

RESUMEN

En este trabajo se realiza una introducción general en calidad de antecedentes, al estudio del proceso de compactación sufrida por los residuos de sal, debido a su propio peso, desde su colocación en una escombrera minera, en base a información bibliográfica actualizada.

El objetivo, de esta tesina es la evaluación de la estabilidad de escombreras de agregados de sal teniendo en cuenta las particularidades reológicas de este material.

Debido al confinamiento, a la presencia de agua y a la propia granulometría del material, los granos de sal sufren un proceso de disolución y recristalización parecido una cementación que aumenta la resistencia de la sal.

La tesina trata de estudiar cómo influye este fenómeno, con respecto a la estabilidad de las laderas de las escombreras salinas, en base a la caracterización del comportamiento mecánico de los agregados de granos de sal, mediante un modelo numérico; Para ello se ha utilizado el Code_Bright_GiD, un programa desarrollado en el Departamento de Ingeniería del Terreno que básicamente acopla el problema mecánico, hidráulico y térmico en el medio geológico usando el método de elementos finitos.

El estudio de la estabilidad de las escombreras al que hemos hecho mención, se particulariza en esta tesina para el conjunto escombrera-balsa de lodos-terreno natural de la escombrera del Cogulló en Sallent.

Se ha analizado el problema mediante elementos finitos para diferentes disposiciones de vertido; principalmente se ha estudiado para una disposición de las capas salinas inclinadas hacia ambos lados sobre la balsa de lodos, dado que esta geometría es la que más se ajustaría al método de trabajo en una escombrera, pero también se ha analizado el problema para capas inclinadas hacia un solo lado y para capas totalmente horizontales.

Así mismo, se han tenido en cuenta diversas hipótesis de trabajo. En primer lugar se ha considerado la rotura en condiciones no drenadas, dado que es la más conservadora, y se ha aplicado para cada disposición de vertido, y para diferentes valores de resistencia al corte sin drenaje ($c_u = 30, 40, 50$ kPa).

En segundo lugar, se ha estudiado el problema considerándolo completamente drenado. Este caso es interesante puesto que permite analizar las consecuencias de la consolidación de los lodos, aunque no es en absoluto realista dadas las características del propio material.

Por último, se han realizado algunos cálculos en condiciones acopladas, es decir, con drenaje pero limitado por la permeabilidad de los lodos. Para analizar la influencia del tiempo se han considerado tres escalas de tiempo diferentes.

A continuación se detallan los resultados para cada hipótesis y geometrías mencionadas:

Caso no drenado:

1. Capas inclinadas a ambos lados

Dado que la resistencia al corte sin drenaje juega un papel decisivo en la estabilidad del conjunto, se ha optado por analizar el resultado del problema para varios valores de c_u (30, 40 y 50 kPa).

Del resultado de los análisis podemos destacar que para los tres casos la rotura se genera en las primeras fases de la construcción, es decir durante la sexta semana que corresponde a la construcción de la cuarta capa salina.

Observando las gráficas para los tres casos, se advierte un comportamiento muy similar tanto en desplazamientos como en tensiones y deformaciones plásticas, sin embargo el

hecho relevante a destacar es que no sucede lo mismo con las magnitudes (las cuales no se deben de tomar en ningún momento como valores cuantitativos sino como valores cualitativos, como ya se ha comentado anteriormente).

Es decir, no sólo se observa que cuanto mayor es la resistencia al corte sin drenaje (c_u) menores son los desplazamientos, sino que también se observa que los desplazamientos disminuyen de forma exponencial al aumentar el c_u . Este hecho no sólo sucede con los desplazamientos sino que ocurre de igual forma con las deformaciones plásticas y las tensiones.

2. Capas Horizontales

Vemos cómo para el caso de 30 kPa el momento de la rotura se da con desplazamientos a 68 días que corresponde a una altura de relleno de unos 30 metros, es decir, aunque se pueden construir algunas capas más, se alcanza la rotura antes de llegar a la cota máxima. Se han ido incrementando los desplazamientos desde los 60 días.

3. Capas inclinadas hacia un lado

Para el caso de $c_u = 30$ kPa la rotura también se da antes de alcanzar la cota máxima. Los movimientos se aceleran a los 10 días que corresponde al final de la construcción de la pila triangular. Los máximos son mayores que 2 metros al final de la construcción, por lo tanto la rotura se da en realidad con anterioridad.

El caso $c_u = 50$ kPa también tiene unos desplazamientos importantes y probablemente tendría una situación de inseguridad límite.

Caso totalmente drenado y capas inclinadas hacia un lado:

En este análisis observamos que los movimientos horizontales en los lodos son importantes pero para el caso de resistencia al corte sin drenaje de 30 kPa se estabilizan cosa que no sucedía para el caso no drenado con el mismo valor de c_u .

Caso acoplado y capas inclinadas hacia un lado:

Para este caso se ha considerado una permeabilidad de los lodos de $10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ que corresponde a 10^{-9} m/s .

Con el fin de analizar la influencia del tiempo, se ha construido la pila triangular y la primera capa de sal inclinada en un total de 190 días, 190 semanas y 190 meses. Si consideramos el caso muy lento (190 meses) aceptable (en el sentido que al ser lento se produce consolidación) entonces se necesita una permeabilidad mayor del terreno o bien una longitud de drenaje inferior, ya que la escala de tiempo muy lenta (que permite disipaciones de presiones de agua) es todavía insuficiente para conseguir que las condiciones se asemejen al caso totalmente drenado. Por lo tanto se generan presiones intersticiales que todavía reducen la resistencia significativamente.

Para concluir, podemos decir que para mejorar la resistencia de los lodos podemos optar por cargar lentamente o acelerar la disipación de las presiones intersticiales mediante drenes que reducen la distancia de drenaje.