

Uso de Geomembrana Bituminosa en condiciones meteorológicas extremas.

Bertrand Breul, Montreal Canadá, BBreul@axtercoletanche.com
Bernard Breul, Axter Coletanche, Irvine USA, Breul@eircom.net

RESUMEN

Este artículo presenta dos aplicaciones de geomembrana bituminosa en minería. En la mina de diamantes Diavik situada en el lago 'Lac de Gras', al noroeste de Canadá, los diamantes se extraen del mineral de kimberlita y el material residual se almacena de forma definitiva en una instalación de diques de contención recubiertos con una geomembrana. Para la cuarta etapa de la instalación, se decidió reemplazar la geomembrana de polietileno de alta densidad utilizada para las tres primeras etapas por una geomembrana bituminosa. El cambio fue motivado por la posibilidad de instalar la geomembrana bituminosa a temperatura cerca de -20 grados centígrados. En la mina Furioso situada en Patagonia Chilena, la pila de residuos de roca se cerró con una geomembrana bituminosa recubierta con 20 cm de suelo. El motivo fue la posibilidad de instalar la geomembrana con vientos de hasta 50 km/h.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas ha crecido el uso de geosintéticos en la industria minera. Geotextiles, Geomembranas, Liner geosintéticos de arcilla, y geocomposite por nombrar alguno de los que se han utilizado para recubrir balsas de lixiviados, instalaciones de depósitos de almacenamiento, balsas, ..., y para recubrir estas instalaciones y clausurarlas. Las Geomembranas bituminosas han formado parte de este crecimiento y se han instalado en los últimos años en numerosas minas en todo el mundo. Las Geomembranas bituminosas ofrecen ventajas específicas frente a otras geomembranas han conducido a su uso en lugares del mundo caracterizados por duras condiciones climáticas y, a veces, de difícil acceso. Las Geomembranas bituminosas se fabrican mediante la impregnación de un geotextil no tejido con betún. El grosor de la Geomembrana bituminosa se controla principalmente mediante el grosor (masa) del geotextil. La Geomembrana Bituminosa cuenta con las características de resistencia del geotextil no tejido y la baja permeabilidad asociada con betún. Por lo tanto, están muy indicadas para aplicaciones que requieran geomembrana resistentes tales como presas de relaves, residuos de roca, balsas y zonas donde se tenga que utilizar equipamientos. Gracias a la fusión del betún, el asfalto puede colocarse encima de las geomembranas bituminosas para crear superficies muy impermeables. Las geomembranas bituminosas son

- Más pesadas que la mayoría de las geomembranas flexibles, se pueden instalar en condiciones de viento fuerte.
- Más densas que el agua, de forma que no flotan.
- Tienen bajo coeficiente de dilatación de forma que no se producen pliegues cuando la temperatura se eleva tras la instalación.
- Grosor (a partir de 3.5 mm) y gracias a ello, muy resistentes al punzonamiento.

Este artículo muestra dos proyectos en los cuales las geomembranas bituminosas fueron utilizadas para evitar restricciones relacionadas con el clima.

2. OBRA CON CLIMA FRÍO

2.1 Localización

La mina Diavik Diamond Mine (DDM) se encuentra en East Island, una isla de 17 km² en el lago Lac de Gras, NWT, a unos 300 km noreste de Yellowknife (64°31' Norte, 110°20' Oeste) como muestra la Figura 1. La mina es una joint venture entre Diavik Diamond Mines Inc. una subsidiaria de Rio Tinto con sede en Londres, UK y Aber Diamond Limited Partnership (40%), con sede en Toronto, Canadá.

2.1 Clima

La DDM se encuentra en la Región Climática del Ártico, donde la luz del día dura un mínimo de 4 horas al día en invierno y un máximo de 20 horas por día en verano. El clima es extremo, con largos, fríos inviernos y veranos muy cortos y frescos. La temperatura media mensual en Julio es de 10°C y en Enero es de -31°C. La temperatura media anual del aire en obra es de aproximadamente -10°C. La nieve cae cada mes, a pesar de que la lluvia solo cae normalmente entre Mayo y Octubre. De media, hay 260 días por año con temperaturas bajo cero grados centígrados.



Figura 1: Localización de Diavik Diamond Mine

2.2 Permafrost

La obra DDM se encuentra justo al norte del difuso límite entre continuo y discontinuo permafrost generalizado. En base a las mediciones del termistor instalado en profundidad, se confirma que el permafrost tiene una profundidad de 150 m por debajo de East Island. La capa activa en las cercanías de la mina tiene una profundidad de entre 1.5 m a 2,0 m hasta los depósitos, de 2.0 m a 3.0 m de profundidad en los depósitos con buen drenaje granular (eskers) y de unos 5 m en el lecho de rocas. En las zonas con poco drenaje zonas pantanosas cubiertas con vegetación espesa incluidas, la capa activa tiene una profundidad menor de 1 m. Los datos del Termistor indican un rango medio anual de temperaturas de la tierra de entre -3 y -6 °C.

2.3 BALSAS DE GESTION DEL AGUA

La protección de la calidad del agua en el lago Lac de Gras es una prioridad para la empresa minera. La gestión del agua en la mina DDM contempla la recogida de toda el agua superficial que se escapa de las zonas afectadas por las operaciones mineras. Esta agua se utiliza en las operaciones de procesamiento de diamantes o es tratada y conducida al lago Lac de Gras. Las balsas de recolección se construyen a medida que avanzan las operaciones mineras. A principios de la construcción de las instalaciones mineras en 2001 y 2002, las balsas de recolección de agua se recubrieron con geomembrana HDPE.

Durante el periodo de deshielo primaveral en 2005, se necesitó una nueva balsa (balsa 14) y en el 2006, dos balsas adicionales (la 2 y la 13). Debido a otras actividades de construcción en la mina durante 2004 y principios de 2005, el periodo de construcción de la balsa 14 se programó para el segundo trimestre de 2005, antes de inicio de la primavera y del deshielo. Esto significaba que la balsa se tenía que construir a temperaturas bajo cero. Además, la arena fina que se adquiría de forma local (Esker), no estaría disponible durante ese periodo, así que el liner y los materiales de recubrimiento serían producidos mediante trituración y proyección de roca. Se evaluó un diseño alternativo del liner de la sección del dique y de la balsa, para ver la posibilidad de realizar los trabajos con clima frío y disminuir la cantidad de roca triturada y proyectada necesaria. Se eligió la opción que incorporaba liner con Geomembrana bituminosa en la sección aguas arriba.

La decisión de utilizar una Geomembrana Bituminosa como liner, se basó en el hecho de que el betún elastómero utilizado para fabricar la Geomembrana permanece flexible a temperaturas inferiores a -20°C y presenta un bajo coeficiente de dilatación (1×10^{-6} cm/cm/°C). Esto significa que el material quedaría relativamente insensible a los cambios de temperatura durante la instalación y servicio. Además, la Geomembrana Bituminosa seleccionada es de un espesor superior (4.0 mm frente a 1.5 mm) al de las Geomembranas HDPE y por ello, más resistente que la de HDPE (3,900 g/m² vs 1,410 g/m²), y no se levanta cuando hay vientos suaves durante la instalación. Este tipo de liner había sido instalado en otras obras a temperaturas inferiores a -20°C y la productividad durante la instalación a bajas temperaturas según informaban, era similar a la productividad a temperaturas sobre cero grados centígrados. Al principio se eligió una grava triturada de menos 50 mm como lecho para el liner y material de recubrimiento. Los tests realizados durante la construcción demostraron que se podía utilizar piedras trituradas menos 150, grava y arena sin perjudicar el liner, y estos materiales se utilizaron como lecho y como protección. La distribución del tamaño de los sustratos para acondicionar el lecho se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Tamaños máximos del granulado para lecho del liner y recubrimiento

Grosor Liner lecho y cubierta			nd Cover		
Tamaño gránulo (mm)	% Passing (Mínimo)	% Passing (Máximo)	Tamaño gránulo (mm)	Passing (Mínimo)	% Passing (Máximo)
200	100	100	50	100	100
75	45	100	19	80	100
19	24	56	9.5	60	90
4.75	13	34	4.75	40	70
2	7	28	0.85	18	38
0.42	0	16	0.075	3	15
0.075	0	12			

La Balsa 14 se construyó durante Abril y Mayo 2005, con 12,700 m² de liner instalado entre el 7 y 13 de Mayo, 2005. Durante este periodo la temperatura varió de -18 °C a -4 °C, vientos normalmente entre 10 km/hr y 20 km/hr y cayeron de 1 a 2 cm de nieve durante algunos días. El porcentaje de liner instalado al día varió de 1,300 m² a 2,400 m². Los test de control de Calidad y Garantía de Calidad incluyeron campaña de vacío y test de ultrasonidos de las juntas para confirmar la calidad de las soldaduras. Los test de campana de vacío demostraron ser más efectivos que los test de ultrasonido en condiciones de clima frío. No obstante, se añadió anticongelante al agua de ensayo para evitar la congelación de la campana de vacío. La variación de la temperatura del aire durante la instalación del liner se muestra en la Figura 2.

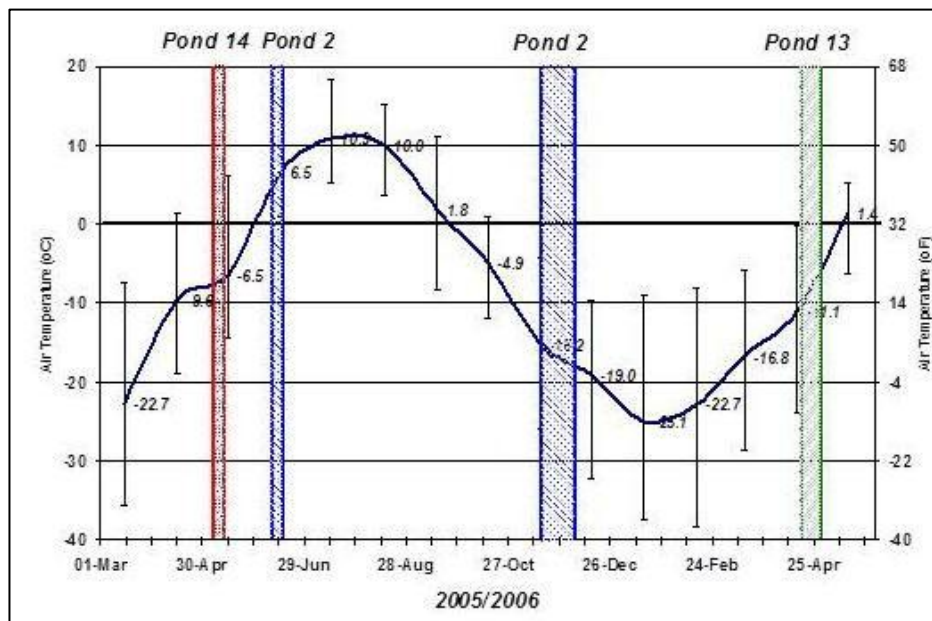


Figura 2: Promedio mensual de la temperatura del aire durante la instalación de la Geomembrana Bituminosa

Para evaluar el comportamiento de la geomembrana bituminosa y determinar el espesor adecuado para futuros proyectos, se instaló una zona de prueba con paneles de geomembrana bituminosa de espesores 3.5, 4.0, y 4.8 mm. Esta zona se dejó descubierta y expuesta a los elementos (Figura 3). Al cabo de dos años de exposición no se habían producido cambios en la apariencia de los paneles de geomembrana bituminosa. En consecuencia, a pesar de que una geomembrana bituminosa de 3.5 mm de grueso hubiera funcionado, se decidió utilizar la de 4.0 mm de grosor para conseguir una mayor seguridad contra punzonamiento a causa del tráfico y del vertido de residuos de roca.



Figura 3: Liner de Geomembrana Bituminosa expuesta a la intemperie a largo plazo para evaluación

La balsas 2 y 13 se proyectaron con un liner de geomembrana bituminosa, al igual que la balsa 14. La construcción de la balsa 2 se empezó en Mayo 2005, pero se detuvo en Junio 2005 a causa de cuando las temperaturas cálidas provocaron una acumulación de hielo en el permafrost expuesto en el corte de las excavaciones de trinchera con riesgo de derretirse y crear excavaciones inestables. La construcción de la balsa 2 se acabó en Noviembre y Diciembre 2005. Veinticinco mil metros cuadrados de liner se instalaron en la balsa 2, a un ritmo de unos 1,000/ 2,000 m²/día. La temperatura durante la instalación en Junio 2005 oscilaba entre 3°C y 14°C, mientras que la temperatura durante la instalación en Noviembre y Diciembre 2005 oscilaba entre -4°C y -32°C. El liner se instaló a una temperatura de -25°C sin considerar (Figura 4) el efecto de sensación térmica. Algunos días también hubo fuertes caídas de nieve, que obligaron a quitar la nieve de la cara del dique con secciones ya instaladas antes de poder continuar con la instalación. La cara superior de la geomembrana bituminosa tiene una capa de arenilla, que facilita la tracción para los operarios que caminan y trabajan sobre el liner incluso con la presencia de una fina capa de nieve.

La balsa 13 se construyó durante Abril y Mayo 2006. Se instalaron diez mil metros cuadrados de liner. Las temperaturas durante la instalación oscilaron entre los -15°C y los -5°C.

Las balsas de almacenamiento de agua han pasado por dos períodos de agua cálida, en los que tenían agua almacenada. La balsa 14 tuvo una filtración durante el verano del 2005, pero no hubo filtración en la balsa durante el 2006. Las balsas 2 y 13 tuvieron filtraciones durante el verano del 2006. Las investigaciones mostraron que la filtración tenía lugar en el fondo, seguramente a causa de la fusión de las capas de hielo del suelo o de hielo depositado en fracturas del lecho de roca. El comportamiento de la balsa 14 indica que una vez la presa y los cimientos recuperaron el régimen de temperaturas estables, con la re congelación del cemento, desaparecieron las filtraciones. El diseño de construcción de nuevas balsas incorporó la construcción de una balsa con un mínimo de un año de antelación a la necesidad de la misma para dar tiempo a que los cimientos se congelen de nuevo.



Figura 4: Evacuación de nieve durante la instalación de liner de geomembrana bituminosa en la balsa 2

2.4 Instalaciones de depósitos de kimberlita procesada

La kimberlita procesada (PK) que resulta tras la recuperación de diamantes se almacena de forma permanente en los depósitos de kimberlita procesada (PKC). En la mina DDM, del proceso de recuperación de diamantes resulta dos subproductos, PK gruesa, que consiste en partículas de kimberlita con tamaño de granulado entre 1 mm y 6 mm y PK fino compuesto por partículas de kimberlita con granulado de tamaño inferior a 1 mm. La PK gruesa se transporta en camiones desde la planta de proceso hasta la instalación PKC y la PK fina se transporta como una mezcla de baja densidad, a través de un oleoducto a las instalaciones de PKC. Las instalaciones PKC disponen de presas de enrocado revestidas hasta el perímetro para el almacenamiento de la PK gruesa y de presas de enrocado revestidas con geomembrana para el almacenamiento de la PK fina. El agua de transporte de la PK fina y de la escorrentía superficial es bombeada a la planta de proceso desde una barcaza situada cerca del centro de la instalación. La secuencia de deposición del PK fino es la adecuada para que siga al dique y asegure las balsas de líquido situadas en el centro de la instalación, desde donde hay bombas instaladas en flotadores las cuales bombean el líquido.

Las presas del PKC Este y Oeste se construirán por fases durante la vida operativa de la mina. Las tres primeras fases de las presas Este y Oeste se recubrieron en la cara aguas arriba con geomembrana HDPE. Tras el exitoso resultado del uso de geomembrana bituminosa en las tres balsas de almacenamiento de agua numero 2, 13 y 14, se encargó utilizar geomembrana bituminosa para el proyecto de la fase 4 de la presa Este y Oeste, en lugar de geomembrana HDPE, en la cara aguas arriba. Como en el caso de las balsas de almacenamiento de agua, esta elección de geomembrana facilitó el uso de un liner para recubrir el lecho y como recubrimiento final, que redujo costes de producción y de construcción en condiciones climáticas extremas de congelación.

Las presas del PKC Este y Oeste se construyeron entre Mayo y Octubre 2006. La instalación de la geomembrana bituminosa se llevó a cabo entre el 2 de Junio, 2006 y el 8 de Septiembre, 2006, de forma periódica, a medida que los movimientos de tierra se iban realizando. Se instalaron cincuenta y nueve mil cuatrocientos metros cuadrados de geomembrana bituminosa. El ritmo de instalación iba desde los 1,000 m²/día hasta los 3,000 m²/día. La campana de vacío fue el método principal de control de calidad de las soldaduras del liner.

Para el lecho y el recubrimiento de la geomembrana bituminosa se proyectó utilizar piedras trituradas de 200 mm mínimo grava y arena. La figura 5 muestra una sección típica de la fase 4 de aumento de la presa, incluyendo el material grueso del lecho del liner, el recubrimiento de arena Esker y una capa de relleno de roca para la protección de la erosión.



Figura 5: Sección típica de la presa con lecho de material grueso y recubrimiento de arena Esker

2.5 Unión de geomembrana bituminosa con HDPE

Uno de los aspectos técnicos de construcción de la Fase 4 de la presa PKC fue la unión entre el liner HDPE utilizado en las fases anteriores de construcción con el nuevo liner de geomembrana bituminosa. El proceso consistió en limpiar a conciencia el HDPE mediante un barrido y lavado con agua (Figura 6). Aplicación de una imprimación sobre el HDPE para favorecer la adherencia y luego aplicación de una membrana autoadhesiva elastómera (conocida como Flam Stick) sobre el HDPE (Figura 7). Posteriormente, se presionó bien con un rodillo la membrana Flam Stick para asegurar una buena adhesión. Se depositó luego el material de recubrimiento del lecho de arena y grava sobre el HDPE hasta el mismo borde del Flam Stick para evitar calentamiento excesivo del HDPE al soldar la geomembrana bituminosa al Flam Stick con el soplete. Ensayos de tracción de muestras extraídas de la junta mostraron que no hubo ningún error y no se separó el HDPE del Flam Stick.



Figura 8: Aplicación de la imprimación sobre HDPE



Figura 8: Flam Stick pegado al HDPE

3. ZONA DE VIENTOS

3.1 ANTECEDENTES

La mina Furioso se encuentra aproximadamente a unos 75 km sudoeste de Chile Chico a una altura de unos 1,400m sobre el nivel del mar, en la Patagonia Chilena y durante los meses de invierno no es accesible (entre mediados de Marzo y Diciembre) debido a la gran cantidad de nieve y malas condiciones de la carretera.

Como continuación del cierre de la mina, la propiedad empezó a cerrar las instalaciones incluyendo un botadero de grandes rocas que ocupa aproximadamente 6.5 ha.

3.2 Clima

Las temperaturas diurnas en invierno pueden bajar hasta -25°C con vientos de velocidad superior a 80 km/h. La nieve puede caer cualquier día del año ralentizando las actividades de construcción.

3.3 Proyecto de cierre

El plan de cierre requería una geomembrana protegida por 1 metro de suelo y una capa de protección a la erosión consistente en 50 cm mínimos de rocas.

Para hacer frente a los Fuertes vientos y bajas temperaturas, el equipo de diseño del proyecto buscaba una geomembrana que :

- Pudiera ser instalada con velocidades de viento de cerca de 50 km/h;
- Pudiera ofrecer flexibilidad de instalación al contratista;
- Pudiera soportar algo de tráfico de vehículos y pudiera permanecer expuesta a los elementos durante algunas semanas;
- Que no necesitara de un geotextil de amortiguación o un subsuelo de granulado fino; y
- Pudiera ser recubierto de una capa de suelo menos gruesa de la planteada originalmente.

El diseñador seleccionó una geomembrana bituminosa porque podía satisfacer las necesidades expresadas anteriormente, a saber:

- Con un peso de $3,900\text{ g/m}^2$ y 4 mm la geomembrana bituminosa puede soportar vientos de hasta 60 km/h. Tras desenrollarla, se instalaría un balasto mínimo encima de la geomembrana, que permanecería expuesta y sujeta para recibir el recubrimiento de tierra.
- El proceso de instalación y soldadura, similar al de la cubierta, no requiere subcontratar a ningún especialista. Un simple soplete de cubierta es todo lo que se necesita para soldar las juntas de solape consistentes en 20 cm de superposición de un panel sobre el otro. Gracias a ello, el operador de la mina pudo utilizar su propio equipo (trabajadores locales residentes en Patagonia) para realizar los trabajos de cierre.
- La geomembrana bituminosa de 4 mm de espesor se podía desplegar directamente sobre el soporte que presentaba protuberancias de hasta 2.5 cm de diámetro según muestra la Figura 7.
- En el momento del diseño se decidió que para proteger la geomembrana sería suficiente un recubrimiento de 20 cm de grosor de arena y grava.

El proyecto con la geomembrana bituminosa de 4 mm y la cubierta de 20 cm fue aprobado por las agencias reguladoras y aplicado.



Figura 7 Soporte para la geomembrana bituminosa (ver el tamaño de las partículas)

3.4 Construcción

Los trabajos empezaron el 11 Enero del 2012, a mediados de verano en el hemisferio Sur, pero una caída de nieve retrasó la obra en dos días (Figura 8). El procedimiento consistió en preparar y recubrir pequeñas áreas a medida que el tiempo lo permitiera. Gracias al peso de las geomembranas bituminosas, superior al de la mayoría de geomembranas, y a su bajo coeficiente térmico permanece plana en el soporte sin formar arrugas, ondas, o dobleces y, en consecuencia, el suelo de relleno puede ser repartido sin problema en cualquier momento durante el día incluso con aumentos de temperatura.



Figura 8: Día frío de nieve en la Patagonia Chilena

Cerca de 65,000 m² de geomembrana bituminosa incluyendo 12,000 m de soldaduras y todas las actividades de control de calidad de la construcción (ultrasonidos y campana de vacío) fueron instalados y llevados a cabo en 45 días. Luego, la geomembrana bituminosa se cubrió con 20 cm de arena y grava como muestra la Figura 9. El botadero de desechos de roca se considera ahora clausurado.



Figura 9: Instalación de recubrimiento de arena y grava.

4. CONCLUSIÓN

Las geomembranas bituminosas se utilizaron con éxito en dos obras con condiciones climáticas extremas.: frío extremo en Diavik Diamond Mine en el Northwest Territory (Canadá) y clima susceptible de cambios rápidos de tiempo y con mucho viento en la Mina Furioso de la Patagonia Chilena. El uso de geomembrana bituminosa aportó muchas ventajas en la dos minas, a saber:

- La posibilidad de instalar la geomembrana en condiciones climáticas difíciles: el liner puede ser instalado de forma eficiente en casi cualquier época del año. Sólo con temperaturas por debajo de -30°C la instalación del liner no es posible.
- La instalación no requiere un especialista, ofreciendo oportunidad de empleo a trabajadores locales. La propiedad de la mina Furioso pudo utilizar trabajadores residentes en Patagonia mientras que en Diavik eran aborígenes del lugar.
- Económicamente viable al equilibrar el coste inicial más elevado, gracias a que el geotextil de amortiguación ya no se necesitó , a que no hubo necesidad de un instalador especializado, a la flexibilidad de programación de la instalación, y a que se pudo utilizar roca como material para el lecho y para el recubrimiento.