



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

“ESTABILIDAD DE TALUDES EN CARRETERAS”

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
MIGUEL HERRERA GARCÍA.**

**ASESOR:
DR. CARLOS CHÁVEZ NEGRETE.**

MORELIA, MICH. AGOSTO DEL 2006.



AGRADECIMIENTOS.

Quiero dar gracias por medio de la presente tesis a mis padres: JUVENTINO HERRERA JUÁREZ Y ESTHER GARCÍA SOLORIO, los cuales han dedicado gran parte de su vida a educarme, para hacer de mi una persona de bien, con valores y principios, brindándome la posibilidad de ser una persona preparada para enfrentarme a la vida sin temores, por todas estas cosas y mas que les podría yo decir, pero las palabras no son suficientes para demostrarles todo el agradecimiento y amor de mi para con ustedes, a todo esto solo encuentro unas palabras que son: Papá y Mamá los quiero mucho y gracias por todo lo que se han sacrificado por mí.

Gracias a mi novia: Rosalinda Sepúlveda Ramírez, a quien quiero mucho y ha estado a mi lado brindándome cariño y comprensión en esta etapa tan importante de mi vida.

Gracias también a los que siempre confiaron en mi, a mi hermano: Juan Herrera García, y a mis abuelos, a todos mis tíos y tías y todos mis familiares y a mis pocos amigos de Santa Bárbara.

Gracias a todos mis amigos y cuates que compartieron con migo experiencias dentro de la facultad de Ingeniería civil, también a todos los trabajadores y cuates del laboratorio de materiales “Ing. Luís Silva Rúelas” de la facultad de Ingeniería civil de la U.M.S.N.H.

Gracias a mi asesor de tesis por tenerme la paciencia necesaria: Dr. Carlos Chávez Negrete.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	5
CAPITULO 1.	7
Principios de inestabilidad de taludes.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Tipos de fallas más comunes en los taludes de las vías terrestres (De acuerdo a Rico y Del Castillo 2003).-	10
1.2.1 Fallas ligadas a la estabilidad de laderas naturales.-	10
1.2.2 Deslizamiento superficial asociado ala falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep).-	11
1.2.3 Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionados con perfiles geológicos desfavorables.-.....	13
1.2.4 Flujos.-.....	14
1.2.4.1 Flujo en material relativamente seco.-.....	15
1.2.4.2 Flujo en materiales húmedos (flujos de lodo).-	15
1.2.5 Fallas ligadas a la estabilidad de taludes artificiales.-	15
1.2.5.1 Falla rotacional.-	15
1.2.5.2 Falla traslacional.-	17
1.2.5.3 Fallas con superficie compuesta.-.....	18
1.2.5.4 Fallas múltiples.-	18
1.2.6 Derrumbes y caídos.-.....	20
1.2.7 Fallas por erosión.-	20
1.2.8 Fallas por tubificación.-.....	20
1.2.9 Fallas por agrietamiento.-	21
1.2.10 Fallas por deformación en los hombros del terraplén.-	21
CAPITULO 2.	23
2 Metodología para la determinación de la inclinación de taludes en carreteras.	23
2.1 Introducción.-	23
2.1.1 Taludes en arenas limpias.-	23
2.1.2 Pruebas para determina los parámetros de resistencia del suelo.	24
2.1.2.1 Prueba de compresión triaxial.	25
U.M.S.N.H.	Facultad de Ingeniería Civil
	Miguel Herrera García.
	2

2.1.2.1.1	Prueba triaxial no consolidada no drenada (UU) o (rápida).-.....	26
2.1.2.1.2	Prueba triaxial consolidada no drenada (CU) o (rápida consolidada).-.....	26
2.1.2.1.3	Prueba triaxial consolidada drenada (CD) o (lenta).-	27
2.1.2.1.4	Estabilidad del talud a corto plazo.....	31
2.1.2.1.5	Estabilidad del talud a largo plazo.....	31
2.1.3	Falla rotacional método sueco.-.....	32
2.1.4	El método sueco aplicado a taludes cuya ley de resistencia se exprese como $(s=c_u)$.- 33	
2.1.5	El método sueco aplicado a taludes cuya ley de resistencia se exprese como $s = c_u + \sigma \tan \Phi_u$. O método de las dovelas.-.....	37
2.1.6	Falla traslacional.-	42
2.1.7	Solución utilizando gráficas.	43
2.1.7.1	Gráfica 1.0 de Cousins.....	44
2.1.7.2	Gráfica 1.1 de Janbu.	47
2.1.8	Funcionamiento del programa Geostudio 2004.....	50
2.1.8.1	El programa de análisis slope/w.	50
2.1.8.2	Abrir el programa de análisis slope/w.	50
2.1.8.3	Modo de operación del programa de <i>Slope/w</i>	57
2.1.8.4	Establecer el área de trabajo.	57
2.1.8.4.1	Establecer el tamaño de área de trabajo:	57
2.1.8.5	Proponer la escala.....	58
2.1.8.6	Proponer el espacio punteado (<i>grid</i>)......	60
2.1.8.7	Guardar el problema.	60
2.1.8.8	Ejes del dibujo.	61
2.1.8.9	Dibujo del problema.	62
2.1.8.10	Especificar los métodos de análisis.	63
2.1.8.11	Especificar las opciones del análisis.....	64
2.1.8.11.1	Formas en que se realizan las iteraciones para encontrar la solución mas adecuada.-	64
2.1.8.12	Definición de las propiedades del suelo.	65
2.1.8.13	Dibujar los estratos.	67
2.1.8.14	Dibujo de las líneas piezometricas.	68
2.1.8.15	Dibujo de la entrada y salida del circulo de falla.	69

2.1.8.16	Ver preferencias.....	70
2.1.8.17	Propiedades del suelo.	70
2.1.8.18	Crear texto dinámico para el dibujo.	71
2.1.8.19	Revisar el problema.	72
2.1.8.20	Guardar el problema.	72
2.1.8.21	Solución del problema.	72
2.1.8.22	Superficie del círculo de falla.	73
2.1.8.23	Ver la información de la dovela.	74
CAPITULO 3.		75
3	Metodología para la obtención de los parámetros significativos que se utilizan para el cálculo de la inestabilidad.	75
3.1	Introducción.-	75
3.1.1	Estudios geotécnicos para vías terrestres.-j.....	75
3.1.2	Presentación de los valores obtenidos de los materiales cohesivos fricconantes, en la tabla IV.- 81	
3.1.3	Presentación de los valores obtenidos para suelos friccionantes, en la tabla V.	83
3.1.4	Empuje de tierras.	88
3.1.5	Solución por medio de gráficas.	96
4	CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.		118
ANEXO I.....		119

INTRODUCCIÓN.

Para empezar a explicar el contenido de la tesis es importante mencionar sobre los trabajos que implica la construcción de una vía terrestre, estos trabajos se inician realizando una serie de estudios geotécnicos necesarios para la construcción de la vía terrestre, ya una vez recopilada toda la información necesaria, sobre el terreno de cimentación, tipos de materiales a emplear y el partido conveniente que puede obtenerse de los materiales disponibles, etc. Para poder llegar a la recopilación de los datos anteriores es necesario realizar una serie de estudios como pueden ser: reconocimiento, exploración, levantamiento de datos y pruebas correspondientes, etc.

Ya con los datos anteriores obtenidos se realiza el cálculo de la curva masa, en la cual se debe realizar el llenado de una tabla con los datos obtenidos (esta tabla se muestra en el capítulo 3), la importancia de la tesis radica en la realización de muchos análisis que simplifican la tarea para escoger un talud adecuado para proponer el diagrama de masas. Donde para poder llegar a la obtención de este ángulo es necesario realizar una serie de pruebas de laboratorio y realizar una serie de análisis matemáticos a los materiales que puedan intervenir en el talud ya sea en corte o en terraplén, para poder darle la inclinación adecuada para la estabilidad del talud.

El objetivo principal de esta tesis es mostrar una tabla en la cual se muestre una relación de valores de ángulos de inclinación necesarios para que el talud pueda permanecer estable, ya sea en corte o en terraplén según sea el caso a diferentes alturas y para diferentes tipos de suelos, los diferentes tipos de suelos analizados han sido obtenidos de diferentes lugares del estado de Michoacán, los cuales han sido muestreados “in situ” y analizados para encontrar sus características físicas en el laboratorio de materiales (en la sección de mecánica de suelos), “Ing. Luís Silva Rúelas” de la facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y una vez que se obtuvieron sus características físicas de los materiales, ha estos se les realizaron una serie de análisis de acuerdo a sus características físicas, para obtener su ángulo de inclinación necesario para que el talud se mantenga en reposo, por medio del programa Geostudio 2004 (dentro del programa de análisis slope/w), y con esto poder realizar una tabla de relaciones de ángulos de inclinación para la estabilidad de taludes a diferentes alturas, para las características de los diferentes tipos de suelos de la región del estado de Michoacán.

En el contenido de la tesis también se encontrara como funciona el programa Geostudio 2004, para realizar los análisis para el cálculo de la estabilidad de un talud, también se mencionara de forma sencilla los diferentes métodos de cálculo que existen para calcular la estabilidad de taludes.

Esta tesis se ha realizado de manera que el que pueda consultarla, se le facilite entender la manera de funcionamiento del programa Geostudio 2004, y pueda utilizar los valores mostrados en la tabla para la estabilidad de taludes en la construcción de una vía terrestre u otro tipo de obra civil que intervenga el dar la estabilidad a un talud, ya sea en corte o terraplén.

CAPITULO 1.

Principios de inestabilidad de taludes.

1.1 Introducción.

Se conoce con el nombre genérico de taludes a las superficies inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra. Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan taludes artificiales (y estos pueden ser cortes o terraplenes), según sea el origen de su formación. También se producen taludes en los bordes de una excavación que se realice a partir del nivel de terreno natural, a los cuales suele denominarse taludes de la excavación. En tanto se reserva la palabra talud para la formación artificial, construida por el ingeniero, hablándose así de los taludes de cortes, terraplenes, de las excavaciones, etc.

No hay duda de que el talud constituye la estructura mas compleja de las vías terrestres; ligados a su estabilidad aparecen los problemas mas complicados de la mecánica de suelos y de la mecánica de rocas aplicadas a la construcción de estas obras, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable. En primer lugar será preciso analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cual será la inclinación apropiada en un corte o un terraplén. Casi siempre la mas apropiada será al mas escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Aquí radica la esencia del problema y la razón de su estudio. A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y, por lo tanto, diferentes costos. Podrían imaginarse casos en que, por alguna razón, el talud mas conveniente fuese muy tendido y en tal caso no habría motivo para pensar en “problemas de estabilidad de taludes”, pero lo normal es que cualquier talud funcione satisfactoriamente desde todos los puntos de vista excepto el económico, de manera que las consideraciones de costo presiden la selección del idóneo; que resultara ser aquel al que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo, el talud mas escarpado.

De esta manera los taludes son (caso excepcional en una técnica ingenieril sustentada en bases filosóficamente correctas) estructuras que en general se deben proyectar y construir con una motivación esencialmente económica. Y por cierto ha de comentarse que los montos de inversión por los que se pelea y que se defienden con un criterio correcto de estabilidad de taludes, son una parte muy importante de la inversión total que se efectuó en una vía terrestre. En México, por ejemplo, estadísticamente hablando, puede decirse que el 50% de toda carretera por construir se desarrollara en terreno francamente montañoso, un 30% en terreno ondulado y un 20% en terreno plano. En el primer tipo de configuración quizá un 70% del costo total de la carretera corresponda al movimiento de tierras que, a su vez, consistirá fundamentalmente en la formación de cortes y terraplenes, en los que cualquier cambio en la inclinación repercutirá en forma importante en el costo total (Rico y Del Castillo 2003).

Es indudable de que los taludes son estructuras muy complejas, que presentan muchos puntos de vista dignos de estudio y a través de los cuales la naturaleza se manifiesta de muchas formas diversas. Esto hará que su estudio siempre sea complicado, pero parece cierto también, que una parte de las dificultades presentes se deben a una falta de correcto deslinde de las diferentes variantes con que el problema de estabilidad se puede presentar y se debe afrontar.

Los problemas relacionados con la estabilidad de laderas naturales difieren radicalmente de los que se presentan en taludes contruidos por el ingeniero. Dentro de éstos deben verse como esencialmente distintos los problemas de los cortes y de los terraplenes. Las diferencias importantes radican, en primer lugar en la naturaleza de los materiales involucrados y, en segundo, en todo un conjunto de circunstancias que dependen de cómo se formó el talud y de su historia geológica, de las condiciones climáticas que privaron a lo largo de tal historia y de la influencia que el hombre ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado. Esta historia y génesis de formación de laderas y taludes, la historia de esfuerzos a que estuvieron sometidos y a la influencia de condiciones climáticas o, en general, ambientales, definen aspectos tan importantes como la configuración de los suelos y las rocas, o el flujo de aguas subterráneas a través de los suelos que forman la ladera o el talud, el cual influye decisivamente en sus condiciones de estabilidad.

Dentro de los taludes artificiales también existen en las vías terrestres diferencias esenciales entre los cortes y terraplenes. Estos últimos constituyen una estructura que se construye con un material relativamente controlado o que, por lo menos en principio, se puede controlar. Es obvio que tales

condiciones de formación han de imponer variantes en la naturaleza de los materiales con que se haya de trabajar, en su homogeneidad y en su disposición, que han de reflejarse fundamentalmente en la estructura final a que se llegue y en todos los aspectos de su comportamiento.

Otro aspecto que genera confusión dentro de la concepción del problema “estabilidad de taludes” es, lo que a dado en llamarse “falla del talud”. Desde luego no existe un consenso universal en lo que debe entenderse por tal; la gran mayoría de las fallas de taludes se definen en términos de derrumbes o colapsos de toda índole, que no dejan duda en pensar que ha ocurrido algo que pone en serio entredicho la función estructural; o términos de movimientos excesivos, al grado de ser incompatibles con la concepción ingenieril del comportamiento del talud y con la función para la que fue construido. Independientemente de que en las concepciones anteriores de “falla” existen gran cantidad de elementos de interpretación subjetiva, casos de frontera, etc., en los que puede ser muy difícil pronunciarse en un momento dado, sin embargo, se piensa que no esta ahí la verdadera fuente de confusión en el concepto “falla” de los taludes. Esta radica, mas bien, en la gran variedad de fenómenos que por lo general se involucran en el concepto; una falla rotacional, que afecte al cuerpo entero del talud y su terreno de cimentación, puede comprometer su función estructural tanto como un corrimiento traslacional de una gran parte de la estructura o como el deslizamiento lento y superficial de una ladera natural. En todos los casos ha habido “falla” o ha habido problema, según la nomenclatura usual y para solucionar el problema o corregir la falla el ingeniero ha de acudir a un tratado en que los problemas o las normas correctivas quizá se presentan en forma indiscriminada, sin considerar que una falla rotacional es algo fundamentalmente distinto a un movimiento trasnacional, que tiene diferentes modos de ocurrir y que han de ser concebidos y tratados de modo totalmente diferentes en muchos casos. Es urgente, pues, diferenciar los múltiples modos por los que un talud puede llegar a no cumplir la función que se le haya asignado o a un eventual colapso, viendo cada modo como un problema distinto, en génesis, planteamiento y solución.

La naturaleza y homogeneidad de los materiales constitutivos son básicas para plantear y definir el problema de la estabilidad de un talud en cualquiera de sus múltiples aspectos. El ingeniero, como es en el usual, analiza estos problemas tratando de extraer los suficientes conocimientos de carácter general como para poder establecer un modelo matemático en el que analizar la estabilidad sea una simple cuestión de papel y lápiz y aplicación de tal o cual procedimiento matemático o secuencia de cálculo algebraico.

1.2 Tipos de fallas más comunes en los taludes de las vías terrestres (De acuerdo a Rico y Del Castillo 2003).-

A continuación se presentaran una relación de las fallas que afectan a los taludes naturales y sobre todo los que afectan a los taludes artificiales. Se considerará que la estabilidad de taludes en roca no lo trataremos en esta tesis.

Es un poco difícil recordar todos los tipos de falla que se presentan en los taludes pero dentro de esta tesis se presentaran los más comunes.

Los factores de que depende la estabilidad de taludes se presentan en los siguientes puntos:

a.- Factores geomorfológicos:

a.1- Topografía de los alrededores y geometría del talud.

a.2.- Distribución de las discontinuidades y estratificaciones.

b.- Factores internos.

b.1.- Propiedades mecánicas de los suelos constituyentes.

b.2.- Estados de esfuerzos actuantes.

c.- Factores climáticos.

Consideraremos las fallas que se pueden producir en taludes naturales y artificiales como ya se ha mencionado anteriormente, y mencionaremos de las fallas que se pueden producir en materiales que se han formado mediante un proceso de compactación.

1.2.1 Fallas ligadas a la estabilidad de laderas naturales.-

Se agrupan las fallas que se presentan en taludes naturales, teniendo en cuenta que también algunas de ellas pueden presentarse en taludes artificiales.

1.2.2 Deslizamiento superficial asociado ala falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep).-

Esta se refiere al proceso lento pero continuo del deslizamiento de tierras ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales esta falla la podremos identificar con la palabra inglesa “Creep”.

El Creep suele afectar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce de una forma lenta entre las masas de tierra móviles y las masas mas profundas inmóviles, el Creep suele deberse a una combinación de movimientos de tierra afectados por las fuerzas de gravedad y de varios agentes del medio ambiente. La velocidad de este tipo de falla es muy lenta como ya se menciono por lo tanto rara vez llega a moverse varios centímetros por año.

Según han señalado los investigadores del tema el Creep lo podemos clasificar de dos formas que se describen continuación:

a.- El estacional: Este solo afecta a la corteza superficial de la ladera que es afectada por los cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas, o por humedecimiento y secado. Este casi siempre existe y producirá movimientos de acuerdo a la época del año. El espesor de la capa superficial afectada es sumamente bajo y su dimensión puede llegar a ser o estimarse de un metro.

b.- El masivo: Este afecta a capas de tierra más profundas, no afectadas por los efectos ambientales más bien se le pueden atribuir los efectos gravitacionales. Se manifestará por movimientos constantes. Puede ocasionar que una costra superficial cuyo espesor en este caso puede llegar a ser de varios metros comience a moverse ladera abajo. Se pude decir que para que se presente este Creep es necesario que los limites de esfuerzos a los que están sometidos las masas de tierra sean afectados de la siguiente manera “si los esfuerzos actuantes quedan bajo de él, la parte superficial de la ladera permanecerá en reposo, y si los esfuerzos actuantes lo sobrepasan se producirá el Creep masivo”.

También parece razonable considerar que lo esfuerzos cortantes que presenta la ladera en la zona superficial son bajos, y los esfuerzos normales efectivos también son bajos, por lo tanto, de acuerdo

a estos tipos de esfuerzos que se presentan se forma el tipo de falla conocido como Creep, que provoca movimientos lentos en la superficie de la ladera natural.

Como ya se ha dicho el Creep afecta a grandes áreas de terreno por lo cual es de gran importancia para el ingeniero identificarlas, para la realización del anteproyecto y del proyecto, ya que no se conoce un método que sea realmente seguro para poder detener el deslizamiento del terreno una vez que este ya inicio su deformación.

Por lo cual se describen algunos de los fenómenos que se presentan en este tipo de falla.

Es de gran importancia siempre que se llegue a la zona donde se construirá revisar las condiciones de la ladera ya que una forma de identificar si existen movimientos en las masas de tierra es por la forma en que se encuentren los árboles, postes y otros elementos ya que estos deben de tener una forma vertical con respecto de la inclinación de la ladera y para poder darnos cuenta si se esta erosionando el talud, los elementos antes mencionados presentan perpendiculares con respecto a la ladera, otra forma de identificar la falla es revisando que no existan problemas de agrietamientos, roturas de muros o cualquier tipo de estructura expuesta a la falla, este es causado debido a los movimientos superficiales del terreno, ya que es lógico pensar que a menor profundidad mayor es la velocidad de desplazamiento, debido a que mientras mas profunda sea mayor son las restricciones al movimiento.

Otra forma de auxiliarse para identificar el Creep es por medio de la fotografía aérea vista con estereoscopio, ya que al final de cuentas si existe un Creep por donde pasa el trazo de la carretera lo mejor es cambiarlo, como ya se menciono antes ya que no existe un método exacto para solucionar este tipo de problemas.

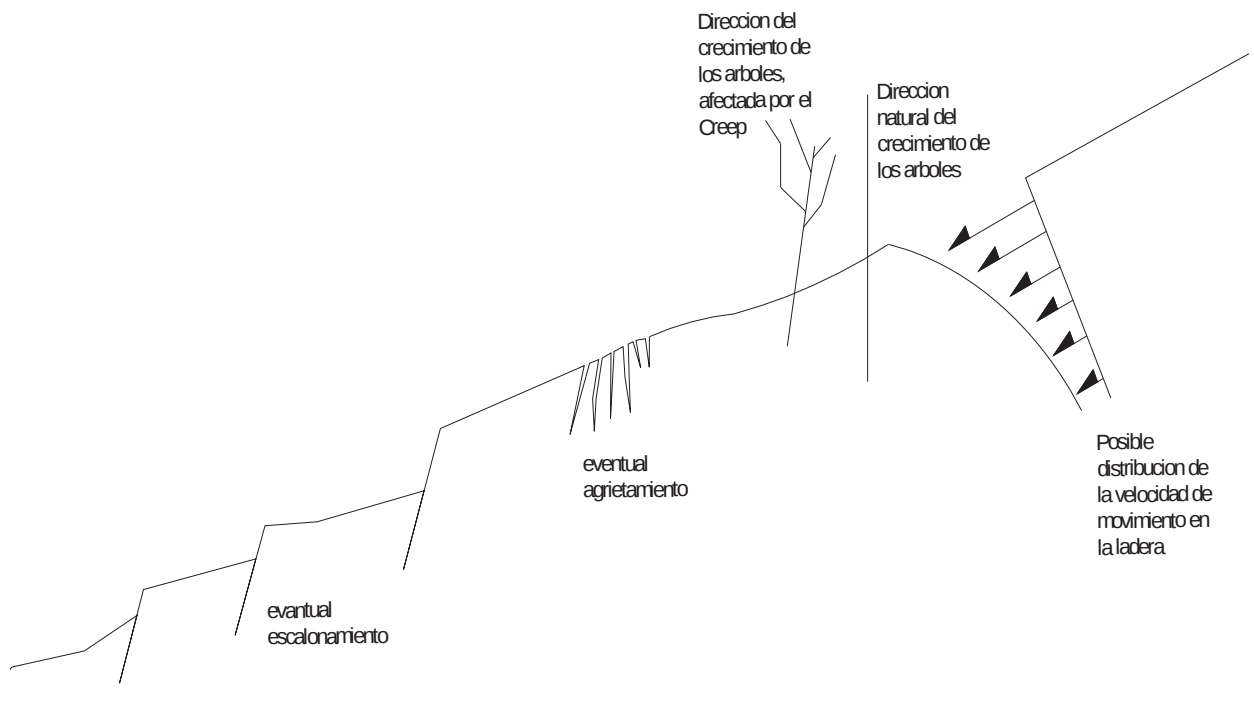


Fig. 1.0. Signos del deslizamiento superficial.

1.2.3 Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionados con perfiles geológicos desfavorables.-

Este tipo de falla consiste en la acumulación de material debido al movimiento de las masas ladera abajo, este tipo de fallas es común que se presenten en taludes naturales debido a depósitos de talud o en otras formaciones geológicas formadas por materiales poco heterogéneos y bajo la acción de las fuerzas gravitacionales. Se dice que la falla se empieza a presentar a distancias profundas donde se genera un Creep pequeño, y así la ladera puede seguir deformándose durante mucho tiempo hasta que se genere la falla en la superficie de la ladera provocada por la acumulación de esfuerzos en el interior. Es lógico pensar que la ruptura se presentara primero donde halla una mayor concentración de esfuerzos ocasionando redistribuciones de estos propagándose la ruptura de la falla y una vez ya producida la superficie de falla producirá un movimiento rápido de las masas que fueron afectadas o por el contrario las masas podrán mantenerse en su posición pero sobre el limite de falla. Esto más que nada dependen de las condiciones del material donde se ha generado la falla. Por otra parte los procesos lentos de deformación, producen resistencia del tipo friccionante puro, lo que también producirá la presencia de planos de deslizamiento.

Este tipo de falla depende del ángulo de fricción del material, si el ángulo de fricción del material es menor al del plano de falla esto provocara que se inicie el movimiento de tierras ladera abajo, si por el contrario el ángulo de fricción es mayor al del material desprendido este podría continuar en su posición solo generando pequeños movimientos de tierra a lo largo de su ruptura.

El nivel freático y en general al presencia de agua en los materiales en la proximidad de la superficie de falla, hacen que esta tarea de estabilizar taludes sea un poco mas compleja ya que ayudan a generar la presencia de las fallas

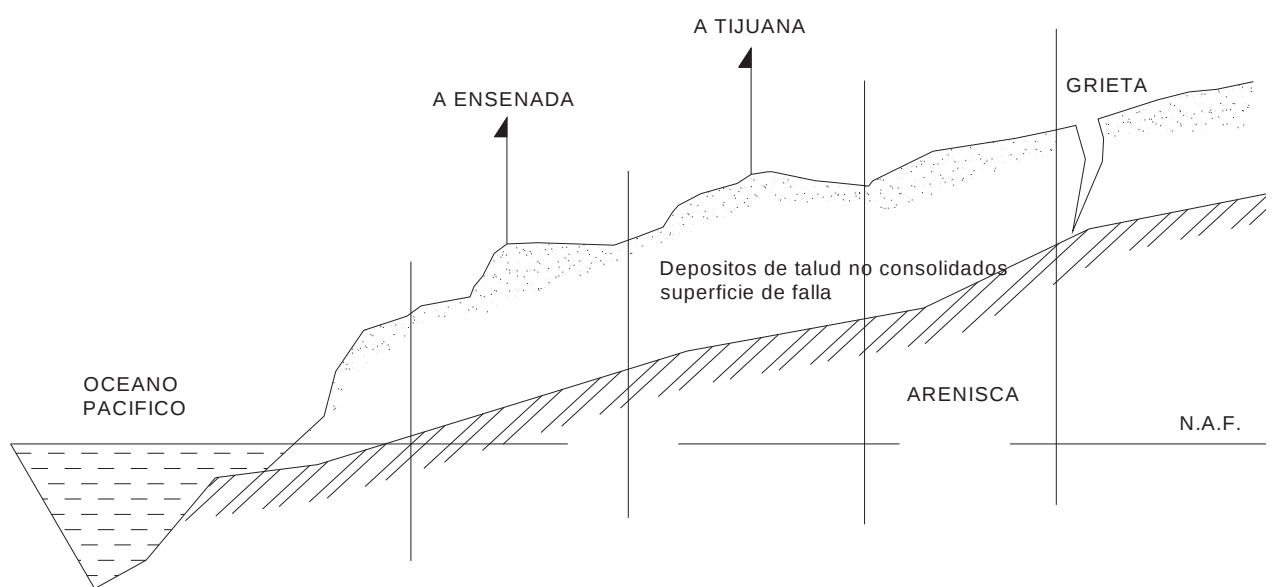


Fig. 1.1 Superficie de falla formada en una ladera natural.

1.2.4 Flujos.-

Este se refiere a fallas de movimientos mas o menos rápido de una ladera natural de tal manera el movimiento del material se asemeja al movimiento de un liquido viscoso, la superficie de deslizamiento no es distinguible ya que se desarrolla en lapso breve, el material que puede fluir puede ser cualquier formación no consolidada y así el fenómeno puede llevar a su paso fragmentos de roca, suelos granulares finos o arcillas francas, es mas frecuente el flujo en lodo.

Este se divide en dos grupos que se describen a continuación:

1.2.4.1 Flujo en material relativamente seco.-

En este grupo quedan comprendidos los flujos de fragmentos de roca y arenas secas, desde los muy rápidos (avalanchas) hasta los que ocurren lentamente, pueden ser generados por la presencia de un sismo.

1.2.4.2 Flujo en materiales húmedos (flujos de lodo).-

Se trata de material que requiere de un buen porcentaje de agua contenida, a estos se les denominan flujos de lodo en la zona de fluencia.

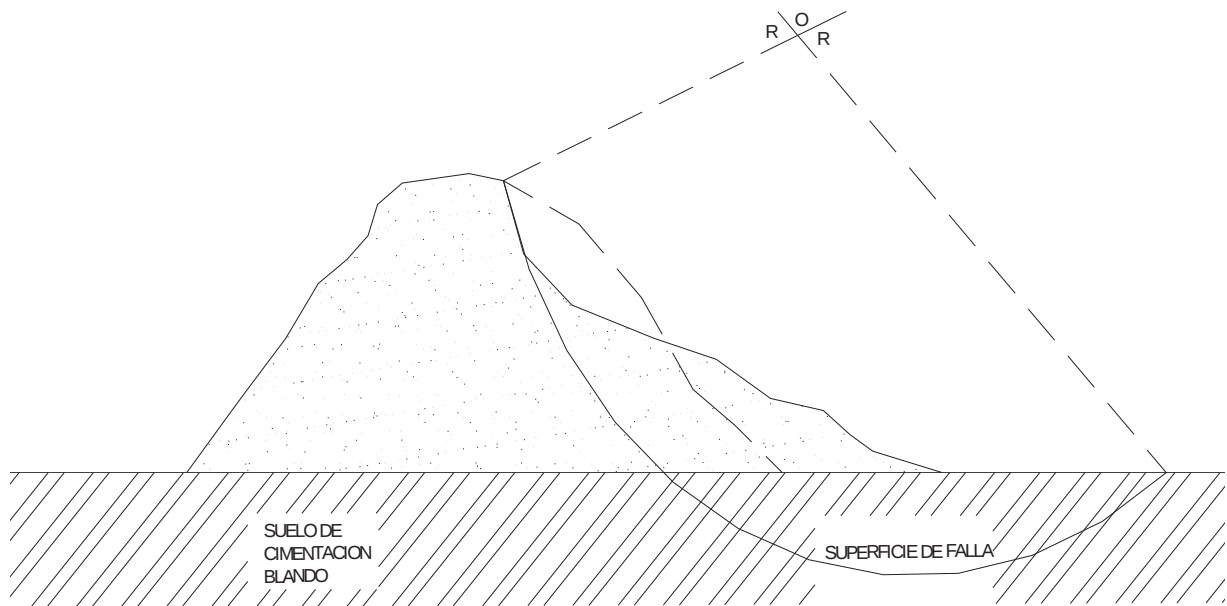
1.2.5 Fallas ligadas a la estabilidad de taludes artificiales.-

Como ya se ha mencionado anteriormente estos taludes son generados por el hombre y pueden ser cortes, terraplenes, rellenos, entre otros, continuación describiremos las fallas mas comunes que se presentan en estas laderas artificiales.

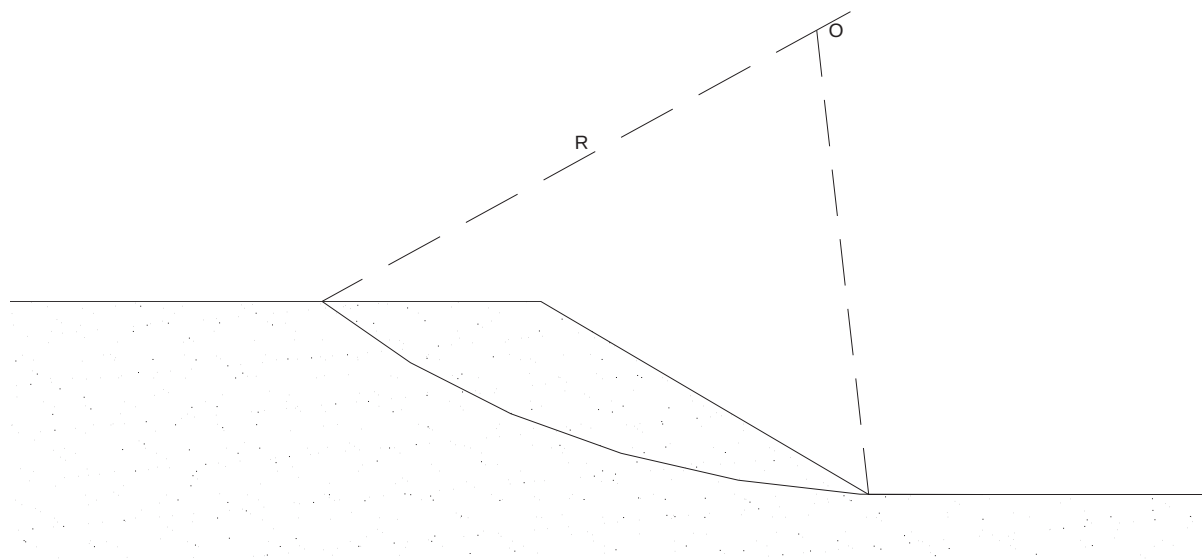
1.2.5.1 Falla rotacional.-

En esta falla se describirán esencialmente las que tienen movimientos rápidos que se presentan en los taludes y que su falla es en forma de curva afectan principalmente a masas profundas de los taludes.

Se considera que esta parte de la superficie puede llegar a fallar cuando la resistencia del material al esfuerzo cortante es sobrepasada por los esfuerzos que ocurren en el área afectada. Estos movimientos ocurren con frecuencia en los cuerpos de terraplenes y cortes en las vías terrestres, donde los materiales que forman los cuerpos antes mencionados están compuestos por arcillas homogéneas o el material utilizado esta regido en su composición por arcillas.



a).- FALLA DE BASE

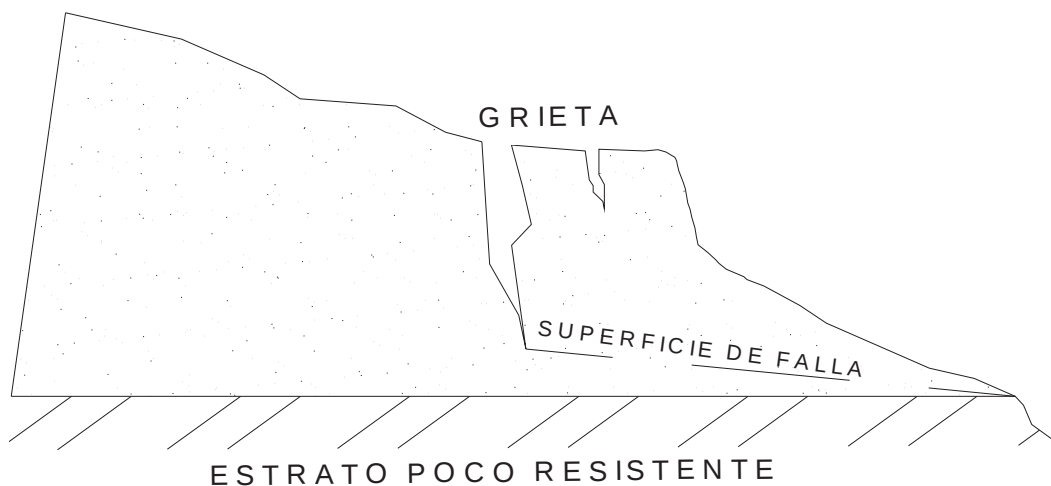


b).- FALLA POR EL PIE DE TALUD

Fig. 1.2 Fallas rotacionales. Secciones típicas.

1.2.5.2 Falla traslacional.-

Esta falla se produce básicamente sobre superficies básicamente planas donde el cuerpo del talud esta formado fundamentalmente por arcillas blandas o arenas finas o limos no plásticos sueltos. Asociados a estratos poco resistentes a poca profundidad bajo el talud. La falla se presenta en forma paralela al estrato más débil y se remata en sus extremos por dos cantiles, que están formados por agrietamientos.



a).- FALLA EN BLOQUE



b).- DESPRENDIMIENTO SUPERFICIAL

Fig. 1.3 Fallas traslacionales.

1.2.5.3 Fallas con superficie compuesta.-

Esta falla esta compuesta básicamente por la combinación de falla rotacionales con fallas traslacionales donde se presentaran movimientos de tierra sobre la superficie del talud de forma de agrietamiento y consecuentemente se formara el deslizamiento de tierras en forma circular y como en los casos anteriores se encuentra formada básicamente por arcillas.

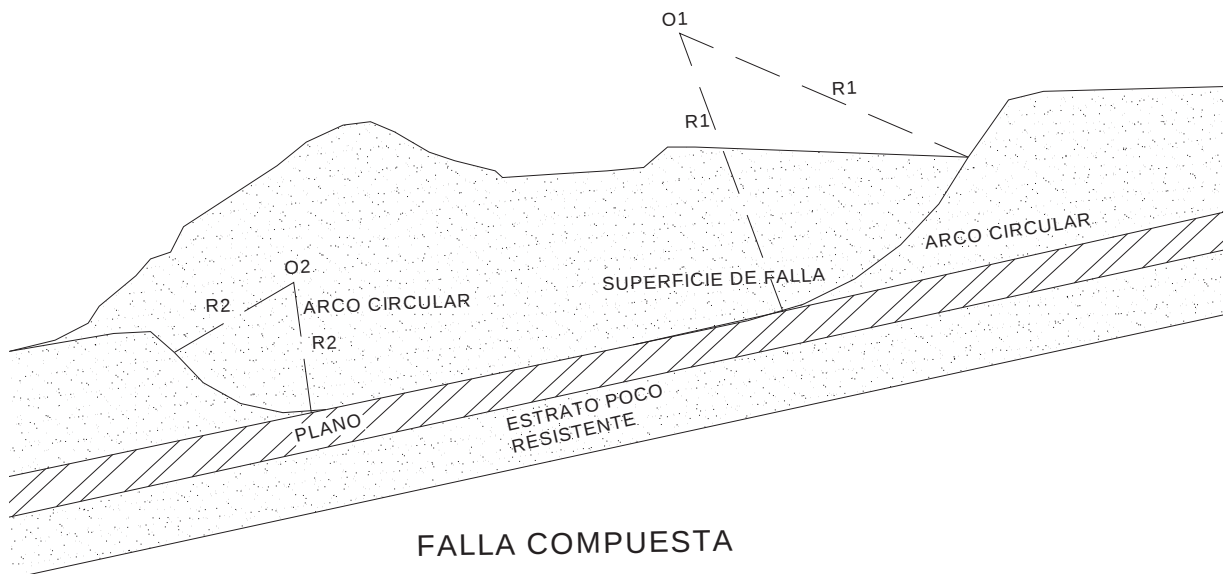


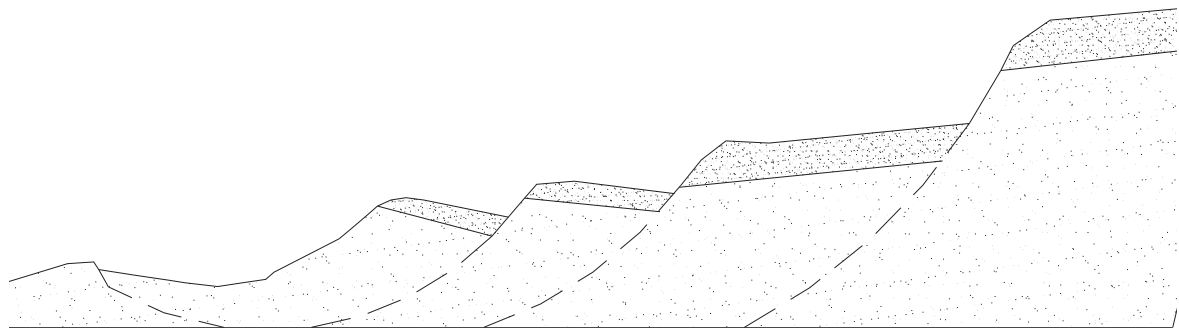
Fig. 1.4 Falla compuesta.

1.2.5.4 Fallas múltiples.-

Estas fallas producen varias superficies de deslizamientos, las cuales se les ha nombrado fallas regresivas y fallas sucesivas se presentan en laderas naturales afectadas por un corte.

Estas se forman a partir de un corte en la superficie natural de la ladera, el cual deja al terreno inestable por lo tanto se van generando fallas de deslizamientos ladera abajo y se pueden presentar de forma rotacional o traslacional.

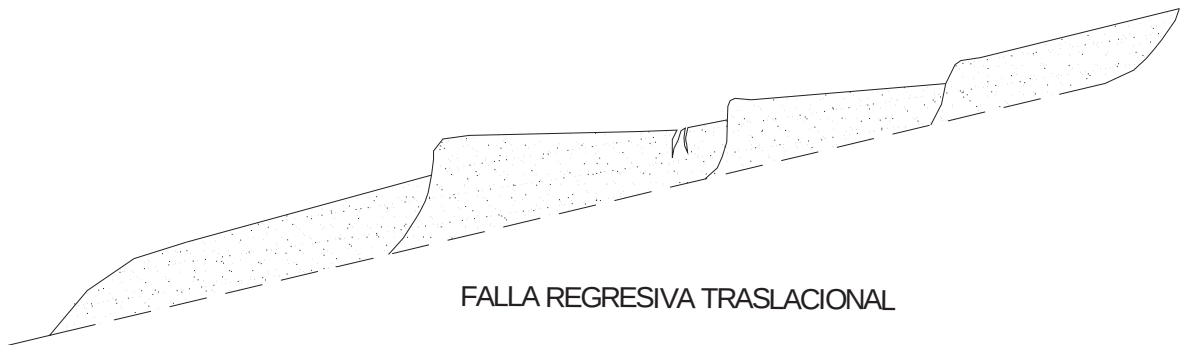
A.- Las fallas rotacionales regresivas, se presentan generalmente en regiones de topografía escalonada en la cual se presentan frecuentes fenómenos de erosión y si se encuentra formados por estratos de gruesos de arcillas sobreconsolidadas, fisuradas o de lutitas.



FALLA REGRESIVA ROTACIONAL

Fig. 1.5 Fallas múltiples.

B.- Las fallas traslacionales regresivas, se presentan en capas superficiales y se asocian también a la presencia de arcillas fisuradas y lutitas.



FALLA REGRESIVA TRASLACIONAL

Fig. 1.6 Fallas múltiples.

C.- Las fallas sucesivas, se presentan en un conjunto de deslizamientos rotacionales superficiales o en las últimas etapas de degradación en laderas de arcilla sobreconsolidada o fisurada. En ocasiones la falla forma escalonamientos sumamente regulares.

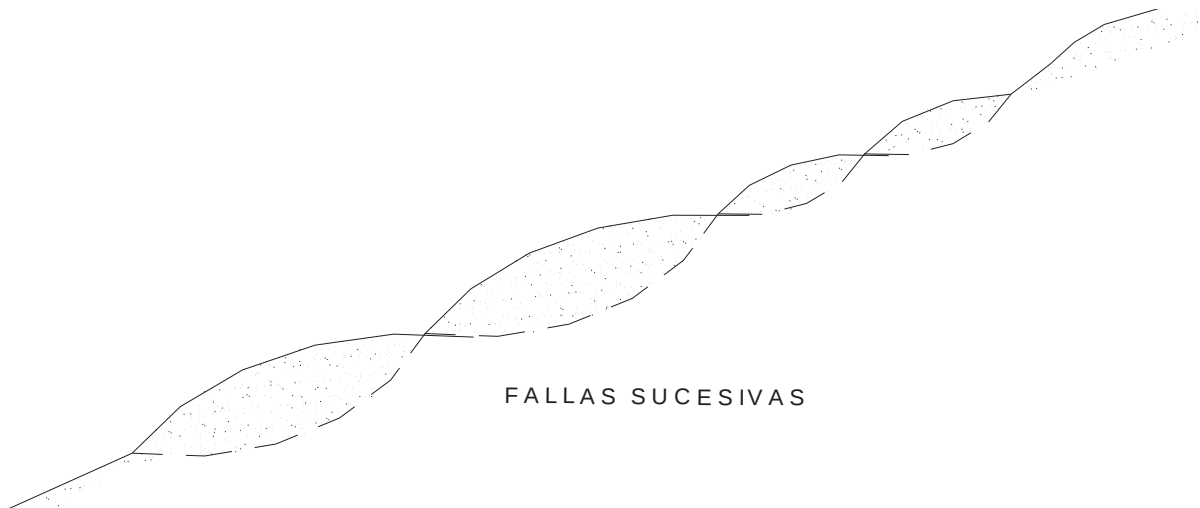


Fig. 1.7 Fallas múltiples.

1.2.6 Derrumbes y caídos.-

Estas fallas se presentan en laderas naturales y en cortes realizados en estas, por lo general no afectan a grandes superficies de masas y estos pueden ser de fragmentos de rocas pequeños o grandes, arcillas sobreconsolidadas, se presentan con más frecuencia en épocas de lluvias ya que el agua provoca que actúen presiones hidrostáticas sobre estos hasta provocar el derrumbe.

1.2.7 Fallas por erosión.-

Estas se presentan como fallas dañinas y frecuentes en los terraplenes y cortes en las vías terrestres. Esta es provocada por agentes del medio ambiente como son el agua y el aire los cuales atacan directamente al cuerpo del terraplén o corte provocando en los hombros de éste deformaciones, socavaciones que si no se tratan a tiempo llevara ala estructura al fallo inminente.

1.2.8 Fallas por tubificación.-

Este tipo de falla se presenta por lo general en cuerpos de terraplenes los cuales están expuestos constantemente al agua la cual puede llegar a generar en el terraplén un flujo de agua a través de el. Ya que el terraplén esta expuesto a estas situaciones constantemente ya que hay la necesidad de cruzar pantanos, presas, zonas de inundaciones de ríos, etc. Esta falla se genera cuando el agua empieza a circular por el terraplén arrastrando las partículas finas después partículas de mayor diámetro hasta generar tubificaciones de diámetros considerables hasta llevar al terraplén al colapso.

Esto es debido a la insuficiencia de compactación en el cuerpo del terraplén.

1.2.9 Fallas por agrietamiento.-

Estas fallas se presentan en los terraplenes en el sentido longitudinal y transversal. En el sentido transversal ocurrirán por asentamientos diferenciales a lo largo del eje del camino y solo serán de consideraciones en el caso de terraplenes cimentados sobre suelos blandos. El agrietamiento longitudinal respecto al eje vial es mas común que se presente ocurre por los movimientos diferenciales de los hombros del terraplén con respecto a el centro de eje del camino, ubicadas en los hombros, estas grietas continúan en forma continua hasta decenas o centenas de metros hasta provocar la destrucción del terraplén. Esta falla puede ser provocada por los materiales que se encuentran bajo la construcción del cuerpo del terraplén. Si existe un terreno de cimentación arcilloso, blando y compresible, probablemente situado en una zona plana o en hondonada con nivel freático próximo a la superficie y supóngase el terraplén se construye con materiales finos con fracción arcillosa importante de manera que sean susceptibles a variar el volumen de acuerdo al contenido de agua, de acuerdo a estos factores el material que lo forma tendera a contraerse a menor cantidad de agua y a dilatarse a mayor contenido de agua por lo cual generara en la superficie del camino agrietamientos.

1.2.10 Fallas por deformación en los hombros del terraplén.-

Esta consiste en la deformación progresiva y acumulativa de los hombros del terraplén que se desplaza verticalmente hacia abajo provocando una sección redonda o escalonada en la corona puede aparecer una grieta a lo largo del eje del camino la cual puede indicar que se ha empezado el movimiento de tierras, esta falla esta asociada a la mala compactación de los materiales que forman el cuerpo del terraplén y formado por suelos finos plásticos, en zonas con mal drenaje superficial.

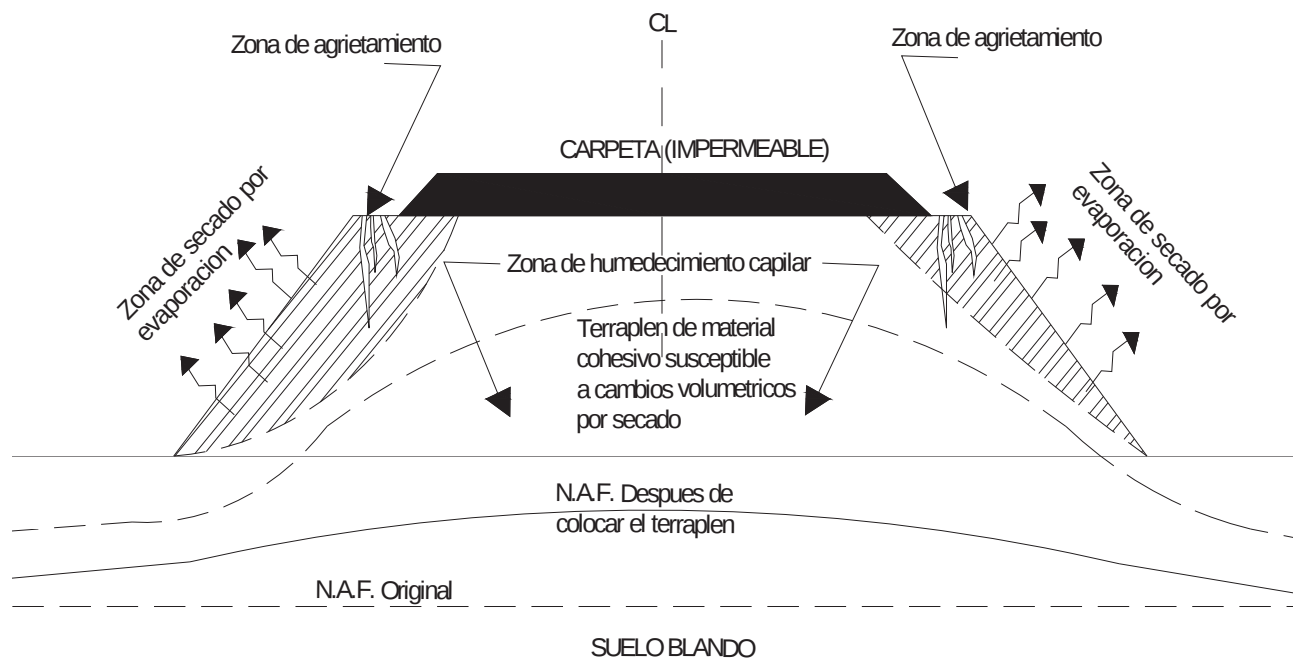


Fig. 1.8 Mecanismo del agrietamiento longitudinal en terraplenes.

CAPITULO 2.

2 Metodología para la determinación de la inclinación de taludes en carreteras.

2.1 Introducción.-

En este capítulo se describirán de manera sencilla los diferentes métodos que existen para calcular la estabilidad de los taludes, ya sean taludes naturales o artificiales. Se describirán varios métodos para calcular la estabilidad de un talud los cuales son un poco laboriosos ya que implica estar realizando una serie de iteraciones hasta encontrar el ángulo que nos pueda proporcionar la estabilidad del talud adecuada, para encontrar la solución utilizaremos un programa de computadora, el Geostudio 2004 que cuenta con una serie de herramientas para obtener el ángulo de inclinación adecuado para que el talud permanezca estable, el cual describiremos la manera que se puede utilizar, es importante mencionar que este programa se utilizara en su versión estudiantil, ya que es un programa que maneja varios métodos de análisis, el que utilizaremos para el análisis de los materiales que se mostraran en el Capítulo3, es el método de Morgenstern-Price.

Los resultados obtenidos con el programa Geostudio 2004, los compararemos con los métodos de las graficas que se describirán en este capítulo.

2.1.1 Taludes en arenas limpias.-

Un talud formado por arena seca y limpia es estable independientemente de su altura si se cumple con que el ángulo β de inclinación es menor que el ángulo de fricción interna del material correspondiente a su compacidad y demás condiciones.

En este caso el factor de seguridad (F_s), que se le proporcionara al talud se determinara mediante la siguiente ecuación:

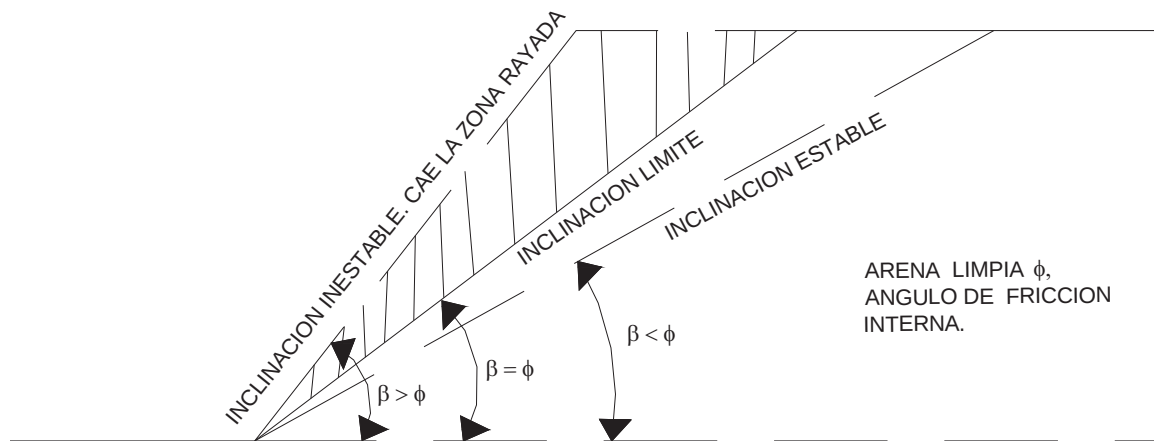


Fig. 1.9. Taludes en arenas limpias.

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \text{----- (1.0)}$$

Donde:

F_s = factor de seguridad.

$\tan \Phi$ = Angulo de fricción interna del material.

$\tan \beta$ = Angulo de inclinación del talud.

La resistencia al esfuerzo cortante esta en función del agua que contiene el suelo, por lo tanto, cuando el suelo no esta saturado la capilaridad es alta, por lo que las partículas del suelo permanecen estables y si por el contrario si el suelo llega a humedecerse la capilaridad desaparece por lo tanto, el suelo empezara a caer si la inclinación del talud fue mas escarpada que el ángulo Φ del suelo según su granulometría, compacidad y angulosidad.

2.1.2 Pruebas para determina los parámetros de resistencia del suelo.

Para la determinación de los parámetros de resistencia del suelo es necesario realizar al suelo la siguiente prueba de laboratorio que se describe a continuación:

2.1.2.1 Prueba de compresión triaxial.

Estas pruebas son sin lugar a dudas las mas utilizadas para determinar las características esfuerzo-deformación y de resistencia al corte de especímenes de suelos inalterados o alterados. Para realizar esta prueba se utiliza un dispositivo llamado cámara triaxial que consiste de lo siguiente (fig.1.9.1).

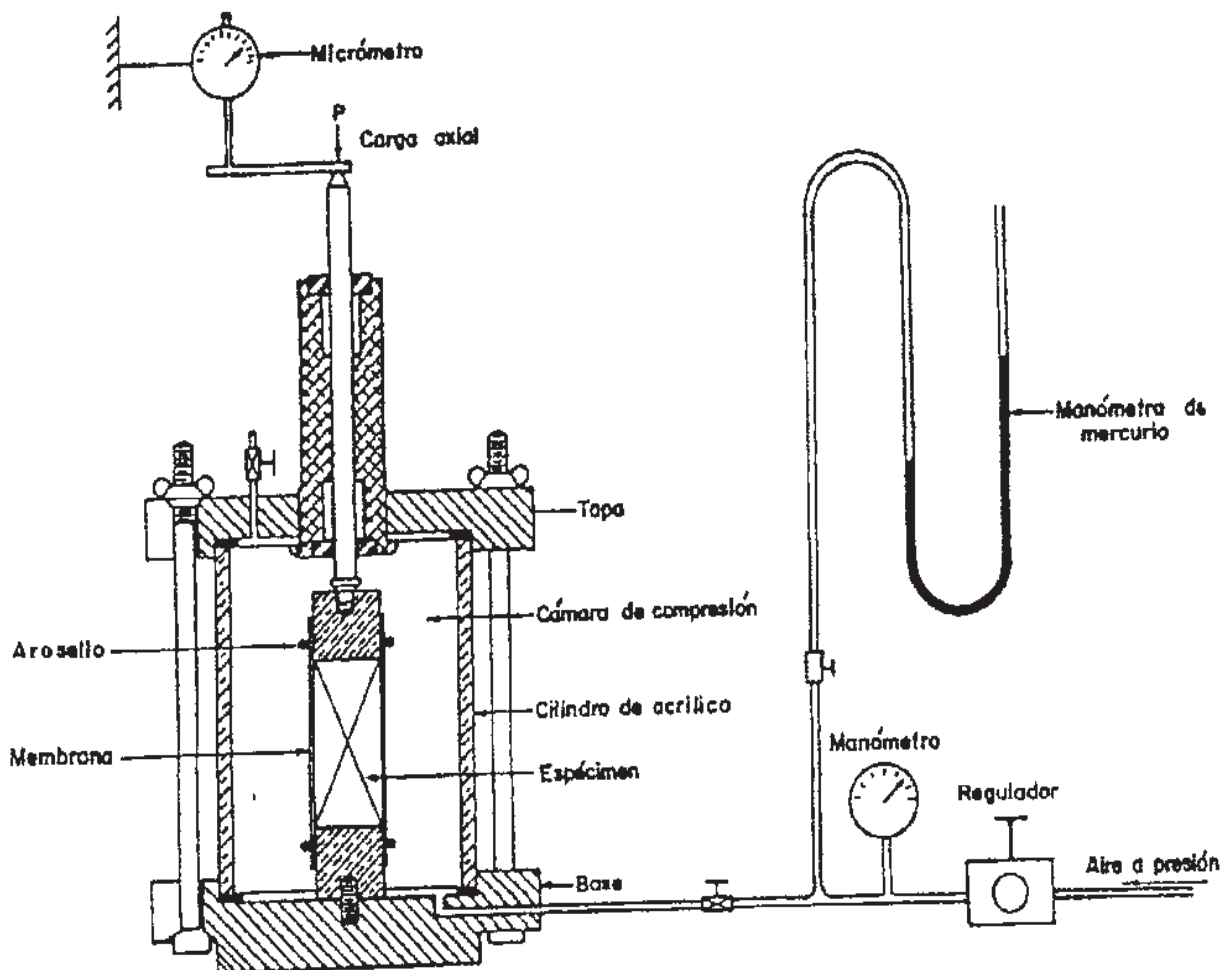
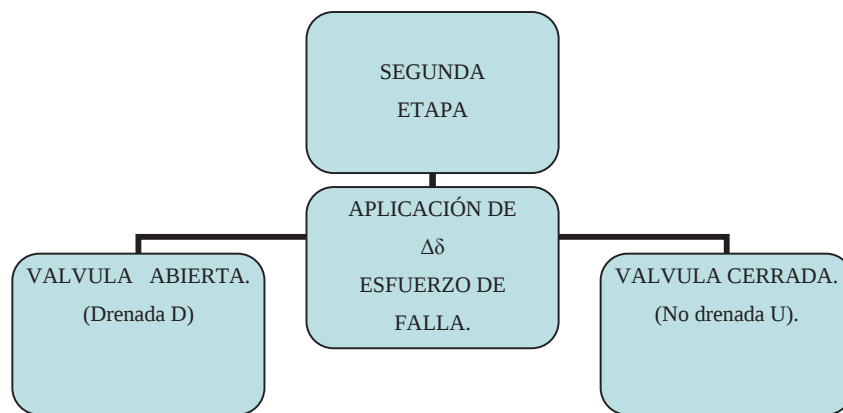
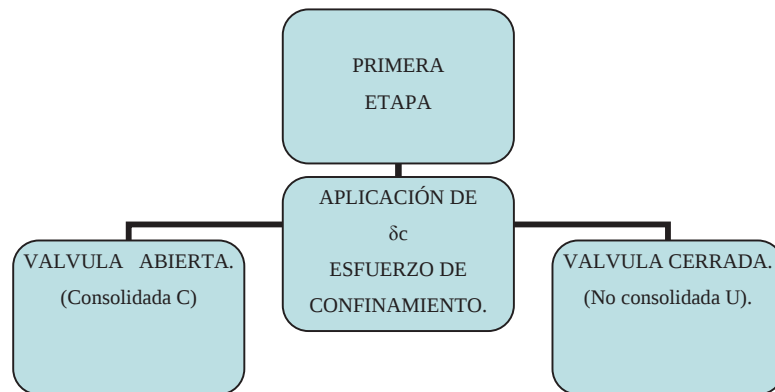


Fig. 1.9.1 Cámara triaxial.

Es conveniente mencionar que la elección de la prueba a utilizar depende del mecanismo de falla esperado o en su caso modelo de falla establecido; asimismo, deberá tomarse en cuenta las condiciones de esfuerzos e hidráulicas a las que está o estará sometido el material, así como las condiciones de análisis de largo o corto plazo. Para esto existen dos etapas que intervienen dentro de las pruebas triaxiales:



Ya una vez mostradas las etapas que existen dentro de las pruebas triaxiales, ahora describiremos los tres tipos de pruebas que se describen a continuación:

2.1.2.1.1 Prueba triaxial no consolidada no drenada (UU) o (rápida).-

En esta prueba tanto en la primera etapa, en la que se aplica la presión de confinamiento, como en la segunda etapa, donde se incrementa el esfuerzo axial, no se permite el drenaje en la muestra.

2.1.2.1.2 Prueba triaxial consolidada no drenada (CU) o (rápida consolidada).-

En esta prueba en la primera etapa al aplicar la presión de confinamiento se permite el drenaje en la muestra y en la segunda etapa al aplicar el incremento del esfuerzo axial no se permite el drenaje.

2.1.2.1.3 Prueba triaxial consolidada drenada (CD) o (lenta).-

En esta prueba tanto en la primera etapa al aplicar la presión de confinamiento y en la segunda etapa al aplicar el incremento del esfuerzo axial, se permite el drenaje del espécimen.

En las siguientes figuras podemos ver el comportamiento del suelo cuando se encuentra en estado consolidado, preconsolidado, saturado, ya que al realizarle la prueba triaxial se obtiene la envolvente de falla como se muestra en las siguientes figuras:

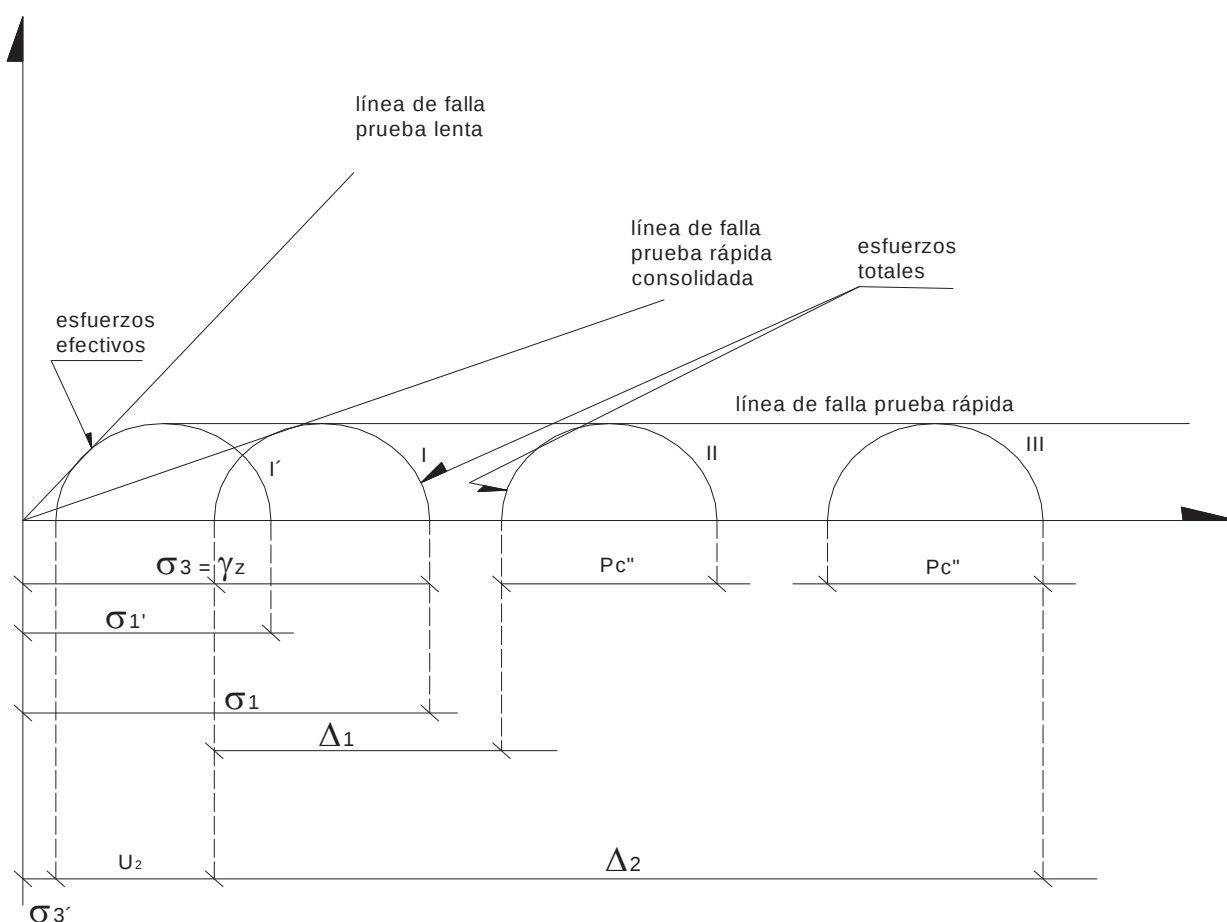


Fig.1.9.2. Envoltentes de falla para suelos consolidados.

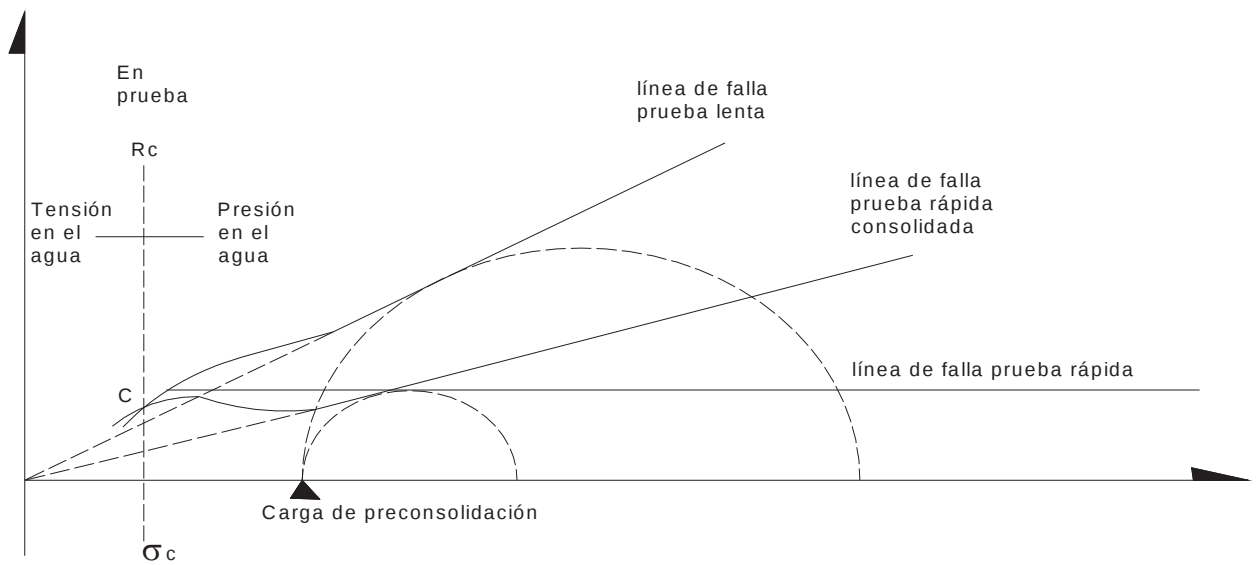


Fig.1.9.3. Envolventes de falla para suelos preconsolidados.

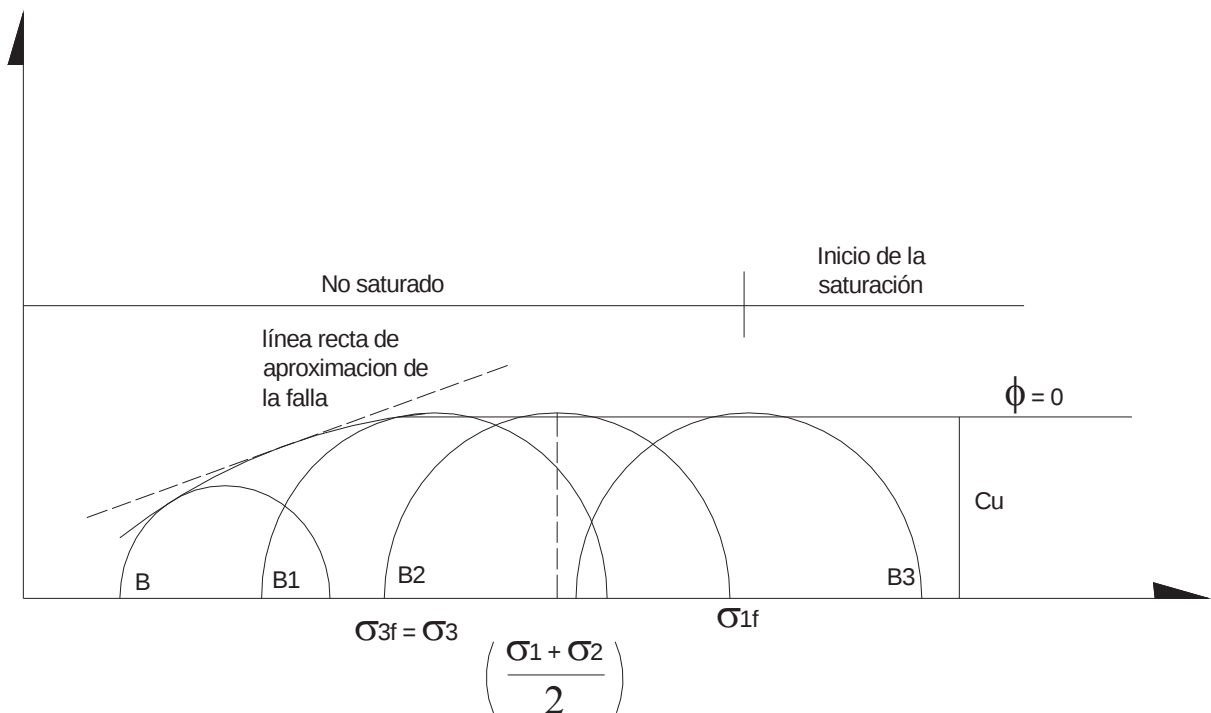


Fig.1.9.4. Envolventes de falla para suelos saturados.

Por lo tanto, podemos hacer mención de que en nuestro caso utilizaremos la prueba triaxial rápida, aunque no siempre se utilizara esta.

En las siguientes figuras podemos ver el comportamiento del suelo cuando se encuentra en estado: alterado o estado inalterado al realizarles las pruebas triaxiales:

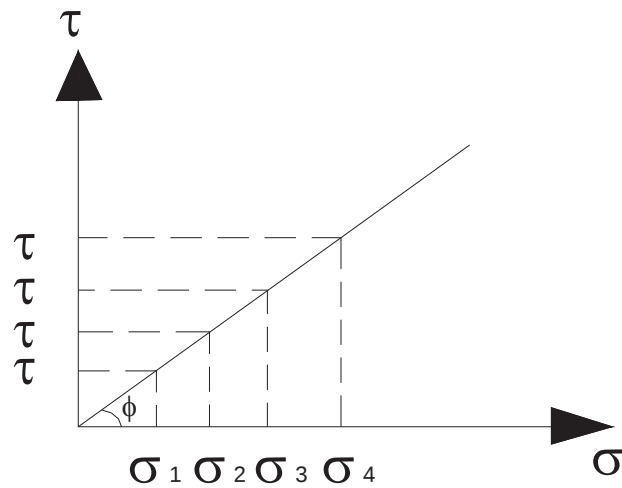


Fig. 1.9.5. Φ Angulo de fricción interna.

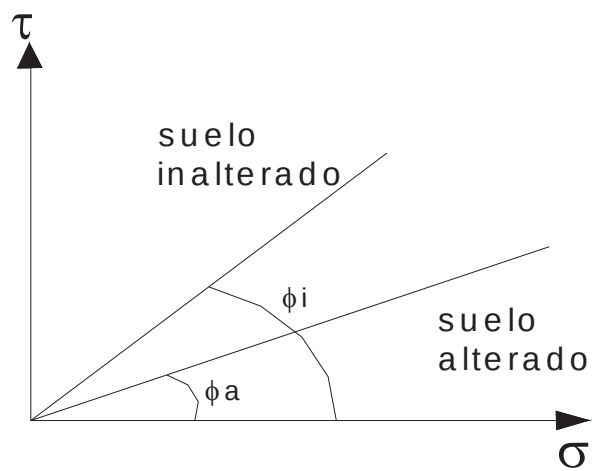


Fig. 1.9.6. Líneas de falla.

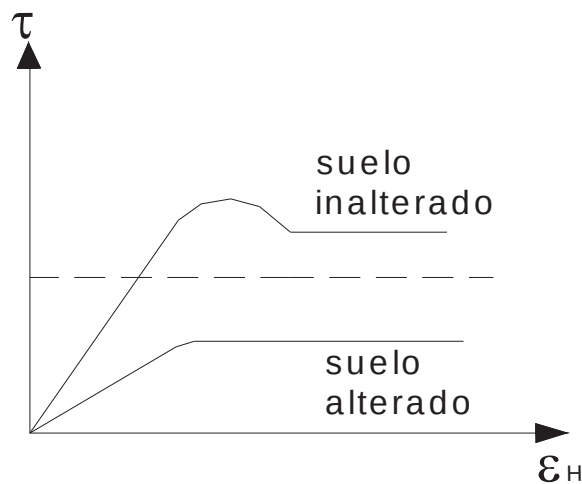


Fig. 1.9.7. ϵ_H Líneas de deformación horizontal de las muestras.

En la figura 1.9.5. Nos muestra el ángulo de fricción del material. En la figura 1.9.6. Podemos observar las líneas de falla para un suelo alterado y para un suelo inalterado obtenidas por medio de los círculos de Mohr. En la figura 1.9.7. Observamos el comportamiento de la deformación horizontal del suelo inalterado y del suelo alterado.

Con esto podemos deducir, que cuando el material es alterado su cohesión es mas baja que la del suelo inalterado, por eso la línea de falla para un suelo alterado es mas tendida que la de un suelo inalterado, ya que el suelo inalterado conserva todas sus propiedades sin cambios y su estabilidad puede ser con un ángulo de reposo un poco mas grande que para el suelo alterado. Por lo tanto, en los análisis que le realizaremos a los diferentes tipos de suelos cuando se realice el cálculo de los ángulos para los cortes la cohesión se tendrá igual que como se presentara en la tabla correspondiente (tabla IV), pero la cohesión para el cálculo del ángulo de estabilidad del terraplén se tendrá que dividir entre dos. Las pruebas realizadas para la obtención de los resultados que se muestran en la tabla IV fueron obtenidos mediante la prueba de triaxial rápida aunque no siempre se utiliza siempre.

2.1.2.1.4 Estabilidad del talud a corto plazo.

La estabilidad del talud durante el inicio de la construcción es analizada si estará drenado o no drenado, dependiendo de la permeabilidad del suelo. Muchos suelos de grano fino son suficientemente impermeables que el drenaje es pequeño durante la construcción. Esto es particularmente para las arcillas. Para este suelo de grano fino, no drenado se usan dos fuerzas cortantes, y las fuerzas cortantes se caracterizan usando esfuerzos totales para los suelos que están drenados libremente, las fuerzas cortantes están expresadas en términos de esfuerzos efectivos y presión de poro de agua, las presiones están definidas basándose en las tablas que proporcionan información de filtración de agua, apropiadas para el análisis. Para los suelos drenados y no drenados se pueden hacer unos criterios para el análisis, dependiendo el tipo de suelo se le pondrán esfuerzos efectivos o esfuerzos totales.

Para muchos terraplenes la inclinación del talud mas critica es el inicio de la construcción. En muchos casos, como siempre, quizás estas condiciones intermedias duran durante la construcción que podría ser mas critico y por lo tanto debería ser analizado.

En muchos rellenos las operaciones de colocación del material, incluye mucho desperdicio, el relleno quizá no es el más indicado para poder dar un ángulo que las condiciones de estabilidad duren en el proceso de la construcción del relleno ya que se van dando mas adversas antes de terminar el relleno.

2.1.2.1.5 Estabilidad del talud a largo plazo

Tiempo después de la construcción el suelo que forma los taludes pueden consolidarse. A largo plazo el análisis de la estabilidad estará actuando para el reflejo de las condiciones después de estos cambios que tienden a ocurrir. Las fuerzas cortantes estarán expresadas en términos de de esfuerzos efectivos y presión de poro de agua desde las mas adversas condiciones de agua en el subsuelo y las condiciones de filtración previstas durante la vida del talud.

2.1.3 Falla rotacional método sueco.-

Los métodos de análisis límite disponibles para analizar si un talud llegara a deslizarse del tipo de falla rotacional al igual que todos los métodos para calcular la estabilidad de taludes siguen tres pasos fundamentales que enseguida se describen:

A.- Se establece una hipótesis sobre el mecanismo de la falla que se producirá. Ello incluye tanto la forma de la superficie de falla como una descripción cinemática completa de los movimientos que se producirán sobre ella y un análisis detallado de las fuerzas motoras.

B.- Se adopta una ley de resistencia para el suelo. Las leyes en uso en la actualidad ya han sido suficientemente discutidas. Con base en estas leyes se podrá analizar las fuerzas resistentes disponibles.

C.- Se establece algún procedimiento matemático de “confrontación” para definir si el mecanismo de falla propuesto podrá ocurrir o no bajo la acción de las fuerzas motoras, venciendo el efecto de las fuerzas resistentes.

La razón para utilizar un método como el anterior es que no se ha desarrollado ninguno satisfactorio con base en una hipótesis convincente de distribución de esfuerzos en el interior de la masa del talud. Con base a trabajos suyos y de sus colaboradores (PETTERSON Y OTROS), FELLINIUS (Referencia Rico y Del Castillo tomo 1), propuso la superficie circular como forma apropiada de la superficie de falla para muchos casos de deslizamientos en el cuerpo del talud. La superficie de falla es un cilindro, cuya traza en el plano del papel es un arco de circunferencia. En rigor, la adopción de esta hipótesis define la falla la cual ha sido nombrada como falla rotacional.

La propuesta de Fellenius y su grupo de trabajo en el Real Instituto Geotécnico sueco se popularizó extraordinariamente; cubre de un modo muy sencillo el punto de las tres etapas de trabajo que atrás se han mencionado. A la razón, los avances generales en el campo de la mecánica de suelos hicieron posible abarcar el punto 2 de una manera cada vez más razonable pronto surgieron gran cantidad de procedimientos para cubrir el punto 3, arrancando de uno original del propio Fellenius y de este modo la hipótesis de falla circular se entronizó en la mecánica de suelos aplicada hoy en día suele denominarse método sueco a cualquier procedimiento de cálculo de estabilidad de taludes que haga uso de la hipótesis de falla circular.

2.1.4 El método sueco aplicado a taludes cuya ley de resistencia se exprese como $(s=cu)$.-

En este método se trata de analizar los casos en que la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos se expresa con base en los resultados de una prueba rápida (sin consolidación y drenaje), empleando los esfuerzos totales. Estudiaremos el caso de un talud de altura H , excavado en arcilla, en que existe homogeneidad completa de material en el talud y en el terreno de cimentación, hasta una profundidad ilimitada.

El procedimiento de cálculo propuesto para este caso fue establecido primeramente por Arturo Casagrande y en principio se puede utilizar para estudiar tanto fallas de base y fallas de pie de talud, el procedimiento se describe de acuerdo a la siguiente figura (fig. 2.0):

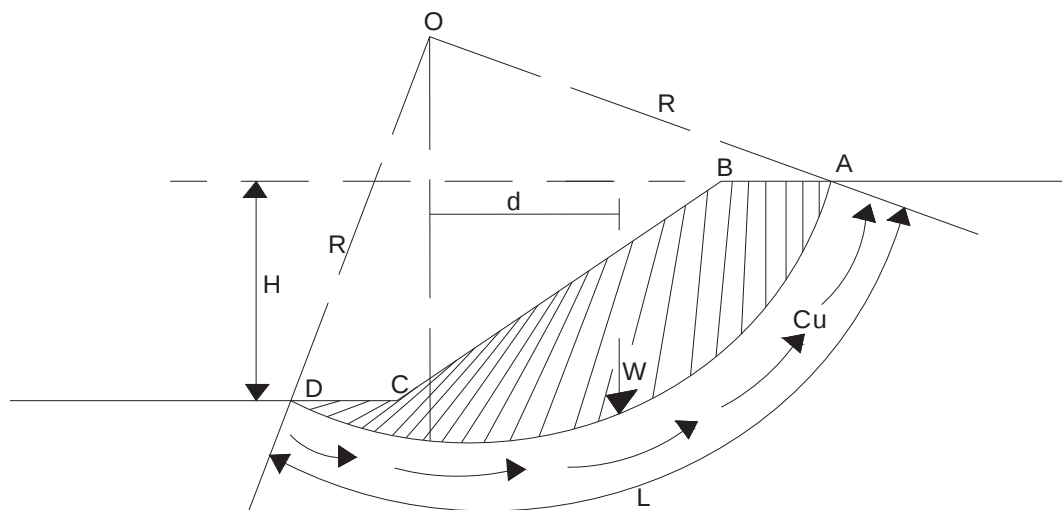


Fig. 2.0. Procedimiento de A. Casagrande para aplicar el método sueco a un talud puramente cohesivo.

Considérese el arco de circunferencia de radio R y de centro O como la traza de una superficie hipotética de falla en la que se movilizaría la zona rayada de la figura. Las fuerzas actuantes, es decir, las que tienden a producir el deslizamiento, serán el peso (W), del área $ABCD$, más cualquier sobrecarga que pueda actuar en la corona del talud. El peso W se calcula considerando un espesor de la sección unitario en la dirección normal al plano del papel.

El momento de las fuerzas motoras se podrá expresar como:

$$Mm = \Sigma Wd \text{ ----- (1.1)}$$

Que incluye el peso de tierra más el peso de sobrecargas que puedan existir.

Las fuerzas resistentes las generara la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de toda la superficie de falla supuesta y su momento en relación al mismo polo O será:

$$Mr = Cu LR \text{ ----- (1.2)}$$

En el instante de la falla incipiente:

$$Mm = Mr \text{ ----- (1.3)}$$

Y, por lo tanto se podrá escribir para ese instante:

$$\Sigma Wd = Cu LR \text{ ----- (1.4)}$$

Si se define un factor de seguridad:

$$Fs = \frac{Mr}{Mm} = \frac{CuLR}{\Sigma Wd} \text{ ----- (1.5)}$$

Por lo tanto la seguridad del talud la podremos expresar en términos del valor F_s , siendo evidente que la condición de falla incipiente es $F_s = 1$.

Desde luego, no existe ninguna garantía de que el círculo escogido para efectuar el análisis del factor de seguridad sea el mínimo, para esto se deben efectuar varios análisis con diferentes círculos de falla hasta encontrar el que produce el mínimo factor de seguridad.

Para esto se analizaran los círculos de falla para los siguientes casos; para la falla base y para la falla de pie de talud hasta encontrar el factor de seguridad requerido para cada situación.

No es fácil decir en general cual ha de ser el valor de F_s , que resulte más conveniente utilizar en un cálculo dado. Dependerá de la importancia que tenga la falla, la del propio talud, las características

del suelo, lo detallado y confiable que sea el análisis de cargas y la evolución de la resistencia con el tiempo. Sin embargo, caben algunos comentarios generales como norma de criterio:

1.- Como ya se dijo el caso en estudio se aplica, sobre todo, a taludes y laderas formadas por arcillas blandas en las que los efectos de consolidación tienden a que la resistencia se incremente con el tiempo, con el correspondiente aumento en el factor de seguridad.

2.- Según ya se estableció antes, el establecer la inclinación de los cortes y terraplenes de una vía terrestre es materia de una política general, en la que la mayoría de los taludes no se estudian ni se calculan. Si, entre todos ellos, alguno es objeto de un análisis especial se deberá adoptar en ese análisis una política congruente con el resto de la vía. A veces se ve prevalecer un criterio muy audaz en los taludes que se recetan y otro, muy conservador, en los que se calculan. Desde luego es cierto que con frecuencia se calculan los taludes mas importantes, mas problemáticos o aquellos cuyas fallas sean de peores consecuencias, por lo que será natural que, aun con un criterio congruente, los factores de seguridad de los taludes calculados sean mayores que los de los recetados, pero el criterio general es el que debe ser el mismo en toda la vía.

3.- La natural tendencia a aceptar factores de seguridad inicialmente bajos, que se comento en el punto 1 y que es razonable, deberá reprimirse en algunos casos especiales, algunos de los cuales resaltarán claramente al proyectista; pero se requiere insistir en las pésimas consecuencias de una falla en suelos arcillosos blandos muy sensibles, en los que el remoldeo que la falla produce causa un abatimiento tan grande en la resistencia al esfuerzo cortante además muy lentamente recuperable con el tiempo, que es probable convenga partir de una condición de estabilidad mas holgada. Esto es particularmente cierto en terraplenes cimentados sobre suelos arcillosos muy blandos o turbas.

En la literatura alusiva se suele mencionar 1.5 como un valor del factor de seguridad inicial razonablemente bien establecido por la experiencia para taludes permanentes.

Pero sin duda en muchos de los casos en la practica se pueden utilizar distintos valores mas pequeños en el análisis de la estabilidad de taludes permanentes cuyo valor de seguridad fue 1.1 ó 1.2 han demostrado excelente comportamiento en suelos en que la resistencia crecía de manera constante con la carga, habiendo sido establecidos mediante un análisis el cual incluía efectos de

carga viva y sismos. En obras las cuales no son permanentes se podrán tomar en cuenta esta condición en forma correspondiente.

Terzaghi ha propuesto algunas reglas para tomar en cuenta en la estabilidad general de un talud cohesivo el efecto de las grietas de tensión que se abren en su corona antes de la falla, para esto Terzaghi propone tres efectos diferentes que ocasionan la aparición de las grietas:

- a).- Una reducción en el momento resistente al reducirse la longitud activa de la superficie de deslizamiento (se muestra en la siguiente figura 2.1).
- b).- Una disminución del momento motor, en el peso de la cuña $e_1 fe$.
- c).- La generación de empujes hidrostáticos causados por el agua de lluvia que se almacena en la grieta según se desprende como se aprecia en la siguiente figura estos empujes siempre son desfavorables para la estabilidad.

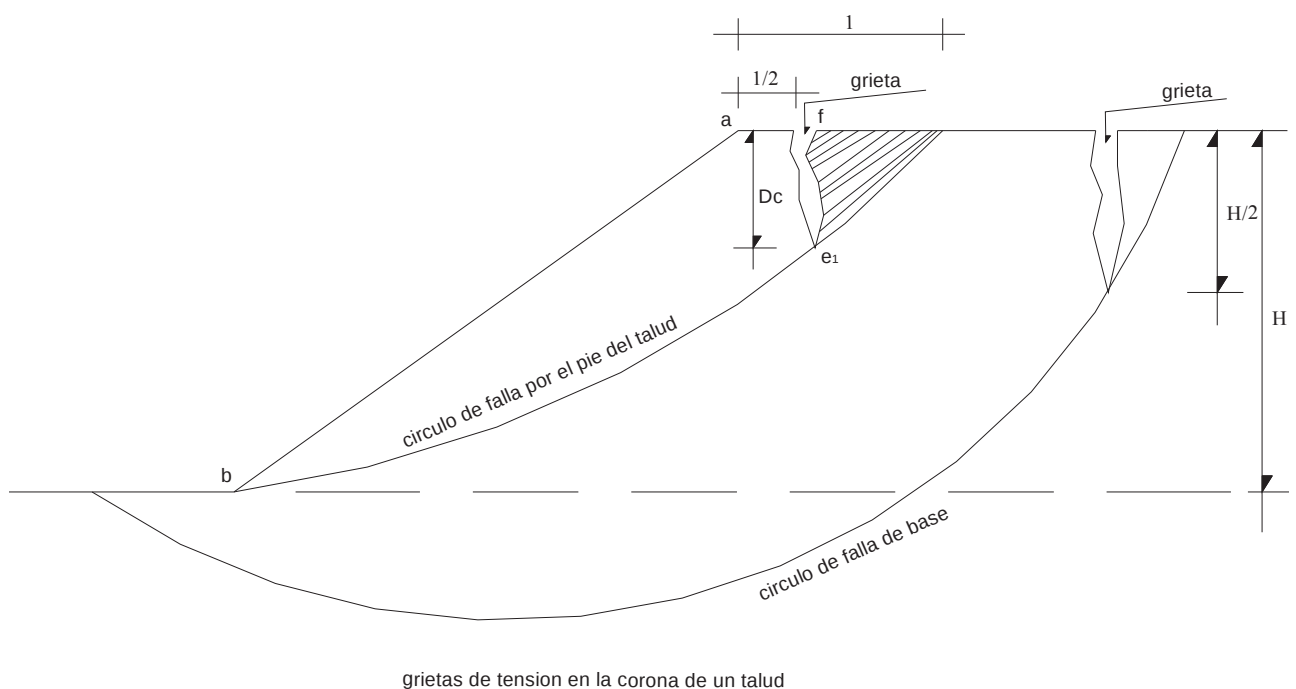


Fig. 2.1. Grietas de tensión en la corona de un talud.

Terzaghi ha indicado que los dos últimos efectos que se señalan en general tienden a contrarrestarse, de manera que su influencia neta es despreciable y solo el primer efecto se debe tomar en cuenta. Para ello propone sustituir el valor de resistencia por “cohesión” del suelo (C_u) por un valor corregido según la relación:

$$C_c = \frac{be_1}{be} \times C_u \text{ ----- (1.6)}$$

La posición del punto e_1 depende la grieta y suele determinarse como se muestra en la figura anterior (fig.2.1). Para círculo crítico por el pie de talud la grieta se desarrolla verticalmente desde el punto de la corona que se encuentra a la distancia de $\frac{1}{2}$ del borde del talud hasta la superficie de falla.

En círculos de falla de base la grieta se define en el segmento vertical que va de la superficie de deslizamiento a la del terreno cubriendo la distancia $\frac{H}{2}$. El análisis anterior se hará, como es natural, sobre el círculo crítico.

Existe todo un conjunto de trabajos de índole teórica o de cálculo acumulativo y repetitivo encaminados a proporcionar al ingeniero proyectista de taludes en suelos puramente cohesivos elementos que le eviten los tanteos a que conduce el método de cálculo que se describió anteriormente (pero este tipo de herramientas no se describirán en esta tesis, ya que se sale del objetivo de la tesis).

2.1.5 El método sueco aplicado a taludes cuya ley de resistencia se exprese como $s = c_u + \sigma \tan \Phi_u$. O método de las dovelas.-

Se trata ahora el caso de un análisis que se haga con esfuerzos totales para suelos situados sobre el nivel de aguas freáticas. En tales casos se dispone en general de los parámetros de resistencia que se obtengan en una prueba sin consolidación y sin drenaje (triaxial rápida o una prueba de campo o laboratorio equivalente).

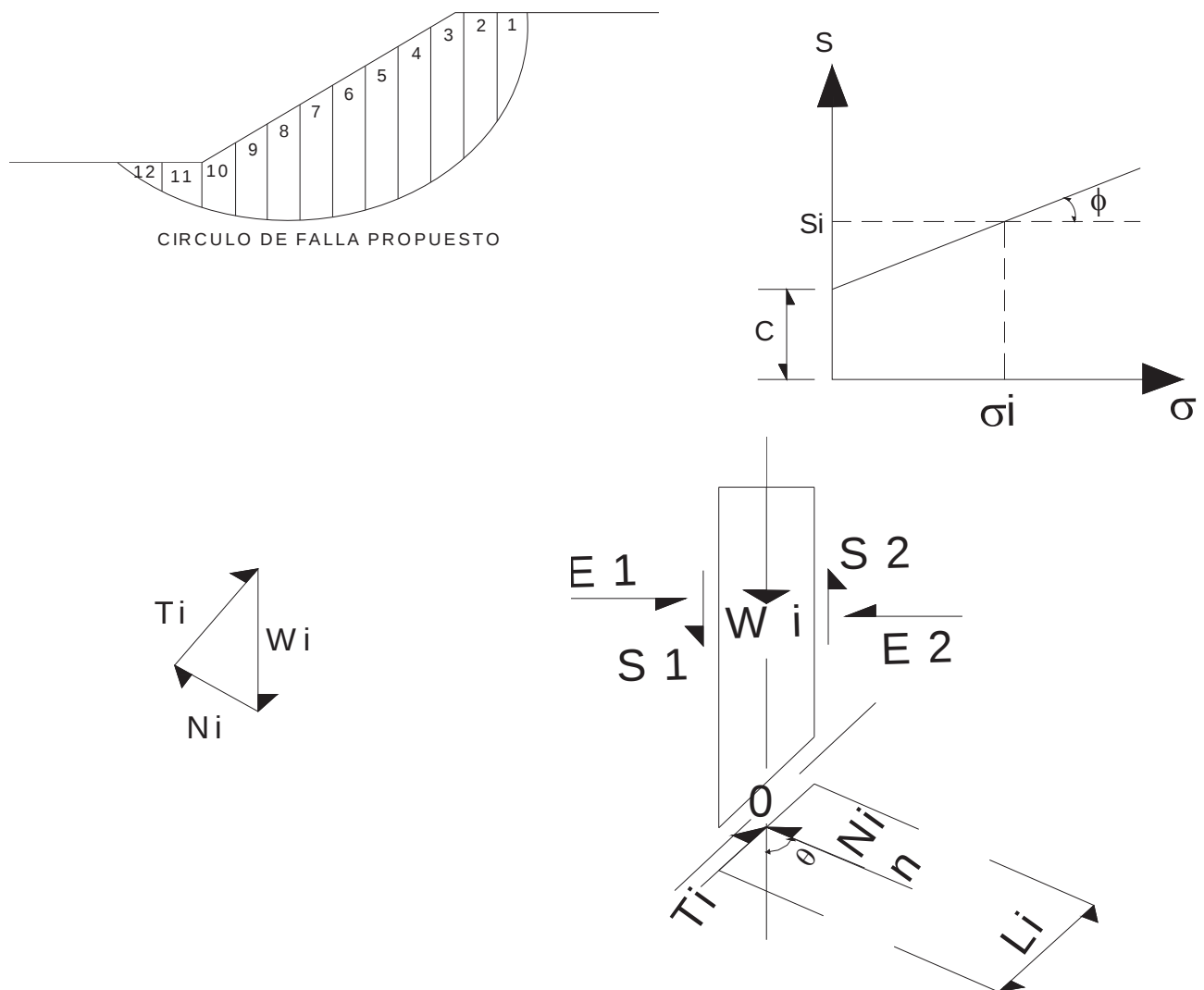


Fig. 2.2. Procedimiento de las “dovelas” o de Fellenius.

En primer lugar se propone un círculo de deslizamiento y la masa deslizante se divide en dovelas como se muestran en la figura anterior (fig. 2.2), en la misma figura anterior se muestra la forma en que actúan el conjunto de fuerzas en una dovela, cuando la masa esta situada sobre el nivel freático y no se toman fuerzas de agua en el análisis. Las fuerzas en cada dovela, al igual que las fuerzas actuantes en todo el conjunto de la masa deslizante, deben estar en equilibrio. Sin embargo las fuerzas E y S , actuantes en los lados de las dovelas, dependen de las características de esfuerzo – deformación del material y no se puede evaluar rigurosamente; para poder manejarlas es preciso hacer una hipótesis razonable sobre su valor.

La hipótesis más simple a este respecto es que el efecto conjunto de las de las cuatro fuerzas laterales es nulo y que, por lo tanto, esas fuerzas no ejercen ningún papel en el análisis.

La hipótesis de Fellenius que presentó en el procedimiento de cálculo original equivale a considerar que cada dovela actúa independientemente de las demás y que las componentes N_i y T_i equilibran al peso W_i de la dovela i -ésima de la figura anterior (fig. 2.2).

Para cada dovela se puede calcular el cociente N_i/L_i , el cual se considera una buena aproximación al valor de σ_i , esfuerzo normal total medio actuante en la base de la dovela con este valor de σ_i puede entrarse a la ley de resistencia, al esfuerzo cortante que se haya encontrado para el material y determina en ella el valor de s_i , resistencia al esfuerzo cortante media disponible en el arco L_i .

Ahora se puede calcular un momento motor en torno al punto 0 (fig.2.2), centro del círculo elegido para el análisis, correspondiente al peso de las dovelas; este momento será:

$$M_m = R \sum [T_i] \text{-----} (1.7)$$

Nótese que la componente normal del peso de la dovela N_i , no da momento respecto a 0 por ser la superficie circular y pasar por 0 su línea de acción. Si hubiere sobrecargas en la corona del talud, su efecto se incluirá en la suma de la ecuación (1.5). Nótese también que la suma en la ecuación (1.5) es algebraica, pues para las dovelas situadas mas allá de la vertical que pasa por 0, la componente del peso actúa en forma contraria, tendiendo a equilibrar a la masa.

El momento resistente depende de la resistencia al esfuerzo cortante s_i , que se desarrolla en la base de las dovelas.

$$M_r = R \sum s_i L_i \text{-----} (1.8)$$

Vale que es una suma aritmética, pues la resistencia siempre actúa en el mismo sentido. Calculados M_m y M_r se podrá definir un factor de seguridad:

$$F_s = \frac{M_m}{M_r} = \frac{\sum s_i L_i}{T_i} \text{-----} (1.9)$$

El método de cálculo desemboca naturalmente, en tanteos siendo preciso encontrar el círculo critico, con el factor de seguridad mínimo. Se deberán analizar tanto los círculos de falla de pie de talud como los de falla de base, a continuación se muestra una tabla (tabla. I) para realizar los cálculos que sean necesarios realizar para encontrar el factor de seguridad, después se supondrán varios círculos de falla hasta encontrar el factor de seguridad mínimo.

Disposición de los cálculos para el método de las dovelas.

TABLA I.

DOVELA No.	W_i	N_i	T_i	$N_i/\Delta l_i = \sigma_i$	S_i	$s_i L_i$

$\Sigma =$

$\Sigma =$ Momento
motor
(algebraica)

Momento
resistente
(aritmética)

En la tecnología de las vías terrestres es común aceptar en este caso factores de seguridad de 1.2 ó 1.3 en los casos normales y de 1.5 cuando se desee tener mayor seguridad en la estabilidad (referencia Rico y Del Castillo tomo 1); este ultimo es el valor que lo por lo común se recomienda en la literatura para taludes en general.

Con frecuencia se muestran en la naturaleza taludes formados por varios estratos tal y como se muestra en la siguiente figura (fig. 2.3):

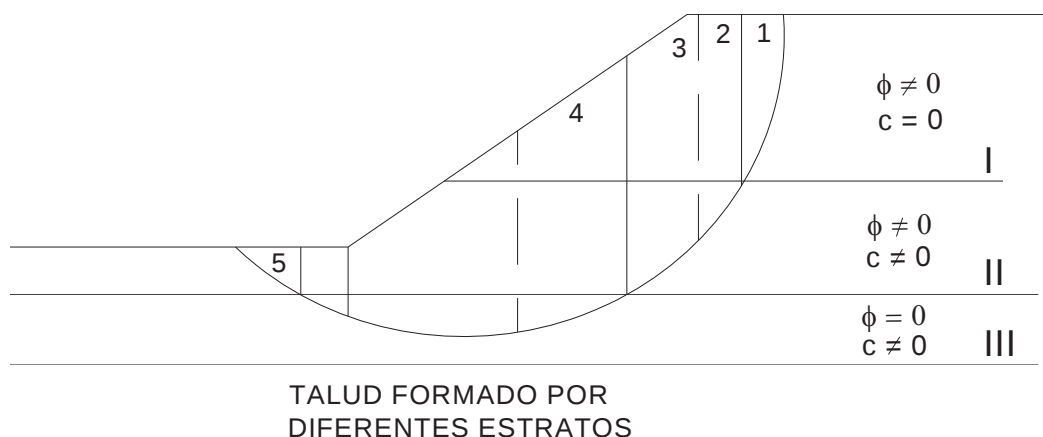


Fig. 2.3. Aplicación del método sueco a taludes en suelos estratificados.

Para este talud el cálculo por medio del método de las dovelas es muy similar el procedimiento de cálculo el cual se desarrolla a continuación.

La masa deslizante se podrá considerar dividida en dovelas, dibujadas de manera que ninguna base de dovelas caiga entre dos estratos, sino que cada dovela caiga sobre un solo material. El peso de la dovela deberá calcularse con sumandos parciales multiplicando la parte del área que caiga en cada estrato por el peso específico correspondiente.

El problema se puede resolver realizando una tabulación como la tabla antes presentada (tabla I), utilizando para cada dovela la ley de resistencia al esfuerzo cortante que le corresponda, de acuerdo a la naturaleza del material que forma el estrato.

El resto del análisis es totalmente parecido al que se describió para taludes homogéneos. El problema siempre se deberá resolver por tanteos, pues para este caso no hay disponibles ábacos o gráficos de uso común.

La búsqueda del círculo crítico se podrá facilitar bastante si hay estratos mucho menos resistentes o mas resistentes que los demás, en el primer caso es probable que el círculo crítico es el que tenga el máximo desarrollo en el estrato débil; en el segundo, probablemente será tangente al estrato resistente, pues al penetrar en el se incrementaría mucho la resistencia media.

2.1.6 Falla traslacional.-

Para esta falla se ha realizado una figura la cual se muestra a continuación para describir la solución a este tipo de fallas (fig. 2.4):

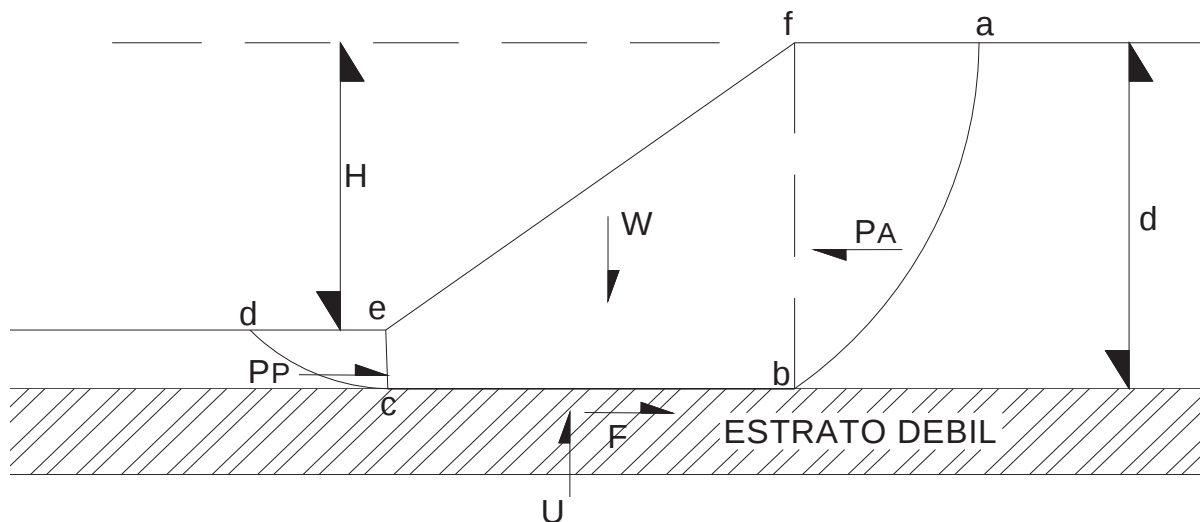


Fig. 2.4 Superficie de falla correspondiente a una falla de traslación.

El estrato débil que se señala suele estar naturaleza formado por arcillas blandas o arenas más o menos finas, sobre todo si estas últimas están sometidas a subpresiones que disminuyan los esfuerzos efectivos y rebajen la resistencia al esfuerzo cortante, el riesgo de este tipo de fallas es particularmente crítico en laderas inclinadas, con el estrato débil guardando una inclinación similar.

Si el talud forma parte de un terraplén construido sobre una ladera natural o un terreno de cimentación cualquiera, la condición mas crítica será la inicial si el estrato débil es de arcilla; en este caso los parámetros de resistencia se obtendrán de una prueba triaxial sin consolidación y sin drenar y el análisis se podrá hacer con base en esfuerzos totales. En este mismo caso, pero con un estrato débil formado por arena bajo el nivel freático, quizás sometido a subpresión, se ha de efectuar un análisis con base en esfuerzos efectivos haciendo intervenir la fuerza U , subpresión total que se obtiene como el área del diagrama de subpresiones.

Si el talud esta formado por un corte excavado en una ladera natural, la condición critica será, como el de un terraplén construido en una ladera natural, la correspondiente ha el largo plazo y el análisis por esfuerzos efectivos será el conveniente. Por lo tanto mostraremos en forma general la manera de

realizar el cálculo. La cuña $b f e c$ (fig. 2.4), se moverá hacia la izquierda a causa del empuje de tierra en el plano $b f$; puede aceptarse que este empuje sea el activo. Las fuerzas resistentes son el efecto de un empuje pasivo en el plano $e c$ y la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de deslizamiento $c b$ (F).

En un análisis con esfuerzos totales (terraplén construido sobre un terreno que contiene un estrato débil arcilloso), la fuerza F será simplemente igual a $[c_u * cb]$. En un análisis con esfuerzos efectivos, la fuerza F será;

$$F = c \times cb + [(W - U)] \tan \varphi \text{-----} (1.10)$$

Donde c y φ deben expresarse en términos de esfuerzos efectivos. La fuerza U , subpresión total, se deberá obtener como el área del diagrama de subpresiones en el plano cb , por ejemplo:

El factor de seguridad que indique el riesgo de falla puede escribirse como:

$$F_s = \frac{F + P_p}{P_A} \text{-----} (1.11)$$

En los diseños prácticos probablemente no será conveniente aceptar un factor de seguridad menor que 1.5.

Debe notarse que en este caso la consideración de los planos $f b$ y $e c$ para el cálculo de los empujes de tierras y de la fuerza F conduce al factor de seguridad mínimo, en el caso de la fig.2.4, pues cualquier movimiento del punto b hacia la derecha o del punto c hacia la izquierda aumenta la fuerza F con los mismos empujes de tierra.

Nota: todos los métodos anteriores la solución se obtiene a través de realizar una serie de iteraciones hasta encontrar el factor de seguridad menor.

2.1.7 Solución utilizando gráficas.

En este método es más rápido obtener el ángulo de la estabilidad de un talud utilizando las gráficas que se presentan a continuación, estas gráficas fueron realizadas por Cousins (gráfica 1.0), y por Janbu (gráfica 1.1)

Los siguientes pasos a seguir para poder leer la gráfica correspondiente y encontrar el valor correspondiente:

2.1.7.1 Gráfica 1.0 de Cousins.

Cousins después de realizar una serie de investigaciones y pruebas a diferentes materiales y basándose en tablas realizadas por Bishop's (1955), Cousins realizó unas graficas en 1978, las cuales fueron modificadas por Cousins en (1996), y llegó a la presentación de una gráfica (gráfica 1.0) para obtener el ángulo de inclinación para darle la estabilidad necesaria al talud, donde el procedimiento de prueba se describe a continuación:

Con los valores obtenidos mediante las pruebas de laboratorio, como son; los valores del ángulo de fricción, cohesión, peso específico, factor de seguridad requerido, ya podemos empezar los cálculos para poder obtener el valor de número de estabilidad el cual se obtiene utilizando la formula 1.12, después es necesario calcular los valores de $\lambda c \phi$, utilizando la formula 1.13, ya con estos valores calculados podemos encontrar los valores de β , para obtener el ángulo necesario para darle la estabilidad del talud, para esto realizamos los siguientes pasos:

1.- Obtención del NF.

$$NF = \frac{F.S. \cdot \gamma H}{C} \text{ ----- (1.12)}$$

Donde:

NF = Numero de estabilidad.

F.S. = Factor de seguridad.

γ = Peso específico del suelo.

H = Altura del talud.

C = Cohesión del suelo.

2.- Obtención del $\lambda c \phi$.

$$\lambda c \phi = \frac{\gamma H \tan \phi}{c} \text{ ----- (1.13)}$$

Donde:

$\lambda c \phi$ = Numero de la línea dentro de la gráfica.

γ = Peso específico del suelo.

H = Altura del talud.

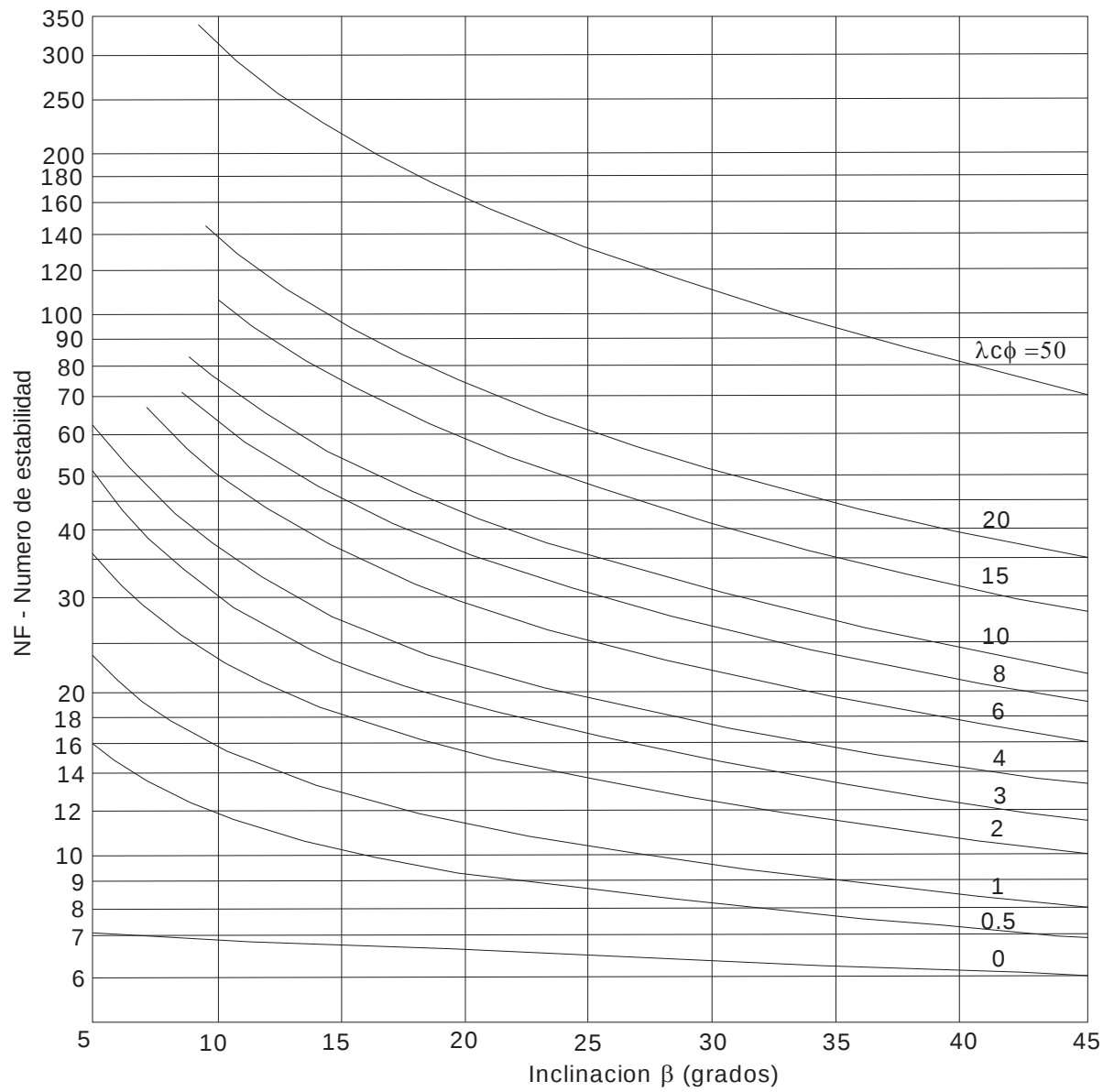
ϕ = Angulo de fricción interna del suelo.

C = Cohesión del suelo.

3.- obtención de β .

Se obtiene entrando a la gráfica con el valor de NF, con ese valor se desplazara hasta interceptar una de las líneas de $\lambda c \phi$. Los valores que no alcancen a interceptarse con alguna de las líneas se tomara el valor de $\beta = 45^\circ$.

GRÁFICA 1.0



Gráfica realizada por Cousins

2.1.7.2 Gráfica 1.1 de Janbu.

Después de realizar una serie de estudios y pruebas a diferentes tipos de suelos y modificando las graficas ya antes realizadas (Janbu, en 1968), Janbu llegó a la obtención de resultados que se aplican hasta inclinaciones de talud de hasta de 90 grados, mediante la gráfica 1.1. El procedimiento a realizar para obtener los valores se describe a continuación:

Con los valores obtenidos mediante las pruebas de laboratorio, como son; los valores del ángulo de fricción, cohesión, peso específico, factor de seguridad requerido, ya podemos empezar los cálculos para poder obtener el valor de número de estabilidad el cual se obtiene utilizando la formula 1.14, después es necesario calcular los valores de $\lambda c \phi$, utilizando la fórmula 1.15, ya con estos valores calculados podemos encontrar la relación de $b = \cot \beta$, y con esta relación el valor del ángulo para darle a el talud la estabilidad requerida, para esto realizamos los siguientes pasos:

1.- Obtención del NF.

$$NF = \frac{F.S. \cdot \gamma H}{C} \text{ ----- (1.14)}$$

Donde:

NF = Numero de estabilidad.

F.S. = Factor de seguridad.

γ = Peso específico del suelo.

H = Altura del talud.

C = Cohesión del suelo.

2.- Obtención del $\lambda c \phi$.

$$\lambda c \phi = \frac{\gamma H \tan \phi}{c} \text{ ----- (1.15)}$$

Donde:

$\lambda c \phi$ = Numero de la línea dentro de la gráfica.

γ = Peso específico del suelo.

H = Altura.

ϕ = Angulo de fricción interna del suelo.

C = Cohesión del suelo.

3.- Obtención de la altura necesaria para que el talud se mantenga estable H.

$$H = \frac{NF * C}{\gamma * FS.} \text{----- (1.16)}$$

Donde:

H = Altura necesaria para mantener estable el talud.

C = Cohesión del suelo.

NF = Numero de estabilidad.

F.S. = Factor de seguridad.

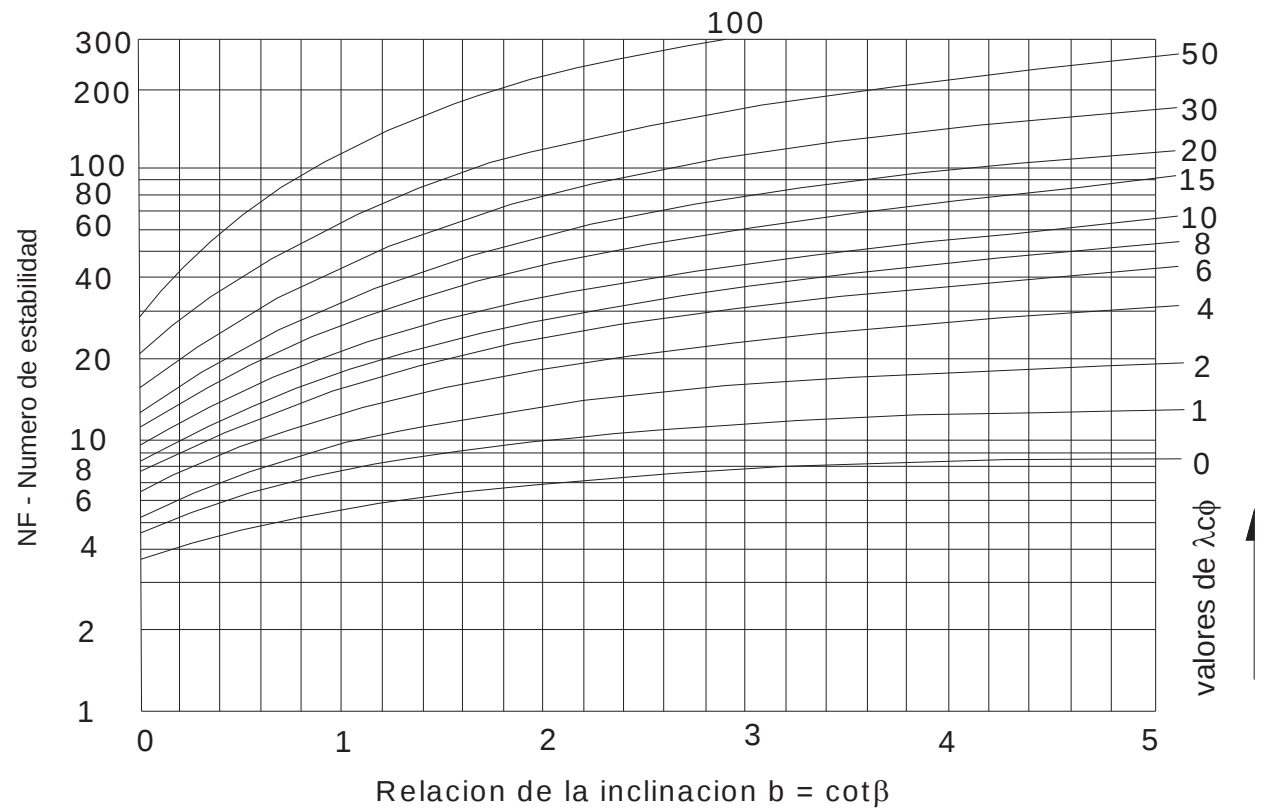
γ = Peso específico del suelo.

Nota: ya una vez calculados los valores del numero de estabilidad (NF) es importante revisarlos para ver que valores son menores a 4.0, y una vez realizada la revisión es necesario calcular la altura necesaria para ver hasta que altura es estable el talud, por que de acuerdo a esta altura se calculara el ángulo β . En algunas ocasiones el numero de estabilidad es muy bajo y no alcanza a interceptar una curva ($\lambda c \phi$), y se entiende que el talud entonces se encuentra a 90°, entonces es cuando se propone el valor de NF = 5.0 para realizar los calculaos de la altura ya que con este valor si se puede interceptar la primera curva con valor de $\lambda c \phi = 0$, y de esta manera se hacen los cálculos para todos aquellos valores de NF menores a 4.0 (se considera que el talud esta a 90°), ya una vez obtenida la altura necesaria y efectuados los cálculos para obtener el valor de β , a todos aquellos ángulos mayores a 45°, se afectaran por el empuje de tierras.

4.- obtención de β .

Para obtener el valor en grados de β , tendremos que sacar la cotangente del valor (b), obtenido en la gráfica 1.1.

GRÁFICA 1.1



Gráfica realizada por Janbu.

2.1.8 Funcionamiento del programa Geostudio 2004.

En este programa se presentara la forma de resolver diferentes problemas que se presentan en los suelos en nuestro caso nos dedicaremos al análisis de estabilidad de taludes. El objetivo del análisis es encontrar por medio del programa (*slope/w*), el mínimo factor de seguridad y encontrar la superficie de falla crítica, que produce el factor de seguridad mínimo.

Este programa tiene una versión estudiantil y es gratuito, se puede obtener en Internet (la dirección es: www.geo-slope.com), comercializado por Geo-Slope Internacional. Ltd, en este programa también se pueden realizar otros tipos de análisis como son: filtraciones de agua en el suelo (*seep/w*), cálculo de esfuerzos y deformaciones por medio de elementos finitos (*sigma/w*), análisis sísmicos con elementos finitos (*quake/w*), movimientos de contaminantes a través del suelo (*ctran/w*), deformaciones causadas por temperatura (*temp/w*), análisis de flujos de agua subterránea (*vadose/w*). En este apartado se describirá el funcionamiento del programa *slope/w*, para análisis de estabilidad de taludes.

El programa de Geostudio 2004 presenta tres subprogramas para la resolución de cada problema los cuales son: Definición, Solución y Entorno.

2.1.8.1 El programa de análisis slope/w.

El objetivo del análisis es encontrar por medio del programa (*slope/w*), el mínimo factor de seguridad y encontrar el deslizamiento crítico de la superficie.

Este programa se tiene que trabajar en su versión estudiantil ya que es un programa gratuito que se puede obtener de Internet (la dirección es: www.geo-slope.com), realizado por Geo-Slope Internacional. Ltd.

2.1.8.2 Abrir el programa de análisis slope/w.

Para empezar a trabajar dentro del programa se tiene que hacer lo siguiente:

Abrir desde el menú de inicio el programa de geostudio 2004, ya una vez dentro del programa se tiene que seleccionar el modo licencia de estudiante para poder trabajar.

Ya una vez seleccionada la licencia (estudiante), se debe seleccionar el tipo de análisis que se desea realizar, para nuestro caso pulsar el icono *slope/w* para abrir el programa de análisis para la estabilidad de taludes.



Ya una vez que estas dentro del programa el objetivo principal del programa, es encontrar la estabilidad de un talud por medio de los diferentes métodos de cálculo que contiene el programa.

Los métodos que contiene el programa son los siguientes: Morgenestern – Price, Bishop, Janbu, Spencer, Fellenius en nuestro caso trabajaremos dentro del método de análisis de Morgenestern – Price, el cual daremos una breve descripción del funcionamiento del programa, (para ver la forma de funcionamiento de los otros programas de análisis consultar el instructivo que contiene el programa de Geostudio 2004, en el método de análisis de *slope/w*).

Morgenestern – price (M-P), en 1965 desarrollaron un método el cual fue parecido al de Spencer, pero ellos realizaron una serie de cambios en la forma de obtener el factor de seguridad para

encontrar la estabilidad del talud. Ahora damos una explicación de cómo (M-P) calcula el factor de seguridad, para la obtención del factor de seguridad se utilizan las siguientes formulas:

Formula para calcular el factor de seguridad respecto a un momento de equilibrio:

$$F_m = \frac{\sum (c' \beta R + (N - u \beta) R \tan \phi')}{\sum Wx - \sum Nf \pm \sum Dd}$$

Formula para calcular el factor de seguridad respecto al equilibrio de fuerzas horizontales:

$$F_f = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - u \beta) \tan \phi' \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \omega}$$

Donde:

c' = Cohesión.

Φ' = ángulo de fricción.

u = Presión de poro de agua.

N = fuerza normal en la base de la dovela.

W = Peso de la dovela.

D = Línea de carga.

B, R, x, f, d, ω = Parámetros geométricos.

α = inclinación de la dovela en la base.

Estos valores el programa los obtiene automáticamente al momento de introducir los valores del estudio que se desee realizar.

Para calcular la fuerza normal en la base se utiliza la siguiente formula:

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{c' \beta \sin \alpha + u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}}$$

Donde: lo único que falta por definir es el valor de X(R o L).

Este valor se obtiene de la siguiente ecuación:

$$X = E \lambda f(x)$$

Donde:

E = Fuerza normal interna en al dovela.

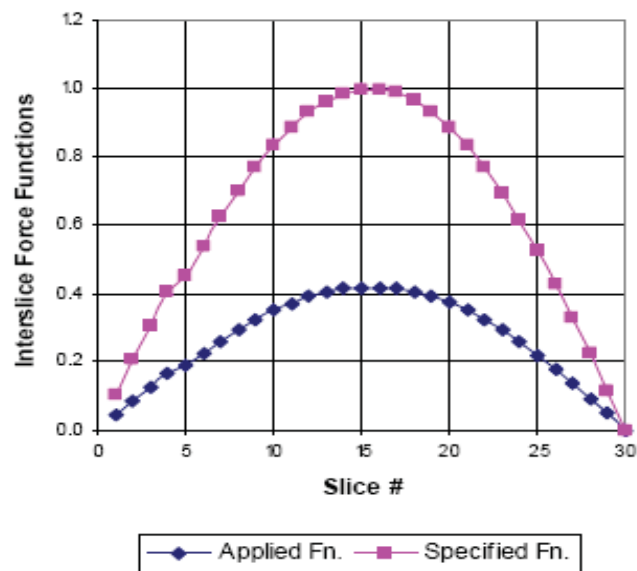
$f(x)$ = Función.

λ = Valor que se obtiene en fracción decimal de las graficas de la función usada.

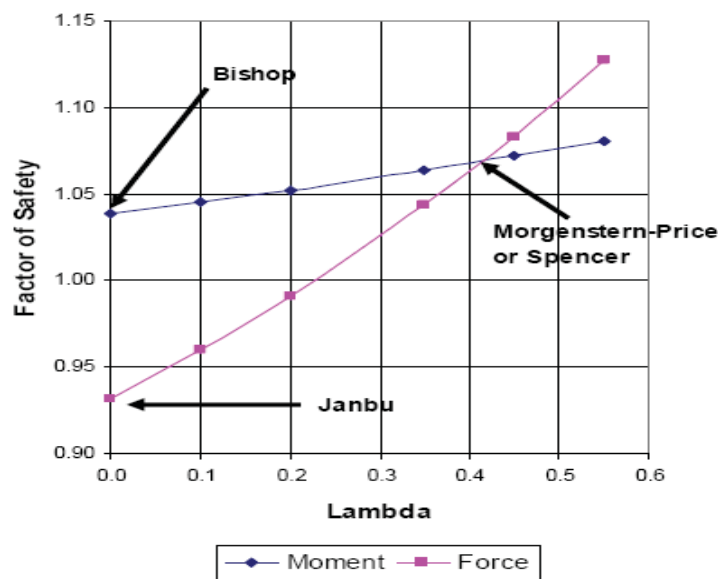
X = inclinación de las fuerzas internas en el sentido horizontal.

λ , se obtiene de la siguiente gráfica de la función ($f(x)$); (esta gráfica el programa la realiza automáticamente con los datos del problema a resolver).

Es importante comentar que este método es más aproximado ya que se estiman las fuerzas horizontales entre las dovelas.

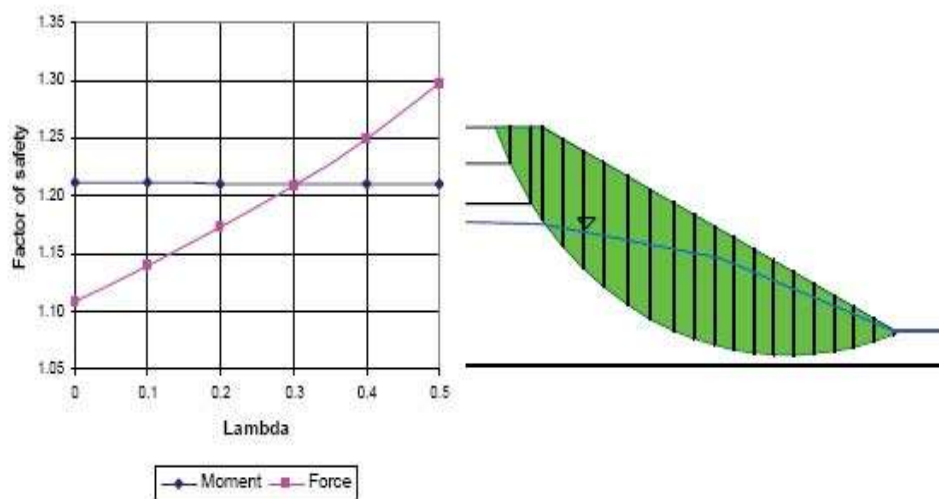


Ahora presentamos una gráfica donde se hace la comparación de los factores de seguridad calculados por los diferentes métodos:

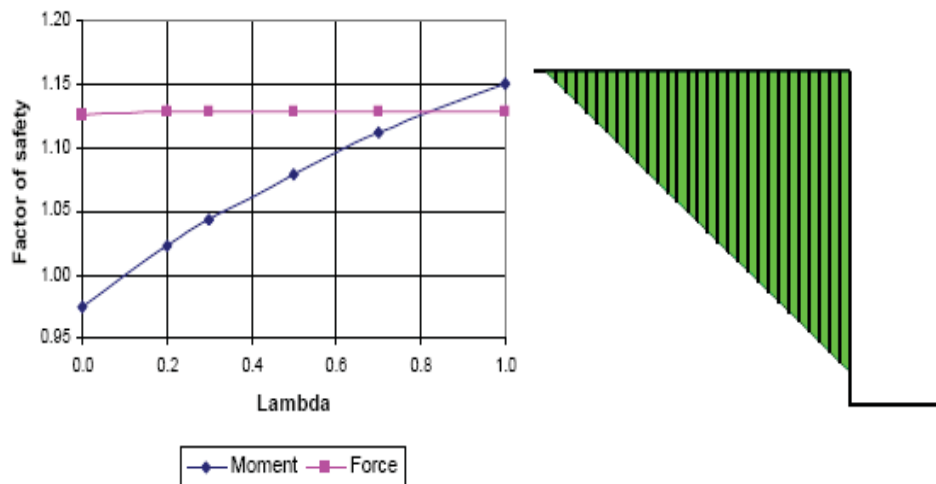


Por lo tanto, podemos observar que al realizar la comparación de las gráficas, los métodos más precisos son el de Morgenstern-Price y el Spencer.

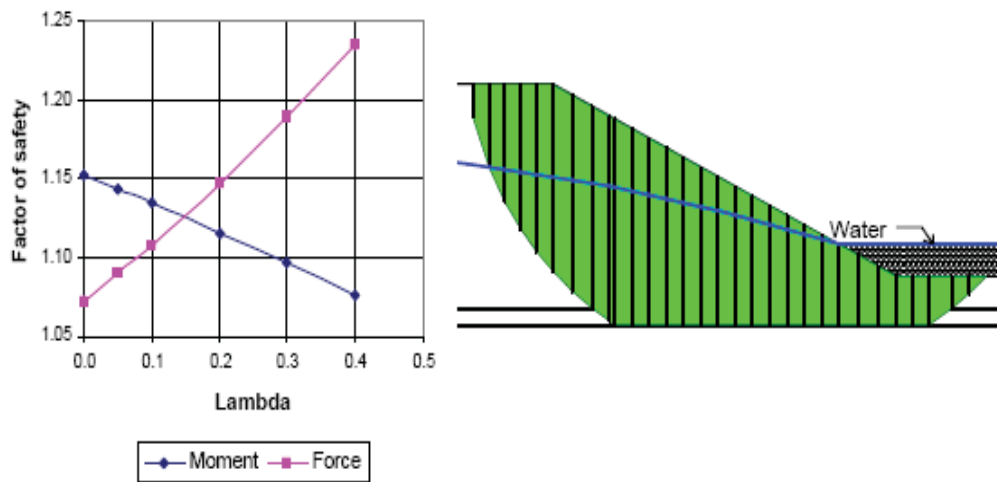
Ahora mostraremos unas figuras donde se puede apreciar como se obtiene el factor de seguridad en diferentes tipos de la geometría de los problemas que se pueden presentar.



Superficie circular.

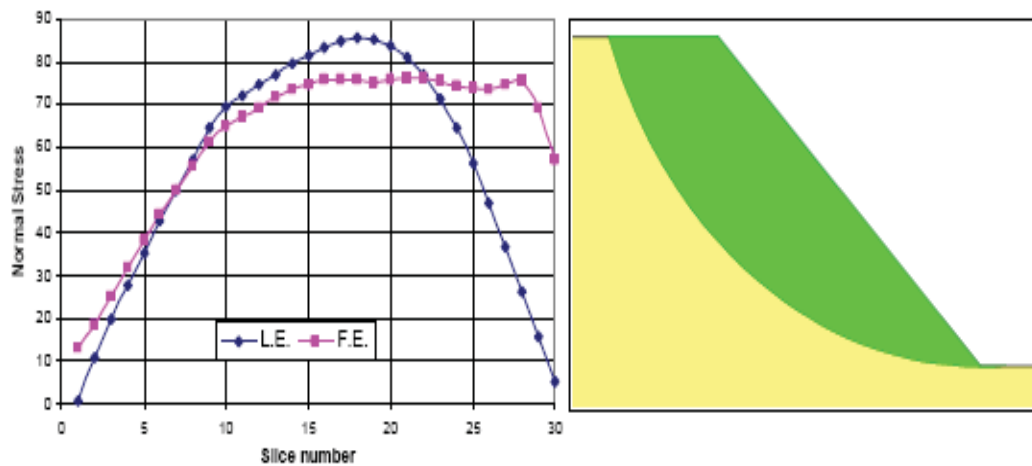


Superficie plana.



Superficie compuesta.

Este método (M-P), también realiza una comparación entre los momentos y los esfuerzos normales actuantes en cada tanteo que se realiza, realiza una serie de iteraciones hasta llegar a la solución mas adecuada, mostramos las siguientes figuras para ver la comparación de las líneas de esfuerzos elásticos y la línea de esfuerzos normales.



Comparación de las líneas de fluencia y de esfuerzos normales.

Ahora presentamos unas tablas II y III, donde se muestran las ventajas y desventajas de cada método.

TABLA II. ECUACIONES UTILIZADAS POR LOS MÉTODOS.

MÉTODO	MOMENTO DE EQUILIBRIO	FUERZAS DE EQUILIBRIO
FELLENIOUS	SI	NO
BISHOP	SI	NO
JANBU	NO	SI
SPENCER	SI	SI
MORGENSTERN-PRICE	SI	SI

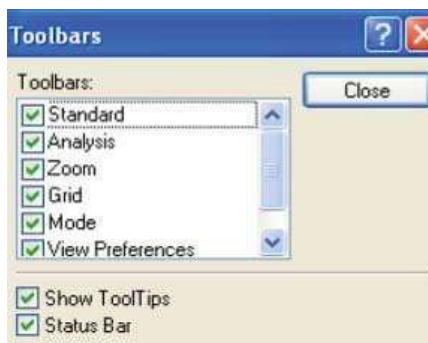
TABLA III. RELACIÓN DE ESFUERZOS QUE CALCULAN LOS MÉTODOS.

MÉTODO	FUERZA NORMAL INTERNA EN CADA DOVELA. (E)	SENTIDO HORIZONTAL DE LAS FUERZAS INTERNAS.(X)	INCLINACIÓN DE X/E RESULTANTES, Y X-E RELACIÓN INTERNA.
FELLENIOUS	SI	NO	NO
BISHOP	SI	NO	HORIZONTAL
JANBU	NO	SI	HORIZONTAL
SPENCER	SI	SI	CONSTANTES
MORGENSTERN-PRICE	SI	SI	VARIABLES Y FUNCIONES.

Por lo tanto, podemos ver que los métodos más completos son el que hemos seleccionado para realizar los análisis correspondientes a los diferentes materiales.

2.1.8.3 Modo de operación del programa de *Slope/w*.

Ya una vez abierto el programa podemos verificar que las herramientas con que cuenta el programa estén disponibles dando un clic en el menú de herramientas y seleccionando el icono de *toolbars*.



2.1.8.4 Establecer el área de trabajo.

El área de trabajo es el área disponible para definir el problema. El área puede ser mas pequeña, igual o mayor que el área de impresión. Si el área de trabajo es más grande que el área de impresión tendrá problemas al imprimir. Para esto utilizaremos que el área de trabajo se a de las siguientes dimensiones 260mm de ancho y 200mm de largo.

2.1.8.4.1 Establecer el tamaño de área de trabajo:

1.- Seleccione en el menú pagina (*page*), se desprenderá el cuadro de dialogo.

Seleccione el nombre de la impresora y en el espacio vacío ponga el tamaño de la hoja de al impresora, esta información sirve para establecer un área de trabajo que se podrá imprimir propiamente. Las dimensiones pueden aparecer en pulgadas o milímetros y esto se puede ajustar a mm presionando en el botón de mm. En el cuadro de dialogo.



2.- seleccione mm, en las unidades de la página.

3.- El tipo de papel será 260mm de ancho.

4.- El tipo de papel será de 200mm de largo.

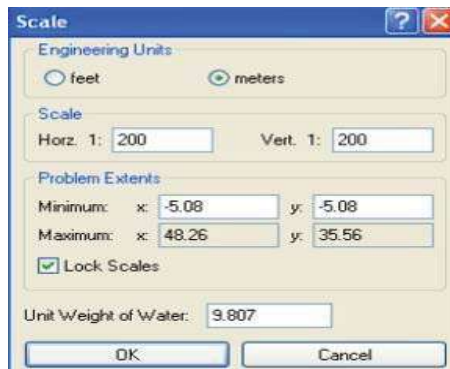
5.- presione OK.

2.1.8.5 Proponer la escala.

La geometría del problema se definirá en metros. Proponiendo un problema para ejemplificar mejor el uso del programa, a continuación se definirá el problema a solucionar.

El problema es de 14 m de altura y aproximadamente 40m de ancho. La esquina parte baja del problema tendrá las coordenadas (0,0) para hacer el dibujo, las magnitudes necesitan ser mas grandes que el tamaño del problema colocaremos un margen alrededor del dibujo, propondremos inicialmente las estimaciones de la magnitud del problema que son de -4 a 40m en ambas direcciones una vez que las magnitudes del problema han sido establecidas, definiremos en la computadora una escala aproximada, la escala puede ajustarse a un valor igual. Cuando la escala se ajusta a mano, las magnitudes mínimas y máximas se conservan (x y y). Entonces automáticamente las magnitudes de la escala se quedaran cuando se han seleccionado.

1.- Seleccione escala (*scale*), en el menú. Se desprenderá el cuadro de dialogo correspondiente.



2.- Seleccione las unidades de metros en el cuadro.

3.- Revise que la escala no este fuera del máximo y revise que los iconos dentro del cuadro estén activados.

4.- Los valores para las magnitudes serán los siguientes: el mínimo $x = -4$ y el mínimo en $y = -4$.

La escala horizontal = 1 y la escala vertical = 1, es incorrecto trabajar con escala diferentes.

Una escala igual a 1:200 en ambos sentidos parece aceptable para solucionar el problema.

5.- Revisar la escala antes de cerrar el cuadro de dialogo.

6.- Tipo 200 en la horizontal = 1 revise el cuadro y teclear 200 en la vertical = 1 revise el cuadro.

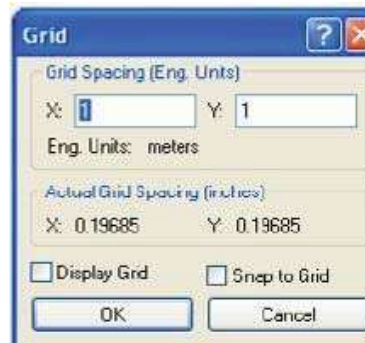
El máximo valor de x cambiara a 48 y el máximo valor de y cambiara 36, esto significa que la escala de 1:200 es aceptable para la magnitud del problema que en la dirección x será de -4 a 49m y en la dirección y será de -4 a 37m. Para el área de impresión antes seleccionada de 260mm de ancho y 200mm de largo.

7.- Seleccione OK.

Puesto que el problema se definirá en metros y KN. Que es la unidad de peso y la gravedad debe ser de 9.87 KN/m^3 que es el valor predefinido cuando las unidades se definen en metros y se tienen que convertir a KN/m^3 .

2.1.8.6 Proponer el espacio punteado (*grid*).

1.- Seleccione *grid* del menú. Se desprenderá el cuadro de dialogo correspondiente.



2.- Asegurar 1 en el espacio del *grid* en x. Editar el cuadro.

3.- Asegurar 1 en el espacio del *grid* en y. Editar el cuadro.

El actual espacio del *grid* entre cada punto están a una distancia de 5.0mm.

4.- Revise el contenido del *grid* en el cuadro de dialogo.

5.- Seleccione el *snap to grid*.

6.- Seleccione OK.

El *grid* sirve para ver las coordenadas cuando el cursor se posicione en un punto cualquiera.

2.1.8.7 Guardar el problema.

Los datos de la definición del problema deben guardarse en un archivo. Esto permite estar trabajando en el problema y al final poder ver los resultados de este. Los datos podrán guardarse en cualquier momento de la definición del problema. Es recomendable que al colocar datos se vayan guardando.

- 1.- Seleccione guardar (*save as*) en el menú archivo. Se despliega su cuadro de dialogo correspondiente.
- 2.- seleccione un directorio apropiado para guardar el archivo, teclear un nombre para el archivo, por ejemplo: *slope tutorial*.
- 3.- seleccione guardar (*save*).

El nombre del archivo puede incluir un nombre del paseo y camino del directorio. El archivo se guardara automáticamente con un camino del directorio seleccionado.

Todos los archivos del Geostudio 2004 tienen un GSZ nombre de extensión para el archivo. *Slope/w* agregara esta extensión al archivo si no se especifica, es necesario que recuerde los nombres de los archivos guardados, por que si existe uno con el mismo nombre se puede remplazar y perder los datos del archivo anterior.

2.1.8.8 Ejes del dibujo.

Dibujar un eje facilita el dibujo del problema así como ver e interpretar los resultados. El *snap to grid* debe estar activado para facilitar el dibujo de los ejes y definir una región uniformemente espaciada para el eje.

- 1.- Seleccione ejes (axes) en el menú de dibujo. De despliega el cuadro de dialogo correspondiente.



2.- Activar el eje izquierdo revise en el cuadro que si este seleccionada la opción correcta. Y seleccione en la parte derecha el botón de los ejes y revisar que se activen los espacios para poner los valores para el eje y y el botón x .

3.- Poner un nombre apropiado de acuerdo al dibujo para el eje x .

4.- Poner un nombre apropiado para el eje y .

5.- Seleccione OK. El cursor cambiara de una flecha a una cruz y los ejes del dibujo se mostraran en la pantalla y se indicara el modo en que se esta trabajando.

6.- Coloque el cursor en la posición (0,0) presione el botón izq. Del ratón sin soltarlo se generara un rectángulo.

7.- “Arrastre” el ratón cerca de las coordenadas (40,16) y suelte el botón.

Se generara un eje que representara 40m en la dirección x y 16m en la dirección y y el orden de preferencias a la vista le permitirá cambiar el conjunto de caracteres y el tamaño de los números del eje.

El número de incrementos en cada eje es calculado por $slope/w$ cuando el eje se genera. Escoja el orden de los ejes si desea conjugar valores.

2.1.8.9 Dibujo del problema.

Para definir un problema de estabilidad, es conveniente preparar un dibujo de las dimensiones del problema este dibujo será una guía útil para dibujar los elementos geométricos del problema.

1.- En la barra de herramientas seleccione acercar (*zoom*), presione el icono del *zoom* con el botón izquierdo del ratón. El área de trabajo se despliega en la ventana ya definida.

2.- En el menú seleccione el icono de líneas aparecerá un cuadro de dialogo que sirve para modificar las propiedades de las líneas del dibujo.

3.- No modifique nada del cuadro de dialogo, y realizaremos un ejemplo de cómo se realizar el dibujo, y de acuerdo al problema que se tenga las coordenadas cambiaran de acuerdo a la figura que se desee realizar. Coloque el cursor cerca del punto (0,14) como se indico en la barra del dibujo al fondo de la ventana y presione el botón izquierdo del ratón, y continúe desplazándolo hasta el punto (10,14), y se dibujara una línea de (0,14) a (10,14).

4.- coloque el cursor cerca de (30,14) y presione el botón izquierdo del ratón. Y arrastre una línea de (10,14) a (30,4).

Y así sucesivamente se realizaran los pasos para hacer el dibujo del problema.

5.- una vez terminado el dibujo, presione el botón izquierdo para terminar el dibujo. El cursor cambiara de cruz a flecha.

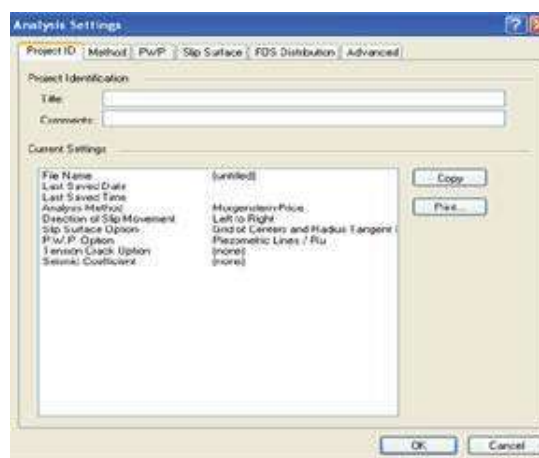
6.- en la barra de herramientas presione el icono del *zoom* con el botón izquierdo del ratón. Haga subir verticalmente los objetos que se localizan a la derecha del icono del *zoom* de la página.

El dibujo se agrandara de acuerdo a la altura que desee darle a las líneas dentro de la ventana.

Ya una vez completados todos los pasos anteriores los puntos le darán forma al dibujo.

2.1.8.10 Especificar los métodos de análisis.

1.- Seleccione del menú el método de análisis apropiado (*análisis settings*). Y se desplegara el cuadro de dialogo correspondiente.



2.- Escoge el tipo de texto apropiado en el título. Revisa los datos y los comentarios del título. Por ejemplo “lección tutelar” en la carpeta del título y “aprendiendo a usar *slope/w*” en la carpeta de los comentarios.

3.- Presione el botón en el icono del método y seleccione el método de Morgenstern-Price y asegure que este seleccionado.

2.1.8.11 Especificar las opciones del análisis.

1.- Seleccione el icono de PWP en el menú del análisis.

2.- (Si existe línea piezométrica), seleccione la línea piezométrica.

3.- seleccione el icono de superficie de falla en el menú del análisis.

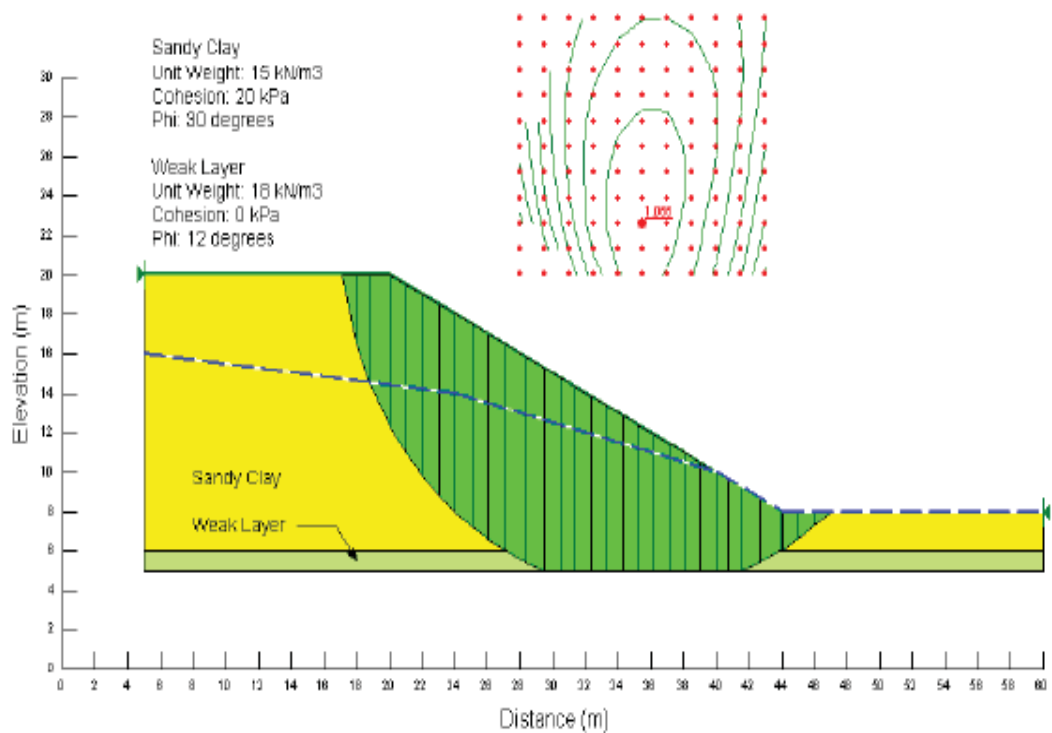
4.-Asegure el movimiento que tendrá el círculo de falla de derecha a izquierda.

5.- Seleccione la entrada y salida de la superficie de falla.

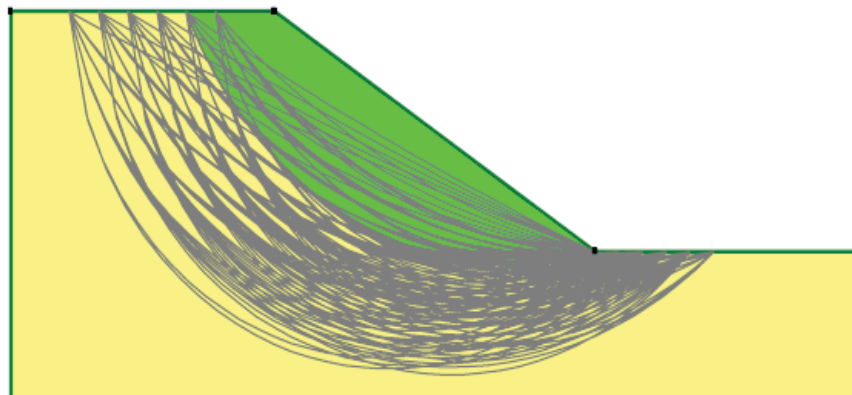
6.- Seleccione OK, para cerrar el cuadro de dialogo.

2.1.8.11.1 Formas en que se realizan las iteraciones para encontrar la solución mas adecuada.-

Dentro de todos los métodos de análisis descritos anteriormente, en todos la solución se obtiene a través de realizar una serie de iteraciones hasta encontrar la solución deseada, pero al utilizar el programa de Geostudio 2004, ya no es tan tardado poder realizar las iteraciones ya que el programa automáticamente desarrolla en su aplicación una serie de iteraciones hasta obtener la solución adecuada, realizando una serie de iteraciones y dibujando los círculos de falla que se van generando en cada iteración hasta que al optimizar los cálculos se encuentra la solución requerida, para llegar a la optimización requerida los métodos que se utilizan son los antes mencionados en el apartado 2.1.8.2, como se muestra en la siguientes imágenes.



Optimización del círculo de falla para encontrar el factor de seguridad adecuado

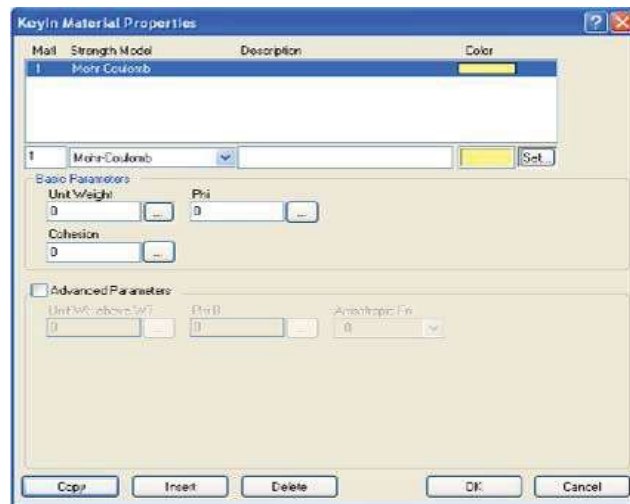


Optimización del círculo de falla para encontrar el factor de seguridad adecuado

2.1.8.12 Definición de las propiedades del suelo.

Tomando en cuenta que al inicio de la descripción del programa definimos un problema para definir mejor la aplicación del mismo, ahora definiremos los componentes del suelo.

1.- Escoge las propiedades del suelo en el menú de inicio (*Keylin materials properties*). Seleccione el icono de *keylin* de las propiedades del suelo y se desprenderá el cuadro de dialogo correspondiente.



2.- Define las propiedades del suelo. Suelo 1 poner en el cuadro 1. Para indicar que se trata de un suelo o un estrato.

3.3- En el cuadro aparecerá por *default* el modelo que se va usar para la solución del problema, se debe revisar que sea el *mohr-coulomb*.

4.- Poner los datos para el estrato de suelo de la manera siguiente:

5.- Peso específico 15 (se debe introducir el peso en Kn/m^2)

6.- Cohesión 20 revisar unidades.

7.- Angulo de fricción interna $\phi = 20$ revisar unidades.

8.- Ya terminada la definición de los valores seleccionar *copy*. Para guardar los valores.

9.- Si se tiene otro estrato repetir los pasos anteriores del 2 al 8.

10.- Seleccione OK.

2.1.8.13 Dibujar los estratos.

La geometría y estratigrafía son definidas dibujando regiones individuales para cada capa de tierra que componga el problema.

1.- Seleccione en el menú el icono de propiedades de la región (*region properties*). El cursor cambiara a una cruz. Coloque el cursor cerca de (0,9) presione el botón izquierdo del ratón. Al mover el cursor aparecerá una línea roja para conectarla a otro punto.

2.- coloque el cursor cerca de (0,14).Y presione el botón.

3.- Coloque el cursor cerca de (10,14) y presione el botón.

4.- Coloque el cursor cerca de (20,9) y presione el botón.

5.- Coloque el cursor atrás de (0,9) y presione el botón el primer o único estrato se creara con el color del suelo 1. Aparecerán las propiedades del suelo 1.

6.- Presione el icono *zoom* para regresar al modo de dibujar las regiones. Esta ventana seguirá abierta cuando el cursor se transforme en una cruz.

7.- Coloque el cursor cerca de (0,0) y presione el botón izquierdo del ratón y se creara el punto #5 de la región.

8.- Se continua haciendo el mismo procedimiento para terminar de definir la región #1, presione el botón cerca de los siguientes puntos que forman la región (0,9);(20,9);(30,4);(40,4);(40,0);(0,0).

9.- si se cuenta con otra región hacer los mismos pasos anteriores.

10.- Presione el botón cerrar (*close*).

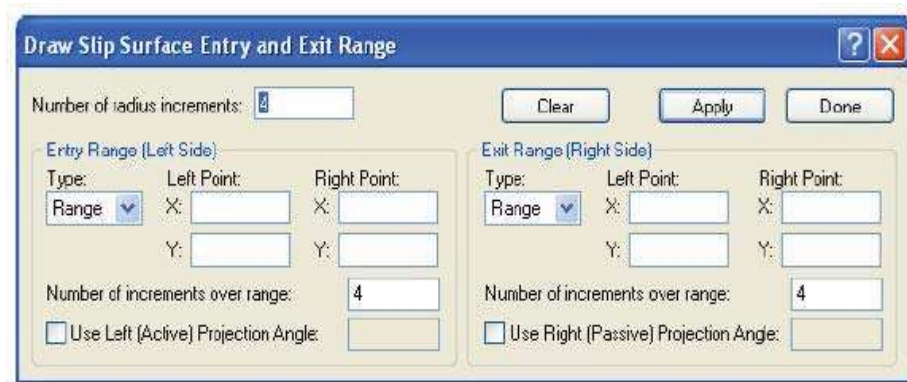
Ya una vez terminado el dibujo de las regiones en la pantalla aparecerá el dibujo con su color de la región correspondiente.

2.1.8.14 Dibujo de las líneas piezométricas.

Las condiciones de poro y presión de agua en los suelos se pueden definir con una línea piezométrica.

- 1.- Si cerró el icono del *grid*, abra el comando de *snap to grid* desde la barra de herramientas.
- 2.- seleccione el icono de poro- presione agua, del menú.
- 3.- seleccione 1 en la línea piezométrica *#drop-down* en la lista del cuadro, para dibujar una línea piezométrica.
- 4.- Presione el botón aplicar en la lista que aparece en el cuadro de dialogo para aplicar la línea piezométrica en el suelo.
- 5.- Seleccione el icono dibujar, el cursor cambiara de una flecha a una cruz y esto indica que esta listo para dibujar “PWP”.
- 6.- El dibujo de la línea piezométrica se realizara poniendo puntos en las coordenadas deseadas hasta lograr el dibujo de la línea, como en el siguiente ejemplo: Coloque el cursor cerca de (0,10) (a la izquierda del problema) y presione el botón izquierdo del ratón.
- 7.-coloque el cursor cerca del punto (15,8) y presione el botón izquierdo del ratón.
- 8.- Coloque el cursor cerca del punto (30,3) y presione el botón izquierdo del ratón.
- 9.- Mueva el cursor a (40,3) y presione el botón izquierdo del ratón. Presione el botón correcto para terminar de definir la línea.

10.- seleccione done en el dibujo de la línea, en el cuadro de dialogo para finalizar el dibujo de la línea piezométrica.



2.1.8.15 Dibujo de la entrada y salida del círculo de falla.

Para controlar la situación de la entrada y salida del círculo de falla. Hay varias opciones de superficies de círculo de falla que pueden usarse. La que usaremos es la de definir la entrada y salida del círculo de falla.

1.- Seleccione la superficie de falla del menú dibujo. La superficie de falla aparecerá en el cuadro de dialogo correspondiente para definir los rangos. Seleccione la entrada y salida en el menú. El cursor cambiar de una flecha a cruz. En el dibujo se indicara la entrada y salida del círculo de falla. Para esto se definirá primero en el cuadro de dialogo.

2.- Asegure el rango que seleccione de entrada.

3.- Coloque el cursor cerca de (1,14) presione el botón izquierdo del ratón la cual creara un punto y de ahí se desprenderá una línea roja que se mostrara en la superficie del terraplén. Continué moviendo la línea presionando el botón izquierdo del ratón mientras marca la distancia que tendrá la entrada de la superficie hasta el punto (9,14). Las coordenadas colocadas marcaran directamente la entrada y salida del círculo de falla una vez que la entrada y salida se han definido.

4.- Ya hecho el dibujo seleccione la entrada y salida en el cuadro de dialogo.

2.1.8.16 Ver preferencias.

1.- Seleccione en el menú preferente. El cuadro de dialogo aparecerá.



2.-El *uncheck* verifica que los puntos en el cuadro de dialogo sean correctos, con respecto a la geometría del dibujo.

3.- El *uncheck* enumera la región en el cuadro de dialogo.

4.- Seleccione OK.

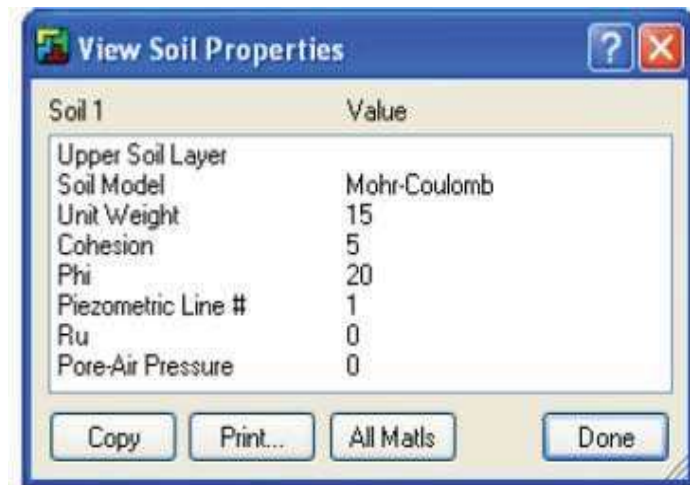
2.1.8.17 Propiedades del suelo.

Ahora que ya se ha definido el problema se puede revisar que los datos sean correctos.

Las propiedades del suelo para asegurar que están bien definidas, seleccione una región del dibujo del problema y vea sus propiedades, también se despliega una lista de todas las propiedades del suelo y se puede copiar la lista al portapapeles de la ventana para importarla a otras aplicaciones.

1.- Seleccione las propiedades del suelo en el menú. Se despliega el cuadro de dialogo correspondiente.

2.- Coloque el cursor en la región y presiona el botón izquierdo del ratón.



3.- Puede copiar toda la información del cuadro de dialogo al portapapeles de la ventana. Las propiedades del suelo copiadas en al portapapeles pueden ser utilizadas en cualquier otra aplicación.

4.- También puede imprimir la información del suelo. Ya una vez terminada la información presione el botón salir.

2.1.8.18 Crear texto dinámico para el dibujo.

1.- Seleccione texto en el menú de dibujo.

2.- Presione el botón de lista de materiales. Se puede revisar la información el botón del pergamino en la barra horizontal.

3.- Presione el botón en el lugar del dibujo donde desee poner la información del texto.

4.- Presione el boto cerrar del cuadro de dialogo. Si desea mover el texto a otra posición de un clic sobre el texto deje presionado el botón izquierdo y arrastre el texto hasta la nueva posición.

2.1.8.19 Revisar el problema.

- 1.- Seleccione verificar en el menú en la barra de herramientas.
- 2.- Seleccione el botón verificar (*verify*). *Slope/w* verificara los datos.



- 3.- Si detecta errores desplegará mensajes del error cometido, verifique los datos en el cuadro de dialogo y seleccione hecho.

2.1.8.20 Guardar el problema.

La definición del problema esta ahora completa. Presione el botón del icono guardar.

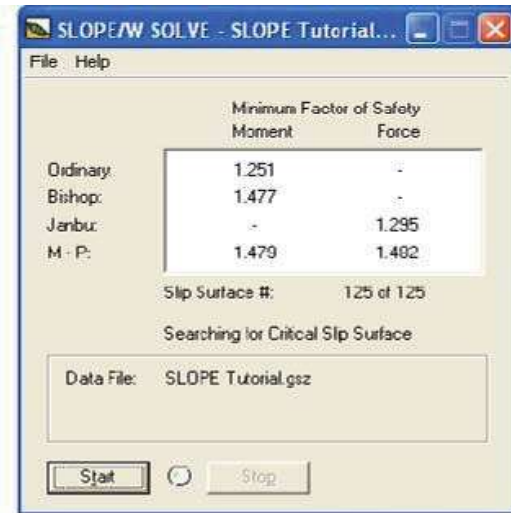
2.1.8.21 Solución del problema.

La siguiente parte del problema de un análisis es resolver la función de los factores de seguridad por medio de la computadora.

Empiece a resolver y automáticamente carga la guía didáctica del problema. Los datos GSZ del archivo, seleccione resolver en el menú en la barra de herramientas o presione el botón adelante en resolver en el icono encontrado en la barra de herramientas del análisis de Geostudio 2004.

Para empezar a resolver los factores de seguridad, presione el botón de salida en la ventana resolver.

Un punto verde indicara que se esta efectuando la operación. Ya realizados los cálculos se despliegan los factores de seguridad mínimos y el numero de superficie del circulo de falla actual analizado. Ya calculados los factores presione el botón salir.



Slope /w permite ver los resultados del análisis del problema gráficamente:

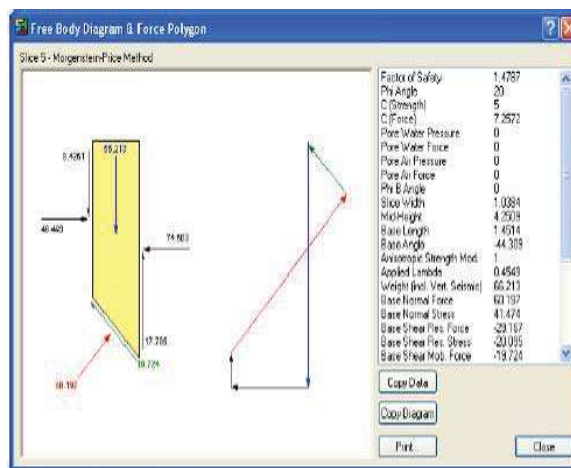
- Desplegando cualquier circulo de falla analizado.
- Genera los factores de seguridad del contorno.
- Despliega un diagrama de cuerpo libre.
- Gráfica los resultados del calculo.

2.1.8.22 Superficie del círculo de falla.

- Seleccione superficie del círculo de falla del menú.
 - El titulo guardado en la lista y seleccione cualquiera de los números del circulo de falla, se desplegara le superficie del circulo de falla seleccionado y su factor de seguridad.
 - El contorno siempre presentara la superficie del círculo de falla mínima.
- Vea la información del círculo. Las fuerzas del círculo de falla calculado se desplegaran como diagrama de cuerpo libre y polígono de fuerzas en cualquier dovela

2.1.8.23 Ver la información de la dovela.

1.- En el cuadro de dialogo de la superficie del circulo de falla seleccione el numero de la dovela que desea. Presione el botón de vista de la dovela “botón de información”. Un cuadro de dialogo aparecerá con la información de la dovela.



2.- Al mover el cursor dentro una dovela y al presionar el botón izquierdo del ratón aparecerá un diagrama de cuerpo libre indicando la manera en que esta actuando las fuerzas en la dovela.

3.- Puede copiar los datos para tenerlos disponibles en otras aplicaciones.

4.- seleccione el botón hecho o terminar para salir.

Con esto termina la descripción de la forma en que se trabaja el programa de Geostudio 2004, para llevar acabo el análisis de un talud.

Ya una vez dados a conocer de manera sencilla en que consisten los procedimientos de los diferentes métodos para calcular la estabilidad de taludes, en el siguiente capítulo presentamos los materiales que se analizaran por medio del programa de Geostudio 2004.

CAPITULO 3.

3 Metodología para la obtención de los parámetros significativos que se utilizan para el cálculo de la inestabilidad.

3.1 Introducción.-

En este capítulo se mostrarán los valores, del ángulo de fricción, cohesión, peso específico húmedo, tipo de suelo, etc. de diferentes materiales, los cuales han sido obtenidos en campo y obtenidos en el laboratorio mediante diferentes pruebas correspondientes, como son prueba de compresión simple, triaxial, granulometrías, valor relativo de soporte (VRS), límites de Atterberg, etc. Y que se muestran en las tablas IV y V. Para los cuales se realizarán los cálculos por medio del programa de Geostudio 2004, para realizar los análisis de los suelos que se muestran en las tablas IV y V, y así, poder determinar cual será su factor de seguridad necesario y su ángulo, con el cual el talud estará en reposo.

Los materiales han sido recopilados de diferentes partes del estado, con el propósito de realizar una tabla donde se puedan mostrar los taludes necesarios para que al ser utilizados materiales con las mismas características que los mostrados en esta tesis, se tenga una información sobre cual es la inclinación necesaria para que el talud pueda permanecer en estado de reposo.

También mostraremos de forma sencilla la secuencia que se debe seguir dentro de un estudio Geotécnico para la realización de una vía terrestre.

3.1.1 Estudios geotécnicos para vías terrestres.-

Con este nombre podemos clasificar al conjunto de pruebas y trabajos de campo, necesarios que se necesitan llevar a cabo para la construcción de una vía terrestre.

El estudio geotécnico deberá poner a disposición del grupo encargado del proyecto, toda la información necesaria sobre el terreno de cimentación, tipos de materiales a emplear y el beneficio que puede obtenerse de los disponibles, señalando su probable comportamiento futuro y tratamientos que se necesitaran en suelos y rocas por usar durante la construcción de la vía.

La información geotécnica deberá presentarse en forma sencilla, clara y sistematizada, a valores numéricos y recomendaciones escuetas, que puedan ser tomadas en cuenta por los restantes miembros del grupo de proyecto con seguridad y correcta comprensión, aun no siendo especialistas en las disciplinas geotécnicas.

En los estudios geotécnicos se distinguen dos etapas:

- 1.- La primera comprende los reconocimientos, exploración, levantamiento de datos y las pruebas de laboratorio.
- 2.- La segunda se recopila la información disponible, se analiza, se producen recomendaciones detalladas y concretas y se redacta el informe correspondiente.

Para todo lo anterior dividiremos los pasos a seguir en el orden que se deben desempeñar cada uno de estos:

A.- Reconocimientos. Zonificación fisiográfica y litológica.-

Para facilitar y ordenar los trabajos en campo conviene dividir la zona en que se construirá la futura vía terrestre en zonas con características similares, lo cual se hace a base de la fisiografía, tomando en cuenta características morfológicas. Los aspectos litológicos y de suelos permiten después hacer una subdivisión en subzonas. Cada una de estas subzonas deberá ser descrita a detalle y puesto que presentaran características más o menos homogéneas, participaran de la misma clasificación y recomendaciones.

La descripción de cada subzona deberá hacerse verticalmente, clasificando cada una de las capas o estratos que la compongan, por lo que es necesario realizar sondeos, tomar muestras, efectuar pruebas manuales en el campo y algunas pruebas en el laboratorio, sobre todo en el caso de suelos. En el caso de rocas, será necesario estudiar los afloramientos, establecer su clasificación macroscópica y su estructura.

B.- Datos de suelo para el cálculo del diagrama de masas.-

El cálculo correcto de un diagrama de masas es tan importante para definir los procedimientos constructivos, el aprovechamiento de los materiales disponibles y el costo de un proyecto, depende en mucho de consideraciones geotécnicas y de la información de ese estilo que pueda ofrecerse a los encargados del proyecto geométrico de la vía. Cada alternativa de trazo en estudio deberá tener su correspondiente perfil de suelos, somero y superficial y deberá llegarse a proponer directrices detalladas sobre el uso de materiales y sobre los tratamientos que se les deben de dar. Además en el llenado de la tabla de la curva masa (Tabla III anexa en las siguientes páginas) deberá proporcionar el símbolo de grupo que corresponda el estrato de suelo clasificado por ejemplo:

La clasificación típica de un depósito pluvial sería:

Grava limpia, uniforme, gruesa, muy dura, redondeada, gris clara, con 20% de arena y 30% de fragmentos chicos con 15cm de tamaño máximo, muy húmeda y medianamente compacta (GP-Fc).

La de un suelo residual fino sería:

Arcilla poco arenosa, de plasticidad media, rojiza, poco húmeda y muy firme, fisurada en el espesor de 2m estudiados, con 4% de grava redondeada y algunos fragmentos chicos aislados, con raíces en los 30cm superiores (CL).

El tratamiento se refiere al tratamiento que se le debe de dar a la conformación del cuerpo de un terraplén por ejemplo:

Los tratamientos más frecuentes son la compactación en los suelos, el bandeado con tractor o equipo similar, que todavía se utiliza para los materiales muy gruesos o la simple colocación a volteo, que aun es posible ver para el relleno de los primeros metros del fondo de gargantas con material de fragmentos rocosos.

Otro dato importante en el llenado de la tabla de la curva masa es el coeficiente de variación volumétrica, el coeficiente de variación volumétrica es un número que expresa la relación entre el peso volumétrico seco en estado natural y el mismo concepto cuando el material esta compactado a un cierto grado de compactación, la formula es la siguiente:

$$c_{vv} = \frac{\gamma_{dn} / \gamma_{d \max.}}{G_c} \text{-----} (1.17)$$

Donde:

c_{vv} = Coeficiente de variación volumétrica.

γ_{dn} = Peso volumétrico seco del suelo en estado natural.

$\gamma_{d \max.}$ = Peso volumétrico seco máximo que puede obtenerse para ese suelo con la prueba de control de compactación que se este empleando.

G_c = Grado de compactación especificado para el caso.

El coeficiente de variación volumétrica permite establecer los volúmenes de materiales que han de ser excavados y obtenidos en los bancos de préstamo, para llegar ha el volumen que se requiere en las terracerías; es un dato indispensable para llegar a los verdaderos costos de un proyecto.

En el caso de manejar materiales constituidos por fragmentos de roca la formula (1.17) no se puede utilizar pues estos materiales no pueden, por el tamaño de sus partículas, ser sometidos a las pruebas de compactación ordinarias, de esa manera el coeficiente de variación en los materiales puede ser estimado.

Otros datos que conforman el diagrama de la curva masa son los siguientes los cuales los describiremos brevemente a continuación:

C.- Diagrama de préstamos de materiales.-

En general podemos mencionar tres fuentes distintas para obtener los materiales.

- el primero suele conocerse como “compensación longitudinal” y consiste en el obtenido de la excavación de un corte, para formar un terraplén vecino y resulta económico, en el sentido de que tiende a disminuir los volúmenes de desperdicio y a utilizar todo el material removido.
- El segundo conocido como “préstamo lateral” y consiste en que se extrae el material necesario de excavaciones paralelas al eje de la vía y generalmente dentro del derecho de vía, con el procedimiento se disminuyen los acarreos de los materiales, que son una parte importante dentro de la construcción. Este método esta limitado por la calidad de los

materiales, además de los problemas que se pueden ocasionar a la orilla de la carretera debido a las zanjas profundas que se deben excavar para la obtención de los materiales, con lo que los problemas de drenaje y encharcamiento se agravan.

- El tercer método es conocido como “bancos de material”, consiste en depósitos de materiales de características apropiadas, el cual se explota en forma masiva, para acarrearlo y tenderlo en la vía.

Para cada uno de los métodos descritos anteriormente es muy importante realizarle los estudios correspondientes, los dos primeros deberán estudiarse al llegar a conocer la estratigrafía y propiedades del terreno próximo a la vía y características en las lomas que se realizaran cortes susceptibles de generar material par usarlo en los terraplenes, en el tercero es importante la realización de pruebas de laboratorio para conocer las propiedades de los materiales que forman el banco.

D.- Croquis del perfil de suelos.-

Debe proporcionar la información recolectada en la observación de campo, así como la geofísica complementaria si hubiese.

E.- Croquis de la planta.-

Se dibuja un croquis a escala en planta del trazo en estudio que deberá contener lo siguiente: principales accidentes topográficos, geológicos, de población, etc.

F.- Obras complementarias de drenaje.-

Estas obras están sobre todo ligadas a la protección de cortes y terraplenes, control de erosión en suelos, prevención de problemas de estabilidad en suelos y rocas, para evitar este tipo de problemas se construyen las siguientes estructuras cunetas, contra cunetas, bordillos, lavaderos, alcantarillas, etc. (obras de drenaje menor) y puentes (obras de drenaje mayor).

TABLA III. CALCULO PARA EL DIAGRAMA DE LA CURVA MASA.

[illegible]

Es importante mencionar que la referencia de esta tabla es del libro de Rico y Del Castillo tomo 2, donde se tiene solamente contemplado la columna de talud para corte, pero en la actualidad se tiene que poner también el talud necesario para el terraplén que es lo que se le esta agregando a la tabla (tabla III). En el anexo I, se presenta la relación de taludes para cortes obtenida del tomo 1 de Rico y Del Castillo.

3.1.2 Presentación de los valores obtenidos de los materiales cohesivos fricconantes, en la tabla IV.-

Para esto se realizo una recopilación de datos, del archivo que se tiene en el laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Rúelas”(en la sección de mecánica de suelos), y estas pruebas las presentamos en la tabla IV, estas pruebas se la realizaron a diferentes materiales del Estado de Michoacán (las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Rúelas”, de la Facultad de Ingeniería Civil, de La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo), con la finalidad de crear una tabla donde se muestre el talud necesario, para darle el ángulo de inclinación adecuado al suelo correspondiente, para que al momento de realizar el corte o terraplén el talud pueda permanecer en estado de reposo sin llegar al colapso.

Es importante crear esta tabla ya que México no cuenta con una tabla donde muestre los taludes necesarios para que el suelo al momento de realizar un corte o un terraplén este pueda mantenerse en reposo, la finalidad de la tabla es poder brindar la información necesaria para que al momento de realizar proponer la inclinación un corte o un terraplén, en un suelo de las características físicas de los diferentes suelos que se mostraran en la tabla pueda, pueda tomar la información sobre el ángulo de inclinación necesario para que el talud permanezca en reposo.

A continuación se mostrara clasificado el tipo de suelo de acuerdo a la clasificación obtenida por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (**S.U.C.S.**) y por las pruebas de laboratorio realizadas (en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Rúelas”, de la Facultad de Ingeniería Civil, de La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo) donde:

MH = Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.

OH = Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad.

CL = Arcillas inorgánicas de media o baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, Arcillas limosas, arcillas pobres.

CH = Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.

TABLA IV.

TIPO DE SUELO	ANGULO DE FRICCIÓN (Φ) (°)	COHESIÓN (c) (t/m ²)	PESO ESPECIFICO HÚMEDO (γ_m) (t/m ³)	CLASIFICACIÓN (S.U.C.S.)	LIMITE LIQUIDO (LL)
Limo café claro	5	3.39	1.485	MH	64.00
Limo blanco	17	3.82	1.609	MH	67.50
Limo café claro	17	7.90	1.730	MH	55.15
Arcilla café oscuro	10	5.98	1.813	OH	58.71
Arcilla café oscuro	20	7.455	1.658	OH	69.5
Arcilla café	9	2.00	1.436	OH	88.26
Arcilla café	17	8.80	1.732	OH	76.89
Arcilla negra	10	4.26	1.738	CL	23.00
Arcilla café claro	20	4.42	1.803	CL	41.63
Arcilla negra	19	2.63	1.813	CL	38.25
Arcilla negra	16	3.87	1.816	CL	44.09
Arcilla negra	17	4.86	1.264	CH	70.00
Arcilla café claro	25	3.90	1.829	CH	50.81
Arcilla café claro	30	1.93	1.829	CH	57.38
Arcilla café claro	20	5.94	1.656	CH	65.78
Arcilla café oscuro	17	5.21	1.819	CH	60.63
Arcilla café oscuro	18	4.96	1.735	CH	56.09
Arcilla café oscuro	18	5.00	1.676	CH	67.93
Arcilla café claro	30	1.91	1.829	CH	59.28

3.1.3 Presentación de los valores obtenidos para suelos friccionantes, en la tabla V.

Ya una vez realizadas las pruebas correspondientes se presentan los valores obtenidos en la siguiente tabla (tabla V. obtenida del libro de Soil Strength and Slope Stability), donde:

GW = Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos.

SW= Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos.

GP = Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena, con poco o nada de finos.

SP = Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos.

SM = Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

TABLA V.

CLASIFICACIÓN	ANGULO DE FRICCIÓN (Φ) (°)	PESO ESPECIFICÓ HÚMEDO (γ_m) (t/m ³)	COHESIÓN (c) (t/m ²)
GW,SW	46	1.8899	0.00
GW,SW	43	1.8899	0.00
GW,SW	40	1.8899	0.00
GW,SW	37	1.8899	0.00
GP,SP	42	1.6595	0.00
GP,SP	39	1.6595	0.00
GP,SP	36	1.6595	0.00
GP,SP	33	1.6595	0.00
SM	36	1.7747	0.00
SM	34	1.7747	0.00
SM	32	1.7747	0.00
SM	30	1.7747	0.00

Con los valores que se presentan en cada tabla (tabla IV y tabla V), realizaremos los cálculos para obtener la estabilidad de los taludes para cada tipo de suelo, con la ayuda del programa de Geostudio 2004.

Para la realización de las pruebas se efectuó el siguiente procedimiento:

Ya con los valores obtenidos de la recopilación de datos del laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Rúelas” de la facultad de Ingeniería Civil de La U.M.S.N.H y abierto el programa de Geostudio 2004 (en el programa de análisis slope/w).

Se empieza con el dibujo del problema, ya una vez dibujado el problema, se selecciona el icono de propiedades de los materiales y se procede a insertar los datos del suelo que se estudiara (ángulo de fricción, cohesión, peso específico), ya con los datos guardados, se realiza la verificación de estos para ver que no tengamos errores en la captura. Y si existe algún error el programa lo señalara.

Ya verificados los datos se procede a calcular el factor de seguridad, el factor de seguridad se calcula para diferentes alturas en un intervalo de 0 a 15 metros, modificando los puntos del dibujo para irle dando la altura deseada, ya con los factores de seguridad obtenidos se procede a calcular el ángulo del talud.

El factor de seguridad que se presenta como factorizado se obtuvo de la manera siguiente:

El ángulo de fricción se dividió entre 1.2 y la cohesión entre 1.6, con los valores de la cohesión y el ángulo de fricción afectados, se realizara el calculo para ver la variación del ángulo de acuerdo a al factor de seguridad de 1.5.

Ahora presentaremos los cálculos para los materiales de las tablas IV y V. Los valores obtenidos con el programa de Geostudio 2004, los mostramos a continuación en las tablas VI y VII.

TABLA VI.

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 Φ corte (°)	Fs = 1.5 Φ terraplén (°)	Fs factorizado Φ corte (°)	Fs factorizado Φ terraplén (°)
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	29	90	31
	6 - 9	61	18	66	18
	9 - 12	53	14	32	14
	12 - 15	49	11	23	12
LIMO BLANCO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	63	90	63
	6 - 9	77	39	77	39
	9 - 12	67	29	63	32
	12 - 15	59	25	47	27
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	90	90	90
	6 - 9	90	77	90	77
	9 - 12	90	60	90	56
	12 - 15	86	43	86	45
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	72	90	72
	6 - 9	90	42	90	42
	9 - 12	72	27	76	30
	12 - 15	68	22	68	24
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	90	90	90
	6 - 9	90	77	90	77
	9 - 12	90	63	90	60
	12 - 15	90	49	90	47
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	90	72	90	56
	3 - 6	63	21	63	22
	6 - 9	31	16	31	17
	9 - 12	21	13	23	14
	12 - 15	19	11	18	13
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	90	90	90
	6 - 9	90	84	90	84
	9 - 12	90	72	90	63
	12 - 15	90	49	90	47
ARCILLA NEGRA	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	50	90	50
	6 - 9	77	25	77	29
	9 - 12	67	20	50	22
	12 - 15	36	18	36	19
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	72	90	72
	6 - 9	84	42	84	48
	9 - 12	72	34	67	39
	12 - 15	54	28	51	32
ARCILLA NEGRA	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	81	37	81	41
	6 - 9	48	27	56	31
	9 - 12	39	24	41	27
	12 - 15	32	22	33	25

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 Φ corte (°)	Fs = 1.5 Φ terraplén (°)	Fs factorizado Φ corte (°)	Fs factorizado Φ terraplén (°)
ARCILLA NEGRA	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	50	90	50
	6 - 9	72	33	72	37
	9 - 12	50	26	50	30
	12 - 15	40	23	40	25
ARCILLA NEGRA	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	90	90	90
	6 - 9	90	72	90	66
	9 - 12	90	56	90	50
	12 - 15	79	38	79	38
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	72	90	63
	6 - 9	77	45	84	48
	9 - 12	63	37	67	41
	12 - 15	54	31	54	36
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	90	72	90	72
	3 - 6	72	45	72	50
	6 - 9	52	35	56	39
	9 - 12	45	32	45	35
	12 - 15	40	31	41	34
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	90	90	90
	6 - 9	90	72	90	66
	9 - 12	90	47	90	50
	12 - 15	79	38	79	41
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	72	90	72
	6 - 9	90	45	90	48
	9 - 12	76	34	76	37
	12 - 15	62	29	56	31
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	72	90	72
	6 - 9	90	48	90	48
	9 - 12	76	35	72	37
	12 - 15	62	31	65	33
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	90	90	90	90
	3 - 6	90	81	90	81
	6 - 9	90	48	90	52
	9 - 12	81	37	76	41
	12 - 15	72	29	62	34
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	90	72	90	72
	3 - 6	72	45	72	50
	6 - 9	52	35	56	39
	9 - 12	43	32	47	37
	12 - 15	40	30	41	33

TABLA VII.

CLASIFICACIÓN	ANGULO DE FRICCIÓN (Φ) (°)	PESO ESPECIFICO HÚMEDO (γ_m) (t/m ³)	ALTURA (MTS)	Fs = 1.5 CORTE Y TERRAPLÉN (Φ)
GW,SW	46	18.54	0 - 3	34
			3 - 6	34
			6 - 9	34
			9 - 12	34
			12 - 15	34
GW,SW	43	18.54	0 - 3	31
			3 - 6	31
			6 - 9	31
			9 - 12	31
			12 - 15	31
GW,SW	40	18.54	0 - 3	29
			3 - 6	29
			6 - 9	29
			9 - 12	29
			12 - 15	29
GW,SW	37	18.54	0 - 3	27
			3 - 6	27
			6 - 9	27
			9 - 12	27
			12 - 15	27
GP,SP	42	16.28	0 - 3	30
			3 - 6	30
			6 - 9	30
			9 - 12	30
			12 - 15	30
GP,SP	39	16.28	0 - 3	28
			3 - 6	28
			6 - 9	28
			9 - 12	28
			12 - 15	28
GP,SP	36	16.28	0 - 3	25
			3 - 6	25
			6 - 9	25
			9 - 12	25
			12 - 15	25
GP,SP	33	16.28	0 - 3	23
			3 - 6	23
			6 - 9	23
			9 - 12	23
			12 - 15	23
SM	36	17.41	0 - 3	25
			3 - 6	25
			6 - 9	25
			9 - 12	25
			12 - 15	25
SM	34	17.41	0 - 3	24
			3 - 6	24
			6 - 9	24
			9 - 12	24
			12 - 15	24

CLASIFICACIÓN	ANGULO DE FRICCIÓN (Φ) (°)	PESO ESPECÍFICO HÚMEDO (γ_m) (t/m ³)	ALTURA (MTS)	Fs = 1.5 CORTE Y TERRAPLÉN (Φ)
SM	32	17.41	0 - 3	23
			3 - 6	23
			6 - 9	23
			9 - 12	23
			12 - 15	23
SM	30	17.41	0 - 3	21
			3 - 6	21
			6 - 9	21
			9 - 12	21
			12 - 15	21

Los resultados de las tablas anteriores (tablas VI y VII), nos muestran en algunos casos ángulos mayores a 45°, por lo tanto, estos ángulos los revisaremos de acuerdo a la teoría de empuje de tierras la cual la definiremos, de manera que podamos obtener la inclinación del talud adecuada para cada tipo de material presentado.

3.1.4 Empuje de tierras.

Para explicar en que consiste el empuje de tierras, lo explicaremos sencillamente básicamente presentando la formula que se utiliza para el calculo del ángulo de reposo del material, considérese un suelo cuyo talud se supone originalmente en “reposo”. Dicho talud podrá ser llevado físicamente a la falla de dos maneras:

- a.- La primera por empuje del suelo que conforma el relleno del talud. Cediendo la estructura del talud hacia el frente.
- b.- La segunda por acción de algún empuje exterior, incrustándose en la pared del talud y deformándolo.

Rankie pensó que bajo el empuje del suelo, el talud cede y se desplaza disminuyendo la presión del suelo del talud a valores abajo del correspondiente al “reposo”, esto provocaría que el suelo desarrollara la capacidad de auto sustentación, por medio de esfuerzos cortantes generados si el talud cede lo suficiente, la presión horizontal puede llegar a ser activa. Para explicar esto veamos el siguiente ejemplo.

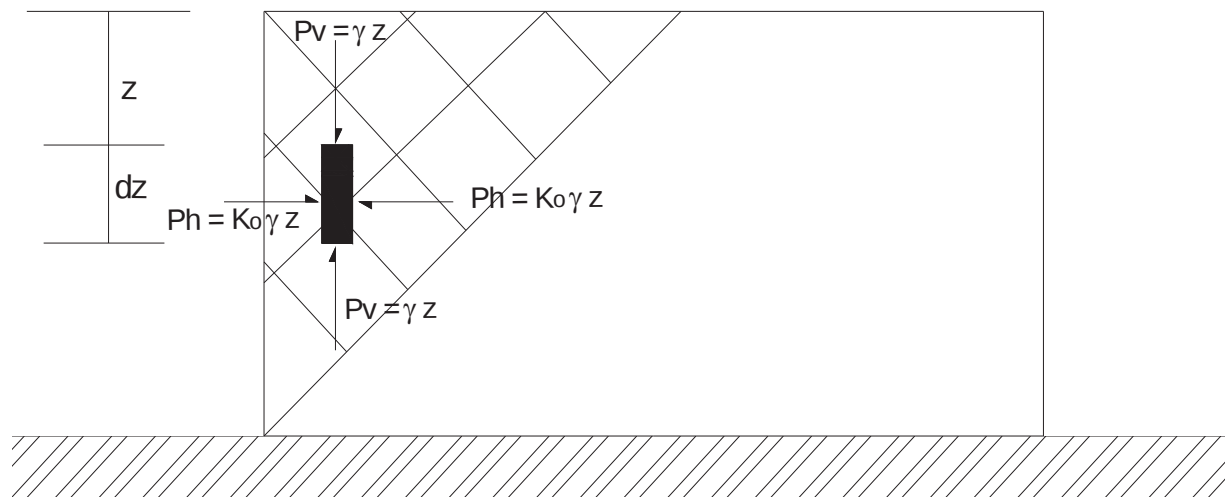


Fig. 2.5. Esfuerzos actuantes sobre un elemento de suelo en reposo.

Considérese un elemento de suelo de altura dz situado a una profundidad z en el interior de un estrato de suelo en “reposo”. En tales condiciones la presión vertical efectiva actuante sobre el elemento de suelo que se muestra en la figura 2.5 es:

$$P_v = \gamma z \text{ ----- (1.18)}$$

Donde:

P_v = Presión vertical.

γ = Peso específico correspondiente.

z = profundidad de la muestra.

Bajo la presión vertical actuante en la partícula que se muestra en al fig. 2.5 el elemento de suelo se presiona horizontalmente originándose así un esfuerzo horizontal, Ph , que se ha aceptado como proporcional a P_v .

$$Ph = K_o \gamma z \text{ ----- (1.19).}$$

La constante de proporcionalidad entre $P_v = \gamma z$, y, Ph se denomina “coeficiente de presión de tierra en reposo” y sus valores han sido obtenidos experimentalmente en el laboratorio y en el campo, donde para suelos granulares sin finos, oscila entre 0.4 y 0.8. El primer valor corresponde a

arenas sueltas y el segundo a arenas intensamente apisonadas; una arena natural compacta suele tener un K_o del orden de 0.5.

Si observamos en la fig. 2.5a el diagrama de los círculos de Mohr el círculo correspondiente al estado de esfuerzos descrito para el elemento mencionado (fig. 2.5a) se obtendrá un círculo tal como el 1, que evidentemente no es de falla.

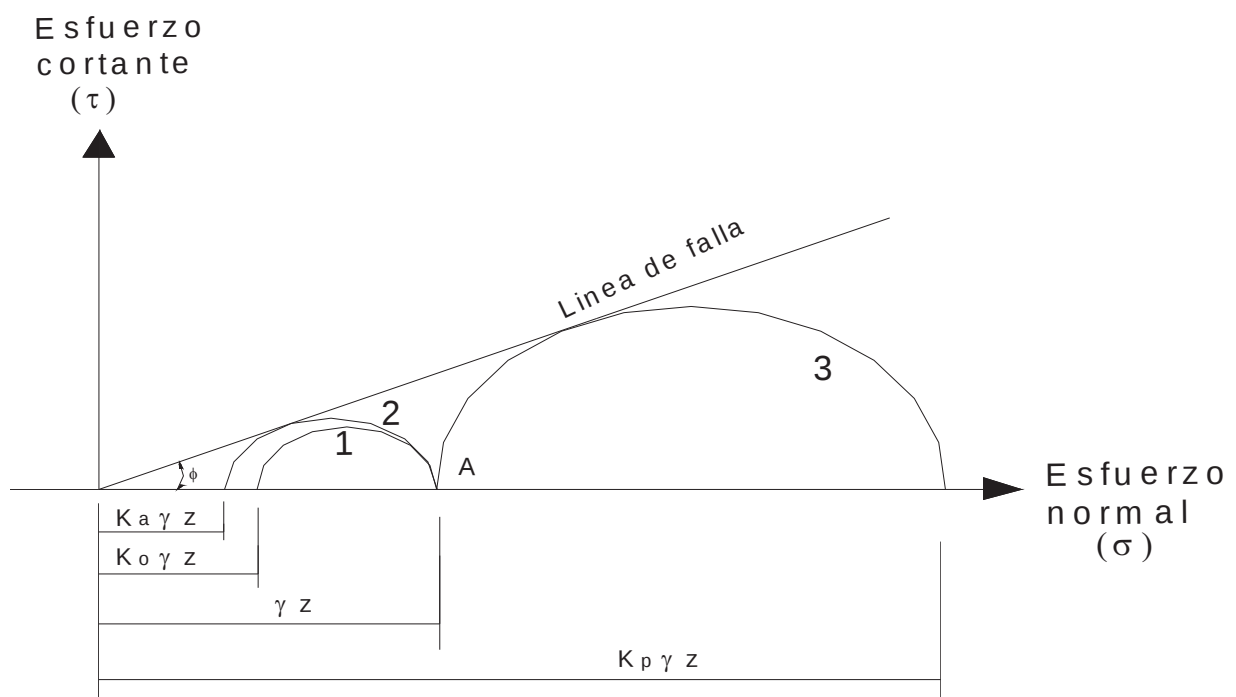


Fig. 2.5a. Estados plásticos en el diagrama de Mohr.

A partir de estas condiciones de esfuerzo en “reposo” se puede llegar a la falla por dos medios de interés práctico. El primero consistirá en disminuir el esfuerzo horizontal, manteniendo el vertical constante; se llega así al círculo 2 de falla, con un esfuerzo principal menor $\sigma_3 = K_a \gamma z$, donde K_a se denomina “coeficiente de presión activa de tierras”; nótese que este esfuerzo σ_3 corresponde en este círculo a la presión horizontal, pues, el esfuerzo principal mayor correspondiente es γz o presión vertical debida al peso del suelo sobreyacente sobre el elemento. El segundo camino que puede llevar a la falla al elemento en estudio consistirá en tomar el esfuerzo γz , como el principal menor, aumentando por consiguiente ahora la presión horizontal hasta llegar a un valor $K_p \gamma z$, tal que el círculo 3 resultante sea tangente a la línea de falla. El valor K_p recibe el nombre de “coeficiente de presión pasiva de tierras”.

De acuerdo con Rankine se dirá que un suelo está en estado plástico cuando se encuentra en estado de falla incipiente generalizado. Así, de acuerdo con lo anterior, caben dos estados plásticos prácticos. El que se tiene cuando el esfuerzo horizontal alcanza el valor mínimo $K_a \gamma z$ y el que ocurre cuando dicha presión llega al valor máximo $K_p \gamma z$. Estos estados se denominan activo y pasivo respectivamente.

En el estado plástico activo (fig. 2.5a.) evidentemente se tiene:

$$\frac{p_h}{p_v} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}$$

Se ve entonces que:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \text{-----} (1.20)$$

Expresión que da el valor del coeficiente activo de presión de tierras.

Análogamente, en el estado plástico pasivo se tendrá:

$$\frac{p_h}{p_v} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3}$$

Se ve entonces:

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \text{-----} (1.21)$$

Para el coeficiente pasivo de presión de tierras.

Los dos casos de estados plásticos anteriores parecen tener una correspondencia con la realidad ingenieril que los hace de interés práctico.

Se puede llegar a determinar la inclinación de las líneas de fluencia de una masa de suelo sujeta a cualquiera de los dos estados “plásticos” aquí analizados. En efecto, según se vio, en un elemento

de suelo sujeto a un esfuerzo principal mayor vertical σ_1 , y a uno menor horizontal σ_3 , la línea de fluencia se presenta a un ángulo θ (formula r), respecto a la dirección del esfuerzo principal menor.

$$\theta = 45 + \frac{\phi}{2} \text{ ----- (1.22)}$$

Donde:

θ = Ángulo interno para la estabilidad del talud

ϕ = Ángulo de fricción interna del suelo.

En la figura 2.5b, se muestran las líneas de fluencia del suelo que conforma el estrato.

Debe notarse que la fórmula expuesta vale solo para el caso en que la superficie del suelo sea horizontal y la pared del talud sea vertical o mayor a 45° .

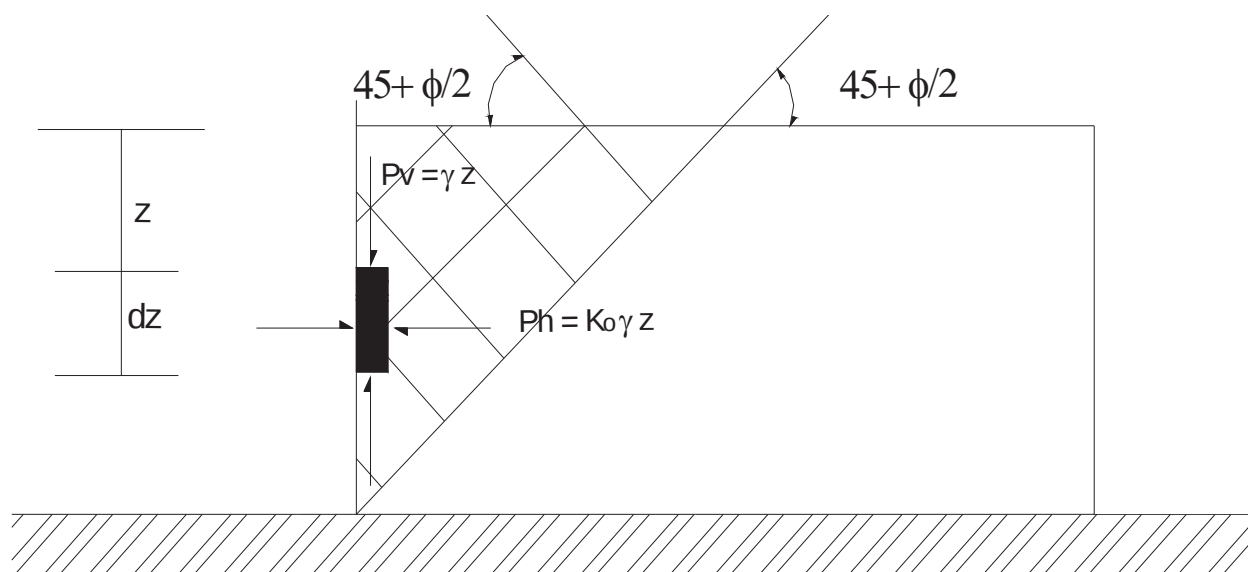


Fig. 2.5b. Líneas de fluencia en los estados de equilibrio “plástico”.

Algunos de los valores anteriores (tablas VI y VII) los afectaremos por el empuje de tierras para poder dar la inclinación del talud correspondiente, los ángulos afectados son los mayores a 45° y los presentamos en las siguientes tablas (tablas VIII y IX), estos resultados los mostraremos de la manera siguiente:

Por ejemplo, para un ángulo de 40° lo expresaremos de la manera siguiente:

Donde: por cada 1.20, metros en forma horizontal se desplazara 1.0, metro en forma vertical y lo anotaremos: (1.20:1.0).

Es importante mencionar que dentro de este análisis la cohesión no se toma en cuenta, debido a que ésta varían con el contenido de agua, si en el suelo llega a haber un aumento en la cantidad de agua, la cohesión puede llegar a desaparecer, lo cual provocaría que este material que estuviera formando la ladera de un talud se derrumbe.

TABLA VIII.

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 corte (talud)	Fs = 1.5 terraplén (talud)	Fs = 1.0 corte (talud)	Fs = 1.0 terraplén (talud)
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	0.90:1.0	0.90:1.0	0.90:1.0	0.90:1.0
	3 - 6	0.90:1.0	1.82:1.0	0.90:1.0	1.66:1.0
	6 - 9	0.90:1.0	3.03:1.0	0.90:1.0	3.03:1.0
	9 - 12	0.90:1.0	3.85:1.0	1.59:1.0	3.85:1.0
	12 - 15	0.90:1.0	5.26:1.0	2.38:1.0	4.76:1.0
LIMO BLANCO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.22:1.0	0.78:1.0	1.22:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	1.82:1.0	0.78:1.0	1.59:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	2.13:1.0	0.90:1.0	2.00:1.0
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.07:1.0	0.78:1.0	1.00:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.83:1.0	0.83:1.0	0.88:1.0	0.88:1.0
	3 - 6	0.83:1.0	0.83:1.0	0.88:1.0	0.88:1.0
	6 - 9	0.83:1.0	1.11:1.0	0.88:1.0	1.11:1.0
	9 - 12	0.83:1.0	2.00:1.0	0.88:1.0	1.72:1.0
	12 - 15	0.83:1.0	2.50:1.0	0.88:1.0	2.27:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	0.70:1.0	0.88:1.0	0.75:1.0	0.90:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	0.88:1.0	0.88:1.0	0.90:1.0	0.90:1.0
	3 - 6	0.88:1.0	2.63:1.0	0.90:1.0	2.50:1.0
	6 - 9	1.66:1.0	3.45:1.0	1.66:1.0	3.23:1.0
	9 - 12	2.63:1.0	4.55:1.0	2.38:1.0	3.85:1.0
	12 - 15	2.86:1.0	5.26:1.0	3.03:1.0	4.55:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	0.88:1.0	0.78:1.0	0.90:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.83:1.0	0.83:1.0	0.88:1.0	0.88:1.0
	3 - 6	0.83:1.0	0.83:1.0	0.88:1.0	0.88:1.0
	6 - 9	0.83:1.0	2.13:1.0	0.88:1.0	1.82:1.0
	9 - 12	0.83:1.0	2.78:1.0	0.88:1.0	2.50:1.0
	12 - 15	1.41:1.0	3.03:1.0	1.41:1.0	2.86:1.0

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 corte (talud)	Fs = 1.5 terraplén (talud)	Fs = 1.0 corte (talud)	Fs = 1.0 terraplén (talud)
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	1.11:1.0	0.75:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	1.49:1.0	0.75:1.0	1.22:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.85:1.0	0.80:1.0	1.59:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	1.33:1.0	0.75:1.0	1.16:1.0
	6 - 9	0.90:1.0	2.00:1.0	0.75:1.0	1.66:1.0
	9 - 12	1.22:1.0	2.27:1.0	1.16:1.0	2.00:1.0
	12 - 15	1.59:1.0	2.50:1.0	1.54:1.0	2.13:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.80:1.0	0.80:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.83:1.0	0.80:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.54:1.0	0.80:1.0	1.33:1.0
	9 - 12	0.83:1.0	2.04:1.0	0.83:1.0	1.72:1.0
	12 - 15	1.20:1.0	2.38:1.0	1.20:1.0	2.13:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.83:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.27:1.0	0.78:1.0	1.27:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.65:1.0	0.65:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	0.65:1.0	0.65:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	0.65:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.65:1.0	1.33:1.0	0.70:1.0	1.16:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.66:1.0	0.74:1.0	1.41:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.58:1.0	0.58:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0
	3 - 6	0.58:1.0	1.00:1.0	0.65:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.78:1.0	1.45:1.0	0.67:1.0	1.22:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.59:1.0	1.00:1.0	1.45:1.0
	12 - 15	1.20:1.0	1.66:1.0	1.16:1.0	1.49:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	0.70:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	0.90:1.0	0.75:1.0	0.83:1.0
	12 - 15	0.70:1.0	1.27:1.0	0.75:1.0	1.16:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.00:1.0	0.78:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	1.49:1.0	0.78:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.82:1.0	0.78:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	0.74:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	6 - 9	0.74:1.0	0.90:1.0	0.78:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.74:1.0	1.45:1.0	0.78:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.66:1.0	0.78:1.0	1.54:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	0.74:1.0	0.78:1.0	0.78:1.0
	6 - 9	0.74:1.0	0.90:1.0	0.78:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.74:1.0	1.33:1.0	0.78:1.0	1.16:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.82:1.0	0.78:1.0	1.49:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.58:1.0	0.58:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0
	3 - 6	0.58:1.0	1.00:1.0	0.65:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.78:1.0	1.45:1.0	0.67:1.0	1.22:1.0
	9 - 12	1.07:1.0	1.59:1.0	0.90:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	1.20:1.0	1.72:1.0	1.16:1.0	1.54:1.0

TABLA IX.

CLASIFICACIÓN	ALTURA (MTS)	Fs = 1.5 CORTE Y TERRAPLÉN (TALUD)
GW,SW	0 - 3	1.49:1.0
	3 - 6	1.49:1.0
	6 - 9	1.49:1.0
	9 - 12	1.49:1.0
	12 - 15	1.49:1.0
GW,SW	0 - 3	1.66:1.0
	3 - 6	1.66:1.0
	6 - 9	1.66:1.0
	9 - 12	1.66:1.0
	12 - 15	1.66:1.0
GW,SW	0 - 3	1.82:1.0
	3 - 6	1.82:1.0
	6 - 9	1.82:1.0
	9 - 12	1.82:1.0
	12 - 15	1.82:1.0
GW,SW	0 - 3	2.00:1.0
	3 - 6	2.00:1.0
	6 - 9	2.00:1.0
	9 - 12	2.00:1.0
	12 - 15	2.00:1.0
GP,SP	0 - 3	1.72:1.0
	3 - 6	1.72:1.0
	6 - 9	1.72:1.0
	9 - 12	1.72:1.0
	12 - 15	1.72:1.0
GP,SP	0 - 3	1.85:1.0
	3 - 6	1.85:1.0
	6 - 9	1.85:1.0
	9 - 12	1.85:1.0
	12 - 15	1.85:1.0
GP,SP	0 - 3	2.13:1.0
	3 - 6	2.13:1.0
	6 - 9	2.13:1.0
	9 - 12	2.13:1.0
	12 - 15	2.13:1.0
GP,SP	0 - 3	2.38:1.0
	3 - 6	2.38:1.0
	6 - 9	2.38:1.0
	9 - 12	2.38:1.0
	12 - 15	2.38:1.0
SM	0 - 3	2.13:1.0
	3 - 6	2.13:1.0
	6 - 9	2.13:1.0
	9 - 12	2.13:1.0
	12 - 15	2.13:1.0
SM	0 - 3	2.27:1.0
	3 - 6	2.27:1.0
	6 - 9	2.27:1.0
	9 - 12	2.27:1.0
	12 - 15	2.27:1.0

CLASIFICACIÓN	ALTURA (MTS)	Fs = 1.5 CORTE Y TERRAPLÉN (TALUD)
SM	0 – 3	2.38:1.0
	3 - 6	2.38:1.0
	6 - 9	2.38:1.0
	9 - 12	2.38:1.0
	12 - 15	2.38:1.0
SM	0 – 3	2.63:1.0
	3 - 6	2.63:1.0
	6 - 9	2.63:1.0
	9 - 12	2.63:1.0
	12 - 15	2.63:1.0

Ya una vez obtenidos los resultados mostrados en las tablas VIII y IX, ahora los resultados obtenidos los compararemos de la manera siguiente, los diferentes tipos de suelos ahora los analizaremos por medio de la gráfica 1.0 y la gráfica 1.1, que se muestran a continuación, los valores obtenidos por medio de la gráfica 1.0, los compararemos con los obtenidos anteriormente (tablas VIII y IX), mostraremos el procedimiento en que se utiliza la gráfica para la obtención de los resultados.

3.1.5 Solución por medio de gráficas.

Ahora analizaremos los mismos materiales por medio de la gráfica 1.0. Y después utilizando la gráfica 1.1, para después con los resultados obtenidos por medio del análisis anteriormente realizado con el programa de Geostudio 2004 hacer la comparación con los valores que se obtengan por medio de las graficas.

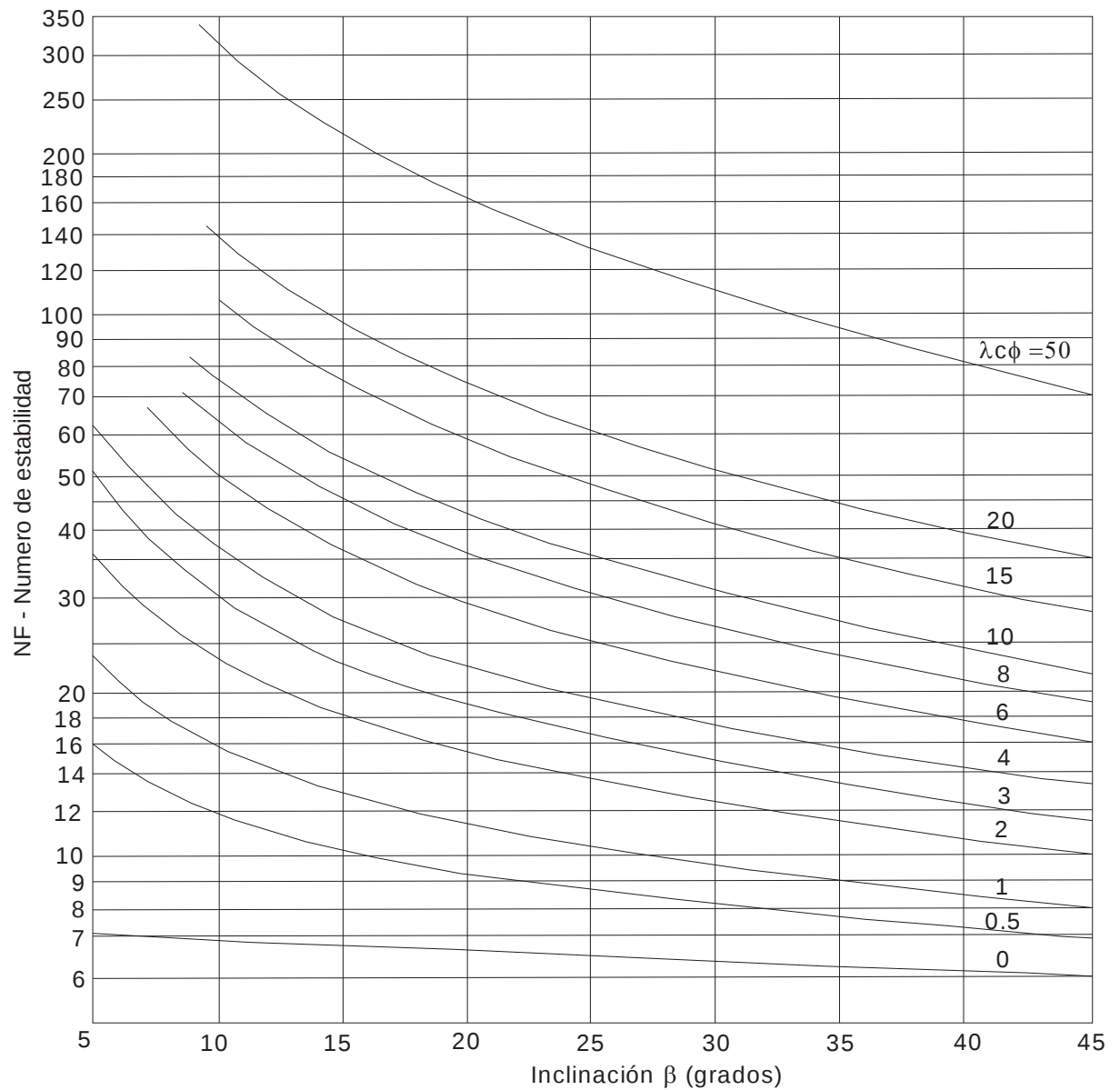
Con el procedimiento ya antes mencionado anteriormente se procederá a realizar los cálculos correspondientes para encontrar los valores con los cuales podamos obtener la información de la gráfica correspondiente, por lo tanto, ahora mostramos los cálculos para cada gráfica y sus resultados:

Cálculos para obtener β de la gráfica 1.0.

TIPO DE SUELO	Altura (m)	NF	$\lambda c\Phi$
Limo café claro	3	1.971	0.115
	6	3.942	0.230
	9	5.914	0.345
	12	7.885	0.460
	15	9.856	0.575
Limo blanco	3	1.895	0.386
	6	3.791	0.773
	9	5.686	1.159
	12	7.582	1.545
	15	9.477	1.932
Limo café claro	3	0.985	0.201
	6	1.971	0.402
	9	2.956	0.603
	12	3.942	0.803
	15	4.927	1.004
Arcilla café oscuro	3	1.364	0.160
	6	2.729	0.321
	9	4.093	0.481
	12	5.457	0.642
	15	6.821	0.802
Arcilla café oscuro	3	1.001	0.243
	6	2.002	0.486
	9	3.002	0.729
	12	4.003	0.971
	15	5.004	1.214
Arcilla café	3	3.231	0.341
	6	6.462	0.682
	9	9.693	1.023
	12	12.924	1.365
	15	16.155	1.706
Arcilla café	3	0.886	0.181
	6	1.772	0.361
	9	2.657	0.542
	12	3.543	0.722
	15	4.429	0.903
Arcilla negra	3	1.836	0.216
	6	3.672	0.432
	9	5.508	0.647
	12	7.344	0.863
	15	9.180	1.079
Arcilla café claro	3	1.838	0.446
	6	3.675	0.892
	9	5.513	1.338
	12	7.351	1.784
	15	9.189	2.230

TIPO DE SUELO	Altura (m)	NF	$\lambda c\Phi$
Arcilla negra	3	3.102	0.712
	6	6.204	1.424
	9	9.306	2.136
	12	12.408	2.848
	15	15.510	3.560
Arcilla negra	3	2.112	0.404
	6	4.223	0.807
	9	6.335	1.211
	12	8.447	1.615
	15	10.558	2.018
Arcilla negra	3	1.170	0.239
	6	2.341	0.477
	9	3.511	0.716
	12	4.681	0.954
	15	5.852	1.193
Arcilla café claro	3	2.110	0.656
	6	4.221	1.312
	9	6.331	1.968
	12	8.442	2.624
	15	10.552	3.280
Arcilla café claro	3	4.262	1.641
	6	8.525	3.281
	9	12.787	4.922
	12	17.049	6.562
	15	21.311	8.203
Arcilla café claro	3	1.255	0.304
	6	2.509	0.609
	9	3.764	0.913
	12	5.018	1.218
	15	6.273	1.522
Arcilla café oscuro	3	1.571	0.320
	6	3.143	0.641
	9	4.714	0.961
	12	6.286	1.281
	15	7.857	1.601
Arcilla café oscuro	3	1.576	0.341
	6	3.151	0.683
	9	4.727	1.024
	12	6.303	1.365
	15	7.878	1.707
Arcilla café oscuro	3	1.508	0.327
	6	3.017	0.653
	9	4.525	0.980
	12	6.034	1.307
	15	7.542	1.634
Arcilla café claro	3	4.311	1.659
	6	8.623	3.319
	9	12.934	4.978
	12	17.246	6.638
	15	21.557	8.297

GRÁFICA 1.0



Por medio de la gráfica anterior (Gráfica 1.0), comprobaremos los valores obtenidos en las pruebas antes realizadas, los valores de la gráfica los mostramos en la siguiente tabla (tabla X). Y después en la tabla XI realizaremos una comparación para comparar los resultados.

TABLA X.

TIPO DE SUELO	Altura	β corte	β terraplén
Limo café claro	3	45.00	45.00
	6	45.00	35.00
	9	45.00	20.00
	12	35.00	11.00
	15	25.00	11.00
Limo blanco	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	41.00
	12	45.00	32.00
	15	45.00	25.00
Limo café claro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	45.00
	15	45.00	45.00
Arcilla café oscuro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	40.00
	12	45.00	30.00
	15	45.00	23.00
Arcilla café oscuro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	45.00
	15	45.00	45.00
Arcilla café	3	45.00	45.00
	6	45.00	20.00
	9	35.00	14.00
	12	17.00	12.00
	15	14.00	11.00
Arcilla café	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	45.00
	15	45.00	45.00
Arcilla negra	3	45.00	45.00
	6	45.00	44.00
	9	45.00	30.00
	12	45.00	18.00
	15	35.00	15.00
Arcilla café claro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	43.00
	12	45.00	33.00
	15	45.00	28.00
Arcilla negra	3	45.00	45.00
	6	45.00	38.00
	9	45.00	29.00
	12	35.00	24.00
	15	33.00	23.00

TIPO DE SUELO	Altura	β corte	β terraplén
Arcilla negra	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	35.00
	12	45.00	26.00
	15	40.00	23.00
Arcilla negra	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	45.00
	15	45.00	38.00
Arcilla café claro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	37.00
	15	45.00	35.00
Arcilla café claro	3	45.00	45.00
	6	45.00	43.00
	9	45.00	42.00
	12	45.00	32.00
	15	42.00	31.00
Arcilla café claro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	45.00
	15	45.00	37.00
Arcilla café oscuro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	35.00
	15	45.00	30.00
Arcilla café oscuro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	37.00
	15	45.00	32.00
Arcilla café oscuro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	45.00
	12	45.00	35.00
	15	45.00	30.00
Arcilla café claro	3	45.00	45.00
	6	45.00	45.00
	9	45.00	36.00
	12	45.00	33.00
	15	43.00	31.00

TABLA XI.

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 Grafica1.0 corte (talud)	Fs = 1.5 Grafica1.0 terraplén (talud)	Fs = 1.5 Geostudio corte (talud)	Fs = 1.5 Geostudio terraplén (talud)
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.90:1.0	0.90:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.45:1.0	0.90:1.0	1.82:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	2.78:1.0	0.90:1.0	3.03:1.0
	9 - 12	1.45:1.0	5.26:1.0	0.90:1.0	3.85:1.0
	12 - 15	2.13:1.0	5.26:1.0	0.90:1.0	5.26:1.0
LIMO BLANCO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.16:1.0	0.75:1.0	1.22:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.59:1.0	0.75:1.0	1.82:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	2.13:1.0	0.75:1.0	2.13:1.0
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	1.07:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.20:1.0	0.83:1.0	1.11:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.72:1.0	0.83:1.0	2.00:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	2.38:1.0	0.83:1.0	2.50:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.88:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.88:1.0	0.88:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	2.78:1.0	0.88:1.0	2.63:1.0
	6 - 9	1.45:1.0	3.85:1.0	1.66:1.0	3.45:1.0
	9 - 12	3.23:1.0	4.76:1.0	2.63:1.0	4.55:1.0
	12 - 15	3.85:1.0	5.26:1.0	2.86:1.0	5.26:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.88:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.05:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.72:1.0	0.83:1.0	2.13:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	3.03:1.0	0.83:1.0	2.78:1.0
	12 - 15	1.45:1.0	3.65:1.0	1.41:1.0	3.03:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.07:1.0	0.70:1.0	1.11:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.54:1.0	0.70:1.0	1.49:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.85:1.0	0.74:1.0	1.85:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.27:1.0	0.74:1.0	1.33:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.82:1.0	0.90:1.0	2.00:1.0
	9 - 12	1.45:1.0	2.27:1.0	1.22:1.0	2.27:1.0
	12 - 15	1.54:1.0	2.38:1.0	1.59:1.0	2.50:1.0

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 Grafica1.0 corte (talud)	Fs = 1.5 Grafica1.0 terraplén (talud)	Fs = 1.5 Geostudio corte (talud)	Fs = 1.5 Geostudio terraplén (talud)
ARCILLA NEGRA	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.45:1.0	0.75:1.0	1.54:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	2.04:1.0	0.83:1.0	2.04:1.0
	12 - 15	1.20:1.0	2.38:1.0	1.20:1.0	2.38:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.27:1.0	0.75:1.0	1.27:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.65:1.0	1.00:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.33:1.0	0.65:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.45:1.0	0.74:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.58:1.0	0.58:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.07:1.0	0.58:1.0	1.00:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.11:1.0	0.78:1.0	1.45:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.59:1.0	1.00:1.0	1.59:1.0
	12 - 15	1.11:1.0	1.66:1.0	1.20:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.00:1.0	0.70:1.0	0.90:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.33:1.0	0.70:1.0	1.27:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	1.00:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.45:1.0	0.75:1.0	1.49:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.72:1.0	0.75:1.0	1.82:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.33:1.0	0.74:1.0	1.45:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.59:1.0	0.74:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.45:1.0	0.74:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	1.00:1.0	1.72:1.0	0.74:1.0	1.82:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	1.00:1.0	1.00:1.0	0.58:1.0	0.58:1.0
	3 - 6	1.00:1.0	1.00:1.0	0.58:1.0	1.00:1.0
	6 - 9	1.00:1.0	1.41:1.0	0.78:1.0	1.45:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.54:1.0	1.07:1.0	1.59:1.0
	12 - 15	1.07:1.0	1.66:1.0	1.20:1.0	1.72:1.0

Podemos observar que los resultados varían un poco en comparación con los obtenidos por medio del Geostudio 2004, pero la razón es que la gráfica solo se pueden obtener valores máximos de inclinación a 45°, por lo tanto llegamos a la conclusión de que la gráfica es imprecisa.

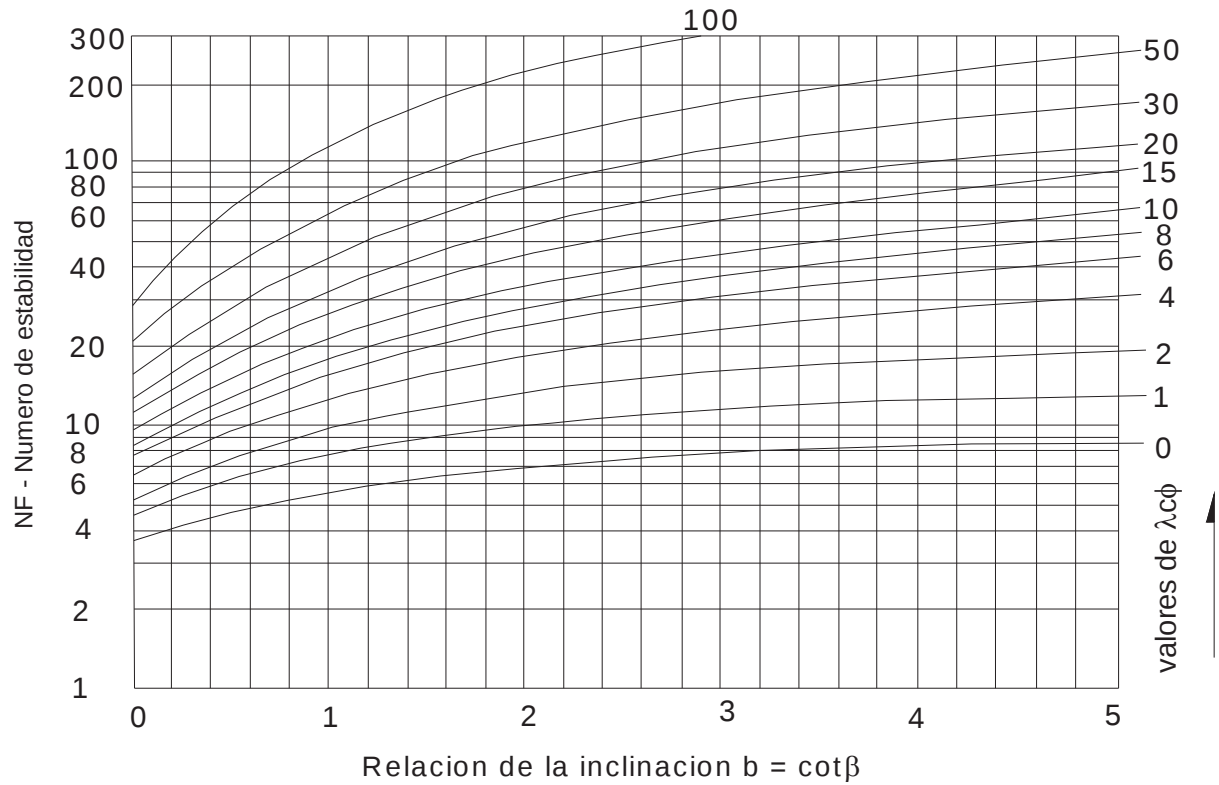
Ahora analizaremos los mismos materiales por medio de la gráfica 1.1. Obtener los valores de β por medio de la gráfica se realizara el siguiente procedimiento ya antes mencionado:

Ahora mostraremos los cálculos para ingresar a la gráfica 1.1 y calcular β .

TIPO DE SUELO	Altura	NF	$\lambda c\Phi$	H (requerida)
Limo café claro	3	1.971	0.115	7.61
	6	3.942	0.230	7.61
	9	5.914	0.345	7.61
	12	7.885	0.460	12.00
	15	9.856	0.575	15.00
Limo blanco	3	1.895	0.386	7.91
	6	3.791	0.773	7.91
	9	5.686	1.159	7.91
	12	7.582	1.545	12.00
	15	9.477	1.932	15.00
Limo café claro	3	0.985	0.201	15.22
	6	1.971	0.402	15.22
	9	2.956	0.603	15.22
	12	3.942	0.803	15.22
	15	4.927	1.004	15.22
Arcilla café oscuro	3	1.364	0.160	10.99
	6	2.729	0.321	10.99
	9	4.093	0.481	10.99
	12	5.457	0.642	10.99
	15	6.821	0.802	10.99
Arcilla café oscuro	3	1.001	0.243	14.99
	6	2.002	0.486	14.99
	9	3.002	0.729	14.99
	12	4.003	0.971	14.99
	15	5.004	1.214	14.99
Arcilla café	3	3.231	0.341	4.64
	6	6.462	0.682	4.64
	9	9.693	1.023	4.64
	12	12.924	1.365	4.64
	15	16.155	1.706	4.64
Arcilla café	3	0.886	0.181	16.93
	6	1.772	0.361	16.93
	9	2.657	0.542	16.93
	12	3.543	0.722	16.93
	15	4.429	0.903	16.93
Arcilla negra	3	1.836	0.216	8.17
	6	3.672	0.432	8.17
	9	5.508	0.647	8.17
	12	7.344	0.863	12.00
	15	9.180	1.079	15.00
Arcilla café claro	3	1.838	0.446	8.16
	6	3.675	0.892	8.16
	9	5.513	1.338	8.16
	12	7.351	1.784	8.16
	15	9.189	2.230	15.00

TIPO DE SUELO	Altura	NF	$\lambda c\Phi$	H (requerida)
Arcilla negra	3	3.102	0.712	4.84
	6	6.204	1.424	4.84
	9	9.306	2.136	4.84
	12	12.408	2.848	12.00
	15	15.510	3.560	15.00
Arcilla negra	3	2.112	0.404	7.10
	6	4.223	0.807	7.10
	9	6.335	1.211	7.10
	12	8.447	1.615	12.00
	15	10.558	2.018	15.00
Arcilla negra	3	1.170	0.239	12.82
	6	2.341	0.477	12.82
	9	3.511	0.716	12.82
	12	4.681	0.954	12.82
	15	5.852	1.193	12.82
Arcilla café claro	3	2.110	0.656	7.11
	6	4.221	1.312	7.11
	9	6.331	1.968	7.11
	12	8.442	2.624	7.11
	15	10.552	3.280	15.00
Arcilla café claro	3	4.262	1.641	3.52
	6	8.525	3.281	3.52
	9	12.787	4.922	9.00
	12	17.049	6.562	12.00
	15	21.311	8.203	15.00
Arcilla café claro	3	1.255	0.304	11.96
	6	2.509	0.609	11.96
	9	3.764	0.913	11.96
	12	5.018	1.218	11.96
	15	6.273	1.522	11.96
Arcilla café oscuro	3	1.571	0.320	9.55
	6	3.143	0.641	9.55
	9	4.714	0.961	9.55
	12	6.286	1.281	9.55
	15	7.857	1.601	9.55
Arcilla café oscuro	3	1.576	0.341	9.52
	6	3.151	0.683	9.52
	9	4.727	1.024	9.52
	12	6.303	1.365	9.52
	15	7.878	1.707	9.52
Arcilla café oscuro	3	1.508	0.327	9.94
	6	3.017	0.653	9.94
	9	4.525	0.980	9.94
	12	6.034	1.307	9.94
	15	7.542	1.634	9.94
Arcilla café claro	3	4.311	1.659	3.48
	6	8.623	3.319	3.48
	9	12.934	4.978	3.48
	12	17.246	6.638	12.00
	15	21.557	8.297	15.00

GRÁFICA 1.1



Gráfica construida por Janbu.

En la siguiente tabla (tabla XII) mostraremos los resultados obtenidos por medio de la gráfica 1.1, en esta tabla los valores ya han sido corregidos por medio del empuje de tierras, para realizar una comparación con los obtenidos por medio del programa Geostudio se presenta la siguiente tabla.

TABLA XII.

TIPO DE SUELO	Altura	β (corte)	B (terraplén)
Limo café claro	3	47.50	47.50
	6	47.50	37.50
	9	47.50	16.50
	12	24.44	13.00
	15	15.52	11.00
Limo blanco	3	53.50	53.50
	6	53.50	53.50
	9	53.50	39.81
	12	45.00	32.01
	15	42.27	30.47
Limo café claro	3	53.50	53.50
	6	53.50	53.50
	9	53.50	53.50
	12	53.50	53.50
	15	53.50	53.50
Arcilla café oscuro	3	50.00	50.00
	6	50.00	50.00
	9	50.00	40.00
	12	50.00	29.00
	15	50.00	19.50
Arcilla café oscuro	3	55.00	55.00
	6	55.00	55.00
	9	55.00	55.00
	12	55.00	55.00
	15	55.00	55.00
Arcilla café	3	49.50	49.50
	6	39.81	18.43
	9	29.05	12.80
	12	24.44	11.31
	15	11.31	11.31
Arcilla café	3	53.50	53.50
	6	53.50	53.50
	9	53.50	53.50
	12	53.50	53.50
	15	53.50	53.50
Arcilla negra	3	50.00	50.00
	6	50.00	45.00
	9	50.00	24.44
	12	35.54	19.65
	15	35.54	19.65
Arcilla café claro	3	55.00	55.00
	6	55.00	55.00
	9	55.00	39.81
	12	55.00	37.57
	15	32.01	32.01
Arcilla negra	3	54.50	54.50
	6	54.50	54.50
	9	54.50	39.81
	12	51.34	30.47
	15	32.01	29.05

TIPO DE SUELO	Altura	β (corte)	B (terraplén)
Arcilla negra	3	53.00	53.00
	6	53.00	45.00
	9	53.00	45.00
	12	42.27	33.69
	15	42.27	22.62
Arcilla negra	3	53.50	53.50
	6	53.50	53.50
	9	53.50	53.50
	12	53.50	45.00
	15	53.50	39.81
Arcilla café claro	3	57.50	57.50
	6	57.50	57.50
	9	57.50	57.50
	12	57.50	45.00
	15	48.01	33.69
Arcilla café claro	3	60.00	60.00
	6	60.00	60.00
	9	59.04	37.57
	12	45.00	30.47
	15	37.57	29.05
Arcilla café claro	3	55.00	55.00
	6	55.00	55.00
	9	55.00	55.00
	12	55.00	55.00
	15	55.00	55.00
Arcilla café oscuro	3	53.50	53.50
	6	53.50	53.50
	9	53.50	45.00
	12	53.50	45.00
	15	53.50	39.81
Arcilla café oscuro	3	54.00	54.00
	6	54.00	54.00
	9	54.00	54.00
	12	54.00	45.00
	15	54.00	33.69
Arcilla café oscuro	3	54.00	54.00
	6	54.00	54.00
	9	54.00	54.00
	12	54.00	45.00
	15	54.00	35.54
Arcilla café claro	3	60.00	60.00
	6	60.00	45.00
	9	60.00	39.81
	12	45.00	29.05
	15	37.57	29.05

Ahora realizaremos la comparación de resultados con el Geostudio en la tabla XIII.

TABLA XIII.

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 Gráfica 1.1 corte (talud)	Fs = 1.5 Gráfica 1.1 terraplén (talud)	Fs = 1.5 Geostudio corte (talud)	Fs = 1.5 Geostudio terraplén (talud)
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	0.90:1.0	0.90:1.0	0.90:1.0	0.90:1.0
	3 - 6	0.90:1.0	1.33:1.0	0.90:1.0	1.82:1.0
	6 - 9	0.90:1.0	3.45:1.0	0.90:1.0	3.03:1.0
	9 - 12	2.27:1.0	4.55:1.0	0.90:1.0	3.85:1.0
	12 - 15	3.65:1.0	5.26:1.0	0.90:1.0	5.26:1.0
LIMO BLANCO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.20:1.0	0.75:1.0	1.22:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.59:1.0	0.75:1.0	1.82:1.0
	12 - 15	1.11:1.0	1.72:1.0	0.75:1.0	2.13:1.0
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	1.07:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.83:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	3 - 6	0.83:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.83:1.0	1.20:1.0	0.83:1.0	1.11:1.0
	9 - 12	0.83:1.0	1.82:1.0	0.83:1.0	2.00:1.0
	12 - 15	0.83:1.0	2.86:1.0	0.83:1.0	2.50:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	12 - 15	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.88:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	0.88:1.0	0.88:1.0	0.88:1.0	0.88:1.0
	3 - 6	1.20:1.0	3.03:1.0	0.88:1.0	2.63:1.0
	6 - 9	1.82:1.0	4.76:1.0	1.66:1.0	3.45:1.0
	9 - 12	2.27:1.0	5.26:1.0	2.63:1.0	4.55:1.0
	12 - 15	5.26:1.0	5.26:1.0	2.86:1.0	5.26:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.88:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.83:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	3 - 6	0.83:1.0	1.00:1.0	0.83:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.83:1.0	2.27:1.0	0.83:1.0	2.13:1.0
	9 - 12	1.45:1.0	2.86:1.0	0.83:1.0	2.78:1.0
	12 - 15	1.45:1.0	2.86:1.0	1.41:1.0	3.03:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	1.20:1.0	0.70:1.0	1.11:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	1.33:1.0	0.70:1.0	1.49:1.0
	12 - 15	1.59:1.0	1.59:1.0	0.74:1.0	1.85:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	1.33:1.0
	6 - 9	0.74:1.0	1.20:1.0	0.90:1.0	2.00:1.0
	9 - 12	0.80:1.0	1.72:1.0	1.22:1.0	2.27:1.0
	12 - 15	1.59:1.0	1.82:1.0	1.59:1.0	2.50:1.0

TIPO DE SUELO	ALTURA EN (m)	Fs = 1.5 Gráfica 1.1 corte (talud)	Fs = 1.5 Gráfica 1.1 terraplén (talud)	Fs = 1.5 Geostudio corte (talud)	Fs = 1.5 Geostudio terraplén (talud)
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	1.54:1.0
	9 - 12	1.11:1.0	1.54:1.0	0.83:1.0	2.04:1.0
	12 - 15	1.11:1.0	2.50:1.0	1.20:1.0	2.38:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.20:1.0	0.75:1.0	1.27:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.65:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0
	3 - 6	0.65:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0
	6 - 9	0.65:1.0	0.65:1.0	0.65:1.0	1.00:1.0
	9 - 12	0.65:1.0	1.00:1.0	0.65:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	0.90:1.0	1.54:1.0	0.74:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.58:1.0	0.58:1.0	0.58:1.0	0.58:1.0
	3 - 6	0.58:1.0	0.58:1.0	0.58:1.0	1.00:1.0
	6 - 9	0.55:1.0	1.33:1.0	0.78:1.0	1.45:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.72:1.0	1.00:1.0	1.59:1.0
	12 - 15	1.33:1.0	1.82:1.0	1.20:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	0.90:1.0
	12 - 15	0.70:1.0	0.70:1.0	0.70:1.0	1.27:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	1.00:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	1.00:1.0	0.75:1.0	1.49:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.20:1.0	0.75:1.0	1.82:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	6 - 9	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.74:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	1.45:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.54:1.0	0.74:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0
	6 - 9	0.74:1.0	0.74:1.0	0.74:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.74:1.0	1.00:1.0	0.74:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.45:1.0	0.74:1.0	1.82:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.58:1.0	0.58:1.0	0.58:1.0	0.58:1.0
	3 - 6	0.58:1.0	1.00:1.0	0.58:1.0	1.00:1.0
	6 - 9	0.58:1.0	1.22:1.0	0.78:1.0	1.45:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.82:1.0	1.07:1.0	1.59:1.0
	12 - 15	1.33:1.0	1.82:1.0	1.20:1.0	1.72:1.0

Ya realizados los cálculos podemos observar que los datos obtenidos por medio de la gráfica 1.1 los taludes son más inclinados que los taludes obtenidos por medio del Geostudio 2004, ya que la gráfica no es tan precisa, porque los datos que se puede utilizar son solo para valores de cohesión altos y ángulos de fricción bajos, es el mismo inconveniente de la gráfica 1.0, ya que hay un espacio

de (0 a 3 en la gráfica 1.1) donde en la gráfica no se puede interceptar el valor de alguna curva, por lo tanto ha estos valores se le da el valor de 90° y después son afectados por el empuje de tierras, sin embargo en el programa se pueden manejar todos los valores de cohesión ($C > 0$), por lo tanto con esto terminamos los estudios realizados para los diferentes tipos de suelos.

4 CONCLUSIONES.

Después de haber mostrado el procedimiento a seguir en los capítulos anteriores, para realizar el análisis correspondiente tanto en campo, laboratorio y por medio de análisis matemáticos, para llegar a la solución de poder mantener un talud en estado de reposo, podemos señalar lo siguiente:

4.1.- Es importante señalar la importancia que existe que cuando se vayan a realizar obras de ingeniería donde se tengan que realizar cortes o terraplenes, o las dos cosas como sucede en la construcción de una vía terrestre, es recomendable realizar las pruebas de laboratorio correspondientes a el material donde se realizara el corte o el terraplén, ya que es de gran importancia conocer las características físicas de los materiales, y después de conocidas sus características poder realizar el análisis correspondiente para poder determinar con mayor aproximación el ángulo de inclinación que se le debe de dar para que el talud se encuentre estable y con esto poder evitar los derrumbes o deslizamientos de material que con mucha frecuencia lo podemos observar en las vías terrestres construidas.

Por lo tanto, es necesario implementar el uso de pruebas de laboratorio y de los análisis matemáticos dentro de la construcción de terraplenes y cortes en las vías terrestres en México.

4.2.- Ya una vez analizados los diferentes tipos de suelos mostrados anteriormente podemos mostrar una tabla donde se dará el talud necesario para que el suelo correspondiente al realizar el corte o utilizarlo para realizar la construcción de un terraplén se mantenga en reposo, estos valores los mostramos en las siguientes tablas (tabla XIV y XV).

TABLA XIV.

TIPO DE SUELO	ALTURA (m)	Fs = 1.5 corte (talud)	Fs = 1.5 terraplén (talud)
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	0.90:1.0	0.90:1.0
	3 - 6	0.90:1.0	1.82:1.0
	6 - 9	0.90:1.0	3.03:1.0
	9 - 12	0.90:1.0	3.85:1.0
	12 - 15	0.90:1.0	5.26:1.0
LIMO BLANCO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.22:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	1.82:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	2.13:1.0
LIMO CAFÉ CLARO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.07:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.83:1.0	0.83:1.0
	3 - 6	0.83:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.83:1.0	1.11:1.0
	9 - 12	0.83:1.0	2.00:1.0
	12 - 15	0.83:1.0	2.50:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	0.70:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	0.70:1.0
	12 - 15	0.70:1.0	0.88:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	0.88:1.0	0.88:1.0
	3 - 6	0.88:1.0	2.63:1.0
	6 - 9	1.66:1.0	3.45:1.0
	9 - 12	2.63:1.0	4.55:1.0
	12 - 15	2.86:1.0	5.26:1.0
ARCILLA CAFÉ	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	0.88:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.83:1.0	0.83:1.0
	3 - 6	0.83:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.83:1.0	2.13:1.0
	9 - 12	0.83:1.0	2.78:1.0
	12 - 15	1.41:1.0	3.03:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	1.11:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	1.49:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.85:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	1.33:1.0
	6 - 9	0.90:1.0	2.00:1.0
	9 - 12	1.22:1.0	2.27:1.0
	12 - 15	1.59:1.0	2.50:1.0

TIPO DE SUELO	ALTURA (m)	Fs = 1.5 corte (talud)	Fs = 1.5 terraplén (talud)
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.83:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.54:1.0
	9 - 12	0.83:1.0	2.04:1.0
	12 - 15	1.20:1.0	2.38:1.0
ARCILLA NEGRA	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	0.75:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	0.75:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.27:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.65:1.0	0.65:1.0
	3 - 6	0.65:1.0	0.65:1.0
	6 - 9	0.65:1.0	1.00:1.0
	9 - 12	0.65:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.58:1.0	0.58:1.0
	3 - 6	0.58:1.0	1.00:1.0
	6 - 9	0.78:1.0	1.45:1.0
	9 - 12	1.00:1.0	1.59:1.0
	12 - 15	1.20:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.70:1.0	0.70:1.0
	3 - 6	0.70:1.0	0.70:1.0
	6 - 9	0.70:1.0	0.70:1.0
	9 - 12	0.70:1.0	0.90:1.0
	12 - 15	0.70:1.0	1.27:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.75:1.0	0.75:1.0
	3 - 6	0.75:1.0	0.75:1.0
	6 - 9	0.75:1.0	1.00:1.0
	9 - 12	0.75:1.0	1.49:1.0
	12 - 15	0.75:1.0	1.82:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	0.74:1.0
	6 - 9	0.74:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.74:1.0	1.45:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.66:1.0
ARCILLA CAFÉ OSCURO	0 - 3	0.74:1.0	0.74:1.0
	3 - 6	0.74:1.0	0.74:1.0
	6 - 9	0.74:1.0	0.90:1.0
	9 - 12	0.74:1.0	1.33:1.0
	12 - 15	0.74:1.0	1.82:1.0
ARCILLA CAFÉ CLARO	0 - 3	0.58:1.0	0.58:1.0
	3 - 6	0.58:1.0	1.00:1.0
	6 - 9	0.78:1.0	1.45:1.0
	9 - 12	1.07:1.0	1.59:1.0
	12 - 15	1.20:1.0	1.72:1.0

TABLA XV.

CLASIFICACIÓN	ALTURA (MTS)	Fs = 1.5 CORTE Y TERRAPLÉN (TALUD)
GW,SW	0 - 3	1.49:1.0
	3 - 6	1.49:1.0
	6 - 9	1.49:1.0
	9 - 12	1.49:1.0
	12 - 15	1.49:1.0
GW,SW	0 - 3	1.66:1.0
	3 - 6	1.66:1.0
	6 - 9	1.66:1.0
	9 - 12	1.66:1.0
	12 - 15	1.66:1.0
GW,SW	0 - 3	1.82:1.0
	3 - 6	1.82:1.0
	6 - 9	1.82:1.0
	9 - 12	1.82:1.0
	12 - 15	1.82:1.0
GW,SW	0 - 3	2.00:1.0
	3 - 6	2.00:1.0
	6 - 9	2.00:1.0
	9 - 12	2.00:1.0
	12 - 15	2.00:1.0
GP,SP	0 - 3	1.72:1.0
	3 - 6	1.72:1.0
	6 - 9	1.72:1.0
	9 - 12	1.72:1.0
	12 - 15	1.72:1.0
GP,SP	0 - 3	1.85:1.0
	3 - 6	1.85:1.0
	6 - 9	1.85:1.0
	9 - 12	1.85:1.0
	12 - 15	1.85:1.0
GP,SP	0 - 3	2.13:1.0
	3 - 6	2.13:1.0
	6 - 9	2.13:1.0
	9 - 12	2.13:1.0
	12 - 15	2.13:1.0
GP,SP	0 - 3	2.38:1.0
	3 - 6	2.38:1.0
	6 - 9	2.38:1.0
	9 - 12	2.38:1.0
	12 - 15	2.38:1.0
SM	0 - 3	2.13:1.0
	3 - 6	2.13:1.0
	6 - 9	2.13:1.0
	9 - 12	2.13:1.0
	12 - 15	2.13:1.0
SM	0 - 3	2.27:1.0
	3 - 6	2.27:1.0
	6 - 9	2.27:1.0
	9 - 12	2.27:1.0
	12 - 15	2.27:1.0

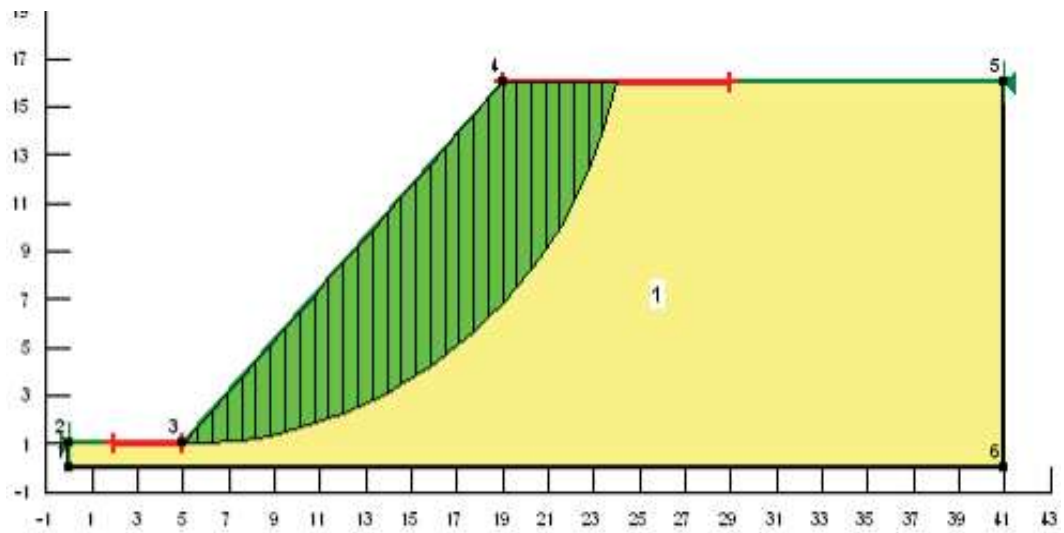
CLASIFICACIÓN	ALTURA (MTS)	Fs = 1.5 CORTE Y TERRAPLÉN (TALUD)
SM	0 - 3	2.38:1.0
	3 - 6	2.38:1.0
	6 - 9	2.38:1.0
	9 - 12	2.38:1.0
	12 - 15	2.38:1.0
SM	0 - 3	2.63:1.0
	3 - 6	2.63:1.0
	6 - 9	2.63:1.0
	9 - 12	2.63:1.0
	12 - 15	2.63:1.0

Ya una vez presentados los valores para la estabilidad del talud podemos realizar una recomendación si no se quiere utilizar el programa Geostudio, se puede utilizar alguno de los métodos matemáticos antes mencionados, o utilizar la gráfica de Janbu (gráfica 1.1).

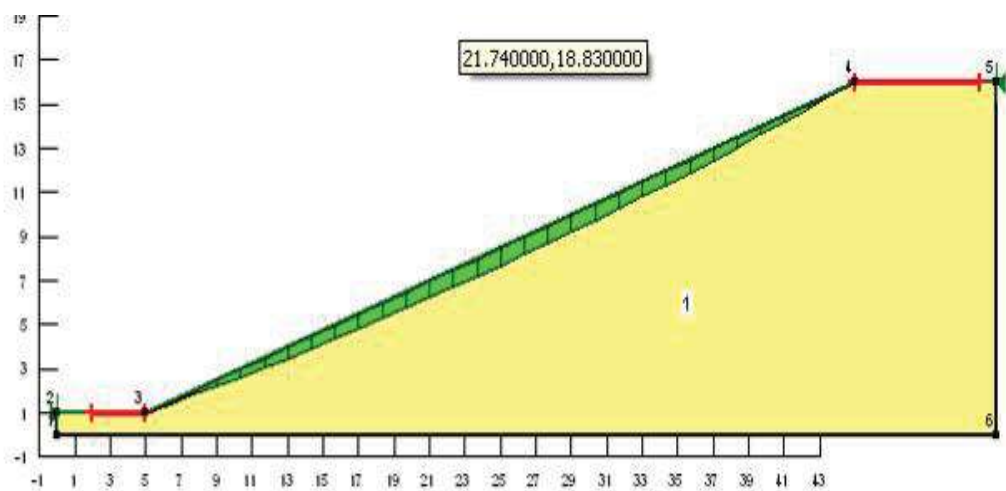
4.3.- La gráfica 1.0 (Cousins), no es recomendable utilizarla ya que no es muy precisa por que sus curvas se pueden utilizar solo en casos de que los valores de cohesión de los materiales en estudio sean muy bajos y tengan ángulos de fricción altos para poder entrar a las curvas.

4.4.- La gráfica 1.1 (Janbu), si es mas recomendable utilizarla ya que sus valores son muy parecidos a los obtenidos por medio del programa Geostudio 2004, ya que sus curvas si pueden ser interceptadas por valores de cohesión grandes y si no se alcanzan a interceptar el ángulo tiende a 90° por lo tanto los valores de ángulos mayores a 45° se tienen que afectar por medio del empuje de tierras para poder encontrar la inclinación adecuada del talud para que este permanezca en reposo.

4.5.- Es importante señalar que de todas las pruebas realizadas a los diferentes tipos de suelos en la mayoría de estos suelos (en los cohesivos y los friccionantes) se dio, que para alturas mayores a los 6 metros, la mayoría de los problemas realizados, tuvieron falla por pie de talud, como se muestran en las siguientes imágenes 1.1 y 1.2, del análisis realizado:



1.1.- Suelos Cohesivos.



1.2.- Suelos Friccionantes.

Con estas conclusiones damos por terminada esta tesis esperando sea de gran utilidad para todos aquellos que deseen consultarla y les pueda a ayudar a entender un poco mejor de cómo utilizar el programa de Geostudio 2004, para el cálculo de la estabilidad de taludes.

BIBLIOGRAFÍA.

1. - Rico y Del Castillo, 2003, “La Ingeniería de Suelos en las vías terrestres” tomo 1 y 2. (Capítulo 6. Tomo1. Y Capítulo 11, artículo XI-14. Tomo 2), Limusa, México.
2. - Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2004, “Mecánica de Suelos” tomo 2. (Capítulo IV, artículos IV-3, IV-4, IV-5, IV-10, Tomo 2), Limusa, México.
3. - J. Michael Duncan y Stephen G. Wright, 2005, “Soil Strength and Slope Stability”. (Capítulo 5 y Appendix), Ernest and Sohn – Wiley Company, E.U.A.
4. – Ulrich Smolczyk, 2003, “Geotechnical Engineering Hand Book” Tomo 2 (Capítulo Earth Works, autor Del capítulo Thomas Rumpeli), Ernest and Sohn – Wiley Company, Berlin.
5. – Donald P. Coduto, 1999, “Geotechnical Engineering Principles and Practices”, (capítulo 14), Prentice Hall, E.U.A.

ANEXO I.

Tabla VI-5
Taludes recomendados en cortes

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Granito sano y masivo.					Descopetar a 1/2:1 la parte intemperizada si la hay.
Granito sano fisurado en bloques.					Amacizar taludes según la disposición de los bloques.
Granito exfoliado, grandes bloques empacados en arena.					No se considera recomendable la construcción de berma en el cambio de talud.
Granito exfoliado, grandes bloques empacados en arcilla arenosa.					Se recomienda construir banqueta con el objeto de recibir en ella los pequeños desprendimientos que normalmente se presentan.
Granito totalmente intemperizado (tucuruquay).					Si el producto de la intemperización del granito es arena fina, limosa o arcillosa, se recomienda proyectar banqueta de 1 m para cortes hasta de 15 m y de 3 m para cortes mayores.
Dioritas.	Se recomienda tomar en cuenta las mismas observaciones que se hacen para los granitos, dependiendo del grado de intemperismo de la roca.				
Andesita fisurada, sin alteración.					Se recomienda amacizar siguiendo los planos de fisuramiento.
Andesita fracturada y poco alterada.					Se puede construir berma de 4 m al cambiar talud si la parte inferior del corte no contiene arcilla en las fracturas y éstas están cerradas.
Andesita fracturada y alterada.					Se recomienda descopetar con talud 1:1 la parte superficial más alterada. Si existe flujo de agua deberá proyectarse un subdrenaje adecuado.

Tabla VI-5
(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Riolitas sanas o fracturadas en grandes bloques, con sistemas de fracturamiento a 90° horizontal y verticalmente.					Se recomienda amacizar siguiendo los planos de fracturamiento, así como descopetar a 1:1 la parte intemperizada.
Diabasa sana poco fracturada.					Se recomienda amacizar.
Basalto fracturado, sano.					Descopetar 1/2:1 la parte superior del corte, si el fracturamiento es muy intenso. Si hay una capa intemperizada descopetar 1:1.
Basalto fracturado en bloques de todos tamaños.					Si los fragmentos están sueltos y sin suelo, o empacados en arcilla o limo suave con flujos de agua.
Basalto fracturado en bloques, de todos tamaños.					Si los fragmentos están empacados en arcilla firme sin que existan flujos de agua.
Basalto muy fracturado y en proceso muy avanzado de intemperización.					En zonas muy lluviosas se recomienda construir al pie del talud una banqueteta de 1 m para cortes hasta de 15 m y de 3.0 m para cortes mayores de 15 m.
Corrientes basálticas intercaladas con rocas piroclásticas y tezontles.		Se recomienda definir el contacto entre el basalto y las rocas piroclásticas para darle a cada uno su talud correspondiente. Las rocas piroclásticas requieren talud de 1:1 si se encuentran sueltas o de 3/4:1, si se encuentran compactos o son materiales muy gruesos.			
Tezontle masivo.					Si el tezontle es de grano fino y está suelto, se propone aplicar las mismas recomendaciones que para el resto de las piroclásticas.
Tobas, tobas brechoides, andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas o ligeramente fisuradas.					Si están intemperizadas en la parte superior del corte, se recomienda descopetar el corte a 1/2:1.
Tobas, tobas brechoides, andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas o ligeramente fisuradas.					Si existe un flujo de agua importante, se recomienda construir berma de 4 m a la mitad de la altura, impermeabilizándola.

Tabla VI-5
(Continuación)

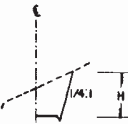
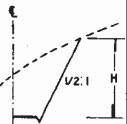
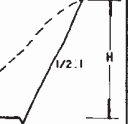
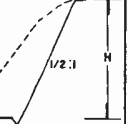
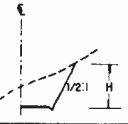
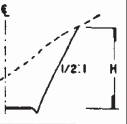
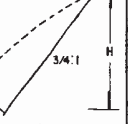
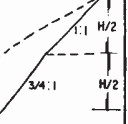
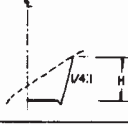
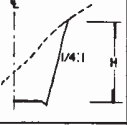
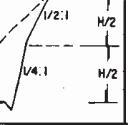
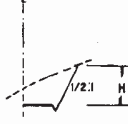
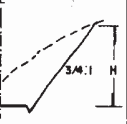
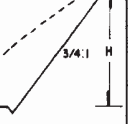
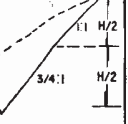
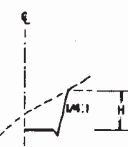
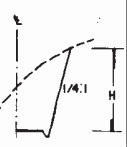
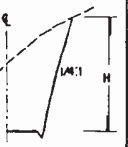
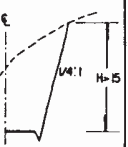
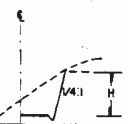
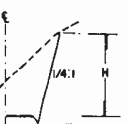
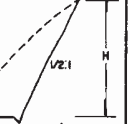
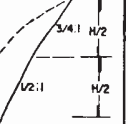
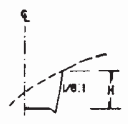
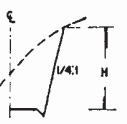
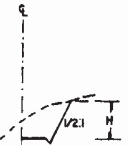
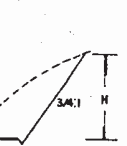
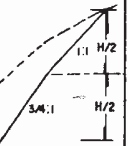
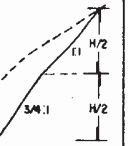
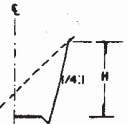
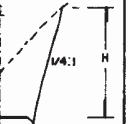
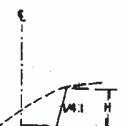
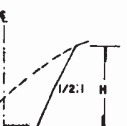
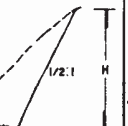
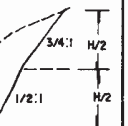
TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Tobas, tobas brechoides, riolíticas, andesíticas o basálticas poco intemperizadas.					Se recomienda descopetar a 3/4:1 la parte superior si el fracturamiento o intemperismo es intenso.
Tobas, tobas brechoides, riolíticas, basálticas o andesíticas muy intemperizadas.					Cambio de talud a la mitad de la altura en cortes mayores de 15 m.
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada.					No construir contracunetas si no son bien impermeables. Descopetar a 3/4:1 la parte superior más intemperizada.
Lutita suave de resistencia media muy fracturada.					No construir contracunetas si no son bien impermeables. Descopetar 1:1 la parte superficial más intemperizada.
Areniscas sanas fuertemente cementadas, estratificación mal definida horizontal o a favor del corte.					Descopetar 3/4:1 la parte muy intemperizada.
Arenisca poco cementada, muy alterada con flujos de agua.					Descopetar 1:1 la parte superficial muy intemperizada.
Conglomerado brechoide bien cementado con matriz silicosa o calcárea.					Se recomienda amacizar eliminando todos los fragmentos sueltos.
Conglomerado pobremente cementado con matriz arcillosa.					Si la matriz arcillosa se encuentra saturada o sometida a fuertes cambios de humedad, se recomienda para cortes mayores de 10 m construir banquetas de 1 m y bermas de 4 m a la mitad de la altura.
Caliza fracturada con echado casi a favor del corte con estratificación gruesa o mal definida.					Se recomienda descopetar 1:1 la parte superior alterada o muy fracturada.
Calizas sanas con estratificación fina horizontal o a favor del corte.					Descopetar 1:1.

Tabla VI-5
(Continuación)

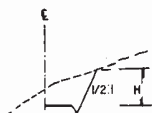
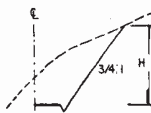
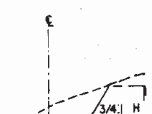
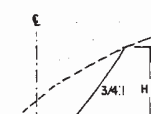
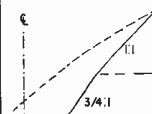
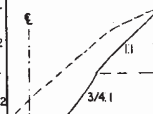
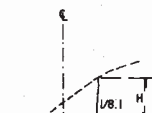
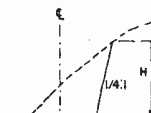
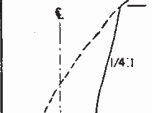
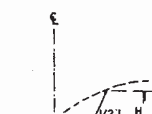
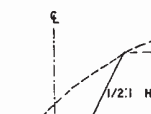
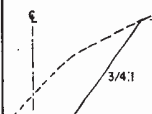
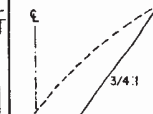
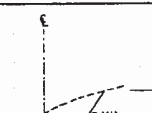
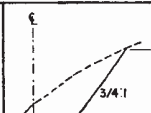
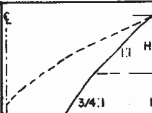
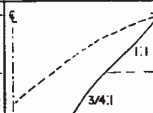
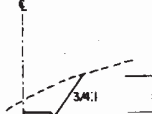
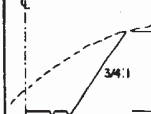
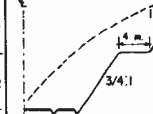
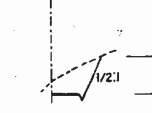
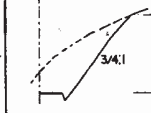
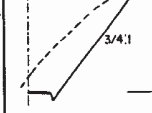
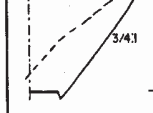
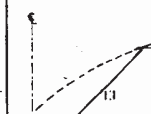
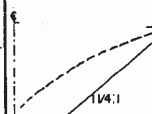
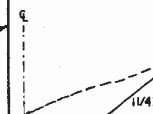
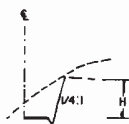
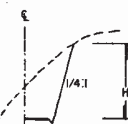
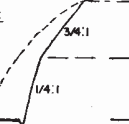
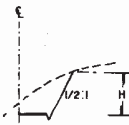
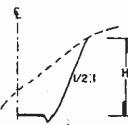
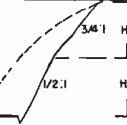
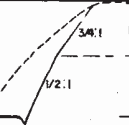
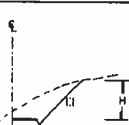
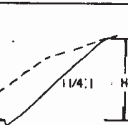
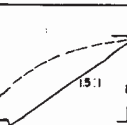
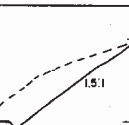
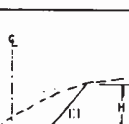
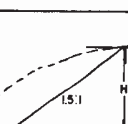
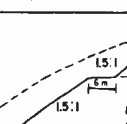
TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Caliza intemperizada con flujo de agua.					Proyectar subdrenaje contracunetas impermeables.
Caliza sana con echado contra el corte entre 90° y 45°, con lubricante arcilloso entre estratos.	Dar el talud correspondiente al echado. Si la roca está muy fracturada, proyectar berma impermeabilizada de 4 m a la mitad de la altura. Contracunetas impermeables.				
Caliza muy fracturada e intemperizada.					Contracuneta impermeable.
Caliza sana poco fracturada con echado contra el corte entre 30° y 45°.					Se puede considerar como si el echado fuera horizontal.
Caliza muy poco intemperizada y fracturada, con echado entre 45° y 30° contra el corte.					Descopetar la zona más fracturada a 1:1. Contracuneta impermeabilizada.
Pizarras	Mismas recomendaciones que para calizas.				
Aglomerado medianamente compacto con finos no plásticos.					Contracuneta impermeabilizada, para cortes mayores de 10 m proyectar banqueta de 1.0 m en el pie del talud.
Aglomerado medianamente compacto con finos plásticos.					Contracunetas impermeabilizadas. Para corte mayor de 10 m proyectar berma de 2 m a la mitad de la altura y para corte mayor de 15 m aumentar el ancho a 4 m.
Arenas limosas y limos compactos.					Descopetar 1:1 la parte superior más intemperizada, si son materiales fácilmente erosionables deberá proyectarse talud de 1:1 y proteger con pasto.
Arenas limosas y limos poco compactos.					Contracuneta impermeable. Descopetar a 1:1 a la parte más intemperizada. Para cortes mayores de 15 m proyectar banqueta de 3 m al pie del talud.

Tabla VI-5
(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Arenas limosas y limos muy compactos (tepetate).					Descopetar la parte superior suelta.
Arcillas poco arenosas firmes (homogéneas).					Descopetar 1:1 la parte intemperizada. Si existe flujo de agua proyectar subdrenaje.
Arcillas muy suaves expansivas y compresibles.					*Para cortes mayores de 15 m proyectar berma a la mitad de la altura bien drenada.
Caolín producto de la intemperización de granitos o dioritas.					Cubrir con pasto el talud para cortes mayores de 8 m proyectar berma de 6 m bien drenada. (altura máxima 16 m)
Arenas limpias poco o nada compactas.	Su ángulo de fricción interna con banqueta de 1.00 m en la base.				Cubrir los taludes con pasto.
*La construcción de la berma requerirá de una contrapendiente con objeto de drenar el agua por medio de cunetas que deberán ser impermeables, pues si no lo son se podría tener una filtración que pondría en peligro la parte inferior del corte al establecerse una superficie de falla ocasionada por la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del material por efecto de la filtración.					