

Uso de geocompuesto como protección a la geomembrana en un pad de lixiviación con taludes muy empinados

Juan Soplin¹ Marsy Sánchez y Ronny Vidal
Anddes, Perú

RESUMEN

Cuando el mineral a ser apilado en un pad de lixiviación presenta partículas angulosas que puedan ocasionar daños a la geomembrana (por ejemplo, mineral ROM), antes de iniciar con el apilamiento del mineral, es necesario proteger la geomembrana frente a los daños que puedan ocurrir por el paso de los camiones mineros durante la operación del pad. El sistema de protección, denominado sobrerrevestimiento u *overliner*, consiste en una capa uniforme de material granular de 38 mm (1,5 pulgadas) de tamaño máximo, con espesores variables desde 0,50 m hasta 1,00 m, dependiendo del tipo de equipo utilizado durante la operación del pad, específicamente durante la conformación del primer *lift*.

En las zonas en donde los taludes del terreno lo permiten (taludes hasta 2H:1V), se coloca un espesor uniforme de sobrerrevestimiento; en aquellas zonas muy empinadas donde no es posible conformar este espesor, el sobrerrevestimiento se coloca de manera escalonada durante la etapa de operación del pad, es decir, el sobrerrevestimiento se coloca conforme se va apilando el mineral a lixiviar.

En el caso-estudio descrito en este artículo, la superficie del pad de lixiviación presenta taludes de hasta 0,84H:1V, esto debido a que el pad se emplaza sobre la superficie de un tajo ya explotado, lo cual, convencionalmente, implica colocar el sobrerrevestimiento de manera escalonada colocando un gran volumen de este material generando un alto costo en esta partida, que representaba aproximadamente el 60% del costo directo del pad cuando normalmente debería estar en el orden entre el 10% y 12%.

El objetivo de este artículo es presentar la optimización de costos de construcción mediante el empleo de geocompuesto como protección a la geomembrana en las zonas con taludes muy empinados en un pad de lixiviación. Para ello ha sido necesario realizar un ensayo de punzonamiento a la geomembrana utilizando esta solución: del ensayo realizado para el presente caso-estudio se obtuvieron resultados favorables, lo cual garantiza el correcto funcionamiento del sistema planteado. El uso de geocompuesto en lugar de sobrerrevestimiento, permitió una reducción de aproximadamente el 50% del costo directo del pad, con lo cual finalmente esta partida redujo su incidencia del 60% al 12% sobre este costo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el diseño de pads de lixiviación se ha convertido en un gran desafío, debido a lo agreste del relieve que presenta la zona de los Andes de Perú. Un pad de lixiviación es una estructura minera que permite almacenar mineral chancado, aglomerado y/o ROM obtenido del proceso de minado; este mineral apilado es sometido a un proceso de lixiviación mediante el cual se obtiene ya sea oro, cobre, plata, etc. como producto final. Uno de los aspectos más importantes del diseño de un pad de lixiviación es el sistema de revestimiento, que por lo general incluye una capa inferior de suelo de baja permeabilidad y/o revestimiento geosintético de arcilla (GCL por sus siglas en inglés) como revestimiento secundario y una lámina de geomembrana como revestimiento principal. Con el objetivo de proteger la geomembrana durante el transporte y apilamiento del primer *lift* del mineral de tamaños mayores a 38 mm (1,5 pulgadas) en el pad de lixiviación, se coloca una capa de sobrerrevestimiento de material granular en toda el área del pad ya sea en un espesor constante o de manera escalonada durante la operación como se describe en el resumen. Adicionalmente, este material de sobrerrevestimiento puede tener una alta permeabilidad, funcionando así como material drenante para garantizar el funcionamiento del sistema de colección instalado debajo del sobrerrevestimiento y sobre la geomembrana; en caso durante la construcción no se pueda obtener un material altamente permeable como material de sobrerrevestimiento, este material actuará solo como protección y el sistema de tuberías de colección de la solución deberá estar totalmente cubierto con material drenante antes de la colocación del sobrerrevestimiento.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a los taludes muy empinados presentes en la superficie del pad de lixiviación del presente caso-estudio y a la presencia de materiales de hasta 12 pulgadas de tamaño máximo (mineral apilado), uno de los mayores desafíos durante el diseño fue definir el sistema de sobrerrevestimiento, ya que el pad se emplaza en su mayor parte sobre un tajo ya explotado el cual presenta taludes de hasta 0,84H:1V, como se muestra en las Figuras 1 y 2. En tal sentido la colocación del sobrerrevestimiento se planteó realizarlo en dos etapas, la primera, durante la etapa de construcción cuyos taludes son menos empinados que 2H:1V ($H > 2$) y la segunda etapa durante la operación del pad en donde la colocación del sobrerrevestimiento se deberá realizar de manera escalonada conforme se vaya apilando el mineral tal como se muestra en la Figura 3, esto debido a la imposibilidad de colocar un espesor uniforme del sobrerrevestimiento en un talud muy empinado.

Para la colocación del sobrerrevestimiento de manera escalonada en los taludes del tajo durante la operación del pad, primero se procede a colocar el mineral con un talud local equivalente a su ángulo de reposo (aproximadamente 1,44H:1V para el presente caso); el pie de talud local del apilamiento deberá tener un retiro mínimo de 1 m con respecto al pie del banco del tajo y se conformará hasta una altura máxima de 8 m (altura del *lift* considerado para el apilamiento del presente caso-estudio). En el espacio libre entre el pie del banco del tajo y el apilamiento del mineral se rellenará con material de sobrerrevestimiento con el objetivo de proteger a la geomembrana para la conformación del siguiente *lift* del mineral y evitar así que las operaciones de descarga de mineral puedan ocasionar daños a la geomembrana. Como parte del sistema de revestimiento en los taludes del tajo se colocará una lámina de GCL (como reemplazo al suelo de baja permeabilidad) como revestimiento secundario y una lámina de geomembrana como revestimiento principal. El GCL será colocado debido también a los taludes empinados del antiguo tajo que no permite el uso de suelo de baja permeabilidad.

Adicionalmente, debido a la presencia de una superficie rocosa en los taludes del tajo explotado, se consideró la instalación de geocompuesto previo a la instalación del GCL con la finalidad de proteger al sistema de revestimiento (GCL - geomembrana) de los efectos del punzonamiento y daño de estas superficies irregulares y al mismo tiempo complementar el sistema de subdrenaje instalado en estas zonas del pad. Esta solución es muy común en taludes irregulares y rocosos de fuerte pendiente en pilas de lixiviación.

En la Figura 3 se muestra la configuración del sobrerrevestimiento apoyado en el talud del tajo y en las zonas en donde se tiene un talud menor a 2H:1V ($H > 2$).

En general, la necesidad de colocar sobrerrevestimiento de manera escalonada en los taludes del tajo durante la operación del pad, conlleva a tener grandes volúmenes de material de sobrerrevestimiento, que en el caso-estudio es de aproximadamente un millón y medio de metros cúbicos, resultando en un incremento significativo en los costos de esta partida representando aproximadamente un 60% del costo directo de construcción del pad.



Figura 1 Planta de la nivelación del pad. Las zonas achuradas muestran los taludes de fuerte pendiente del pad

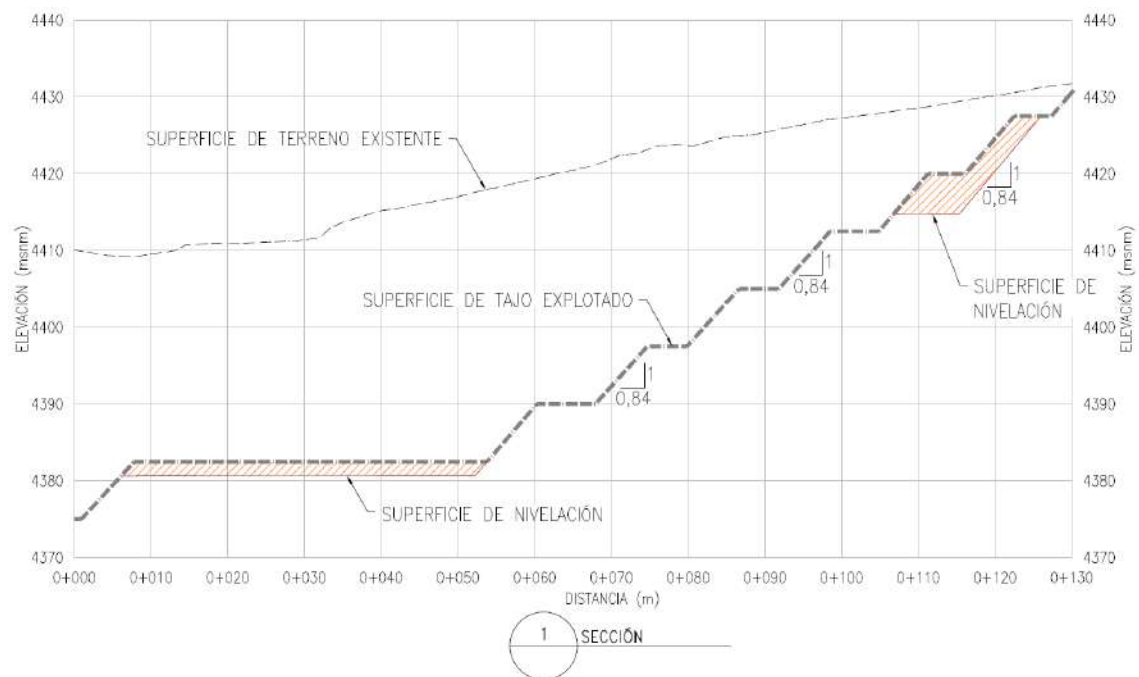


Figura 2 Sección de la nivelación del pad en a zona del tajo

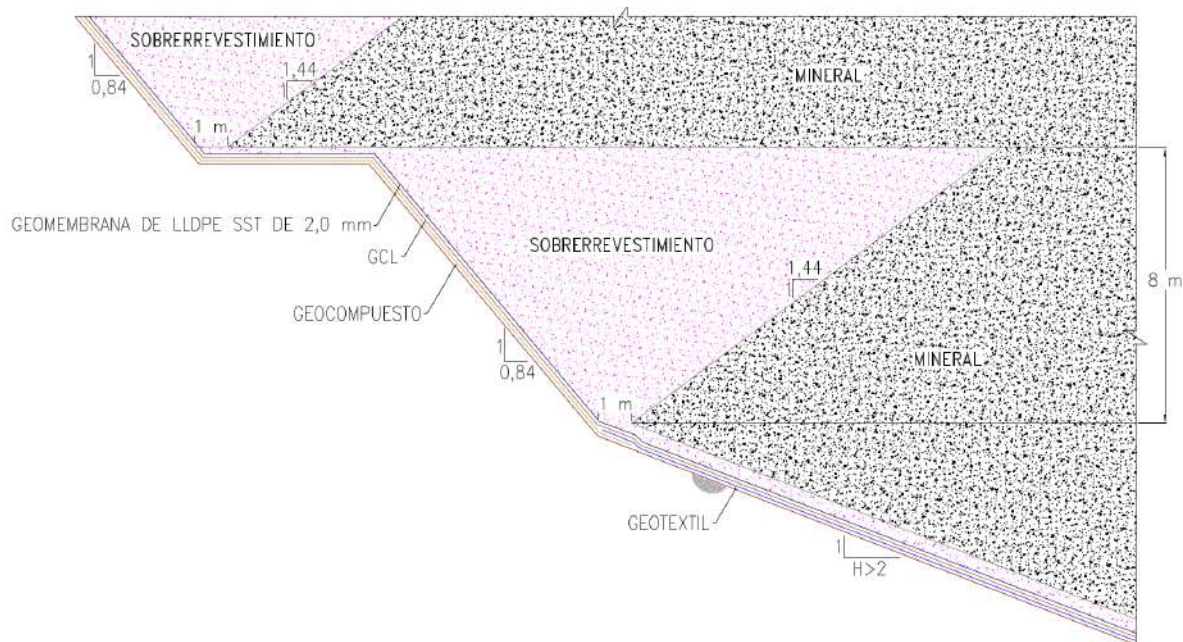


Figure 3 Colocación convencional del sobrerrevestimiento en taludes muy empinados

SOLUCIÓN PLANTEADA

Ante este escenario económicamente muy desfavorable respecto al costo de construcción del pad, se vio la necesidad de buscar otras alternativas de solución para la optimización de los costos antes mencionados.

En tal sentido, se optó por reemplazar el material de sobrerrevestimiento por una lámina de geocompuesto como protección a la geomembrana en las zonas de fuerte pendiente. Para tal efecto, se realizaron ensayos de laboratorio de punzonamiento colocando el mineral de la pila sobre el paquete de geosintéticos (geocompuesto - geomembrana - GCL - geocompuesto) y modelando la carga del apilamiento que tendrá una altura máxima de mineral de 85 m alcanzando una presión máxima de 1300 kPa. El objetivo de este ensayo fue evaluar si la colocación del geocompuesto funciona como material de protección, sin generar daño en la geomembrana, de tal manera que el sistema planteado como solución funcione adecuadamente protegiendo la geomembrana, evitando así potenciales fugas en el revestimiento que finalmente pueda contaminar el subsuelo en el área del pad de lixiviación.

En las Figuras 4 y 5 se muestra el esquema del ensayo en el cual se aplicó un esfuerzo normal de 1300 kPa, que corresponde a la carga máxima de mineral sobre los taludes del tajo. En este ensayo los materiales son colocados en la secuencia de abajo hacia arriba y espesores mostrados en la Figura 4; el ensayo se realiza aplicando la carga normal en incrementos de aproximadamente 70 kPa, hasta alcanzar la máxima carga especificada.



Figura 4 Esquema del ensayo de punzonamiento



Figura 5 Ensayo de punzonamiento a la geomembrana

Al término de la ejecución del ensayo se determinó que la geomembrana no presentaba perforaciones, solamente zonas con ligera fluencia. No fueron detectadas perforaciones en los geosintéticos, ni visualmente ni con la prueba de vacío.

Como resultado de este ensayo se determinó un tipo de geocompuesto adecuado para este sistema, cuyas características técnicas se muestran en el Anexo 1. En la Figura 6 se muestra el geocompuesto como protección a la geomembrana, ya que será colocado en lugar del material de sobrerrevestimiento.

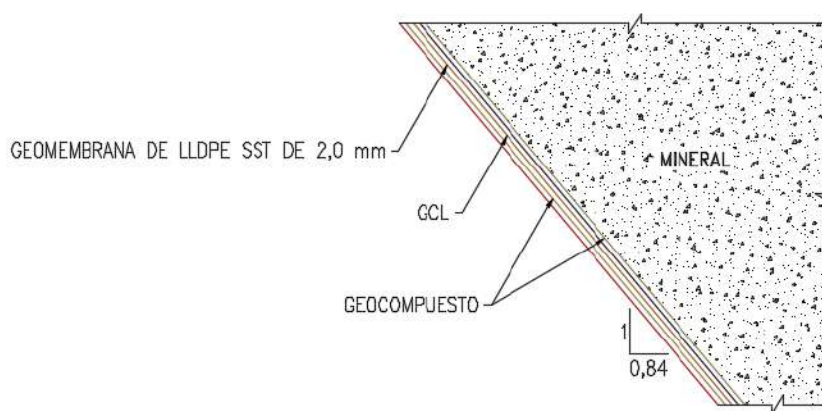


Figura 6 Geocompuesto como protección a la geomembrana del punzonamiento por el mineral

Si bien se realizaron ensayos de corte directo a gran escala para la determinación de la resistencia cortante de las diferentes interfases generadas debido a la secuencia de colocación de los geosintéticos, tales como geocompuesto/GCL, GCL/geomembrana y geocompuesto/geomembrana, no se presentan ni los resultados de estos ensayos, ni los resultados de los análisis de estabilidad, esto debido a que el geocompuesto utilizado para reemplazar el material de sobrerrevestimiento será colocado en la zona de un tajo ya explotado, por lo que no generará problemas relacionados a la estabilidad del pad de lixiviación en esta zona específica; las potenciales superficies de falla serán generadas en una zona fuera del área de influencia del antiguo tajo.

Asimismo, no es de esperar la ocurrencia de movimientos de la geomembrana debido a la colocación del geocompuesto durante el apilamiento de mineral, ya que el geocompuesto no es anclado junto con la geomembrana, permitiendo con esto que durante la descarga de mineral, solo se desplace el geocompuesto mas no la geomembrana, contribuyendo entonces de manera adicional a garantizar la integridad del sistema de revestimiento.

Al realizar el reemplazo del geocompuesto en lugar del material de sobrerrevestimiento se obtuvo una reducción significativa en el costo de esta partida que representó una disminución del 50% del costo directo del pad, logrando finalmente que la incidencia de esta partida se reduzca del 60% (con sobrerrevestimiento) a aproximadamente el 12% del costo directo del proyecto. La comparación de costos de ambas alternativas se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Comparativo de costos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Costo (US\$)
1	Procesamiento y transporte del sobrerrevestimiento	m ³	1 444 320	9,52	13 749 926
2	Suministro e instalación del geocompuesto	m ²	119 600	6,74	806 104

En el ítem 1 de la Tabla 2 se está considerando solamente el procesamiento y transporte del material de sobrerrevestimiento más no la colocación del mismo ya que este material será colocado durante el apilamiento del mineral y corresponde a un costo operativo mas no de construcción, lo cual también resulta en un incremento del costo operativo en comparación a la colocación del geocompuesto, resultando en una reducción adicional de costos. Adicionalmente, se tiene que considerar el menor tiempo de instalación del geocompuesto que favorece también las operaciones de apilamiento del mineral en la pila.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- En taludes de muy fuerte pendiente la alternativa de colocar material de sobrerrevestimiento para la protección de la geomembrana de un pad de lixiviación debido a las operaciones de descarga del mineral mayor a 38 mm (1,5 pulgadas), implica el uso de cantidades significativas de este material, resultando en altos costos de obtención de este material y costos operativos adicionales para su colocación durante la conformación de la pila.

- En este trabajo se presenta la alternativa de utilizar geocompuesto en lugar de sobrerrevestimiento, solo en los taludes de muy fuerte pendiente de un tajo ya explotado donde se proyecta la construcción del pad de lixiviación.
- Se realizaron ensayos de punzonamiento para evaluar el comportamiento del conjunto de geosintéticos ante la acción de cargas sobre el mineral equivalente a la altura de la pila. Después de realizado el ensayo de punzonamiento, se observó la presencia de pequeñas hendiduras en el geocompuesto debido al esfuerzo normal máximo de 1300 kPa y zonas con ligera fluencia; no fueron detectadas perforaciones en los geosintéticos, ni visualmente ni con la prueba de vacío. Estos resultados confirman el adecuado comportamiento del geocompuesto con fines de protección del revestimiento.
- La colocación de geocompuesto en reemplazo del sobrerrevestimiento en taludes de fuerte pendiente en un pad de lixiviación, redujo en un 50% aproximadamente el costo directo del pad, representando un 12% del costo total, en lugar de 60% con el uso de sobrerrevestimiento.
- Se obtuvo además, una reducción significativa de tiempo en la colocación de la protección de la geomembrana utilizando geocompuesto en lugar de la colocación del sobrerrevestimiento.
- Adicionalmente, la colocación del geocompuesto permite que durante la colocación del mineral solo se desplace el geocompuesto mas no la geomembrana, contribuyendo con ello a garantizar la integridad del sistema de revestimiento.
- La construcción del pad de lixiviación en mención se emplaza en un tajo ya explotado, por lo que el revestimiento en los taludes del tajo no presentan problemas de estabilidad, ya que en la etapa final del pad este sistema de revestimiento quedará confinado con el mineral apilado.

REFERENCIAS

Anddes Asociados SAC (2016). "Ingeniería de Detalle para la Ampliación de las Infraestructuras de Pad, Pozas, Depósito de Desmonte e Infraestructuras Auxiliares de una Unidad Minera en el Sur del Perú"

Revista Costos, "Grupo S10"

ASTM D-5321. "Standard Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method"