

Taludes de corte estabilizados en Venezuela mediante pantallas de concreto proyectado ancladas

Slope cuts stabilized with anchored shotcrete walls in Venezuela

Gianfranco Perri

Ingeniero Consultor y Profesor de Proyectos de Taludes en la Universidad Central de Venezuela

Resumen

En Venezuela se ha consolidado el uso de la tecnología del concreto proyectado y de los anclajes, para en conjunto construir las denominadas pantallas ancladas, comúnmente utilizadas para la estabilización de taludes cuyas alturas, con cada vez más frecuencia, superan los 20 y 25 metros. Posiblemente, una de las razones que más ha contribuido a la gran difusión y al gran éxito de estas tecnologías para estabilizar taludes, puede encontrarse en las peculiaridades geomecánicas de los macizos rocosos que conforman el relieve de la ciudad de Caracas y sus alrededores, donde la tecnología se ha iniciado y donde más se ha aplicado. Se describen las tecnologías del concreto proyectado y de los anclajes y clavos, según la tradición venezolana, así como algunas de las metodologías de análisis y diseño adoptadas y finalmente, se presentan algunos ejemplos significativos.

Abstract

The anchors, tiebacks and shotcrete technology have been successfully combined in Venezuela to construct anchored walls. Anchored shotcrete walls are commonly used to stabilize slopes which height frequently exceed, 20 to 25 meters. The specific geo-mechanical characteristics of the rock mass encountered in the outskirts and in the city of Caracas, where the technology was developed and where is most frequently applied, are possibly one of the most significant reasons for which this technology has been extensively and successfully used to stabilize slopes in the area. This paper describes the shotcrete, anchors and tieback technologies, as generally applied in Venezuela. It also presents some available analysis and design methodologies. The paper presents important examples of the application of the anchored shotcrete walls technology.

1 INTRODUCCIÓN

En Venezuela, durante las últimas cuatro décadas, se ha ampliamente y rápidamente difundido y luego consolidado el uso de la tecnología del concreto proyectado en seco y de los anclajes (o tirantes) post-tensados así como también, más recientemente, de los clavos (*nails*), para en conjunto construir las denominadas pantallas ancladas y claveteadas, comúnmente utilizadas para la estabilización de taludes de corte, casi siempre muy empinados (con inclinaciones H:V de 0.25:1 o de 0.10:1) y también de relevantes dimensiones, con alturas que con cada vez más frecuencia llegan a superar los 20 metros e inclusive los 25 metros.

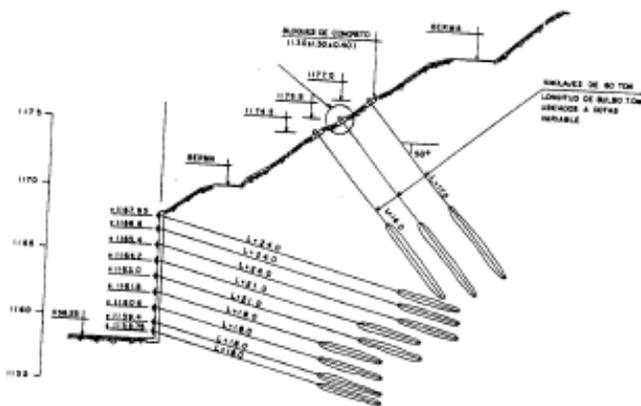
Posiblemente, una de las razones que más ha contribuido a la gran difusión y al gran éxito de estas tecnologías y de este método de estabilización de taludes en Venezuela, puede encontrarse en las peculiaridades geomecánicas de los macizos rocosos que conforman el relieve de la ciudad de Caracas y de sus alrededores, donde las tecnologías se han iniciado y donde más se han aplicado.

Se trata de macizos rocosos que en su mayor parte están constituidos por una serie de formaciones metamórficas esquistosas poco o abundantemente meteorizadas cuyas estructuras foliadas y diaclasadas responden muy bien al objetivo perseguido con las pantallas ancladas y

claveteadas, de permitir efectivos y duraderos resultados en cuanto a la estabilidad de los cortes altos y muy empinados que se requieren construir para los grandes desarrollos urbanos y para las grandes infraestructuras.

En efectos, para satisfacer las cada vez más exigentes necesidades ligadas a los desarrollos urbanísticos de ciudades ubicadas en ambientes topográficos abruptos, o ligadas a la construcción de las infraestructuras hidroeléctricas, de transporte viales y sobretodo ferroviarios, se requiere intervenir localmente el territorio montañoso con extensos y elevados cortes que deben ser estabilizados artificialmente, y las pantallas de concreto proyectado en seco, ancladas o claveteadas, han demostrado poseer características de versatilidad constructiva y de durabilidad suficientes a solventar muchas de las situaciones más recurrentes en la práctica ingenieril, recurriendo a tecnologías que finalmente no requieren de una gran inversión en equipos, ni de conocimientos técnico muy sofisticados, con lo cual han surgido decenas de empresas constructoras especializadas, pequeñas y medianas, que se han sumado a las más grandes y experimentadas, que también están presente en buen número en Venezuela.

Probablemente sea la gran eficacia de la acción de pre-compresión que el pre-tensado de los anclajes induce sobre las numerosas discontinuidades presentes y sistemáticamente orientadas dentro de los macizos rocosos foliados y diaclasados a cortar y estabilizar, la principal responsable de la condición estable que se alcanza con éxito en tales importantes obras.



También la acción pasiva de los clavos, cuando colocados tempranamente, y por lo tanto antes que se produzca la descompresión del macizo consecuente al progresar del corte, reacciona

eficientemente limitando tal descompresión y el consecuente decaimiento de la resistencia al corte a lo largo de los planos de las discontinuidades de foliación y diaclasas, la cual es en definitiva el principal parámetro de control para la estabilidad o inestabilidad de los taludes cortados.

Se describen a continuación los detalles más significativos de las tecnologías del concreto proyectado en seco y de la construcción de anclajes y clavos, según la tradición venezolana, y luego también se comenta la metodología de análisis y diseño más recientemente adoptada basada sobre el concepto de probabilidad de falla en alternativa al más tradicional de factor de seguridad y finalmente, se presentan algunos ejemplos significativos de pantallas ancladas o claveteadas diseñadas y construidas en Venezuela para estabilizar extensos y altos taludes de corte.

2 ELEMENTOS TECNOLÓGICOS

En Venezuela el uso de las pantallas de concreto proyectado en seco y ancladas inició en el comienzo de los años 70 y entre las primeras obras importantes se pueden citar las estabilizaciones de los taludes del Helicoide y de la Autopista Boyacá en Caracas, del Acueducto Alto Cidral en el Tuy, de las Presas Tamanaco, Camatagua, Clavellino y Ocumarito.

2.1 El concreto proyectado

Para la fabricación del concreto proyectado, el cemento Portland Tipo I es el más usado en Venezuela porque es el más comúnmente disponible y para ello solamente se debe verificar su compatibilidad con los aditivos aceleradores de fraguado que se usen.

En el concreto proyectado además del cemento y los aditivos son importantes los agregados utilizados, ya que deben responder a las mismas exigencias que las requeridas por un concreto de buena calidad, por lo tanto deben ser inocuos, resistentes, estar limpios y tener la granulometría apropiada y particular del concreto proyectado.

En Venezuela se emplean con las arenas, sea la grava natural y sea la piedra triturada con un tamaño máximo que es normalmente de 1/2".

Las resistencias típicamente utilizadas para el concreto proyectado de las pantallas varían de 250 a 300 Kg/cm², para un diseño de mezcla con 350 a 400 Kg de cemento por m³ de mezcla seca.

El procedimiento de proyección del concreto para las pantallas es por vía seca, con el cual el agua es introducida al momento de la proyección llegando a la boquilla de salida a través de una manguera liviana y flexible con presión obtenida mediante conexión con el compresor de aire a baja velocidad.

Para ello se utilizan máquinas de proyección, mangueras de diámetro cerca de los 60 o 90 mm y boquillas cilíndricas de hasta unos 50 cm de longitud, logrando con ello mezcla húmeda de buena uniformidad y realizando velocidades de proyección del orden de 90 m/s.

Las máquinas de las cuales se puede disponer son en general de tres tipos: las de disco alimentador, las de alimentación directa por gravedad y las a rotor, siendo esta última la que más se utiliza en Venezuela.

Las máquinas a rotor consisten en un rotor formado por unos alvéolos cilíndricos paralelos a un eje central, a medida que éste va girando, hace que cada cilindro se llene con la mezcla colocada previamente en la tolva situada por encima del rotor, dicha tolva tiene también un brazo rotativo que uniformiza la mezcla. Los cilindros, al girar el rotor, son transportados a una cámara de aire donde el material es propulsado con aire comprimido hacia la manguera. De esta manera cada cilindro es vaciado y vuelve a ser llenado repitiéndose el ciclo continuamente.

En general, un equipo de proyección de concreto consta de un suplidor de aire comprimido, un suplidor de agua, mezcladora, una máquina de proyección y unos elementos accesorios (mangueras de conducción, acoples entre mangueras, lanzas de proyección o boquillas, correas transportadoras). Todos estos elementos unidos al cemento, agregados, aditivos, agua y aire constituyen la planta de elaboración del concreto proyectado.

Para no tener dificultades en conformar las pantallas, que son espesas entre 20 y 40 cm, en la proyección del concreto es de vital un buen suministro de aire comprimido y para ello los compresores de aire deben suministrar el volumen suficiente a la presión correcta y con mínimas fluctuaciones; también es importante que el aire esté seco y libre de aceite para evitar la formación de capas de cemento en la superficie interior de la manguera ocasionando atascamiento de la mezcla.

2.2 Los anclajes

Los primeros anclajes que se introdujeron en Venezuela fueron los constituidos por barras de acero de alta resistencia (*diwidag*), con un fileteado exterior de adherencia, con diámetros comprendidos entre 16 y 25 mm para cargas nominales de entre 20 y 40 toneladas y con un extremo enroscado para su tensado mediante llave dinamométrica y bloqueo con tuerca sobre placa metálica de apoyo.

Estos anclajes se caracterizaban por las referidas limitadas capacidades y por longitudes igualmente limitadas al orden de 12 a 15 metros consecuentes a su baja manejabilidad por la rigidez y el peso excesivos y a pesar del recurso a uniones enriscadas con manguitos.

A partir de los años 80 y más aún en los 90, se introdujeron y luego difundieron ampliamente hasta dominar casi por completo la tecnología de las estabilizaciones con pantallas, los anclajes de guayas (torones), constituidos por tensores flexibles conformados por hilos de acero formando un haz torcido en hélice de una o de varias capas de esos hilos alrededor de un alma central rectilínea.

Los torones pueden conformarse por un mínimo de 7 y un máximo de 19 hilos, los cuales poseen diámetros de entre 2 y 4 mm para conformar tensores con capacidades unitarias de 10 y 15 toneladas, con diámetro de 1/2" y de 5/8" respectivamente.

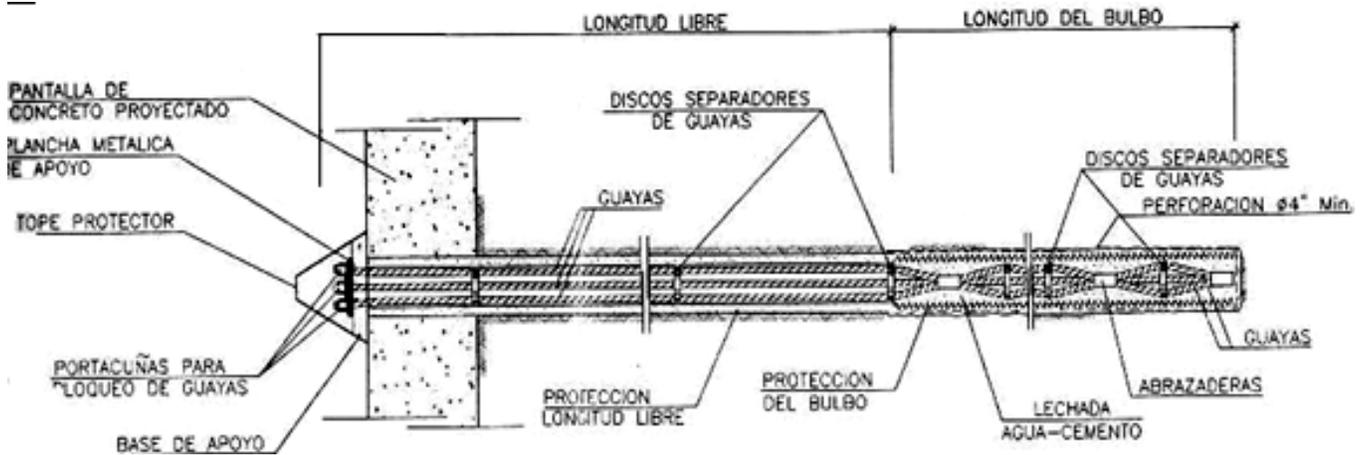
La longitud de los anclajes constituidos por torones no tiene un límite teórico ya que los elementos tensores se cortan a la medida y en la práctica rutinaria es común alcanzar y superar los 30 o 40 metros.

También la capacidad de estos anclajes no tiene un límite teórico ya que depende del número de elementos (torones) que conforman los anclajes mismos y que en la práctica pueden ser de hasta 8 o 12, aunque más comúnmente de 3 o 6, para capacidades nominales desde 30 hasta 90 toneladas.

Los anclajes de torones se componen de tres partes: en un extremo el ancla o bulbo donde se transmite la acción mecánica entre el anclaje y el terreno, en el centro la zona libre donde el anclaje puede alargarse bajo el efecto de la tensión y

donde generalmente el anclaje se encuentra encerrado por un tubo plástico que impide el contacto con el terreno, y en el otro extremo la cabeza del anclaje que transmite la carga del tensado a la pantalla.

El bulbo, cuya longitud es variable en función de las características mecánicas del terreno y de la carga aplicada al anclaje, es una porción del tensor rodeada de lechada de inyección, la cual asegura la transmisión de fuerza entre éste y el terreno que lo rodea.



En el caso de anclajes definitivos, el diseño incorpora elementos complementarios requeridos para una adecuada protección contra la corrosión del tensor dentro del bulbo, como es el uso de un tubo plástico corrugado ranurado, suficientemente dúctil para no romperse al agrietarse la lechada, y lo suficientemente resistente, como para transmitir las fuerzas de corte de la lechada en contacto con el tensor.

El tramo activo o parte libre situado entre el cabezal del anclaje y el comienzo del bulbo de inyección, es la parte donde los cables del anclaje están separados o independizados del terreno que los rodea, es decir, quedan libres para desplazarse en el interior de uno o varios tubos plásticos, los cuales cumplen la función de proteger contra la corrosión y evitar el bloqueo irregular de los mismos cables y para ello son generalmente rellenos de productos protectores.

El cabezal del anclaje corresponde a la zona de unión de la armadura a la placa o base de apoyo formada por una plancha metálica de soporte con varios tipos posibles de porta-cuñas. La plancha de soporte suele apoyarse sobre un bloque de concreto o formaleta con el fin de transmitir la

carga aplicada por el anclaje de la manera más uniforme y normal al apoyo posible. El espesor de la plancha debe ser suficiente a transferir y distribuir la carga del elemento de bloqueo sobre la pantalla de concreto proyectado y en general se utilizan planchas de acero, con espesores que varían entre $\frac{3}{4}$ " y $1 \frac{1}{4}$ ". Finalmente el cabezal debe ser protegido de los agentes corrosivos del medio ambiente exterior y del mismo terreno y para ello en Venezuela generalmente se vacía un capuchón de mortero denso.

Para la colocación del anclaje en el terreno a estabilizar se comienza con la perforación del terreno; se puede emplear cualquier método de perforación que garantice un hueco con paredes estables.

En algunos casos para evitar el hundimiento y el consecuente reblandecimiento del terreno o para evitar presiones de agua indeseables en un talud de estabilidad precaria, se puede utilizar el aire comprimido en vez del agua.

Una vez terminada la perforación del hueco, se deberá remover todo el suelo derrumbado, verificar su estabilidad interna, y de inmediato proceder a la instalación del anclaje.

Después que se coloca el anclaje, el cual incluye una o dos mangueras de plástico para la inyección y para la eventual re-inyección, se procede a la inyección de la lechada de agua-cemento en proporciones comprendidas por lo general entre 0.6:1 y 0.9:1 en peso.

Para la inyección se utilizan normalmente bombas de inyección del tipo de desplazamiento

positivo (pistón) con una capacidad de 10 Kg/cm^2 , siendo la presión de inyección más rutinariamente aplicada del orden de los 4 o 5 Kg/cm^2 .

Para el control de la presión de la inyección se utiliza un manómetro el cual se coloca en proximidad del cabezal del anclaje.

También es importante y se recomienda la verificación regular de la viscosidad, densidad y segregación de agua (bleed), junto con la toma periódica de muestras para su ensayo a compresión.

Finalmente, después de fraguado el bulbo, el anclaje es tensado a la carga prevista mediante gatos accionados hidráulicamente, siguiendo una operación que debe ejecutarse bajo estricto control del procedimiento pre-establecido, sea en cuanto al valor de la carga de tensado y sea en cuanto al tiempo de mantenimiento de la tensión antes del bloqueo, entre otros.

Especial importancia reviste el sistema plancha-cabezote-cuñas el cual debe ser de la mejor calidad tecnológica posible, ya que de tal calidad y de la calidad de la operación de colocación ajuste y bloqueo dependen la carga estabilizadora ejercida por el anclaje, así como su eficiencia y perdurabilidad en el tiempo.

2.3 Los clavos

Las pantallas claveteadas de concreto proyectado, se construyen generalmente de solo 10 cm de espesor y son reforzadas con una simple malla electro-soldada.

Los clavos son barras metálicas corrugadas de acero 4200 Kg/mm^2 , de diámetro $1''$ o $1 \frac{3}{4}''$, con longitudes uniformes para todas las hileras previstas para la pantalla y de máximo 12 metros, de acuerdo con la altura del corte en proporción de aproximadamente 1:1.

El extremo superficial del clavo es doblado a 90° para ser englobado en el espesor de la pantalla sobre una longitud de pocas decenas de centímetros,

La inyección de lechada a todo lo largo del clavo se efectúa inicialmente por gravedad con finalmente una sobre-presión de un par de bares.

3 PROBABILIDAD DE FALLA DE UN TALUD

La definición de factor de seguridad comúnmente aplicada al caso de fallas por deslizamiento en un talud, es la de relación entre fuerzas resistentes y fuerzas deslizantes que actúan a lo largo de la superficie del potencial deslizamiento, así que un factor de seguridad mayor de 1 indica estabilidad del talud y un valor menor de 1 indica inestabilidad del talud.

En la práctica también se establecen los valores mínimos aceptables para el factor de seguridad, los cuales, generalmente en función de la importancia de la obra a la que pertenece el talud, se fijan entre mínimo 1.10 y máximo 1.50.

Los métodos y programas de cálculo disponibles, finalmente calculan el factor de seguridad con lujo de detalles complementarios y altísima precisión: es común indicar para el factor de seguridad un valor con 3 o 4 decimales (ejemplo: $FS = 1.1234$) contribuyendo a difundir una ilusoria sensación de gran confiabilidad sobre el resultado del cálculo determinístico efectuado.

La realidad es mucho menos simple, ya que el valor numérico que se calcula para el factor de seguridad, depende de un conjunto numeroso de factores y parámetros, cuyos valores numéricos introducidos en los cálculos pueden ser en buena medida diferentes de los reales y, en consecuencia, el factor de seguridad así calculado puede resultar también diferente del real.

El problema a resolver es, saber de cuanto el factor de seguridad calculado puede alejarse del real o, en otras palabras, cuanto es confiable el diseño de un talud basado sobre el solo cálculo del factor de seguridad.

Dentro de los parámetros cuyos valores numéricos controlan el resultado relativo al valor del factor de seguridad de un talud, ciertamente son los parámetros de resistencia al corte del material o de los materiales involucrados, que están generalmente sujetos al mayor grado de incertidumbre numérica, especialmente cuando se trata de macizos rocosos en extremo heterogéneos y en buena parte anisotrópicos; aunque hay también otros parámetros que pueden variar y afectar numéricamente el valor del factor de

seguridad: por ejemplo las cargas sísmicas y las cargas hidráulicas, entre otros, así como la carga externa de estabilización (por ejemplo la de los anclajes) para el caso en que se trate de taludes estabilizados mecánicamente.

Ahora bien, dentro de este orden de ideas es importante señalar que debe prestarse mucho más atención al grado de incertidumbre, bien sea ligada al poco conocimiento bien sea ligada a la objetiva variabilidad (dispersión), que acompaña los parámetros que controlan el resultado de un cálculo, que al valor numérico mismo de este resultado expresado en términos de un factor de seguridad determinístico.

Por ejemplo: puede ocurrir que sea mucho más seguro un talud con un factor de seguridad de 1.2 que un talud con un factor de seguridad de 1.5 y esto puede ciertamente ocurrir si, por ejemplo, el grado de dispersión relativo a los valores numéricos de los parámetros de resistencia al corte (por ejemplo cohesión y fricción) usados para el cálculo del factor de seguridad del primer talud es menor que el grado de dispersión de los parámetros usados para el segundo talud.

Los conceptos anteriores, pueden explicarse de una manera más cuantitativa y no solo cualitativa, recurriendo al análisis estadístico y reemplazando al concepto de factor de seguridad, el concepto de probabilidad de falla o, nuevamente en términos de factor de seguridad, hablando de la probabilidad que el factor de seguridad sea inferior o superior a un determinado valor numérico.

No hay dudas que conceptualmente represente un salto cualitativo importante y positivo el pasar de un concepto a otro, aunque debe reconocerse que: “el impacto emocional de proponer al público no especialista que existe siempre un riesgo finito (aunque pequeño) de falla asociado al diseño de un talud, es tal que dificulta la propuesta de reemplazar el factor de seguridad estándar con la probabilidad de falla o con el índice de confiabilidad de un talud” (Hoek, 1998).

3.1 Ejemplos

La tabla que sigue resume algunos resultados relativos a tres ejemplos sencillos del cálculo del

factor de seguridad y de la probabilidad de falla de un talud, en función de diferentes posibles desviaciones para los parámetros de resistencia al corte: fricción y cohesión.

Se ha asignado una desviación constante del 10% (2.5° sobre 25°) a la fricción, lo cual es generalmente razonable y, se hace variar entre límites muy amplios la desviación de la cohesión (hasta del 75%), para tomar en cuenta la efectiva amplia incertidumbre que generalmente está asociada al valor real de este parámetro, para suelos y sobre todo para macizos rocosos.

EJEMPLO N°1							
Ø	δ	c (t/m²)	δ	F.S.	F.S.	F.S. < 1	F.S. < 1,4
				Determinístico	Estadístico	p (%)	p (%)
25	0	10	0	1.569	1.569	0	0
25	2.5	10	2	1.569	1.411	1	48
25	2.5	15	5	2.147	1.743	2	--
25	2.5	20	8	2.703	2.120	2	--
25	2.5	20	10	2.703	1.973	6	--
25	2.5	10	3	1.569	1.325	9	65
25	2.5	15	8	2.147	1.544	13	--
25	2.5	10	4	1.569	1.228	21	75
25	2.5	15	10	2.147	1.398	23	--
25	2.5	10	5	1.569	1.136	34	77
EJEMPLO N°2							
Ø	δ	c (t/m²)	δ	F.S.	F.S.	F.S. < 1	F.S. < 1,25
				Determinístico	Estadístico	p (%)	p (%)
25	2.5	5	0	1.385	1.386	0	0
		10	0				
25	2.5	5	2.0	1.385	1.383	1.3	23
		10	2.0				
25	2.5	5	3.0	1.385	1.375	7	33
		10	3.0				
25	2.5	5	4.0	1.385	1.344	15	42
		10	4.0				
25	2.5	5	2.5	1.385	1.338	28	50
		10	5.0				
EJEMPLO N°3							
Ø	δ	c (t/m²)	δ	F.S.	F.S.	F.S. < 1	F.S. < 1,4
				Determinístico	Estadístico	p (%)	p (%)
25	2.5	7	0	1.584	1.587	0	0
25	2.5	7	2.5	1.584	1.579	2	34
25	2.5	7	3	1.584	1.573	4	35
25	2.5	15	8	2.400	2.445	4	--
25	2.5	15	10	2.400	2.436	7	--

En el ejemplo N°1, que se refiere a un talud sencillo de terreno homogéneo de 15 m de altura y pendiente 0.1:1 (H:V), puede observarse como la probabilidad de falla, o sea de obtener un factor de seguridad menor que 1, aumenta con el aumentar del valor de la desviación de la cohesión, hasta inclusive cuando la cohesión en sí sea mayor y el factor de seguridad determinístico sea mayor:

la probabilidad de falla pasa del 2% al 6% para una misma cohesión de 20 t/m², cuando la desviación pasa de 8 a 10 o, la probabilidad de falla pasa del 9% al 13% a pesar de pasar de una cohesión de 10 t/m² a 15 t/m² pero con una

desviación que pasa de 3 a 8 y todo esto mientras el factor de seguridad determinístico pasa de 1.569 a 2.147.

En el ejemplo N°2, que se refiere al caso del mismo talud pero heterogéneo (con dos distintos materiales), puede nuevamente observarse que, sin cambiar el valor de la cohesión, la probabilidad de falla pasa, por ejemplo de 1.3% a 7% y a 15%, con solamente aumentar la desviación de 2 a 3 y a 4.

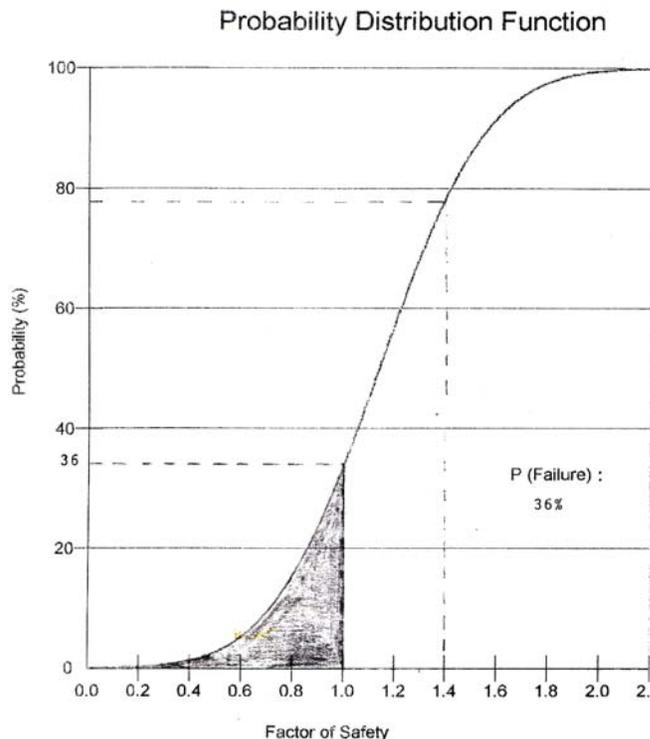
Finalmente en el ejemplo N°3, que se refiere a un talud estabilizado con anclajes, es interesante observar como disminuye relativamente la influencia de la desviación de la cohesión, ya que se asume constante la magnitud de la carga estabilizante de los anclajes. En este caso la probabilidad de falla aumenta relativamente poco (de 2% a 4%, y de 4% a 7%) al aumentar la desviación de la cohesión (de 2.5 a 3 y de 8 a 10). Ciertamente en este ejemplo, la probabilidad de falla resultaría también muy sensiblemente afectada por una eventual desviación que se asignara a la magnitud de la carga de los anclajes.

En la tabla se reporta en la ultima columna, la probabilidad que el factor de seguridad sea inferior a un valor preestablecido de 1.40 para los ejemplos N°1 y N°3 y de 1.25 para el ejemplo N°2, en todos los casos menor que el factor de seguridad obtenido del cálculo determinístico.

Nuevamente se puede observar como la probabilidad que se produzca un factor de seguridad inferior a un valor preestablecido, crece con el incrementarse del valor de la dispersión (δ) de la cohesión:

En el ejemplo N°1, se pasa de una probabilidad de 48% a 65% a 75% y 77% al incrementarse la desviación de la cohesión de 2 a 3 a 4 y 5. En el ejemplo N°2, se pasa de una probabilidad de 23% a 33% a 42% y 50% al incrementarse la desviación de la cohesión de 2 a 3 a 4 y 5 y finalmente, en el ejemplo N°3, la probabilidad aumenta de 34% a 35% al incrementarse la desviación de la cohesión de 2.5 a 3.

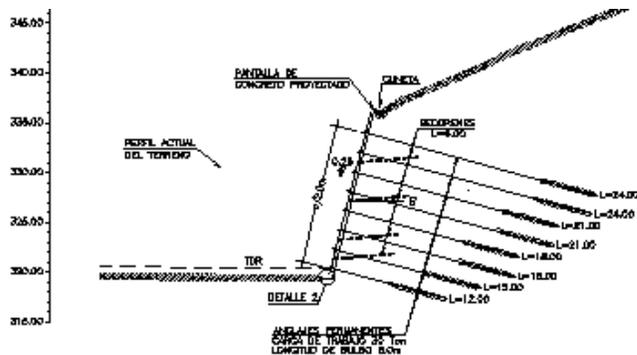
También se anexa a continuación, a manera de ejemplo, una salida gráfica típica obtenida del cálculo ejecutado con el código SLOPE/W.



4 TALUDES ESTABILIZADOS

Son verdaderamente muy numerosos los taludes de corte que, con grandes alturas y extensiones, han sido estabilizados exitosamente en Venezuela mediante pantallas de concreto proyectado ancladas o claveteadas.

Solamente la construcción durante los últimos diez años de varias vías ferroviarias localizadas en la región de la cordillera de la costa venezolana, entre Caracas y Puerto Cabello ha requerido de cientos de metros lineales de cortes estabilizados cuyas alturas han en numerosas ocasiones superado los 20 y hasta 25 metros.



Inclusive, para la construcción de estas mismas infraestructuras ferroviarias, prácticamente todos los numerosos (casi un centenar) portales de túneles han sido igualmente y exitosamente estabilizados con las descritas pantallas ancladas o claveteadas de concreto proyectado.

