

7. PROPUESTA DE SANEAMIENTO PARA TALUDES

7.1 Introducción

La aplicación de medidas correctoras de saneamiento puede realizarse sobre taludes en construcción, ó bien ya construidos con pendientes más fuertes para su estabilización, para un factor de seguridad predeterminado, ó para estabilizar fenómenos de rotura, en aquellos en que constructivamente sea posible. En el área de estudio las medidas se enfocan al saneamiento de un trazo carretero, en el cual la rotura debe ser solucionada de la forma más segura, sin perjuicio del costo económico que ello suponga (González de Vallejo *et al*, 2002).

Cuando un talud es inestable ó su estabilidad resulta baja, una forma de actuar sobre él es modificando su geometría para obtener una nueva configuración que resulte estable. Esta modificación busca obtener al menos uno de los dos efectos siguientes (Ayala *et al*,1987):

- ✓ Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa, es decir, reduciendo el volumen de material de la parte superior del talud.
- ✓ Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura, es decir, incrementar el volumen de material en el pie del mismo.

Las formas de actuar sobre la geometría del talud para mejorar su estabilidad, generalmente son:

- ✓ Eliminar la masa inestable ó potencialmente inestable.
- ✓ Descabezamiento del talud.
- ✓ Construcción de tacones de tierra ó escollera.
- ✓ Construcción de bermas intermedias, en taludes altos.

Otra forma de propiciar la estabilidad del talud, cuando se tienen bloques de roca deslizantes, es el sostenimiento de ellos por medio de anclajes ó cables. Estos trabajan a tracción y colaboran en dos formas (Ayala *et al*, 1987):

- ✓ Proporcionan una fuerza contraria al movimiento del bloque deslizante.
- ✓ Producen un incremento de las tensiones normales en la existente ó potencial superficie de rotura, lo que provoca un aumento de la resistencia al corte de dicha superficie ($\tau - c + \sigma \tan \phi$).

7.2 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #1 (Km. 29+890)

- ✖ Considerando la orientación de la línea de intersección de la cuña con respecto al talud, una forma viable de mejorar la inestabilidad presente es cambiar el rumbo del talud de corte para que la dirección de deslizamiento de la cuña quede dentro de la cara del talud, pero considerando que el trazo de la carretera no se puede modificar por las condiciones de funcionamiento actuales, otra solución sería abatir la cara del talud hasta que su ángulo de inclinación sea menor al ángulo de inmersión de la línea de intersección, para que el deslizamiento sea contrarrestado por fricción. En este caso el nuevo ángulo de inclinación sería menor a 57° considerando un margen de seguridad de -10° respecto a la inmersión de la línea de deslizamiento.
- ✖ Aplicar un sistema de ademe por medio de anclas cementadas, de tal forma que para estimar la capacidad de carga que debe tener cada una de ellas se puede resolver mediante la siguiente ecuación (Hoek y Brown, 1980):

$$T = \frac{W(FS \times \sin \psi - \cos \psi \times \tan \phi) - cA}{\cos \theta \times \tan \phi + FS \times \sin \theta}$$

donde:

T = Capacidad de carga del ancla.

W = Peso de la cuña.

A = Área de base de la superficie de deslizamiento.

ψ = Inmersión de la línea de deslizamiento.

θ = Ángulo entre la inclinación del ancla y la normal de la línea de deslizamiento.

c = Cohesión de la superficie de deslizamiento.

ϕ = Ángulo de fricción de la superficie de deslizamiento.

Para poder calcular el ángulo de inclinación del ancla, Hoek y Brown (1980), indican que para estimar el factor de seguridad más alto se obtendrá cuando el ángulo entre la línea de intersección y el ángulo de inclinación del ancla sea igual al ángulo de fricción ϕ . El valor de la inclinación línea de intersección es de 67° , al cual le sumamos $\phi = 32^\circ$, $67+32 = 99^\circ$ (ángulo medido desde la vertical hacia arriba), (Fig. 7.1).

El volumen de la cuña, para poder estimar el peso de ésta, se calcula de la siguiente manera (Kliche, 2000):

1) Se calcula la longitud de la línea de intersección, considerando que el fracturamiento que acuña los bloques, es en forma continua desde la cresta del talud hasta su base:

$$L_s = \frac{H}{\sin \psi} = \frac{10}{\sin 67^\circ} = 10.86 \text{ m}$$

2) Se determinan la altura de la cuña en los planos A y B, en base a las dimensiones angulares que se obtuvieron en el capítulo 5:

$$h_A = \frac{L_s}{\left(\frac{1}{\tan \theta_{1-s}} + \frac{1}{\tan \theta_{3-s}} \right)} = \frac{10.86}{\left(\frac{1}{\tan(5^\circ)} + \frac{1}{\tan(84^\circ)} \right)} = \frac{10.86}{11.53} = 0.94$$

$$h_B = \frac{L_s}{\left(\frac{1}{\tan \theta_{2-s}} + \frac{1}{\tan \theta_{4-s}} \right)} = \frac{10.86}{\left(\frac{1}{\tan(3^\circ)} + \frac{1}{\tan(68^\circ)} \right)} = \frac{10.86}{19.48} = 0.55$$

3) Se calcula el área del plano A:

$$A_A = \frac{h_A L_s}{2} = \frac{(0.94) \times (10.86)}{2} = 5.10$$

4) La altura de d, desde el ápex del plano B (el punto de intersección de las líneas 2 y 4) normal al plano A:

$$d = h_b \times \sin(\theta_{na nb}) = 0.55 \times \sin(69^\circ) = 0.51$$

5) El volumen y peso de la cuña están dados por:

$$V_w = \frac{A_A \times d}{3} = \frac{5.10 \times 0.51}{3} = 0.867$$

$$W_w = V_w \times \gamma = (0.867)(2400) = 2080 \text{ Kg}$$

6) La capacidad de carga del ancla será de:

$$T = \frac{W(\text{FS} \times \sin \psi - \cos \psi \times \tan \phi) - cA}{\cos \theta \times \tan \phi + \text{FS} \times \sin \theta} = \frac{2080(0.01 \times (\sin(67) - \cos(67) \times \tan(31)) - (3863)(5.1))}{\cos(99) \times \tan(31) + (0.01) \times \sin(99)}$$

$$T = \frac{1969}{0.1037} = 18.9 \text{ ton, instalada con una dirección paralela y un ángulo de inclinación de } 32^\circ$$

respecto a la línea de inmersión.

7) El espaciamiento entre discontinuidades medido para la clasificación geomecánica RMR a este talud (apartado 4.4.1), indica la distancia en que se debe trazar la plantilla de anclaje, que es de 1.0 m entre un plano y otro, suponiendo que se tienen dos sistemas, se aplicará cada 2.0 m horizontalmente y 1.0 m verticalmente por ser el valor promedio de los espesores de la

estratificación que delimitan los bloques en ese sentido. Para la longitud del ancla se toma en cuenta tres veces el espaciamiento (Hoek y Brown, 1980) para poder auto sujetarse, si estimamos que se tiene 2.0 m de espaciamiento para la cuña, se recomienda una longitud de 6.0 m (Fig. 7.1). Se debe colocar malla ciclónica como contención de pequeños caídos que puedan caer hacia la carretera, aprovechando la sujeción del anclaje.

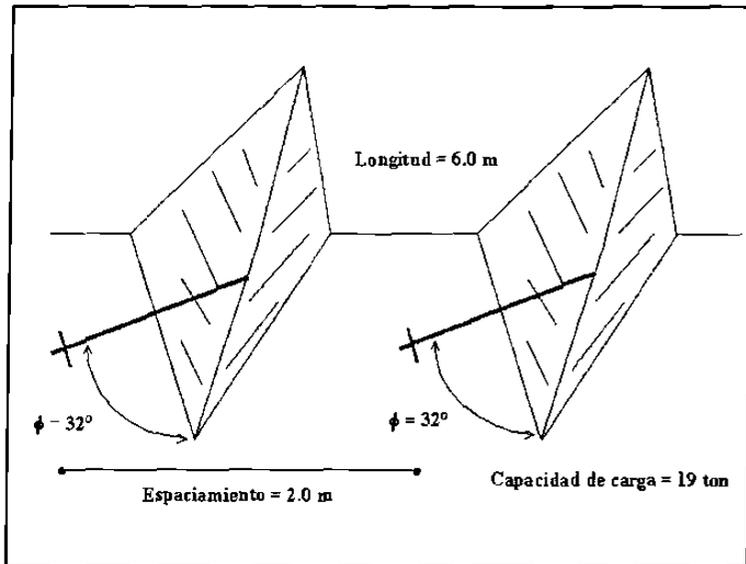


Fig. 7.1 Especificaciones de ademado mediante anclaje sistemático, para el Talud #1.

7.3 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #2 (Km. 29+080)

- ✘ Siguiendo la orientación del plano de deslizamiento respecto al talud, se recomienda cambiar la dirección del echado del talud de corte a un rumbo azimuthal menor ó igual a 296° . Otra forma de contrarrestar la inestabilidad por cinemática es abatiendo la inclinación del talud hasta un valor menor de 25° que corresponde al plano de deslizamiento.
- ✘ La altura del talud es crítica y de acuerdo a las dimensiones del corte, la implementación de bermas para el mejor control de los deslizamientos potenciales es una solución factible. Para este corte se recomienda modificar la geometría del talud de acuerdo al siguiente gráfico (Fig. 7.2). El criterio para el diseño de las bermas, fue en base al ángulo de rozamiento del plano de deslizamiento, además de la posición geométrica de las diaclasas ortogonales que delimitan bloques que tenderán a deslizar:

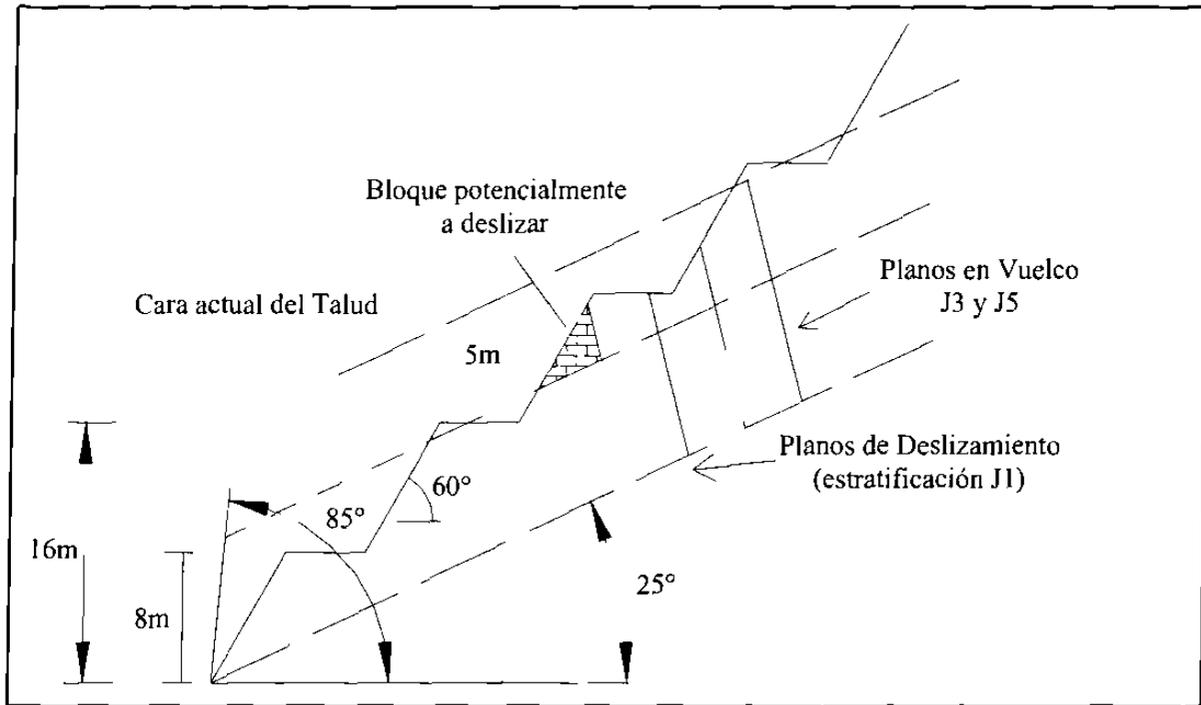


Fig. 7.2 Dimensiones de las bermas para el control de los deslizamientos del Talud #2.

7.4 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #3 (Km. 29+360)

- ✘ Una solución viable para disminuir la probabilidad de falla del talud, es reducir la altura de este por medio de bermas de 5 m de altura con ancho de banco de 10 m para poder controlar los deslizamientos de los bloques, teniendo como ángulo de inclinación de los bancos un valor menor a 47° , siendo el rango que por fricción (34°) sumando la inmersión de la línea de intersección, no tenderá a deslizarse la cuña.
- ✘ Aplicar un sistema de ademe por medio de anclaje. Para estimar la capacidad de carga del ancla que soportará las cuñas, se hicieron los siguientes cálculos:

1) El ángulo de inclinación del ancla: El valor de la inclinación línea de intersección es de 13° , al cual le sumamos $\phi = 34^\circ$, $13+32 = 45^\circ$ (medido desde la vertical hacia arriba), (Fig. 7.3).

2) Longitud de la línea de intersección: considerando que el fracturamiento que acuña los bloques, es el espesor de la estratificación para la Formación Tamaulipas Inferior es de 3 m:

$$L_5 = \frac{H}{\sin \psi_1} = \frac{3}{\sin 13^\circ} = 13.33 \text{ m}$$

2) Altura de la cuña en los planos A y B, en base a las dimensiones angulares que se obtuvieron en el capítulo 5, para este talud:

$$h_A = \frac{L_5}{\left(\frac{1}{\tan \theta_{1,5}} + \frac{1}{\tan \theta_{3,5}} \right)} = \frac{13.33}{\left(\frac{1}{\tan(90^\circ)} + \frac{1}{\tan(30^\circ)} \right)} = \frac{13.33}{1.74} = 7.61$$

$$h_B = \frac{L_5}{\left(\frac{1}{\tan \theta_{2,5}} + \frac{1}{\tan \theta_{4,5}} \right)} = \frac{13.33}{\left(\frac{1}{\tan(64^\circ)} + \frac{1}{\tan(15^\circ)} \right)} = \frac{13.33}{4.21} = 3.16$$

3) Área del plano A:

$$A_A = \frac{h_A L_5}{2} = \frac{(7.61) \times (13.33)}{2} = 50.72$$

4) La altura de d, desde el ápex del plano B (el punto de intersección de las líneas 2 y 4) normal al plano A:

$$d = h_B \times \sin(\theta_{na}) = 3.16 \times \sin(84^\circ) = 3.14$$

5) El volumen y peso de la cuña:

$$V_w = \frac{A_A \times d}{3} = \frac{50.72 \times 3.14}{3} = 53.08 \text{ m}^3$$

$$W_w = V_w \times \gamma = (53.08)(2400) = 127,408 \text{ Kg}$$

6) Capacidad de carga del ancla, de acuerdo al factor de seguridad estimado:

$$T = \frac{W(FS \times \sin \psi - \cos \psi \times \tan \phi) - cA}{\cos \theta \times \tan \phi + FS \times \sin \theta} = \frac{127408(1.44 \times (\sin(13) - \cos(13) \times \tan(34))) - (4039)(3.14)}{\cos(45) \times \tan(34) + (1.44) \times \sin(45)}$$

$$T = \frac{77085}{1.5} = 51 \text{ ton, instalada con una dirección paralela y un ángulo de inclinación de } 34^\circ$$

respecto a la línea de inmersión.

7) El espaciamiento entre discontinuidades (apartado 4.4.3) para esta talud es de 2.5 m, suponiendo que se tienen dos sistemas que delimitan la cuña, se aplicará cada 5.0 m horizontalmente y 3.0 m verticalmente por ser el valor promedio de los espesores de la estratificación que delimitan los bloques en ese sentido. La longitud del ancla es determinada en base al espaciamiento entre las discontinuidades aumentada por 3 veces, entonces la longitud del

ancla necesaria para el sostenimiento del bloque será de 7.5m (Fig. 7.3). La implementación de malla ciclónica además del ademe anterior, será de utilidad como contención de desprendimientos que puedan proyectarse hacia la carretera.

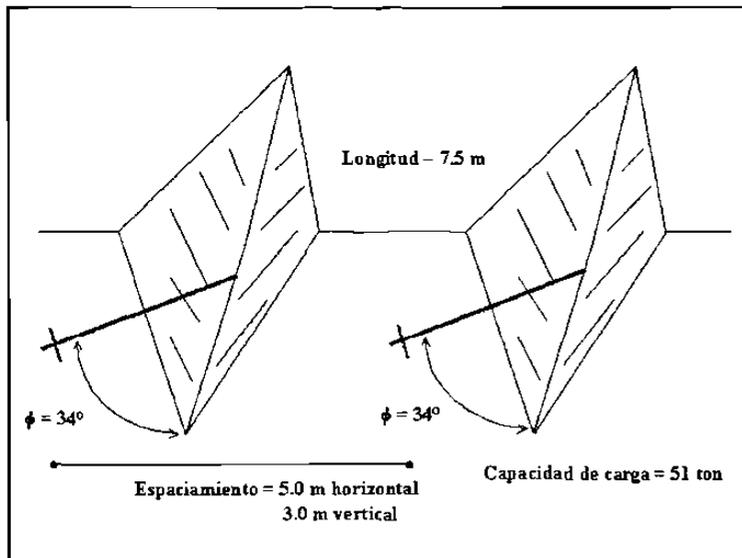


Fig. 7.3 Especificaciones de ademeo sistemático de cuñas para el Talud #3, empleando anclas cementadas.

7.5 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #4 (Km. 30+280)

- ✘ Una solución viable para disminuir la probabilidad de falla del talud, es reduciendo la altura de este por medio de bermas de 5 m de altura con ancho de banco de 10 m para poder controlar los deslizamientos de los bloques, teniendo como ángulo de inclinación de los bancos un valor menor a 47° , siendo el rango que por fricción (34°) sumando la inmersión de la línea de intersección, no tenderá a deslizarse la cuña cinemáticamente hablando.
- ✘ Aplicar un sistema de ademe por medio de anclaje para sostenimiento de los bloques acuñaos, de acuerdo a las siguientes especificaciones:

1) El ángulo de inclinación del ancla respecto a la línea de intersección de 76° junto con el ángulo de fricción $\phi = 32^\circ$, es de: $76+32 = 108^\circ$ (respecto a la vertical), (Fig. 7.4).

2) Longitud de la línea de intersección, considerando que las dimensiones de la cuña esta delimitada por es el espesor de la estratificación para la Formación Tamaulipas Superior es de 3 m:

$$L_5 = \frac{H}{\text{sen}\psi_1} = \frac{3}{\text{sen } 76^\circ} \approx 3.09 \text{ m}$$

3) La altura de la cuña en los planos A y B, en base a las dimensiones angulares que se obtuvieron en el capítulo 5:

$$h_A = \left(\frac{L_5}{\tan \theta_{1,5}} + \frac{L_5}{\tan \theta_{3,5}} \right) = \left(\frac{3.09}{\tan(11^\circ)} + \frac{3.09}{\tan(81^\circ)} \right) = \frac{3.09}{5.30} = 0.58$$

$$h_B = \left(\frac{L_5}{\tan \theta_{2,5}} + \frac{L_5}{\tan \theta_{4,5}} \right) = \left(\frac{3.09}{\tan(7^\circ)} + \frac{3.09}{\tan(79^\circ)} \right) = \frac{3.09}{8.33} = 0.37$$

4) Área del plano A:

$$A_A = \frac{h_A L_5}{2} = \frac{(0.58) \times (3.09)}{2} = 0.89$$

5) La altura de d, desde el ápex del plano B (el punto de intersección de las líneas 2 y 4) normal al plano A:

$$d = h_b \times \text{sen}(\theta_{na, nb}) = 0.37 \times \text{sen}(88^\circ) = 0.36$$

6) Volumen y peso de la cuña:

$$V_w = \frac{A_A \times d}{3} = \frac{0.89 \times 0.36}{3} = 0.10 \text{ m}^3$$

$$W_w = V_w \times \gamma = (0.10)(2400) = 240 \text{ Kg}$$

7) Capacidad de carga del ancla:

$$T = \frac{W(\text{FS} \times \text{sen}\psi - \cos \psi \times \tan \phi) - cA}{\cos \theta \times \tan \phi + \text{FS} \times \text{sen}\theta} = \frac{240(-1.71 \times (\text{sen}(76) - \cos(76) \times \tan(32)) - (3131)(0.89)}{\cos(108) \times \tan(32) + (-1.71) \times \text{sen}(108)}$$

$$T = \frac{-3122}{-1.81} = 1.7 \text{ ton, instalada con una dirección paralela y un ángulo de inclinación de } 32^\circ$$

respecto a la línea de inmersión.

8) El espaciamiento entre fracturas (apartado 4.4.4) nos indica la distancia en que se debe trazar la plantilla de anclaje, que es de 2.5 m entre un plano y otro, suponiendo que se tienen dos

sistemas, se aplicará cada 5.0 m horizontalmente y 3.0 m verticalmente por el valor de la estratificación que delimita la cuña verticalmente. La longitud del ancla se calcula de acuerdo a la dimensión del bloque que es de 5 m, para lo cual se agrega la mitad de dicha dimensión como rango de seguridad, resultando una longitud de 7.5 m (Fig. 7.4). Se debe colocar malla ciclónica para controlar desprendimientos menores que las anclas no sujetarán.

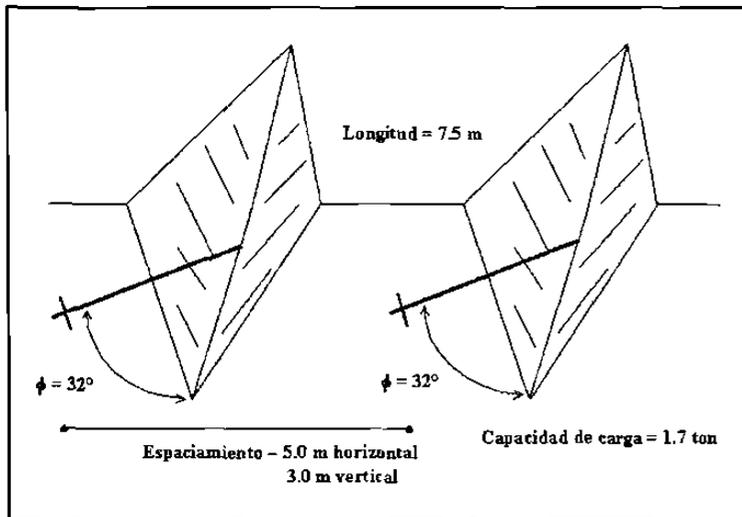


Fig. 7.4 Especificaciones de la aplicación de anclaje sistemático embebido en cemento para el sostenimiento de cuñas del Talud #4.

7.6 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #5 (Km. 31+300)

- ✘ Abatir el talud hasta alcanzar un ángulo menor de 46° , para que por fricción evitar el deslizamiento, ó cambiar el rumbo del corte a una dirección de 291° para que cinemáticamente no se produzca el mecanismo.
- ✘ Realizar bermas para controlar los deslizamientos, con las dimensiones que en la Fig. 7.5 se muestran, además de colocar malla ciclónica para evitar que los desprendimientos caigan sobre el trazo carretero. El diseño de la geometría de las bermas fue en base a la dimensión del macizo potencialmente deslizable, incluyendo además el ángulo de fricción del plano de deslizamiento, tomando en cuenta que a dicho ángulo de inclinación de la cara de la berna, cinemáticamente se tendrán condiciones estables. También como medida preventiva, se debe de instalar dentro de los bancos un sistema de drenaje por medio de acequias, para evitar la saturación del talud.

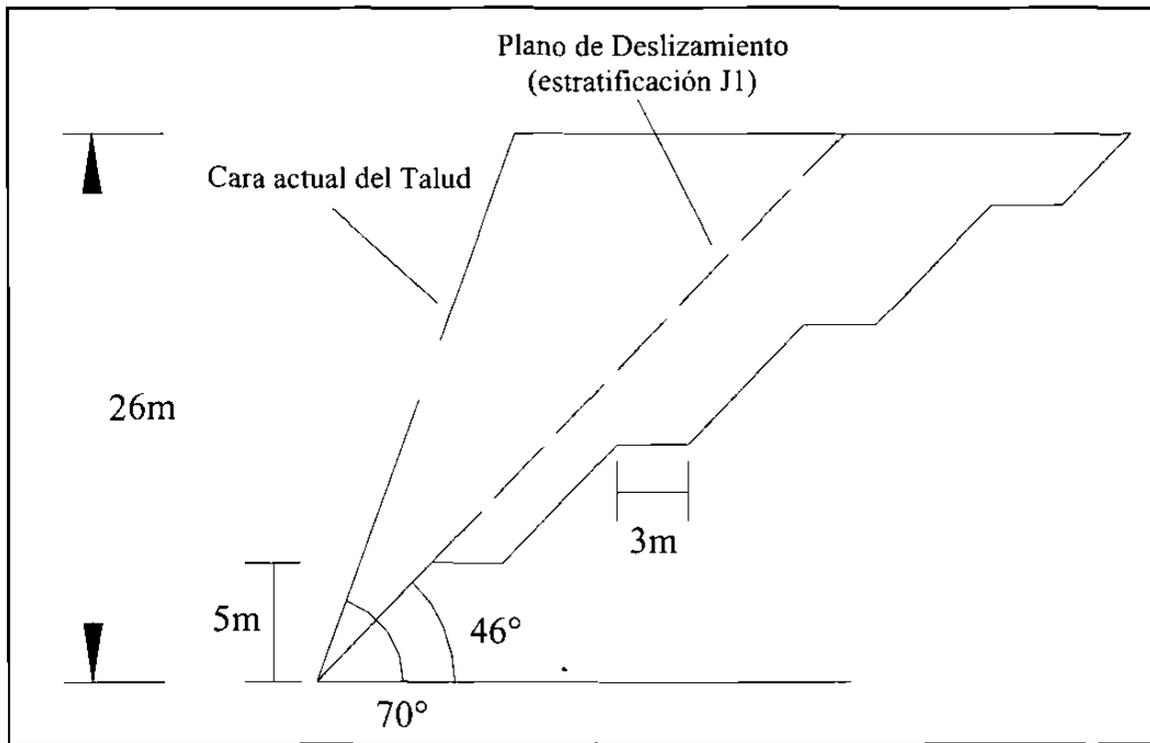


Fig. 7.5 Dimensiones del sistema de bermas para control de la estabilidad del Talud #5.

7.7 Recomendaciones de Saneamiento para el Talud #6 (Km. 31+770)

✂ Cinemáticamente este talud se encuentra estable, ya que el ángulo de inclinación de éste es menor que el ángulo de fricción del plano de deslizamiento, pero ocurren desprendimientos y deslizamientos. Para poder controlar estos mecanismos de falla, se recomienda realizar una bermas para controlar dichos bloques, de acuerdo al croquis siguiente (Fig. 7.6):

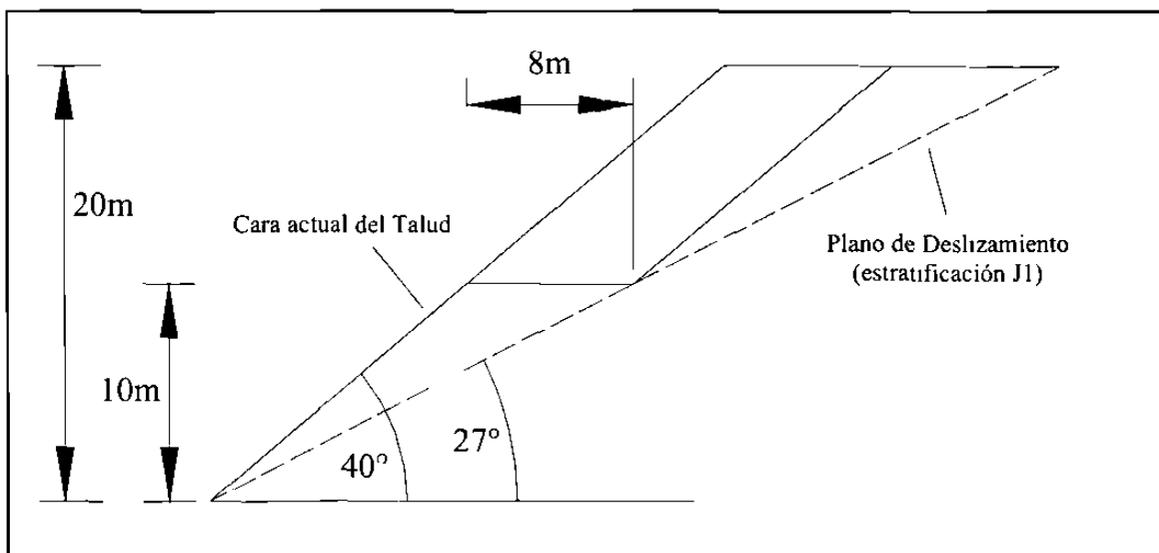


Fig. 7.6 Implementación de bermas para el control de los deslizamientos de bloques para el Talud #6.