

Metodología de Diseño para Coberturas de Cierre de Mina

Methodology for Mining Closure Covers Design

Gustavo Fierro Rojas, Gerente Técnico de Tecnología de Materiales S.A. Lima, Perú.

ABSTRACT

A methodology approach is proposed for mine closure design, considering the long-term physical, chemical and biological stability criteria.

The challenge of a comprehensive vision of the solution to this problem focuses on providing quantifiable solutions that ensure the long-term behavior of the coverage.

In this way we move from a qualitative solution to a quantitative version of the problem.

For this purpose, the state of the art is used in multiple disciplines that have left valuable information in the last two decades, but until now not oriented to the integral vision of the problem

Resumen

Se plantea un enfoque de dimensionamiento de coberturas para cierre de minas considerando los criterios de estabilidad física, química y biológica a largo plazo.

El desafío de una visión integral de solución a este problema se enfoca en proveer soluciones cuantificables que aseguren el comportamiento a largo plazo de la cobertura.

De este modo se pasa de una solución cualitativa a una versión cuantitativa del problema.

Para ello se emplea el estado del arte en múltiples disciplinas que actualmente han dejado en las dos últimas décadas información valiosa pero hasta ahora no orientada a la visión integral del problema.

Keywords: Mine Closure, Cover Stability, Geocells, Geomembranes, Erosion, Drainage, Long Term Solutions, degradable geosynthetics, Environment, Vegetation, Design Method.

Theme: Geosynthetics in Environmental Applications, Geosynthetics in Mining Applications.

1 EL PROBLEMA DE LAS COBERTURAS DE CIERRE DE MINAS

El cierre posee dos componentes a nivel funcional importantes:

- Una parte impermeabilizante y
- Una parte de sustrato de cobertura (para drenaje y si se requiere para vegetación).

Luego de entender que varios requerimientos ambientales solicitan un desempeño a largo plazo de la cobertura, se desprenden dos caminos para la solución:

- Una alternativa basada principalmente en el empleo de geosintéticos y un sustrato de cobertura (para drenaje y si se requiere para vegetación).
- Otra basada principalmente en el empleo de vegetación, con el auxilio de algún elemento de refuerzo temporal.

Estas alternativas poseen al menos tres etapas en su desarrollo, que se comentan a continuación.

1.1 Cierre basado en Geosintéticos

Esta alternativa considera que para la parte impermeabilizante se emplea una geomembrana con su capacidad comprobada como elemento de contención de flujo. Con esto se evita el empleo de un Soil Liner que puede ser difícil de encontrar a un costo de explotación aceptable en la zona.

Se entiende que el concepto de durabilidad de la geomembrana a lo largo del tiempo está contemplado.

Ahora se necesita colocar el sustrato de cobertura, pero aparece el problema de que la interfase de contacto entre el sustrato y la geomembrana posee el problema de disponer de un ángulo de fricción muy bajo que genera una superficie de falla.

Este problema ya ha ocurrido desde la década de los 90's en varios rellenos sanitarios y fue motivo de investigación hasta la fecha de cómo resolver este problema. Se toma la versión más básica según Koerner y Soong (1998). La

Figura 1 a la izquierda (a), muestra la evaluación de equilibrio, en ella se observa que para una inclinación determinada las fuerzas actuantes van a definir un Factor de Seguridad (FS), al resolver este diagrama de cuerpo libre se puede plotear el resultado para un caso singular, por ejemplo una altura de cobertura de $h=300\text{mm}$, con un ángulo beta de $2:1$ ó 26° , se requerirá un ángulo de interacción en la interfase de geomembrana y cobertura de alrededor de $\delta=25^\circ$ para un Factor de Seguridad de equilibrio (FS=1.0); si se requiere un Factor mayor se requerirá mayor ángulo de interacción delta. Pero ya ese ángulo de 25° es imposible de conseguir en un suelo de cobertura que será la base para un sustrato vegetativo, originándose un problema de estabilidad física por resolver. El problema se agudiza más cuando se evalúa:

- El proceso constructivo de la colocación de la cobertura,
- La saturación del sustrato por lluvia,
- Sismo.

Se entiende que para garantizar a largo plazo esta cobertura se necesita un auxilio físico que contrarreste esta inestabilidad.

De aquí se observa que se si se emplease un elemento que compense la tensión desestabilizante se lograría la estabilidad solicitada.

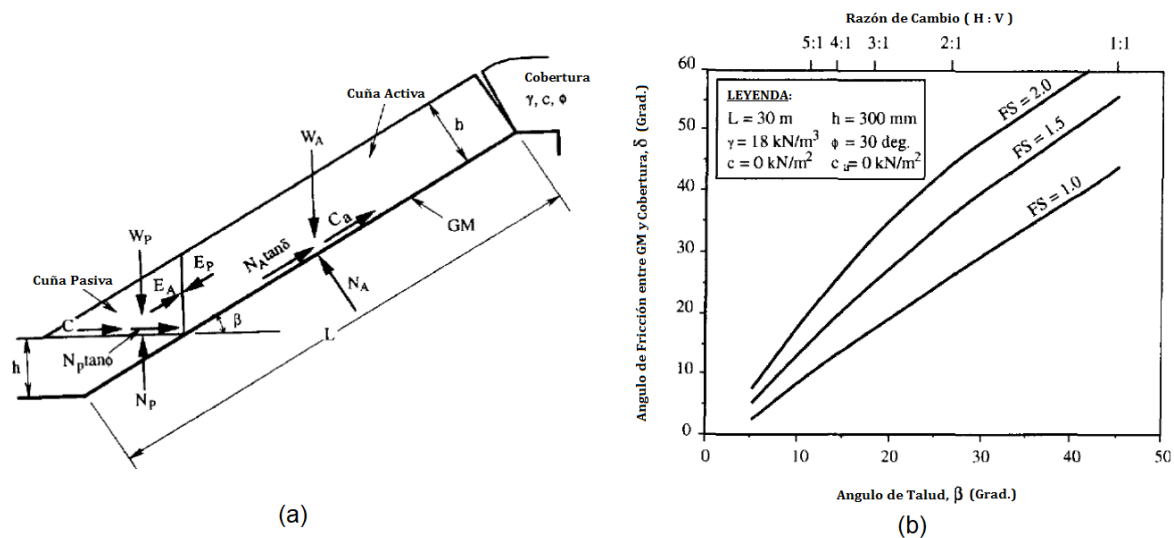


Figura 1. Esquema de equilibrio (a) y Cuadro de ejemplo (b), Koerner y Soong (1998).

Para el mejor entendimiento de la Figura 1 se muestra su fundamento como lo describiera Koerner y Soong (1998),

h = espesor del suelo de cobertura.

L = longitud del talud medido a lo largo de la zona inclinada.

β = ángulo del talud a cubrir.

Φ = ángulo de fricción del suelo de cobertura.

δ = ángulo de fricción de interfase entre el suelo de cobertura y la geomembrana o soil liner.

C_a = fuerza de adhesión entre el suelo de cobertura de la cuña activa y la geomembrana o soil liner.

ca = adhesión entre el suelo de cobertura de la cuña activa y la geomembrana o soil liner.

C = Fuerza de cohesión a lo largo del plano de falla de la cuña pasiva.

c = Cohesión del suelo de cobertura.

E_a = Fuerza entre cuñas actuando en la cuña activa desde la cuña pasiva.

E_p = Fuerza entre cuñas actuando en la cuña pasiva desde la cuña activa.

FS = Factor de seguridad contra el deslizamiento del suelo de cobertura sobre la geomembrana o soil liner.

De la cuña activa se tiene:

$$W_a = \gamma h^2 \left(\frac{L}{h} - \frac{1}{\sin \beta} - \frac{\tan \beta}{2} \right) \quad (1)$$

$$N_a = W_a \cos \beta \quad (2)$$

$$C_a = ca \left(L - \frac{h}{\sin \beta} \right) \quad (3)$$

La primera fuerza entre cuñas Ea es:

$$Ea = \frac{(FS)(W_A - N_A \cos \beta) - (N_A \tan \delta + Ca) \sin \beta}{\sin \beta (FS)} \quad (4)$$

De la cuña pasiva se tiene:

$$Wp = \frac{\gamma h^2}{\sin 2\beta} \quad (5)$$

$$Np = Wp + Ep \sin \beta \quad (6)$$

$$C = \frac{(c)(h)}{\sin \beta} \quad (7)$$

La segunda fuerza entre cuñas Ep es:

$$Ep = \frac{C + Wp \tan \phi}{\cos \beta (FS) - \sin \beta \tan \phi} \quad (8)$$

Igualando Ea=Ep se busca el valor del factor de seguridad (FS) el cual tendrá una forma cuadrática, por lo que si se arreglan los términos en forma de:

$$a(FS)^2 + b(FS) + c = 0 \quad (9)$$

Se puede resolver esta ecuación por la solución general para lo cual se los coeficientes a, b y c serán:

$$a = (W_A - N_A \cos \beta) \cos \beta \quad (10)$$

$$b = -[(W_A - N_A \cos \beta) \sin \beta \tan \phi + (N_A \tan \delta + Ca) \sin \beta \cos \beta + \sin \beta (C + Wp \tan \phi)] \quad (11)$$

$$c = (N_A \tan \delta + Ca)(\sin \beta)^2 \tan \phi \quad (12)$$

De este modo se obtiene el Factor de Seguridad para una condición dada.

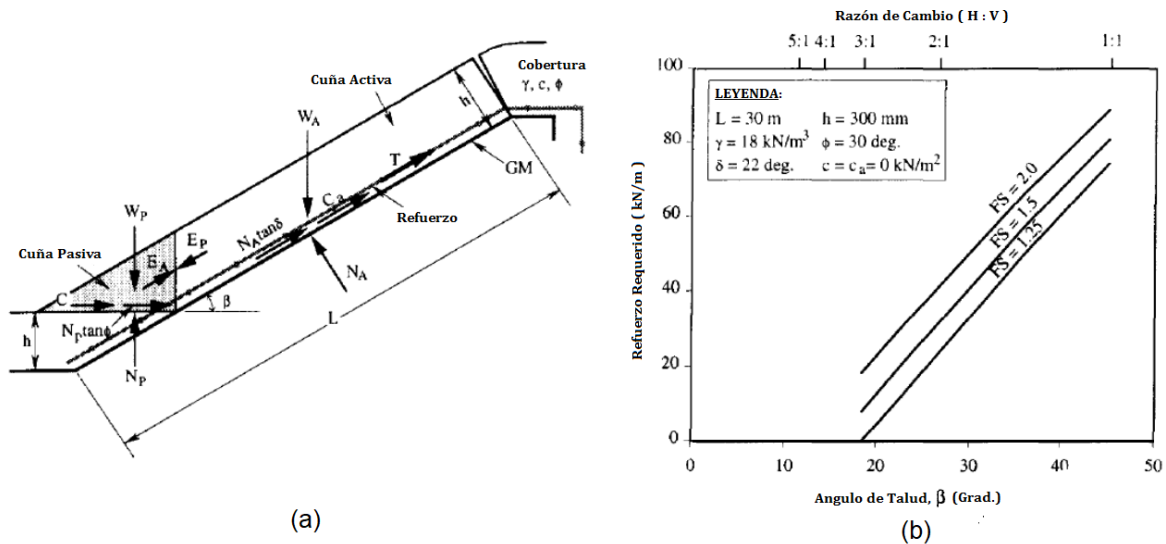


Figura 2. Esquema de equilibrio (a) y Cuadro de ejemplo (b) con la inclusión de refuerzo de cobertura, Koerner y Soong (1998).

La Figura 2 muestra el mismo caso pero con la adición de una geomalla de refuerzo que va debajo de la geocelda (tensor) que absorba las inestabilidades del primer caso, y aquí si es posible escoger una resistencia, por ejemplo de 30 ó 50kN/m para poder obtener una FS=1.50 ó 2.0, los que ya son muy apropiados para la estabilidad a largo plazo.

La evaluación realizada se basa en la inclusión de la tensión de la geomalla ó tensor (T) en las ecuaciones anteriores de esta forma:

$$Ea = \frac{(FS)(W_a - N_A \cos \beta - T \sin \beta) - (N_A \tan \delta + Ca) \sin \beta}{\sin \beta (FS)} \quad (13)$$

Luego de igualar $Ea=Ep$ los nuevos coeficientes de la expresión cuadrática del Factor de Seguridad FS serán:

$$a = (W_A - N_A \cos \beta - T \sin \beta) \cos \beta \quad (14)$$

$$b = -[(W_A - N_A \cos \beta - T \sin \beta) \sin \beta \tan \phi + (N_A \tan \delta + Ca) \sin \beta \cos \beta + \sin \beta (C + Wp \tan \phi)] \quad (15)$$

$$c = (N_A \tan \delta + Ca)(\sin \beta)^2 \tan \phi \quad (16)$$

El tensor o geomalla aporta con su tensión $T = Tw$, aquí Tw es la tensión de trabajo a largo plazo que contempla las reducciones por flujo plástico a largo plazo, daños de instalación, daños químicos y biológicos y otros que se consideren para esta cobertura.

Luego $T = Tw = T \text{ última} / (\text{producto de factores de reducción a largo plazo})$

El refuerzo así determinado cubre la necesidad de interacción en la interfase, sin embargo queda la necesidad de asegurar el resto de la cobertura en todo su espesor.

Para este caso entonces se determina la necesidad de un elemento que asegure la cobertura y a su vez permita el libre drenaje en la interfase.

Esto se logra con la inclusión de una geocelda adecuada para proporcionar drenaje a su vez que genere una macro corrugación de la superficie (ver Figura 3).

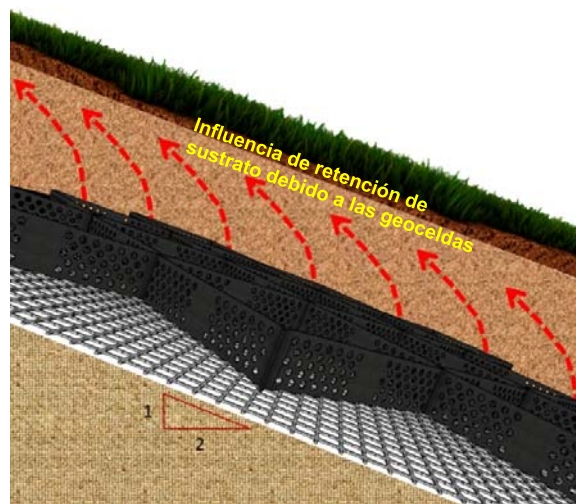


Figura 3. Las flechas en rojo indican la Influencia de las paredes de la geocelda en la retención del espesor del sustrato.

El compuesto Celda-Tensor posee una interacción mucho mayor que sólo el tensor, debido al perfil más pronunciado logrado por la celda.

Se pasa así de un efecto de micro corrugación a uno de macro corrugación que posee mayor capacidad de retención superficial del sustrato a largo plazo. (Figura 4)

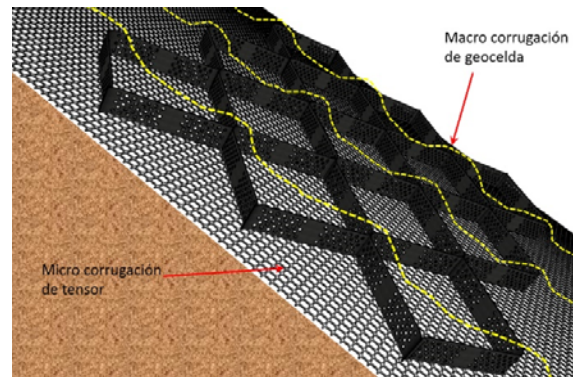


Figura 4. Micro y Macro corrugación para sustrato.

Adicionalmente se requiere de capacidad de drenaje en la parte inferior del sustrato lo que se logra con el mecanismo de retención que posee la geocelda (Figura 5).

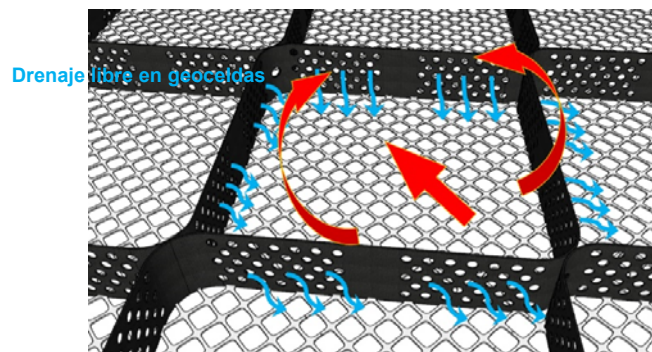


Figura 5. Las flechas azules representan el eventual drenaje esperado del sustrato a través de las perforaciones de la pared de geoceldas, las flechas en rojo muestran la retención del relleno por al geoceldas. Drenaje y retención de contenido por compuesto celda-tensor.

La geocelda no sólo confina el sustrato de la altura de la celda, también logra confinar a la proyección de influencia de las paredes de la celda.

También este compuesto permite el libre drenaje del sustrato inferior a través de las bandas perforadas, con la menor pérdida de matriz drenante.

El siguiente mecanismo es el de la cobertura vegetativa que se logra con un sustrato estable buscando la estabilidad biológica de la cobertura.

Waldron y Dakessian (1981) dejaron un precedente junto con Gray y Sotir (1996), que ha evolucionado a la fecha en lo que viene a ser la inclusión de la resistencia al corte debido a las raíces de las especies de la cobertura La Figura 6 muestra el modelo empleado, la ecuación de Coulomb modificada ahora es:

$$S = c + \sigma_N \tan \phi + \Delta S \quad (17)$$

En donde DS = resistencia al corte de raíces.

$$\Delta S = \Delta S1 + \Delta S2 \quad (18)$$

Aquí DS1 = Contribución de la resistencia al corte de la raíz por el ahogamiento por desplazamiento y está regulado por la expresión.

$$\Delta S1 = [\pi (\tau' Z a)^{1/2} \gamma \delta / 2As] \sum_{i=1}^m n_i d_i^{(b+3)/2} \quad (19)$$

También DS2 = Contribución de la resistencia al corte de la raíz por el deslizamiento o extracción de la raíz y está regulado por la expresión.

$$\Delta S2 = [\pi \tau' R \delta / 2As] \sum_{i=1}^j n_i d_i^{g+1} \quad (20)$$

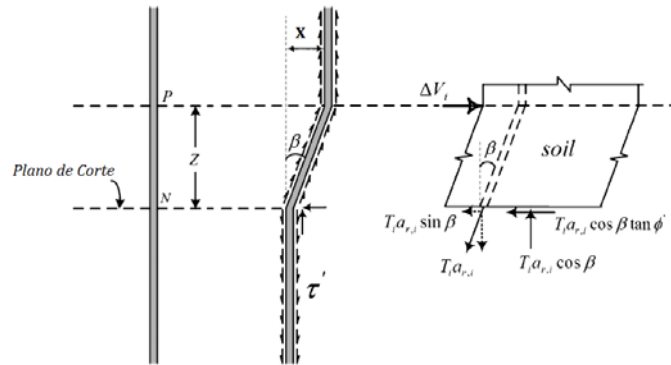


Figura 6. Modelo de comportamiento de Raíz.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 6 se presenta el mecanismo de aporte al corte de una raíz idealizada, esto ya con ensayos desde las décadas de los 70's y 80's permite disponer ahora de metodología más elaboradas y ensayadas del real aporte de las especies.

El cálculo del aporte permite disponer de una resistencia al corte que completa el esquema de estabilidad a un nivel físico biológico, que será perdurable en el tiempo. El comportamiento del sistema total se muestra en la Figura 7.

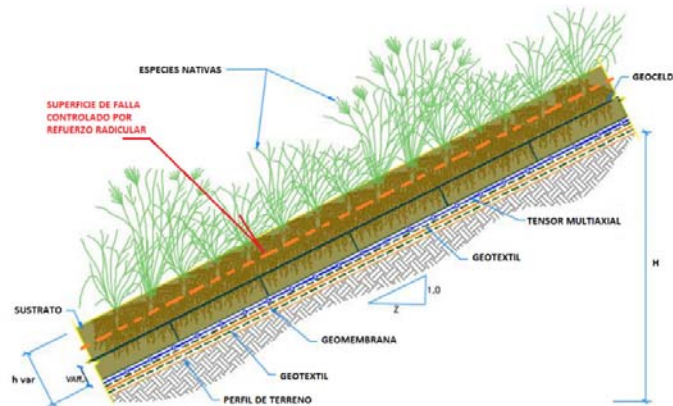


Figura 7. Esquema de refuerzo al corte radicular.

1.2 Cierre basado en Vegetación

En esta condición se estima que no se tiene contemplado emplear geomembranas o sistemas de macro corrugación con tensores.

La revisión de estabilidad requerirá definir un soil liner para la impermeabilización, sin embargo, la compactación en condiciones inclinadas y la cantidad de volumen requerido puede determinar la necesidad nuevamente de poder emplear una geomembrana, debido a su bajo costo y rapidez de instalación, añadido al aporte a la impermeabilización. Esto genera ya sea en el caso del soil liner ó la geomembrana, el mismo problema de inestabilidad de la interfase como se explicó en el numeral 1.1.

Se tiene la opción de determinar entonces que la cobertura necesitará asegurar su crecimiento vegetativo, para que con el modelo de resistencia al corte radicular se pueda garantizar la estabilidad físico biológica. Como se muestra en la Figura 7.

La alternativa de asegurar el crecimiento adulto de especies pasará por asegurar un periodo de varios años de que la sucesión y establecimiento que propicien un crecimiento radicular seguro sea posible. Esto lleva a una solución en dos etapas:

La primera etapa; en donde la especie es muy joven y no puede aportar estabilidad del sustrato aún, con el escaso crecimiento radicular, adicionalmente la especie demandará humedad del suelo, generando reducción de la presión de poro que al inicio puede ser beneficioso, pero por un proceso de evapotranspiración de la especie puede llegar a desecar el sustrato y generará agrietamiento que facilite la entrada de humedad a la interfase impermeabilizante, sobre todo en el caso de lluvia. Esta situación puede conducir a la falla de la cobertura. En este caso se debe asegurar el crecimiento de la especie a un nivel adulto con un crecimiento radicular adecuado que permita emplear las expresiones de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4. Esta etapa puede tomar entre 3 a 10 años, lo que con un factor de confianza puede ser entre 5 a 20 años. Durante ese umbral de tiempo se requiere un refuerzo físico temporal lo que conduce al empleo de un sistema de refuerzo y confinamiento, como se explicó en 1.1 pero con una característica : " que el sistema sea degradable", la industria de los geosintéticos actual permite esta posibilidad, con ello se espera que luego de 20 años el elemento de confinamiento y macro corrugación desaparezcan gradualmente en las próximas décadas.

La segunda etapa; aquí gobiernan la estabilidad las especies vegetativas adultas para el resto del periodo de vida esperado (cientos de años). En esta etapa las especies locales han logrado una auto sostenibilidad ante su entorno y se puede confiar en su presencia perenne en el tiempo.

La especie ha generado mecanismos de defensa y adaptación y la micro y macrofauna han establecido un ecosistema permanente.

2 DESARROLLO DE CONCEPTOS

2.1 *Revisión de una cobertura con geosintéticos.*

Como un ejemplo del empleo de la metodología, se asumen valores que requieren, en el caso de una aplicación real, ser revisados para proponer la cobertura con mejor beneficio/costo. Se debe ensayar los materiales de relleno que, según el diseño final puede incluir un estrato drenante con grava o no, y a su vez un sustrato para coberturas vegetativas o no. De estos estratos debe realizarse los ensayos de corte para obtener parámetros de fricción interna y ángulos de fricción de interfases, buscando los valores apropiados estadísticos para incluir los valores con las mejores propiedades en el cálculo.

Aclarado esto, para el ejemplo se presenta de modo teórico, pero típico de un caso de diseño de coberturas a un área que posee taludes que han sido adecuados para este propósito, que tienen una inclinación de 2H:1V (26.6°). La altura vertical es de 15m por lo que la longitud inclinada es de 33.54m.

La cobertura será de sólo sustrato para vegetación que posee un espesor de 300mm por requerimiento de las especies vegetativas. Posee un peso volumétrico natural de 16 kN/m³ y en condición saturada de 20 kN/m³. El sustrato tiene un ángulo de fricción interna de 20° y un ángulo de fricción de interfase con la geomembrana de 12°.

Tener presente que las coberturas para coberturas no se compactan, sólo se apisonan ya que se imposibilitará el desarrollo radicular de las especies.

Para la mejora de la cobertura se considerará una geocelda de polietileno, de abertura 600mmx600mm y altura de h=75mm junto a dos posibles tensores multiaxiales (geomallas) de 50kN/m y 100 kN/m, se seguirá el modelo de análisis de las Figura 1 y 2.

Se revisará caso a caso a la cobertura.

CASO 01 - ESTATICO:

Aquí el peso de la cobertura actúa como se muestra en la Figura 1. El factor de seguridad obtenido es de FS=0.44 lo que muestra inestabilidad general de la cobertura.

Con un Tensor Multiaxial de 50KN/m el factor de seguridad mejora a FS=1.47.

Con un Tensor Multiaxial de 100KN/m el factor de seguridad mejora a FS=2.20.

CASO 02 – PSEUDO ESTATICO:

El factor de seguridad obtenido con un coeficiente de aceleración de 0.175g es de FS=0.31 lo que muestra mayor inestabilidad por efecto del sismo.

Con un Tensor Multiaxial de 50KN/m el factor de seguridad mejora a FS=1.01.

Con un Tensor Multiaxial de 100KN/m el factor de seguridad mejora a FS=1.49.

CASO 03 – INFILTRACION PARALELA A COBERTURA:

La lluvia logra generar un nivel paralelo a la geomembrana de un flujo entre poros de 0.05m de altura. Esto reduce la resistencia al corte por presión de poros. El Factor de seguridad llega a ser FS=0.40, esto es menor que la versión estática sin lluvia como se espera.

Con un Tensor Multiaxial de 50KN/m el factor de seguridad mejora a FS=1.30

Con un Tensor Multiaxial de 100KN/m el factor de seguridad mejora a FS=1.89.

CASO 04 – INFILTRACION PARALELA A COBERTURA CON SISMO:

Existe la posibilidad de una lluvia de 100 años dentro de un periodo de retorno de sismo de 500 años. Este caso es exigente pero posible por lo que se realiza el análisis. El Factor de seguridad llega a ser FS=0.30, esto es mucho menor que la versión estática sin lluvia ó con lluvia.

Con un Tensor Multiaxial de 50KN/m el factor de seguridad mejora a FS=0.97

Con un Tensor Multiaxial de 100KN/m el factor de seguridad mejora a FS=1.44.

Se presenta un resumen en la Figura 8, en el gráfico se observa que si se escogiese un Factor de estabilidad de 1.30 estático y 1.10 pseudo estático la cobertura sola no pasaría esta evaluación de casos, muy diferente a lo que se suponía años atrás de que la cobertura podría ser suficiente con la colocación de un suelo sobre una geomembrana o un soil liner. Se ha realizado muchos ensayos de corte directo para conocer los ángulos de fricción de varias posibilidades de coberturas pero no ha sido observado el comportamiento a largo plazo y los efectos a los que estará sometido esta cobertura por 500, 800 ó 1000 años.

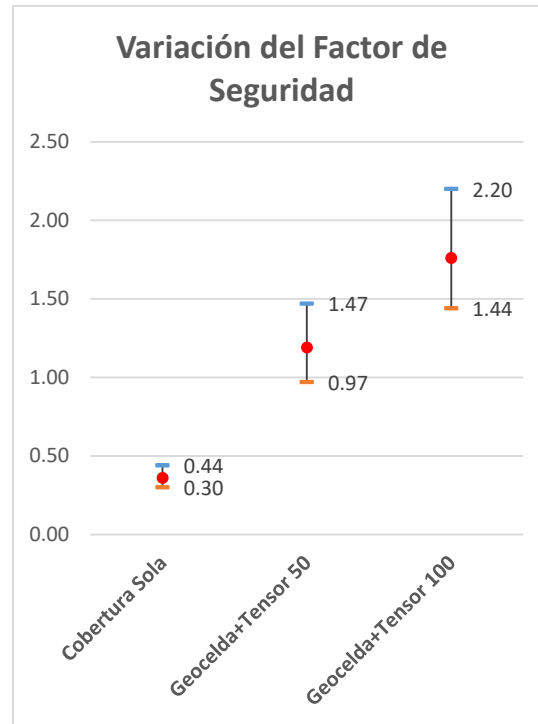


Figura 8. Mejoras al Factor de Seguridad de la Cobertura según evaluación por casos.

Esto da lugar a la necesidad de mejorar esta situación y lo explicado en el acápite 1.1 puesto en práctica da como resultado dos opciones, siguiendo la opción mostrada en las Figuras 3, 4 y 5 se revisó y se muestran los resultados en la Figura 8, allí la opción de una geocelda como la descrita con un tensor Multiaxial del tipo 50 cubre la estabilidad en su versión mínima, con el empleo de un tensor Multiaxial del tipo 100 si es posible satisfacer con seguridad valores apropiados para el largo plazo como se espera para una cobertura de cierre de minas, cuyos períodos de vida útil son de cientos de años según se muestra en la Figura 9.

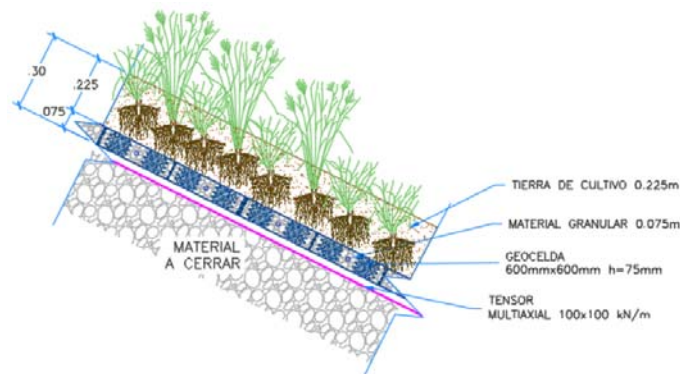


Figura 9. Cobertura resultante del ejemplo desarrollado.

2.2 Revisión de una cobertura con vegetación.

Para el caso de una cobertura sin geosintéticos se dispone solamente de la resistencia al corte de las raíces de las plantas para lograr la estabilidad a largo plazo.

Es importante revisar el concepto de la evapotranspiración de la planta y evaluar la pérdida o ganancia de humedad del suelo de sustrato. Esto puede alterar la protección a largo plazo.

Se plantea el ejemplo del acápite 2.1 con los datos ya explicados.

Se tiene entonces para el caso de dos situaciones especies gramíneas tipo pasturas o especies gramíneas tipo arbustivas en el plan de solución biológica.

Las pasturas poseen raíces con diámetros entre 0.1mm a 0.5mm para el ejemplo.
Las arbustivas poseen raíces con diámetros entre 0.25mm a 6.0mm para el ejemplo.

Según lo expresado en las ecuaciones 2, 3 y 4 se puede disponer de una resistencia al corte para ambos casos para un crecimiento maduro y vigoroso de:

ΔS pastura aprox.3 kN/m²
 ΔS arbustiva aprox.5 kN/m²

Si esto se aplica a la ecuación 1 y se considera que el suelo del sustrato no es cohesivo y que la presión normal de 300mm de cobertura se equipara a una fuerza de fricción debido al peso normal de un metro cuadrado de cobertura, entonces tenemos que el valor ΔS actúa como una pseudo cohesión que colabora a la estabilidad de la fricción.

De ello si se revisa el caso estático se tiene para:

Pasturas un FS = 1.82
Arbustivas un FS=2.75

En condición con lluvia:

Pasturas un FS = 1.53
Arbustivas un FS=2.28

En el caso de sismo y sismo y lluvia los valores serán menores pero aceptables.

Sin embargo, el requisito para que esto se cumpla es que la raíz de la especie atraviese la interfase entre el sustrato y el soil liner. Si no se tendría un plano de falla potencial. Esto se complica más si el elemento impermeabilizante es una geomembrana.

Otro tema es asegurar que la especie sea madura y vigorosa para establecerse de modo perenne y realice sucesiones continuas. Ese proceso puede tomar varios años (al menos entre 10 a 20 años). Por lo que es más correcto pensar en colocar un auxilio físico como geosintéticos degradable que permitan el desarrollo de la especie hasta que tome el control de la estabilidad física en décadas.

Se necesitará a un futuro próximo el dominio de técnicas con el empleo de biotecnología para asegurar el crecimiento de grupos bacterianos que garanticen un crecimiento predecible y seguro de la especie para poder a su vez garantizar la estabilidad de la cobertura.

3 CONCLUSIONES

3.1 Para la cobertura con geosintéticos

- El alto costo de emplear arcilla requerirá como control a una estabilidad química del empleo de geomembrana.
- No es posible asegurar una cobertura con parámetros de corte que permitan un factor de fricción apropiado para la estabilidad. Esto debido a que la cobertura tiene como requisitos cantidad de vacíos, contenido orgánico y sin compacidad, para un desarrollo vegetativo.
- Aun asegurando la estabilidad en la interfase de cobertura con impermeabilización, no es posible asegurar la estabilidad del sustrato ante varios eventos que aparecerán durante un período muy largo de vida útil de la cobertura.
- El empleo de geoceldas con un efecto de macro corrugación y un tensor multiaxial de alto módulo, logran satisfacer la estabilidad de todo el sustrato.
- Las especies completarán el esquema de estabilidad biológica solicitado.

3.2 Para la cobertura con vegetación

- La decisión de emplear soil liner o geomembrana será una decisión importante para la barrera impermeabilizante.

- Independiente de la selección de impermeabilización el problema de la inestabilidad de sustrato continúa y se torna aún más álgido si no se emplea algún sistema de refuerzo y confinamiento.
- El planteamiento es reforzar el sustrato con elementos degradables por períodos suficientes para que la planta logre la madurez. El mercado actual ofrece geosintéticos degradables para tal fin.
- Luego de una etapa de una a dos décadas se espera que sean las especies las que regulen la estabilidad de la cobertura a largo plazo (cientos de años).

REFERENCIAS

- Briacon L., Girard H., Poulain D. (2002). "Slope stability of lining systems – experimental modeling of friction at geosynthetic interfase", *Geotextiles and Geomembranes* 20 (2002): 147-172.
- Carrol R., Chouery-Curtis V. (1991). "Geogrid Reinforcement in Landfill Closures", *Geotextiles and Geomembranes* 10(1991): 89-104.
- Fierro G. (2019). "Metodología para diseño de coberturas de cierre de Minas", *Minería – Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*, Lima, Perú - 504 (2019): 74-87.
- Gray D., Sotir R. (1996). "Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization". New York, USA, John Wiley & Sons, Inc.
- Koerner, R. M., Soong, T. Y. (1998). "Analysis and Design of Veneer Cover Soils", *Proceedings of the 6th International Conference on Geosynthetics*, Atlanta, GA, USA, (1998): 1-23.
- Palmeira E., Viana H. (2003). "Effectiveness of geogrids as inclusion in cover soils of slopes of waste disposal areas", *Geotextiles and Geomembranes* 21 (2003): 317-337.
- Tien H. Wu (2013) "Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results, and applications to design", *Canadian Geotechnology Journal* 50(2013): 259–274.
- Waldron L.J., Suren Darkessian (1981). "Soil reinforcement by roots: Calculation of increased soil shear resistance from root properties", *Soil Science* 132(6): 427-435.