana. Estas instalaciones transversales son frecuentemente instaladas en la parte baja. Durante detección de fuga por el método lanza de agua, la geomembrana atravesada puede llegar a inundarse. Pueden ocurrir 2 tipos de problemas:

- El agua fluye a través de la tubería y sale por la celda, creando un contacto eléctrico, contacto que ocasiona una falsa lectura, una forma de contrarrestar este problema es colocar globos anexados a la tubería.
- La presencia de acero u otro material conductor crea un contacto eléctrico, el cual emite una falsa lectura. Para solucionar este problema, se debe recubrir con una pieza de geomembrana, así, se aísla las partes conductoras. Esta solución se puede tratar con el instalador de geomembrana antes de empezar el trabajo.

El problema de las geomembranas transversales, cuando son ubicadas en un punto inferior, debe solucionarse antes de empezar el trabajo, o el trabajo se verá afectado en su eficiencia. Efectivamente, el agua utilizada durante el trabajo correrá por un punto inferior, creándose un contacto continuo y un sonido permanente.

- Presencia de Charcos

Existen charcos significativos en la geomembrana después de una fuerte lluvia o al limpiar la poza, la perforación se encuentra en forma visual en la zona mojada cuando la señal se presente. Cuando una perforación se presenta en una zona cubierta con agua (charcos), se emite una señal de fuga, pero será casi imposible que se encuentre visualmente.

Así, cuando se presentan charcos en la geomembrana, es posible trabajar de la siguiente manera: Si no se emite señal durante el contacto de la lanza con el charco, entonces no hay fuga en la zona. Por otro lado, si la señal es detectada, la superficie en cuestión debe ser secada para luego realizar una evaluación convencional.

Taludes Abruptos

El principal problema causado por taludes abruptos es el difícil acceso a los mismos. La capacidad que se tiene para trabajar en taludes depende de su ángulo y del tipo de geomembrana. Es posible caminar sobre taludes de 3H: 1V cubiertos con geomembranas bituminosas o de polipropileno, pero es completamente imposible en geomembranas no texturadas HDPE. Cuando se es imposible caminar directamente sobre la geomembrana, se hace uso de escaleras de soga, pero solo deben ser usados para inspección de zonas de riesgo (extrusión de soldaduras, geomembranas transversales, etc.)

La sensibilidad de la detección de fuga depende del espesor del depósito de agua en la geomembrana. La acumulación sobre taludes, minimiza la acumulación de agua, reduciendo la velocidad del trabajo.

Cimentaciones en Concreto

Es cierto que pequeños contenedores son construidos en concreto. En muchos casos, se realiza antes de evaluar la posibilidad de aplicar este método. Es posible aplicar el Método de Lanza de Agua si la conductividad eléctrica del concreto es relativamente aceptable para este efecto. Generalmente al concreto tiene una adecuada conductividad eléctrica. Se considera las fugas existentes solo en pozas (donde la presencia de fugas ha humedecido el concreto).

Estas pozas, por sus dimensiones y geometría, generalmente contienen gran cantidad de fuga. Cabe resaltar que la velocidad del trabajo para este tipo de pozas es mucho mas lento que para superficies mayores.

3.5.- Problemas y Soluciones Encontrados en Campo

Durante el desarrollo del ensayo en campo ocurren una serie de percances por diversos motivos, ya sea por el clima, falla en los equipos, percances en la seguridad debido a las estructuras, etc., lo que se quiere es presentar los posibles problemas, sus causas y las soluciones inmediatas a tomar y estar prevenidos a las circunstancias presentadas.

Aquí mencionaremos una lista a tomar en cuenta:

Síntomas Genéricos:

- El equipo emite una señal continua.
Los equipos emiten una señal débil cuando se presenta una perforación o un contacto eléctrico voluntario.
- El flujo de agua no llega a la boquilla, haciendo imposible la prospección.
- La presencia de ondas en la geomembrana, este fenómeno impide el contacto entre la tierra y la cara interior de la membrana, limitando así el método (se pierde contacto eléctrico).
- El marcador desciende hasta llegar a cero.
- El marcador se mueve significativamente solo cuando empieza la detección.
- Mientras se realiza la prospección, una señal es emitida con un indicador visual y de sonido, pero ningún orificio es visible en la zona proyectada.
- Durante el ensayo de verificación o durante la prospección, ninguna señal es emitida cuando se ubica la lanza en el terreno o cuando se sostiene la manguera.

Bucle interno en la Fuente de Agua

Síntomas:

- El equipo emite una señal continua

Causa:

- Presencia de un bucle interno en el sistema o una considerable fuga en el tanque.

Soluciones:

Apagar la válvula de agua en la lanza, aumentarla y caminar hacia la zona seca:

- Si la señal se detiene, encender otra vez la fuente de energía y si la señal regresa, significa que el sistema de la fuente de agua genera un bucle interno (reportarlo al cliente y preguntar al proveedor por otro tipo de fuente de agua).
- Si la señal continúa, desconectar la manguera y el agua para la fuente. Si la señal continua, existen problemas en la ubicación del detector (cambiar el detector).
- Aumentar el tamaño de la manguera para alargar la columna de agua (esto si la presión lo permite). También, el cable eléctrico que viene de la fuente debe estar conectado a la manguera lo mas lejos de la conexión al acueducto ($\pm 60m$). La corriente que circula a través de la columna de agua viene a ser pequeña, inferior menor a la corriente limite del detector. Esta solución no es aplicable si el detector está colocado a una sensibilidad alta.

Fuente insuficiente o baja conductividad en la tierra

Síntomas:

El equipo emite una señal débil en presencia de perforaciones o de contacto eléctrico.

Causa:

El campo eléctrico es muy débil, cuyos resultados tienen señal muy débil

Soluciones:

Durante el ensayo en presencia de una perforación (o durante la simulación de un orificio), la señal acústica es muy débil (casi ineludible), o en todo caso, si es necesario acercarse lentamente sobre la simulación para notarla.

- Revisar el estado de las baterías de la fuente y cambiarlas si fuese necesario.
- Adicionar una segunda batería a la primera línea de serie.
- Si fuese necesario, adicionar una tercera batería en la serie y rehacer el ensayo.
- Basándose en los síntomas descritos, el problema parece ser un problema de mala instalación del detector. Una pequeña perforación debe ser capaz de generar una fuerte señal de fuga. Lo adicional a una fuente conectada en series es una parte integral de procedimientos de calibración.

La Fuente de Agua se detiene

Síntomas:

La fuente de agua se detiene al final de las boquillas o no llega a las boquillas, haciendo complicado el trabajo.

Causa:

Existen muchas causas posibles para este problema.

Soluciones:

Una serie de ensayos, desde el más simple hasta el más complicado deben de realizarse para detectar el origen de este problema:

- Revisar que la válvula de la lanza esté abierta, sino, abrirla.
- Inspeccionar las mangueras, de la lanza al tanque y verificar que no existan pinchaduras. Si se encuentran anomalías, enrollar la manguera para subsanar la obstrucción.
- Dejar la lanza abierta y visualizar la fuente de agua. Verificar si la presión de agua aumenta. En muchos casos, la distancia entre el tanque y la zona proyectada debe ser muy alta. La pérdida de presión entre 2 puntos es suficiente para mantener el agua y así llegue a la lanza.
- Una vez en la fuente de agua, si la presión de agua es todavía débil, revisar el nivel de presión de la fuente.
- Si no es el caso, el problema se debe a una obstrucción en algún lugar entre la fuente y la lanza. El equipo debe ser examinado pieza por pieza, ensayar cada elemento con la finalidad de encontrar la falla. Es preferible empezar con la fuente y ver si el agua corre, entonces colocar la primera conexión a la manguera.

Presencia de Ondas en la Geomembrana

Síntomas:

La presencia de ondas en la geomembrana, este fenómeno impide el contacto entre la tierra y la parte interna de la geomembrana y así, limitar el método (pérdida de contacto eléctrico)

Causa:

La ondas pueden deberse a la limitación de los materiales bajo altas temperaturas o a la soldadura de los materiales de acuerdo a una geometría particular.

Soluciones:

Existen 2 posibilidades para remediar este problema:

- Revisar la condición de la geomembrana en la noche (pérdida de calor y un general decrecimiento de las ondas), organizar una supervisión nocturna. En muchos casos, se debe recibir la autorización del cliente y respetar las reglas de seguridad (luces, presencia de otra persona, viabilidad de la técnica, etc.).
- Aplicar una fuerte presión en la geomembrana frente a la ondas, presionarlas tanto como sea posible en frente de uno, así mientras crece la lanza, permiten que las ondas se hundan debajo de la lanza y así continuar la prospección por otro lado de la onda. En muchos casos, una persona debe estar dispuesta a caminar sobre las ondas para aplastarla antes de la prospección de la zona, sin embargo, esta técnica no es recomendable.

Anomalías en la lectura del Indicador

Síntomas:

El marcador desciende bajo cero

Causa:

Esta anomalía se debe a la debilidad en las baterías del detector.

Soluciones:

Cambiar las baterías en el detector.

Marca, lee, pero no se escucha el sonido indicador de fuga

Síntomas:

El marcador lee significativamente, pero no suena.

Causa:

Indica la presencia de un contacto importante, es probable que la causa sea el sistema de audio.

Soluciones:

Revisar el volumen, si no trabaja, cambiar el cabezal.

Colocar el cabezal en un segundo enchufe. Chequear y colocar adecuadamente la corriente de la señal de sonido (ajustarlo al 10% del valor de la saturación de corriente).

Distancia de Perforación

Síntomas:

Mientras el trabajo se realiza, una señal significativa es emitida en forma visual y auditiva, pero no se visualiza una perforación en la zona

Causa:

Este problema es causado por la presencia de una perforación lejos de la zona proyectada. El contacto puede producirse por una pequeña capa de agua filtrada, la cual alcanza a una zona proyectada. Esto podría ser causado por la presencia de un objeto conductivo ubicado en la zona (metales, cables, etc.)

Soluciones:

En todos los casos se debe ser extremadamente cuidadoso e inspeccionar el área muy cuidadosamente antes de tomar una decisión. Es aconsejable proceder de la siguiente manera:

- Inspeccionar cuidadosamente la capa delgada de agua de la lanza y verificar en cual dirección esta fluye, hacia que ubicación se mueve en el campo. En casos donde la prospección de agua crea un contacto en otra zona, se debe limpiar esta zona y secar el área.
- Verificar si la conductividad de los objetos puedan ser originados por un contacto con la el terreno. En muchos casos, si es posible mover estos elementos disturbados, si no, definir la zona como zona no permitida y avisar al cliente.
- Seleccionar la "baja sensibilidad" colocada y buscar el punto original de la señal de fuga en lugar de una señal de saturación, la señal será significativamente baja. El desplazamiento de las boquillas no permitirán encontrar un punto donde la señal sea fuerte.

Señal No significativa en la Validación al momento del Ensayo

Síntomas:

Durante la verificación del ensayo o durante su prospección ninguna señal será emitida cuando se coloca la lanza sobre el terreno o cuando es sostenida con el cable.

Causa:

La causa es única y es la discontinuidad en la corriente eléctrica, El problema esta orientado a encontrar cual elemento es defectivo.

Soluciones:

Los problemas de discontinuidad en la corriente eléctrica son muy frecuentes en el ámbito de la campo. Es importante observar lo mejor posible las siguientes reglas, asegurarse que la continuidad de la fuente este en perfecto estado. Colocar la parte ultima de la lanza directamente en la tierra. Si alguna señal es

emitida, el problema no involucra la estructura. Por otro lado, se debe proceder de la siguiente manera:

- Inspeccionar la fuente de energía y estar seguro que haya corriente. Si es necesario, cambiar las baterías de la fuente.
- Si no, regresar al plan de observación y ensayar cada componente. Con un multímetro, empezar con la lanza y probar la presencia de corriente en sentido contrario a la fuente. Tan pronto como la señal se detenga, el problema pueda ser ubicado, el problema puede localizarse en el mismo componente.
- Si no, es posible que el terreno no tenga una conductividad tan prolongada. Si el terreno se pone helado, se debe repetir el ensayo hasta que se encuentren mejores resultados (o hasta que el suelo se deshiele). Si el terreno no es muy conductivo, será necesario colocar la placa de tierra en otra posición, anclarla lo mas profundo y mantener su humedad.

3.6.- Seguridad en Campo

El manejo y utilización del equipo eléctrico y no eléctrico de detección de fugas no es una causa de peligro para el operador o alguna otra persona ubicada dentro de la zona de trabajo. Sin embargo es fundamental entrenar al personal que estará involucrado en las tareas, con los procedimientos y medidas de seguridad a tomar en cuenta durante la realización de las pruebas Geoeléctricas. Las precauciones de seguridad a tomar en cuenta serán las básicas que se ajusten a cada proyecto; como por ejemplo el uso de EEP básicos y en algunos casos cuando fuera necesario, será imprescindible el uso de arneses de seguridad, líneas de vida, etc. Los puntos mencionados abajo deben ser tomados en cuenta como medida preventiva.

Señal:

En rehabilitación de pozas, es posible encontrar sistemas de drenaje o canales en los cuales el conducto este obstruido.

Comentario:

Dada la obstrucción de conductos, una rápida abertura de los conductos pueden causar el despegue de los materiales mientras la poza se este llenando, lo cual generaría un peligro para el operador.

Prevención:

Es necesario tener un supervisor permanente en campo dada cualquier emergencia generada en cualquier momento.

- Trabajando solo en campo

Señal:

Muchas veces se encuentra al operador trabajando solo por las noches.

Comentario:

Esta prohibido trabajar solo en una construcción, salvo casos excepcionales.

Prevención:

El operador debe estar siempre en contacto ya sea físico o radial con una persona de apoyo logístico o en todo caso de otro operador con quien se turne.

- Trabajando en taludes pronunciados:

Muchas veces al realizar el ensayo, la topografía no es segura para el operador debido a la pendiente pronunciada que se puede presentar.

Comentario:

Una situación así implica que el operador pueda resbalar y tener daños físicos considerables.

Prevención:

Para ese tipo de situaciones es necesario que un ayudante le de estabilidad al operador mediante el uso del arnés, sujetando al operador a través del arnés en situaciones riesgosas de caída sobre la geomembrana, evitando o dada la magnitud, minimizando daños físicos que pueden ser de gran consideración.

El agua en los taludes incrementa la posibilidad de resbalones, por lo tanto el operador debe buscar la metodología más conveniente de prospección con la finalidad de evitar pisar superficies mojadas.

- Presencia de Lluvias.

El clima cumple un factor importante en la realización de este ensayo, en especial la lluvia ya que genera inestabilidad en las piernas del operador al momento del ensayo.

Comentario:

La lluvia hace que la geomembrana se vuelva resbaladiza y más aún cuando empieza a granizar, esto provoca que el operador tienda a resbalarse y por consecuencia caerse, causando daños físicos de consideración.

Prevención:

La acción preventiva es inmediata, apenas se presente una situación de lluvia evacuar lo más rápido posible con ayuda de las personas de apoyo.

- Sobreesfuerzos y golpes

ya que el uso equipo de detección de anomalías involucra el manejo de objetos metálicos pesados como la lanza de agua y en algunos casos cientos de metros de manguera llenos de agua es necesario que el operador cuente con personal y equipo de apoyo para el momento de la prospección y también para las movilización a diferentes áreas.

CAP 4.0 MÉTODO DE BIPOLO

4.1.- Esquema Funcional

Este tipo de prospecciones se viene llevando a cabo con mucho éxito en otros países; sobre todo en la industria de desechos. En el ámbito de estudio desarrollado, surge como un complemento de aseguramiento de calidad en plataformas de lixiviación donde se ha trabajado previamente el Método Lanza de Agua, cabe aclarar que ambos métodos no son dependientes uno del otro.

El principio básico de este método es detectar flujos de corriente del material sobre la geomembrana hacia el material debajo de ésta o viceversa, este flujo ocurrirá solamente a través de agujeros ya que la geomembrana es un material no conductivo, la aplicación de alto voltaje proveniente de una fuente de poder es introducido al sistema; colocando uno de los electrodos en el suelo o roca que cubren la geomembrana y el otro en el material debajo de esta. El operador del aparato bipolar lee y graba lecturas de diferencia de potencial, siguiendo una malla ya establecida sobre el área en la que se está realizando la prospección.

En las plataformas de lixiviación, dependiendo de los tipos de diseño, se colocan capas drenantes y protectoras de aproximadamente 0.87 mts sobre la

geomembrana antes de la colocación del mineral. Prospecciones exitosas se han llevado a cabo sobre espesores de material drenante de hasta 2.0 m, logrando identificar de manera muy precisa la localización de agujeros de 5 Mm., de diámetro; asimismo sobre otros tipos de suelos se ha logrado detectar agujeros de hasta 2 mm., con un espesor de capa en promedio de 1.5 m. Cabe señalar que la sensibilidad del equipo se ve influenciada por muchos factores en el campo, siendo la de principal importancia el estado de humedad del suelo sobre la geomembrana; en algunos casos es necesario regar generosamente el área antes de realizar una prospección. La experiencia del operador para interpretar la información es también es un factor importante.

Antes de realizar una prospección por el Método Bipolar se calibrar el equipo. La calibración consiste en tomar lecturas sobre hoyos reales o artificiales de diferentes tamaños y de esta manera establecer los parámetros mas importantes de la prospección como son: tamaño mínimo de hoyo a ser detectado, espesor de capa de cobertura con el cual la detección será exitosa y otros factores que se necesitarían mejorar antes de dar inicio a la prospección como la humedad.

Metodología y Aplicaciones en Campo

El método geoelectrico bipolar es una técnica aplicable sobre geomembranas cubiertas por un conductor o por un material húmedo.

Liquido

Lodo

Arena

Tierra

Agregados

Piedra

Arcillas

Todas las geomembranas no conductivas pueden ser ensayadas:

PP-F Polipropileno flexible, media y de baja densidad.

PE-F Polietileno Flexible, media y de baja densidad.

Hipe Polietileno de Alta Densidad.

PVC-P Ploriclorido vinilo plastificado

Membrana Bituminosa

Técnica aplicada en áreas cubiertas luego de terminada la instalación de la geomembrana, también durante el trabajo, siempre y cuando el suelo cubierto es accesible y no existan problemas con la protección eléctrica. La detección de fugas se puede realizar en la parte inferior de las excavaciones, sobre descansos y sobre taludes cubiertos. Puede ser usada sobre sistemas de doble impermeabilidad (alta seguridad) siempre y cuando el geosintético conductivo haya sido previamente colocado entre las dos geomembranas o si la capa de agua ha sido bombeada dentro de la cavidad.

Los tipos de trabajos dentro de los cuales la técnica es aplicable son:

- Áreas de almacenamientos (Plataformas).
- Canales
- Pozas
- Celdas de almacenamiento de desmontes
- Reservorios de concreto, en los cuales incluye cubiertas de geomembrana.
- La metodología de la técnica esta compuesta por varias etapas, calibración en campo y validación, búsqueda de fugas, usando probetas móviles sobre el área proyectada, análisis en campo, medidas e interpretación de resultados, marcado en zonas sospechosas, excavaciones de suelos y reparaciones de fugas, evaluaciones en zonas reparadas, aprobación y reporte final.

Principales Funciones en la Técnica Bipolar

El principio de la técnica consiste en la diferencia de potencial eléctrico entre los materiales de ambos lados de la geomembrana. La geomembrana trabaja como un aislante eléctrico, evita la propagación de la corriente. El resultado del potencial en campo sobre la superficie cubierta de material es relativamente uniforme.

La fuga en la geomembrana es una vía de medición de corriente, la cual se crea y se localiza alrededor de la fuga en una zona de alta densidad. Se mide el potencial eléctrico sobre la tierra con una probeta móvil (bipolar), siguiendo una

densidad predeterminada, permite la ubicación precisa de las anomalías y así las causas de la fuga.

Instrumentos usados para este tipo de ensayo:

- Una fuente directa de corriente, conectado a un generador de baja energía.
- Una probeta móvil, estructuralmente equipada con un sensor de medición eléctrica discontinua (simple, doble o de múltiple bipolo).
- Uno o varios instrumentos de visualización con recopilación de datos (voltímetro, computadora portátil, etc.).
- Electrodo Metálicos, los cuales son enterrados en el suelo.

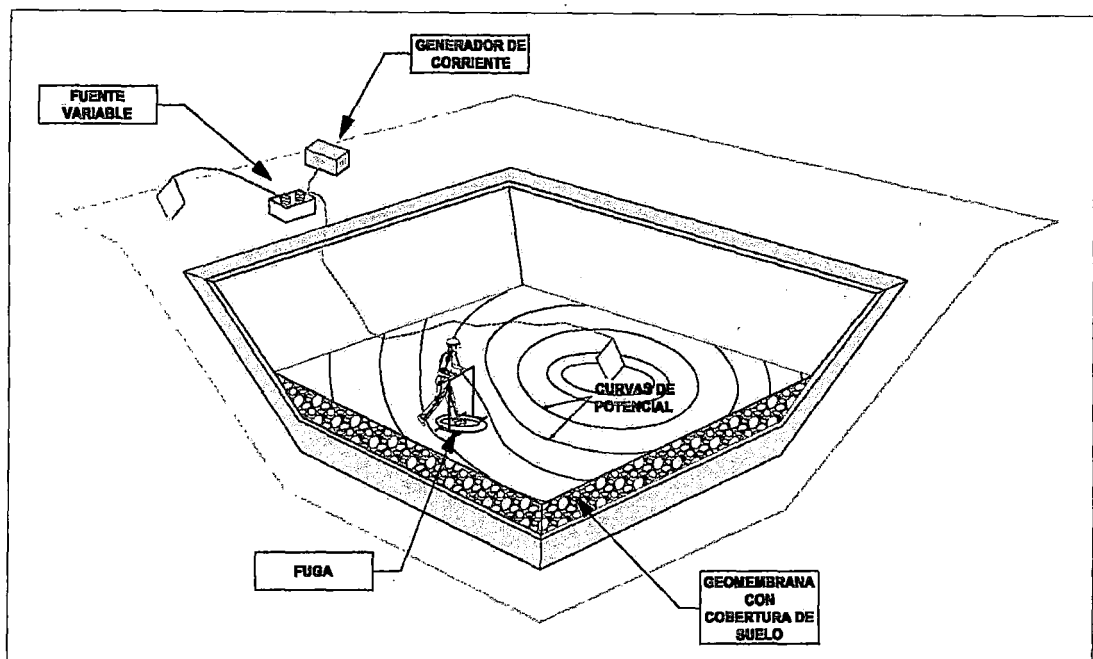


Figura 4.1 Esquema básico de disposición de equipos para una prospección por el Método Bipolar.

En la Figura 4.1 se muestra la disposición de equipos para realizar una prospección Bipolar, como se puede apreciar el operador lleva consigo la caja registradora, que se encuentra montada sobre un marco construido de material plástico de preferencia, los terminales del registrador hacen contacto con el suelo por medio de cables y cuatro electrodos localizados en la base del marco.

Ante la ocurrencia de una fuga, el flujo de corriente será detectado por el registrador en forma de lecturas pico de potencial seguidos por una caída, que luego se tornaran constantes hasta alcanzar el "ruido de fondo" al alejarse de la fuga. El ruido de fondo se refiere a los límites que se establecen al hacer la calibración en campo antes del inicio de la prospección, la calibración se realiza en campo con una fuga verdadera en la geomembrana o con una fuga artificial. Con este "ruido de fondo" establecido se consigue establecer un patrón el cual servirá de guía en el proceso de interpretación de las lecturas. Existen muchos factores que causan lecturas "extrañas" al hacer una prospección como: áreas con más espesor de capa, presencia de objetos en el suelo, cercanía de tuberías, humedad, etc. como se mencionó anteriormente la experiencia del intérprete de la data es decisiva.

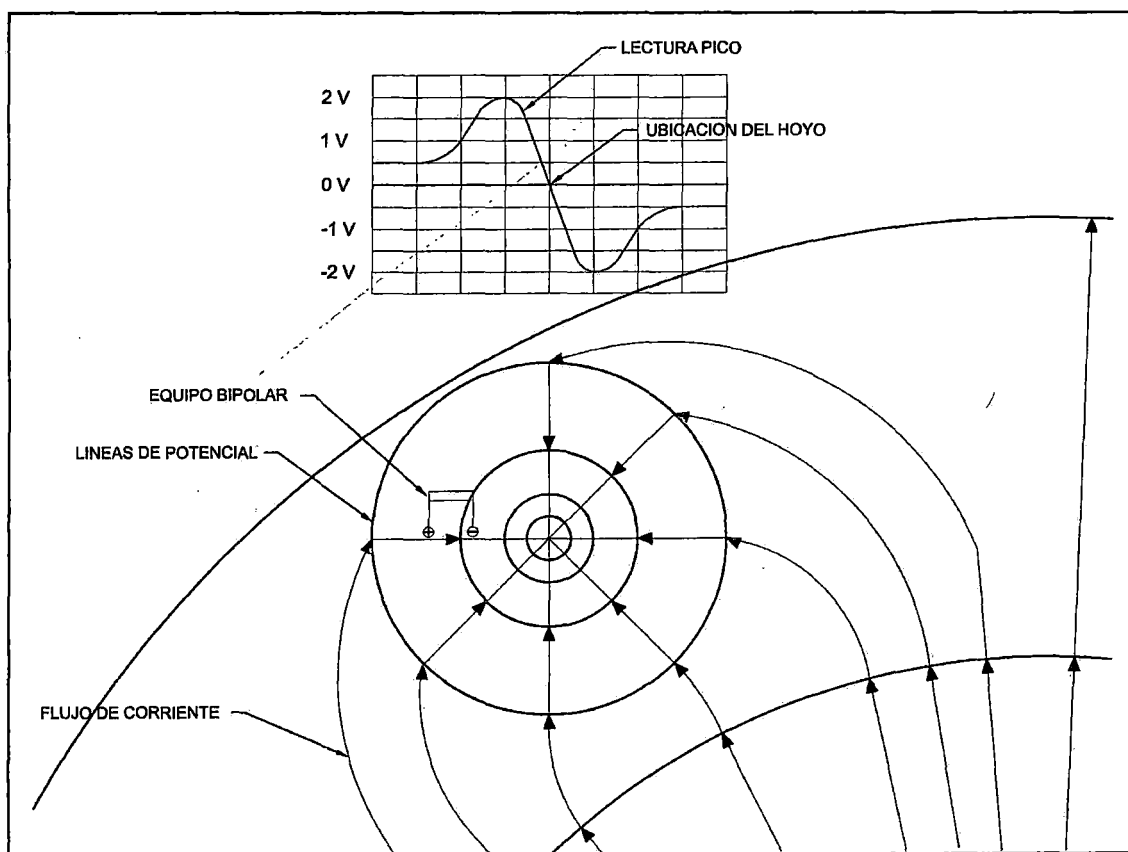


Figura 4.2 Parte superior: grafico de una fuga típica. Parte inferior: curvas de potencial en campo.

En la Figura 4.2 que se presenta arriba, se muestra un gráfico típico de ocurrencia de una fuga, como se observa se obtiene dos picos de onda; uno positivo y el otro negativo; en el medio de estos dos picos de onda se localiza una zona de transición y un valor "cero". La fuga está localizada entre los picos.

En la parte inferior se muestra las líneas de potencial generadas por el agujero en la geomembrana. Adicionalmente, una vez culminada la prospección se podrá elaborar un mapa de iso-valores en el cual se podrá diferenciar claramente las áreas en las cuales se tuvo lecturas muy diferenciadas.

Si comparamos la velocidad de prospección el Método Bipolar resulta ser más rápida que una prospección por el Método de la Lanza de Agua, logrando un promedio aproximado de 4000 m² por turno de trabajo, pudiendo variar de acuerdo a las condiciones de campo.

Prospección Rápida

La prospección rápida varía enormemente de acuerdo a las condiciones específicas de cada lugar (tipo de recubrimiento de suelo, es necesario que la superficie este húmeda, presión de agua, geometría del campo y presencia de obstáculos en el mismo, condiciones climáticas, espaciamiento del lugar proyectado, etc.). Además, los tipos de bipolo (simple, doble o múltiple), instrumentos de medición y metodología de prospección. Se tiene también ciertos inconvenientes en la prospección rápida.

La prospección rápida real (1) obtenida por 1 operador usando el equipo y la metodología requerida (2) generalmente varía entre 400 a 700 m²/hr. Sin embargo, se toma en cuenta las demoras inherentes relacionadas al trabajo, la efectiva evaluación rápida (3) decrece de aproximadamente 250 a 400 m²/hr.

Por lo general, un mínimo de 2500 m² es evaluado durante el trabajo diario de un solo operador. Adicionalmente, se requiere de medio a un día de trabajo para la calibración del equipo y su validación.

- (1) La rapidez se basa exclusivamente en la medida del tiempo y del espaciamiento de un metro sobre el área a trabajar.
- (2) Basándose el uso del bipolo doble (evaluación simultanea de 2 líneas), conectadas a un multímetro, el operador humedece la superficie siempre y cuando sea necesario,
- (3) Se incluyen todas las actividades diarias en la evaluación (instalación, mantenimiento y movilización del equipo, ensayo de verificación, paras debido a diversos contratiempos, etc.).

La Detección de Fugas mediante el método Bipolar se lleva a cabo en materiales como:

Líquidos,

Si el área proyectada es lo suficientemente tensa, el ensayo puede detectar fugas menores a 1mm de diámetro, incluyendo anomalías en soldaduras y extrusiones. Fugas superiores a 25mm son detectables estando aun a una distancia de varios metros, si el espesor de líquidos no es excesivo.

Suelos recubiertos,

La prueba puede detectar fugas de 5mm de diámetro, y aun menores en ciertos casos. Fugas superiores a 25mm son detectables aún a una distancia de varios metros. La técnica es mas efectiva en suelos drenantes, en cuyo interior, una lamina de agua puede presentarse en la geomembrana. En un suelo compactado fino sin presencias de láminas de agua, es difícil detectar fugas inferiores a 20mm de diámetro.

4.2.- Procedimientos del Ensayo

Las siguientes medidas pueden ser tomadas en cuenta para optimizar el estudio de la ubicación de una fuga:

- Senderos conductivos como penetración de tuberías metálicas, bombas de tierra deben ser separados o aislados del agua o del material de tierra sobre la geomembrana.

- En aplicaciones donde la geomembrana es cubierta con material de tierra, en la práctica las medidas deben ser adecuadas con la finalidad de aislar el borde. Si los materiales de tierra cubren los bordes del área en estudio, la corriente eléctrica fluirá del material de tierra hacia el terreno, emitiendo una señal notoria.

- Debe haber un material conductivo debajo de la geomembrana el cual se ensaya conduciendo corriente eléctrica a través de las fugas dependiendo de la cantidad de corriente eléctrica que fluye por la misma. La corriente debe fluir a través de la subrasante para completar un circuito eléctrico. Además el material conductivo debajo de la geomembrana debe tener una adecuada conductividad. Muchos materiales de tierra y revestimientos de arcilla deben tener la suficiente conductividad para estudios con agua sobre la geomembrana, esto debido a que la fuga de agua a través de los orificios incrementa la conductividad del material debajo de la geomembrana. Para estudios con material sobre la geomembrana, muchos materiales de tierra tendrán deben tener la conductividad suficiente. Debajo de las condiciones propias y preparación geosintéticos de revestimiento de arcilla (GCL) son adecuados para estudios con material de tierra sobre la geomembrana, si el material de tierra o GCL ubicado debajo de la geomembrana es disecado, la conductividad pueda ser insuficiente para detectar una fuga.

- Para sistemas de revestimientos entre 2 geomembranas con un solo geonet o un solo geocompuesto entre ellos, el volumen entre ambas geomembranas debe ser llenado con agua

Para proporcionar un material conductivo. El nivel de agua en el área entre las geomembranas debe ser controlado con la finalidad de ejercer menor presión que la presión ejercida por el agua o algún material de tierra sobre la geomembrana primaria, la geomembrana primaria podría empezar a flotar. Para estudios con solo agua sobre la geomembrana, el área en estudio puede ser calculada como de la densidad relativa de los materiales de tierra, el espesor de los materiales de tierra y el talud de la geomembrana, Un área adicional puede ser estudiada ubicando el agua sobre el material de tierra y la geomembrana primaria.

- Para estudios sobre materiales de tierra sobre la geomembrana, los materiales de tierra deben contar con la humedad adecuada con la finalidad de que la corriente de flujo eléctrico fluya a través de la fuga sin mayor percance. Los materiales de tierra cuentan generalmente con la humedad necesaria, pero a veces el material de tierra es demasiado seco. Este material seco debe ser

extraído en algunos puntos, o en todo caso humedecer la superficie con agua. La humedad requerida depende del material de tierra, del equipo y de los procedimientos a seguir. Un estudio satisfactorio de fugas es llevado a cabo en materiales que contienen un pequeño porcentaje de humedad.

4.2.1 Movilización del Equipo

El siguiente cuadro presenta ciertas recomendaciones del equipo a ser movilizado dependiendo del número de operadores. La lista de materiales para la detección bipolar sería completada antes de la partida de los operadores al campo.

ITEM	Cantidad 1 Operador	Cantidad 2 Operadores
Estructura Bipolar Doble		
Varias tuberías de PVC de 3/4" con 3/4" equipadas con plataformas, Incluyendo cable eléctrico y repuestos.	1 Equipo completo	2 Equipo completo
Sensores Bipolares Eléctricos		
Pots (1 1/4" Tubos)	4	8
Pots inferiores equipados con un disco permeable.	5 - 6	5 - 6
Pots de capas altas.	4	8
Juntas reductoras laterales.	4	8
Electrodos de cobre (tubería de 1/4")	8	16
Engranajes de Protección de Aluminio	1	1
Cuellos sujetadores 40-63 mm	5	10
Fuente de Corriente Directa		
Potenciómetro Variable 0-140 o 0-280 voltios	1	1
Transformador: 140/400 o 280/400 voltios	1	1
Puente Diodo	2	2
Generador: 500-1000 watts, 110 o 220 voltios (Si no es permitible en campo)	1	1
Cable eléctrico, 12-14 AWG (1o 1.5mm por sección)	3	3
Cable eléctrico pre cortado y accesorios macho y hembra 12 - 14 AWG	1	1
Electrodo de tierra (placa de metal)	4 - 5	4 - 5
Placa de fuga artificial	2	2
Multímetro o instrumentación de Datos	2	4
Cables para multímetro	2 pares	2 pares
Cables (50 - 75 metros)	1	1
Bolsas impermeables transparentes (para instrumentos)	1	1
Lienzos impermeables (para fuente de corriente)	1	1
Caja de Fusibles de repuesto	1	1

9V et/o 1.5 voltios (para multímetro)	1	1
Contenedor de sulfato de cobre (125 - 250 g)	1	1
1 Dispensador de un litro	1	1
Marcadores	1	1
Marcadores con spray para pintar cilindros	2	2
Adaptador para enchufes eléctricos (si fuese requerido)	2	2
Pala	1	1
Reportes diarios		

Caja de Herramientas

Cables eléctricos	2	2
Alicates con cinturón	2	1
Alicates universales	1	1
Tapas eléctricas	2	2
Lija fina	Varios	Varios
Desentornillador de cabezales múltiples (400 grados)	1	1

4.2.2.- Requerimientos de Reporte

Estudios de Detección de Fugas deben contener la siguiente información:

- Descripción del lugar de Trabajo,
- Condiciones Climáticas.
- Descripción del material de cobertura.
- Tipos de geomembrana.
- Sistemas de revestimiento.
- Descripción del Método de Detección de Fugas.
- Metodología en Estudio.
- Descripción de la Fuga artificial o actual localizada.
- Resultados de la sensibilidad de los ensayos de Detección de Fugas.
- Resultados periódicos de la sensibilidad de los ensayos de Detección de Fugas.

4.2.3.- Llegada y Partida al Lugar de Trabajo

Llegada al campo:

- Estar seguro de la presencia del cliente o un representante del mismo, un apropiado orden en los equipos con los que se va a trabajar (tanque, fuente de energía, etc.)

- Realizar una caminata con un representante del cliente con la finalidad de [entender el trabajo a realizar y sus peculiaridades.
- Evaluar los riesgos de seguridad en campo, y comunicar al representante del cliente los peligros del potencial eléctrico.
- Tomar nota de los puntos problemáticos y presentar soluciones (puntos de contacto entre el interior y exterior del suelo, obstáculos de la prospección, restricciones debido al trabajo de la contratista)
- Instalación de los equipos, calibración y validación de los ensayos para determinar el correcto desarrollo de la prueba en campo.
- Realizar un plan organizativo incluyendo superficies a proyectar, la cronología de las fases del trabajo y la posición de los equipos, presentarlos un representante si es requerido.

Antes de la partida del lugar de trabajo:

- Si se requiere, realizar una carta de confirmación de la superficie proyectada y tramitarla al jefe del departamento de control de calidad o a un representante del cliente.

4.2.4.- Actividades Diarias

Las actividades diarias son llevadas a cabo como siguen:

- Examinar la humedad del suelo a trabajar, irrigarla debidamente si es necesario.
- Instalar y preparar el equipo de prospección.
- Realizar si es necesario una nueva validación del ensayo (un ensayo de simulación de fuga) un problema de ubicación o si las condiciones eléctricas en campo han tenido un cambio significativo.
- Realizar una prospección del trabajo mientras las mangueras son esparcidas, esto siempre y cuando sea necesario e indicar claramente sobre el terreno la ubicación de las supuestas fugas.

- En el momento apropiado, excavar sobre la ubicación de la fuga, una vez que la fuga sea reparada y recubierta con material de overliner, hacer una nueva prospección alrededor de la reparación (al menos 5 metros a ambos lados).
- Al final del día, calcular el área proyectada e informar los resultados al jefe de aseguramiento de control de calidad o representante del cliente.
- Separar los equipos del área de trabajo para realizar su mantenimiento, si fuese esto necesario.
- Escribir el reporte diario e inscribir todo lo relacionado al trabajo en la libreta de apuntes.

4.3.- Limitaciones Específicas de la Técnica

Los 2 factores limitantes principales son la sensibilidad de la detección (o capacidad de detectar las fugas a una dimensión dada) son la intensidad de flujo de corriente a través de fuga y la distancia entre la fuga y el punto de medición. La amplitud de la señal de fuga es proporcional a la intensidad de flujo de fuga. El incremento de voltaje entre los 2 lados de la geomembrana incrementa el flujo de la fuga ($V=RI$).

V= Voltaje

I= Intensidad de Corriente

R= Resistividad

Así, la señal de detección de fuga decrece rápidamente, mientras la distancia a la fuga incrementa.

Consecuentemente, incrementa el voltaje de la fuente de corriente y los resultados de densidad cuando mejora la sensibilidad de la técnica. La resistencia eléctrica de los materiales sobre y debajo de la geomembrana es también un factor importante, el cual puede ser controlado por irrigación o por sistema de tuberías. Otro parámetro influyente es la sensibilidad de la detección.

4.3.1.- Espesor del Material de Cobertura

El espesor de material de cobertura no puede exceder un cierto límite, por lo demás las perturbaciones causadas por las fugas vienen a ser imperceptibles en la superficie del suelo. La detección de fugas es posible para un espesor aproximado de 0.6 metros, en suelos constituidos por piedras superiores a 10mm. Este espesor es reducido a aproximadamente 0.3 m para suelos compuestos por pequeños agregados o arenas. En líquidos, pequeñas perturbaciones son solo perceptibles en depresiones a pocos centímetros sobre la fuga.

Esta data es variable en función a la naturaleza y composición del material sobre la geomembrana, solo un ensayo en campo puede definir exactamente el espesor límite para la respectiva detección de la fuga.

4.3.2.- Aislante Eléctrico en el Trabajo Proyectado

El material que recubre la geomembrana tiene que estar aislado totalmente del suelo fuera del área de trabajo, así, un eventual cruce de la corriente eléctrica es provocado solo a través de una perforación en la geomembrana.

4.3.3.- Humedad en Suelos Recubiertos

Los materiales en contacto directo con la geomembrana permiten un flujo de corriente eléctrica. Así, cuando se hace presente un pequeño conducto recubierto de suelo la técnica hace necesaria una fuente variable de agua. Una vez que los suelos sean debidamente irrigados y su espesor este completamente húmedo, la técnica es aplicable.

Una humedad moderada es suficiente, inversamente, cuando los materiales están completamente saturados en agua, las condiciones vienen a ser menos favorables porque la visibilidad de la fuga decrece en el límite del recubrimiento (amplitud de reducción). Brevemente, una moderada y homogénea humedad es preferible para una humedad variable y desigual a través del espesor del suelo.

La temperatura de humedad, la presencia de la mañana y una lluvia intermitente son factores favorables. Por el contrario, la helada es desfavorable dado que reduce el aislamiento eléctrico en la periferia del trabajo. Una fuerte y persistente lluvia es también desfavorable, perjudicial para el equipo, para el aislante eléctrico y la visibilidad de la fuga.

4.3.4.- Otros Elementos a Considerar

La presencia de geotextil colocado entre la geomembrana y el suelo recubierto es totalmente favorable si este está remojado en una lamina.

La presencia de estructuras metálicas en el suelo recubierto puede causar problemas dado su bucle interno de una corriente eléctrica inducida, la cual complica la medida de interpretación de potencial.

Durante el trabajo, la circulación de equipos motorizados pueden generar perturbaciones eléctricas. También, la presencia de instrumentos eléctricos equipados con placas de plata ubicados dentro o en un lugar aproximado pueden producir un sonido eléctrico no deseable. Siempre que sea posible la fuente de energía debe estar apagada.

4.4.- Características del Potencial de Campo y Señal de Fuga

4.4.1.- Sonido Eléctrico

El sonido eléctrico es una parte indeseable de las fluctuaciones en el campo potencial, causado por algún otro factor ajena a la técnica de corriente eléctrica bipolar, se suele presentar estando o no activa la fuente de corriente.

Aquello se origina por una instalación eléctrica distanciada o instrumental, pero siempre de un fenómeno inherente a los sensores electrolíticos bipolares en los cuales un desplazamiento de carga eléctrica induce a la variación de medida.

Normalmente, la parte de medida de potencial corresponde a un sonido eléctrico débil y oscila alrededor de cero. Por lo general son menores a 100mV, pero a veces son posibles valores mayores.

4.4.2.- Potencial de Campo Producido por una Fuente de Corriente

Una vez que el sistema eléctrico sea instalado, esta activación crea un potencial de campo en el suelo recubierto con la geomembrana. Este campo es alto cuando se encuentra cerca de la fuente de corriente y decrece progresivamente cuando la distancia incrementa, sin embargo presenta fluctuaciones relativamente importantes. El potencial de campo tiende a cero y se junta con el sonido eléctrico existente.

La señal eléctrica es intensa, el potencial de campo es separado en 2 zonas de distintiva señal eléctrica.

- 1.- Si la sensibilidad de la prospección es perpendicular al eje del electrodo, ocurre un cambio en la señal eléctrica cuando pasa al otro lado de este eje.
- 2.- Si la prospección esta hecha paralelamente al eje del electrodo, el cambio en la señal eléctrica ocurre cuando pasa al otro lado del electrodo de la fuente de corriente.

Además, el potencial de campo varia altamente alrededor de la fuga, pero siempre mas moderadamente cuando se acerca al un punto de puente eléctrico con el suelo exterior. Lejos de la influencia de una fuga o un punto de puente eléctrico (a pocos metros), la variación normal observada entre 2 puntos sucesivos (espaciados por 1 metro) son débiles o moderados (entre 10 a 50% de variación, a veces mas).

Los medición en la zona de prospección (generalmente espaciada 5 a 50 metros de la fuente de corriente del electrodo) generalmente se extiende en aproximadamente 1500 mV a 150 m, variable con un suelo típico.

4.5.- Perfil de la Señal de Fuga

Las curvas iso potenciales son formadas de todos los puntos del campo potencial teniendo un mismo valor de potencial eléctrico, medido por un sustento bipolar a una orientación constante de los ejes. La presencia de una fuga perturbada, estas curvas representan una fuerte tensión entre ellas.

La señal de fuga es caracterizada por 2 perturbaciones cerradas en ambos lados de la fuga, un incremento seguido de una caída del campo de potencial. Los picos pueden ser muy precisos y ser separados por aproximadamente 0.75 a 1.5 metros. La ubicación de la fuga es aproximadamente entre los 2 picos. La variación en la medida del campo de potencial es fuerte cuando la línea proyectada pasa sobre la ubicación de la fuga. 2 puntos sucesivos, espaciados por un metro, comúnmente muestran una variación mayor a 100%.

Normalmente, la depresión observada en el campo de potencial va acompañada de un cambio en la señal eléctrica. Existe información de potencial de campo, para zonas de círculos mayores o menores se tiene una señal opuesta al campo circundante. Esta zona es adyacente a la fuga y es localizada por precisión de picos en depresiones y elevaciones. La fuga es localizada en curvas isopotenciales cuyo valor es cero.

La presencia de un "enclave" de señales opuestas es siempre un indicador consecuente de la presencia de una fuga. La siguiente figura muestra la progresión de un potencial tomado sobre una línea proyectada que pasa sobre la ubicación de la fuga.

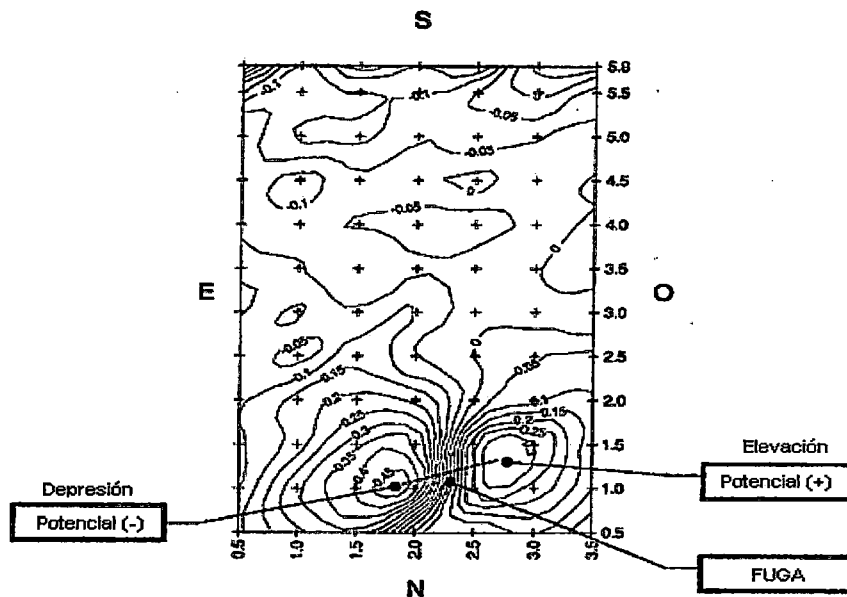


Figura 4.3: Curvas Iso Potenciales alrededor de la fuga obtenidos del ensayo de cama (sobre arenas)

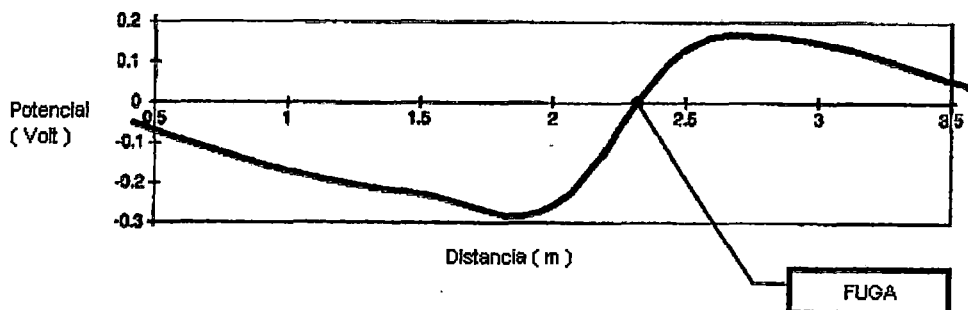


Figura 4.4: Progresión de un potencial eléctrico tomado sobre una línea proyectada que pasa sobre la ubicación de la fuga

Aspectos Importantes:

- Un caso cierto, las perturbaciones ubicadas alrededor de una fuga (elevación seguida por una depresión) se manifiestan por si mismas sin cambio alguno en la señal eléctrica. Esto ocurre cuando la fuga se cierra a la fuente de energía del electrodo o cuando el espesor del suelo de cobertura es excesivo, se cierra hasta delimitar la detección.
- Dado la alta densidad de las líneas de corriente eléctrica sobre la tierra se cierra la vecindad de la fuente de energía, la amplitud de señal de energía puede ser localizada apenas o en todo caso no es del todo perceptible, consecuentemente, debe asegurarse que la prospección se realice a una distancia lo mas alejada posible de donde la fuente de energía este localizada. Típicamente, la distancia debe estar dentro del rango de los 5 a 8 metros y puede determinarse por un ensayo de fuga artificial.
- Además, el perfil típico de una señal de fuga puede diferir en el campo dada la complejidad de las líneas de corriente eléctrica resultantes de una agrupación de fugas.

- Por sus respectivas dimensiones y topología, algunas fugas disimulan o debilitan la presencia de otras. Además, el intento de ubicarlas con precisión se hace problemático.
- Finalmente, las fugas son detectables siempre que este presente la orientación en el eje bipolar,

4.6.- Descripción y Especificaciones del Equipo

Los principales instrumentos técnicos usados son:

4.6.1.- La Fuente de Energía Directa

A ser colocado dentro de un pequeño generador (500 a 1000 watts) entrega de 110 – 120 o 220 – 240 voltios de corriente alterna.

Equipado con un potenciómetro variable (1) con un fusible de 1 amp, un transformador para ampliaciones adicionales de voltaje (2), una fuente rectificadora (3), un ventilador para la disipación de calor y una medida de intensidad de corriente.

1.- (110/120 voltios de entrada, 0 a 180 voltios de salida, un máximo de 10 amperios) o (220/240 voltios de entrada, 400 voltios de salida, un máximo de 4.5 amperios).

2.- (180 voltios de entrada, 400 voltios de salida, un máximo de 1 amperio) o (280 voltios de entrada, 400 voltio de salida, un máximo de 0.5 amperios).

3.- Un puente diodo (800 voltios, 6 amp).

4.6.2.- Detector Móvil (Bipolo Doble)

Estructura modular de tuberías pvc continuados de 2 pares paralelos de sensores eléctricos

(1 par= 1 bipolo) y un equipo con una plataforma de soporte para la medida de potencial.

El espacio es variable dependiendo de los bipolos (1, 1.5 o 2 metros).

El espacio es variable entre los mismos bipolos eléctricos.

4.6.3.- Instrumento de Medición de Potencial

Voltímetros de calidad Industrial y multímetros con lecturas digitales

Escalas requeridas para medidas directas de voltaje: 0-2500 y 0-500V aproximadamente.

Escalas requeridas para medidas de corrientes directas: 0-500mA aproximadamente.

Con o sin capacidad de adquisición de datos.

4.7.- Manejo del Equipo de Detección de Fugas en el Área de Trabajo

4.7.1.- Instalación y Preparación del Equipo

- Instalación de Electroodos

Antes de la instalación de los electroodos, una continuidad o ensayo de resistencia es realizado entre la placa y el final del cable eléctrico. Una resistencia de 10 Ohm o menos es excelente.

La corriente que retorna del electrodo debe ser instalado fuera del área de trabajo y la fuente de corriente del electrodo debe de estar dentro. Ellos deben estar insertados a una profundidad de 10 cms, debemos asegurarnos del contacto apropiado entre los electroodos y la tierra. El suelo debe ser compactado si fuese necesario. El suelo debe estar humedecido sobre y debajo de los electroodos para asegurarse una correcta disipación de la corriente eléctrica.

Es necesario tener presente que la distancia entre la corriente que retorna del electrodo y el área a ser proyectada debe ser muy grande. Solo la distancia entre el bipolo y la fuente de corriente del electrodo es estandarizada. La ubicación de los electroodos dependen de la geometría del trabajo y del plan de prospección.

- **Instalación de la Fuente de Corriente y la Conexión Eléctrica**

La fuente de corriente es instalada dentro o fuera del área de trabajo, esto con la finalidad que el operador pueda mantener el control de ella. Es preferible ubicar el generador de suministro de la fuente de corriente fuera del área de trabajo para evitar un sonido eléctrico no deseable. Si hay un aislante eléctrico de tierra, este puede ser ubicado dentro del área de trabajo.

La conexión a una toma corriente eléctrica es a veces posible, esto si la energía disipada dentro de la tierra no es importante. Por otro lado el contacto, eléctrico será rápidamente interrumpido con un corto circuito.

El cable eléctrico que viene de la fuente del electrodo es conectado a un Terminal positivo de la fuente, mientras el Terminal negativo es conectado a un cable de corriente que retorna al electrodo.

La fuente de corriente debe estar siempre apagada antes de la conexión a los terminales. Antes de colocar el interruptor en la posición ON, estar seguro que el voltaje es controlado. Incrementar el voltaje progresivamente hasta un valor recomendable mientras se observa la elevación de la corriente en el indicador graduado. Si los resultados de corriente se aproximan a 400 mA y la temperatura es alta, enchufar el ventilador para enfriar el transformador.

Por lo general, los resultados de la corriente son menores a 100mA en terrenos de arena, agregados o piedras y 250 mA para arcillas pre-humedecidas. Siempre existe una medida de corriente (raramente inferior a 20mA), por otro lado existe un problema de continuidad.

Si los valores de corriente pasan los 400Ma, el fusible puede quemarse. No trabajar en condiciones eléctricas de corriente superiores a 400 Ma.

- **Preparación de un Bipolo Doble**

Todas las partes bipolares de una estructura bipolar son fácilmente unidas. Seleccionar las partes del doble bipolo siguiendo las recomendaciones de calibración y validación de los ensayos (espacios ajustables entre los 2 bipolos y entre los sensores electricos de uno de los bipolos).

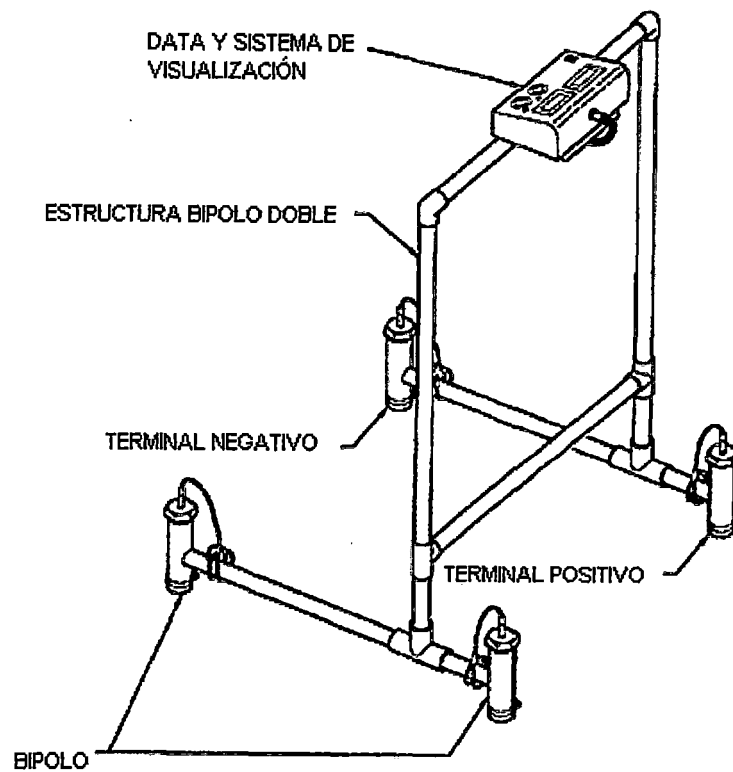


Figura 4.5 Estructura del Bipolo doble

Las partes de los conectores eléctricos son también empernados juntos, dentro de los conectores, aproximadamente 150 ml de solución electrolítica previamente preparada en un contenedor, al final disolver aproximadamente 15 grs (una cucharita llena) de sulfato de cobre de un litro de agua. Sumergir la parte inferior de los colectores dentro de un contenedor de agua durante por lo menos $\frac{1}{4}$ hora, para humedecer el disco permeable e instalar los colectores en una estructura inmediatamente después de haber tomado la medida.

Los electrodos de cobre son simplemente deslizados dentro de la capa inferior del colector a través de las capas perforadas. Conectar los electrodos de cable eléctricos a una estructura de cables apropiados y a los últimos terminales del multímetro, entonces la señal eléctrica puede ser la misma en ambos bipolos.

Si el suelo a ser proyectado es abrasivo (aglomeración de roca), el disco permeable debe ser protegido por una pantalla metálica, el cual debe estar ajustado mediante un collar sujetador

El multímetro debe estar colocado en modo de lectora DV – Escala Compatible: 0 – 2500 Mv (o 0,000 a 2500 voltios).

4.7.2.- Preparación del Suelo Proyectado

Antes de cualquier prospección sobre el terreno, es necesario evaluar las condiciones eléctricas que prevalezcan en el lugar, como son; los estados de protección eléctrica y su entorno de trabajo así como la humidificación de la cobertura del suelo. Es importante que las preparaciones sean requeridas.

- Aislante Eléctrico

La corriente generada por el interruptor del sistema siempre busca la forma más fácil para moverse alrededor, si hay enlaces directos fuerza, la energía tendera a ser usada hacia esos caminos, así se anula la corriente que va hacia las fugas y se reduce la detección. Sin embargo, esta el efecto de esta inadmisibles fuga oculta, cierra los lazos eléctricos (a pocos metros), Tan pronto como sea posible, se debe cortar todos los puentes de puntos eléctricos entre parte interior y exterior del suelo a trabajar.

En el área circundante, el suelo debe ser excavado por debajo del geotextil para un ancho de 1 a 2 metros, el mejor camino es desplegar el geotextil y desplegarlo hacia abajo para que la geomembrana pueda ser expuesta. La presencia de un geotextil expuesto en un terraplén asegura la buena protección eléctrica, si se encuentra en estado seco (o pequeñamente humedecido) durante la realización del trabajo. Una vez humedecido, el tipo de protección se reduce, pero en forma aceptable, si esta expuesta sobre un geotextil largo es muy importante, sobre los 10 metros.

El suelo que recubre la tubería o una estructura conductiva (metal o concreto) la cual penetra dentro del área excavada. Un aislante eléctrico inflable podría detener el agua, la cual pasa a través de la geomembrana, Si una bomba esta presente en el trabajo, la conexión fuera del terreno puede ser eliminada.

- **Humedad sobre el suelo Recubierto**

El suelo seco daña la aplicación de la técnica bipolar, es esencial examinar el factor de humedad en el suelo recubierto, cavando una pequeña trinchera hasta la geomembrana. El ensayo se realizara una vez que se empiecen los trabajos, y se repetirá diariamente si fuese necesario.

En suelos recubiertos, la humedad puede persistir en un tiempo relativamente prolongado (varios días) sin lluvia, dependiendo del espesor y del tipo de material. En la superficie, el terreno puede secar rápidamente (unas pocas horas). La humidificación, cuando sea necesario, consiste en 2 tipos; irrigación de agua y mangueras adicionales sobre la superficie.

- **Irrigación**

La irrigación es viable en suelos que tienen propiedades drenantes. Es necesario que no existan laminaciones de agua (asunto importante para el desarrollo de la detección) en la geomembrana. La humedad es suficiente en agregados que presentan humedad perceptible con la mano.

La metodología recomendable es un primer paso de irrigación, desarrollada antes de que empiece el trabajo, en la superficie planificada por día, con un apropiado equipo de irrigación, (altas presiones de agua en las mangueras, esparcidores de agua, bombas de energía, etc.). La cantidad de agua utilizada varía entre aproximadamente 5 a 15 litros de agua por metro cuadrado de superficie proyectada, dependiendo del espesor del suelo. Para una humidificación rápida, tanquear el equipo con alta presión de agua (superior a los 20 litros/hr) es comúnmente usado.

Es importante obtener un sistema de irrigación uniforme en la superficie proyectada, la homogeneidad de la humidificación es un parámetro que facilita el desarrollo de la detección.

Antes de empezar el trabajo de irrigación, debe realizarse un ensayo de detección de fuga artificial con la finalidad de validar la realización del trabajo.

- **Mojar adicionalmente la superficie**

Mojar adicionalmente la superficie se hace con la finalidad de asegurar la eficiente estabilización de los sensores eléctricos bipolares. Se hace necesario cuando el espesor de la capa semi seca de la superficie es mayor de 2cms.

La cantidad de agua requerida es relativamente baja, de 0.25 a 1.5 lts por metro cuadrado de superficie.

La manguera calibrada conectada a un acueducto puede asegurar la fuente de agua. En otros casos, el flujo gravitatorio es suficiente si la altura lo permite. Por otro lado, puede ser instalada una pequeña bomba a presión.

4.7.3.- Planificación de la Superficie Proyectada y su Metodología

Esta planificación debe ser realizada de acuerdo a la geometría del área de trabajo, esta superficie puede ser cortada en varias zonas adyacentes, el electrodo de fuente de corriente es removido alternadamente. En efecto, la medida tomada se hace en base a la zona circundante a la fuente del electrodo, el lado máximo de la zona esta definido por la calibración y validación del ensayo. Las zonas proyectadas son usualmente cuadrilaterales.

Para adaptarse a un adecuado campo de potencial en la geometría de la zona proyectada, el plan de prospección anticipa con parámetros de ubicación y dirección de electrodos.

- **Ubicación de los Electroodos**

Es una ventaja ubicar los electrodos de tal manera que los ejes formados por ellos (o perpendiculares) a un lugar de trabajo. Este lado viene a ser una línea referencial del cual la posición de la cuadrilla proyectada se hace más fácil, durante la medida tomada, el bipolo deber estar paralelo o perpendicular a eje de los electrodos.

La fuente de corriente del electrodo se ubica fuera del área de trabajo circundante, no es necesario que la posición sea ubicada hacia el borde o que el tipo de suelo sea el mismo de una geomembrana subyacente (sin

embargo el suelo debe ser conductivo). La fuente de corriente del electrodo debe ser ubicada arbitrariamente en el medio del área de trabajo o en la parte interior del borde.

Se debe evitar ubicar el electrodo cerca de una estructura conductiva o pila establecida en contacto directo con el área de trabajo fuera y dentro del suelo, por otro lado, la determinación de potencial en ambos lados de la geomembrana será menos eficiente. Una distancia de 15 – 20 metros es lo mínimo a ser respetada.

- **Posición del Electrodo y su dirección**

El campo de potencial de la superficie de trabajo se corta en 2 zonas de distintas señales eléctricas. Es preferible mover el bipolo de solo una de esas zonas. Eso para decir que las líneas proyectadas no deben cruzar la frontera donde la señal eléctrica cambia, por otro lado la interpretación de las medidas es innecesariamente complicada.

El operador debe escoger la orientación del eje bipolar (paralela o perpendicular al sentido del eje del electrodo) para favorecer a la interpretación de la medición. La orientación favorable es aquella que permite al operador obtener potenciales eléctricos de alto valor, debido a que la amplitud de la señal de fuga se hace más perceptible. La siguiente figura presenta el sentido comúnmente apropiado en la mayoría de lugares. Sin embargo, debido a la geometría particular, la dirección proyectada puede ser diferente que lo esquemáticamente establecido

- **Metodología de precisión de una señal de Fuga**

-
El operador se desplaza hacia la cuadrilla proyectada y ubica el bipolo en la tierra, El debe mantener siempre el eje bipolar en la misma dirección para evitar variaciones en la medida.

Desde que se hace difícil detectar una fuga cerca de la fuente del electrodo, el operador no debe inútilmente echar un vistazo a la superficie circundante del electrodo. El operador debe echar un vistazo luego de haber alejado la

fuente de corriente. La distancia segura a la detección de acuerdo a la fuente del electrodo es determinada por un ensayo de simulación de detección de fuga.

Si la interpretación de la medición es realizada en campo, sin recopilación de datos, el operador debe estar muy atento a la evolución del potencial eléctrico a través de la línea proyectada. Una vez que exista una variación de potencial entre las 2 medidas sucesivas, el operador trata de maximizar la variación observada tomando medidas puntuales y adicionales sobre la tierra (hasta una distancia igual a la mitad de la cuadrilla). Si la típica señal de fuga es escuchada, la precisa ubicación es inmediatamente identificada.

Si la interpretación de la medida demora, esto se debe a la recopilación de datos, la ubicación aproximada de las fugas es determinada por un análisis gráfico o una tabla de potencial eléctrico. Adicionalmente las medidas serán tomadas en campo luego de haber sido localizadas, esto para determinar una posición exacta de las fugas.

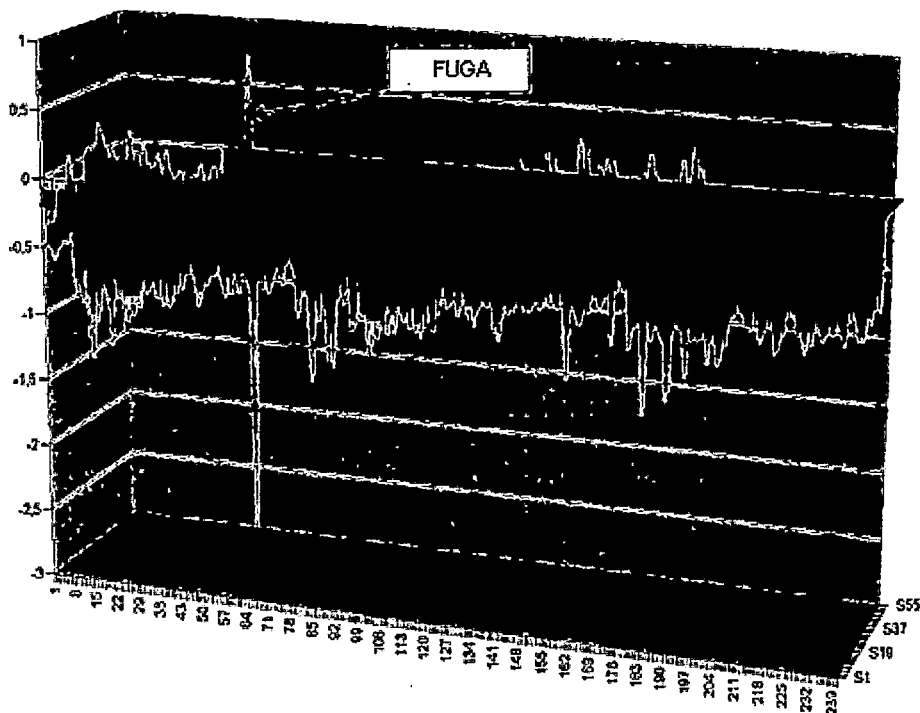


Figura 4.6: 3D Gráfico de la medida de Potencial Eléctrico 3075 m² de Área.

En el momento oportuno, se excava el sector donde se sospecha exista una fuga para después sea reparada. Una proyección adicional debe ser realizada en la superficie alrededor de la zona reparada para validar la reparación y probar si existe la presencia de fugas escondidas alrededor de la zona.

Anomalías en el potencial eléctrico pueden ser observadas en campo, siempre y cuando no muestren un típico perfil de fuga. La ubicación de una fuga eventual viene a ser consecuentemente difícil.

- Amplitud de la señal de fuga, por un aumento de voltaje en la fuente de corriente (si es posible) o moviendo la fuente cercana del electrodo, a 8 – 10 metros del sector en problemas.
- Tomar una medida de potencial adicional cambiando la dirección del eje bipolar.
- Caja de tuberías o drenes anclados en el terreno; orientados a la líneas proyectadas en paralelo a las tuberías, no perpendicular a ellas.
- En el caso que subsistan dudas, excavar el suelo en una superficie larga, incluyendo todos los puntos de potencial alto en el sector de anomalías.

4.7.4.- Validación de la Técnica

La validación de la técnica proyectada se hace en 2 pasos:

- 1 Calibración mediante una proyección preliminar.
- 2 Ensayo de Detección de una Fuga Artificial.
 - Medición de la línea que atraviesa la fuga.
 - Medición de la línea que pasa debajo de la fuga.

El bipolo doble es colocado y preparado adecuadamente en el lado preferencial a la prospección (espacio entre los colectores y los bipolos). El formato puede ser ajustable de acuerdo a los resultados.

- Calibración Mediante una Proyección preliminar

El primer paso es medir el resultado del campo de potencial resultante alrededor de la fuente del electrodo a pocos puntos de la superficie

proyectada, El objetivo es evaluar rápidamente la intensidad del campo y su extensión.

La observación es llevada a cabo primero en un campo de potencial existente sin contribución de la fuente, entonces, una vez prendido, especialmente establecido en el campo por la fuente. Durante esta fase, el operador debe observar la incidencia de la orientación bipolar en los valores de medición para determinar el sentido más favorable de prospección.

- **Sonido Eléctrico**

Con una fuente de corriente en la posición OFF, el bipolo posicionado a pocos puntos de la superficie proyectada efectúa un sonido. Colocar el bipolo paralelo al eje de los electrodos. Notar la proximidad máxima del valor medido.

- **Observación del Potencial de campo creado por una Fuente de Corriente**

Una vez que los electrodos están colocados y conectados en la fuente, encenderlo luego. Marcar en un voltaje preliminar al Terminal de la fuente para que la intensidad del potencial de campo resultante sea alto en comparación con el sonido eléctrico. Es necesario un voltaje de 150 a 350 voltios, con un valor que se incrementa de acuerdo al espesor del suelo de cobertura.

Iniciar la fuente de corriente del electrodo y desplazarlo lejos, la medida del potencial de campo. Alinear la línea proyectada perpendicularmente al eje de los electrodos. Examinar que toda la superficie sea permisible. La intensidad del potencial de campo es alto cuando esta cerca de la fuente y decrece cuando esta lejos. Notar que la distancia de la fuente del electrodo al punto donde empieza decrecer equivale aproximadamente al valor del máximo sonido eléctrico. El valor preliminar constituye una referencia para el siguiente paso. Por lo general la distancia de 25 a 50 metros encontrada, varía dependiendo del suelo y de su espesor.

- **Ensayo de Detección por fuga artificial**

Consiste en la realización de la línea proyectada a través de la ubicación de una fuga simulada y dos más en cada lado. Una fuga (real o simulada) causa una perturbación en el campo de potencial, caracterizado por una señal específica de fuga. El objetivo del ensayo de detección es verificar y documentar la visibilidad de la señal.

- **Poner una fuga artificial**

La simulación consiste en insertar en el suelo de cobertura una pequeña placa circular metálica de 6mm conectada fuera del suelo por un cable eléctrico. Después de encender la fuente de corriente, se forma la fuente de corriente y perturba el campo de potencial alrededor de la pequeña capa como si fuese el caso de una fuga real.

Para hacer una fuga artificial comparable a una pequeña perforación, es necesario colocar la placa en la parte inferior del material de cobertura, directamente con la geomembrana (o con la protección del geotextil) y cubrirlo del todo con el mismo suelo. La operación debe realizarse rápidamente para evitar el secado de la excavación.

La fuga artificial es ubicada lejos de la placa de la fuente de corriente, a lo más la distancia determinada durante el paso preliminar. Esta evaluación es llamada "Distancia Máxima Proyectada" definida como la distancia de separación de la fuente del electrodo y la placa de simulación.

El punto de contacto de la fuga artificial en la parte exterior del suelo no es escogido arbitrariamente. La distancia entre el punto de contacto y el electrodo de retorno debe ser igual a la distancia entre los 2 electrodos de tierra (fuente y retorno de electrodos). La fuga artificial de corriente eléctrica debe circular en una porción equivalente del suelo exterior.

Realización de la línea proyectada, consiste de 10 mediciones, y pasar directamente en la parte superior de la línea artificial y dos mas pasando una distancia desfavorable. Entonces para un metro de cuadrilla, estas líneas son colocadas a una distancia de medio metro de la fuga simulada. Además las líneas de proyección son posicionadas paralelamente o perpendicularmente al eje de los electrodos

- 1 Dos líneas de medición son recibidas con la colección de datos en ambos lados de la fuga artificial, la fuente es posicionada en OFF.
- 2 La medición de las 2 líneas precedentes son repetidas, sobre ambos lados de la fuga artificial, con la colección de datos, la fuente ahora se enciende y el voltaje se corrige (el voltaje es determinado por un paso de prospección preliminar).
- 3 Una medida adicional de líneas es tomada, con la colección de datos, pasando exactamente por la parte superior de la fuga artificial (Fuente de corriente encendida).

4.7.5.- Análisis de Medición y Criterios de Conformidad

- **El operador analiza las medidas tomadas a determinar:**
- Un valor máximo de sonido eléctrico (BNmax) definido por la diferencia entre el máximo y mínimo de todos los valores de medición (sin fuente de corriente puesto en ON). Este valor en cada uno de los 2 bipolos.
- El valor de una señal de fuga (LS), definido por la diferencia entre potenciales máximos y mínimos (necesariamente 2 medidas cercanas, en cada lado de la fuga). Un valor específico LS es calculado sobre cada línea de prospección.
- Ratio específico de la señal de fuga en un sonido máximo (Ratio= LS/BNmax) para cada línea proyectada.

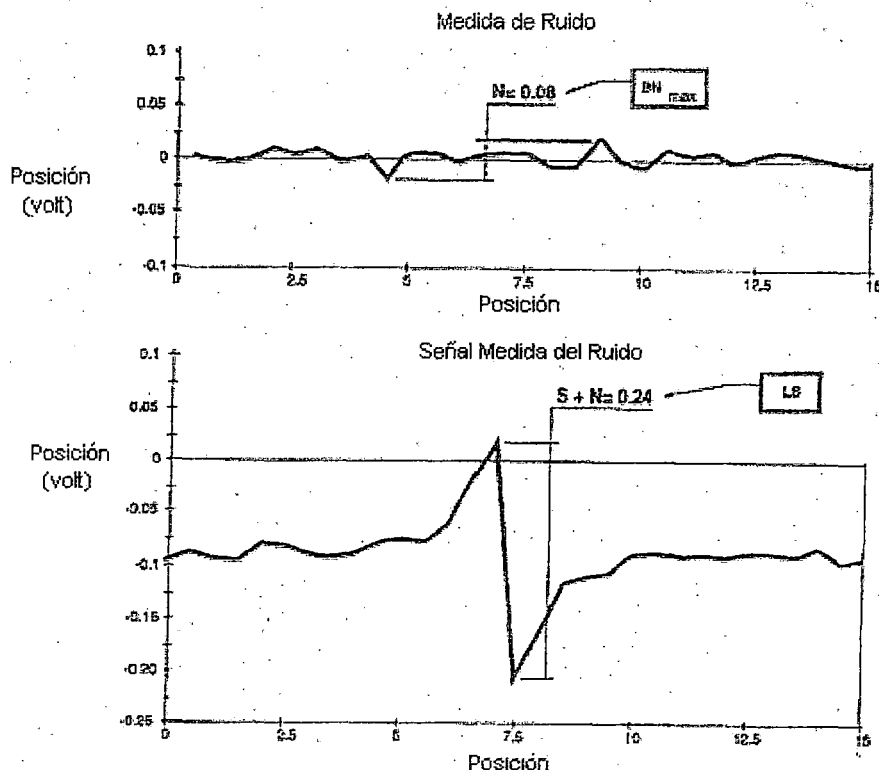


Figura 4.7: Diagrama de Determinación de LS / BNmax ratio

La “visibilidad” de una perturbación provocada por una fuga artificial es confirmada si las mediciones tomadas con la colección de datos muestran lo siguiente:

- El LS / BNmax ratio es superior a 3 sobre las líneas proyectadas.
- Las mediciones tienen un perfil típico de perturbación causado por la fuga, se dice que la elevación y depresión en el campo de potencial son perceptibles en cada lado de la ubicación de la fuga.
- Al menos 5 mediciones, sobre las líneas cercanas a la fuga artificial, muestran claramente la presencia de la elevación y la depresión, aún cuando estas medidas no correspondan exactamente a los puntos altos.
- Cuando se confirma la presencia de fuga, los parámetros proyectados son documentados y aplicados idénticamente durante la prospección del trabajo. Estos parámetros son:
 - El voltaje usado en los terminales de la fuente de corriente.
 - El espacio de la cuadrilla proyectada (espacio entre 2 puntos sucesivos de medición, igual a la distancia de 2 líneas proyectadas sucesivas).

- . La distancia máxima proyectada en función a la fuente de corriente.

Cabe destacar que varias simulaciones de fugas detectadas pueden ser realizadas, esto en caso fuese necesario, en varios puntos sensitivos del área de trabajo, periferia y ubicación susceptible a ser perturbada por una unión eléctrica con el suelo exterior (dique, caminos de acceso, terraplenes, estructura de concreto, etc.).

- **En caso de no conformidad**

El operador realiza la simulación de una nueva fuga mientras varia, siguiendo los siguientes parámetros:

- Incremento de a fuente de voltaje.
- Reducción de la distancia de la fuga simulada de la fuente de corriente.
- Reducir el lado de la cuadrilla proyectada.

Estas variaciones son el resultado del incremento de LS / BNmax ratio y hacer mas perceptible el perfil típico de la línea proyectada de una señal de fuga.

4.7.6.- Mantenimiento del Equipo

Antes de arribar al campo:

- Realizar un ensayo de continuidad al final del cable eléctrico.
- Examinar todas las coplas de los cables pre-insertados en la estructura bipolar tabular y reemplazarlos con aquellos en los cuales se haya perdido el contacto.
- Chequear el estado de las conexiones eléctricas en la fuente de corriente (terminales y coplas de cables eléctricos); reemplazarlos, reparar los daños en las conexiones (señales aparentes de corrosión, o pérdida de contacto).
- Verificar las baterías en los instrumentos de medición de potencial.

Durante el trabajo en campo:

- Utilizar una nueva solución electrolítica preparada diariamente, no repetir la solución una vez haya sido usada durante el día.

- Periódicamente verificar (cada 3 - 4 horas de uso) el uso de la pantalla de protección metálica debajo de los sensores eléctricos; reemplazarlos antes del deterioro de los discos permeables. Mover la pantalla cuando los discos permeables estén duros, esto para evitar su laminación. Bien protegidos, los discos permeables son durables (50-100 horas de uso).
- Cuando se presenta una lluvia persistente proteger el equipo eléctrico rápidamente con bolsas impermeables.

- **Al final del día**
- Verificar el nivel de agua residual.
- Para mantener la humedad en los discos permeables sumergir durante la noche la parte interior de los sensores.
- Realizar (aproximadamente cada 2 días) un zarandeo fino sobre la superficie de los sensores eléctricos de los electrodos, manteniendo una conductividad adecuada.
- Realizar un mantenimiento periódico de todos los cables de conexiones eléctricas de la estructura bipolar, un pequeño deterioro puede influir considerablemente en la medida de potencial.
- Para ahorrar tiempo almacenar todos los equipos dentro de un cuarto seco, como son: los electrodos, la sogá, cables eléctricos, etc.

4.8.- Seguridad en Campo

La seguridad es un factor importante cuando se usa este método, debido a que en algunos casos esta aplicación puede involucrar altos voltajes (mayores a 400 volts) entre los terminales de fuente de corriente. La corriente resultante en suelos típicos establece por sí mismo a penas 10 miliamperios, incluso algunos cientos en ciertos sitios problemáticos. Por lo tanto, existe un real peligro si el operador realiza un contacto simultáneo con los terminales positivos y negativos cuando la fuente de corriente está prendida. Otro riesgo potencial es causado por la manipulación de un electrodo mientras está electrificado. Sin embargo, una vez que el electrodo es insertado dentro de la tierra, los movimientos del operador en el suelo recubierto no presentan ningún riesgo.

Es necesario que las siguientes medidas de seguridad sean tomadas en cuenta:

- El operador debe tener un entrenamiento básico de seguridad eléctrica.
- El operador debe contar las adecuadas botas de seguridad contando estas con un apropiado aislante eléctrico.
- La fuente de corriente debe estar ubicada de tal forma que siempre sea visible por el operador.
- La ubicación de los electrodos deben ser indicados por una señal visible (estacas, conos, etc.).
- Antes de empezar a trabajar, el operador debe comunicarle a la persona encargada y a algún trabajador presente la zona proyectada y los posibles peligros potenciales.
- El operador no debe trabajar en condiciones eléctricas mayores a 400 miliamperios de corriente.
- La medida de disipación de energía debe ser tomada dentro y fuera del suelo a diferentes distancias de los electrodos, y así el operador pueda verificar el decrecimiento de la corriente y determinar la distancia a la cual no genera ningún peligro. Un perímetro de seguridad puede ser establecido.

CONCLUSIONES

Es necesario tener presentes las siguientes conclusiones:

- Las innovaciones técnicas que ha experimentado la minería a partir de la segunda mitad del presente siglo han modificado radicalmente la actividad, de modo que se ha pasado del aprovechamiento de vetas subterráneas de gran calidad a la explotación en minas a cielo abierto de minerales de menor calidad diseminados en grandes yacimientos.
- De acuerdo a resultados obtenidos de prospecciones realizadas en las plataformas de lixiviación de oro y cobre principalmente en las cuales se había ejecutado el Aseguramiento de la Calidad de la Construcción (CQA) de la instalación de la geomembrana, la mayoría de daños se encontraron en la geomembrana propiamente dicha (parte central de los paneles), y una menor cantidad en las costuras y reparaciones.
- La presencia de perforaciones en la geomembrana es el factor más importante en el débito de fugas y, por lo tanto, la causa de la migración de líquidos al exterior de la obra. Las estadísticas sobre la utilización de un sistema de impermeabilización con geomembrana demuestran que es común encontrar un promedio de 10 a 20 perforaciones por hectárea en las obras actuales. Las causas de fuga de la geomembrana son múltiples por poner ejemplos: mala soldadura, corte con elemento filoso, punzonamiento, perforación causada por la colocación de material de recubrimiento, material de cimiento malo, operación inadecuada de la obra.
- Los controles de calidad, y asimismo la prospección geoeléctrica de fugas, tienen por objeto mejorar la calidad en la obra. Gracias a su capacidad para medir la impermeabilidad de la geomembrana instalada y para conocer así la perfecta integridad hidráulica de la obra de confinamiento, la detección de fugas se vuelve un elemento crucial que integrar en un Programa de Aseguramiento de la Calidad. Los propietarios y gestores de sitios de confinamiento benefician así de un rendimiento global de sus operaciones y de una gran rentabilidad de sus inversiones.

- Los sondeos de ubicación eléctrica de fugas pueden ser desarrollados sobre geomembranas expuestas o cubiertas, con tal que la geomembrana usada sea eléctricamente aislante. Los sistemas doblemente revestidos (usados en algunos tipos de plataformas de lixiviación) podrían ser sondeados si se instala una capa conductiva entre las dos geomembranas, tales como un geosintético y arcilla (GCL) o un geotextil conductivo. En algunos casos la capa de detección de fugas puede ser inundada para facilitar la detección de fugas.
- El Método de Lanza de Agua es usado para ubicar agujeros en geomembranas expuestas y secas. Esta técnica es capaz de detectar agujeros creados durante la instalación del revestimiento, lo que incluye pequeñísimos agujeros, los cuales son invisibles para la vista humana. Para evaluar el sondeo se carga agua con pequeño voltaje para luego esparcirla sobre la superficie de revestimiento, mientras que la fuente es conectada a tierra, y así generar el circuito. En el caso que haya un agujero, el agua crea una entrada para que se dirija al soil liner. Un amperímetro detecta la presencia de un incremento en el flujo, lo cual pone en evidencia un agujero en el revestimiento.
- El método del Bipolo es usado para ubicar agujeros en el revestimiento, después que ha sido cubierto con agua o material de relleno. En el caso de una cubierta de suelo o roca, el espesor de la capa de cubierta puede afectar la sensibilidad del equipo. Se pueden ubicar agujeros de hasta 5mm de diámetro bajo 0.6 metros de cubierta, y se han realizado sondeos exitosos sobre 1.5 metros de material, aunque la sensibilidad de la detección esta sujeta a muchas variables específicas de la zona.
- La mayor parte de las estadísticas de perforaciones provienen de aplicaciones de contención residual, menor cantidad de perforaciones aplicando CQA y revestimientos de mayor espesor. Mediante estudios se ha demostrado que el 97% de daños en revestimientos ocurren durante la etapa de la construcción luego de terminadas las actividades de CQA.
- El 70% de las perforaciones han sido encontradas en paneles y no en soldaduras. La velocidad de prospección es un factor de suma importancia a la hora de planificar un programa de Detección de Fugas.

Se ha determinado de acuerdo a información de prospecciones realizadas en plataformas de lixiviación, pozas y otras instalaciones que un operador con experiencia puede realizar un promedio de 3500 m² durante un turno de trabajo, cabe resaltar que puede haber variaciones en la velocidad mencionada por características particulares de los lugares a prospectar o factores climáticos.

- El espesor de material de cobertura no puede exceder un cierto límite, por lo demás las perturbaciones causadas por las fugas vienen a ser imperceptibles en la superficie del suelo. La detección de fugas es posible para un espesor aproximado de 0.6 metros, en suelos constituidos por piedras superiores a 10mm. Este espesor es reducido a aproximadamente 0.3 m para suelos compuestos por pequeños agregados o arenas. En líquidos, pequeñas perturbaciones son solo perceptibles en depresiones a pocos centímetros sobre la fuga. Esta data es variable en función a la naturaleza y composición del material sobre la geomembrana, solo un ensayo en campo puede definir exactamente el espesor límite para la respectiva detección de la fuga.
- La seguridad es un factor importante cuando se usa el método BIPOLO, debido a que en algunos casos esta aplicación puede involucrar altos voltajes (mayores a 400 volteos) entre los terminales de fuente de corriente. La corriente resultante en suelos típicos establece por si mismo a penas 10 miliamperios, incluso algunos cientos en ciertos sitios problemáticos. Por lo tanto, existe un real peligro si el operador realiza un contacto simultáneo con los terminales positivos y negativos cuando la fuente de corriente está prendida.

RECOMENDACIONES:

- Para realizar las prospecciones es necesario contar con un material conductor debajo de la geomembrana como método de prueba inicial. La conductividad de suelos en cada proyecto es diferente y varía de acuerdo a los contenidos mineralógicos y contenidos de humedad de cada suelo. La experiencia demuestra que las arcillas son materiales muy conductivos mientras que los materiales arenosos requieren tener un mayor contenido de humedad para favorecer la conductividad eléctrica.
- Para el caso del método Lanza de Agua, las lecturas de las pruebas deben ser tomadas cuando las arrugas de la geomembrana sean mínimas. La gente de apoyo puede ir eliminando las arrugas frente al técnico que maneja el equipo de detección de fugas. De no poder aplanar las arrugas la prueba deberá efectuarse en horas de la noche o madrugada.
- Para mejores resultados, los elementos conductivos como tuberías de metal, bombas, y/o vigas de concreto, deben ser aislados en la geomembrana para evitar falsas lecturas.
- La sensibilidad del equipo debe ser revisada antes de realizar una prueba real de fuga, y a la vez verificar si la señal auditiva se encuentra al 100%.
- Al arribar al campo se debe estar seguro de contar con todos los materiales necesarios, prevenir percances, contar con todas las partes y realizar un nuevo ensayo de trabajo en caso fuese necesario.
- Se recomienda que la fuente de energía sea instalada dentro o fuera de la geomembrana. El cable que hace tierra con la placa es conectado al Terminal negativo de la fuente de energía, mientras el Terminal positivo es conectado al cable que va al detector. El voltaje debe ser revisado diariamente antes de iniciar el trabajo.
- Con respecto al método Bipolar, en el momento apropiado, excavar sobre la ubicación de la fuga, una vez que la fuga sea reparada y recubierta con material de cobertura, hacer una nueva prospección alrededor de la reparación (al menos 5 metros a ambos lados).

- Es mejor que el operador escoja la orientación del eje bipolar (paralela o perpendicular al sentido del eje del electrodo) para favorecer a la interpretación de la medición. La orientación favorable es aquella que permite al operador obtener potenciales eléctricos de alto valor, debido a que la amplitud de la señal de fuga se hace más perceptible.

BIBLIOGRAFÍA

- Abigail Beck - Detección eléctrica de Anomalías en membranas sintéticas-1era Edición – USA 2006.
- Comité de Geosintéticos - Norma D7007-03 Electrical Methods for locating leaks in Geomembranes covered with water or Earth Material - 3era Edición - USA 2004.
- Comité de Geosintéticos - Norma D7002-03 Leak location on Exposed Geomembranes using the water Puddle system - 3era Edición - USA 2004.
- Performance-Based specification of electrical leak location surveys for geomembrane liners.
- Comité de Geosintéticos - Norma D4439-02 Standard Terminology for Geosynthetics - 3era Edición - USA 2004.
- Comité de Geosintéticos - Norma D6747-02 Selection of techniques for electrical detection of Potential Leak Paths in geomembrana - 3era Edición - USA 2004.
- Mark Smith - El valor de los Servicios de Detección Geoeléctrica de Fugas en la Industria Minera – 1era Edición – USA - Feb 2005
- Mark Smith - SIP en gemembranas -1era Edición - USA 2004.
- Solmers - Dipole Leak Detectoin Procuderer – 4ta Edición – CANADA 2004.
- Solmers - Dipole Leak Detectoin Procuderer – 4ta Edición – CANADA 2004.
- Aplicación de Detección de Fugas para Proyectos Mineros – Julio Juarez Ramirez