

2ej 61



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

Introducción al Análisis Numérico de la Estabilidad de Taludes

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a n :
JORGE GARCIA JURADO REBORA
SERGIO NIETO ARREDONDO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
MONTEVIDEO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-220

A los Pasantes señores JORGE GARCIA JURADO REBORA y
SERGIO NIETO ARREDONDO,
P r e s e n t e s .

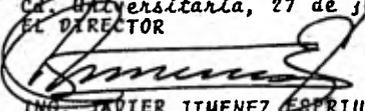
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a
ustedes a continuación el tema que aprobado por esta Dirección
propuso el Profesor Ing. Agustín Deméneghi Collina, para que lo
desarrollen como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero -
CIVIL.

"INTRODUCCION AL ANALISIS NUMERICO DE LA ESTABILIDAD
DE TALUDES"

- I. Taludes: Definición, usos.
- II. Factores que influyen en la estabilidad de taludes.
- III. Análisis de la estabilidad de taludes.
- IV. Método numérico y programa de computadora.
- V. Aplicaciones.
- VI. Conclusiones.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumpli-
miento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán
prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses
como requisito indispensable para sustentar Examen Profesio-
nal; así como de la disposición de la Dirección General de Ser-
vicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visi-
ble de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo reali-
zado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ca. Universitaria, 27 de junio de 1980
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU


SERGIO NIETO ARREDONDO

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION	1
I- TALUDES: DEFINICION, USOS.	5
II- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES.	11
1.- Causas de deslizamientos.	11
2.- Otros aspectos de importancia.	20
3.- Medidas preventivas.	24
III- ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES.	27
IV- PROGRAMA DE COMPUTADORA.	57
1.- Introduccion.	57
2.- Explicacion del programa.	58
3.- Subrutinas.	63
4.- Datos.	66
5.- Limitaciones.	69
6.- Codificacion.	70
7.- Reduccion.	80
V- APLICACIONES.	90
VI- CONCLUSIONES.	253

INTRODUCCION

Hoy en día, los avances tecnológicos se aceleran, y conforme el tiempo pasa, esta situación se incrementa. Es insoslayable de igual modo, que la ciencia, al igual que todas las especialidades técnicas, debe ir a la par con este proceso de desarrollo. Una señal inequívoca de este tan marcado progreso de la tecnología moderna es la aparición de las máquinas computadoras, las cuales han aumentado su capacidad de operación de manera vertiginosa en los últimos años.

Se presentan en la actualidad problemas que dejan de ofrecer -- misterios y enigmas al hombre que busca su solución. Se establecen bases teóricas de resolución extraordinariamente exactas, pero por la misma exactitud, se vuelve prácticamente imposible el efectuar este proceso de solución, ya sea por la cantidad de pasos a seguir, o porque el proceso involucra secuencias iterativas que difícilmente pueden ser ejecutadas por medios manuales sin que dejen de ser prácticas. El investigador ya no se puede dar el lujo de perder un tiempo valiosísimo resolviendo -- este tipo de problemas manualmente; este tiempo puede ser empleado en otros asuntos que en un momento dado generen mayor -- productividad que el estar llenando decenas de hojas de papel con infinidad de operaciones aritméticas que lleven a un solo -- resultado concreto.

Una gran parte de los problemas que se encuentran dentro de este planteamiento son tratados, y muchas veces resueltos por una tecnología que ha cumplido con un desarrollo integral verdaderamente asombroso: La Ingeniería. La Ingeniería de ninguna mane-

ra es una ciencia, es una técnica que se basa en las ciencias puras (Matemáticas y Física), y se encarga de su correcta aplicación a la solución de problemas reales. La Ingeniería ha estado, está y estará siempre presente en el avance de todas las civilizaciones.

El reformar los recursos naturales y aprovecharlos de tal manera que satisfagan las necesidades humanas ha sido siempre la labor del ingeniero. La Ingeniería, en cualquiera de sus ramas y en cada una de sus especialidades, está ligada estrechamente a sucesos físicos, palpables, inseparables de una realidad tangible, la cual no puede ni debe ser deformada por soluciones exclusivamente teóricas, ya que estas, si bien son exactas, llegan, en algunas ocasiones a emitir resultados que se alejan notablemente de la situación real. El ingeniero debe estar consciente de esto y aplicar su criterio de manera que sepa cuándo está fuera del contexto real de su problema.

A raíz de la aparición de las computadoras se han ido creando una serie de métodos numéricos que simplifican en gran medida el tiempo y la dificultad de solución de los problemas. Aunque si bien es cierto que los resultados obtenidos por medio de estos métodos no son rigurosamente exactos, sí cumplen con su objetivo de apegarse estrechamente a la realidad física del problema.

Más que otras técnicas, la Ingeniería y en nuestro caso, la Ingeniería Civil emplea los métodos numéricos para resolver las cuestiones que se presentan. La aplicación de estos métodos significa un ahorro muy útil de tiempo y un ahorro aún más marcado en el esfuerzo del ingeniero que los emplea. Se puede

afirmar que en todas las especialidades de la Ingeniería Civil el empleo de la computadora se vuelve necesario tendiendo a ser indispensable. Muchos sistemas de soluciones que se tenían en el olvido por su dificultad de aplicación están resurgiendo gracias al tremendo auge de los métodos numéricos.

Sin ir más lejos, la Mecánica de Suelos, importante rama de la Ingeniería Civil, contiene sistemas de solución un tanto problemáticos dado que requieren de cálculos repetitivos, largos y tediosos para poder abordar a un resultado final, lo cual se puede evitar haciendo uso de los métodos numéricos. Tal es el caso de la llamada "Estabilidad de Taludes" cuyo análisis y soluciones a problemas específicos nos llevan a emplear, en uno de los métodos de solución, los tanteos que pueden ser fácilmente ejecutados por una computadora.

La Estabilidad de Taludes es un tema oscuro hasta cierto punto aún en nuestros días. Su análisis es importante dada la extensa aplicación que tienen los taludes en diferentes obras de Ingeniería Civil.

El objeto de esta tesis es facilitar el análisis de la estabilidad de taludes que cumplan con ciertos requisitos, los cuales se detallarán posteriormente, mediante la creación de un programa de computadora que simplifique los cálculos de dicho análisis.

Ahora bien, el uso de los métodos numéricos no tiene ningún significado si no se sigue una secuencia lógica de aplicación, lo

cual se incrementa aún más si no se parte de una base teórica -- real y verdadera. No tendría caso el tratar de resolver un problema mediante programas de computadora sin antes saber el origen de dicho problema y la teoría que se empleará para solucionarlo. Aquí se presenta un aspecto de gran importancia en la solución de problemas: así como la teoría es fundamental al atacar un problema, no se debe pasar por alto la experiencia que se tenga en el tratamiento de problemas similares a aquel en cuestión. Muchas veces es muy necesaria la ayuda de la experiencia, por que así se pueden calibrar los resultados obtenidos de la teoría y de la práctica y extender un criterio acerca de la veracidad de dichos resultados.

Así pues hemos querido conjugar todos estos aspectos con lo cual este trabajo está estructurado de la siguiente manera: Un primer capítulo definitorio de los taludes y el cual contiene someramente su aplicación en obras de Ingeniería. Un segundo capítulo en el cual se mezclan las partes real y empírica del planteamiento del problema, es decir, observaciones en taludes reales que han llevado a prever su posible comportamiento. El tercer capítulo encierra la parte teórica al elaborar un modelo matemático para el planteamiento hipotético del problema. La elaboración del método numérico se presenta en el cuarto capítulo, cuyas aplicaciones se exponen en el quinto, para desembocar en el capítulo sexto y último con las conclusiones básicas del texto entero.

Esperamos que esta tesis cumpla con el objetivo de ayudar a investigaciones posteriores y facilite la obtención de resultados a los problemas que se presenten relacionados con la Estabilidad de Taludes.

CAPITULO I
TALUDES: DEFINICION, USOS

El suelo, desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, presenta aspectos altamente interesantes; es, en cierta medida, un gran enigma del cual el ingeniero civil no puede sustraerse, sino, por el contrario, debe tratar de esclarecer.

A través del tiempo, y prácticamente desde que existen -- las obras de ingeniería se han venido haciendo un gran número de investigaciones acerca del suelo, pero aún así poco se sabe de él con certeza.

De entre todos estos estudios e investigaciones es menester destacar los trabajos realizados por grandes investigadores, como lo son en primer término el Dr. Karl Terzaghi, quien en la primera mitad de este siglo, dió las bases para establecer la Mecánica de Suelos moderna. A sus estudios siguieron los de Fellenius, Taylor, Casagrande, Skempton, Janbú y muchos otros, todos ellos especialistas de gran capacidad que han llevado a la mecánica de suelos por un camino claro y definidor de conceptos hasta esos tiempos nebulosos. Pero aún falta mucho por hacer. El suelo presenta cada vez nuevos y atractivos campos de análisis que el ingeniero busca resolver, no sin antes toparse con un sinnúmero de dificultades en el entendimiento de los fenómenos que se suceden.

Uno de los aspectos de mayor interés e importancia que -- nos muestra el suelo, es el de los taludes y su estabilidad. Este es un tema en el que mucho se ha trabajado y -- en el que no pocos investigadores han centrado su aten--

ción; sin embargo no todo se ha podido conseguir en la resolución de problemas relacionados con la estabilidad de los taludes. Pero comencemos por definir qué es un talud. La palabra talud, del latín "Talutus", significa, según el diccionario de uso corriente, una inclinación o declive hecho en un paramento o terreno; esta definición es bastante somera si tomamos en cuenta la amplitud del tema de los taludes. Para fines de ingeniería podemos definir a un talud como toda aquella superficie ya sea vertical o inclinada respecto a la horizontal existente en una estructura de tierra ya sea naturalmente o bien hecha mediante la intervención de la mano del hombre, de aquí que los taludes se pueden dividir en naturales y artificiales. La figura I-1 muestra a un talud, en forma esquemática, tal y como se concibe en la ingeniería civil.

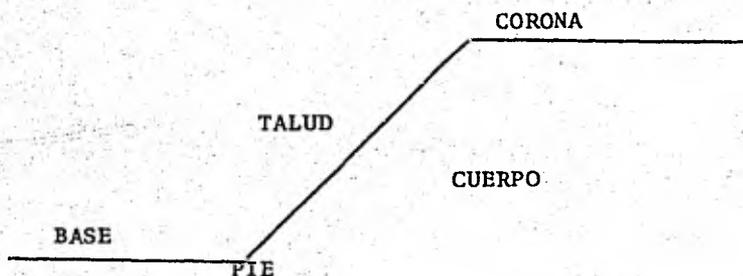


Figura I-1. Nomenclatura de un talud.

El hombre, hasta hace relativamente poco tiempo, habia estado al margen de cualquier estudio o análisis acerca de los taludes, pero a raíz del desarrollo de los ferrocarriles, las carreteras, las presas y los canales, todas ellas obras que implican el uso de cortes y terraplenes, los ingenieros de suelos se han ido adentrando en todo lo que respecta a la estabilidad de los taludes, la cual ha presentado diversos problemas por ser un aspecto de difícil comprensión y análisis. Muchos investigadores se han preocupado por incrementar el estudio de la estabilidad de los taludes y ciertamente se ha logrado mucho, al grado de que podríamos decir que el estudio de los taludes se ha desarrollado en los últimos años junto con otros campos de la mecánica de suelos.

Las aplicaciones de los taludes a las obras de ingeniería civil son vastas; podríamos mencionar un buen número de ellas, pero baste resumirlas en 5 conceptos genéricos: -- cortes (en la construcción de vías férreas y carreteras), excavaciones (en cimentaciones), cortinas de tierra --- (en presas y diques), terraplenes (en carreteras y --- aeropistas, también en vías férreas) y canales (en la construcción de sistemas de riego); derivándose de aquí las subsecuentes aplicaciones particulares de los taludes.

Todas las mencionadas anteriormente, con excepción -- de las cimentaciones las cuales pueden o no ser obras grandes, son obras de ingeniería que implican un --- gran volumen y por lo tanto que requieren de una -- solvencia económica bastante grande, es decir, son -- obras costosas en las que la falla de un talud --

puede ocasionar grandes pérdidas, tanto económicas y humanas, así como pérdida de tiempo y una abierta posibilidad a otras fallas similares. Para evitar este tipo de accidentes - los cuales sobrevienen a causa de un análisis deficiente del talud - se requiere de un estudio a conciencia de las condiciones del terreno, de las propiedades -- del suelo, y que todo este estudio nos lleve a la seguridad de un talud estable a lo largo de la vida útil de la obra y por qué no, aún después.

Pasemos ahora a explicar lo que es la falla de un talud, también conocida como deslizamiento.

Se define el término " deslizamiento " o " falla de talud" como un desplazamiento rápido y brusco en dirección descendente del material que compone el talud; las causas de este fenómeno se analizarán en el siguiente capítulo. No hay que confundir el término " deslizamiento " con el de " creep " ya que ambos tienen un significado muy similar--salvo algunas diferencias: el deslizamiento suele ser un movimiento que surge en un período corto de tiempo, es decir es un movimiento rápido, brusco e inmediato, con velocidades que parten de cero (del reposo), alcanzan un valor máximo, y luego disminuyen en forma relativamente rápida hasta que el talud vuelve a su condición de reposo; el creep es un movimiento de partículas de suelo mas o menos constante y cuyas velocidades se encuentran muy por debajo de aquellas de los deslizamientos.

De un análisis mas profundo se deduce que el deslizamiento ocurre cuando en la masa de suelo que compone al talud

se han presentado las condiciones de esfuerzos de falla. - Esto sucede en una porción relativamente pequeña de material con fronteras bien definidas.

Otra diferenciación muy interesante entre lo que es deslizamiento y lo que es creep se observa si tomamos un bloque heterogéneo, es decir, formado por diferentes materiales, - unos débiles y otros fuertes, y se carga. Si la carga es pesada y repentina, se produce en el bloque una falla brusca por separación a lo largo de una o mas superficies de ruptura las cuales se cortan al través de las fronteras de las partes fuertes y débiles del bloque; este será un deslizamiento. Si la carga que se aplique es instantánea pero pequeña, las deformaciones en el bloque son imperceptibles, pero si se mantiene la carga por períodos de tiempo muy grandes (pueden ser años), el bloque sufre deformaciones fuertes e importantes. De aquí que si un sistema compuesto por estratos con propiedades elásticas muy diferentes es sometido por largo tiempo a esfuerzos cortantes mas pequeños que la resistencia al corte promedio del sistema, serán los miembros más rígidos los que se comporten como sólidos y los demás ocasionarán que el sistema se deforme como un líquido muy viscoso; este fenómeno corresponde a un creep. A medida que la intensidad del esfuerzo aplicado al sistema vaya aumentando, aumentará el porcentaje de elementos componentes del sistema que actúen como sólidos. Así, si los esfuerzos son rápidamente incrementados al punto de falla, todo el sistema se comportará como sólido y se podrá producir un deslizamiento.

De todo esto podemos deducir, conociendo las manifestaciones del creep, que este no es mas que una réplica superficial y a pequeña escala de un deslizamiento producido por fuerzas tectónicas a ciertas profundidades. Ambos procesos se presentan continuamente en áreas vastas y el mecanismo de los dos es en esencia el mismo con la salvedad de que las fuerzas que se manejan son diferentes en cada caso. Así, de vez en cuando y en puntos geográficos grandemente separados, la intensidad de los esfuerzos cortantes en una zona del creep viene a ser igual a la resistencia al corte del material; o bien, esta resistencia decrece por alguna causa hasta llegar a ser igual a los esfuerzos de corte actuantes, de esta manera el talud falla por deslizamiento.

Como ya se vió anteriormente, los deslizamientos tienen como característica la de ser movimientos deslizantes a lo largo de superficies bien definidas las cuales cortan las fronteras entre estratos de diferente resistencia. Más a pesar de todas estas diferencias, no se puede delinear una frontera brusca y definitiva entre estos dos movimientos de un talud. Ningún talud formado sobre suelo residual, arcilla sedimentaria o material poco consolidado puede presentar una falla de deslizamiento después de un creep ni tampoco un deslizamiento puede sobrellevar a un creep.

En el siguiente capítulo se verán los cómo y los porqués de los deslizamientos.

CAPITULO II

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES

II.1 CAUSAS DE DESLIZAMIENTOS

Las causas de los deslizamientos de tierras pueden ser internas o externas. Entre las externas podemos mencionar el aumento de la inclinación de un talud debido a erosión fluvial o excavaciones realizadas por el hombre, movimientos tectónicos, acumulación de material sobre la parte superior del talud, etc. Todas estas situaciones traen como consecuencia el aumento del esfuerzo cortante en la superficie potencial de deslizamiento, permaneciendo cons--tante la resistencia al corte del material del talud. En los casos en que un talud falla sin haberse presentado -- una causa externa, es decir, sin haberse operado un cam--bio en los esfuerzos cortantes actuantes podemos concluir que la resistencia al corte del material disminuyó y estaremos hablando entonces de una falla por causas internas. Las más comunes son el aumento en la presión de poro, un--decremento progresivo de la cohesión del material, etc. - Una tercera categoría ubicada entre las dos anteriores la constituyen los deslizamientos por arrastrarse rápido, licuación espontánea y erosión sub-superficial. Cualquiera que sea la causa, el deslizamiento ocurre cuando el esfuerzo cortante actuante iguala a la resistencia al corte promedio del suelo en la superficie potencial de falla, la - cual se define como aquella superficie debajo del talud - para la cual la relación cortante promedio / resistencia--promedio es máxima. Esta superficie se asemeja a una cicloide en terrenos homogéneos pero para fines prácticos - se supone como un círculo.

Dentro de la clasificación de causas externas, la más im-

portante, y por esta razón única que analizaremos, es la de sismo. Los sismos son considerados dentro de esta clasificación ya que incrementan los esfuerzos cortantes, mientras que la resistencia del suelo permanece inalterada.

La figura II-1 muestra el modelo utilizado para evaluar los efectos de un sismo en un talud.

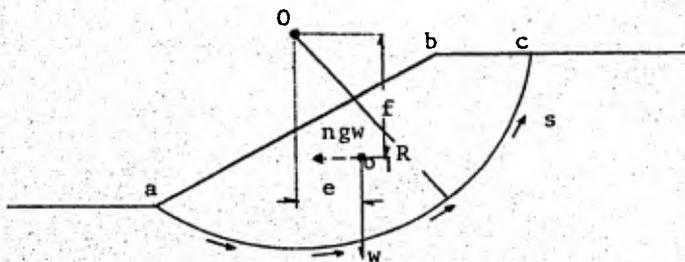


Fig. II-1

- w = Peso del agua y de sólidos sobre la superficie de deslizamiento, por unidad de longitud.
- l = Longitud del arco \widehat{ac}
- s = Resistencia promedio al corte por unidad de área de la superficie de deslizamiento.
- g = Aceleración debida a la gravedad.
- ngw = Relación entre la máxima aceleración horizontal a causa del sismo y g.
- o_1 = Centro de gravedad del cuerpo abc.

Previo al temblor, el factor de seguridad definido como, G_s , es:

$$G_s = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}} = \frac{s_1 R}{ew} \text{---(Ecuación II-1)}$$

Un temblor produce una aceleración horizontal ng , que aplicada a la masa W y a una distancia f del centro O produce un momento igual a $ngfw$ resultando un factor de seguridad G_s menor que G_s

$$G_s = \frac{s_1 R}{ew + ngfw} \text{--- (ecuación II-2)}$$

El valor de ng varía entre 0.1 y 0.5, este último para -- temblores catastróficos. En teoría el valor de $G_s=1$ implicaría necesariamente un deslizamiento, sin embargo un talud puede fallar siendo G_s mayor o menor a la unidad -- dependiendo del tipo de material de que se trate.

Los taludes en presas de tierra formadas de arena se podrán deformar ligeramente, pero si descansan sobre una base áspera y firme difícilmente fallarán. En los casos en que una masa de material estable, como arena densa, descansan sobre una base resbaladiza, como una capa de arcilla suave, la falla del talud puede ocurrir cuando el material deslice sobre su base. En el caso de agregados -- granulares ligeramente cementados, como arena suelta su mergida y loess, parece ser que el movimiento vibratorio que causa un sismo. de unas partículas con respecto a -- otras, puede romper la unión entre granos, convirtiendo al material en una arena sin cohesión con lo cual el material prácticamente fluye. En el caso particular de arena

sumergida, se ha observado que durante el sismo, asume el carácter de una suspensión o líquido viscoso.

Dentro de las causas internas de fallas de taludes se pueden mencionar:

a) Efectos lubricantes del agua.

Es común que se adjudique a la acción lubricante del agua la falla de un talud ocurrida durante una tormenta bajo condiciones externas de estabilidad no alteradas, pero antes de aseverar esto, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- 1° El coeficiente de fricción estática entre superficies pulidas y secas de cuarzo es de 0.17 a 0.20 contra 0.36 y 0.40 cuando están húmedas, esto es, en este caso el agua actúa como un anti-lubricante.
- 2° Se requiere solo una película muy fina de lubricante para lograr un efecto completo de lubricación, y el coeficiente de fricción estático no sufre modificación alguna con cantidades adicionales de lubricante.

En otras palabras, una tormenta no provoca un deslizamiento al lubricar el suelo en un talud que, como es el caso de la mayoría, ya tiene en forma permanente la cantidad de agua necesaria para la lubricación intergranular.

Ahora bien, el agua de lluvia afecta al talud de otras for

mas, como al eliminar la superficie de tensión, la cual da a los suelos finos no cohesivos una considerable cohesión aparente. Aunque efectivamente el agua que entra en los huecos del suelo aumenta el peso volumétrico de este, es un incremento comúnmente despreciable. En el caso del loess que debe su cohesión a ataduras solubles, al saturarse este suelo la unión es deshecha y la cohesión se pierde.

b). Aumento de la superficie piezométrica.

Sean:

p = Presión en un punto "p" de una superficie potencial de deslizamiento debida a los sólidos y agua localizados sobre la superficie.

h = Altura piezométrica en el punto "p"

w = Peso volumétrico del agua.

ϕ = Angulo de fricción interna para la superficie de deslizamiento.

La resistencia al cortante S en un punto "p", y si la superficie de deslizamiento está en un estrato de arena o aluvión, es:

$$S = (p-hw) \tan \phi \text{ ----- (Ecuación II-3)}$$

Con lo que se deduce que si aumenta h disminuye S : Si el material tiene cohesión, la resistencia al cortante es:

$$S = c + (p - hw) \tan \phi \text{ -----(Ecuación II-4)}$$

Cada tormenta causa un incremento en el valor de h y, como ya se dijo, una disminución en la resistencia al cortante S . Por tanto, el factor de seguridad GS (Ecuación II-1) de un talud está sujeto a variaciones cíclicas, y es por esta razón por la que podemos decir que es más probable que un talud antiguo falle por un decremento gradual de la cohesión del material que lo forma que por la exposición a una condición externa desfavorable, ya que esta seguramente se habría presentado con antelación. A esta categoría pertenece el colapso del "Pulverhörndl", una torre caliza aislada en los Alpes del norte que descansaba sobre una base de lutita. En 1920 la torre se colapsó repentinamente; los fragmentos golpearon la lutita la cual asumió el carácter de lodazal y así más de 7 millones de M3 de lutita avanzaron sobre una pendiente suave hacia un valle. La causa más verosímil de este hecho fue la cedencia gradual de la base de la torre y no alguna circunstancia externa en ese momento.

Además de esta pérdida gradual de cohesión causada por una deformación plástica lenta de la base de los taludes, el decremento de la cohesión producido por la acción directa de agentes debilitadores del suelo debajo del talud son causa importante en las fallas de taludes. En

arcilla dura fisurada, los esfuerzos relajantes provocados por una excavación, da lugar a que las juntas se abran y el agua de lluvia las invada, con lo que la resistencia al corte de la arcilla pasa de 100 a 180 kg/m² hasta 30 kg/m² o menos. Cabe mencionar que aún fuera de la época de lluvias ocurren deslizamientos de este tipo debido a la baja permeabilidad aún en arcillas compactas lo que da lugar a que las juntas estén permanentemente llenas de agua.

c) Descenso rápido del nivel de agua.

Son comunes los deslizamientos de tierra debidos al descenso rápido del nivel de agua. Sujetos a este tipo de situaciones están los taludes que forman las orillas de un depósito de agua o de un río. Si el nivel de agua adyacente al talud baja lentamente, el nivel en el talud desciende horizontalmente al mismo tiempo que el circundante; en cambio si el descenso es rápido, la superficie piezométrica se retrasa con respecto a la bajada del nivel de agua libre. Suponiendo que todos los vacíos del suelo estén llenos de agua, (lo cual no sucedería en arena gruesa o grava sin material fino), podemos hacer el siguiente análisis.

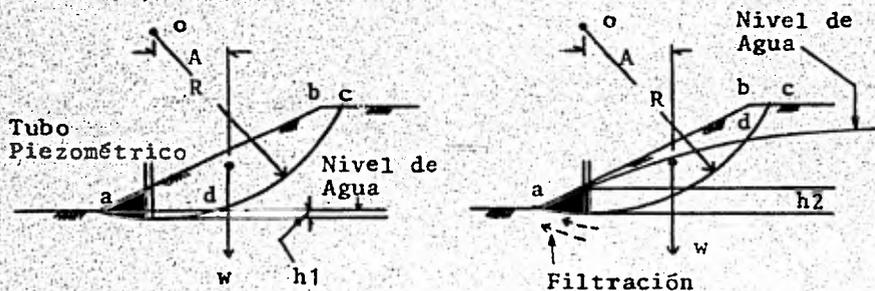


Figura II-2

Sean:

w = Peso de abc, sólidos y agua, por unidad de longitud.

l = Longitud del arco \widehat{ac}

c = Cohesión del material

ϕ = Angulo de fricción interna del suelo

p = Promedio de la presión unitaria debida a w en la superficie ac

h = Lectura piezométrica para cualquier punto en la superficie potencial de deslizamiento.

h1 = Promedio de las lecturas h después de un descenso lento del nivel de agua.

h2 = Promedio de las lecturas h después de un descenso rápido del nivel de agua.

Para el caso del descenso lento del nivel, el factor de seguridad del talud es:

$$G_s = \frac{Rl (c + (p - h_1 w) \tan \phi)}{Aw} \quad \text{-- (Ecuación II-5)}$$

Y para el caso del descenso rápido:

$$G'_s = \frac{Rl (c + (p - h_2 w) \tan \phi)}{Aw} \quad \text{-- (Ecuación II-6)}$$

De la figura se puede observar que $h_1 \lll h_2$, por lo que -- $G'_s \lll G_s$. Es por esto que un talud puede fallar después de un descenso rápido aún cuando haya sobrevivido a varios descensos lentos del nivel de agua. En general, se ha visto que los sedimentos que se ven más seriamente --- afectados por un descenso rápido del nivel de agua son -- los intermedios entre arena y arcilla. En los casos de -- descenso rápido de agua se presenta filtración hacia zonas adyacentes al pie del talud y , a causa de su viscosi

dad, el agua filtrada produce una presión conocida como - fuerza de filtración, la que actúa en dirección del flujo y cuya intensidad es directamente proporcional a la velocidad de filtración. En el pie del talud esta filtración es mayor que en zonas más altas, y como la presión tiende a mover las partículas, es en el pie del talud en donde - se alcanza primero el punto de falla.

d) Filtraciones de fuentes artificiales de agua.

Al hablar de fuente artificial de agua nos referimos a -- fuentes de origen reciente, ya que de otra forma el talud hubiese fallado tiempo atrás. Los depósitos de almacenaje o canales no revestidos pueden originar filtraciones - que incrementen el término hw en las ecuaciones (II-3) y (II-4), remover materiales cementantes disminuyendo así - la cohesión, producir erosión subterránea, etc.

En arena húmeda, fina y limosa, la fricción producida por la tensión superficial proporciona la cohesión requerida para formar taludes verticales estables, los que re--- quieren de una extensa área de contacto entre aire y suelo húmedo.

La experiencia ha mostrado que en este tipo de suelo el - agua de una tormenta no logra desalojar todo el aire, lo que sí puede suceder con una filtración de alguna fuente artificial, con lo que la cohesión aparente es eliminada.

Cuando la cohesión de un material se debe a uniones solu-

bles, como en el caso de los loess, el agua filtrada puede eliminar las uniones por solución; estas uniones consisten principalmente de carbonato de calcio. Existen cavernas en loess cuyos techos han sido estables por mucho tiempo y esto es posible solo gracias a que el nivel de agua se localiza permanentemente debajo de ellas, con lo que se demuestra que el agua filtrada durante las tormentas no logra debilitar la liga entre partículas. Cuando al loess se le somete a un flujo continuo de agua, al cabo de unos meses desaparece la liga y el material fluye. El resultado final, después de que el excedente de agua se ha drenado, es una arena muy fina y suelta. La filtración proveniente de una reserva de agua puede causar la falla de un talud mediante la erosión interna; la longitud de las venas de agua se incrementa, así como la cantidad de agua y la sección transversal. El ancho del conducto llega a ser tal, que su techo se desploma acarreado consigo el deslizamiento de todo el talud.

c) Repaso del proceso productor de los deslizamientos.

La tabla II-1 pretende ser un resumen de las posibles causas de la falla de un talud, al igual que una guía en la investigación de los deslizamientos de tierra.

II-2 OTROS ASPECTOS DE INTERES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES.

a) Licuación espontánea.

A	B	C TABLA II-I		D	E	F
NOMBRE DEL AGENTE	EVENTO O PROCESO QUE LLEVA AL AGENTE A LA ACCION	MODO DE ACCION DEL AGENTE	MATERIALES DE TALUDES MAS SENSIBLES A LA ACCION	NATURALEZA FISICA DE LAS ACCIONES SIGNIFICATIVAS	EFFECTOS SOBRE LA CONDICION DE EQUILIBRIO DEL TALUD	
AGENTE TRANSPORTADOR	OPERACIONES DE CONSTRUCCION O EROSION	1 INCREMENTA LA ALTURA O INCLINACION DEL TALUD	TODOS LOS MATERIALES	CAMBIA EL ESTADO DE ESFUERZOS EN EL MATERIAL QUE FORMA EL TALUD	INCREMENTA LOS ESFUERZOS CORTANTES	
			ARCILLA DURA Y FISURADA LUTITA	CAMBIA EL ESTADO DE ESFUERZOS Y PROVOCA LA ABERTURA DE LAS JUNTAS	INCREMENTA LOS ESFUERZOS CORTANTES E INICIA EL PROCESO N° 8	
ESFUERZOS TECTONICOS	MOVIMIENTOS TECTONICOS	2 DEFORMACIONES A GRAN ESCALA DE LA CORTEZA TERRESTRE	TODOS LOS MATERIALES	INCREMENTA EL ANGULO DEL TALUD	INCREMENTA LOS ESFUERZOS CORTANTES	
ESFUERZOS TECTONICOS O EXPLOSIVOS	SISMOS O VOLADURAS	3 VIBRACIONES DE ALTA FRECUENCIA	TODOS LOS MATERIALES	PRODUCE UN TRANSITORIO CAMBIO EN LOS ESFUERZOS	DECREMENTO DE LA COHESION E INCREMENTO DE LOS ESFUERZOS CORTANTES	
			LOES, ARENA LIGERAMENTE CEMENTADA Y GRAVA	DANA LAS LIGAS INTERGRANULARES		
			ARENA SUELTA FINA O MEDIANA EN ESTADO SATURADO	INICIA UN REACONODO DE LOS GRANOS		LICUACION ESPONTANEA
PESO DEL MATERIAL QUE FORMA EL TALUD	PROCESO QUE CREA EL TALUD	4 MOVIMIENTOS IMPERCEPTIBLES DEL TALUD	ARCILLA DURA Y FISURADA, LUTITA, RESTOS DE ANTIGUOS DESLIZAMIENTOS	ABRE FISURAS CERRADAS, PRODUCE NUEVAS FISURAS	REDUCE LA COHESION, ACELERA EL PROCESO N° 8	
		5 MOVIMIENTOS IMPERCEPTIBLES EN EL ESTRATO DEBIL DEBAJO DEL PIE DEL TALUD	MATERIALES RIGIDOS DESCANSANDO SOBRE MATERIALES PLASTICOS			
AGUA	LLUVIAS O NIEVE DERRETIDA	6 DESPLAZAMIENTO DEL AIRE EN LOS VACIOS	ARENA HUMEDA	INCREMENTA LA PRESION DE PORO DEL AGUA	DECREMENTO DE LA RESISTENCIA FRICCIONANTE	
		7 DESPLAZAMIENTO DE AIRE EN LAS JUNTAS ABIERTAS	ROCAS FISURADAS, LUTITA			
		8 REDUCCION DE LA PRESION CAPILAR ASOCIADA A UNA EXPANSION	ARCILLA DURA Y FISURADA, Y ALGUNAS LUTITAS	CAUSA EXPANSION		
		9 INTEMPERISMO QUIMICO	CUALQUIER TIPO DE ROCA	DEBILITA LAS LIGAS INTERGRANULARES		
		10 EXPANSION DEL AGUA DEBIDO AL CONGELAMIENTO	ROCA FISURADA	AGRANDA LAS FISURAS EXISTENTES PRODUCE NUEVAS FISURAS		
	HELADAS	11 FORMACION Y FUNDICION DE LAS CAPAS DE HIELO	LIMO Y ARENA LIMOSA	INCREMENTA EL CONTENIDO DE AGUA DEL HIELO EN LA CAPA SUPERIOR CONGELADA	DECREMENTO DE LA RESISTENCIA FRICCIONANTE	
	EVAPORACION	12 CONTRACCION	ARCILLA	PRODUCE GRIETAS POR CONTRACCION	DECREMENTO DE LA COHESION	
	BAJADA RAPIDA DEL NIVEL DEL AGUA	13 PRODUCE FILTRACION HACIA EL PIE DEL TALUD	ARENA FINA, LIMO PREVIAMENTE DRENADO	PRODUCE UN EXCESO EN LA PRESION DE PORO DE AGUA	DECREMENTO DE LA RESISTENCIA FRICCIONANTE	
	ELEVACION RAPIDA DEL NIVEL DEL AGUA	14 INICIA UN REACONODO DE LOS GRANOS	ARENA SUELTA, MEDIA O FINA EN ESTADO SATURADO	INCREMENTO ESPONTANEO DE LA PRESION DE PORO DEL AGUA	LICUACION ESPONTANEA	
	ELEVACION DEL NIVEL DE AGUA EN UN ACUIFERO DISTANTE	15 CAUSA ELEVACION DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA EN EL MATERIAL QUE FORMA EL TALUD	LIMO O CAPAS DE ARENA ENTRE O DEBAJO DE CAPAS DE ARCILLA	INCREMENTA LA PRESION DE PORO DEL AGUA	DISMINUYE LA RESISTENCIA FRICCIONANTE	
FILTRACIONES PROVENIENTES DE UNA FUENTE ARTIFICIAL DE AGUA (DEPOSITOS O CANALES)	16 FILTRACION HACIA EL TALUD	LIMO SATURADO	INCREMENTA LA PRESION DE PORO DEL AGUA	DISMINUYE LA RESISTENCIA FRICCIONANTE		
	17 DESPLAZA EL AIRE EN LOS VACIOS	ARENA FINA Y HUMEDA	ELIMINA LA SUPERFICIE DE TENSION	DECREMENTO DE LA COHESION		
	18 RESOLVE LAS LIGAS SOLUBLES	LOES	DESTRUYE LAS LIGAS INTERGRANULARES			
	19 FROSTON SUPERFICIAL	ARENA FINA O LIMO	SOCAVA EL TALUD	INCREMENTA LOS ESFUERZOS CORTANTES		

Los granos de arena fina o aluvi6n grueso pueden tener un arreglo tan inestable que una ligera excitaci6n puede provocar un reacomodo en ellos. Si este reacomodo ocurre --- arriba del nivel del agua lo 6nico que sucede es que disminuye la porosidad del suelo, en cambio si tiene lugar debajo del nivel del agua, la viscosidad del agua, que en este caso ocupa los vac6os, impide un decremento instant6neo de la porosidad. Durante el tiempo entre el colapso de la estructura granular y la reconsolidaci6n, el material se comporta como un denso l6quido viscoso; a este proceso se le conoce como licuaci6n espont6nea. Este tipo de situaciones pueden ser provocadas por vibraciones (detonaciones en canteras, hincado de pilotes) o por un descenso r6pido del nivel de agua. Despu6s de una falla de este tipo, el material se desparrama y el talud termina con un 6ngulo de solo unos cuantos grados.

b) Movimientos superficiales que preceden a un deslizamiento.

Los 6nicos deslizamientos que se pueden considerar como repentinos son los debidos a sismos o a la licuaci6n espont6nea, todos los dem6s est6n precedidos por una disminuci6n gradual de la relaci6n resistencia al corte / esfuerzo cortante, lo que implica la deformaci6n progresiva del material arriba de la superficie potencial de deslizamiento. Generalmente estos movimientos superficiales son casi imperceptibles, al grado de que existen casos en los que varias horas antes de suceder un deslizamiento importante solo los animales se intranquilizan o abandonan el 6rea, no as6 los pobladores de esa zona.

En la primera fase de un deslizamiento, las masas avanzan aceleradamente y conforme la masa de material llega a posiciones cada vez mas estables, el movimiento se vuelve más lento hasta llegar a ser imperceptible. En materiales como arcilla muy sensible y arenas sueltas saturadas los deslizamientos ocurren repentinamente. La velocidad máxima del deslizamiento puede ser muy alta, como sucede cuando el material es arena o aluvi6n sobre arcilla; o bien de apenas 0.30 mts./ hora en el caso de masas homogneas de suelo residual o arcilla poco sensible.

c) Movimientos después del deslizamiento.

Quando la diferencia entre fuerzas actuantes y resistentes se ha eliminado, el movimiento de la masa de deslizamiento se vuelve imperceptible, a menos de que la falla provoque la alteraci6n radical de las propiedades físicas del material, tal y como sucedi6 en el deslizamiento de Kenogami, al sur del Río Saguenay en la provincia de Quebec, en 1924. Las condiciones topográficas e hidrol6gicas presentes en este deslizamiento excluyeron la posibilidad de que el contenido de agua se incrementara durante la falla; no obstante, y segun testigos, el mismo material que habia sido lo suficientemente rígido para formar paredes verticales de más de 15 mts. fluy6 fácilmente momentos mas tarde sobre una suave pendiente. Esto solo se puede concebir si el sedimento consisti6 de una arcilla extrasensitiva. Los testigos oculares relatan que fragmentos intactos de arcilla se deslizaron y que solo en las superficies de contacto de los fragmentos el material se transform6 en un líquido vis

coso, lo cual coincide con la explicación antes expuesta.-

d) Periodicidad de los deslizamientos.

Las estadísticas de los deslizamientos de tierra están aún muy incompletas como para poder inferir conclusiones precisas acerca de la periodicidad de su ocurrencia. Podemos citar el caso de los deslizamientos en el Folkestone ----- Warren en la costa norte del canal Inglés, el cual es un enorme nicho cuyo fondo está formado de arcilla galesa la que a su vez está sepultada bajo una acumulación irregular de tiza. Han ocurrido deslizamientos en este sitio en los años de 1765, 1800, 1839, 1877, 1896, 1915 y 1937. Los deslizamientos no son precedidos por cambios en las condiciones externas; de aquí que tenemos que asumir que la resistencia contra el deslizamiento disminuyó a raíz del incremento de la presión hidrostática (término hw). Las elevaciones de la superficie piezométrica están sujetas a variaciones estacionales causadas por los distintos promedios de precipitación pluvial y existe concordancia entre estos deslizamientos y la presencia de tormentas de intensidades fuera de común.

II-3 MEDIDAS PREVENTIVAS.

Prevenir un deslizamiento es convertir en ineficaces los posibles procesos productores de los deslizamientos. Una capa de baja permeabilidad sobre el talud reduce la posibilidad de que se desaloje el aire en los vacíos durante una

fuerte tormenta; el drenaje evita la sobresaturación; una gruesa capa de arena o césped contrarresta los problemas de las profundas grietas por contracción; la compactación puede evitar el problema de la licuación espontánea. Claro está que en el caso de deterioro gradual del material solo se recomendaría la evaluación del efecto del tiempo en la estabilidad del talud. Un deslizamiento puede ser prevenido mediante adecuadas observaciones de campo, ya -- que cada deslizamiento, en general, está precedido por movimientos lentos de la superficie, en la que se colocan -- puntos de referencia en sitios estratégicos y referencias a un punto estable. Si se registra movimiento se procederá, por citar un ejemplo, a reducir la inclinación del talud mediante excavación.

La comisión geotécnica sueca, ha propuesto el siguiente -- procedimiento para prevenir los accidentes de trenes debidos a fallas de cortes en arcillas: se taladran hoyos ver ticales con su extremo inferior localizado debajo del punto más profundo de la superficie potencial de deslizamiento. En el taladro se coloca un ducto flexible y en el fon do una varilla de tal forma que en el eje del ducto, si el suelo empieza a moverse, la parte superior del ducto se mueve con él, mientras que la varilla se mantiene en su po sición original. Si el movimiento continúa llega un momen to en el que el extremo superior de la varilla toca al extremo superior del ducto, con lo cual se cierra un circuito eléctrico que automáticamente acciona unas señales que cortan el tráfico en la zona de peligro hasta que el inminente deslizamiento es controlado.

La eficacia del drenaje ha sido demostrada en varias ocasiones; en algunos casos, una vez que se demostró gracias a observaciones de campo, que existían movimientos y el drenaje propuesto estaba aún en etapas iniciales, se observó que los movimientos del terreno en el área de deslizamiento comenzaban a ser ya casi imperceptibles. Si el drenaje es muy difícil de realizar, o si sus resultados son dudosos, se puede reducir el ángulo del talud, -- construir muros de contención, etc.

CAPITULO III

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES

Con el fin de introducirnos en los diversos tipos de análisis de estabilidad de taludes, comenzaremos por explicar ciertos conceptos básicos en la Mecánica de Suelos.

Es sabido que los taludes naturales principalmente y algunos hechos por el hombre, como por ejemplo cortes en vías de comunicación, se encuentran localizados en suelos cuyas características intrínsecas pueden o no variar según el tipo de suelo de que se trate. Para fines de la mecánica de suelos podemos clasificar a los suelos en tres grupos genéricos:

- a) Suelos puramente cohesivos
- b) Suelos puramente friccionantes
- c) Suelos cohesivo-friccionantes

Generalmente los taludes se encuentran en el tercer grupo de suelos y siendo este el caso mas común nos enfocaremos hacia el estudio de los taludes en esos suelos; mas con esto no queremos decir que nos apartaremos de los otros grupos, cuya visión será menos profunda.

- a) Análisis de la estabilidad de taludes en suelos puramente cohesivos.

Un suelo cohesivo es aquel cuya resistencia al corte intrínseca está determinada por la fuerza de atracción existente entre sus partículas. Aquí nos permitiremos apartarnos un poco del tema para explicar algunos fenómenos que ocurren en el --

suelo y cuyo entendimiento es importante para la mejor asimilación del estudio de los taludes en suelos cohesivos.

Por principio de cuentas tenemos el fenómeno de capilaridad. Es de todos conocido que los suelos cohesivos contienen en su estructura interna partículas de forma laminar, mineralógicamente formadas por silicatos de aluminio y cuyo tamaño se reduce a unas cuantas micras; se tiene también que la disposición de las láminas está orientada de manera horizontal, esto es, están en contacto al través de su mayor superficie; si a esto agregamos que la atracción entre las partículas a esa escala es muchas veces considerable, resulta que el tamaño de los espacios vacíos dejados por los sólidos es lo suficientemente reducido para formar los llamados tubos capilares. Si la parte superior del suelo no está saturada ni mucho menos, y no existe ningún impedimento para el contacto aire-suelo (esto es, no hay ninguna construcción sobre el suelo), el agua del nivel freático comienza a subir hacia la superficie por capilaridad; debido a esto se presentan en el agua esfuerzos de tensión, los cuales provocan a su vez esfuerzos de compresión en las partículas sólidas del suelo; este fenómeno incrementa la cohesión del mismo ya antes establecida por las propiedades de atracción eléctrica entre las partículas. Esta cohesión aunada al confinamiento que tenga el suelo, ya sea por consolidación o por compactación, es la que da la resistencia al corte del suelo.

Esta última idea contradice al nombre genérico del suelo, ya que si tiene confinamiento y este ayuda a resistir los esfuerzos cortantes, quiere decir que influye la fricción entre las partículas, por lo tanto el suelo puramente cohesivo se vuelve cohesivo-friccionante. Este aspecto tan interesante se --

puede comprobar también mediante otro hecho; si se tiene un suelo puramente cohesivo en el que se requiere hacer un corte, se toman muestras del suelo y se analizan para conocer sus características de cohesión y peso volumétrico; aquí se da lo siguiente: si el análisis se realiza mediante una prueba rápida, como en la mayoría de los casos, los resultados clasifican al suelo como puramente cohesivo, pero no se toma en cuenta que la cohesión es una característica que varía con el tiempo (generalmente disminuye), entonces si se efectúa el corte bajo las condiciones actuales del suelo, la estabilidad del talud disminuirá y el talud posiblemente fallará, contrariamente a lo previsto. ¿Qué hacer ante esto?, existen dos opciones: inferir un valor posterior de la cohesión del suelo lo cual sería posible si se dispusiera de valores anteriores de cohesión, aunque siempre quedaría al criterio y a la experiencia del ingeniero. La otra posibilidad es la de analizar al suelo mediante una prueba lenta drenada, la cual daría resultados más apegados a la realidad y al mismo tiempo arrojaría la conclusión de que se trata de un suelo cohesivo-friccionante y no puramente cohesivo como se supuso originalmente. Las características de los suelos cohesivo-friccionantes serán mencionadas posteriormente.

Aceptando estas hipótesis como válidas, se puede llegar a la conclusión de que no existen los suelos absolutamente cohesivos sino que todos estos caen dentro del concepto de cohesivo-friccionantes.

Ahora bien, independientemente de lo que es el contexto de contradicción y de todas las ideas anteriormente mencionadas, procederemos a mostrar y explicar el análisis de estabilidad

de un talud en un suelo cohesivo, el cual es válido solamente en excavaciones a corto plazo, es decir, hasta antes de que la cohesión varíe considerablemente.

El análisis de la estabilidad de un talud en un suelo puramente cohesivo se basa en el método sueco o de dovelas. Este método se ha generalizado para aplicarse al análisis de taludes en suelos cohesivo-friccionantes. Se deben a Fellenius los estudios realizados para este efecto. El método se basa, para su utilización, en los siguientes postulados:

- 1) La superficie potencial de falla se supone circular.
- 2) El análisis se efectúa en dos dimensiones.
- 3) El esfuerzo cortante es constante a todo lo largo de la superficie de falla.
- 4) En el momento de la falla el esfuerzo cortante se moviliza completamente en cada punto a lo largo de la superficie de falla. Como siempre, en zonas que contienen grietas de tensión el esfuerzo cortante es despreciable.
- 5) El factor de seguridad está definido como el cociente del esfuerzo cortante resistente del suelo entre el esfuerzo cortante actuante en el talud. Se concluye que el factor de seguridad siempre debe ser mayor a uno para que el talud sea estable, y será igual a la unidad en el momento de la falla.

El método sueco se practica gráficamente. Su procedimiento es el siguiente: se dibuja el perfil del talud a perfecta escala y se definen un par de ejes cartesianos de tal forma que el talud quede emplazado en el primer cuadrante. En seguida-

se define un círculo supuesto de falla y se traza a lo largo del talud; el centro de este círculo tendrá por coordenadas X_0 y Y_0 y estará por encima del talud; el círculo, por consiguiente, tendrá un radio que denominaremos como "R". Posteriormente el área delimitada por la superficie del talud y el círculo de falla supuesto se le divide en pequeñas porciones verticales llamadas dovelas, cuyo ancho estará en función de la exactitud que se requiera para resolver el problema (figura III-1); a menor ancho, mayor número de dovelas y aumentará la exactitud de los resultados.

Como se vió, el factor de seguridad es una relación: lo que el suelo resiste entre lo que actúa. Al ocurrir la falla se produce un deslizamiento de la superficie circular de falla alrededor de su centro: esto es conocido como "Momento Motor" o también como "Momento Actuante" (M_a). Por lo tanto el talud va a responder con otro momento llamado "Momento Resistente" (M_r); así pues:

$$(III-1) \quad F.S. = \frac{M_r}{M_a} \quad \begin{matrix} > 1 \text{ en condiciones estables.} \\ < 1 \text{ en condiciones de falla.} \end{matrix}$$

Siendo que es la cohesión la que resiste la falla, se tiene que para este tipo de suelo, la resistencia al corte está dada por:

$$S = C$$

Donde C es la cohesión del suelo en Ton/M²; de aquí podemos definir al momento resistente como:

$$M_r = C \cdot L \cdot R \quad (III-2)$$

donde

L = Longitud de la superficie de falla supuesta

R = Radio del círculo supuesto

Dado que el análisis se hace en dos dimensiones se establece para efectos de estudio una longitud unitaria del talud. - - Siendo L la longitud de un arco circular y conociendo los límites del círculo de falla dentro del talud se establece por geometría que:

$$L = \theta R \quad (III- 3)$$

Donde θ es el ángulo que recorre el radio de un límite a otro del círculo. Sustituyendo (III-3) en (III-2) se obtiene:

$$M_r = C \theta R^2 \quad (III-4)$$

Por otro lado, el momento que actúa para provocar la falla -- del talud está dado por el peso de cada una de las dovelas, - aplicado en el centro de gravedad de la misma, y la distancia horizontal que hay del centro de gravedad de cada dovela al - centro del círculo de falla. Si se observa la figura III-1 - se notará que habrán momentos tanto positivos (provocados -- por las dovelas a la derecha del centro " 0 ") como negati-- vos (dados por las dovelas a la izquierda del punto " 0 "), siguiendo la convención de signos que establece como positivos a los momentos que giran en la dirección de las manecillas -- del reloj, y negativos en el caso contrario. Así las cosas, - el momento actuante se definirá como una sumatoria algebraica de los momentos producidos por cada dovela. Siendo n el número de dovelas:

$$M_a = \sum_{i=1}^n W_i d_i \text{ ----- (III-5)}$$

donde W_i es el peso de cada dovela dado por su área multiplicada por el peso volumétrico del suelo en ton / M3, suponiendo una longitud unitaria, y d_i es la distancia del centroide de cada dovela al centro del círculo medida horizontalmente. Sustituyendo (III-4) y (III-5) en (III-1) se obtiene finalmente:

$$F.S. = \frac{C \cdot \theta \cdot R^2}{\sum_{i=1}^n W_i d_i} \text{ ----- (III-6)}$$

el cual debe ser mínimo para las condiciones óptimas de estabilidad del talud.

Para que un factor de seguridad pueda ser mínimo, necesita -- compararse con otros factores de seguridad, los cuales se obtienen ya sea variando la magnitud del radio del círculo fijando el centro, variando la posición del centro y manteniendo constante el radio, o bien ambas cosas. Esto al hacerlo -- manualmente se traduce en un arduo trabajo y un empleo excesivo de tiempo, lo cual se puede evitar al hacer uso del método numérico que se propone en el siguiente capítulo.

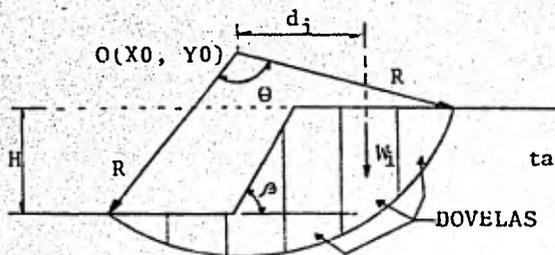


FIGURA III-1
Análisis de estabilidad de un talud en suelo puramente cohesivo.

β = inclinación del talud

Mucho se ha abundado sobre este análisis, pero como dijimos al principio de este capítulo, nosotros nos enfocaremos más a otro tipo de análisis.

Taylor estudió a fondo este tipo de análisis y aportó un método numérico que simplifica en gran medida el tiempo y el esfuerzo dedicados al cálculo de estabilidad de un talud en suelos cohesivos. El introduce un " número de estabilidad " obtenido de una manera empírica y lo grafica contra el ángulo de inclinación del talud (α). Este método se encuentra explicado ampliamente en el anexo V-A de la referencia (1).

b) Análisis de la estabilidad de un talud en suelos puramente friccionantes.

Un suelo puramente friccionante es aquel cuya resistencia al corte depende principalmente de la fuerza de fricción existente entre sus partículas componentes. Las arenas y las gravas del tipo SW, SP, GW y GP son los suelos representativos de este grupo; tienen la característica de que el tamaño de sus partículas es muy variado; tienen propiedades de atracción eléctrica, pero esta fuerza es tan pequeña que generalmente se desprecia en los estudios. Debido a que sus partículas son grandes (a comparación de los suelos cohesivos cuyas partículas son microscópicas) y de formas tan diversas, los espacios vacíos dejados por ellas son lo suficientemente amplios para dejar pasar libremente al agua que contengan, (con excepción de las arenas muy finas, como podrían ser algunas arenas de playa, cuyas partículas son muy pequeñas, y los vacíos dejados por --

(1) Juárez B. Eulalio y Rico R. Alfonso, *Mécanica de Suelos*, Vol. II, Edición ED. Limusa-Wiley, México, D. F. p.p. -- 306-311 .

ellas son tan reducidos que hacen las veces de tubos capilares, dando a la arena una cohesión aparente considerable en la resistencia cuando aquella se encuentra húmeda, apareciendo como suelo cohesivo-friccionante; si la arena se satura, la cohesión desaparece y vuelve a su condición de puramente friccionante) lo cual hace a estos suelos sumamente permeables; cuando se gradúan bien son muy útiles como filtros naturales, o bien como drenes en muros de retención o en otros tipos de obras.

El análisis de taludes en este tipo de suelos es relativamente sencillo. El método se basa en el hecho de que la falla del talud no es una superficie curva como sucede en suelos cohesivos, sino que se trata de un plano. La falla se presenta por desmoronamiento del material en la superficie del talud; es una falla de pie. Mientras mayor sea la pendiente del talud, disminuirá la fricción entre las partículas del suelo. Si θ es el ángulo de fricción interna del suelo, su resistencia al corte estará dada por:

$$S = \tan \theta$$

Un factor predominante en la falla de un talud es el peso del suelo, el cual es el que prácticamente provoca la falla.

En la figura III-2 se observan las fuerzas actuantes en un talud en suelo friccionante.

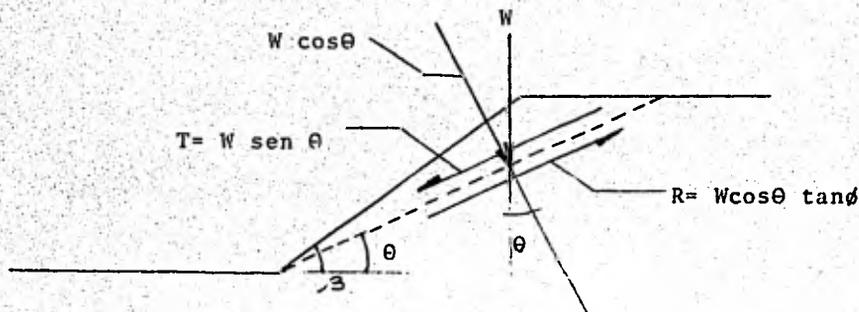


Figura III-2

Análisis de estabilidad de un talud en un suelo friccionante.

De la figura

β = Angulo de inclinación del talud

θ = Angulo del talud en donde se presenta la falla

W = Peso de la masa de suelo que se desliza.

El plano de falla se muestra con línea punteada. La fuerza que tiende a deslizar el talud está dada por:

$$T = W \text{ Sen } \theta$$

la cual es la proyección del peso sobre el plano de falla.

La fuerza de oposición del suelo a la falla, está dada por la resistencia intrínseca del suelo ($\tan \phi$) más la reacción a la fuerza T lo cual equivale a:

$$R = W \cos \theta \tan \phi$$

Si definimos al factor de seguridad como la relación entre la fuerza resistente del suelo y la fuerza actuante, tendremos:

$$\text{F.S.} = \frac{R}{T}$$

$$\text{o bien } \text{F.S.} = \frac{W \cos \theta \tan \phi}{W \text{ sen } \theta}$$

Reduciendo términos queda:

$$\text{F.S.} = \frac{\tan \phi}{\tan \theta}$$

Por ser análisis al límite, el factor de seguridad mínimo corresponde al valor máximo de θ , o sea, el equivalente a la inclinación del talud (β). Así pues tenemos:

$$\text{F.S. min.} = \frac{\tan \theta}{\tan \beta}$$

Expresión que nos da el mínimo factor de seguridad de un talud en suelo friccionante en función de su pendiente.

En la superficie del talud en un suelo friccionante, el material se encuentra suelto debido a su falta de cohesión, y así se hace susceptible al arrastre y a la erosión causada por los agentes naturales como agua, aire, etc. La práctica ha demostrado que para lograr la estabilidad adecuada para este tipo de taludes, se recomienda siempre darles una inclinación de 1.5 horizontal por 1.0 vertical, ya que con esto se puede garantizar el buen funcionamiento de la fricción entre las partículas.

c) Análisis de la estabilidad de un talud en suelos cohesivo-friccionantes.

Pasamos ahora al caso más general, dado que la mayor parte de los taludes están hechos en suelos cohesivo-friccionantes.

Un suelo de este tipo es aquel que contiene las propiedades de los dos suelos explicados anteriormente, es decir, su resistencia al corte depende tanto de la atracción entre sus partículas (cohesión), como del confinamiento de ellas (fricción).

Ejemplos típicos de este tipo de suelos son los limos plásticos arenosos, las arenas arcillosas, arcillas a largo plazo en condiciones drenadas, etc.

El método de análisis de estabilidad en este grupo de suelos sigue los lineamientos establecidos por el estudio de taludes en suelos cohesivos dado en el inciso a de este capítulo, salvo algunas modificaciones al ser introducido el parámetro de fricción.

Los postulados en los que se basa este método son:

- 1 Se trata de una superficie de falla circular
- 2 El análisis es bidimensional
- 3 Se supone válida la ley de resistencia Mohr-Coulomb:

$$S = C + \sigma \tan \phi$$

- 4 La resistencia al esfuerzo cortante se moviliza por completo y al mismo tiempo en toda la superficie de falla.
- 5 No existe interacción entre dovelas.
- 6 El factor de seguridad (F.S.) se define como el cociente de los elementos mecánicos resistentes y los elementos mecánicos actuantes en el talud.

Como se advierte en el postulado N° 3, la resistencia al corte del suelo no es constante puesto que interviene el parámetro de esfuerzo normal en un punto, el cual variará según la profundidad a la que se encuentre ese punto sobre el círculo de falla, ya que está en función del peso del material que se en-

cuentre arriba del punto.

Para entender mejor el método de análisis nos basaremos en la siguiente figura.

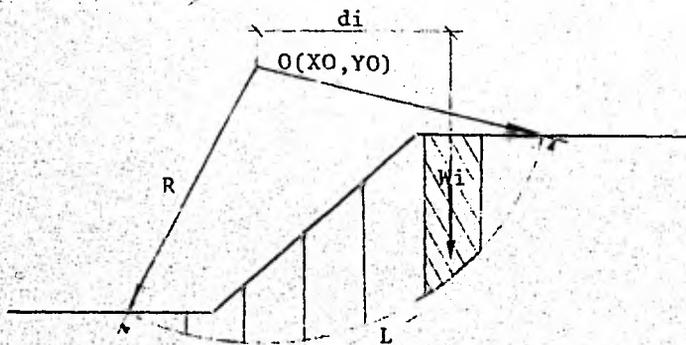


Figura III-3

Descripción del método sueco para suelos cohesivo-friccionante

Se sabe que el momento que produce el deslizamiento, llamado momento motor (M_m) o momento actuante, actúa a todo lo largo de la superficie de falla teniendo al radio (R) como brazo de palanca, y es debido al peso de las dovelas a la derecha del punto O , y a la vez es contrarrestado por el peso de las dovelas a la izquierda de dicho punto, por lo que se puede expresar como:

$$M_m = \sum_{i=1}^n W_i d_i \quad \text{--- (III-7)}$$

Donde W_i es el peso de la dovela "i" y d_i es la distancia horizontal del centro de gravedad de la dovela al punto O. "n" es el número de dovelas.

Es evidente que el peso de las dovelas actúa en dirección vertical hacia el centro de la tierra; también se sabe que la superficie de falla es un círculo; de aquí se deduce que el peso del suelo al actuar sobre el círculo se disocia en dos componentes: una perpendicular al plano de falla, y otra tangencial al mismo en el punto de aplicación. Esto se puede entender mejor aislando una dovela y haciendo un diagrama de cuerpo libre; tomemos la dovela "i":

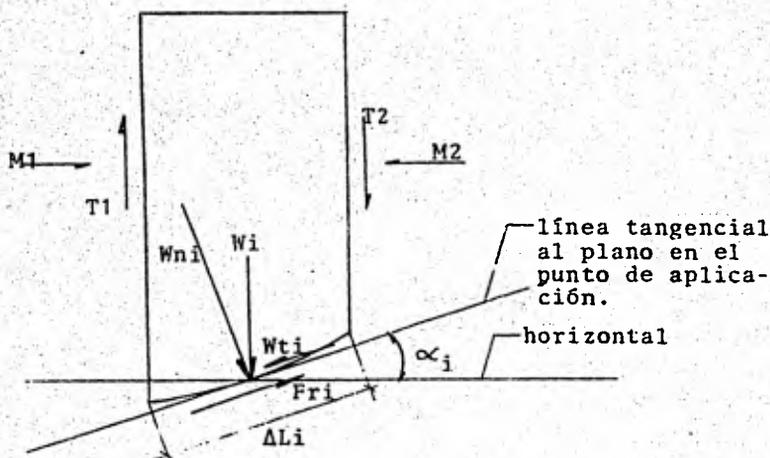


Figura III-4

Diagrama de cuerpo libre de la iésima dovela. (fig. III-4)

Se definen los siguientes parámetros:

W_{ni} Es la componente del peso perpendicular al plano de falla.

W_{ti} Es la componente del peso tangencial al plano de falla en el punto de aplicación.

α_i Es el ángulo comprendido entre la tangencial al plano y la horizontal.

ΔL_i Es la longitud del segmento de arco que define a la dovela.

Las fuerzas T_1 , T_2 , M_1 y M_2 son las debidas a la acción de las dovelas adyacentes a la dovela analizada, pero como ya se especificó en el postulado N° 5, al principio de este inciso, no se tomarán en cuenta en el estudio del talud.

Así pues, tenemos:

$$W_{ni} = W_i \cos \alpha_i \text{ ----- (III-8)}$$

$$W_{ti} = W_i \sin \alpha_i \text{ ----- (III-9)}$$

W_{ni} es también llamada la fuerza normal al plano de falla. Esta es la fuerza que interviene en la ley de resistencia de Mohr-Coulomb, pero para que esto suceda, necesita estar aplicada en un área, la cuál para la dovela en cuestión es $\Delta L_i \times 1$, aceptando de antemano una longitud del talud unitaria dada la bidimensionalidad del análisis. De aquí:

$$\sigma = \frac{W_{ni}}{\Delta L_i}$$

O Bien:

$$\bar{V}_i = \frac{W_i \cos \alpha_i}{\Delta L_i} \text{ ----- (III-10)}$$

Lo cual, sustituyéndolo en la ley de resistencia, obtenemos:

$$S = C + \frac{W_i \cos \alpha_i}{\Delta L_i} \tan \phi \text{ ----- (III-11)}$$

De aquí comprobamos que S no es constante, es decir, hay una resistencia distinta para cada dovela, porque aunque C y ϕ son constantes para todo el suelo, \bar{V} varía.

Por otro lado, Fri es la fuerza resistente de la dovela al cortante, en sí, la que se opone al movimiento, y la cual está definida como:

$$Fri = S_i \times \Delta L_i \times 1 \Rightarrow Fri = S \Delta L_i$$

Sustituyendo aquí la ecuación (III-11)

$$Fri = (C \times \Delta L_i) + \left(\frac{W_i \cos \alpha_i}{\Delta L_i} \right) (\tan \phi) \Delta L_i$$

Reduciendo términos:

$$Fri = C \Delta L_i + W_i \cos \alpha_i \tan \phi \text{ ----- (III-12)}$$

Ahora bien, como lo que provoca el deslizamiento es un momento, es necesario contrarestarlo con otro; dicho momento es el que resulta de accionar a la fuerza resistente a todo lo largo de la superficie de falla y con un brazo de palanca igual al implicado en el momento motor; así pues, el momento resistente está dado por:

$$Mr_i = Fr_i \cdot R \text{ ----- (III-13)}$$

...siendo R (radio) el brazo de palanca de la fuerza resistente. Sustituyendo (III-12) en (III-13), obtenemos:

$$Mr_i = (C \cdot AL_i + W_i \cos \alpha_i \cdot \tan \phi) R \text{ ----- (III-14)}$$

...y para todas las dovelas:

$$Mr = \sum_{i=1}^n Mr_i$$

$$Mr = R \left[\sum_{i=1}^n (C \cdot AL_i + W_i \cos \alpha_i \cdot \tan \phi) \right]$$

$$Mr = R \left(\sum_{i=1}^n CAL_i + \sum_{i=1}^n W_i \cos \alpha_i \cdot \tan \phi \right)$$

$$Mr = R \left(C \sum_{i=1}^n AL_i + \tan \phi \sum_{i=1}^n W_i \cos \alpha_i \right) \text{ -- (III-15)}$$

todo lo cual es la aportación del suelo a resistir el deslizamiento.

Del postulado N°6 de este inciso, se tiene que:

$$F.S. = \frac{Mr}{Mm} \text{ ----- (III-16)}$$

Sustituyendo aquí las expresiones (III-7) y (III-15) obtenemos:

$$F.S. = \frac{R \left(C \sum_{i=1}^n \Delta L_i + \tan \phi \sum_{i=1}^n W_i \cos \alpha_i \right)}{\sum_{i=1}^n W_i d_i}$$

Se sabe que $\sum_{i=1}^n \Delta L_i$ es igual a la longitud total del arco que forma la superficie de falla (L) (Ver figura):

$$F.S. = \frac{R \left(CL + \tan \phi \sum_{i=1}^n W_i \cos \alpha_i \right)}{\sum_{i=1}^n W_i d_i} \quad \text{---(III-17)}$$

De la figura (III- 4) se observa que la fuerza que actúa en favor del deslizamiento está dada por la ecuación (III-9); - si tomamos un brazo de palanca perpendicular a la línea de acción de esa fuerza para producir el momento que hace deslizar al suelo, llegaremos automáticamente a concluir que dicho brazo no es otro que el radio mismo del círculo de falla; así las cosas, tenemos ya otra expresión que nos da el momento motor - que produce el deslizamiento, y que desplaza a la ecuación - - (III-7).

$$M_m = (W_i \operatorname{sen} \alpha_i) R$$

para la dovela " i ", y

$$M_m = R \left(\sum_{i=1}^n W_i \operatorname{sen} \alpha_i \right) \text{ ---- (III-18)}$$

para todas las dovelas.

Sustituyendo (III-18) en la ecuación (III-17) y simplifican-
do términos, obtenemos:

$$\text{F.S.} = \frac{\text{CL} + \tan \phi \sum_{i=1}^n (W_i \cos \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \operatorname{sen} \alpha_i)} \text{ --- (III-19)}$$

Aquí queremos hacer una diferenciación muy importante y hasta -
cierto punto fundamental en el desarrollo del método.

En la figura se muestra el diagrama de cuerpo libre de una dove-
la cualquiera dentro de la masa de suelo que desliza, y la cual
tiene las siguientes características: se encuentra a la derecha
del punto 0; su ángulo α está emplazado dentro del primer cua-
drante, lo que hace que el seno y el coseno sean positivos; la
fuerza $W_i \operatorname{sen} \alpha_i$ actúa en favor del deslizamiento, y la fuerza
 $W_i \cos \alpha_i$ actúa en favor de la resistencia al corte del suelo -
(recuérdese que es la que da lugar al esfuerzo normal implica-
do en la ley de resistencia), es decir en contra de la falla.

Ahora, vamos a analizar lo que sucede en una dovela ubicada a -
la izquierda del punto 0 (Figura III-5)

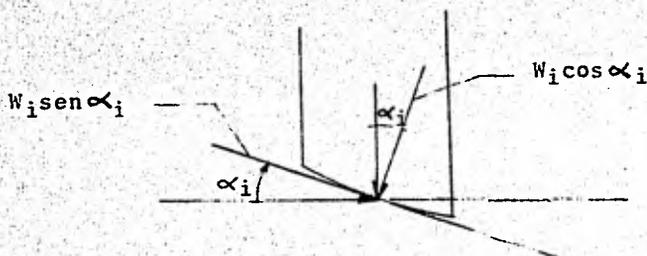


FIG. III-5

Diagrama de cuerpo libre de una dovela cualquiera a la izquierda del punto O. (Figura III-5)

En la figura se aprecia que el ángulo α está ahora definido en el segundo cuadrante, en donde el seno sigue siendo positivo, mas no así el coseno, que es negativo en el segundo cuadrante. De la figura se concluye que la fuerza $W_i \text{ sen } \alpha_i$ actúa ahora en contra del deslizamiento al producir un momento negativo, acordando previamente que los momentos en dirección de las manecillas del reloj son positivos y negativos en el caso contrario. Para lograr tomar en cuenta esto en el denominador de la expresión (III-19), en este caso (dovela a la izquierda del punto O) se tomará como un ángulo negativo, ya que el seno de un ángulo negativo (menor a 90° en este caso), es negativo. Por otra parte, tenemos que la fuerza normal $W_i \text{ cos } \alpha_i$ actúa siempre en favor de la resistencia del suelo; esto se debe a que el peso W está siempre dirigido hacia abajo. La forma mas segura de lograr esto es tomando el valor absoluto de $W_i \text{ cos } \alpha_i$, tal y como se muestra en la expresión (III-20).

$$F.S. = \frac{CL + \tan \phi \sum_{i=1}^n |W_i \text{ cos } \alpha_i|}{\sum_{i=1}^n (W_i \text{ sen } \alpha_i)} \text{----- (III-20)}$$

Expresión que finalmente nos define el factor de seguridad para un talud en un suelo cohesivo-friccionante.

Como ya mencionamos en el inciso 'a' de este capítulo, todos los análisis de estabilidad están hechos al límite, es decir, en todos se busca la falla del talud; así, mientras el factor de seguridad sea menor, nos acercaremos al instante de la falla, por lo tanto necesitamos encontrar el mínimo factor de seguridad que sea posible hasta antes del deslizamiento. Para ello, se requiere variar los valores del radio del círculo y la posición de éste ya sea variando el radio para un solo círculo, cambiando la posición del centro del círculo para valores fijos del radio, o bien hacer ambas cosas, lo cual es extremadamente laborioso y dilatado por lo cual sugerimos utilizar el método numérico objeto de esta tesis.

El Doctor Nilmar Janbú, en su tesis de doctorado en Ciencias en la Universidad de Cambridge, Massachusetts en enero de 1954, titulada "Análisis de Estabilidad de Taludes con Parametros Adimensionales" (" Stability Analysis of Slopes with Dimensionless Parameters " edición de la Universidad de Harvard, 1954), realizó un sinnúmero de investigaciones relacionadas con el análisis numérico, de la estabilidad de taludes en suelos tanto puramente cohesivos como cohesivo-friccionantes, con diferentes condiciones de carga, y construyó de ahí unas gráficas para obtener rápidamente el factor de seguridad de los taludes. A continuación procedemos a reproducir parte de estos estudios ya que presentan aspectos altamente interesantes y además, nuestro propósito es dar a conocer algo de este trabajo tan importante que por desgracia es poco conocido en nuestro medio.

El Doctor Janbú encontró una expresión para obtener el factor de seguridad de un talud en función de parámetros adimensionales que él mismo definió. La expresión es:

$$F.S. \text{ min.} = \frac{Ncf \cdot C}{\gamma H} \text{ ----- (III-21)}$$

Aquí el número de estabilidad Ncf está en función de la inclinación del talud (β) y se puede encontrar en la figura ----- (III-6), reproducción de la obra de Janbú la cual la obtuvo después de innumerables aplicaciones numéricas a su método. Ncf se puede obtener si se conocen la inclinación del talud y otro parámetro adimensional llamado $\lambda c\phi$ y definido como:

$$\lambda c\phi = \frac{\gamma H \tan \phi}{C} \text{ ----- (III-22)}$$

Una aportación muy importante de los estudios de Janbu es la facilidad para encontrar las coordenadas del centro del círculo crítico de falla, lo cual sucede con las expresiones:

$$\begin{aligned} X0 &= x0 H \text{ ----- (III-23)} \\ Y0 &= y0 H \end{aligned}$$

Donde $x0$ y $y0$ se encuentran a su vez en una gráfica obtenida por él mismo en función del ángulo β y el parámetro $\lambda c\phi$ antes definido (Figura III-7).

A continuación mostraremos la deducción de las expresiones anteriores y reproduciremos las gráficas obtenidas por el Doctor Janbú al través de sus estudios. Como ya vimos, para representar la falla de un talud se supone una superficie de falla circular generada por un centro O (X0, Y0) y un radio R, como se muestra en la figura III-8. Conociendo el peso volumétrico γ del suelo, y siguiendo la notación de la figura mencionada, tenemos que el momento actuante está dado por:

$$M_a = \int_a^b \gamma z x \, dx \text{ ----- (III-24)}$$

y el momento resistente por:

$$M_r = \int_a^b S_z R^2 \, d\alpha \text{ ----- (III-25)}$$

Como ya se sabe, ambos están expresados como momentos por unidad de longitud, ya que el análisis es bi-dimensional. La relación entre M_r y M_a está dada por:

$$F.S. = \frac{M_r}{M_a} \text{ ----- (III-26)}$$

Lo cual está definido como el factor de seguridad del talud -- respecto al esfuerzo cortante. Para una cierta posición del círculo de falla, F.S. se vuelve mínimo.

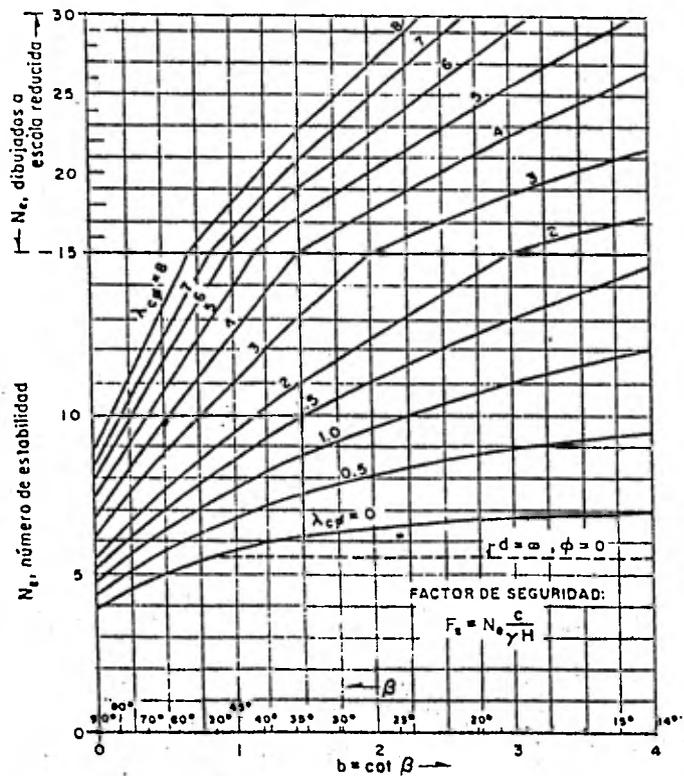


FIGURA III-6

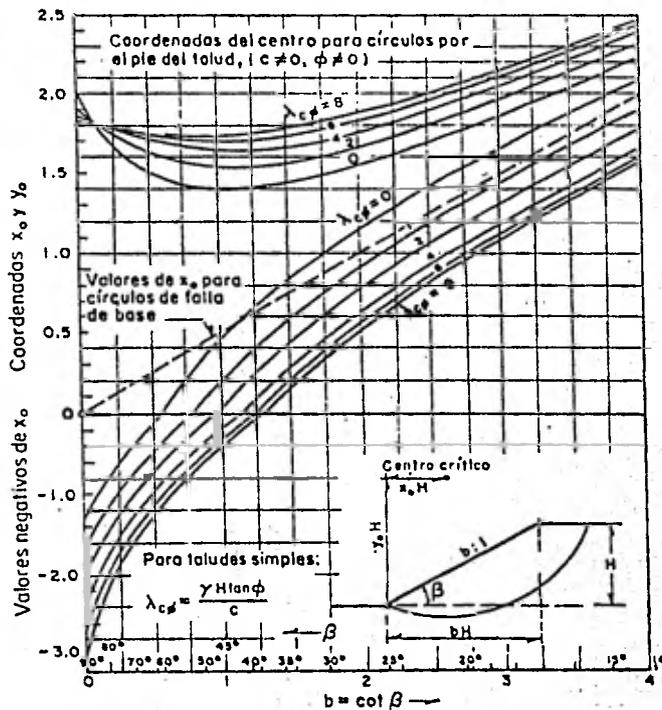


FIGURA III-7

Para entender la derivación de esta última expresión basémonos en la figura III-8 ; de acuerdo con lo mostrado en ella, la resistencia al esfuerzo cortante está dada por:

$$S_z = c + (\gamma Z \cos^2 \alpha) \tan \phi \text{ ----- (III-27)}$$

La cual, sustituyéndola en la expresión (III-25) nos dá:

$$M_r = \theta c R^2 + \tan \phi \int_a^b \gamma Z (R \cos \alpha) (\cos \alpha R d \alpha)$$

Aquí: $R \cos \alpha = Y$ y $\cos \alpha (R d \alpha) = d x$. por lo tanto:

$$M_r = \theta c R^2 + \gamma \tan \phi \int_a^b \gamma Z dx \text{ ----- (III-28)}$$

Ahora diviendo esta última expresión entre la ecuación - - - (III-24), obtenemos:

$$F.S. = \frac{\theta c R^2}{\gamma \int_a^b x Z dx} + \left(\frac{\int_a^b Y Z dx}{\int_a^b x Z dx} \right) \tan \phi \text{ --- (III-29)}$$

Para simplificar esta ecuación, Janbu introduce dos parámetros adimensionales y que define como:

$$N_{rc} = \frac{\theta H R^2}{\int_a^b x Z dx} \quad \text{y} \quad N_{rf} = \frac{\int_a^b Y Z dx}{\int_a^b x Z dx} \text{ ---- (III-30)}$$

y así:

$$F.S. = N_{rc} \frac{c}{\gamma H} + N_{rf} \tan \phi \text{ --- (III-31)}$$

Nrc y Nrf dependen de las dimensiones del talud y la posición del círculo potencial de deslizamiento.

La solución de la integral $\int_a^b YZdx$ lleva a una larga y complicada fórmula aún para taludes simples. Por esta razón se prefiere la integración numérica. Luego entonces, las integrales pueden ser reemplazadas por signos de sumatoria y el ancho infinitesimal dx puede también reemplazarse por la distancia finita Ax .

La figura III-9 muestra los elementos en los cuales la adición está basada. El perfil del talud se dibuja a una cierta escala de manera que todas las longitudes implicadas en la adición puedan ser medidas directamente en el perfil, por ejemplo en centímetros o en pulgadas.

Si el ancho de cada dovela es el mismo, se obtiene de las ecuaciones (III-30):

$$Nrc = \frac{\theta H R^2}{Ax \sum_a^b xi Zi} \quad Nrf = \frac{\sum_a^b yi Zi}{\sum_a^b xi Zi} \quad \text{----- (III-32)}$$

donde el ángulo central θ debe ser expresado en radianes.

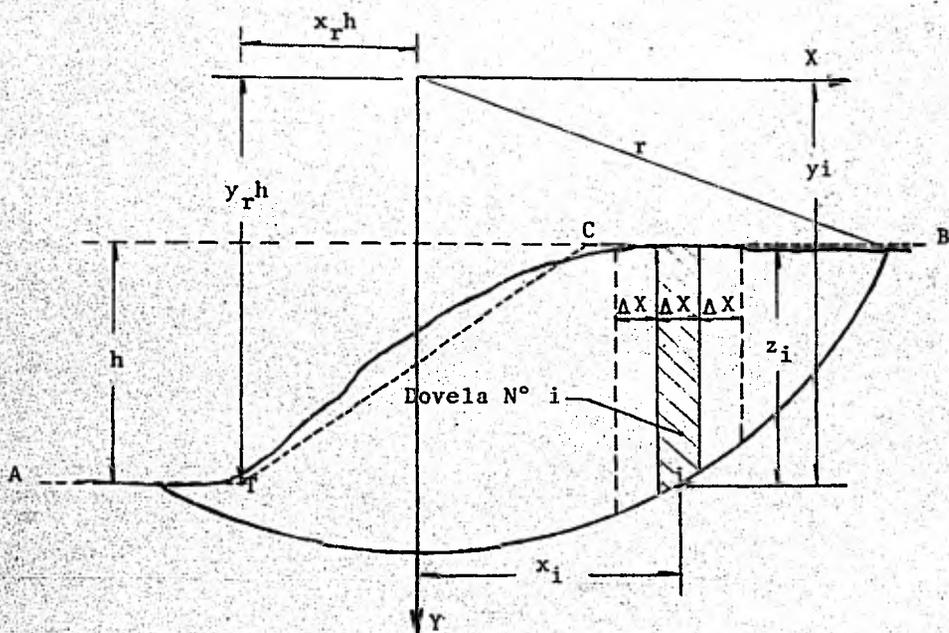


FIGURA III-9

Durante algunos años, Janbú se dedicó a la aplicación de sus expresiones a un gran número de taludes reales para poder obtener valores generales de los diversos parámetros definidos por él mismo. De todo esto contruyó las gráficas que se muestran en las figuras (III-6) y (III-7).

Estas gráficas son esenciales para determinar el mínimo factor de seguridad de un talud y la posición del centro del círculo de falla, lo cual se realiza de la siguiente forma: como ya se vió, el cociente F.S. se puede calcular por medio de la fórmula (III-31) para diferentes posiciones del círculo de falla y cuando se conocen los valores de Nrc y Nrf ; la ecuación ---- (III-31) puede ser también escrita como:

$$FS = \left(Nrc + Nrf \frac{\gamma H \tan \phi}{c} \right) \frac{c}{\gamma H}$$

Si introducimos las simplificaciones

$$\lambda c \phi = \frac{\gamma H \tan \phi}{c} \quad \text{y} \quad Nr = Nrc + \lambda c \phi \quad Nrf$$

Tenemos

$$FS = Nr \frac{c}{\gamma H} \quad \text{-----} \quad (III-33)$$

Aquí, Nr depende de la inclinación del talud, de la posición del círculo de falla, xr , yr , y del parámetro adimensional $\lambda c \phi$. Para determinar el valor mínimo de Nr (que llamaremos Ncf), y las coordenadas del centro del círculo crítico se emplea un procedimiento gráfico. Nótese que la expresión

$$\lambda c \phi = \frac{\gamma H \tan \phi}{c}$$

ya había sido mencionada (Ecuación III-22) más no se había visto su procedencia. Si se conocen las dimensiones del talud y sus características internas de resistencia, el número N_r depende solo de las coordenadas centrales x_r, y_r (que para el círculo crítico son X_o, Y_o) siempre y cuando el círculo potencial de falla intersecte el pie del talud, esto es, que se produzca una falla por el pie, de aquí que una superficie sea definida en un sistema cartesiano, $N_r = f (x_r, y_r)$ basándose en la obtención de los valores críticos de N_{cf} , se calcula el factor de seguridad mínimo y las coordenadas del centro crítico por medio de las fórmulas:

$$FS_{min} = \frac{N_{cf} \cdot C}{\gamma H} \quad X_0 = x_o H ; Y_0 = y_o H \quad \text{---- (III-34)}$$

Donde N_{cf} , x_o y y_o dependen solamente de la inclinación del talud y del número $\lambda_{c\phi}$.

Como se ve, hemos llegado ya a las expresiones (III-21) y (III-23) mencionadas en páginas anteriores. Conviene insistir en que las gráficas de Janbú son válidas exclusivamente para círculos de falla que pasan por el pie del talud.

El método propuesto por Janbú es un adelanto extraordinario en el cálculo de la estabilidad de taludes cohesivo-friccionantes. Hasta ahora no han habido estudios tan profundos de estabilidad como los realizados por él. Tal vez no sean estudios muy completos pero dan la pauta para que posteriores investigadores puedan continuar con su trabajo.

CAPITULO IV

PROGRAMA DE COMPUTADORA

1.- Introducción:

En este capítulo trataremos ya de lo que es en sí el objeto de esta tesis: el método numérico para el análisis de estabilidad.

Se propone un programa de computadora sencillo, y de ninguna manera sofisticado, con el propósito de que con un mínimo de conocimientos de programación FORTRAN pueda ser entendido sin dificultad y pueda ser accesible a todo aquel que lo requiera.

El programa calcula indistintamente taludes hechos en suelos homogéneos, ya sean puramente cohesivos, puramente friccionantes o bien, el caso más general, suelos cohesivo-friccionantes. La base teórica del programa se vio en el capítulo anterior para los tres casos expuestos.

El método numérico contiene un programa fuente del que parten dos subprogramas o subrutinas. Las pruebas y los ejemplos de aplicación incluidos en el siguiente capítulo fueron corridos en la computadora del Centro de Servicios de Cómputo (CSC), -- Borroughs modelo B6700 en la Universidad Nacional Autónoma de México.

A continuación procederemos a explicar como funciona el programa y la manera de introducir los datos en él.

2.- Explicación del Programa:

Para poder utilizar el programa, primeramente debe definirse al perfil del talud en un sistema coordenado, de tal manera que el talud, junto con su círculo aproximado de falla queden emplazados en el primer cuadrante, a fin de evitar que la máquina trabaje con coordenadas negativas.

El programa tiene ya establecida la nomenclatura de los puntos que permiten la definición del talud. La figura IV-1 muestra esta nomenclatura:

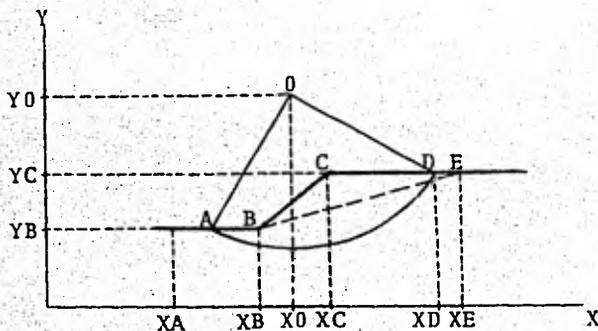


FIGURA IV - 1
DEFINICION DEL TALUD.

En la figura se observan los siguientes puntos:

- punto A (X_A, Y_B): punto de inicio del análisis del talud (dato)
- punto B (X_B, Y_B): pie del talud (dato)
- punto C (X_C, Y_C): vértice superior del talud (obtenido por la máquina)
- punto D (X_D, Y_C): intersección de la corona del talud con el radio vector (obtenido por la máquina)
- punto E (X_E, Y_C): punto de terminación del proceso iterativo de inclinación del talud. Se explicará posteriormente (dato)

punto 0 (X0, Y0): Centro del círculo de falla (obtenido por la máquina).

El programa se plantea, en términos generales, de la siguiente manera: La computadora ejecuta la ecuación deducida en el capítulo anterior y definida como:

$$F.S. = \frac{CL + \tan \phi \left| \sum W_i \cos \alpha_i \right|}{\sum W_i \sin \alpha_i}$$

Para llegar a esto realiza el método de las dovelas generando círculos mediante la iteración de centros dentro de un cierto rango, y a su vez, con cada centro, procede a la generación de radios. El rango de variación de centros se establece de la siguiente forma: El Doctor Janbú (1954), al estudiar a fondo los taludes, encontró que los círculos probables de falla tienen su centro dentro de un campo variable por encima del talud y cuyos límites se fijaron empíricamente. Este campo varía, para la abscisa y a partir del pie del talud de tres veces la altura de este hacia la izquierda, hasta dos veces la misma altura hacia la derecha del pie, todo esto dibujando el talud con pendiente positiva. La variación para la ordenada parte del pie del talud y hacia arriba de este desde una y media veces la altura del talud hasta dos veces la misma altura. Todo esto se puede apreciar mejor en la figura IV-2.

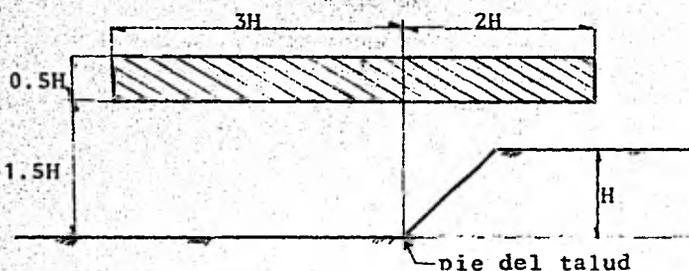


FIGURA IV-2
Variación de la posición del centro del círculo de falla.

Es menester hacer hincapié en que el método de Janbú es sólo va lido para fallas de pie, pero en el programa se incluirán cálcu los de fallas de base. Tampoco está de más el decir que el ta- ludo debe dibujarse con la corona del lado derecho, tal y como - se ha venido dibujando a lo largo de este trabajo.

Volviendo a la explicación del programa, una vez generado o es- tablecido un centro, se procede a la generación de radios, la - cual comienza a partir de la unión de los puntos O y A, y en - ese momento se van generando círculos variando los centros en - dirección al pie del talud. El punto A (cuyas coordenadas se - fijarán al definir el talud) es un punto arbitrario que mien-- tras más alejado esté del pie del talud dará oportunidad a gene- rar un mayor número de radios. La máquina calcula con cada ra- dio, mediante la expresión ya vista, un factor de seguridad aso- ciado a ese radio; al terminar el cálculo incrementa la abscisa del punto A en Δx y genera un segundo radio $(O, A+\Delta x)$. Este in- cremento Δx se obtiene restando el valor de XA menos XB y esta- diferencia dividiéndola entre el número de radios deseado. Una vez generado este segundo radio se calcula un segundo factor de seguridad asociado al radio en turno. El proceso de iteración- continúa hasta que el último radio se forma con la recta \overline{OB} , es decir, cuando se establece una falla de pie. En este punto la máquina tendrá almacenados en memoria tantos factores de seguri- dad como radios haya generado. Acto seguido comparará todos es- tos factores y los ordenará en forma creciente, esto es del me- nor al mayor, para así poder identificar al mínimo factor de un juego de radios asociado a un cierto centro de círculo de falla el cual, a su vez, está asociado a una cierta inclinación del - talud. Al terminar esto, la máquina establece otro centro de - círculo dentro del rango prefijado por la computadora, y con - tal círculo genera nuevamente los diferentes radios comenzando-

por el radio \overline{OA} y terminando con el radio \overline{OB} ; con estos radios calcula los respectivos factores de seguridad y ordenándolos -- del menor al mayor, los imprime. Así se tienen en este momento dos valores distintos de factores de seguridad mínimos para dos diferentes círculos probables de falla. El proceso de generación de círculos continúa hasta que se han probado varios círculos probables de falla dentro del rango preestablecido.

Al terminar con estas iteraciones, la máquina hace que el talud se incline un cierto número de grados, lo cual es dato, y con la nueva inclinación se vuelve a fijar el rango de variación de centros y a iniciar de nuevo la generación de radios y el cálculo de los factores de seguridad asociados a los radios.

El programa termina cuando la abscisa del vértice del talud, al inclinarse este, coincide o sobrepasa la abscisa del punto E de coordenadas (XE, YC) (ver figura IV-1); este punto se fijará -- con antelación y se le dará a la computadora como un dato. Mientras más alejado esté del punto C (XC, YC) la máquina tendrá -- oportunidad de probar un mayor número de taludes con inclinaciones diferentes con el objeto de hacer más exactos los resultados, (esto depende también directamente del decremento de inclinación que se le dé como dato a la máquina) pero con la desventaja de que aumentará el tiempo de procesamiento de la máquina (véanse las limitaciones del programa en este mismo capítulo).

Cabe mencionar aquí que las iteraciones de inclinación del talud se inician estando el talud vertical, es decir a 90° , y de aquí se parte para inclinarlo el número de grados que se quiera.

Al finalizar el programa, se tendrán impresos los siguientes re

sultados: Inclinación del talud en grados; coordenadas centrales del círculo en turno; factor de seguridad mínimo con su radio generador y sucesivos factores de seguridad con sus respectivos radios en orden creciente.

Resumiendo, para cada círculo habrán varios radios (tantos como se quiera, pues el número de radios es un dato), y para cada radio habrá un factor de seguridad, uno de los cuales, para un círculo dado, será mínimo. Por otro lado, para cada inclinación del talud habrán varios centros de círculos probables de falla dentro del rango establecido por Janbú; la variación de la posición del centro ya está fijada dentro del programa; y equivale, para la abscisa y para la ordenada a 0.25 veces la altura del talud (Fig. IV-3).

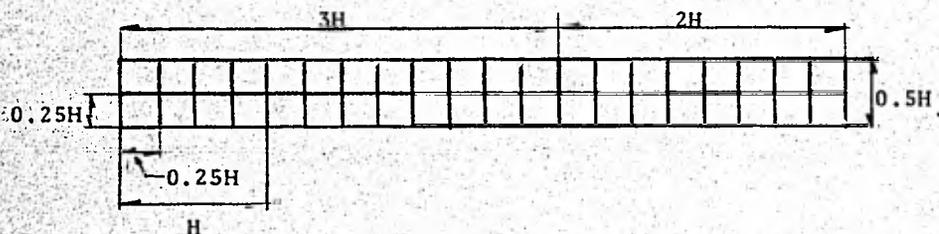


Fig. IV-3

Variación programada de la posición del centro de círculos probables de falla.

De todo esto se deduce que estará en manos del usuario el hacer más o menos exacto el cálculo del talud ya que, como se sabe, tanto el número de radios como el decremento de inclinación son datos. Mientras más iteraciones realice la máquina, más exac-

tos serán los resultados, pero se incrementará, como ya vimos, el tiempo de procesamiento (véanse las limitaciones del programa en este mismo capítulo).

3.- Subrutinas:

El programa consta de dos subrutinas las cuales fueron hechas para analizar taludes tanto en suelos puramente friccionantes como en suelos puramente cohesivos.

3.a.- La subrutina "FRICC"

Esta subrutina realiza el método explicado en el capítulo anterior para suelos puramente friccionantes. Trabaja de la siguiente manera:

Teniendo como dato el ángulo de fricción interna del suelo, realiza la ecuación:

$$F.S. = \frac{Tg \phi}{Tg \beta}$$

siendo ϕ propiedad del suelo y β la inclinación del talud, ambos ángulos en las mismas unidades (grados o radianes). La máquina calcula diferentes factores de seguridad variando el ángulo β de 89° a 5° con decrementos de un grado en cada iteración. Al terminar, imprime los resultados por parejas es decir, el factor de seguridad y a continuación la inclinación del talud a la que fue calculado.

3.b.- La subrutina "COHES"

Esta subrutina difiere muy poco del programa fuente, ya que, como este, realiza el método de las dovelas para el análisis de los taludes en suelos cohesivos. A partir de esto, podemos decir que la explicación de esta subrutina es prácticamente la misma que la de el programa principal, salvo algunas diferencias, -

las cuales procederemos a explicar.

Una de estas diferencias es que la subrutina ejecuta la ecuación vista en el inciso a del capítulo anterior, o sea:

$$F.S. = \frac{CGR^2}{\sum M} \text{ ----- (Ec. III-6)}$$

en la cual lógicamente no interviene el ángulo de fricción interna del suelo puesto que es nulo.

El sistema de abatimiento del talud (comenzando por 90°), variación de centros y generación de radios se sigue en el mismo orden que en el programa fuente, con la salvedad de que en la subrutina la variación de las coordenadas centrales es mayor que en el programa principal, esto es, la máquina prueba con menor cantidad de círculos que el programa original. La repercusión de esto no es muy grande ya que los círculos probados son lo suficientemente significativos para dar resultados correctos.

Al analizar los taludes en suelos puramente cohesivos (cap. -- III) mencionamos que el profesor D. W. Taylor había construido unas gráficas para obtener el factor de seguridad mínimo en taludes hechos en este tipo de suelo. Estos estudios se pueden resumir como sigue: Taylor obtuvo al través de sus análisis un Número de Estabilidad, al cual usó como constante de proporcionalidad en la relación $c \propto \gamma H$. Taylor encontró que esta ley de proporcionalidad es la que rige a la cohesión necesaria para garantizar la estabilidad de un talud. El Número de Estabilidad (N_e) depende exclusivamente de la inclinación del talud (β), con lo cual Taylor descubrió que para $\beta \leq 53^\circ$ se producen

fallas de pie, mientras que para $\beta > 53^\circ$ se producen fallas de base.

Después de sus estudios, Taylor demostró que el círculo crítico de falla, y a su vez el que arroja el factor de seguridad mínimo, es aquel cuyo ángulo central (θ) mide $133^\circ 30'$, la abscisa de su centro se encuentra emplazada en el punto medio del ancho del talud y su ordenada es aquella que haga infinito el radio del círculo.

La subrutina toma en cuenta esta teoría, con lo cual, al ser $\beta < 53^\circ$ emplaza la abscisa del centro del círculo en el punto citado, y a la ordenada le da un valor tal que sin llegar, por supuesto, a ser infinito, sí es lo suficientemente grande para dar resultados prácticamente iguales a los obtenidos por Taylor. Así mismo, fija el ángulo θ en $133^\circ 30'$ y realiza una traslación de ejes para evitar que en algún momento la máquina trabaje con valores negativos. Aquí solamente realiza una iteración, la que da el factor de seguridad mínimo.

Al igual que el programa fuente, la subrutina imprime juegos de resultados comenzando por la inclinación del talud, las coordenadas centrales del círculo en turno, el mínimo factor de seguridad con su radio generador, y, en parejas, subsecuentes factores de seguridad en orden creciente con sus respectivos radios asociados. Esto, como ya se vió, siempre que $\beta > 53^\circ$.

La manera de usar cualquiera de las dos subrutinas es muy sencilla. Si se quiere analizar un talud en un suelo friccionante, la cohesión de ese suelo no tendrá valor, por lo tanto, en la tarjeta que contiene el dato de la cohesión en el lugar de esta se perforará un cero. De la misma manera, para analizar un ta-

lud en un suelo cohesivo, el valor de la fricción interna del suelo será igualmente cero, el cual se perforará en el lugar co rrespondiente.

4.- Datos:

Las instrucciones para poder trabajar con el programa son, esencialmente, aquellas que indican la manera de introducir los datos al programa.

Los datos que se le darán a la máquina son los siguientes:

- a) Número de taludes a analizar (NT)
- b) Cohesión del suelo en toneladas sobre metros cuadrados (COH)
- c) Angulo de fricción interna del suelo en grados (PHI)
- d) Peso volumétrico del suelo en toneladas sobre metros cúbicos (GAMMA)
- e) Coordenadas que definen al talud en metros (XA, XB, XE, YB, YC)
- f) Ancho de cada una de las dovelas (AD) en metros
- g) Altura del talud en metros (H)
- h) Número de radios deseado (NR)
- i) Decremento de inclinación del talud en grados (RN)

Dado que el programa ya tiene establecidos los formatos de lectura, los datos deben ser perforados en las tarjetas en un cierto orden. A continuación explicaremos la manera de perforar los datos en las tarjetas.

La primera tarjeta de datos es la que contiene la variable NT (número de taludes) y cuyo formato es de tres campos, es decir,

se pueden analizar desde uno hasta 999 taludes distintos en una sola corrida de programas (esto depende del tiempo de procesamiento que se disponga y por supuesto del número de taludes que se requiera analizar). Este número deberá perforarse dentro de las tres primeras columnas de la tarjeta; si el número es de un sólo dígito, se perforará en la tercera columna; si es de dos dígitos, en la segunda y tercera; y si es de tres dígitos, en las tres columnas.

Las tres siguientes tarjetas contendrán datos específicos de cada talud, así que por cada talud que se analice existirán tres tarjetas de datos.

La segunda tarjeta contiene los datos del suelo en el que está formado el talud, esto es, su cohesión, su ángulo de fricción interna y su peso volumétrico. Siendo estas tres variables reales, se usarán campos llamados reales que incluyen en su formato el punto decimal, el cual abarca un lugar dentro de la tarjeta. Dado que el formato para las tres variables es F5.2, se requerirán las cinco primeras columnas de la tarjeta para dar la cohesión del suelo cuyo campo será de dos cifras enteras, dos cifras decimales y el punto decimal. Las siguientes cinco columnas serán usadas para dar el ángulo de fricción interna, igualmente con dos cifras enteras y dos cifras decimales (de aquí que si el dato de este ángulo se tiene en grados y minutos habrá que dividir los minutos entre 60 y el resultado será la parte decimal que se incluirá en la tarjeta). De las columnas 11 a la 15 se perforará el valor del peso volumétrico de la misma manera que los dos datos anteriores. En el caso de que el suelo no contenga cohesión o fricción interna, deberá perforarse solamente el punto decimal en el lugar que corresponda.

La siguiente tarjeta contiene las coordenadas de los puntos que definen el talud, todas en campos reales con formatos de siete lugares con cuatro cifras enteras, dos cifras decimales y el punto decimal en el quinto lugar. Así pues, las primeras siete columnas contendrán el valor de la abscisa XA; las siguientes siete contendrán el valor de la abscisa XB; y así sucesivamente las coordenadas XE, YB y YC en este orden.

La última tarjeta contendrá a las variables ancho de dovela AD, con un campo real de cinco lugares (dos cifras enteras, el punto decimal y dos cifras decimales), en las primeras cinco columnas de la tarjeta; H, altura del talud con un campo real de siete lugares (cuatro cifras enteras y dos decimales) en las siguientes siete columnas; NR número de radios con un campo entero de cuatro columnas, y por último RN decremento de inclinación con un campo real de cinco lugares (dos cifras enteras y dos decimales) en las columnas 17 a la 21.

La figura IV-4 ilustra de manera más explícita la forma de perforar los datos en las tarjetas.

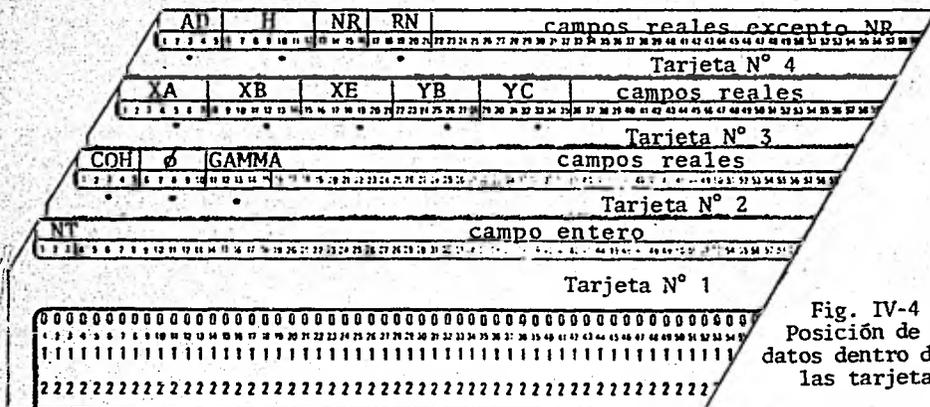


Fig. IV-4
Posición de los
datos dentro de -
las tarjetas.

5.- Limitaciones del programa y otros aspectos de importancia: El programa contiene ciertas limitaciones que restringen su uso- nombraremos aquí las principales. La mayoría de estas se basan en el tiempo disponible de procesamiento el cual es un factor -- preponderante para la exactitud de los resultados.

- a) Si el tiempo de procesamiento disponible es reducido, será - muy difícil analizar un número grande de taludes.
- b) En el método de las dovelas, el programa presupone dovelas - de forma rectangular, lo cual es válido siempre y cuando el - ancho de las dovelas sea lo suficientemente pequeño para con - siderar despreciable el error por aproximación geométrica. - Dar como dato un ancho de dovela muy pequeño repercutiría en el tiempo de procesamiento ya que éste tendría una duración - mayor, por lo que se recomienda dar un ancho de dovela con - gruente a la precisión que se desee y al tiempo disponible - de uso de máquina, de tal manera que el proceso no ocupe de - demasiado tiempo y por otro lado que la exactitud de los resul - tados sea aceptable.
- c) Existen dos casos que pueden ser estudiados mediante el pro - grama: Primero, obtener el factor de seguridad mínimo para - una inclinación conocida del talud. Segundo, conociendo el - valor del factor de seguridad mínimo aceptable, probar con - varias inclinaciones para saber cuál es el máximo ángulo al - que puede inclinarse el talud sin bajar el factor de seguri - dad en cuestión. Ahora bien, en la práctica, puede presen - tarse un tercer caso que consista en buscar la altura de cor - te conociendo el factor de seguridad y el ángulo del talud; - esto no es muy frecuente, ya que la mayoría de las veces se - conoce la altura de corte de proyecto; cuando esto suceda y -

se quiera conocer la altura a la que se deba cortar, habrá - que probar con varias alturas hasta que una de ellas arroje el valor deseado del factor de seguridad en la inclinación- requerida.

Dentro de los aspectos de importancia está el de el diseño de - los formatos de escritura los cuales estan hechos para definir- todos y cada uno de los resultados dados por la máquina. Si se prefieren otros tipos de formatos, se pueden cambiar los actua- les, pero teniendo cuidado en respetar el orden en que se imprmen los resultados y los campos de salida dados a los mismos.

6.- Codificación del programa

A continuación se presenta la codificación tarjeta por tarjeta, tanto del programa como de las dos subrutinas, según fue impre- sa por la computadora.


```

P(SM)=S1
RAD1=RAD(L)
RAU(L)=RAU(H)
RAU(H)=RAU1

```

```

20 CONTINUE
19 CONTINUE

```

```

C 1. IMPRESION DE LAS CURVAS NUMS CENTRALES DEL CIRCULO EN TURNO
Y LA FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO ALOCADO A EL.

```

```

NR1(L)=(109)*X(1)+Y(1)
NR1(L)=(89)*S(1)+RAU(1)

```

```

C 2. IMPRESION DE LOS SUCESIVIENTES FACTORES DE SEGURIDAD.

```

```

NR1(L)=(101)*P(SM)+RAU(H)

```

```

C 3. VARIACION DE LA ORDENADA CENTRAL.

```

```

63 JEU=1

```

```

YU(J)=YU(J-1)+VYD
IFL=I+J*01+02
IFR=J*05+30+36

```

```

64 NEZ
30 NEZ

```

```

C 4. CREACION DE LA INCLINACION DEL TALUD EN 'RN' GRADOS.

```

```

BETA(N)=BETA(N-1)+RN
XINCL=N/TAN(BETA(N))
XC=XC+XINCL
NR1(L)=(101)

```

```

C 5. IMPRESION DE 'AL' CON 'XE' SALIDA DE LAS ITERACIONES.

```

```

36 NEZ

```

```

BETA(N)=BETA(N-1)+RN
XINCL=N/TAN(BETA(N))
XC=XC+XINCL
NR1(L)=(101)

```

```

65 JEU=3

```

```

C 6. VARIACION DE LA ORDENADA CENTRAL.

```

```

62 JEU=1

```

```

XU(J)=XU(J-1)+VXD
YU(J)=YU(J-1)+VYD

```

```

64 NEZ

```

```

C 7. IMPRESION DE INICIO DEL CALCULO.

```

```

76 XX=AB
60 JEU=1

```

```

NR1(L)=(104)*XU(1)+YU(1)
NR1(L)=(94)*S(1)+RAU(1)

```

```

61 IFL=1

```

```

IFL=I+J*01+02
IFR=J*05+30+36

```

```

51 NR1(L)=(104)*XU(1)+YU(1)
NR1(L)=(94)*S(2)+RAU(2)
NR1(L)=(101)*P(S(2))+RAU(2)

```

```

52 NR1(L)=(104)*XU(1)+YU(1)
NR1(L)=(94)*S(2)+RAU(2)
NR1(L)=(101)*P(S(1))+RAU(1)

```

```

53 NR1(L)=(104)*XU(1)+YU(1)
NR1(L)=(94)*S(2)+RAU(2)
NR1(L)=(101)*P(S(1))+RAU(1)

```

```

C 8. IMPRESION DE LECTURA E IMPRESION.

```

```

69 FURPAT(1)

```

```

90 FURPAT(1)
91 FURPAT(2)

```

```

00200001A 3
00200001C 4
00200001D 5
00200001E 6
00200001F 7
002000020 8
002000021 9
002000022 10
002000023 11
002000024 12
002000025 13
002000026 14
002000027 15
002000028 16
002000029 17
002000030 18
002000031 19
002000032 20
002000033 21
002000034 22
002000035 23
002000036 24
002000037 25
002000038 26
002000039 27
002000040 28
002000041 29
002000042 30
002000043 31
002000044 32
002000045 33
002000046 34
002000047 35
002000048 36
002000049 37
002000050 38
002000051 39
002000052 40
002000053 41
002000054 42
002000055 43
002000056 44
002000057 45
002000058 46
002000059 47
002000060 48
002000061 49
002000062 50
002000063 51
002000064 52
002000065 53
002000066 54
002000067 55
002000068 56
002000069 57
002000070 58
002000071 59
002000072 60
002000073 61
002000074 62
002000075 63
002000076 64
002000077 65
002000078 66
002000079 67
002000080 68
002000081 69
002000082 70
002000083 71
002000084 72
002000085 73
002000086 74
002000087 75
002000088 76
002000089 77
002000090 78
002000091 79
002000092 80
002000093 81
002000094 82
002000095 83
002000096 84
002000097 85
002000098 86
002000099 87
002000100 88
002000101 89
002000102 90
002000103 91
002000104 92
002000105 93
002000106 94
002000107 95
002000108 96
002000109 97
002000110 98
002000111 99
002000112 100

```


FORMAT SEGMENT IS 0050 LONG
START OF SEGMENT 001
SEGMENT 001 IS 0029 LONG

NO LABELS DETECTED. NUMBER OF CARDS = 412.
COMPILATION TIME = 23 SECONDS ELAPSED, 5.70 SECONDS PROCESSING.
DECK STACK SIZE = 22 WORDS. FILES I/O = 140 WORDS. ESTIMATED CORE STORAGE REQUIREMENT = 2485 WORDS.
TOTAL PROGRAM CODE = 1034 WORDS. ARRAY STORAGE = 1200 WORDS.
NUMBER OF PROGRAM SEGMENTS = 16. NUMBER OF DISK SEGMENTS = 89.
PROGRAM CODE FILE = LABDISESTABILIDAD/OL/TALJDES ON PACK.
COMPILER COMPILED ON 06/12/81

7.- Reducción del Programa:

Con el propósito de hacer mas accesible en un momento dado el -- análisis de los taludes en suelos cohesivo-friccionantes, se hizo una reducción del programa fuente de manera que con la ayuda de una calculadora de Bolsillo programable, Texas Instruments modelo TI-59 pueda rápidamente establecerse el análisis; esto con las debidas limitaciones que presente la diferencia de capacidad entre una computadora y una calculadora de bolsillo. Precisamente de estas limitaciones surgen dos diferencias esenciales entre la reducción y el programa original: la primera consiste en que las coordenadas del centro del círculo crítico de falla no son generadas por el programa, sino que son un dato que se le dará a la calculadora. La segunda diferencia consiste en que la inclinación del talud tampoco variará dentro de la ejecución del programa, sino que también será un dato. Así pues, probando con varias inclinaciones del talud y en cada inclinación con varios -- centros pueden llegar a obtener resultados satisfactorios y muy parecidos a los arrojados por la computadora. En el siguiente capítulo ("APLICACIONES"), esta reducción se probará con varios ejemplos y sus resultados se irán comparando con los resultados dados por la máquina.

Dentro de esta reducción, los cálculos se realizan en base a 12 datos del talud en cuestión, los cuales deben proporcionarse tal y como se indica en las hojas de codificación anexadas al final de este capítulo. De estos datos, la cohesión, el ángulo de -- fricción interna (ϕ), el peso volumétrico (GAMMA, γ), el ángulo de inclinación del talud (β) y las coordenadas XB, YB y -- YC, se obtienen directamente de la geometría y composición inter

na del talud a analizar; los datos restantes dependen de las necesidades del analista, las cuales se explicarán brevemente a continuación:

- A.D. Corresponde al ancho de las dovelas; este valor es directamente proporcional a la rapidez del cálculo e inversamente proporcional a la exactitud del mismo; esto es, si este valor es pequeño, se tendrá gran exactitud en los resultados, pero la calculadora se tomará un tiempo relativamente largo.
- N. Es un valor tal que la calculadora genera $N+1$ radios. Para ejemplificar diremos que si N vale 1 se generarán 2 radios; si N vale 2 se generarán 3 radios y así sucesivamente. Por supuesto cada radio generará un factor de seguridad correspondiente.
- XA. Es la abscisa del punto sobre la base del talud de donde partirá el primer círculo de falla supuesto. Los $N+1$ puntos de inicio de fallas estarán localizados, equidistantes entre sí, sobre la base del talud definida por la línea $XA \rightarrow XB$ (Fig. IV-1).
- XO. Es la abscisa del centro del círculo de falla propuesto. Aquí cabe aclarar lo siguiente: es fácil demostrar que si el centro del círculo se encuentra emplazado hacia la izquierda del pie del talud, esto es, $XO < XB$, sólo se pueden producir fallas de pie, o bien fallas locales de base, caso que no interviene en este análisis, dado lo cual, la calculadora hace automáticamente $XA = XB$ por lo que, independientemente del valor dado a N , analizará sólo la falla por el pie del talud, es decir, solo proporcionará un

factor de seguridad con su respectivo radio. Para un -

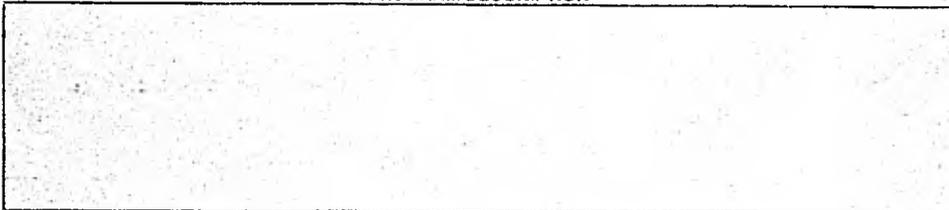
primer tanteo, se recomienda hacer $X_0 = X_B + \frac{Y_C - Y_B}{2 \tan \frac{\alpha}{2}}$

-Y₀. Es la ordenada del centro del círculo de falla. Como -
un primer tanteo y para fines prácticos se recomienda -
hacer $Y_0 = Y_C + 0.75 H$.

Con el objeto de que la variación de centros sea congruente al análisis proponemos que, en base a los estudios del Dr. Janbú, el centro varíe dentro del rango establecido en la figura IV-3.

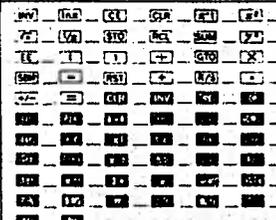
Ahora bien, después de almacenar los datos en memoria, para --
iniciar los cálculos debe oprimirse la tecla marcada con la le-
tra "A", con lo cual, y después de un cierto tiempo (que va-
riará según el ancho de dovelas AD), aparecerá el primer fac-
tor de seguridad. Después de anotarlo se oprime la tecla mar-
cada con "R/S", y al cabo de unos segundos aparecerá el radio-
correspondiente, el cual también se anotará. Acto seguido, se
presiona nuevamente la tecla "R/S" para volver a obtener más -
tarde otra pareja Factor-Radio hasta completar las N+1 parejas.
Cada vez que la calculadora se detenga para proporcionar un re-
sultado, este se anotará y se oprimirá la tecla "R/S". Al fi--
nal se tendrán varias parejas de resultados de las que se esco-
gerá el mínimo factor de seguridad para un cierto centro y una
cierta inclinación.

PROGRAM DESCRIPTION



USER INSTRUCTIONS

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS	DISPLAY
1	SE PROPORCIONA EL VALOR DE XO	XO	STO 00	XO
2	SE PROPORCIONA EL VALOR DE YO	YO	STO 01	YO
3	SE PROPORCIONA EL VALOR DE LA COHE- SION	COHESSION	STO 02	COHESSION
4	SE PROPORCIONA EL VALOR DE ϕ	ϕ	STO 03	ϕ
5	SE PROPORCIONA EL VALOR DEL PESO VOLUMETRICO	GAMMA	STO 04	GAMMA
6	SE PROPORCIONA EL VALOR DEL ANCHO DE DOVELAS	A. D.	STO 05	A. D.
7	SE PROPORCIONA EL VALOR DE XA	XA	STO 06	XA
8	SE PROPORCIONA EL VALOR DE XB	XB	STO 07	XB
9	SE PROPORCIONA EL VALOR DE YB	YB	STO 09	YB
10	SE PROPORCIONA EL VALOR DE YC	YC	STO 10	YC
11	SE PROPORCIONA EL VALOR DE N	N	STO 11	N
12	SE PROPORCIONA EL VALOR DE β	β	STO 12	β
13	INICIO DE LOS CALCULOS		A	

USER DEFINED KEYS	DATA REGISTERS (Op 08)	LABELS (Op 08)
A	0	
B	1	
C	2	
D	3	
E	4	
A	5	
B	6	
C	7	
D	8	
E	9	
FLAGS	1	2 3 4 5 6 7 8 9



PROGRAMMER _____

DATE _____

LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS
1		LBL	INICIO			(		11		17	
		A					RCL			-	
		RCL					09			RCL	
		07					-			00	
		-				6	RCL			)2	
		RCL					01			X	
		06					)2			=	
		=					X			\sqrt{x}	
		÷					=			+/-	
		RCL					\sqrt{x}			+	
	11				STO		RAD	12		RCL	
	=		RINC.		23				01		Y
	STO				X				=		
	27				-				STO		
	RCL			7	(				18		
	07				RCL				RCL		
	X=t				01				07		
	RCL				-				X=t		
	00				RCL				RCL		
	X=t				10				17		
	ST FLG				)2				X=t		
	X=t				X				B		
	STO				=				RCL		
	06				\sqrt{x}				05		
	ST FLG			8	+				X		
	2				RCL				(
	LBL				00				RCL		
	ST FLG				=		XD		09		
	RCL				STO						
	10				21				RCL		
	-				RCL				18		
	RCL				06				)		AREA
	09				+				=		
	=				RCL				STO		
	÷				05				19		
	RCL			9	÷				GTO		
	12				2				D		
	TAN				=		X		LBL		
	+				STO				B		
	RCL				17				RCL		
	07				LBL				08		
	=		XC		C				X=t		
	STO				RCL				RCL		
	08				21				17		
	LBL				X=t				X=t		
	A'			10	RCL				C		
	(				17				RCL		
	RCL				X=t				05		
	06				E				X		
	-				RCL				(
	RCL				23						
	00				X						
	)2				-						
	X				(
	+				RCL						

MERGED CODES			
62	67	72	77
63	68	73	78
64	69	74	79
65	70	75	80
66	71	76	81
68	73	78	83
69	74	79	84
70	75	80	85
71	76	81	86
72	77	82	87
73	78	83	88
74	79	84	89
75	80	85	90
76	81	86	91
77	82	87	92
78	83	88	93
79	84	89	94
80	85	90	95
81	86	91	96
82	87	92	97
83	88	93	98
84	89	94	99

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED



PROGRAMMER _____ DATE _____

LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS
16		(RCL 10 - RCL 09) X (RCL 17 - RCL 07) ÷ (RCL 08 - RCL 07) + RCL 09 - RCL 18) =		22		RCL 04 = STO 20 X (RCL 17 - RCL 00) = SUM 16 (RCL 17 - RCL 00) ÷ (RCL 18 - RCL 01) = INV TAN +/- STO 22 COS X RCL 20 = 1x1 SUM 14 RCL 22 SIN X RCL 20 = SUM 15 RCL	P.D.	27		05 SUM 17 GTO C' LBL E INV IF FLG 2 IF FLG RCL 21 - RCL 00 = ÷ (RCL 01 - RCL 10) = INV TAN SUM 13 (RCL 07 - RCL 00) ÷ (RCL 01 - RCL 09) = INV TAN +/- SUM	
17		RCL 17 - RCL 07) ÷ (RCL 08 - RCL 07) + RCL 09 - RCL 18) =		23		RCL 17 - RCL 00) = SUM 16 (RCL 17 - RCL 00) ÷ (RCL 18 - RCL 01) = INV TAN +/- STO 22 COS X RCL 20 = 1x1 SUM 14 RCL 22 SIN X RCL 20 = SUM 15 RCL		28		IF FLG RCL 21 - RCL 00 = ÷ (RCL 01 - RCL 10) = INV TAN SUM 13 (RCL 07 - RCL 00) ÷ (RCL 01 - RCL 09) = INV TAN +/- SUM	
18		RCL 07) + RCL 09 - RCL 18) =	AREA	24		RCL 18 - RCL 01) = INV TAN +/- STO 22 COS X RCL 20 = 1x1 SUM 14 RCL 22 SIN X RCL 20 = SUM 15 RCL		29		IF FLG RCL 21 - RCL 00 = ÷ (RCL 01 - RCL 10) = INV TAN SUM 13 (RCL 07 - RCL 00) ÷ (RCL 01 - RCL 09) = INV TAN +/- SUM	
19		STO 19 GTO D LBL C RCL 05 X (RCL 10 - RCL 18) = STO 19 LBL D RCL 19 X	AREA	25		RCL 01) = INV TAN +/- STO 22 COS X RCL 20 = 1x1 SUM 14 RCL 22 SIN X RCL 20 = SUM 15 RCL	ALFA	30		IF FLG RCL 21 - RCL 00 = ÷ (RCL 01 - RCL 09) = INV TAN +/- SUM	
20		RCL 10 - RCL 18) = STO 19 LBL D RCL 19 X	AREA	26		RCL 20 = 1x1 SUM 14 RCL 22 SIN X RCL 20 = SUM 15 RCL		31		IF FLG RCL 21 - RCL 00 = ÷ (RCL 01 - RCL 09) = INV TAN +/- SUM	
21		RCL 19 X				RCL					

MERGED CODES			
62	72	83	
63	73	84	
64	74	92	

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

PROGRAMMER _____ DATE _____

LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS
32		13 GTO				X RCL		43		25 INV	
		SUM				23				X \geq t	
		LBL				X				CLR	
		1F FLG				RCL				RCL	
		(		38		02				06	
		RCL				+				X \neq t	
		00				RCL				RCL	
		-				03				07	
33		RCL				TAN				INV	
		06				X				X \geq t	
		)				RCL				B \neq	
		÷				14				GTO	
		(				=				A'	
		RCL		39		÷				LBL	
		01				RCL				D'	
		-				=				X \neq t	
		RCL				15				RCL	
		09				R/S	F.S.			24	
		)				IF FLG				X \neq t	
34		INV				1				E'	
		TAN				D'				RCL	
		SUM				STO				23	
		13				24				GTO	
		(				ST FLG				PAUSE	
		RCL		40		1				LBL	
		21				LBL				E'	
		-				RCL				X \neq t	
		RCL				RCL				STO	
35		00				23				24	
		)				STO				GTO	
		÷				26				RCL	
		(				LBL				LBL	
		RCL				PAUSE				B'	
		01		41		R/S	RADIO			INV	
		-				RCL				ST FLG	
		RCL				27				1	
		10				SUM				INV	
		)				06				ST FLG	
36		=				1				2	
		INV				7				R/S	
		TAN				X \neq t					
		SUM				1					
		13				3					
		LBL		42		STO					
		SUM				25					
		RCL				LBL					
		13	CONVIERTE			CLR					
		X	THETA			CLR	BORRA				
		ST	EN			STO IND	LAS				
		÷	GRADOS			25	MEMORIAS				
		1	A			1	13, 14				
		8	THETA			SUM	15 y				
		0	EN			25	16				
37			RADIANES			RCL					

MERGED CODES							
62	63	64	72	73	74	83	84
62	63	64	72	73	74	83	84
62	63	64	72	73	74	83	84

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

TI-8181

LOCALIDADES DE MEMORIA USADAS EN EL PROGRAMA REDUCIDO PARA
CALCULADORA.

MEMORIA	CONTENIDO	COMENTARIOS
00	X0	Dato
01	Y0	Dato
02	COHESION	Dato
03	PHI	Dato
04	GAMMA	Dato
05	A.D.	Dato
06	XA	Dato
07	XB	Dato
08	XC	Abscisa del extremo superior del talud.
09	YB	Dato
10	YC	Dato
11	N	Dato
12	β	Dato
13	THETA	Angulo central del círculo de falla
14	SUMAC	$\sum W_i \cos \alpha_i$
15	SUMAS	$\sum W_i \sin \alpha_i$
16	SUMOM	$\sum W_i d_i$
17	X	Abscisa de la dovela i
18	Y	Ordenada de la dovela i
19	AREA	Area de la dovela i
20	P.D.	Peso de la dovela i
21	XD	Abscisa del punto de intersección del radio con la corona del talud.
22	ALFA	Angulo de la línea tangente a la dovela i respecto a la horizontal.
23	RAD	Radio del círculo de falla.

MEMORIA	CONTENIDO	COMENTARIOS
24	F.S. MIN	Factor de seguridad mínimo
25	BORRADOR	Memoria usada para borrar las memorias 13-16
26	RAD DEL F.S. MIN	Radio del factor de seguridad mínimo
27	R INC	Acercamiento de los radios al pie del- talud.

CAPITULO V

APLICACIONES

En este capítulo se verán, ejemplificadas, las aplicaciones del programa presentado en el capítulo anterior.

Se expondrán 5 ejemplos de taludes en diferentes tipos de suelos. De estos 5, tres serán taludes en suelos cohesivo-friccionantes, uno en suelo puramente friccionante y uno en suelo puramente cohesivo.

Los problemas tratarán de apegarse lo más posible a la realidad, esto es, los valores dados a las cohesiones, a los ángulos de fricción interna, a los pesos volumétricos y a las alturas de los taludes serán valores que se presenten frecuentemente en taludes reales.

Primeramente se expondrán los datos del talud, en seguida se -- mostrará un dibujo del talud en cuestión con sus coordenadas de definición y posteriormente se darán los resultados impresos -- por la máquina. Luego se procederá a anotar los resultados del análisis hecho por la calculadora TI-59.

TALUD # 1

Este es un talud hecho en un suelo cohesivo-friccionante cuyas características son:

COHESION = 2.00 Ton/M²

Angulo de fricción interna (ϕ) = 32°

Peso volumétrico (γ) = 1.8 Ton/M³

La altura del talud es de 8.00 Mts y las coordenadas que lo definen se muestran en la figura V-1:

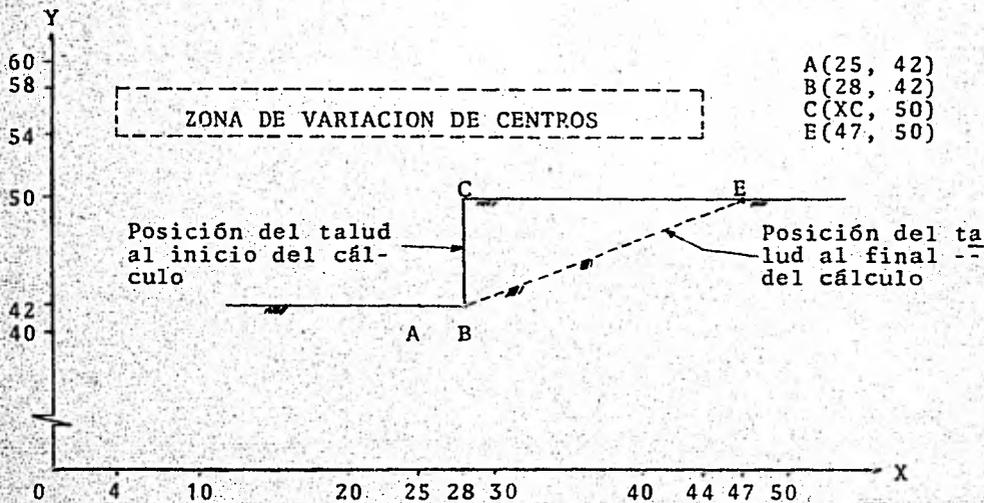


FIGURA V-1
DEFINICION DEL TALUD N° 1

Las constantes de cálculo serán:

Ancho de dovola (A.D.) = 1.5

Número de radios (N.R.) = 5

Decremento de inclinación
del talud (RN) = 15°

Con todos estos datos, la computadora arrojó los siguientes resultados.

VALOR #

EL VALOR DE ESTUDIO TIENE 1000 METROS DE ALTURA. ESTA FORMADO EN UN SUELO COHESIVO-FRICCIONANTE CUYAS CARACTERISTICAS SON:
COHESION = 7000 TON/M²
ANGULO DE FRICCION INTERNA = 30.00 GRADOS
PESO VOLUMETRAL = 1.60 TON/M³

A CONTINUACION SE DAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL ANALISIS EN EL SIGUIENTE ORDEN:
SE ANUNCIAN DE INMEDIATO LA INCLINACION DEL VALOR PARA CADA UNO DE LOS RESULTADOS
CON RESPECTO A LAS CORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PROPUESTO.
EL VALOR DE SEGURIDAD OBTENIDO PARA ESTE CIRCULO CON LA MAGNITUD DE SU RADIO
Y EL VALOR EN ORDEN CRECIENTE LOS FACTORES DE SEGURIDAD SUBSECUENTES CON SUS RADIOS CORRESPONDIENTES

.....
INCLINACION DEL VALOR RESPECTO A LA HORIZONTAL: 90.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO
X0 = 20.00
Y0 = 20.00

1.00 411 = 1.6343 R = 28.0444

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO
X0 = 20.00
Y0 = 20.00

1.00 411 = 1.6078 R = 27.7649

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO
X0 = 20.00
Y0 = 20.00

1.00 411 = 1.6705 R = 26.0328

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO
X0 = 20.00
Y0 = 20.00

1.00 411 = 1.6024 R = 27.2029

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO
X0 = 20.00
Y0 = 20.00

YO = 26.00

I.S. MIN = 1.0136 R = 26.0768

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 24.52

I.S. MIN = 1.0229 R = 25.0599

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.00
YO = 28.00

I.S. MIN = 0.9946 R = 25.6125

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 26.00

I.S. MIN = 1.0320 R = 24.4131

- 93 -
COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.00
YO = 28.00

I.S. MIN = 1.0000 R = 23.3238

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.00
YO = 28.00

I.S. MIN = 1.0131 R = 24.0832

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.00
YO = 25.00

I.S. MIN = 1.0003 R = 22.8035

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.00
YO = 24.00

I.S. MIN = 1.0094 R = 21.6333

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 12.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.0504 R = 22.6274

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 12.00
YO = 56.00

I.S. MIN = 1.0011 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 12.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 1.0391 R = 20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 12.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.0700 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 14.00
YO = 56.00

I.S. MIN = 1.0375 R = 19.7990

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 14.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 1.0149 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 16.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.1325 R = 20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 16.00
YO = 56.00

F.S. MIN = 1.0650 R = 16.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 16.00
Y0 = 54.00

F.S. MIN = 1.0153 R = 16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 58.00

F.S. MIN = 1.2144 R = 16.8600

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 56.00

F.S. MIN = 1.1327 R = 17.2047

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 58.00

F.S. MIN = 1.0925 R = 15.6205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 58.00
Y0 = 58.00

F.S. MIN = 1.3302 R = 17.8885

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 20.00
Y0 = 55.00

F.S. MIN = 1.2308 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 20.00
Y0 = 54.00

F.S. MIN = 1.1304 R = 14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

YB = 58.30

1.50 MIN = 1.4769 R = 17.0650

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 52.00
YD = 53.00

1.50 MIN = 1.3707 R = 15.2315

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 52.00
YD = 54.00

1.50 MIN = 1.2834 R = 13.4194

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 54.00
YD = 58.00

1.50 MIN = 1.1614 R = 16.4924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 54.00
YD = 55.00

1.50 MIN = 1.5653 R = 14.5652

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 54.00
YD = 54.00

1.50 MIN = 1.4543 R = 12.6491

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 58.00
YD = 58.00

1.50 MIN = 1.6663 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 58.00
YD = 56.00

1.50 MIN = 1.6450 R = 14.1421

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:

X0 = 56.00
Y0 = 54.00

P.S. MIN = 1.7239 R = 12.1655

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:

X0 = 58.00
Y0 = 58.00

P.S. MIN = 2.3144 R = 16.0812

P.S. = 2.3605 R = 16.0000

P.S. = 2.4647 R = 16.2788

P.S. = 2.5370 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:

X0 = 28.00
Y0 = 56.00

P.S. MIN = 2.1675 R = 14.0337

P.S. = 2.2648 R = 14.0000

P.S. = 2.3405 R = 14.3178

P.S. = 2.4046 R = 14.1421

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:

X0 = 28.00
Y0 = 54.00

P.S. MIN = 2.0609 R = 12.0416

P.S. = 2.1406 R = 12.0000

P.S. = 2.2137 R = 12.3693

P.S. = 2.2518 R = 12.1655

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 30.00$
 $YO = 38.00$

P.S. MIN =	2.5009	R =	16.2738
P.S. =	2.9065	R =	16.1245
P.S. =	2.9106	R =	16.7631
P.S. =	3.0052	R =	16.4924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 30.00$
 $YO = 36.00$

P.S. MIN =	2.6177	R =	14.3178
P.S. =	2.7921	R =	14.1421
P.S. =	2.6471	R =	14.8601
P.S. =	3.0056	R =	14.5602

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 30.00$
 $YO = 34.00$

P.S. MIN =	2.5552	R =	12.3693
P.S. =	2.6952	R =	12.1655
P.S. =	2.7644	R =	13.0000
P.S. =	2.8988	R =	12.6491

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 32.00$
 $YO = 38.00$

P.S. MIN =	3.3777	R =	16.7631
P.S. =	3.5041	R =	17.4642

F.S. = 3.6340 R = 16.4924

F.S. = 3.7307 R = 17.0660

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XU = 32.00
YU = 36.00

F.S. 414 = 3.3419 R = 14.8661

F.S. = 3.4639 R = 15.6525

F.S. = 3.6331 R = 14.5002

F.S. = 3.7206 R = 15.2315

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XU = 32.00
YU = 34.00

F.S. 414 = 3.3018 R = 13.0000

F.S. = 3.4693 R = 13.8924

F.S. = 3.5834 R = 12.6491

F.S. = 3.7618 R = 13.4164

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XU = 34.00
YU = 38.00

F.S. 414 = 4.1449 R = 17.4642

F.S. = 4.2272 R = 18.3576

F.S. = 4.5663 R = 17.0060

F.S. = 4.6045 R = 17.8665

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XU = 34.00
YU = 36.00

f.o.s. MIN =	4.1713	R =	15.6525
f.o.s.	= 4.2572	R =	16.6433
f.o.s.	= 4.6720	R =	15.2315
f.o.s.	= 4.6515	R =	16.1245

CUADERNAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 34.00
 Y0 = 34.00

f.o.s. MIN =	4.2741	R =	13.8524
f.o.s.	= 4.3342	R =	15.0600
f.o.s.	= 4.6772	R =	14.4222
f.o.s.	= 4.8634	R =	13.4164

-101-

CUADERNAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 38.00
 Y0 = 38.00

f.o.s. MIN =	5.1107	R =	18.3576
f.o.s.	= 5.1236	R =	19.4125
f.o.s.	= 5.6743	R =	18.8680
f.o.s.	= 5.8213	R =	17.8885

CUADERNAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 38.00
 Y0 = 38.00

f.o.s. MIN =	5.2650	R =	16.6433
f.o.s.	= 5.2658	R =	17.8645
f.o.s.	= 5.9335	R =	17.2047

F.S. = 6.1023 R = 16.1245

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 34.00

F.S. MIN = 5.3141 R = 16.2786

F.S. = 5.4371 R = 15.0000

F.S. = 5.1063 R = 15.6205

F.S. = 6.5748 R = 14.4222

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 38.00

F.S. MIN = 6.2271 R = 20.6155

F.S. = 6.3329 R = 19.4165

F.S. = 7.0514 R = 20.0000

F.S. = 7.4488 R = 18.8680

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 36.00

F.S. MIN = 6.3560 R = 19.1050

F.S. = 6.6914 R = 17.8045

F.S. = 7.4020 R = 18.4341

F.S. = 6.0767 R = 17.2647

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 34.00

F.S. MIN = 6.6072 R = 17.6918

I.S. = 6.8500 R = 16.2788

I.S. = 7.7296 R = 16.9706

I.S. = 8.6769 R = 15.6205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

X0 = 40.00
Y0 = 38.00

I.S. MIN = 7.4905 R = 21.9317

I.S. = 7.8533 R = 20.6125

I.S. = 8.7996 R = 21.2603

I.S. = 9.5666 R = 20.0600

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

X0 = 40.00
Y0 = 36.00

I.S. MIN = 7.6947 R = 20.5183

I.S. = 8.1900 R = 19.1600

I.S. = 9.0800 R = 19.7900

I.S. = 10.4623 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

X0 = 40.00
Y0 = 34.00

I.S. MIN = 5.3142 R = 19.2674

I.S. = 8.7460 R = 17.6918

I.S. = 9.2544 R = 16.4391

I.S. = 11.4726 R = 16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.00
YO = 36.00

P.S. MIN = 8.6638 R = 23.3452
 P.S. = 9.6528 R = 21.9317
 P.S. = 10.5582 R = 22.6274
 P.S. = 12.4245 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.00
YO = 36.00

P.S. MIN = 9.4793 R = 22.0227
 P.S. = 10.1091 R = 20.5163
 P.S. = 11.3162 R = 21.2603
 P.S. = 13.3117 R = 19.7990

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.00
YO = 34.00

P.S. MIN = 9.7753 R = 20.8087
 P.S. = 11.3371 R = 19.2094
 P.S. = 12.2246 R = 20.0090
 P.S. = 13.6522 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XO = 44.00
YO = 38.00

P.S. MIN = 10.6322 R = 24.8395
 P.S. = 11.5622 R = 23.3452

F.S. = 12.7726 R = 24.0632

F.S. = 15.3503 R = 22.6274

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 48.00
Y0 = 56.00

F.S. MIN = 11.0439 R = 23.6008

F.S. = 12.7671 R = 22.0227

F.S. = 13.8469 R = 22.8035

F.S. = 17.3476 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 44.00
Y0 = 54.00

F.S. MIN = 12.0946 R = 22.4722

F.S. = 13.8460 R = 20.8087

F.S. = 15.0486 R = 21.6333

F.S. = 19.9812 R = 20.0000

-101-

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 75.00 GRADUS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 48.00
Y0 = 58.00

F.S. MIN = 11.6225 R = 28.0444

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 48.00
Y0 = 58.00

F.S. MIN = 1.7567 R = 27.7649

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 24.00
Y0 = 24.00

F.S. MIN = 2.5544 R = 26.8328

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 28.00
Y0 = 28.00

F.S. MIN = 1.4369 R = 27.2029

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 26.00
Y0 = 26.00

F.S. MIN = 1.2283 R = 26.0768

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 28.00
Y0 = 28.00

F.S. MIN = 2.0402 R = 25.0579

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 28.00
Y0 = 28.00

F.S. MIN = 1.3245 R = 25.6125

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 26.00
Y0 = 26.00

F.S. MIN = 1.5403 R = 24.4131

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 24.00
Y0 = 24.00

F.S. MIN = 1.7684 R = 23.3238

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 26.00
Y0 = 26.00

$$YD = 26.00$$

$$f.s. \text{ MIN} = 1.2763 \quad R = 24.0632$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $YD = 26.00$

$$f.s. \text{ MAX} = 1.3705 \quad R = 22.8035$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $YD = 24.00$

$$f.s. \text{ MIN} = 1.6249 \quad R = 21.6333$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $YD = 28.00$

$$f.s. \text{ MIN} = 1.2612 \quad R = 22.6274$$

-106-
COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $YD = 12.00$
 $YD = 26.00$

$$f.s. \text{ MIN} = 1.2635 \quad R = 21.2603$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $YD = 12.00$
 $YD = 24.00$

$$f.s. \text{ MIN} = 1.5549 \quad R = 20.0000$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $YD = 28.00$

$$f.s. \text{ MIN} = 1.2366 \quad R = 21.2603$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $YD = 26.00$

$$f.s. \text{ MIN} = 1.2546 \quad R = 19.7990$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 14.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 1.3578 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 18.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.2507 R = 20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 18.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.2472 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 18.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 1.2456 R = 16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 18.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.2908 R = 18.8680

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 18.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.2373 R = 17.2047

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 18.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 1.2076 R = 15.6205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 18.00
YO = 58.00

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 34.00

I.S. MIN = 1.3558 R = 18.4371

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 38.00

I.S. MIN = 1.2597 R = 20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 38.00

I.S. MIN = 1.2472 R = 18.4371

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 34.00

I.S. MIN = 1.2456 R = 16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 38.00

I.S. MIN = 1.2908 R = 18.8680

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 38.00

I.S. MIN = 1.2373 R = 17.2047

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 34.00

I.S. MIN = 1.2676 R = 15.6205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 18.00
Y0 = 38.00

P.O. MIN = 1.3714 R = 17.8665

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 20.00
Y0 = 56.00

P.O. MIN = 1.2775 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 20.00
Y0 = 54.00

P.O. MIN = 1.2215 R = 14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 22.00
Y0 = 58.00

P.O. MIN = 1.4727 R = 17.0880

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 22.00
Y0 = 56.00

P.O. MIN = 1.3947 R = 15.2315

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 22.00
Y0 = 54.00

P.O. MIN = 1.3242 R = 13.4154

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 24.00
Y0 = 56.00

P.O. MIN = 1.6440 R = 16.4924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 24.00
Y0 = 56.00

P.O. MIN = 1.5323 R = 14.5602

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XU = 58.99

1.5. MIN = 1.4375 R = 12.6491

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XU = 58.99
YU = 36.00

1.5. MIN = 1.6540 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XU = 58.99
YU = 36.00

1.5. MIN = 1.7692 R = 14.1421

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XU = 58.99
YU = 34.00

1.5. MIN = 1.6407 R = 12.1635

-100-
COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XU = 58.99
YU = 38.00

1.5. MIN = 2.2108 R = 16.0000

1.5. = 2.2271 R = 16.0312

1.5. = 2.2709 R = 16.1245

1.5. = 2.3303 R = 16.2706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XU = 58.99
YU = 36.00

1.5. MIN = 2.1046 R = 14.0357

1.5. = 2.1079 R = 14.0000

1.5. = 2.1444 R = 14.1421

P.S. = 2.2002 R = 14.3178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 28.00
YO = 54.00

P.S. MIN = 1.9503 R = 12.0416

P.S. = 1.9804 R = 12.0000

P.S. = 2.0170 R = 12.1655

P.S. = 2.0734 R = 12.3693

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 30.00
YO = 58.00

P.S. MIN = 2.0541 R = 16.1245

P.S. = 2.0660 R = 16.2708

P.S. = 2.0749 R = 16.4924

P.S. = 2.0702 R = 16.7631

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 30.00
YO = 58.00

P.S. MIN = 2.5306 R = 14.1421

P.S. = 2.5307 R = 14.3178

P.S. = 2.5925 R = 14.5602

P.S. = 2.6270 R = 14.8601

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 30.00
YO = 54.00

P.S. MIN = 2.4132 R = 12.3693

f.o.s. = 2.4219 R = 12.1625

f.o.s. = 2.4647 R = 12.6491

f.o.s. = 2.5335 R = 13.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 32.00
YO = 38.00

f.o.s. MIN = 3.1708 R = 17.0880

f.o.s. = 3.1708 R = 16.7631

f.o.s. = 3.2406 R = 17.4642

f.o.s. = 3.2544 R = 16.9924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 36.00
YO = 36.00

f.o.s. MIN = 3.1192 R = 15.2315

f.o.s. = 3.1203 R = 14.8601

f.o.s. = 3.1513 R = 15.6525

f.o.s. = 3.2147 R = 14.5602

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 32.00
YO = 34.00

f.o.s. MIN = 3.0629 R = 13.0000

f.o.s. = 3.0621 R = 13.4164

f.o.s. = 3.1196 R = 12.6491

f.o.s. = 3.1219 R = 13.8924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

X0 = 38.00
Y0 = 58.00

P.S. MIN = 3.8214 R = 17.8655
 P.S. = 3.8314 R = 18.3576
 P.S. = 3.8522 R = 17.4642
 P.S. = 4.0024 R = 17.0680

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

X0 = 34.00
Y0 = 56.00

P.S. MIN = 3.8140 R = 16.1245
 P.S. = 3.8364 R = 16.6433
 P.S. = 3.8522 R = 15.6525
 P.S. = 4.0027 R = 15.2315

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

X0 = 34.00
Y0 = 54.00

P.S. MIN = 3.8319 R = 15.0000
 P.S. = 3.8419 R = 14.9222
 P.S. = 3.9020 R = 13.8924
 P.S. = 4.1022 R = 13.4164

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

X0 = 38.00
Y0 = 58.00

P.S. MIN = 4.5246 R = 19.4195
 P.S. = 4.6175 R = 18.8680

I.S. = 4.7167 R = 18.3576

I.S. = 4.9887 R = 17.8855

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 36.00
YO = 56.00

I.S. MIN = 4.6940 R = 17.8045

I.S. = 4.7070 R = 17.2647

I.S. = 4.8083 R = 16.6433

I.S. = 5.1123 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 36.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 4.6611 R = 16.2788

I.S. = 4.7362 R = 15.6255

I.S. = 4.9100 R = 15.0000

I.S. = 5.3410 R = 14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 5.5243 R = 20.6155

I.S. = 5.5933 R = 20.0000

I.S. = 5.7710 R = 19.4165

I.S. = 6.2155 R = 18.8690

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00

YU = 26.00

P.O. MIN	=	5.5932	R =	19.1020
P.O.	=	5.7319	R =	18.4391
P.O.	=	6.0307	R =	17.8045
P.O.	=	6.5515	R =	17.2047

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 34.00

P.O. MIN	=	5.7616	R =	17.6918
P.O.	=	5.6531	R =	16.9706
P.O.	=	6.1327	R =	16.2788
P.O.	=	6.8330	R =	15.6205

114-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.00
YO = 36.00

P.O. MIN	=	6.6040	R =	21.9317
P.O.	=	5.8095	R =	21.2603
P.O.	=	7.0992	R =	20.6105
P.O.	=	7.7816	R =	20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.00
YO = 36.00

P.O. MIN	=	5.7193	R =	20.5163
P.O.	=	5.9025	R =	19.7990
P.O.	=	7.3238	R =	19.1020

f.o.s. = 8.2605 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.00
YO = 34.00

f.o.s. MIN = 7.1507 R = 19.2094

f.o.s. = 7.3290 R = 18.4391

f.o.s. = 7.7218 R = 17.6918

f.o.s. = 8.7400 R = 16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.00
YO = 38.00

f.o.s. MIN = 7.7495 R = 23.3452

f.o.s. = 8.0476 R = 22.6274

f.o.s. = 8.6345 R = 21.9317

f.o.s. = 9.6104 R = 21.2003

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.00
YO = 36.00

f.o.s. MIN = 8.1514 R = 22.0227

f.o.s. = 8.4052 R = 21.2603

f.o.s. = 8.9548 R = 20.5153

f.o.s. = 10.2501 R = 19.7990

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.00
YO = 34.00

f.o.s. MIN =	8.3242	R =	20.8087
f.o.s.	= 8.8241	R =	20.0000
f.o.s.	= 9.0648	R =	19.2674
f.o.s.	= 11.4440	R =	18.4371

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 XC = 44.00
 YC = 36.00

f.o.s. MIN =	9.2162	R =	24.8395
f.o.s.	= 7.5634	R =	24.0832
f.o.s.	= 10.2533	R =	23.3422
f.o.s.	= 11.6728	R =	22.6274

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 XC = 44.00
 YC = 36.00

f.o.s. MIN =	9.4909	R =	23.6008
f.o.s.	= 10.0648	R =	22.8035
f.o.s.	= 11.1638	R =	22.0227
f.o.s.	= 12.9046	R =	21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 XC = 44.00
 YC = 34.00

f.o.s. MIN =	10.2473	R =	22.4722
f.o.s.	= 10.6300	R =	21.6333
f.o.s.	= 11.6490	R =	20.8087
f.o.s.	= 14.1695	R =	20.0000

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 60.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 12.00
Y0 = 58.00

I.S. MIN = 4.0997 R = 24.0632

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 12.00
Y0 = 58.00

I.S. MIN = 3.0097 R = 22.6274

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 12.00
Y0 = 58.00

I.S. MIN = 2.1093 R = 21.2603

-117-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 14.00
Y0 = 56.00

I.S. MIN = 3.1949 R = 19.7970

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 16.00
Y0 = 58.00

I.S. MIN = 1.8098 R = 20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 16.00
Y0 = 56.00

I.S. MIN = 2.2810 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 18.00
Y0 = 58.00

P.S. MIN = 1.6322 R = 18.8680

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 36.00

P.S. MIN = 1.7122 R = 17.2647

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 34.00

P.S. MIN = 2.5620 R = 15.6205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 38.00

P.S. MIN = 1.5522 R = 17.8685

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 38.00

P.S. MIN = 1.6227 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 34.00

P.S. MIN = 1.7331 R = 14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.00
YO = 38.00

P.S. MIN = 1.5629 R = 17.0680

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.00
YO = 36.00

P.S. MIN = 1.5624 R = 15.2315

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.00

Y0 = 24.00

F.S. MIN = 1.6327 R = 13.4164

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 24.00
Y0 = 26.00

F.S. MIN = 1.6589 R = 16.4924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 24.00
Y0 = 26.00

F.S. MIN = 1.5929 R = 14.5602

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 24.00
Y0 = 24.00

F.S. MIN = 1.5505 R = 12.6491

-110-
COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 26.00
Y0 = 28.00

F.S. MIN = 1.6321 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 26.00
Y0 = 26.00

F.S. MIN = 1.7327 R = 14.1421

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 26.00
Y0 = 24.00

F.S. MIN = 1.6449 R = 12.1655

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 28.00
Y0 = 28.00

F.S. MIN = 2.0026 R = 16.0000

P.S.	=	2.1146	R =	16.0312
P.S.	=	2.1643	R =	16.1245
P.S.	=	2.2145	R =	16.2758

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 XO = 28.00
 YO = 26.00

P.S. MIN	=	1.9522	R =	14.0000
P.S.	=	1.9756	R =	14.0357
P.S.	=	2.0028	R =	14.1421
P.S.	=	2.0450	R =	14.3178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 XO = 28.00
 YO = 24.00

-120-

P.S. MIN	=	1.8735	R =	12.0000
P.S.	=	1.8878	R =	12.0416
P.S.	=	1.9108	R =	12.1655
P.S.	=	1.9747	R =	12.3693

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 XO = 28.00
 YO = 28.00

P.S. MIN	=	2.0335	R =	16.1245
P.S.	=	2.0656	R =	16.2758
P.S.	=	2.0816	R =	16.4924
P.S.	=	2.5017	R =	16.7631

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $XD = 30.00$
 $YD = 26.00$

I.S. MIN = 2.3047 R = 14.1421
 I.S. = 2.3376 R = 14.3178
 I.S. = 2.3946 R = 14.5602
 I.S. = 2.4236 R = 14.8661

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $XD = 30.00$
 $YD = 24.00$

I.S. MIN = 2.1845 R = 12.1655
 I.S. = 2.2114 R = 12.3693
 I.S. = 2.2633 R = 12.6491
 I.S. = 2.3219 R = 13.0000

-121-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $XD = 30.00$
 $YD = 28.00$

I.S. MIN = 2.8830 R = 16.7631
 I.S. = 2.8923 R = 16.4924
 I.S. = 2.8951 R = 17.0680
 I.S. = 2.9111 R = 17.4642

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $XD = 32.00$
 $YD = 26.00$

I.S. MIN = 2.8143 R = 14.8661
 I.S. = 2.8232 R = 15.2315

f.o.s. = 2.6290 R = 14.5602

f.o.s. = 2.6449 R = 15.6525

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 32.00
Y0 = 34.00

f.o.s. MIN = 2.7075 R = 12.6471

f.o.s. = 2.7328 R = 13.0000

f.o.s. = 2.7666 R = 13.4164

f.o.s. = 2.8065 R = 13.8924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 34.00
Y0 = 38.00

f.o.s. MIN = 3.4313 R = 17.8885

f.o.s. = 3.4368 R = 18.3576

f.o.s. = 3.4372 R = 17.4642

f.o.s. = 3.4719 R = 17.0880

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 34.00
Y0 = 36.00

f.o.s. MIN = 3.3761 R = 16.1245

f.o.s. = 3.3904 R = 15.6525

f.o.s. = 3.4125 R = 16.6433

f.o.s. = 3.4307 R = 15.2315

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 34.00
Y0 = 34.00

P.O. MIN =	3.3547	R =	15.0000
P.O.	= 3.3628	R =	14.4242
P.O.	= 3.3776	R =	13.8424
P.O.	= 3.4490	R =	13.4164

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 38.00$
 $YO = 38.00$

P.O. MIN =	4.0742	R =	19.4165
P.O.	= 4.0746	R =	18.8680
P.O.	= 4.1343	R =	18.3576
P.O.	= 4.2119	R =	17.8655

-123-
 COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 36.00$
 $YO = 36.00$

P.O. MIN =	4.1232	R =	17.8045
P.O.	= 4.1343	R =	17.2047
P.O.	= 4.1846	R =	16.6433
P.O.	= 4.2505	R =	16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 36.00$
 $YO = 34.00$

P.O. MIN =	4.0132	R =	16.2786
P.O.	= 4.1177	R =	15.6205
P.O.	= 4.1907	R =	15.0000

F.S. = 4.3543 R = 14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 38.00

F.S. MIN = 4.8467 R = 20.6155

F.S. = 4.8966 R = 20.0000

F.S. = 4.9135 R = 19.4165

F.S. = 5.1442 R = 18.8660

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 36.00

F.S. MIN = 4.8708 R = 19.1050

F.S. = 4.9742 R = 18.4391

F.S. = 5.1276 R = 17.8045

F.S. = 5.3022 R = 17.2047

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 34.00

F.S. MIN = 4.9570 R = 17.6918

F.S. = 5.0241 R = 16.9700

F.S. = 5.1401 R = 16.2788

F.S. = 5.3900 R = 15.6205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.00
YO = 38.00

F.S. MIN = 5.7278 R = 21.9317

P.O.	=	5.8925	R =	21.2603
P.O.	=	5.8319	R =	20.6155
P.O.	=	5.7855	R =	20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $XO = 38.00$
 $YO = 38.00$

P.O. MIN	=	5.7923	R =	20.5103
P.O.	=	5.9252	R =	19.7990
P.O.	=	6.1435	R =	19.1050
P.O.	=	6.5222	R =	18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $XO = 34.00$
 $YO = 34.00$

-125-

P.O. MIN	=	5.0927	R =	19.2094
P.O.	=	5.2047	R =	18.4391
P.O.	=	6.3195	R =	17.6918
P.O.	=	6.7266	R =	16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $XO = 32.00$
 $YO = 38.00$

P.O. MIN	=	6.6757	R =	23.3452
P.O.	=	6.9073	R =	22.6274
P.O.	=	7.2302	R =	21.9317
P.O.	=	7.7308	R =	21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $X_0 = 22.00$
 $Y_0 = 26.00$

1.5. MIN = 6.9739 R = 22.0227
 1.5. = 7.1304 R = 21.2603
 1.5. = 7.4070 R = 20.5183
 1.5. = 7.9070 R = 19.7990

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $X_0 = 22.00$
 $Y_0 = 24.00$

1.5. MIN = 7.0955 R = 20.8087
 1.5. = 7.4073 R = 20.0000
 1.5. = 7.9732 R = 19.2094
 1.5. = 8.5205 R = 18.4391

-126-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $X_0 = 44.00$
 $Y_0 = 26.00$

1.5. MIN = 7.6741 R = 24.6395
 1.5. = 8.1302 R = 24.0832
 1.5. = 8.5275 R = 23.3452
 1.5. = 9.1907 R = 22.6274

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $X_0 = 44.00$
 $Y_0 = 26.00$

1.5. MIN = 8.0506 R = 23.6008
 1.5. = 8.4616 R = 22.8035

P.S. = 9.0791 R = 22.0227

P.S. = 9.7170 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 24.00
YO = 24.00

P.S. MIN = 8.5765 R = 22.4722

P.S. = 9.6545 R = 21.6333

P.S. = 9.3405 R = 20.8007

P.S. = 10.3319 R = 20.0000

- 127 - INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 45.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 58.00
YO = 58.00

P.S. MIN = 3.3517 R = 17.8085

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.00
YO = 28.00

P.S. MIN = 2.2406 R = 17.0680

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.00
YO = 26.00

P.S. MIN = 2.9008 R = 15.2315

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 28.00
YO = 28.00

P.S. MIN = 1.9640 R = 16.4924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 24.00
YO = 56.00

I.S. MIN = 2.0601 R = 14.5692

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 24.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 2.0592 R = 12.6491

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 1.9398 R = 16.1245

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 56.00

I.S. MIN = 1.9002 R = 14.1421

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 26.00
YO = 54.00

I.S. MIN = 1.9801 R = 12.1695

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 28.00
YO = 58.00

I.S. MIN = 2.0341 R = 16.0000

I.S. = 2.0695 R = 16.0312

I.S. = 2.1435 R = 16.1245

I.S. = 2.2009 R = 16.2788

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 28.00

Y0 = 26.00

1.5. MIN = 1.9521 R = 14.0000

1.5. = 2.0069 R = 14.0337

1.5. = 2.0427 R = 14.1421

1.5. = 2.1026 R = 14.3178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL ARCO DE FALLA GENERADO:

X0 = 28.00
Y0 = 24.00

1.5. MIN = 1.9240 R = 12.0000

1.5. = 1.9522 R = 12.0416

1.5. = 1.9775 R = 12.1655

1.5. = 2.0277 R = 12.3693

COORDENADAS DEL CENTRO DEL ARCO DE FALLA GENERADO:

X0 = 30.00
Y0 = 28.00

1.5. MIN = 2.2725 R = 16.1245

1.5. = 2.3226 R = 16.2788

1.5. = 2.3413 R = 16.4924

1.5. = 2.3740 R = 16.7631

COORDENADAS DEL CENTRO DEL ARCO DE FALLA GENERADO:

X0 = 26.00

1.5. MIN = 2.1544 R = 14.1421

1.5. = 2.2061 R = 14.3178

1.5. = 2.2529 R = 14.5602

F.S. = 4.3007 R = 14.8661

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
X0 = 39.00
Y0 = 34.00

F.S. MIN = 2.0540 R = 12.1695

F.S. = 2.0940 R = 12.3673

F.S. = 2.1501 R = 12.6491

F.S. = 2.2177 R = 13.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
X0 = 32.00
Y0 = 38.00

F.S. MIN = 2.6101 R = 16.4924

F.S. = 2.6241 R = 16.7631

F.S. = 2.6417 R = 17.0880

F.S. = 2.6605 R = 17.4642

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
X0 = 36.00
Y0 = 36.00

F.S. MIN = 2.5360 R = 14.5602

F.S. = 2.5470 R = 14.8661

F.S. = 2.5706 R = 15.2315

F.S. = 2.6167 R = 15.6525

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
X0 = 32.00
Y0 = 38.00

1.5. MIN =	2.4173	R =	12.6491
1.5. =	2.4818	R =	13.0000
1.5. =	2.5193	R =	13.4104
1.5. =	2.5147	R =	13.8924

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADAS:

X0 = 34.00
Y0 = 55.00

1.5. MIN =	3.0476	R =	17.0680
1.5. =	3.0480	R =	17.4642
1.5. =	3.0693	R =	17.8865
1.5. =	3.1028	R =	18.3576

-131- CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADAS:

X0 = 34.00
Y0 = 56.00

1.5. MIN =	2.9065	R =	15.2315
1.5. =	2.9941	R =	15.6525
1.5. =	3.0193	R =	16.1245
1.5. =	3.0679	R =	16.6433

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADAS:

X0 = 34.00
Y0 = 54.00

1.5. MIN =	2.9518	R =	13.4104
1.5. =	2.9624	R =	13.8924
1.5. =	2.9807	R =	14.4222
1.5. =	3.1294	R =	15.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 38.00

F.S. MIN =	3.5676	R =	18.3576
F.S.	= 3.5776	R =	18.6600
F.S.	= 3.6131	R =	17.8685
F.S.	= 3.6209	R =	19.4165

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 38.00

F.S. MIN =	3.5777	R =	16.6433
F.S.	= 3.5937	R =	16.1245
F.S.	= 3.6013	R =	17.2047
F.S.	= 3.6466	R =	17.6045

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 38.00

F.S. MIN =	3.5631	R =	15.6205
F.S.	= 3.5631	R =	15.0000
F.S.	= 3.5737	R =	16.2786
F.S.	= 3.6000	R =	14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 38.00

F.S. MIN =	4.2433	R =	20.0000
------------	--------	-----	---------

P.S.	=	4.2397	R =	19.4105
P.S.	=	4.2639	R =	20.6155
P.S.	=	4.3117	R =	18.8600

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 38.00
YO = 38.00

P.S. MIN	=	4.2641	R =	19.1020
P.S.	=	4.2717	R =	18.4371
P.S.	=	4.3228	R =	17.8045
P.S.	=	4.3728	R =	17.2047

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 38.00
YO = 38.00

P.S. MIN	=	4.2796	R =	16.9706
P.S.	=	4.2931	R =	16.2788
P.S.	=	4.3109	R =	17.6918
P.S.	=	4.3796	R =	15.6205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 38.00
YO = 38.00

P.S. MIN	=	4.3873	R =	21.9317
P.S.	=	5.0346	R =	21.2633
P.S.	=	5.0548	R =	20.6155
P.S.	=	5.1821	R =	20.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 48.00
YO = 58.00

P.S. MIN = 5.5161 R = 20.5183
P.S. = 5.5307 R = 19.7990
P.S. = 5.1034 R = 19.1000
P.S. = 5.2675 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 54.00
YO = 54.00

P.S. MIN = 5.2541 R = 18.4391
P.S. = 5.2242 R = 17.6918
P.S. = 5.2293 R = 19.2094
P.S. = 5.3423 R = 16.9706

-134-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 58.00
YO = 58.00

P.S. MIN = 5.1742 R = 23.3452
P.S. = 5.8448 R = 22.6274
P.S. = 5.9900 R = 21.9317
P.S. = 5.2215 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 56.00
YO = 56.00

P.S. MIN = 5.9733 R = 22.0227
P.S. = 5.9697 R = 21.2603

f.o.s. = 5.0072 R = 20.5183

f.o.s. = 5.2751 R = 19.7990

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 52.00$
 $Y_0 = 54.00$

f.o.s. MIN = 6.0403 R = 20.8087

f.o.s. = 6.1546 R = 20.0000

f.o.s. = 6.4100 R = 19.2074

f.o.s. = 6.6077 R = 18.4391

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 44.00$
 $Y_0 = 58.00$

f.o.s. MIN = 6.7416 R = 24.8375

f.o.s. = 6.8192 R = 24.0632

f.o.s. = 6.9524 R = 23.3452

f.o.s. = 7.2748 R = 22.6274

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 44.00$
 $Y_0 = 56.00$

f.o.s. MIN = 6.8618 R = 23.6008

f.o.s. = 7.0370 R = 22.8035

f.o.s. = 7.3149 R = 22.0227

f.o.s. = 7.5600 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 44.00$
 $Y_0 = 54.00$

F.S. MIN =	7.2314	R =	22.4722
F.S. =	7.2706	R =	21.6333
F.S. =	7.4579	R =	20.8007
F.S. =	7.8873	R =	20.0000

INCLINACION DEL TALUZO RESPECTO A LA HORIZONTAL: 30.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XU = 28.00
YU = 28.00

F.S. MIN =	2.9121	R =	16.0000
F.S. =	2.9615	R =	16.0312
F.S. =	2.9923	R =	16.1245
F.S. =	3.0295	R =	16.2788

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XU = 28.00
YU = 28.00

F.S. MIN =	2.5002	R =	16.1245
F.S. =	2.5303	R =	16.4924
F.S. =	2.5506	R =	16.2788
F.S. =	2.5519	R =	16.7631

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XU = 28.00
YU = 28.00

F.S. MIN =	2.5276	R =	14.1421
------------	--------	-----	---------

f.o. = 2.5036 R = 14.3178

f.o. = 2.5910 R = 14.8651

f.o. = 4.5721 R = 14.5002

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 32.00
Y0 = 26.00

f.o. MIN = 2.5313 R = 16.4924

f.o. = 2.5433 R = 16.7631

f.o. = 2.5527 R = 17.0880

f.o. = 2.6006 R = 17.4642

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 32.00
Y0 = 26.00

f.o. MIN = 2.5128 R = 14.5002

f.o. = 2.5173 R = 14.8601

f.o. = 2.5333 R = 15.2315

f.o. = 4.5779 R = 15.0525

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 32.00
Y0 = 24.00

f.o. MIN = 2.4643 R = 12.6491

f.o. = 2.5049 R = 13.0000

f.o. = 2.5302 R = 13.4104

f.o. = 2.5076 R = 13.8424

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

-177-

YB = 38:00

1.5. MIN = 2.7497 R = 17.0660

1.5. = 2.7644 R = 17.4642

1.5. = 2.8005 R = 17.8685

1.5. = 2.8345 R = 18.3576

CULMINADAS DEL LÍNEA DEL ARCOLO DE FALLA GENERADA:
YB = 38:00

1.5. MIN = 2.6734 R = 15.2315

1.5. = 2.7168 R = 15.6525

1.5. = 2.7541 R = 16.1245

1.5. = 2.8276 R = 16.6433

-138-

CULMINADAS DEL LÍNEA DEL ARCOLO DE FALLA GENERADA:
YB = 34:00

1.5. MIN = 2.6733 R = 13.9164

1.5. = 2.7072 R = 13.8924

1.5. = 2.7404 R = 14.4222

1.5. = 2.8046 R = 15.0000

CULMINADAS DEL LÍNEA DEL ARCOLO DE FALLA GENERADA:
YB = 36:00

1.5. MIN = 3.0931 R = 17.8685

1.5. = 3.1176 R = 16.3576

F.S. = 3-1573 R = 18.8680

F.S. = 3-2148 R = 19.4165

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 36.00$
 $Y_0 = 38.00$

F.S. MIN = 3-0578 R = 16.1245

F.S. = 3-0941 R = 16.6433

F.S. = 3-1267 R = 17.2047

F.S. = 3-2327 R = 17.8045

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 36.00$
 $Y_0 = 34.00$

F.S. MIN = 3-0467 R = 14.4222

F.S. = 3-0688 R = 15.0000

F.S. = 3-1141 R = 15.6205

F.S. = 3-1630 R = 16.2788

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 38.00$
 $Y_0 = 38.00$

F.S. MIN = 3-5545 R = 18.8680

F.S. = 3-5606 R = 19.4165

F.S. = 3-6223 R = 20.0000

F.S. = 3-6945 R = 20.6155

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 38.00$
 $Y_0 = 36.00$

P.O. MIN =	3.5742	R =	17.2047
P.O. =	3.6003	R =	17.8045
P.O. =	3.6243	R =	18.4391
P.O. =	3.6776	R =	19.1050

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 34.00$
 $Y_0 = 34.00$

P.O. MIN =	3.5346	R =	15.6205
P.O. =	3.5613	R =	16.2788
P.O. =	3.6156	R =	16.9706
P.O. =	3.7194	R =	17.6918

-140-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 38.00$
 $Y_0 = 38.00$

P.O. MIN =	4.1411	R =	20.0000
P.O. =	4.1592	R =	20.6135
P.O. =	4.2075	R =	21.2603
P.O. =	4.2347	R =	21.9317

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 36.00$
 $Y_0 = 36.00$

P.O. MIN =	4.1501	R =	19.1050
P.O. =	4.1646	R =	18.4391
P.O. =	4.1632	R =	19.7990

f.o.s. = 4.2432 R = 20.5183

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 42.00
YO = 24.00

f.o.s. MIN = 4.1705 R = 16.9706

f.o.s. = 4.2146 R = 17.6918

f.o.s. = 4.2941 R = 18.4391

f.o.s. = 4.3046 R = 19.2094

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 42.00
YO = 28.00

f.o.s. MIN = 4.8077 R = 22.6274

f.o.s. = 4.8171 R = 21.9317

f.o.s. = 4.8341 R = 23.3452

f.o.s. = 4.8602 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 42.00
YO = 26.00

f.o.s. MIN = 4.8444 R = 20.5183

f.o.s. = 4.8535 R = 19.7990

f.o.s. = 4.8640 R = 21.2603

f.o.s. = 4.9671 R = 22.0227

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 42.00
YO = 24.00

f.o.s. MIN = 4.9218 R = 20.0000

1.5. = 5.0126 R = 20.8087
 1.5. = 5.0125 R = 18.4391
 1.5. = 5.0374 R = 19.2094

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 48.00$
 $Y_0 = 28.00$

1.5. MIN = 5.5292 R = 24.0632
 1.5. = 5.5313 R = 23.3422
 1.5. = 5.5717 R = 24.8395
 1.5. = 5.5942 R = 22.6274

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 48.00$
 $Y_0 = 56.00$

1.5. MIN = 5.6443 R = 23.6006
 1.5. = 5.6582 R = 22.8035
 1.5. = 5.7171 R = 22.0227
 1.5. = 5.7184 R = 21.2603

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 44.00$
 $Y_0 = 54.00$

1.5. MIN = 5.7845 R = 20.8087
 1.5. = 5.6027 R = 21.6333
 1.5. = 5.6690 R = 20.0000
 1.5. = 5.8940 R = 22.4722



.....
INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 15.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.00
YO = 38.00

P.S. MIN =	4.0342	R =	20.6155
P.S. =	4.0360	R =	20.0000
P.S. =	4.0776	R =	21.2603
P.S. =	4.1017	R =	21.9317

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.00
YO = 38.00

P.S. MIN =	4.1547	R =	21.2603
P.S. =	4.1660	R =	21.9317
P.S. =	4.2046	R =	22.6274
P.S. =	4.2710	R =	23.3452

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.00
YO = 36.00

P.S. MIN =	4.1775	R =	19.7990
P.S. =	4.2138	R =	20.5183
P.S. =	4.2991	R =	21.2603
P.S. =	4.4162	R =	22.0227

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.00
YO = 34.00

P.S. MIN =	4.3579	R =	18.4371
P.S. =	4.4177	R =	20.0000
P.S. =	4.4258	R =	19.2094
P.S. =	4.4838	R =	20.8087

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 44.00
Y₀ = 58.00

P.S. MIN =	4.3929	R =	22.6274
P.S. =	4.4370	R =	23.3422
P.S. =	4.5205	R =	24.0632
P.S. =	4.6345	R =	24.8395

-144-

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 44.00
Y₀ = 56.00

P.S. MIN =	4.4853	R =	21.2003
P.S. =	4.5834	R =	22.0227
P.S. =	4.6207	R =	22.8035
P.S. =	4.6973	R =	23.6002

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 44.00
Y₀ = 54.00

P.S. MIN =	4.6013	R =	20.0000
P.S. =	4.6458	R =	20.8087
P.S. =	4.7545	R =	21.6333

1.50

F = 4.9195

R = 22.4722

La aplicación práctica de estos resultados sería la siguiente:- Si se requiere hacer un talud en un suelo con las características anotadas y se especifica que el factor de seguridad debe ser, por citar un ejemplo, de 1.2, la incógnita será la inclinación que debe darse al talud. De los resultados obtenidos vemos que el talud no puede hacerse vertical (90°) puesto que fallaría a lo largo de un círculo con centro en O (8,58) cuyo factor de seguridad mínimo asociado a ese círculo es de 0.9946, -- bastante menor que el valor requerido de 1.2. En la siguiente iteración (inclinación de 75°) se observa que el más pequeño factor de seguridad de todos los calculados es el de 1.2275 -- arrojado por un círculo de falla cuyo centro está emplazado en O (20,54), de lo que se concluye que el inclinar el talud 75°es correcto para los requerimientos necesarios.

Ahora bien, el programa reducido para la calculadora fue cargado con las mismas características intrínsecas del suelo, suponiendo el mismo problema práctico, los resultados fueron los siguientes:

Datos:	XO = 8 m	XA = 25 m
	YO = 58 m	XB = 28 m
	COH = 2 Ton/m ²	YB = 42 m
	$\phi = 32^\circ$	YC = 50 m
	$\gamma = 1.8 \text{ Ton/m}^3$	N = 3
	AD = 1.5m	$\beta = 89.99^\circ$

Resultados:	F.S. = 0.994597	RAD = 25.612496
-------------	-----------------	-----------------

Cabe aclarar aquí algunas cosas importantes; a la inclinación -

del talud se le dió el valor de 89.99° y no de 90° por la razón de que la calculadora indica error al obtener la tangente de 90° (ver diagrama de flujo). Ahora bien, una vez alimentadas las memorias de la calculadora con los 12 datos especificados en las hojas de codificación y a los pocos minutos después de haber iniciado los cálculos oprimiendo la tecla "A" aparece el factor de seguridad 0.99459 ; después de anotarlo se oprime la tecla R/S, y aparece el radio 25.612496 asociado a ese factor de seguridad. Después de anotarlo se oprime la tecla R/S y a los pocos segundos aparece el valor de XB y los cálculos cesan; a partir de este momento se puede ya iniciar otro análisis. En este caso sólo se obtuvo una pareja de resultados (F.S.-RAD) dado que al ser XO menor que XB, solo se analizó la falla de pie, como se explicó en el capítulo IV. Si XO hubiese sido igual o mayor que XB, se hubieran obtenido 4 parejas, ya que $N=3$.

Conviene señalar que es requisito indispensable que aparezca en la pantalla el valor de XB ya que esto nos indica que el programa borró ya ciertas memorias clave y la calculadora está lista así para otro nuevo cálculo. Es importante aclarar también que siempre, cuando se comience otro proceso de cálculo, se debe volver a almacenar en memoria el valor de XA, aún cuando este sea el mismo que en el problema precedente. De los restantes 11 datos solo se volverán a almacenar en memoria aquellos que varíen.

Para este mismo problema se obtuvieron estos otros resultados:

Datos:	X0 = -20.0 m	XA = 25.0 m
	Y0 = 54.0 m	XB = 28.0 m
	COH = 2.0 Ton/ m ²	YB = 42.0 m
	$\phi = 32^\circ$	YC = 50.0 m
	$\gamma = 1.8 \text{ Ton/m}^3$	N = 3
	A.D. = 1.5 m	$\beta = 75^\circ$

Resultados:

F.S. = 1.227473 RAD = 14.422205

TALUD # 2

Este talud está formado en un suelo puramente friccionante cuyas características son:

$$\phi = 30^\circ$$

$$\gamma = 1.8 \text{ Ton/m}^3$$

La altura se supondrá de 3 mts. y por lo visto ya en el capítulo anterior no es necesario definir su posición por coordenadas ni establecer las constantes como ancho de dovela, número de radios, etc., puesto que el tipo de falla es diferente a aquella presentada en taludes formados de material cohesivo y cohesivo-friccionante. Si en el presente problema se requiere de un factor de seguridad mínimo de 1.4, por ejemplo, al revisar los resultados se observará que para cumplir con la restricción del factor de seguridad se deberá inclinar el talud 22° como máximo.

Con estos datos, la computadora arrojó los siguientes resultados:

EL TALUD ESTA FORMADO EN UN SUELO PURAMENTE FRICCIONANTE CUYO ANGULO DE FRICCION INTERNA ES DE: 30.00 GRADOS

A CONTINUACION SE RELACIONAN LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD
 PRIMERO SE MUESTRA EL FACTOR DE SEGURIDAD
 Y EN SEGUNDA EL ANGULO DE INCLINACION DEL TALUD AL CUAL DICHO FACTOR FUE CALCULADO

F.S. =	0.0101	INCLINACION DEL TALUD:	89. GRADOS
F.S. =	0.0202	INCLINACION DEL TALUD:	86. GRADOS
F.S. =	0.0302	INCLINACION DEL TALUD:	87. GRADOS
F.S. =	0.0403	INCLINACION DEL TALUD:	86. GRADOS
F.S. =	0.0505	INCLINACION DEL TALUD:	85. GRADOS
F.S. =	0.0606	INCLINACION DEL TALUD:	84. GRADOS
F.S. =	0.0708	INCLINACION DEL TALUD:	83. GRADOS
F.S. =	0.0811	INCLINACION DEL TALUD:	82. GRADOS
F.S. =	0.0914	INCLINACION DEL TALUD:	81. GRADOS
F.S. =	0.1017	INCLINACION DEL TALUD:	80. GRADOS
F.S. =	0.1121	INCLINACION DEL TALUD:	79. GRADOS
F.S. =	0.1226	INCLINACION DEL TALUD:	78. GRADOS
F.S. =	0.1332	INCLINACION DEL TALUD:	77. GRADOS
F.S. =	0.1438	INCLINACION DEL TALUD:	76. GRADOS
F.S. =	0.1546	INCLINACION DEL TALUD:	75. GRADOS
F.S. =	0.1654	INCLINACION DEL TALUD:	74. GRADOS
F.S. =	0.1764	INCLINACION DEL TALUD:	73. GRADOS

f.s. = 0.1875	INCLINACION DEL TALUD: 72. GRADUS
f.s. = 0.1967	INCLINACION DEL TALUD: 71. GRADUS
f.s. = 0.2100	INCLINACION DEL TALUD: 70. GRADUS
f.s. = 0.2215	INCLINACION DEL TALUD: 69. GRADUS
f.s. = 0.2331	INCLINACION DEL TALUD: 68. GRADUS
f.s. = 0.2449	INCLINACION DEL TALUD: 67. GRADUS
f.s. = 0.2569	INCLINACION DEL TALUD: 66. GRADUS
f.s. = 0.2690	INCLINACION DEL TALUD: 65. GRADUS
f.s. = 0.2814	INCLINACION DEL TALUD: 64. GRADUS
f.s. = 0.2940	INCLINACION DEL TALUD: 63. GRADUS
f.s. = 0.3067	INCLINACION DEL TALUD: 62. GRADUS
f.s. = 0.3198	INCLINACION DEL TALUD: 61. GRADUS
f.s. = 0.3331	INCLINACION DEL TALUD: 60. GRADUS
f.s. = 0.3466	INCLINACION DEL TALUD: 59. GRADUS
f.s. = 0.3605	INCLINACION DEL TALUD: 58. GRADUS
f.s. = 0.3746	INCLINACION DEL TALUD: 57. GRADUS
f.s. = 0.3891	INCLINACION DEL TALUD: 56. GRADUS
f.s. = 0.4039	INCLINACION DEL TALUD: 55. GRADUS
f.s. = 0.4191	INCLINACION DEL TALUD: 54. GRADUS
f.s. = 0.4347	INCLINACION DEL TALUD: 53. GRADUS

f.s. =	0.4507	INCLINACION DEL TALUD:	52. GRADUS
f.s. =	0.4671	INCLINACION DEL TALUD:	51. GRADUS
f.s. =	0.4840	INCLINACION DEL TALUD:	50. GRADUS
f.s. =	0.5015	INCLINACION DEL TALUD:	49. GRADUS
f.s. =	0.5194	INCLINACION DEL TALUD:	48. GRADUS
f.s. =	0.5379	INCLINACION DEL TALUD:	47. GRADUS
f.s. =	0.5570	INCLINACION DEL TALUD:	46. GRADUS
f.s. =	0.5768	INCLINACION DEL TALUD:	45. GRADUS
f.s. =	0.5973	INCLINACION DEL TALUD:	44. GRADUS
f.s. =	0.6166	INCLINACION DEL TALUD:	43. GRADUS
f.s. =	0.6406	INCLINACION DEL TALUD:	42. GRADUS
f.s. =	0.6635	INCLINACION DEL TALUD:	41. GRADUS
f.s. =	0.6874	INCLINACION DEL TALUD:	40. GRADUS
f.s. =	0.7122	INCLINACION DEL TALUD:	39. GRADUS
f.s. =	0.7382	INCLINACION DEL TALUD:	38. GRADUS
f.s. =	0.7654	INCLINACION DEL TALUD:	37. GRADUS
f.s. =	0.7938	INCLINACION DEL TALUD:	36. GRADUS
f.s. =	0.8236	INCLINACION DEL TALUD:	35. GRADUS
f.s. =	0.8550	INCLINACION DEL TALUD:	34. GRADUS
f.s. =	0.8860	INCLINACION DEL TALUD:	33. GRADUS

f.S. = 0.9229	INCLINACION DEL TALUD: 32. GRADUS
f.S. = 0.9597	INCLINACION DEL TALUD: 31. GRADUS
f.S. = 0.9988	INCLINACION DEL TALUD: 30. GRADUS
f.S. = 1.0402	INCLINACION DEL TALUD: 29. GRADUS
f.S. = 1.0844	INCLINACION DEL TALUD: 28. GRADUS
f.S. = 1.1316	INCLINACION DEL TALUD: 27. GRADUS
f.S. = 1.1821	INCLINACION DEL TALUD: 26. GRADUS
f.S. = 1.2363	INCLINACION DEL TALUD: 25. GRADUS
f.S. = 1.2948	INCLINACION DEL TALUD: 24. GRADUS
f.S. = 1.3580	INCLINACION DEL TALUD: 23. GRADUS
f.S. = 1.4266	INCLINACION DEL TALUD: 22. GRADUS
f.S. = 1.5015	INCLINACION DEL TALUD: 21. GRADUS
f.S. = 1.5834	INCLINACION DEL TALUD: 20. GRADUS
f.S. = 1.6736	INCLINACION DEL TALUD: 19. GRADUS
f.S. = 1.7734	INCLINACION DEL TALUD: 18. GRADUS
f.S. = 1.8845	INCLINACION DEL TALUD: 17. GRADUS
f.S. = 2.0090	INCLINACION DEL TALUD: 16. GRADUS
f.S. = 2.1496	INCLINACION DEL TALUD: 15. GRADUS
f.S. = 2.3098	INCLINACION DEL TALUD: 14. GRADUS
f.S. = 2.4940	INCLINACION DEL TALUD: 13. GRADUS
f.S. = 2.7063	INCLINACION DEL TALUD: 12. GRADUS

f.s. = 2.9607	INCLINACION DEL TALUD:	11. GRADUS
f.s. = 3.2628	INCLINACION DEL TALUD:	10. GRADUS
f.s. = 3.6311	INCLINACION DEL TALUD:	9. GRADUS
f.s. = 4.0901	INCLINACION DEL TALUD:	8. GRADUS
f.s. = 4.6767	INCLINACION DEL TALUD:	7. GRADUS
f.s. = 5.4613	INCLINACION DEL TALUD:	6. GRADUS
f.s. = 6.5534	INCLINACION DEL TALUD:	5. GRADUS

Dado que la calculadora de bolsillo no se programó para efectuar el análisis de este tipo de taludes no podremos comparar resultados. Los ejemplos 3 y 5 representan taludes hechos al igual que el número 1, en suelos cohesivo-friccionantes, por lo cual solamente anotaremos sus características, sus constantes de cálculo, definiremos su perfil, para posteriormente mostrarlos resultados del análisis.

TALUD # 3

CARACTERISTICAS

$$COH = 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$\phi = 34^\circ$$

$$\gamma = 1.8 \text{ Ton/m}^3$$

$$H = 6 \text{ m}$$

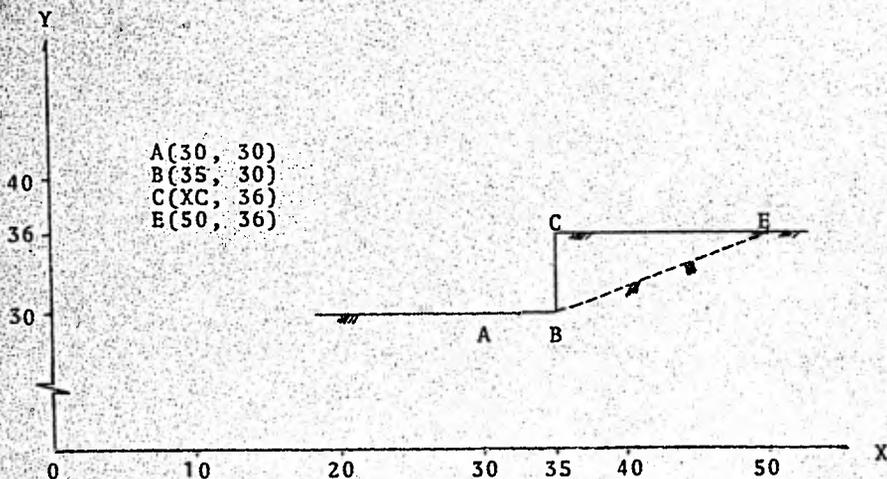
CONSTANTES DE CALCULO

$$AD = 2.5 \text{ m}$$

$$NR = 5$$

$$RN = 20^\circ$$

PERFIL



Los resultados de la computadora para este problema fueron los siguientes:

TALUD 3

EL TALUD EN ESTUDIO TIENE 6400 METROS DE ALTURA. ESTA FORMADO EN UN SUELO COHESIVO-FRICCIONANTE CUYAS CARACTERISTICAS SON:

COHESION = 1.00 TON/M²

ANGULO DE FRICCION INTERNA = 34.00 GRADOS

PESO VOLUMETRICO = 1.60 TON/M³

A CONTINUACION SE DAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL ANALISIS EN EL SIGUIENTE ORDEN:

SE ANIMARA SIMILITUDAMENTE LA INCLINACION Y EL TALUD PARA CADA JUEGO DE RESULTADOS

CONSIDERANDO LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PROPUESTO

Y EL RADIO DE SEGURIDAD MANEJADO PARA ESTE TALUD CON LA MAGNITUD DE SU RADIO

Y EL RADIO DE SEGURIDAD MANEJADO PARA LOS FACTORES DE SEGURIDAD SUBSECUENTES CON SUS RADIOS CORRESPONDIENTES

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 90.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 42.00

F.S. MIN = 0.7793 R = 21.0333

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 46.00

F.S. MIN = 0.7207 R = 20.0357

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 49.00

F.S. MIN = 0.7175 R = 20.1246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 42.00

F.S. MIN = 0.5093 R = 20.4022

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X₀ = 49.00

-156-

YD = 40.50

P.S. MIN = 0.7437 R = 19.5576

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 18.50
YD = 39.00

P.S. MIN = 0.7064 R = 18.7949

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 35.60
YD = 42.00

P.S. MIN = 0.6498 R = 19.2094

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 20.90
YD = 40.50

P.S. MIN = 0.7722 R = 18.3098

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 50.00
YD = 59.00

P.S. MIN = 0.7119 R = 17.4929

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 21.50
YD = 42.00

P.S. MIN = 0.9077 R = 18.0624

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 21.50
YD = 40.50

P.S. MIN = 0.8144 R = 17.1026

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 39.00

P.S. MIN = 0.7333 R = 16.2250

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 23.50
YO = 42.00

F.S. MIN = 0.9303 R = 16.9706

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 23.50
YO = 40.50

F.S. MIN = 0.8738 R = 15.9452

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 23.50
YO = 39.00

F.S. MIN = 0.7718 R = 15.0000

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 24.50
YO = 42.00

F.S. MIN = 0.9101 R = 15.9452

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 24.50
YO = 40.50

F.S. MIN = 0.9550 R = 14.8492

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 24.50
YO = 39.00

F.S. MIN = 0.8315 R = 13.8293

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 42.00

F.S. MIN = 0.9507 R = 15.0000

COU. DE FALLAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 40.50

P.S. MIN = 0.9275 R = 13.8273

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.00
YO = 39.00

P.S. MIN = 0.9195 R = 12.7279

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 27.50
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.0804 R = 14.1510

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 27.50
YO = 40.50

P.S. MIN = 0.9617 R = 12.9035

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 27.50
YO = 39.00

P.S. MIN = 0.9921 R = 11.7154

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 29.00
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.2339 R = 13.4164

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 40.00
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.0705 R = 12.0934

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 29.00
YO = 39.00

P.S. MIN = 0.9607 R = 10.8167

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XG = 30.50
YO = 42.00

f.s. MIN = 1.3445 R = 12.8100

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 30.50
YD = 40.50

f.s. MIN = 1.2806 R = 11.4237

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 30.50
YD = 39.50

f.s. MIN = 1.0963 R = 10.0623

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 32.00
YD = 42.00

f.s. MIN = 1.3544 R = 12.3673

-160- COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 32.00
YD = 40.50

f.s. MIN = 1.4143 R = 10.9202

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 36.00
YD = 39.00

f.s. MIN = 1.3019 R = 9.4668

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 33.50
YD = 42.00

f.s. MIN = 1.8641 R = 12.0934

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XD = 33.50
YD = 40.50

f.s. MIN = 1.7340 R = 10.6066

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 33.50
Y0 = 39.00

P.S. MIN = 1.5349 R = 9.1241

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 35.50
Y0 = 42.00

P.S. MIN = 2.2350 R = 12.0000

P.S. = 2.3440 R = 12.2577

P.S. = 2.4602 R = 13.0000

P.S. = 2.6633 R = 12.5723

P.S. = 2.6815 R = 12.0649

-161- COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 38.00
Y0 = 40.50

P.S. MIN = 2.0542 R = 10.5000

P.S. = 2.1571 R = 10.7935

P.S. = 2.3130 R = 11.6247

P.S. = 2.6240 R = 10.5741

P.S. = 2.6742 R = 11.1496

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 35.00
Y0 = 39.00

P.S. MIN = 2.0944 R = 9.0000

P.S. = 2.1548 R = 9.3448

F.S.	=	2.2012	R =	10.2956
F.S.	=	2.3874	R =	9.0864
F.S.	=	2.5233	R =	9.7500

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 XD = 38.50
 YD = 42.00

F.S. MIN	=	2.7400	R =	12.0934
F.S.	=	2.7578	R =	12.6491
F.S.	=	3.0090	R =	13.6473
F.S.	=	3.2503	R =	13.0902
F.S.	=	3.4719	R =	12.3111

-162-
 COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 XD = 38.50
 YD = 40.50

F.S. MIN	=	2.6703	R =	11.2361
F.S.	=	2.8095	R =	10.6066
F.S.	=	2.8230	R =	12.3491
F.S.	=	3.2011	R =	10.8541
F.S.	=	3.3631	R =	11.7394

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 XD = 38.50
 YD = 39.00

F.S. MIN	=	2.5213	R =	9.1241
F.S.	=	2.7006	R =	11.1018
F.S.	=	2.7073	R =	9.8489

F.S. = 3.1219 R = 10.4193

F.S. = 3.2549 R = 9.4108

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 42.00

F.S. MIN = 3.3322 R = 13.2004

F.S. = 3.5540 R = 14.4222

F.S. = 3.6569 R = 12.3693

F.S. = 4.0243 R = 13.7682

F.S. = 4.2702 R = 12.7304

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 40.30

F.S. MIN = 3.3926 R = 13.2004

F.S. = 3.4178 R = 11.8533

F.S. = 3.4307 R = 10.9202

F.S. = 4.0941 R = 12.4625

F.S. = 4.2047 R = 11.3275

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 39.00

F.S. MIN = 3.3119 R = 12.0416

F.S. = 3.3256 R = 9.4668

F.S. = 3.3376 R = 10.5475

P.S. = 3.4136 R = 11.2500

P.S. = 4.9337 R = 9.9530

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 39.30
YO = 42.00

P.S. MIN = 4.0721 R = 13.8924

P.S. = 4.2212 R = 15.3032

P.S. = 4.5506 R = 12.8160

P.S. = 4.4545 R = 14.5624

P.S. = 2.3945 R = 13.3065

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 40.30
YO = 40.30

P.S. MIN = 4.0822 R = 14.1598

P.S. = 4.3679 R = 12.6194

P.S. = 4.3960 R = 11.4237

P.S. = 2.0432 R = 13.3534

P.S. = 5.6044 R = 11.9713

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 39.30
YO = 39.00

P.S. MIN = 4.0425 R = 13.0663

P.S. = 4.1763 R = 11.4018

P.S. = 4.6670 R = 10.0623

F.S. = 4.9088 R = 12.2091

F.S. = 6.5242 R = 10.6800

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.80
YO = 41.80

F.S. MIN = 4.9701 R = 14.7054

F.S. = 5.0274 R = 16.2788

F.S. = 5.7243 R = 13.4164

F.S. = 6.0421 R = 15.4616

F.S. = 6.6937 R = 14.0201

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.50
YO = 41.00

F.S. MIN = 4.9139 R = 15.2069

F.S. = 5.4600 R = 13.5093

F.S. = 5.7574 R = 12.0934

F.S. = 6.2300 R = 14.3287

F.S. = 7.5204 R = 12.7578

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 39.00
YO = 41.00

F.S. MIN = 4.8904 R = 14.2127

F.S. = 5.2406 R = 12.3794

F.S. = 6.1337 R = 13.2689

F.S. = 6.8071 R = 10.8167

P.S. = 5.8378 R = 11.5569

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.30
YO = 42.00

P.S. MIN = 5.9922 R = 17.3277

P.S. = 6.0296 R = 15.6235

P.S. = 7.2540 R = 16.4488

P.S. = 7.2817 R = 14.1510

P.S. = 8.6362 R = 14.8513

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.50
YO = 40.50

P.S. MIN = 5.9027 R = 16.3248

P.S. = 6.6795 R = 14.5000

P.S. = 7.5866 R = 12.9035

P.S. = 7.7113 R = 15.3887

P.S. = 9.9725 R = 13.6679

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 39.00
YO = 39.00

P.S. MIN = 5.8599 R = 15.4029

P.S. = 6.6024 R = 13.4536

P.S. = 7.6429 R = 14.4070

P.S. = 9.7141 R = 11.7154

I.S. = 12.2175 R = 12.5524

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 48.00
Y0 = 42.00

I.S. MIN = 5.2796 R = 18.4391

I.S. = 7.2379 R = 16.6208

I.S. = 8.5841 R = 17.5089

I.S. = 9.3105 R = 15.0000

I.S. = 11.2702 R = 15.7817

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 44.00
Y0 = 40.50

I.S. MIN = 7.0945 R = 17.5000

I.S. = 7.9704 R = 15.5724

I.S. = 9.6019 R = 16.5170

I.S. = 9.9269 R = 13.8293

I.S. = 12.8909 R = 14.6735

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 44.00
Y0 = 39.00

I.S. MIN = 7.0663 R = 16.6433

I.S. = 8.3243 R = 14.6031

I.S. = 9.5307 R = 15.6065

I.S. = 13.0535 R = 12.7279

P.S. = 17.3545 R = 13.6405

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 45.30
YO = 42.00

P.S. MIN = 7.6424 R = 19.6023

P.S. = 8.6134 R = 17.6918

P.S. = 10.0591 R = 18.6296

P.S. = 11.9104 R = 15.9452

P.S. = 14.2904 R = 16.7947

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 45.50
YO = 40.50

P.S. MIN = 8.5461 R = 18.7216

P.S. = 9.3410 R = 16.7108

P.S. = 11.3512 R = 17.7006

P.S. = 14.6247 R = 14.8492

P.S. = 16.2770 R = 15.7579

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 45.50
YO = 39.00

P.S. MIN = 8.5473 R = 17.9234

P.S. = 10.5601 R = 15.8114

P.S. = 11.9620 R = 16.8542

P.S. = 16.4680 R = 13.8293

P.S. = 25.9242 R = 14.8008

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 47.00
YO = 42.00

P.S. MIN	=	8.9175	R	=	20.8087
P.S.	=	10.1941	R	=	18.8215
P.S.	=	11.7262	R	=	19.8006
P.S.	=	13.2441	R	=	16.9706
P.S.	=	15.0634	R	=	17.8763

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 47.00
YO = 40.50

P.S. MIN	=	9.6240	R	=	19.9812
P.S.	=	12.6527	R	=	17.9025
P.S.	=	14.8110	R	=	18.9291
P.S.	=	16.3823	R	=	15.9432
P.S.	=	20.2216	R	=	16.9060

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 47.00
YO = 39.00

P.S. MIN	=	10.3748	R	=	19.2354
P.S.	=	13.0605	R	=	17.0660
P.S.	=	17.2773	R	=	18.1401
P.S.	=	20.0593	R	=	15.0000
P.S.	=	27.6440	R	=	16.0176

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 70.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 32.00
Y0 = 42.00

P.S. MIN = 1.6193 R = 21.6333

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 17.00
Y0 = 40.50

P.S. MIN = 1.9897 R = 20.8387

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 18.50
Y0 = 42.00

P.S. MIN = 1.5347 R = 20.4022

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 18.50
Y0 = 40.50

P.S. MIN = 1.7096 R = 19.5576

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 42.00

P.S. MIN = 1.4959 R = 19.2094

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 30.50
Y0 = 40.50

P.S. MIN = 1.5616 R = 18.3098

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 20.00
Y0 = 39.00

P.S. MIN = 1.9649 R = 17.4929

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 21.50
YO = 42.00

F.S. MIN = 1.5023 R = 18.0624

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 21.50
YO = 40.50

F.S. MIN = 1.4674 R = 17.1026

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 24.50
YO = 39.00

F.S. MIN = 1.6420 R = 16.2220

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 25.50
YO = 42.00

F.S. MIN = 1.3446 R = 16.9746

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 23.00
YO = 40.50

F.S. MIN = 1.4734 R = 15.9432

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 25.50
YO = 39.00

F.S. MIN = 1.4964 R = 15.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 24.50
YO = 42.00

F.S. MIN = 1.1346 R = 15.9432

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 24.50
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.5140 R = 14.8492

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 24.30
YO = 39.00

P.S. MIN = 1.4446 R = 13.8293

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.0995 R = 15.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.1700 R = 13.8293

-172-
COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 39.00

P.S. MIN = 1.4516 R = 12.7279

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 27.30
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.1006 R = 14.1510

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 26.00
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.0801 R = 12.9035

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 27.50
YO = 39.00

P.S. MIN = 1.3628 R = 11.7154

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 29.50
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.3007 R = 13.4164

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 29.50
YO = 43.00

P.S. MIN = 1.1564 R = 12.0934

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 29.50
YO = 39.00

P.S. MIN = 1.0768 R = 10.8167

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 30.50
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.3422 R = 12.8160

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 30.50
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.3562 R = 11.4237

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 30.50
YO = 37.50

P.S. MIN = 1.1455 R = 10.0623

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 32.00
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.5051 R = 12.3693

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 32.00
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.3754 R = 10.9202

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 33.50
YO = 39.00

P.S. MIN = 1.3943 R = 9.4668

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 33.50
YO = 42.00

P.S. MIN = 1.7738 R = 12.0934

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 33.50
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.5337 R = 10.6066

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 33.50
YO = 39.00

P.S. MIN = 1.4432 R = 9.1241

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 33.50
YO = 42.00

P.S. MIN = 2.0307 R = 12.0649

P.S. = 2.0433 R = 12.0000

P.S. = 2.0932 R = 12.5723

P.S. = 2.1644 R = 12.2577

P.S. = 2.3204 R = 14.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 33.50
YO = 40.50

P.S. MIN = 1.6942 R = 10.5000

F.S.	=	1.9237	R =	10.5741
F.S.	=	1.9643	R =	10.7935
F.S.	=	2.0696	R =	11.1496
F.S.	=	2.2315	R =	11.6297

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 35.50
 Y0 = 39.00

F.S. MIN	=	1.2906	R =	9.0864
F.S.	=	1.6901	R =	9.0000
F.S.	=	1.9261	R =	9.7500
F.S.	=	2.0171	R =	9.3408
F.S.	=	2.0690	R =	10.2956

-175-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 38.50
 Y0 = 42.00

F.S. MIN	=	2.4410	R =	12.0934
F.S.	=	2.4502	R =	12.3111
F.S.	=	2.4675	R =	13.0682
F.S.	=	2.4971	R =	12.6471
F.S.	=	2.7858	R =	13.6473

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 38.50
 Y0 = 40.50

F.S. MIN	=	2.2342	R =	10.8541
----------	---	--------	-----	---------

F.S.	=	2.4166	R =	11.2301
F.S.	=	2.4708	R =	10.6066
F.S.	=	2.5119	R =	11.7394
F.S.	=	2.6137	R =	12.3491

CONDENASAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

$XO = 38.50$
 $YO = 39.50$

F.S. MIN	=	2.1503	R =	9.4108
F.S.	=	2.1926	R =	9.1241
F.S.	=	2.3062	R =	10.4193
F.S.	=	2.4220	R =	9.8469
F.S.	=	2.4993	R =	11.1018

-176-

CONDENASAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

$XO = 38.50$
 $YO = 42.00$

F.S. MIN	=	2.8703	R =	12.7304
F.S.	=	2.9727	R =	13.2004
F.S.	=	2.9920	R =	13.7682
F.S.	=	3.1474	R =	12.3693
F.S.	=	3.2595	R =	14.4222

CONDENASAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

$XO = 38.50$
 $YO = 40.50$

F.S. MIN	=	2.7388	R =	11.3275
----------	---	--------	-----	---------

F.S.	=	2-9295	R =	10.9202
F.S.	=	2-9834	R =	12.4625
F.S.	=	3-0196	R =	11.8533
F.S.	=	3-1079	R =	13.2004

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X0 = 38.00
 Y0 = 39.00

F.S. MIN	=	2-7663	R =	9.4668
F.S.	=	2-6176	R =	11.2500
F.S.	=	2-9210	R =	10.5475
F.S.	=	2-9315	R =	9.9530
F.S.	=	3-0321	R =	12.0416

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X0 = 39.50
 Y0 = 42.00

F.S. MIN	=	3-4526	R =	13.3665
F.S.	=	3-5622	R =	13.8924
F.S.	=	3-5521	R =	14.5624
F.S.	=	3-6122	R =	12.8100
F.S.	=	3-8368	R =	15.3652

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X0 = 39.50
 Y0 = 40.50

F.S. MIN	=	3-4220	R =	11.9713
F.S.	=	3-5643	R =	13.3534

P.S.	=	3-6201	R =	11.4237
P.S.	=	3-7109	R =	14.1508
P.S.	=	3-7809	R =	12.6174

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 Y0 = 39.00
 Y1 = 39.00

P.S. MIN	=	3-9527	R =	12.2091
P.S.	=	3-0034	R =	11.4018
P.S.	=	3-0130	R =	10.6600
P.S.	=	3-6640	R =	13.0663
P.S.	=	3-7449	R =	10.0623

-178-

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 Y0 = 41.00
 Y1 = 42.00

P.S. MIN	=	4-1922	R =	14.0201
P.S.	=	4-2633	R =	15.4616
P.S.	=	4-3249	R =	14.7034
P.S.	=	4-5389	R =	16.2788
P.S.	=	4-6842	R =	13.4164

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 Y0 = 40.50
 Y1 = 40.50

P.S. MIN	=	4-2624	R =	12.7598
P.S.	=	4-3235	R =	14.3287

F.S.	=	4.4306	R =	15.2069
F.S.	=	4.5601	R =	12.0934
F.S.	=	4.6555	R =	13.5093

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 41.00
YO = 39.00

F.S. 411.	=	4.2154	R =	13.2689
F.S.	=	4.4098	R =	14.2127
F.S.	=	4.4612	R =	12.3794
F.S.	=	4.5278	R =	11.5569
F.S.	=	5.1279	R =	10.8167

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 42.50
YO = 42.00

F.S. 411.	=	5.0473	R =	16.4488
F.S.	=	5.2917	R =	14.8513
F.S.	=	5.1705	R =	15.0205
F.S.	=	5.3706	R =	17.3277
F.S.	=	5.7308	R =	14.1510

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 42.50
YO = 40.50

F.S. 411.	=	5.2247	R =	15.3687
F.S.	=	5.2549	R =	16.3248

f.s. = 3.5036 R = 13.6679

f.s. = 3.6325 R = 14.5000

f.s. = 3.6244 R = 12.9035

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XU = 44.50
YU = 39.00

f.s. MIN = 3.1329 R = 14.4070

f.s. = 3.2123 R = 15.4029

f.s. = 3.5286 R = 13.4536

f.s. = 3.7170 R = 12.5524

f.s. = 6.0769 R = 11.7154

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XU = 44.00
YU = 42.00

f.s. MIN = 3.6675 R = 17.5089

f.s. = 6.1345 R = 18.4391

f.s. = 6.1547 R = 16.6208

f.s. = 6.1546 R = 15.7817

f.s. = 7.1077 R = 15.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XU = 46.00
YU = 40.50

f.s. MIN = 6.3036 R = 17.5000

f.s. = 6.3138 R = 16.5170

f.s. = 6.4628 R = 14.6735

f.o. = 5.6479 R = 15.5724

f.o. = 7.3445 R = 13.8293

COMUNICACIONES DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADOS

AD = 48.00
YO = 39.00

f.o. MIN = 5.2427 R = 15.6005

f.o. = 6.2919 R = 16.6433

f.o. = 6.8557 R = 14.6031

f.o. = 7.2632 R = 13.6405

f.o. = 6.7832 R = 12.7274

COMUNICACIONES DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADOS

AD = 42.00
YO = 42.00

f.o. MIN = 6.6150 R = 18.8296

f.o. = 6.9701 R = 19.6023

f.o. = 7.2538 R = 17.6918

f.o. = 7.4096 R = 16.7947

f.o. = 6.7946 R = 15.9452

COMUNICACIONES DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADOS

AD = 40.30
YO = 40.30

f.o. MIN = 7.3723 R = 17.7006

f.o. = 7.3325 R = 18.7216

f.o. = 7.7373 R = 16.7108

F.S. = 7.7515 R = 15.7579

F.S. = 9.1556 R = 14.8492

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 45.50
Y0 = 39.00

F.S. MIN = 7.5397 P. = 17.9234

F.S. = 7.5965 R = 16.8542

F.S. = 8.5415 R = 15.8114

F.S. = 9.2990 R = 14.8008

F.S. = 10.7278 R = 13.8273

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 47.00
Y0 = 42.00

F.S. MIN = 7.8566 R = 19.8636

F.S. = 7.9336 R = 20.8087

F.S. = 8.5149 R = 18.8215

F.S. = 9.6717 R = 17.8763

F.S. = 10.6532 R = 16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 47.50
Y0 = 40.50

F.S. MIN = 6.3191 R = 18.9291

F.S. = 6.4666 R = 19.9612

F.S. = 6.4449 R = 17.9025

P.S. = 9.2297 R = 16.9060

P.S. = 11.3011 R = 15.8452

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 39.00
Y0 = 39.00

P.S. MIN = 9.0524 R = 19.2354

P.S. = 9.2721 R = 18.1401

P.S. = 12.3945 R = 17.0660

P.S. = 10.4278 R = 16.0176

P.S. = 14.7924 R = 15.0000

-185-

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 50.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 27.50
Y0 = 42.00

P.S. MIN = 2.1075 R = 14.1510

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 29.50
Y0 = 42.00

P.S. MIN = 1.9091 R = 13.4104

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 29.50
Y0 = 40.50

P.S. MIN = 1.9979 R = 12.0934

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 30.50
Y0 = 42.00

1.5. MIN = 1-5353 R = 12.8160

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 38.50
Y0 = 40.50

1.5. MIN = 1-5530 R = 11.4237

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 38.50
Y0 = 39.50

1.5. MIN = 1-5741 R = 10.0223

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 32.00
Y0 = 42.00

1.5. MIN = 1-5486 R = 12.3673

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 32.00
Y0 = 40.50

1.5. MIN = 1-4613 R = 10.9202

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 32.00
Y0 = 39.00

1.5. MIN = 1-8178 R = 9.4668

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.50
Y0 = 42.00

1.5. MIN = 1-7198 R = 12.0934

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 38.50
Y0 = 40.50

1.5. MIN = 1-6074 R = 10.6066

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.50

YD = 39.00

F.50 MIN = 1.6494 R = 9.1241

CUM DENEGAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:

YD = 42.00

F.50 MIN = 1.8707 R = 12.0000

F.50 = 1.8701 R = 12.0649

F.50 = 1.9831 R = 12.5723

F.50 = 2.0107 R = 12.2577

F.50 = 2.1774 R = 13.0000

CUM DENEGAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:

YD = 40.50

F.50 MIN = 1.7340 R = 10.5000

F.50 = 1.8022 R = 10.5741

F.50 = 1.8450 R = 10.7935

F.50 = 1.9736 R = 11.1476

F.50 = 2.1271 R = 11.6297

CUM DENEGAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:

YD = 39.00

F.50 MIN = 1.5902 R = 9.0664

F.50 = 1.7735 R = 9.0000

F.50 = 1.8471 R = 9.7500

F.50 = 1.9149 R = 9.3408

F.S. = 1.9504 R = 10.2956

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 36.50
YO = 42.00

F.S. MIN = 2.1442 R = 12.0934

F.S. = 2.2261 R = 12.3111

F.S. = 2.2449 R = 12.6441

F.S. = 2.3029 R = 13.0462

F.S. = 2.5345 R = 13.6473

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 38.50
YO = 40.50

F.S. MIN = 2.0148 R = 10.8541

F.S. = 2.1647 R = 10.6066

F.S. = 2.1627 R = 11.2361

F.S. = 2.3274 R = 11.7344

F.S. = 2.4168 R = 12.3441

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
XO = 36.50
YO = 39.00

F.S. MIN = 1.4063 R = 9.1241

F.S. = 1.9316 R = 9.4108

F.S. = 2.1321 R = 10.4193

F.S. = 2.1730 R = 9.8469

I.S. = 2.3146 R = 11.1018

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.00
YO = 42.00

I.S. MIN = 2.5504 R = 12.7304

I.S. = 2.6200 R = 13.2004

I.S. = 2.6703 R = 12.3693

I.S. = 2.7290 R = 13.7652

I.S. = 2.9515 R = 14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 40.00
YO = 40.00

I.S. MIN = 2.4093 R = 11.3275

I.S. = 2.4673 R = 10.9202

I.S. = 2.6446 R = 11.8533

I.S. = 2.7143 R = 12.4625

I.S. = 2.8207 R = 13.2004

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XO = 38.00
YO = 39.00

I.S. MIN = 2.3122 R = 9.4868

I.S. = 2.5593 R = 10.5475

I.S. = 2.5312 R = 9.9530

I.S. = 2.5601 R = 11.2500

F.S. = 2.7503 R = 12.0416

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XO = 39.50
YO = 42.32

F.S. 418 = 3.0090 R = 13.3065

F.S. = 3.1120 R = 13.8924

F.S. = 3.1422 R = 12.8160

F.S. = 3.2410 R = 14.5624

F.S. = 3.4555 R = 15.3052

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XO = 39.50
YO = 40.52

F.S. 418 = 2.9506 R = 11.9713

F.S. = 2.9504 R = 11.4237

F.S. = 2.2253 R = 13.3534

F.S. = 3.2408 R = 12.0174

F.S. = 3.3306 R = 14.1598

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XO = 39.50
YO = 39.02

F.S. 418 = 2.9800 R = 10.0623

F.S. = 3.0701 R = 10.6600

F.S. = 3.0601 R = 11.4018

F.S. = 3.0976 R = 12.2091

F.S. = 3.2918 R = 13.0863

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 41.00
YO = 42.00

P.S. 411	=	3.5920	R =	14.0201
P.S.	=	3.7016	R =	14.7054
P.S.	=	3.7373	R =	13.4104
P.S.	=	3.8220	R =	15.4016
P.S.	=	4.0045	R =	16.2788

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 41.00
YO = 40.50

P.S. 411	=	3.6250	R =	12.7598
P.S.	=	3.6310	R =	12.0934
P.S.	=	3.8449	R =	14.3207
P.S.	=	3.5201	R =	13.5093
P.S.	=	3.9470	R =	15.2009

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 41.50
YO = 39.00

P.S. 411	=	3.7405	R =	13.2689
P.S.	=	3.7543	R =	12.3794
P.S.	=	3.7721	R =	11.5509
P.S.	=	3.9094	R =	10.8167
P.S.	=	3.5114	R =	14.2127

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 42.50$
 $YO = 42.00$

P.S. MIN =	4.3026	R =	14.8513
P.S. =	4.3526	R =	15.6205
P.S. =	4.4723	R =	16.4436
P.S. =	4.5011	R =	14.1510
P.S. =	4.7485	R =	17.3277

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 42.50$
 $YO = 40.00$

P.S. MIN =	4.4217	R =	13.6679
P.S. =	4.4777	R =	12.9035
P.S. =	4.6042	R =	15.3687
P.S. =	4.6742	R =	16.3246
P.S. =	4.6942	R =	14.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 $XO = 42.50$
 $YO = 39.00$

P.S. MIN =	4.5203	R =	14.4070
P.S. =	4.5629	R =	13.4536
P.S. =	4.6478	R =	15.4629
P.S. =	4.6746	R =	12.5524
P.S. =	5.0065	R =	11.7154

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X0 = 42.00
 Y0 = 42.00

P.S. MIN =	5-1421	R =	15.7617
P.S. =	5-1514	R =	16.6208
P.S. =	5-1606	R =	17.5089
P.S. =	5-4025	R =	18.4391
P.S. =	5-4372	R =	15.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X0 = 40.50
 Y0 = 40.50

P.S. MIN =	5-3173	R =	14.6735
P.S. =	5-4550	R =	15.5724
P.S. =	5-4763	R =	13.8273
P.S. =	5-5099	R =	16.5170
P.S. =	5-5258	R =	17.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X0 = 44.00
 Y0 = 39.00

P.S. MIN =	5-4455	R =	15.6065
P.S. =	5-5135	R =	16.6433
P.S. =	5-6025	R =	14.6031
P.S. =	5-8172	R =	13.6405
P.S. =	6-1897	R =	12.7279

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

AL = 45.00
TG = 42.00

P.S. MIN =	3.9749	R =	18.6296
P.S. =	5.0302	R =	17.6918
P.S. =	5.1124	R =	16.7947
P.S. =	6.1151	R =	19.6023
P.S. =	6.5657	R =	15.9452

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
TG = 40.50

P.S. MIN =	6.3164	R =	15.7579
P.S. =	6.3429	R =	16.7108
P.S. =	6.3961	R =	17.7006
P.S. =	6.5447	R =	18.7216
P.S. =	6.6579	R =	14.8492

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
TG = 45.50
TG = 39.00

P.S. MIN =	6.5443	R =	17.9234
P.S. =	6.5638	R =	16.8545
P.S. =	6.8556	R =	15.8114
P.S. =	7.2716	R =	14.8008
P.S. =	7.4114	R =	13.8293

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:

YO = 42.00

F.S. MIN =	6.8566	R =	19.8006
F.S. =	5.9150	R =	20.8687
F.S. =	7.0193	R =	18.8215
F.S. =	7.2356	R =	17.8763
F.S. =	7.9177	R =	16.9706

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 47.00
YO = 40.50

F.S. MIN =	7.1952	R =	18.9291
F.S. =	7.2972	R =	17.9025
F.S. =	7.3912	R =	19.9612
F.S. =	7.4417	R =	16.9060
F.S. =	6.0740	R =	15.9452

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 47.00
YO = 39.00

F.S. MIN =	7.7930	R =	19.2354
F.S. =	7.9377	R =	18.1401
F.S. =	8.1836	R =	16.0176
F.S. =	5.2356	R =	17.0660
F.S. =	8.7341	R =	15.0000

INCLINACION DEL TALUZO RESPECTO A LA HORIZONTAL: 30.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 35.00
YO = 42.00

1.50 MIN =	2.3639	R =	12.5723
1.50 =	2.4005	R =	12.0000
1.50 =	2.4273	R =	12.0649
1.50 =	2.5476	R =	12.2577
1.50 =	2.5776	R =	13.0000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 36.50
YO = 42.00

1.50 MIN =	2.1710	R =	12.0934
1.50 =	2.2645	R =	12.6491
1.50 =	2.2876	R =	12.3111
1.50 =	2.3217	R =	13.0982
1.50 =	2.6241	R =	13.6473

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.50
YO = 40.50

1.50 MIN =	2.1309	R =	10.8541
1.50 =	2.2676	R =	11.2361
1.50 =	2.4178	R =	10.6066
1.50 =	2.4606	R =	11.7394
1.50 =	2.4913	R =	12.3471

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

$\varphi_0 = 28.00$
 $\lambda_0 = 48.00$

P.S. MIN	=	2.3253	R =	12.7304
P.S.	=	2.4130	R =	13.2004
P.S.	=	2.4305	R =	12.3693
P.S.	=	2.5519	R =	13.7682
P.S.	=	2.6060	R =	14.4222

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

$\varphi_0 = 28.30$
 $\lambda_0 = 48.30$

P.S. MIN	=	2.2241	R =	11.3275
P.S.	=	2.2570	R =	10.9202
P.S.	=	2.4720	R =	11.8533
P.S.	=	2.5745	R =	12.4625
P.S.	=	2.6070	R =	13.2004

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

$\varphi_0 = 38.00$
 $\lambda_0 = 39.00$

P.S. MIN	=	2.1501	R =	9.4868
P.S.	=	2.4216	R =	10.5475
P.S.	=	2.4422	R =	11.2500
P.S.	=	2.4570	R =	9.9530
P.S.	=	2.6425	R =	12.0416

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
 $X_0 = 42.00$
 $Y_0 = 42.00$

P.S. 414	=	2.5661	R =	13.3005
P.S.	=	2.6404	R =	12.8150
P.S.	=	2.7246	R =	13.8924
P.S.	=	2.9000	R =	14.5624
P.S.	=	3.1370	R =	15.3052

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
 $X_0 = 28.30$
 $Y_0 = 28.30$

P.S. 414	=	2.4724	R =	11.9237
P.S.	=	2.5304	R =	11.9713
P.S.	=	2.8518	R =	12.6174
P.S.	=	3.8910	R =	13.3534
P.S.	=	3.2910	R =	14.1578

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADA:
 $X_0 = 39.50$
 $Y_0 = 39.00$

P.S. 414	=	2.4924	R =	10.0623
P.S.	=	2.6526	R =	10.6600
P.S.	=	2.7101	R =	11.4018
P.S.	=	2.7878	R =	12.2091
P.S.	=	3.0000	R =	13.0663

X0 = 42.30
Y0 = 42.30

P.S. MIN =	3.4550	R =	14.8513
P.S. =	3.4597	R =	14.1510
P.S. =	3.6204	R =	15.6205
P.S. =	3.8041	R =	16.4488
P.S. =	4.1173	R =	17.3277

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 46.30
Y0 = 46.30

P.S. MIN =	3.4002	R =	12.9035
P.S. =	3.5110	R =	13.6679
P.S. =	3.8309	R =	14.5000
P.S. =	3.8971	R =	15.3687
P.S. =	4.0553	R =	16.3248

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 46.30
Y0 = 39.00

P.S. MIN =	3.6505	R =	12.5524
P.S. =	3.6790	R =	11.7154
P.S. =	3.7469	R =	13.4536
P.S. =	3.8324	R =	14.4070
P.S. =	4.0410	R =	15.4029

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 44.00

YD = 42.00

P.S. MIN =	4.0341	R =	15.7817
P.S. =	4.0541	R =	15.0000
P.S. =	4.1855	R =	16.6208
P.S. =	4.3414	R =	17.5089
P.S. =	4.6241	R =	18.4391

CON DEMANDAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADUI
YD = 40.50

P.S. MIN =	4.0354	R =	13.8293
P.S. =	4.1129	R =	14.6735
P.S. =	4.3993	R =	15.5724
P.S. =	4.5730	R =	16.5170
P.S. =	4.7153	R =	17.5000

CON DEMANDAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADUI
YD = 39.00

P.S. MIN =	4.3702	R =	12.7279
P.S. =	4.4062	R =	13.6405
P.S. =	4.4693	R =	14.6631
P.S. =	4.5225	R =	15.6065
P.S. =	4.7118	R =	16.6433

CON DEMANDAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADUI
YD = 42.00

1.5. MIN =	4.2970	R =	10.7947
1.5. =	4.7558	R =	15.9452
1.5. =	4.8245	R =	17.6918
1.5. =	4.5490	R =	18.6296
1.5. =	5.1545	R =	19.6023

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 45.30
 Y0 = 40.30

1.5. MIN =	4.7758	R =	14.8492
1.5. =	4.7941	R =	15.7579
1.5. =	5.0174	R =	16.7108
1.5. =	5.2331	R =	17.7006
1.5. =	5.5045	R =	18.7216

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 85.30
 Y0 = 39.00

1.5. MIN =	5.1091	R =	13.8293
1.5. =	5.3357	R =	14.8008
1.5. =	5.3471	R =	15.8114
1.5. =	5.3549	R =	16.8542
1.5. =	5.5001	R =	17.9234

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 X0 = 47.00
 Y0 = 42.00

F.S. MIN =	3.4643	R =	17.8753
F.S. =	3.5443	R =	18.8215
F.S. =	5.5947	R =	16.9706
F.S. =	5.5111	R =	19.8006
F.S. =	3.5143	R =	20.8087

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X₀ = 40.52

F.S. MIN =	3.5504	R =	16.9660
F.S. =	3.6238	R =	15.9452
F.S. =	5.7114	R =	17.9025
F.S. =	3.8444	R =	18.9291
F.S. =	6.1260	R =	19.9612

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
 X₀ = 47.00
 Y₀ = 39.00

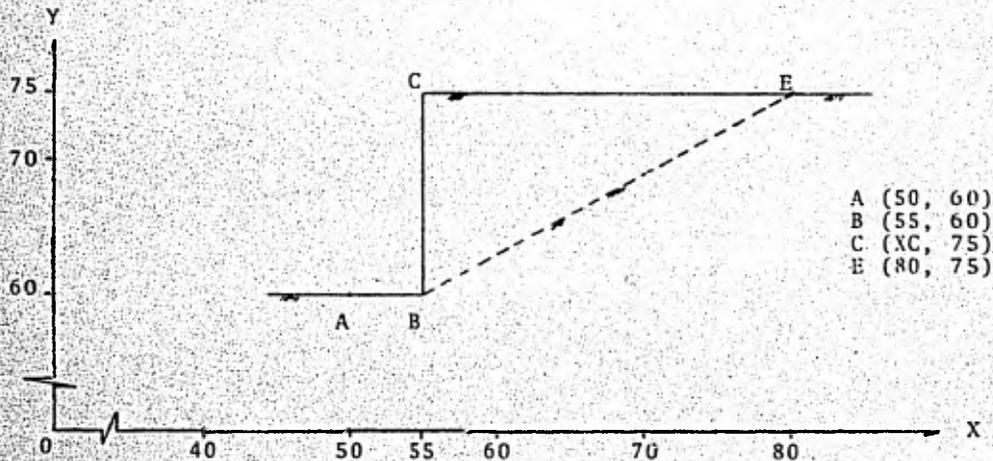
F.S. MIN =	3.5007	R =	15.0000
F.S. =	3.9617	R =	16.0176
F.S. =	6.2549	R =	17.0660
F.S. =	5.3479	R =	18.1401
F.S. =	5.4594	R =	19.2354

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 10.00 GRADOS

.....

PERFIL

Este perfil solo es válido para $\beta > 53^\circ$. Para $\beta < 53^\circ$ se efectúa una traslación de ejes.



Al igual que en el ejemplo # 2, no podremos comparar resultados con los de la calculadora de bolsillo ya que esta se programó solo para analizar taludes hechos en suelos cohesivo-friccio-nantes, por ser estos los más comunes.

Para este problema se obtuvieron con la computadora los siguientes resultados:

TALUD # 4

EL TALUD EN ESTUDIO ESTA FORMADO EN UN SUELO PURAMENTE COHESIVO CUYAS CARACTERISTICAS SON:

COHESION = 10.00 TON/M²

PLS. VOLUMETRICAS = 1.70 TON/M³

ALTURA = 15.00 MTS

1.- LAS INCLINACIONES DE SEGURIDAD SE DEBERAN REALIZAR CON TENIDOS POR EL ANALISIS EN EL SIGUIENTE ORDEN:

2.- LAS ALTURAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA

3.- LAS ALTURAS DE SEGURIDAD MINIMO ENCONTRADO, JUNTO CON EL VALOR DE SU RESPECTIVO RADIO GENERALIZADOS

4.- LAS ALTURAS DE SEGURIDAD SUBSECUENTES EN ORDEN CRECIENTE CON SUS RESPECTIVOS RADIOS GENERALIZADOS

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 90.00 GRADOS

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

XO = 90.00
YO = 90.00

1.50 MIN = 1.2744 R = 54.0633

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

XO = 10.00
YO = 52.50

1.50 MIN = 2.3722 R = 50.3115

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

XO = 25.00
YO = 90.00

1.50 MIN = 1.5910 R = 42.4264

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

XO = 5.00
YO = 92.50

1.50 MIN = 1.8504 R = 37.5000

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

XO = 40.00
YO = 90.00

f.o.s. MIN = 1.5126 R = 33.5410

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 82.50
Y₀ = 82.50

f.o.s. MIN = 1.5342 R = 27.0416

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 90.00
Y₀ = 90.00

f.o.s. MIN = 1.9674 R = 30.0000

f.o.s. = 2.0666 R = 30.0463

f.o.s. = 2.1520 R = 30.1846

f.o.s. = 2.2148 R = 30.4138

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 82.50
Y₀ = 82.50

f.o.s. MIN = 1.8505 R = 22.5000

f.o.s. = 1.9631 R = 22.5616

f.o.s. = 2.0400 R = 22.7426

f.o.s. = 2.1120 R = 23.0469

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 90.00
Y₀ = 90.00

f.o.s. MIN = 3.2034 R = 36.0555

f.o.s. = 3.4166 R = 35.1584

f.o.s. = 3.4321 R = 34.3188

f.o.s. = 3.6723 R = 33.5410

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

$X_D = 70.00$
 $Y_D = 62.52$

I.S. MIN =	3.3206	R =	30.1040
I.S. =	3.6208	R =	29.0235
I.S. =	3.6527	R =	28.0005
I.S. =	4.0945	R =	27.0416

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

$X_D = 55.00$
 $Y_D = 90.00$

I.S. MIN =	5.0027	R =	46.0977
I.S. =	5.7628	R =	44.8454
I.S. =	5.1000	R =	43.6208
I.S. =	7.5122	R =	42.4264

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

$X_D = 55.00$
 $Y_D = 62.50$

I.S. MIN =	5.5125	R =	41.6063
I.S. =	5.5917	R =	40.2164
I.S. =	7.1526	R =	38.8462
I.S. =	9.6422	R =	37.5000



INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 75.00 GRADOS

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

$X_D = 55.00$
 $Y_D = 90.00$

I.S. MIN = 3.7244 R = 54.0833

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 02.50
Y₀ = 02.50

I.S. MIN = 8.1613 R = 50.3115

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 05.00
Y₀ = 08.00

I.S. MIN = 2.4069 R = 42.4264

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 05.00
Y₀ = 02.50

I.S. MIN = 3.5709 R = 37.5000

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 00.00
Y₀ = 00.00

I.S. MIN = 1.6343 R = 33.5410

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 02.50
Y₀ = 02.50

I.S. MIN = 2.0411 R = 27.0416

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X₀ = 00.00
Y₀ = 00.00

I.S. MIN = 1.9970 R = 30.0000

I.S. = 2.0983 R = 30.0463

I.S. = 2.1820 R = 30.1846

I.S. = 2.2460 R = 30.4138

LAS CIRCUNFERENCIAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

r.s. MIN =	1.9047	R =	22.5000
r.s. =	2.0034	R =	22.5616
r.s. =	2.0855	R =	22.7456
r.s. =	2.1546	R =	23.0469

LAS CIRCUNFERENCIAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

r.s. MIN =	2.9124	R =	36.0525
r.s. =	3.0068	R =	35.1584
r.s. =	3.1145	R =	34.3188
r.s. =	3.2224	R =	33.5410

LAS CIRCUNFERENCIAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

r.s. MIN =	2.9517	R =	30.1040
r.s. =	3.0767	R =	29.0235
r.s. =	3.2199	R =	28.0005
r.s. =	3.3872	R =	27.0416

LAS CIRCUNFERENCIAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

r.s. MIN =	4.3019	R =	46.0977
r.s. =	4.6224	R =	44.8454

I.S. = 2.1105 R = 43.6208

I.S. = 3.7470 R = 42.4264

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 85.00
Y0 = 82.50

I.S. MIN = 4.6112 R = 41.6083

I.S. = 5.0840 R = 40.2164

I.S. = 5.7332 R = 38.8462

I.S. = 5.7006 R = 37.5000

-210-

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 60.00 GRADOS

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 25.00
Y0 = 70.00

I.S. MIN = 5.6237 R = 42.4264

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 40.00
Y0 = 70.00

I.S. MIN = 2.5737 R = 33.5410

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 40.00
Y0 = 82.50

I.S. MIN = 3.7176 R = 27.0416

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 35.00
Y0 = 70.00

I.S. MIN = 2.1103 R = 30.0000

P.S.	=	2.2149	R =	30.0463
P.S.	=	2.3015	R =	30.1646
P.S.	=	2.3630	R =	30.4138

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

P.S. MIN	=	2.6567	R =	22.5000
P.S.	=	2.1656	R =	22.5616
P.S.	=	2.2543	R =	22.7456
P.S.	=	2.3124	R =	23.0489

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

P.S. MIN	=	2.6932	R =	36.0555
P.S.	=	2.7520	R =	35.1584
P.S.	=	2.8220	R =	34.3188
P.S.	=	2.8674	R =	33.5410

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:

P.S. MIN	=	2.6861	R =	30.1040
P.S.	=	2.7542	R =	29.0235
P.S.	=	2.8367	R =	28.0005
P.S.	=	2.9221	R =	27.0416

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 85.00
Y0 = 40.00

I.S. MIN = 3.7540 R = 46.0977

I.S. = 3.9755 R = 44.8424

I.S. = 4.2542 R = 43.6248

I.S. = 4.6229 R = 42.4264

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 85.00
Y0 = 82.50

I.S. MIN = 3.9444 R = 41.6083

I.S. = 4.2248 R = 40.2164

I.S. = 4.5917 R = 38.8462

I.S. = 5.0965 R = 37.5000

-212-

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 45.00 GRADOS

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 825.00

I.S. MIN = 2.1624 R = 409.6868

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 30.00 GRADOS

LAS COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA PARA ESTA INCLINACION DEL TALUD SON:
X0 = 867.89
Y0 = 1125.82

I.S. MIN = 2.1660 R = 409.6868

TALUD # 5

CARACTERISTICAS

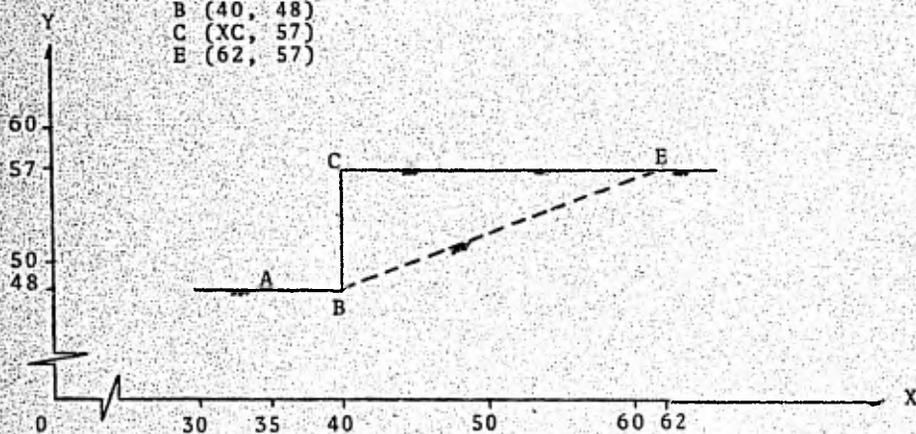
COH = 3 Ton/m²
 ϕ = 18°
 γ = 1.7 Ton/m³
H = 6 m

CONSTANTES DE CALCULO

AD = 2.5 m
NR = 3
RN = 20°

PERFIL

A (35, 48)
B (40, 48)
C (XC, 57)
E (62, 57)



Los resultados obtenidos por la computadora fueron los siguientes:

Y0 = 63.75

F.S. MIN = 1.2727 R = 29.3364

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X0 = 15.25$
 $Y0 = 61.50$

F.S. MIN = 1.2723 R = 28.1924

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X0 = 66.00$
 $Y0 = 66.00$

F.S. MIN = 1.0322 R = 28.8141

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X0 = 63.75$
 $Y0 = 63.75$

F.S. MIN = 1.1201 R = 27.4648

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X0 = 61.50$
 $Y0 = 61.50$

F.S. MIN = 1.2843 R = 26.2323

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X0 = 66.00$
 $Y0 = 66.00$

F.S. MIN = 1.0367 R = 27.0936

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X0 = 63.75$
 $Y0 = 63.75$

F.S. MIN = 1.0563 R = 25.6539

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X0 = 61.50$
 $Y0 = 61.50$

F.S. MIN = 1.3047 R = 24.3375

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 66.00

F.O. MIN = 1.0545 R = 25.4558

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 63.75

F.O. MIN = 1.0346 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 61.50

F.O. MIN = 1.1326 R = 22.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 66.00

F.O. MIN = 1.0762 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 63.75

F.O. MIN = 1.0423 R = 22.2739

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 61.50

F.O. MIN = 1.0425 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 66.00

F.O. MIN = 1.0538 R = 22.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 22.90
YO = 63.75

P.S. MIN = 1.0926 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.50
YO = 61.50

P.S. MIN = 1.0269 R = 19.0919

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.75
YO = 66.00

P.S. MIN = 1.0942 R = 21.2265

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.75
YO = 63.75

P.S. MIN = 1.0574 R = 19.3552

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 28.75
YO = 61.50

P.S. MIN = 1.0749 R = 17.5731

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 31.00
YO = 66.00

P.S. MIN = 1.1766 R = 20.1246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 31.00
YO = 63.75

P.S. MIN = 1.1037 R = 18.1401

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 31.50
YO = 61.50

P.S. MIN = 1.0834 R = 16.2290

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XG = 33.25
YG = 86.00

F.O.S. MIN = 1.2462 R = 19.2240

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADAS
XG = 33.75
YG = 83.75

F.O.S. MIN = 1.2043 R = 17.1355

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADAS
XG = 33.25
YG = 81.50

F.O.S. MIN = 1.1144 R = 15.0935

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADAS
XG = 35.50
YG = 86.00

F.O.S. MIN = 1.3949 R = 18.5540

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADAS
XG = 35.50
YG = 83.75

F.O.S. MIN = 1.3025 R = 16.3602

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADAS
XG = 35.50
YG = 81.50

F.O.S. MIN = 1.2526 R = 14.2342

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADAS
XG = 37.75
YG = 86.00

F.O.S. MIN = 1.6007 R = 18.1401

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADAS
XG = 37.75
YG = 83.75

F.O.S. MIN = 1.4773 R = 15.9099

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 37.70
YO = 66.00

F.S. MIN = 1.4102 R = 13.6602

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.00
YO = 66.00

F.S. MIN = 1.8475 R = 18.0000

F.S. = 1.9635 R = 18.1728

F.S. = 2.0402 R = 18.6815

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.00
YO = 63.75

F.S. MIN = 1.7635 R = 15.7500

F.S. = 1.8598 R = 15.9472

F.S. = 1.9235 R = 16.5246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.00
YO = 61.50

F.S. MIN = 1.6635 R = 13.5000

F.S. = 1.7896 R = 13.7295

F.S. = 1.9316 R = 14.3962

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.25
YO = 66.00

F.S. MIN = 2.2076 R = 18.1401

F.S. = 2.2674 R = 19.4052

F.S. = 2.2607 R = 18.6162

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.25
YO = 63.75

F.S. MIN = 2.1542 R = 15.9099

F.S. = 2.1664 R = 16.4507

F.S. = 2.2234 R = 17.3385

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.25
YO = 61.50

F.S. MIN = 2.0636 R = 13.6662

F.S. = 2.1444 R = 15.3236

F.S. = 2.1642 R = 14.3113

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 44.50
YO = 66.00

F.S. MIN = 2.5916 R = 20.3531

F.S. = 2.6698 R = 19.3132

F.S. = 2.7141 R = 18.5540

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 44.50
YO = 63.75

F.S. MIN = 2.5809 R = 18.3933

F.S. = 2.6000 R = 17.2355

F.S. = 2.6548 R = 16.3802

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 01.52
Y0 = 01.52

P.S. MIN = 2.5346 R = 16.5676

P.S. = 2.6209 R = 15.2069

P.S. = 2.6704 R = 14.2302

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 28.75
Y0 = 08.00

P.S. MIN = 3.0909 R = 21.4956

P.S. = 3.1249 R = 20.2377

P.S. = 3.4428 R = 19.2240

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 28.75
Y0 = 03.75

P.S. MIN = 2.9957 R = 19.6501

P.S. = 3.2535 R = 18.2624

P.S. = 3.3541 R = 17.1355

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 28.75
Y0 = 01.52

P.S. MIN = 3.0648 R = 17.8973

P.S. = 3.1475 R = 16.3650

P.S. = 3.6725 R = 15.0935

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 28.00
Y0 = 08.00

P.S. MIN = 3.4935 R = 22.8035

P.S. = 3.8020 R = 21.3600

P.S. = 4.1665 R = 20.1246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 46.00
YO = 63.75

P.S. MIN = 3.6064 R = 21.0728

P.S. = 3.7898 R = 19.5016

P.S. = 4.4252 R = 18.1401

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 46.00
YO = 61.58

P.S. MIN = 3.6143 R = 19.4487

P.S. = 4.1167 R = 17.7341

P.S. = 4.5427 R = 16.2250

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 31.00
YO = 66.00

P.S. MIN = 4.2013 R = 24.2500

P.S. = 4.4734 R = 22.6509

P.S. = 5.2698 R = 21.2265

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XO = 31.00
YO = 63.75

P.S. MIN = 4.1565 R = 22.6392

P.S. = 4.7578 R = 20.9075

I.S. = 2.5636 R = 19.3552

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADA:

XO = 31.25
YO = 61.50

I.S. MIN = 4.2695 R = 21.1251

I.S. = 4.7666 R = 19.2695

I.S. = 6.2477 R = 17.5731

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADA:

XO = 33.50
YO = 68.00

I.S. MIN = 4.7301 R = 25.8118

I.S. = 5.4331 R = 24.0632

I.S. = 6.7042 R = 22.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADA:

XO = 33.75
YO = 63.50

I.S. MIN = 4.8704 R = 24.2963

I.S. = 5.5143 R = 22.4513

I.S. = 7.2243 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADA:

XO = 37.50
YO = 67.50

I.S. MIN = 5.2248 R = 22.9020

I.S. = 6.0973 R = 20.9344

I.S. = 7.8466 R = 19.0919

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADA:

X0 = 25.73
Y0 = 32.00

F.S. MIN = 5.5334 R = 27.4693

F.S. = 6.3114 R = 25.6332

F.S. = 8.2643 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 25.73
Y0 = 33.73

F.S. MIN = 5.8020 R = 26.0504

F.S. = 6.9173 R = 24.1065

F.S. = 9.0376 R = 22.2739

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.73
Y0 = 31.50

F.S. MIN = 5.6707 R = 24.7550

F.S. = 7.1678 R = 22.7005

F.S. = 11.2126 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.80
Y0 = 33.80

F.S. MIN = 6.4006 R = 29.2062

F.S. = 7.6494 R = 27.2809

F.S. = 10.3575 R = 25.4538

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 38.00
Y0 = 33.75

F.S. MIN = 6.5206 R = 27.8738

F.S. = 7.9545 R = 25.8517

F.S. = 12.1009 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 58.00
Y0 = 51.50

F.S. MIN = 5.6921 R = 26.6693

F.S. = 3.3809 R = 24.5452

F.S. = 15.9819 R = 22.5000

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 70.00 GRADUS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 35.00
Y0 = 66.00

F.S. MIN = 2.9430 R = 32.4500

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 33.00
Y0 = 63.75

F.S. MIN = 7.2502 R = 31.2580

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 35.00
Y0 = 62.00

F.S. MIN = 2.2927 R = 30.6033

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 33.75
Y0 = 63.75

F.S. MIN = 5.3702 R = 29.3364

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

48 = 66:38

F.S. MIN = 1.9595 R = 28.8141

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 17.90
Y0 = 63.75

F.S. MIN = 2.9034 R = 27.4648

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 17.90
Y0 = 61.50

F.S. MIN = 7.0627 R = 26.2393

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 19.75
Y0 = 66.00

F.S. MIN = 1.7706 R = 27.0936

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 19.75
Y0 = 63.75

F.S. MIN = 2.1597 R = 25.6539

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 19.75
Y0 = 61.50

F.S. MIN = 6.0119 R = 24.3375

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 22.00
Y0 = 66.00

F.S. MIN = 1.6945 R = 25.4538

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 22.00
Y0 = 63.75

F.S. MIN = 1.6317 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 22.00
YO = 61.50

F.S. MIN = 2.8734 R = 22.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 24.25
YO = 66.00

F.S. MIN = 1.5610 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 24.25
YO = 63.75

F.S. MIN = 1.6815 R = 22.2739

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 24.25
YO = 61.50

F.S. MIN = 1.9926 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 28.50
YO = 66.00

F.S. MIN = 1.3921 R = 22.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 28.50
YO = 63.75

F.S. MIN = 1.6374 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 26.50
YO = 61.50

F.S. MIN = 1.6917 R = 19.0919

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 28.75
YO = 66.00

P.S. MIN = 1.3584 R = 21.2265

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XC = 28.75
YC = 83.75

P.S. MIN = 1.3929 R = 19.3552

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XC = 28.50
YC = 81.50

P.S. MIN = 1.0010 R = 17.5731

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XC = 31.00
YC = 86.00

P.S. MIN = 1.3717 R = 20.1246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XC = 31.00
YC = 83.75

P.S. MIN = 1.3391 R = 18.1401

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XC = 31.00
YC = 81.50

P.S. MIN = 1.4317 R = 16.2250

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XC = 33.25
YC = 86.00

P.S. MIN = 1.3645 R = 19.2240

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XC = 33.75
YC = 83.75

P.S. MIN = 1.3662 R = 17.1355

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 31.50
YO = 61.50

P.S. MIN = 1.3105 R = 15.0935

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 35.50
YO = 66.00

P.S. MIN = 1.4304 R = 18.5540

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 33.50
YO = 63.75

P.S. MIN = 1.3648 R = 16.3602

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 35.50
YO = 61.50

P.S. MIN = 1.2739 R = 14.2302

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 36.00
YO = 66.00

P.S. MIN = 1.5961 R = 18.1401

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 37.75
YO = 63.75

P.S. MIN = 1.4832 R = 15.9099

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 31.50
YO = 61.50

P.S. MIN = 1.4467 R = 13.6662

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:

XO = 40.00
YO = 66.00

f.s. MIN = 1.7649 R = 18.0000

f.s. = 1.8801 R = 18.1728

f.s. = 1.9781 R = 18.6615

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 40.00
YO = 63.75

f.s. MIN = 1.6802 R = 15.7500

f.s. = 1.7608 R = 15.9472

f.s. = 1.8575 R = 16.5246

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 40.00
YO = 61.58

f.s. MIN = 1.5870 R = 13.5000

f.s. = 1.7200 R = 13.7295

f.s. = 1.8595 R = 14.3962

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 42.25
YO = 66.00

f.s. MIN = 2.0278 R = 18.1401

f.s. = 2.1215 R = 18.6162

f.s. = 2.1208 R = 19.4052

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUITO DE FALLA GENERADO:
XD = 42.25
YO = 63.75

f.s. MIN = 1.9618 R = 15.9099

f.s. = 1.9978 R = 16.4507

F.S. = 2-0795 R = 17.3385

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 42.23
YO = 51.53

F.S. MIN = 1-8619 R = 13.6862

F.S. = 1-9731 R = 14.3113

F.S. = 1-9928 R = 15.3236

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 44.20
YO = 56.08

F.S. MIN = 2-3842 R = 20.3531

F.S. = 2-3999 R = 18.5540

F.S. = 2-4048 R = 19.3132

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 44.30
YO = 53.73

F.S. MIN = 2-3205 R = 16.3802

F.S. = 2-3219 R = 17.2355

F.S. = 2-3566 R = 16.3933

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 44.30
YO = 61.50

F.S. MIN = 2-2895 R = 14.2302

F.S. = 2-3624 R = 16.5076

F.S. = 2-3148 R = 15.2069

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

ØØ = 28.63

F.S. MIN = 2.7548 R = 20.2377

F.S. = 4.7E90 R = 21.4956

F.S. = 2.9278 R = 19.2240

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 46.75
YO = 93.75

F.S. MIN = 2.6871 R = 19.6501

F.S. = 2.6072 R = 17.1355

F.S. = 2.8244 R = 18.2654

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 48.75
YO = 81.50

F.S. MIN = 2.7025 R = 16.3620

F.S. = 2.7227 R = 17.8973

F.S. = 2.9646 R = 15.0935

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 49.00
YO = 86.00

F.S. MIN = 3.1129 R = 22.8035

F.S. = 3.2727 R = 21.3600

F.S. = 3.4323 R = 20.1246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 43.00
YO = 93.75

F.S. MIN = 3.1821 R = 21.0728

P.S. = 3-2173 R = 19.5016

P.S. = 3-5335 R = 18.1401

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 51.50$
 $Y_0 = 61.50$

P.S. MIN = 3-1608 R = 19.4487

P.S. = 3-4145 R = 17.7341

P.S. = 3-5200 R = 16.2250

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 51.23$
 $Y_0 = 66.50$

P.S. MIN = 3-6843 R = 24.2500

P.S. = 3-7842 R = 22.6509

P.S. = 4-1742 R = 21.2205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 51.23$
 $Y_0 = 63.75$

P.S. MIN = 3-6339 R = 22.0302

P.S. = 3-9408 R = 20.9075

P.S. = 4-2811 R = 19.3552

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
 $X_0 = 51.50$
 $Y_0 = 61.50$

P.S. MIN = 3-7015 R = 21.1261

P.S. = 3-9101 R = 19.2695

F.S. = 4.5759 R = 17.5731

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 23.80
YO = 28.80

F.S. MIN = 4.1278 R = 25.8118

F.S. = 4.5071 R = 24.0832

F.S. = 5.1177 R = 22.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 33.50
YO = 03.75

F.S. MIN = 4.2242 R = 24.2963

F.S. = 4.5246 R = 22.4513

F.S. = 5.3247 R = 20.7440

-235- COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 53.50
YO = 01.50

F.S. MIN = 4.4635 R = 22.9020

F.S. = 4.8675 R = 20.9344

F.S. = 5.5404 R = 19.0919

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 33.75
YO = 08.00

F.S. MIN = 4.7620 R = 27.4693

F.S. = 5.1752 R = 25.6332

F.S. = 6.1141 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 55.75

YO = 63.72

P.S. MIN = 4.9625 R = 26.0504

P.S. = 5.5386 R = 24.1065

P.S. = 6.4283 R = 22.2739

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 35.73
YO = 61.50

P.S. MIN = 5.0060 R = 24.7550

P.S. = 5.6641 R = 22.7005

P.S. = 7.3349 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 66.00

P.S. MIN = 5.4934 R = 29.2062

P.S. = 6.2869 R = 27.2809

P.S. = 7.3917 R = 25.4558

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 63.75

P.S. MIN = 5.5620 R = 27.8758

P.S. = 6.3173 R = 25.8517

P.S. = 6.1329 R = 23.9176

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 38.00
YO = 61.50

P.S. MIN = 5.8249 R = 26.6643

P.S. = 6.5526 R = 24.5439

P.S. = 6.4004 R = 22.5000



INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 50.00 GRAOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 28.75
Y0 = 56.00

P.S. MIN = 3.5643 R = 21.2265

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 31.00
Y0 = 66.00

P.S. MIN = 2.5744 R = 20.1246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 31.00
Y0 = 53.75

P.S. MIN = 3.3443 R = 18.1401

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.25
Y0 = 66.00

P.S. MIN = 1.9744 R = 19.2240

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.25
Y0 = 63.75

P.S. MIN = 2.3724 R = 17.1325

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.25
Y0 = 51.50

P.S. MIN = 3.0827 R = 15.0935

237-

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 08.50
Y0 = 08.50

F.S. MIN = 1.8006 R = 18.5540

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 03.75
Y0 = 03.75

F.S. MIN = 1.8648 R = 16.3802

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 01.50
Y0 = 01.50

F.S. MIN = 2.2107 R = 14.2302

CONDENADA DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 06.00
Y0 = 06.00

F.S. MIN = 1.7721 R = 18.1401

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 03.75
Y0 = 03.75

F.S. MIN = 1.7039 R = 15.9099

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 01.50
Y0 = 01.50

F.S. MIN = 1.7917 R = 13.6862

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X0 = 06.00
Y0 = 06.00

F.S. MIN = 1.7918 R = 18.0000

F.S. = 1.9239 R = 18.1728

F.S. = 2.0104 R = 18.6815

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XD = 63.75
YD = 63.75

F.S. MIN = 1.7373 R = 15.7500

F.S. = 1.8449 R = 15.9472

F.S. = 1.9134 R = 16.5246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XD = 61.50
YD = 61.50

F.S. MIN = 1.5786 R = 13.5000

F.S. = 1.6276 R = 13.7295

F.S. = 1.9701 R = 14.3962

-239-
COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XD = 66.00
YD = 66.00

F.S. MIN = 1.9223 R = 18.1401

F.S. = 2.0204 R = 18.6162

F.S. = 2.0405 R = 19.4052

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XD = 63.75
YD = 63.75

F.S. MIN = 1.6654 R = 15.9099

F.S. = 1.9114 R = 16.4507

F.S. = 2.0000 R = 17.3385

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
XD = 61.50
YD = 61.50

P.S. MIN = 1.7748 R = 13.6652

P.S. = 1.9008 R = 14.3113

P.S. = 1.9236 R = 15.3236

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XC = 86.00
YC = 86.00

P.S. MIN = 2.1519 R = 18.5540

P.S. = 2.1948 R = 19.3132

P.S. = 2.2072 R = 20.3531

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XC = 84.30
YC = 83.72

P.S. MIN = 2.0701 R = 16.3602

P.S. = 2.1069 R = 17.2355

P.S. = 2.1705 R = 18.3933

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XC = 84.50
YC = 81.50

P.S. MIN = 2.0211 R = 14.2302

P.S. = 2.0802 R = 15.2069

P.S. = 2.1245 R = 16.5076

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XC = 86.75
YC = 86.00

P.S. MIN = 2.4202 R = 20.2377

P.S. = 2.5041 R = 19.2240

I.S. = 2.5114 R = 21.4956

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XO = 48.75
YO = 03.75

I.S. MIN = 2.5740 R = 17.1355

I.S. = 2.4120 R = 19.6521

I.S. = 2.4698 R = 18.2634

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XO = 46.75
YO = 01.50

I.S. MIN = 2.3396 R = 16.3650

I.S. = 2.4316 R = 17.8973

I.S. = 2.4598 R = 15.0935

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XO = 49.00
YO = 06.00

I.S. MIN = 2.7303 R = 22.8035

I.S. = 2.6077 R = 21.3600

I.S. = 2.6334 R = 20.1246

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
XO = 49.00
YO = 03.75

I.S. MIN = 2.7368 R = 19.5016

I.S. = 2.7963 R = 21.0728

I.S. = 2.8571 R = 18.1401

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 45.00$
 $Y_0 = 01.50$

I.S. MIN = 2.7710 R = 19.4487
I.S. = 2.7900 R = 16.2250
I.S. = 2.8542 R = 17.7341

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 51.25$
 $Y_0 = 06.00$

I.S. MIN = 3.1810 R = 22.6509
I.S. = 3.2100 R = 24.2500
I.S. = 3.3200 R = 21.2205

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 51.25$
 $Y_0 = 03.75$

I.S. MIN = 3.1501 R = 22.6302
I.S. = 3.2674 R = 20.9075
I.S. = 3.3300 R = 19.3552

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 51.25$
 $Y_0 = 01.50$

I.S. MIN = 3.1602 R = 21.1261
I.S. = 3.2071 R = 19.2695
I.S. = 3.4408 R = 17.5731

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

$X_0 = 53.50$
 $Y_0 = 06.00$

F.S. MIN = 3.5500 R = 25.8118
 F.S. = 3.7140 R = 24.0632
 F.S. = 3.9377 R = 22.5000

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
 XO = 83.75
 YO = 83.75

F.S. MIN = 3.6130 R = 24.2963
 F.S. = 3.6888 R = 22.4513
 F.S. = 3.9959 R = 20.7440

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
 XO = 81.50
 YO = 81.50

F.S. MIN = 3.7773 R = 22.9020
 F.S. = 3.8869 R = 20.9344
 F.S. = 4.0507 R = 19.0919

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
 XO = 82.75
 YO = 82.00

F.S. MIN = 4.0740 R = 27.4693
 F.S. = 4.2044 R = 25.6332
 F.S. = 4.5827 R = 23.9178

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCUO DE FALLA GENERADO:
 XO = 83.75
 YO = 83.75

F.S. MIN = 4.1940 R = 26.0534
 F.S. = 4.4131 R = 24.1065

F.S. = 4.6949 R = 22.2739

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 81.50
Y0 = 81.50

F.S. MIN = 4.2143 R = 24.7530

F.S. = 4.4625 R = 22.7005

F.S. = 2.8940 R = 20.7440

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 58.00
Y0 = 66.00

F.S. MIN = 4.6320 R = 29.2062

F.S. = 4.9962 R = 27.2609

F.S. = 3.3863 R = 25.4558

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 58.00
Y0 = 63.75

F.S. MIN = 4.6747 R = 27.8758

F.S. = 4.9815 R = 25.8517

F.S. = 5.7000 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADA:
X0 = 58.00
Y0 = 61.50

F.S. MIN = 4.8509 R = 26.6693

F.S. = 5.1117 R = 24.5459

F.S. = 2.7705 R = 22.5000

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 30.00 GRADOS

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 40.50
YO = 66.00

I.S. MIN = 3-0690 R = 10.0000
I.S. = 3-0702 R = 10.6615
I.S. = 3-2172 R = 18.1720

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 42.25
YO = 56.00

I.S. MIN = 2-3450 R = 19.4052
I.S. = 2-3697 R = 18.1401
I.S. = 2-4349 R = 18.6162

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 48.50
YO = 63.75

I.S. MIN = 2-3919 R = 17.3385
I.S. = 2-4112 R = 16.4507
I.S. = 2-5008 R = 15.9099

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 48.50
YO = 66.00

I.S. MIN = 2-2273 R = 18.5540
I.S. = 2-2338 R = 20.3531
I.S. = 2-2426 R = 19.3132

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 83.75
Y0 = 83.75

F.S. MIN = 2.1845 R = 16.3802
F.S. = 2.1897 R = 17.2355
F.S. = 2.2324 R = 18.3933

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 81.50
Y0 = 81.50

F.S. MIN = 2.2042 R = 16.5076
F.S. = 2.2194 R = 14.2302
F.S. = 2.2295 R = 15.2069

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 86.75
Y0 = 88.00

F.S. MIN = 2.2694 R = 20.2377
F.S. = 2.3132 R = 19.2240
F.S. = 2.3638 R = 21.4956

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 88.75
Y0 = 83.75

F.S. MIN = 2.1951 R = 17.1355
F.S. = 2.2765 R = 19.6501
F.S. = 2.2985 R = 18.2654

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 85.75
Y0 = 81.50

F.S. MIN = 2.1898 R = 16.3650

F.S. = 2.2769 R = 15.0935

F.S. = 2.3004 R = 17.8973

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 45.80
YO = 66.00

F.S. MIN = 2.4101 R = 20.1246

F.S. = 2.4610 R = 21.3600

F.S. = 2.4704 R = 22.8035

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 49.00
YO = 63.75

F.S. MIN = 2.3903 R = 19.5016

F.S. = 2.4115 R = 18.1401

F.S. = 2.5004 R = 21.0728

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 49.00
YO = 61.50

F.S. MIN = 2.3385 R = 16.2250

F.S. = 2.4751 R = 17.7341

F.S. = 2.4777 R = 19.4487

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

XO = 51.25
YO = 66.00

F.S. MIN = 2.6742 R = 22.6509

F.S. = 2.6780 R = 21.2265

f.s. = 2.7632 R = 24.2500

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 51.25
YO = 63.73

f.s. MIN = 2.6441 R = 19.3552

f.s. = 2.7113 R = 20.9075

f.s. = 2.7227 R = 22.6302

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 51.25
YO = 61.50

f.s. MIN = 2.6524 R = 19.2625

f.s. = 2.6804 R = 17.5731

f.s. = 2.7425 R = 21.1261

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 53.30
YO = 66.00

f.s. MIN = 3.0121 R = 24.0832

f.s. = 3.0166 R = 25.8118

f.s. = 3.0280 R = 22.5000

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
XO = 53.30
YO = 63.73

f.s. MIN = 2.9701 R = 22.4513

f.s. = 3.0227 R = 20.7440

f.s. = 3.0465 R = 24.2963

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 23.50
Y0 = 01.50

P.S. MIN = 3.0106 R = 19.0919

P.S. = 3.0909 R = 20.9344

P.S. = 3.1565 R = 22.9020

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 22.75
Y0 = 02.50

P.S. MIN = 3.3371 R = 25.6332

P.S. = 3.3845 R = 27.4693

P.S. = 3.4061 R = 23.9178

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 33.75
Y0 = 03.75

P.S. MIN = 3.4214 R = 22.2739

P.S. = 3.4516 R = 24.1065

P.S. = 3.4571 R = 26.0504

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 31.50
Y0 = 01.50

P.S. MIN = 3.4637 R = 22.7005

P.S. = 3.4645 R = 24.7550

P.S. = 3.5936 R = 20.7440

CONDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:

X0 = 38.00
Y0 = 06.00

P.S. MIN = 3.7891 R = 29.2062

F.S. = 3.8601 R = 27.2809

F.S. = 3.8743 R = 25.4558

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X = 58.00
Y = 83.75

F.S. MIN = 3.8054 R = 27.8758

F.S. = 3.8346 R = 25.8517

F.S. = 3.9974 R = 23.9178

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO DE FALLA GENERADO:
X = 58.00
Y = 61.50

F.S. MIN = 3.8842 R = 24.5459

F.S. = 3.9216 R = 26.6673

F.S. = 3.9967 R = 22.5000

-250-

INCLINACION DEL TALUD RESPECTO A LA HORIZONTAL: 10.00 GRADOS

Resultados del programa para la calculadora TI-59:

DATOS:	XO = 26.50	XA = 35
	YO = 61.50	XB = 40
	COH = 3 Ton/m ²	YB = 48
	$\phi = 18^\circ$	YC = 57
	$\gamma = 1.7$ Ton/m ³	N = 2
	AD = 2.5	$\beta = 89.99^\circ$

RESULTADOS:

F.S. = 1.026918

RAD = 19.091883

COMENTARIO:

Como se pudo ver al través de este capítulo, el problema de diseño de taludes se ha reducido en gran medida con ayuda de este método numérico. Las aplicaciones no terminan en el hecho de encontrar una inclinación adecuada a un cierto factor de seguridad; puede existir algún problema en el que lo que se busque sea la altura del talud; esto se puede lograr metiendo como dato una altura supuesta y en base a los resultados obtenidos, ir probando con varias alturas hasta que una de ellas se acerque a lo necesitado; esto es posible gracias a la velocidad tan grande a la que se ejecutan los pasos del programa.

COMPARACIONES:

A continuación presentamos a manera de cuadro comparativo, los resultados obtenidos tanto por la computadora como por la calculadora de bolsillo.

PROBLEMA	X0	Y0	COMPUTADORA		CALCULADORA		β
			F.S.	RAD	F.S.	RAD	
1	8	58	0.9946	25.6125	0.994597	25.612496	90°
	20	54	1.2275	14.4222	1.227473	14.422205	75°
3	35	39	1.6968	9.0864	1.696773	9.086390	70°
			1.8981	9.0000	1.898066	9.000000	
			1.9261	9.7500	1.926127	9.750000	
			2.0171	9.3408	2.017137	9.340770	
			2.0690	10.2956	2.069025	10.295630	
5	26.5	61.5	1.0269	19.0919	1.026918	19.091883	90°

Como se puede apreciar, la calculadora de bolsillo arroja resultados idénticos a los de la computadora, por lo que se concluye que el programa reducido es absolutamente confiable.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

Al través de todo lo que se ha visto en los cinco anteriores capítulos de esta tesis, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- 1.- Existe una vasta aplicación de los taludes a obras de ingeniería civil en donde su empleo es absolutamente necesario.
- 2.- Es posible elaborar programas de computadora para la resolución de problemas de estabilidad de taludes.
- 3.- Un buen análisis de estabilidad prevendrá que los taludes se deslicen, evitando así que con una falla sobrevengan -- pérdidas irreparables tanto humanas como materiales.
- 4.- Siendo los taludes un aspecto de gran importancia dentro de la ciencia de Suelos, muchos investigadores se han dedicado a estudiar el comportamiento de ellos, dan o como resultado la aparición de varios métodos de análisis accesibles y hasta cierto punto sencillos.
- 5.- La falla de un talud ocurre bajo diferentes condiciones y por distintas causas lo cual hace que su estudio conduzca a manejar conceptos de otras especialidades como la Hidráulica, la Mecánica de Materiales, la Dinámica, la Estadística, etc.

- 6.- Existen taludes en tres diferentes tipos de suelo: puramente cohesivos, puramente friccionantes y cohesivo-friccionantes, siendo este último más común que los otros, y por lo tanto, foco principal de los análisis de estabilidad.
- 7.- Para poder resolver un problema no solo de suelos sino de ingeniería en general, es absolutamente necesario entender el problema físicamente, así como entender y saber manejar las herramientas existentes para su solución numérica. Ambas cosas se complementan y es indispensable que estén ligadas.
- 8.- De entre todos los métodos de análisis existe uno que es más empleado para la resolución de problemas de estabilidad por ser de más fácil comprensión que los demás: el método sueco o de dovelas.
- 9.- El método sueco tiene bases hipotéticas que facilitan su uso. Es posible que esto aleje un poco de la realidad a los problemas, pero con el paso del tiempo se ha visto que este método arroja resultados aceptables para fines prácticos.
- 10.- Por otro lado, este método requiere de un gran tiempo de ejecución manual, lo cual lo hace impráctico, por lo que es necesario contar con la ayuda de una computadora para poder obtener rápidamente los resultados del análisis. -- Así pues, lo que en forma manual toma varios días (incluso meses) en realizarse, la computadora reduce este tiempo a unos cuantos minutos.

- 11.- El Doctor Janbú (1954) dedicó varios años a tratar de facilitar y hacer más rápido el análisis de estabilidad. -- Las gráficas que obtuvo al través de sus estudios redujeron en gran medida el tiempo de ejecución manual del análisis, pero estas gráficas solamente solucionan problemas de fallas por el pie del talud, no así las fallas de base, -- las cuales sí son abarcadas por el programa de computadora elaborado en esta tesis, complementando los estudios de -- Janbú cuyas investigaciones, de cualquier manera, merecen enorme reconocimiento por tener un gran mérito.
- 12.- El método numérico expuesto en esta tesis es de fácil comprensión y la exactitud de los resultados que obtiene es - confiable para fines prácticos. El programa es versátil - puesto que resuelve problemas de estabilidad de taludes hechos en cualquiera de los tres tipos de suelo mencionados - con antelación. Se requieren un mínimo de conocimientos - de programación para entender el programa, así como no son necesarios tales conocimientos para su aplicación.
- 13.- La versatilidad del programa también se pone de manifiesta desde el momento en que, además de obtener factores de seguridad, establece distintas inclinaciones del talud, aspecto de mucha importancia en cierto tipo de problemas.
- 14.- La reducción del programa para la calculadora de bolsillo (TI-59) hace que la resolución de problemas pueda realizarse en el campo, y aunque sus limitaciones son mayores - que las del programa original, los resultados obtenidos -- por ambos programas tienen la misma exactitud. La limita-

ción más notoria de esta reducción es que no es capaz de - analizar taludes tanto en suelos puramente friccionantes - como en suelos puramente cohesivos.

- 15.- Cuando sea posible es recomendable que el ingeniero realice sus propios programas de tal suerte que él conozca las limitaciones de los mismos y sepa en qué casos es posible aplicarlos; de lo contrario puede ser que un programa se use sin conocer sus alcances reales.
- 16.- Este es tan solo un primer paso en el estudio computarizado de la estabilidad de taludes. El programa aquí expuesto sienta las bases para aplicaciones subsecuentes tales como el análisis numérico de taludes en suelos estratificados, así como taludes con flujo de agua en su interior. El tema es extenso y sus posibilidades de investigación se abren cada vez más. Es necesario seguir abundando en esto y así contribuir poco a poco a esclarecer los problemas de la Mecánica de Suelos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- DEMENEGHI C., Agustín. APUNTES DE MECANICA DE SUELOS. México. D.F. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. 1978.
- 2.- JANBU, Nilmar. STABILITY ANALYSIS OF SLOPES WITH DIMENSION-LESS PARAMETERS. Harvard University, U.S.A. 1954.- pp. 16, 17, 49-53
- 3.- JUAREZ B., Eulalio y RICO R., Alfonso. MECANICA DE SUELOS. - Tomo II. Ed. Limusa. Segunda Edición. México D.F.- 1980. pp. 255-311.
- 4.- TERZAGHI, Karl. FROM THEORY TO PRACTICE IN SOIL MECHANICS. - Ed. John Wiley & Sons. New York, U.S.A. 1960. --- pp. 202-244.