

92ej



Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

EJEMPLOS DEL USO Y APLICACION DE
LA COMPUTADORA EN PROBLEMAS DE
MECANICA DE SUELOS

FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
HUMBERTO MEDRANO CRUZ

Director de Tesis:
ING. RUBEN FRIAS ALDARACA



San Juan de Aragón, Edo. de México
1990



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 está 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.

I N D I C E

	<i>página</i>
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I	2
Generalidades.	
CAPITULO II	8
Presión de tierras sobre elementos de soporte.	
CAPITULO III	63
Estabilidad de taludes.	
CAPITULO IV	168
Capacidad de carga.	
CAPITULO V	245
Diseño de pavimentos.	
CAPITULO VI	274
Conclusiones y recomendaciones.	
BIBLIOGRAFIA.	276
ANEXO I	277

I N T R O D U C C I O N

Uno de los avances más novedosos que la tecnología ha aportado a la humanidad lo son sin lugar a duda, las computadoras. Hoy en día, el uso de estas máquinas permite al hombre efectuar un sin fin de actividades de una forma rápida y precisa.

En casi todas las ramas del conocimiento, el uso de las computadoras ha tomado un auge tremendo, a tal grado que se considera que para el siglo XXI la gran mayoría de los habitantes de este planeta sabrán utilizar este tipo de herramienta.

La Ingeniería Civil no podía escapar de la red que día a día teje la computación. El uso de las computadoras en la construcción, en el diseño de estructuras, la hidráulica, la mecánica de suelos, etc..., va tomando poco a poco una gran importancia en el desarrollo de proyectos, por la gran rapidez y exactitud con que se pueden resolver los problemas que se presenten. Sin embargo, en muchas ocasiones el uso de la computadora puede dar resultados teóricos exactos, pero que aplicados a la realidad del problema no suelen ser adecuados. Esto conlleva a decir que el depender totalmente de la máquina, en algunos casos, no es lo indicado.

El presente trabajo es el resultado de la elaboración de una serie de programas para una computadora personal (PC), que nos permitirán resolver — problemas relacionados con el área de la Mecánica de Suelos, como lo son: Empujes Sobre Muros de Retención, Estabilidad de Taludes, Capacidad de Carga y Diseño de Pavimentos. En la realización de ellos, se trató de abarcar las teorías más empleadas en cada uno de los temas citados. Sin embargo, — debido a lo extenso que puede ser un problema de Geotecnia, dichos programas presentan ciertas limitaciones.

En cada uno de los capítulos siguientes se presentan con detalle los programas de computadora, ejemplos resueltos y los pasos necesarios para llegar a dicha solución.


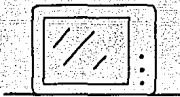


Es propósito de este trabajo, que la realización de estos programas de computadora cumpla con el objetivo para el que fueron creados: facilitar la solución a problemas de Mecánica de Suelos e introducir al interesado al mundo de la computación.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES.

1.1 INTRODUCCION.

En principio, es necesario que el usuario conozca cada uno de los componentes del computador personal (PC = personal computer) y la interrelación que entre ellos existe, por lo que es conveniente que se familiarice con los nombres que se utilizan para su identificación, así como con los elementos externos que servirán para el almacenamiento de la información.

NOMBRE	EQUIPO
C.P.U. (unidad central de proceso)	
MONITOR (video)	
KEYBOARD (teclado)	
IMPRESORA	

Para este caso el dispositivo de almacenamiento serán los discos flexibles (dshettes) de 5 1/4 pulg., los cuales son introducidos en el compartimiento respectivo que se haya en la unidad central de proceso (C.P.U.).

Pero, ¿qué es una computadora?

La respuesta a esta pregunta se dará presentando a la computadora como una máquina electrónica que permite el tratamiento automático de la información y de manera más rápida.

La computadora se diseña y configura para satisfacer las necesidades de cada

usuario o grupo de ellos.

Para que la computadora trabaje se le debe de proporcionar alguna instrucción (comando) o una serie de instrucciones (un programa).

Esas instrucciones serán introducidas a través del dispositivo de entrada (teclado) y visualizadas en uno de los dispositivos de salida (monitor), a su vez, la computadora buscará la información requerida en los dispositivos de almacenamiento (dshettes) y la guardará dentro de la memoria que existe en la C.P.U.

Para guardar nuestra información se utilizarán los "archivos".

Un archivo es un conjunto de datos que se almacenan en un disco o cinta magnética y que tiene una determinada dimensión.

Existen tres tipos de archivos:

- a) Archivos de Programas; están compuestos de instrucciones que deberá realizar la computadora cuando se corra o ejecute el programa.
- b) Archivos de Datos; son los archivos propiamente dichos. Contienen cualquier tipo de información que puede ser dispuesta en listas o tablas, como puede ser una guía de teléfonos. Es el mejor medio para almacenar información de tipo flexible.
- c) Archivos de Texto; se utilizan para almacenar información tipo texto, como letras, listas de nombres, etc...

El tipo de archivo que se manejará en este trabajo corresponde a los archivos de programas.

Los programas escritos en un lenguaje de programación se almacenan en disco para su uso futuro en archivos conocidos como archivos de programas.

Estos archivos pueden ser creados en discos directamente con órdenes como - SAVE en lenguaje BASIC.

Los archivos de programas se pueden cargar, ejecutar, correr, listar o guardar.

El diseño de un archivo exige normalmente para su codificación en BASIC - o en cualquier otro lenguaje - la descomposición de tareas a realizar en módulos independientes que puedan ser codificados más fácilmente y luego enlazados entre sí para constituir el programa principal.

Los módulos suelen codificarse como subrutinas dado que normalmente las ta-

reas que se realizan serán repetitivas. Estas subrutinas pueden ser específicas de la administración de archivos o de uso general.

Los soportes de almacenamiento magnético como cintas y discos magnéticos sirven para contener información de modo permanente, con objeto de que no se pierda dicha información cuando se desconecte la energía eléctrica de la computadora.

Toda la información grabada en un disco se almacena en archivos que contienen información lógica relacionada entre sí. Esta información se organiza de varias formas dando lugar a diferentes tipos de archivos.

Para que el sistema operativo y el lenguaje BASIC puedan reconocer y manejar los diferentes archivos que se desean grabar o ya existen en el disco, deben tener un nombre que los identifique y los distinga entre sí.

1.1.1. PROCESO DE ENCENDIDO E INICIO DEL SISTEMA.

Antes de encender el equipo es necesario identificar el disco flexible que contiene el sistema operativo (S.O.), para el caso de que el computador no cuente con disco rígido.

El proceso de encendido del equipo e inicio del sistema se indica a continuación:

- 1) Introduzca el disco que contiene el S.O. en la unidad de disco A (unidad superior) y cierre la compuerta.
- 2) Encienda la unidad central de proceso (switch en la parte posterior del equipo).
- 3) Encienda el monitor.

NOTA: En este momento la computadora realiza una prueba de memoria (test memory) así como un reconocimiento de sus componentes.

- 4) Automáticamente la computadora buscará el sistema operativo (se encenderá el foco indicador en la unidad de disco) y posteriormente pedirá la fecha (mes/día/año) y la hora (hora:min); después de teclear estos datos aparecerá un indicador, al que llamaremos "prompt": A> _
el cual nos indica que el sistema operativo está listo y que podemos empezar a introducir información mediante algún comando.

El hecho de que aparezca una letra A nos indica que este es el "drive por default", si se quisiera acceder información de la otra unidad de disco (drive

B), se tendría que introducir el disco correspondiente en la unidad B y te-
clear:

A > ("prompt" original)
A > B: return (nueva designación de unidad)
B > (nuevo "prompt")

1.1.2 INTRODUCCION AL BASIC.

Para configurar el sistema operativo del lenguaje basic se deberá contar con el
disco correspondiente y para llamarlo se procede de la siguiente manera:

Introduzca el disco correspondiente y teclee:

A > CIBASIC

Aparecerá un mensaje de presentación en la pantalla y se estará bajo el con-
trol del lenguaje BASIC pudiendo introducir, ejecutar y depurar programas en
BASIC.

En este momento el usuario puede empezar a programar o a indicar mediante
ciertos comandos distintas funciones a realizar:

Los comandos más comunes en BASIC son:

FILES (visualización de un directorio)

Con esta orden se visualizan todos los archivos contenidos en un disco flexi-
ble.

SAVE (grabación de un programa)

Después de haber tecleado el programa y de haberlo "depurado", es necesario
grabarlo o conservarlo en disco. La orden SAVE graba el programa residente
en memoria, como un archivo de programa en la unidad de disco indicada.

LOAD (carga de un programa)

Carga de un programa es la operación de transferir un programa previamente
grabado en un disco a la memoria de la computadora.

RUN (ejecución de programas)

Tras la introducción de un programa a la memoria, ya sea por el teclado o por
medio de la orden LOAD, aquel se puede ejecutar mediante la instrucción RUN.

KILL (borrado de archivos)

La orden KILL permite eliminar o borrar un archivo.

AEH (borrado de la memoria de la computadora)

Esta instrucción permite borrar de la memoria el programa que tenga en ese instante la computadora.

1.1.3. PROCESO DE SOLUCION.

Los programas elaborados para este trabajo, en la solución a problemas de Mecánica de Suelos, se presentan en un disco flexible (anexo al mismo), con los siguientes nombres:

<u>T E M A</u>	<u>MONBRE DEL PROGRAMA</u>
- PRESION DE TIERRAS SOBRE ELEMENTOS DE SOPORTE.....	EMPUJES.BAS
- ESTABILIDAD DE TALUDES.....	TALUDES.BAS
- CAPACIDAD DE CARGA.....	CARGA.BAS
- DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	PAVIFLEX.BAS

Los programas anteriores podrán presentar los resultados tanto en el monitor como en forma impresa.

Enseguida se presenta la forma en que se deberá trabajar el programa en la computadora para dar respuesta a los problemas que se deseen resolver:

- 1.- Entrar a la versión QIBASIC de la manera anteriormente descrita.
- 2.- Introducir el diskette que contiene los programas en la unidad de disco correspondiente.
- 3.- Teclar la palabra FILES para que en la pantalla la máquina despliegue los programas que se hayan grabados en el disco.
- 4.- Elegir el programa a emplear.
- 5.- Una vez elegido el programa, se deberá cargar a la memoria de la computadora con la orden:

LOAD "A o B: nombre del programa"

- 6.- Una vez que la computadora tiene en su memoria el programa, se procede a ejecutarlo mediante la instrucción RUN.
- 7.- Aparecerán en la pantalla avisos de introducción, los cuales avanzarán al oprimir la tecla "return". Esto se hará hasta que aparezca el nombre del programa.
- 8.- Cuando en el monitor aparece el nombre del programa, se deberán empezar a introducir los datos necesarios para la solución al problema.

9.- Al tectear el último dato, en cuestión de segundos, la computadora presentará los resultados obtenidos en la solución al problema.

Por último, es conveniente decir que el tipo de computadora que se utilizó en el desarrollo y elaboración de cada uno de los programas que se describirán en los siguientes capítulos, fue una computadora personal marca PRINTFORM con capacidad de 360 KB.

C A P I T U L O I I

PRESTION DE TIERRAS SOBRE ELEMENTOS DE SOPORTE.

2.1 INTRODUCCION.

Uno de los problemas a los que se enfrenta en la actualidad la Mecánica de Suelos, es el de poder determinar con cierta precisión el valor de las presiones que la tierra ejerce sobre los elementos de retención encargados de soportarla, esto con el fin de poder diseñarlos adecuadamente para que puedan resistir dichas presiones.

Hoy en día, en las diversas obras ingenieriles que el hombre realiza, se emplean generalmente dos tipos de elementos de soporte: los rígidos, que usualmente se denominan muros, y los flexibles, llamados también tablistacas.

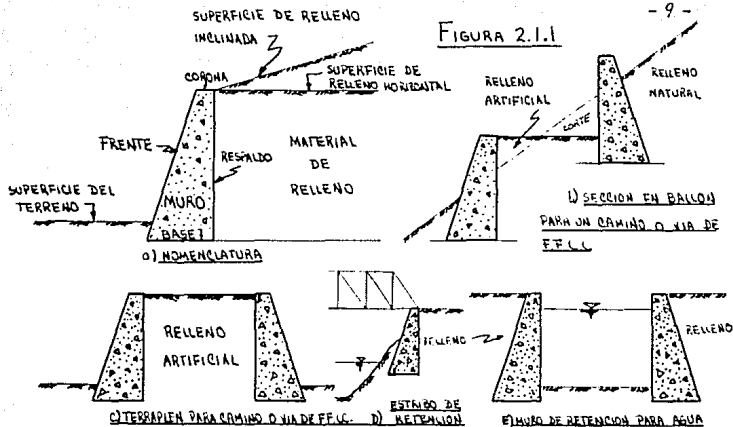
La construcción de los muros puede ser hecha a base de piedra (mampostería) o concreto, no así las tablistacas que normalmente suelen ser de acero.

Un muro que tiene como fin el mantener una diferencia de niveles de suelo en sus dos lados, recibe el nombre de muro de retención. El lado de mayor nivel que ocupa la tierra recibe el nombre de relleno y es el generador de la presión que estará actuando sobre el paramento del muro.

En la figura 2.1.1. se ilustra la nomenclatura que se utiliza en los muros de retención y los principales usos de éstos.

La primera persona que se interesó en obtener el valor de las presiones que se ejercen sobre un muro a consecuencia de un relleno, de manera científica y técnicamente aceptable, fué el conocido físico e ingeniero francés Charles Augustin de Coulomb, en el año de 1776.

Básicamente la teoría desarrollada por Coulomb establecía como hipótesis el hecho de que la tierra es incompresible, que la deformación que sufre antes de llegar a la falla es despreciable y que los suelos fallan por el esfuerzo cortante que se produce a lo largo de planos de deslizamiento, estableciendo además que en los suelos existen fuerzas que rigen la resistencia al esfuerzo cortante. Coulomb definió estas fuerzas como características propias de los suelos a las que llamó "ángulo de fricción aparente (θ) y cohesión (C)"; de esta manera pudo asignar una ley de resistencia general para suelos que presentaran ambas propiedades. Esta ecuación es tradicionalmente conocida en los ámbitos de la Mecánica de Suelos con el nombre



de ley de Coulomb, la cual puede expresarse como:

$$S = C + \nabla \tan \theta$$

donde: S = resistencia al esfuerzo cortante del suelo, en ton/m^2 .

C = cohesión del suelo, en ton/m^2 .

∇ = esfuerzo normal, en ton/m^2 .

θ = ángulo de fricción aparente del material, en grados.

Sin embargo, a pesar de que las ideas expuestas por Coulomb sobre los fenómenos de presión de tierra tuvieron una buena aceptación entre sus contemporáneos, debido sobre todo a que no existían otras teorías para comparar, al paso del tiempo se fue descubriendo que dichas ideas no eran del todo convincentes debido al gran contraste que existía entre éstas y lo que sucedía en la práctica. El error que se cometió durante muchos años al aplicar la teoría de Coulomb fue el de dar al valor de θ el valor correspondiente al ángulo de reposo del suelo, no importando el tipo y caso de material de que se tratara.

A pesar de que la teoría de Coulomb fue enunciada en el siglo XVIII, no fue sino hasta hace algunos años, que los avances generales en la Mecánica de Suelos introdujeron nuevas ideas en relación al problema de empujes de tierra. Apoyando en ciertos aspectos las ideas expuestas por Coulomb, el físico e ingeniero escocés William John M. Rankine propuso una teoría para el cálculo

lo de presiones horizontales sobre muros, pero continuó por largo tiempo haciendo uso del valor del ángulo de reposo de un suelo en la ecuación de resistencia al esfuerzo cortante, a pesar de que ingenieros de su época, como A. Collin y G.H. Darwin, demostraron experimentalmente que, por lo me nos en algunos casos, el ángulo de fricción interna de un suelo podía diferir tremendamente del de reposo.

Investigaciones realizadas para tratar de encontrar un concepto más claro de ángulo de fricción interna de un suelo, dieron resultados que apoyaban los experimentos realizados por Collin y Darwin, es decir, pudo comprobarse por ejemplo que en arenas colocadas a volteo, el ángulo de reposo pudie ra coincidir más o menos con el ángulo de fricción interna (θ) correspondiente al estado suelto, pero sería muy diferente al θ de una arena compacta. Otro caso que se realizó en dichas investigaciones, fué el relacionado con materiales arcillosos. Así, siguiendo un criterio apegado al concepto de "ángulo de fricción" establecido por Coulomb, pudiera llevar a decir que si vemos un corte casi vertical en equilibrio de arcilla, que su ángulo de reposo, y por consiguiente de fricción, tiene valores cercanos a los 90° , lo cual es absurdo y conducirá a resultados totalmente erróneos en cualquier aplicación práctica en que la resistencia de la arcilla se obten ga a partir de tal dato.

Con la interpretación actual que se le ha dado a los parámetros de resistencia de los suelos, "ángulo de fricción interna" y "cohesión", muchas de las teorías clásicas de presión de tierras son aplicadas hoy en día en muchos problemas prácticos de la Mecánica de Suelos.

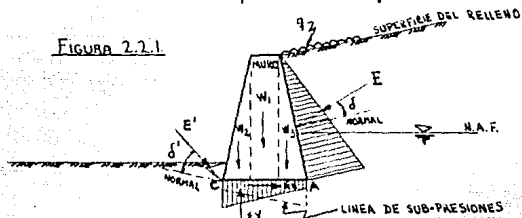
Así, es frecuente ver en la actualidad estructuras de soporte que fueron diseñadas a partir de las teorías expuestas por Rankine y Coulomb, puesto que a pesar de que distan de ser muy confiables, son las de más fácil aplicación y su manejo no requiere de conocimientos muy avanzados.

Por lo comentado anteriormente, se puede tener idea de lo necesario que es seguir realizando investigaciones concernientes a éste tópico, que tengan como fin el mejorar y ¿por qué no? abandonar un poco las teorías expuestas por Coulomb y Rankine para obtener el valor de las presiones de tierra ejercidas sobre elementos de soporte de una manera más exacta y apegada a lo que sucede en la vida real.

2.2 ENUNCIADOS DE LAS DISTINTAS TEORIAS SOBRE EL CALCULO DE PRESIONES DE TIERRA EN ELEMENTOS DE SOPORTE.

Las teorías clásicas de presiones de tierra sobre elementos de soporte, que abordaremos en este subtítulo, serán las enunciadas por Rankine y Coulomb. Antes de entrar en detalle sobre las ideas que expusieron estos investigadores, es conveniente recordar las fuerzas que intervienen en el cálculo y diseño de un muro de retención.

Consideremos un muro de retención de sección trapezoidal que sea constante a lo largo de una longitud considerable, ver la figura 2.2.1.; las fuerzas actuantes en este muro se podrán calcular considerando unitaria la longitud en la dirección normal al plano de esta hoja.



Dichas fuerzas son:

- El peso propio del muro.
- La presión del relleno contra el respaldo del muro con su correspondiente intensidad y distribución.
- La presión de la tierra contra el frente del muro.
- Fuerzas de puente, si el muro forma parte, por ejemplo, de un estribo de puente.
- Las sobrecargas actuantes sobre el relleno, usualmente distribuidas uniformemente o lineales.
- Las fuerzas de filtración y otras debidas al agua.
- Las subpresiones.
- La vibración causada por el paso del tráfico, máquinas u otras causas, pueden incrementar el valor de las presiones sobre el muro. Sin embargo no se consideran en los cálculos por los valores tan pequeños que representan.
- Los temblores. El efecto de los movimientos sísmicos puede ser el aumentar momentáneamente la presión lateral contra un muro. El efecto no sue

- cuenta incrementando el valor de los empujes calculados en un 10 % o mayor.
- j) La componente normal de las presiones en la cimentación.
 - h) La componente horizontal de las presiones en la cimentación.
 - l) Las expansiones debidas a cambios de humedad en el relleno.

A pesar de que son variadas las fuerzas que actúan en un muro de retención, únicamente se tratará aquí la forma de calcular los empujes laterales que puede ejercer el relleno, alguna sobrecarga uniformemente distribuida y agua tras el muro, sin considerar otras fuerzas.

2.2.1. TEORIA DE RANKINE.

a) En suelos friccionantes.

Consideremos un elemento de suelo con altura dz situado a una profundidad z en el interior de un semiespacio de suelo, sin que se permita ningún desplazamiento a partir de un estado natural, es decir en "reposo". Sobre este elemento se estará ejerciendo una presión vertical debida al peso del material que se halla sobre él, y cuyo valor es:

$$P_v = \gamma z$$

donde γ es el peso volumétrico correspondiente a las condiciones en que se encuentre el medio.

Al estar actuando la presión vertical, P_v , sobre el elemento de suelo, éste se presiona lateralmente dando origen así a un esfuerzo horizontal P_h , que de acuerdo a la práctica que se tiene se ha aceptado como directamente proporcional a P_v :

$$P_h = K_0 P_v = K_0 \gamma z$$

La constante de proporcionalidad entre P_h y P_v se denomina "coeficiente de presión de tierras en reposo". Varios investigadores han dado a conocer diversas expresiones para poder obtener el valor del coeficiente K_0 , entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

$$K_0 = \frac{1 - \text{Sen } \theta}{1 + \text{Sen } \theta} \quad (1 + 2/3 \text{ Sen } \theta) \dots\dots\dots(1)$$

$$K_0 = 1 - \text{Sen } \theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$K_0 = \frac{\mu}{\nu} \quad \dots\dots\dots(3)$$

donde: θ = ángulo de fricción del material, en grados.

μ = módulo de Poisson del material.

K_0 = coeficiente de presión de tierras en "reposo".

En las figuras 2.2.2 y 2.2.3 se puede apreciar como varía el valor de K_0 en función de los parámetros antes mencionados.

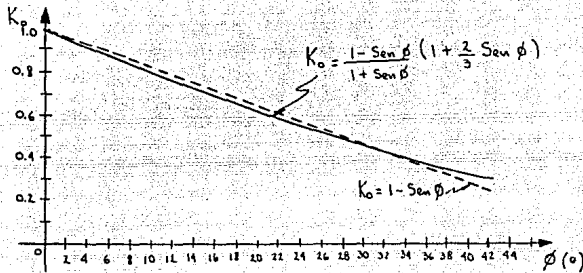


FIGURA 2.2.2.

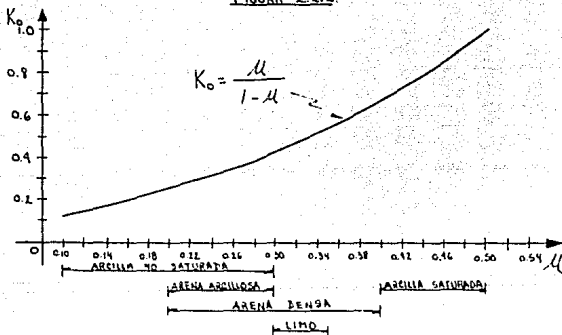


FIGURA 2.2.3.

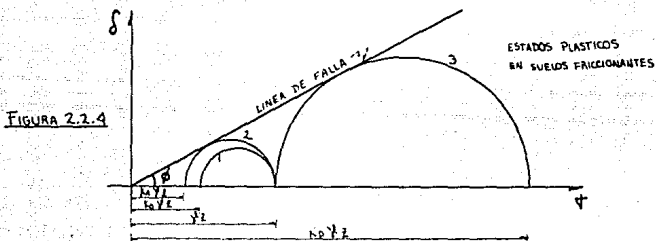
Si se representa en el diagrama de Mohr el círculo correspondiente al estado de esfuerzos al que se haya sometido nuestro elemento de suelo, se obtendrá un círculo tal como el 1 de la figura 2.2.4, que evidentemente no es de falla, debido a las condiciones de esfuerzo en "reposo" en que se encuentra.

Sin embargo, a partir de esta situación se puede llevar a la falla al elemento en estudio de sólo dos formas posibles, respetando siempre el valor de ϕ

que es una condición natural del problema:

1.- Disminuyendo el esfuerzo horizontal $K_0 \gamma z$ y manteniendo el vertical constante, dando origen al círculo número 2 de falla, cuyo esfuerzo principal menor será $\sigma_3 = K_a \gamma z$, donde K_a se denomina "coeficiente de presión activa de tierras". De esta manera, σ_3 corresponde en este círculo a la presión horizontal y γz a la presión vertical debida al peso del suelo que se halla sobre el elemento en cuestión.

2.- La segunda forma de llevar a la falla al elemento, que se halla en un estado de "reposo", es el aumentar el valor del esfuerzo horizontal $K_0 \gamma z$ a uno igual a $K_p \gamma z$, tal que el círculo resultante (3) sea tangente a la línea de falla. En este caso el esfuerzo vertical $P_v = \gamma z$ se mantendrá constante y será el esfuerzo principal menor, el principal mayor será $K_p \gamma z$, donde K_p recibe el nombre de "coeficiente de presión pasiva de tierras".



De acuerdo a la teoría de Rankine, se establece que un suelo se halla en estado plástico cuando se encuentra en estado de falla incipiente generalizado. De esta manera, pueden presentarse dos estados plásticos prácticos:

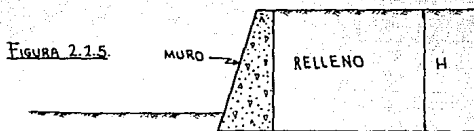
- El que se tiene cuando el esfuerzo horizontal alcanza el valor mínimo de $K_a \gamma z$, denominado Estado Activo, y
- El que se presenta cuando el esfuerzo horizontal llega al valor máximo $K_p \gamma z$, llamado Estado Pasivo.

De acuerdo a análisis matemáticos realizados, y que no se presentan en este trabajo, se han llegado a establecer las siguientes expresiones que nos permiten obtener el valor de los coeficientes K_a y K_p para los estados activo y pasivo respectivamente:

$$K_a = \tan^2(45 - \theta/2) \quad (\text{coeficiente activo de presión de tierras})$$

$$K_p = \tan^2(45 + \theta/2) \quad (\text{coeficiente pasivo de presión de tierras})$$

Cabe señalar que las expresiones matemáticas hasta ahora expuestas son válidas únicamente para muros con respaldo vertical y relleno horizontal, como el mostrado en la figura 2.2.5.



Para obtener los empujes totales, tanto para el estado activo como para el pasivo, a los que estará sujeto un muro de altura H aplicando la teoría de Rankine, bastará con integrar las ecuaciones de las presiones a lo largo de la altura del muro. Este procedimiento implica suponer que tanto el estado plástico activo como el pasivo se han desarrollado totalmente en toda la masa del suelo que compone el relleno, es decir que el muro se ha deformado lo suficiente como para que se presenten dichos estados.

Por tanto, para el estado plástico activo, se tendrá lo siguiente:

$$Ph = Ka \gamma z = Ka Pv$$

con la expresión anterior podemos obtener el valor de la presión horizontal que estará actuando sobre el muro a cualquier profundidad "z" siempre y cuando el relleno sea de superficie horizontal.

En un elemento dz del respaldo del muro, a la profundidad z obra el empuje:

$$dEa = Ka \gamma z dz$$

Suponiendo una dimensión unitaria normal al papel e integrando la derivada anterior, podemos obtener la fórmula que nos dará el valor del empuje total activo que obrará sobre el respaldo vertical de un muro de altura H y ejercido por un relleno de superficie horizontal. Por lo tanto se tiene lo siguiente:

$$Ea = Ka \gamma \int_0^H z dz = Ka \gamma \left(\frac{z^2}{2} \right) \Big|_0^H$$

$$Ea = Ka \gamma \left(\frac{H^2}{2} \right) - Ka \gamma (0/2)$$

$$Ea = 0.5 Ka \gamma H^2$$

De igual manera podemos obtener para el estado plástico pasivo la fórmula que nos permita calcular el empuje pasivo total sobre un muro de respaldo vertical y superficie de relleno horizontal.

$$E_p = 0.5 K_p \gamma H^2$$

Para efectos de cálculo de la estabilidad del muro, considerado como un cuerpo rígido, el volumen de las presiones se puede sustituir por fuerzas concentradas, cuya magnitud queda dada por E_a y E_p . Dada la distribución lineal que para ambas presiones se tiene en la teoría de Rankine, se considera que el punto de aplicación de tales fuerzas se hallará a un tercio de la altura del muro, contado a partir de la base; ambas fuerzas resultarán paralelas a la superficie horizontal del relleno.

Para el caso en que la superficie del relleno sea inclinada un ángulo β con la horizontal, las expresiones para obtener los empujes activo y pasivo estarán dadas por:

$$E_a = 0.5 \gamma H^2 \left[\cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \right]$$

$$E_p = 0.5 \gamma H^2 \left[\cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \right]$$

Puesto que la distribución de presiones en este caso es también lineal y su dirección es paralela a la superficie del relleno, las resultantes E_a y E_p también serán paralelas al relleno, y estarán aplicadas a un tercio de la altura del muro a partir de su base.

Nótese que si el valor de β es igual a cero, las expresiones anteriores se reducen a las comentadas para el caso de relleno horizontal.

Otros casos que es muy posible se presenten en la práctica son los que se dan al actuar una sobrecarga uniformemente repartida sobre el relleno del muro y el que se presenta cuando parte del relleno tras el muro está en condición sumergida, ver la figura 2.2.6.

Ambas condiciones tendrán cierta influencia en el valor de los empujes que se presenten sobre el muro.

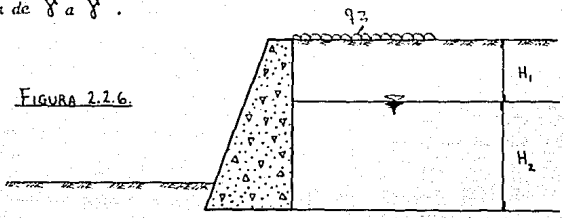
En el caso de una sobrecarga "q" uniformemente repartida que actúa sobre la superficie del relleno, su efecto será simplemente en aumentar en forma uniforme la presión actuante sobre el muro en un valor $K_a \cdot q$ y $K_p \cdot q$, para los estados respectivos, expresado en la manera siguiente:

$$P_{ha} = \frac{1}{3} \gamma H^2 + q K_a \dots \dots \dots 1$$

$$P_{hp} = \frac{1}{3} \gamma H^2 + q K_p \dots \dots \dots 2$$

Cuando se tiene la condición de que parte del relleno tras el muro se halla sumergido, en la presencia del agua, se tiene en primer lugar que para este caso se ejerce una presión hidrostática $P_w = \gamma_w \cdot z'$, la cual deberá sumarse a la presión horizontal obtenida con las fórmulas 1 y 2. Como segundo aspecto, se debe considerar en los cálculos el hecho de que el suelo o parte de él se halla en condición sumergida, lo que hace disminuir el valor de γ a γ' .

FIGURA 2.2.6.



b) En suelos cohesivos.

Para empezar a exponer la teoría de Rankine aplicada a suelos cohesivos conviene comentar que el valor de la resistencia al esfuerzo cortante en este tipo de materiales es un poco más difícil de determinar, que en el caso de los suelos friccionantes, debido sobre todo a que la cohesión de las arcillas no es una propiedad que se mantenga constante, sino que es una propiedad circunstancial que puede cambiar al paso del tiempo, ya sea porque la arcilla se consolida o porque se expanda por la absorción de agua. Por ello para poder aplicar las fórmulas que se describen más adelante, será necesario que se tenga la plena seguridad de que el valor de la cohesión utilizado no cambiará con el tiempo, aunque esto es muy difícil de que suceda. Al igual que en el caso de suelos friccionantes, consideraremos un elemento de suelo puramente cohesivo, a una profundidad "z". Así mismo supongamos que la masa de suelo que alberga dicho elemento se halla en un estado de reposo; la presión horizontal a la que estará sujeto será igual a la presión vertical γz afectada por el coeficiente K_0 , teniendo entonces que $P_h = K_0 \gamma z$.

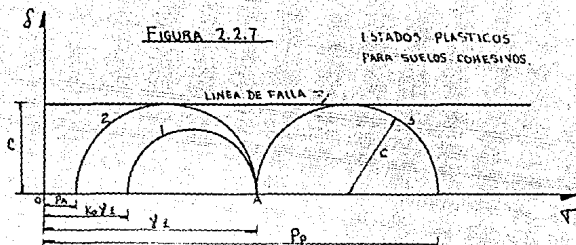
En este caso el valor de K_0 dependerá del material y de su historia previa de esfuerzos.

En la figura 2.2.7. podemos ver representados en el círculo 1 a los esfuerzos antes mencionados. Este círculo puede ser llevado a la falla, si se permite la deformación lateral, de dos formas semejantes a las descritas en el caso de suelos arenosos:

a) Disminuyendo la presión horizontal hasta llegar a un valor que dé origen a un círculo (2) que sea tangente a la línea de falla expresada por la ecuación $S = C$, el cual corresponderá al estado plástico activo. Hay que recordar que el valor de la presión vertical γ_z se mantiene constante. Las presiones actuantes estarán dadas por las siguientes expresiones:

$$\nabla_3 = P_h = \gamma_z - 2C \quad (\text{presión horizontal})$$

$$\nabla_1 = P_v = \gamma_z \quad (\text{presión vertical})$$



Siguiendo la misma secuencia realizada en los suelos friccionantes para la obtención de una fórmula que nos permita obtener el valor del empuje activo total, a partir de la presión horizontal, se tiene lo siguiente:

$$dE_a = (\gamma_z - 2C) dz$$

Integrando:

$$E_a = \int_0^H (\gamma_z - 2C) dz = \frac{\gamma_z^2}{2} - 2Cz \Big|_0^H$$

$$E_a = 0.5 \gamma H^2 - 2CH$$

El empuje activo obtenido con la fórmula anterior será horizontal y pasará por el centroide del área de presiones.

Esta fórmula además nos da una idea del valor que puede tener la máxima altura en un corte vertical de material cohesivo sin necesidad de soporte ni riesgo de derrumbe; para ello se deberá cumplir la condición de $E_a = 0$, lo que se obtiene de la ecuación correspondiente:

$$E_a = 0 = 0.5 \gamma H^2 - 2CH$$

Por lo tanto:

$$H_c = \frac{4C}{\gamma}$$

donde:

H_c = altura crítica del material cohesivo, en metros.

C = cohesión del material, en ton/m^2 .

γ = peso volumétrico, en ton/m^3 .

Debido a que esta fórmula da valores un poco altos a lo que sucede realmente, es conveniente afectarla por un factor de seguridad de 2 como mínimo. Ahora, si observamos la ecuación correspondiente a la presión horizontal, se nota que teóricamente la distribución de la presión del relleno es lineal, con una zona superior trabajando a tensión y una inferior a compresión. El valor máximo de la tensión en la superficie del relleno será X y la profundidad que abarcará esta zona de tensiones estará dada por la condición $P_h = 0$, lo que resulta ser:

$$\gamma z - X = 0$$

$$z_0 = \frac{X}{\gamma}$$

En la figura 2.2.8a podemos ver el diagrama de presiones activas que conlleva lo antes comentado.

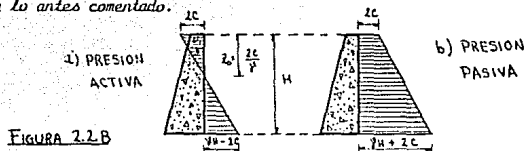


FIGURA 2.2.B

Pero, como al suelo no se le da capacidad de resistir esfuerzos a la tensión, es muy probable que en esta zona de tensiones se desarrollen grietas verticales cuya profundidad estará dada por el valor de z_0 .

b) El segundo método que se puede realizar para llevar a la falla al elemento de suelo cohesivo en estudio, consiste en aumentar el valor del esfuerzo horizontal hasta que, después de sobrepasar el valor γz_0 , alcance uno tal que el nuevo círculo de esfuerzos (círculo 3 de la figura 2.2.7.) sea tangente a la envolvente horizontal de falla, dando por resultado la aparición del estado plástico pasivo en el cual las presiones alcanzarán los siguientes valores:

$$P_h = \gamma z_0 + X \quad (\text{esfuerzo principal mayor})$$

$$P_v = \gamma z_0 \quad (\text{esfuerzo principal menor})$$

Análogamente a lo realizado para el estado plástico activo se tendrá lo siguiente:

$$dE_p = (\gamma z + c) dz$$

$$E_p = \int_0^H (\gamma z + c) dz$$

$$E_p = 0.5 \gamma H^2 + cH$$

La expresión anterior nos da el valor del empuje pasivo total ejercido sobre un muro de altura H y relleno horizontal. El empuje será paralelo al plano del relleno y pasará también por el centroide del área de presiones. En la figura 2.2.8.b. se muestra la distribución de presiones teórica para el estado pasivo.

A pesar de todo lo expuesto anteriormente, es necesario advertir que la teoría de Rankine aplicada a suelos cohesivos, no es del todo confiable, debido sobre todo a que el parámetro de resistencia " c " (cohesión) es difícil que se mantenga constante al paso del tiempo, ya que por ejemplo, un relleno arcilloso siempre tiene la posibilidad de saturarse de agua más o menos rápidamente, lo que tiende a disminuir su resistencia finalmente y un proyecto realizado en base a la resistencia del suelo por cohesión, quedará en riesgo de sufrir una falla con el paso del tiempo. Debido a esto se considera innecesario comentar los casos para un relleno inclinado y muros de respaldo no vertical.

c) En suelos cohesivo-friccionantes.

Aquí se tratará lo referente a la aplicación de la teoría de Rankine a aquellos suelos en los que la envolvente de falla, obtenida de una prueba triaxial adecuada al caso, presente cohesión y fricción, es decir, que sea del tipo:

$$s = c + \sqrt{1} \tan \theta$$

De acuerdo a la figura 2.2.9. puede verse que un elemento de suelo a la profundidad " z ", considerado en reposo, está sujeto a un estado de esfuerzos representado en el círculo número 1. Nuevamente podemos hacer que de éste estado de reposo, nuestro elemento pueda llegar a la falla por medio de dos caminos: por la disminución de la presión lateral o por aumento de la misma a partir del valor $K_0 \gamma z$, con la condición de mantener constante el va-

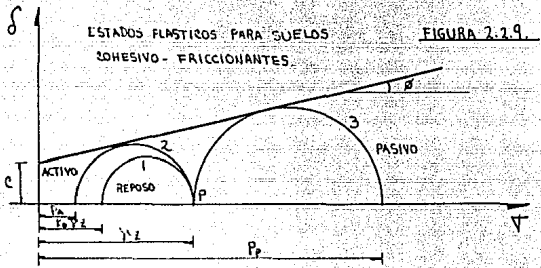
lon de la presión vertical γz , en ambos casos. Se llega así a la formación de dos círculos representativos de los estados plásticos activo (círculo 2) y pasivo (círculo 3).

Obteniendo la relación entre el esfuerzo principal máximo y el mínimo, se llega a los siguientes resultados:

$$P_h = P_a = K_a \gamma z - 2\sqrt{K_a} \quad (\text{estado activo})$$

$$P_h = P_p = K_p \gamma z + 2\sqrt{K_p} \quad (\text{estado pasivo})$$

Con las expresiones anteriores podemos obtener el valor de las presiones horizontales que ejercen los suelos sobre los muros de retención.



Con las expresiones anteriores podemos obtener las fórmulas que nos den a conocer el valor de los empujes correspondientes a lo largo de la altura H del muro:

$$E_a = 0,5 K_a \gamma H^2 - 2\sqrt{K_a} CH$$

$$E_p = 0,5 K_p \gamma H^2 + 2\sqrt{K_p} CH$$

Los empujes que se obtengan de las fórmulas anteriores actuarán en forma horizontal a través del centroide del área total de presiones.

En el caso del estado activo, al igual que en el de los suelos puramente cohesivos, existirá en el diagrama de presiones una zona de tensión, en la cual aparecerán grietas hasta una profundidad z_0 , que estará dada por la condición de que en ese punto $P_h = P_a = 0$, por lo que se tiene:

$$z_0 = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}}$$

Además podemos conocer la altura crítica con la que puede mantenerse el suelo en forma casi vertical sin necesidad de elementos de soporte ni riesgo de derrumbe. Esta condición será dada para el caso en que el valor del empuje sea nulo. Por tanto:

$$\text{Si } E_a = 0 \quad \text{entonces} \quad H_c = \frac{4c}{\gamma \sqrt{K_a}}$$

De esta manera, damos por concluido lo referente a las ideas expuestas por Rankine en relación al cálculo de presiones de tierra sobre muros de retención.

Cabe aclarar que todas las fórmulas descritas en este caso, son aplicables para el caso de un muro con relleno horizontal o inclinado y de respaldo vertical, por lo que Rankine supone que éste es liso y no existen esfuerzos cortantes a lo largo de él.

2.2.2. TEORÍA DE COULOMB.

a) En suelos friccionantes.

Como se mencionó en la introducción de este capítulo, Coulomb dio a conocer en el año de 1776 sus ideas acerca de como calcular los empujes que se ejercían sobre un muro de retención por la acción de un relleno de suelo. Estas ideas en conjunto formaron la primera teoría racional que se realizó a este respecto. Básicamente la teoría considera que el empuje sobre un muro se debe a la acción de una cuña de suelo limitada por el respaldo del muro, la superficie del relleno y una superficie de falla desarrollada dentro de la masa de suelo, a la que se supone plana. Para una mejor comprensión, podemos apreciar esta cuña de suelo en la figura 2.2.10.

El peso de la masa de suelo comprendida en la cuña ABC provoca que ésta se deslice hacia el frente del muro, provocando esfuerzos de fricción tanto en el respaldo del muro como a lo largo del plano BC, como se puede ver en la figura antes mencionada. Puesto que el valor de las resistencias friccionadas se desarrolla por completo, las fuerzas E_a y F resultan inclinadas respecto a las normales correspondientes. Los ángulos de inclinación serán δ y θ para la fricción entre muro y relleno y entre suelo y suelo, respectivamente. Si se considera que la cuña ABC se halla en equilibrio, esto nos indica que la sumatoria de todas las fuerzas actuantes (W , F y E) deberá

ser igual a cero o, si se expresa gráficamente, el polígono dinámico formado por dichas fuerzas deberá cerrarse, tal como lo indica la figura 2.2.10 .b.

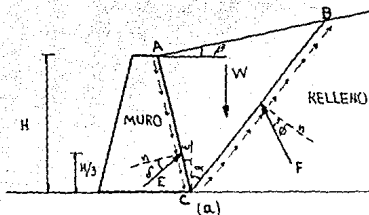


FIGURA 2.2.10



De las tres fuerzas actuantes, podemos obtener el valor del peso de la cuña, W , así como su dirección. También se pueden conocer los sentidos de E y F y de esta manera formar el polígono de fuerzas correspondiente a una cierta cuña de falla. Para obtener el valor del empuje bastará con medir el valor de la fuerza E del polígono.

Es claro, que la probabilidad de que la cuña escogida sea la que produce el empuje de tierras máximo sobre el muro es muy pequeña. Debido a esto podemos deducir que el método de trabajo de esta teoría, consistirá en realizar una serie de tanteos proponiendo varias cuñas de falla y calculando para cada una de ellas el valor del empuje, hasta llegar al valor máximo producido por la cuña crítica.

Haciendo un análisis matemático (que no se presenta) a la teoría de Coulomb, se pudo llegar a establecer una fórmula que nos permite obtener el valor del empuje activo máximo para el caso de un relleno friccionante limitado por una superficie horizontal o inclinada y de un muro de respaldo plano. Esta fórmula se presenta a continuación:

$$E_a = 0.5 \gamma H^2 K, \text{ donde: } K = \frac{\cos^2(\theta - \omega)}{\cos^2 \omega \cos(\delta + \omega)} \left[1 + \frac{\text{Sen}(\delta + \theta) \text{Sen}(\theta - \beta)}{\cos(\delta + \omega) \cos(\omega - \beta)} \right]$$

Además:

E_a = empuje activo máximo, según la teoría de Coulomb, en ton/m.

θ = ángulo de fricción interna del material, en grados.

ω = ángulo formado entre el respaldo del muro y la vertical, en grados.

β = ángulo formado entre la superficie del relleno y la horizontal, en grados.

δ = coeficiente de fricción entre muro y relleno = $2/3 \theta$.

γ = peso volumétrico del material, en ton/m³.

H = altura del muro, en metros.

Cabe señalar que si los valores de los ángulos antes mencionados son $w=0$ (muro de respaldo vertical), $\phi=0$ (relleno de superficie horizontal) y $\delta=0$ (no existe fricción entre el muro y el suelo) y se sustituyen éstos valores en la ecuación antes vista, nos conduce a la fórmula:

$$E_a = 0.5 \tan^2 (45 - \theta/2) \gamma H^2$$

$$E_a = 0.5 K_a \gamma H^2$$

De manera que, para este caso, las teorías propuestas por Rankine y Coulomb coinciden.

El punto de aplicación para el empuje obtenido será a un valor de $H/3$ a partir de la base del muro.

La obtención de un empuje en el estado plástico pasivo mediante la teoría de Coulomb resulta ya muy poco aproximado y del lado de la inseguridad, por lo que no se tratará en lo sucesivo.

La teoría de Coulomb aplicada a suelos cohesivo-friccionantes es un método de tanteos semejante al comentado para suelos friccionantes.

2.3 ALGORITMOS DE SOLUCIÓN.

Un algoritmo de solución queda definido como las etapas a seguir en la solución de un problema.

En este subtítulo veremos básicamente lo que se realizará, paso por paso, en el cálculo de los empujes de tierra con la ayuda de un programa para computadora, para cada una de las teorías enunciadas en el punto 2.2.

2.3.1. TEORÍA DE RANKINE.

a) Elegir el tipo de problema que se desea resolver de los mostrados en la figura 2.3.1. En caso de no aparecer un caso semejante, el programa no podrá resolverlo y deberá consultarse otro tipo de solución.

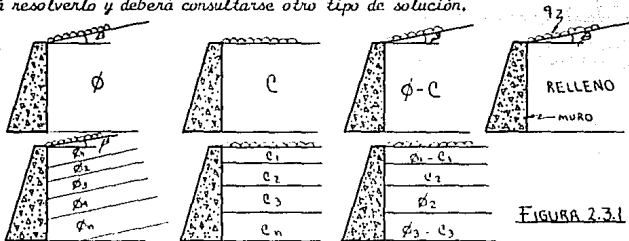


FIGURA 2.3.1

b) Determinar el número de estratos (NE), en los que está formado el relleno en toda la altura del muro; la profundidad del nivel de aguas freáticas (NAF), en metros; el valor de la sobrecarga uniformemente repartida, en caso de existir, en ton/m^2 y el ángulo de inclinación del relleno con respecto a la horizontal, en grados (β).

c) Deberán darse como datos las propiedades de cada uno de los estratos que conforman el relleno, siendo éstos valores los correspondientes a:

- nivel inferior del estrato (NI), en metros.
- peso volumétrico del material, en ton/m^3 . (PV)
- cohesión del material, en ton/m^2 . (C)
- ángulo de fricción interna, en grados. (PH)

d) Se considera el nivel de la superficie del relleno como cero, al igual que el valor de los esfuerzos en ese punto: $N(0) = 0$ y $S(0) = 0$.

e) Se calcula el valor del coeficiente de presión de tierras activo, pasivo o en reposo (dependiendo del empuje que se desee calcular) para cada uno de

los estratos que conforman el relleno, en función del ángulo de fricción interna del material.

f) Se compara la profundidad del NAF con la de los estratos y se determina si el peso volumétrico a utilizar en el cálculo de las presiones verticales, es el sumergido o no.

g) Se calcula el espesor del estrato o estratos que componen el relleno, en función de su nivel superior e inferior:

$$H = \text{nivel inferior} - \text{nivel superior}$$

h) Se obtiene el valor de la presión vertical P_v , a la que estará sujeto un elemento de suelo ubicado en la frontera entre dos estratos.

i) Se suma al valor de la presión vertical calculada, el valor de la presión ejercida por los estratos sobreyacentes y en caso de haber, el valor de la sobrecarga "q".

j) Se transforma la presión vertical en una presión horizontal afectando a aquella por el coeficiente de presión de tierras respectivo.

Dado que las presiones verticales están calculadas en un punto común a dos estratos, entonces se calcularán dos presiones horizontales, considerando las propiedades de cada uno de ellos en el valor que tendrá el coeficiente de presión de tierras.

k) En caso de existir NAF, se obtiene el valor de la presión hidrostática correspondiente.

l) Se obtiene el valor del esfuerzo horizontal total que se presenta en cada nivel inferior de un estrato, con la suma de la presión horizontal más el empuje debido a la presencia de agua tras el muro.

m) Una vez obtenido el valor de las presiones horizontales totales en cada uno de los estratos, se calcula el valor del área del diagrama de presiones, considerando que éste estará formado por figuras geométricas como triángulos y rectángulos.

El valor de cada una de las áreas nos representa una fuerza concentrada que forma parte del valor total del empuje que se ejerce sobre el muro.

n) Para cada una de las fuerzas concentradas que se obtengan, se calcula su brazo de palanca (y) con respecto a la corona del muro, considerando lo siguiente:

área triangular $y = 2/3 H$

área rectangular $y = 1/2 H$

donde: y = brazo de palanca de la fuerza, en metros.

H = altura o espesor del estrato, en metros.

o) Se obtienen momentos con respecto a un punto de la corona del muro para cada una de las fuerzas calculadas en el inciso m.

$$M = F \cdot y$$

p) Para obtener el valor del empuje total, se realiza la suma de las áreas del diagrama de presiones y para saber su punto de aplicación, bastará con dividir la sumatoria de momentos entre la sumatoria de áreas.

Empuje total = $\frac{\sum \text{Áreas del diagrama de esfuerzos.}}{\sum \text{Áreas}}$

$$y = \frac{\sum M}{\sum \text{Áreas}}$$

2.3.2. TEORÍA DE COULOMB.

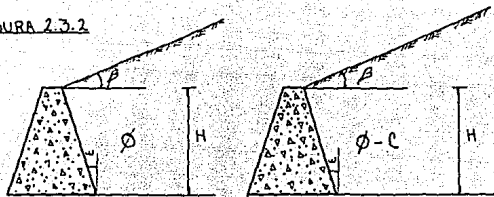
En lo referente a esta teoría, se desarrolló una solución para encontrar únicamente el valor del empuje activo máximo que se presenta por la acción de un relleno sobre un muro de retención. No se consideró empuje pasivo. La comentada solución consistirá en proponer diversas cuñas de falla en la masa de suelo, obteniendo el valor de las fuerzas actuantes en cada una de ellas, de tal manera que el polígono dinámico que forman dichas fuerzas que de en equilibrio. El valor del empuje "Ea" máximo obtenido en esta serie de tanteos, será el valor del empuje de tierras que se presentará sobre el muro. Para llevar a cabo esta solución, será necesario que se sigan los lineamientos siguientes:

a) Definir el tipo de problema que se pretende resolver de los mostrados en la figura 2.3.2. En caso de no ser alguno de estos no podrá resolverse cu no se plantea en este trabajo.

b) Determinar el valor de los siguientes datos:

- peso volumétrico del material (PV), en ton/m^3 .
- altura del muro (H) de acuerdo a lo indicado en la figura 2.3.2., en m.
- ángulo de fricción interna del material (θ), en grados.

FIGURA 2.3.2



- ángulo formado entre la superficie plana del relleno y la horizontal (β) en grados.
- ángulo formado entre el respaldo del muro y la vertical (w), en grados.
- coeficiente de fricción entre muro y relleno (f), normalmente comprendido entre los valores:

$$0/2 \leq f \leq 2/3 \theta$$

c) Una vez que se han dado a la máquina los datos anteriores, se procede a realizar un primer tanteo proponiendo una cuña inicial de falla condicionada a un ángulo α igual a 1° con respecto a la vertical. Ver figura 2.3.3.

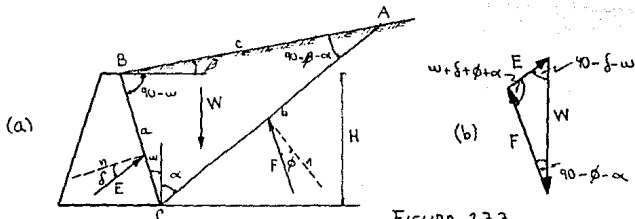


FIGURA 2.3.3.

d) Considerando a la cuña de falla ABC como un triángulo oblicuángulo, se calculan los valores de sus ángulos A, B y C, así como el de sus lados a, b y c mediante el siguiente análisis matemático:

$$a = \frac{H}{\cos w}$$

$$\angle C = w + \alpha \quad ; \quad \angle B = 90 - w + \beta \quad ; \quad \angle A = 90 - \beta - \alpha$$

$$\therefore b = a \cdot \frac{\text{Sen } B}{\text{Sen } A}$$

$$c = a \cdot \frac{\text{Sen } C}{\text{Sen } A}$$

e) Se calcula el área total de la cuña mediante la siguiente expresión:

$$A R E A = \frac{a^2 \text{ Sen } B \text{ Sen } C}{2 \text{ Sen } A}$$

f) Se obtiene el peso W de la cuña, multiplicando el área de ésta por el peso volumétrico correspondiente (se consideró una longitud unitaria en el sentido normal al plano de ésta hoja):

$$W = (\text{AREA})(PV)$$

g) Considerando que el polígono de las fuerzas F , E y W que actúan en la cuña de falla está en equilibrio, se obtienen aplicando la ley de senos los valores del empuje activo y el valor de la fuerza F entre la cuña y el suelo, ver la figura 2.3.3.b, mediante las siguientes fórmulas:

$$\frac{W}{\text{Sen } (w + \delta + \alpha)} = \frac{E}{\text{Sen } (90 - \theta - \alpha)} = \frac{F}{\text{Sen } (90 - w - \delta)}$$

de donde:

$$E = \frac{W \text{ Sen } (90 - \theta - \alpha)}{\text{Sen } (w + \theta + \delta + \alpha)}$$

$$F = \frac{W \text{ Sen } (90 - w - \delta)}{\text{Sen } (w + \theta + \delta + \alpha)}$$

h) Una vez obtenido el valor de las fuerzas E y F , se procede a dar un nuevo valor a α incrementándolo en una unidad y se realiza nuevamente los pasos indicados de los incisos c al g. El número de veces que se repetirá el procedimiento estará limitado a un valor de $\alpha = 45^\circ$.

i) Una vez terminadas todas las iteraciones, se comparan los valores de los empujes activos calculados y se elige el mayor, que corresponderá al que actúa sobre el muro del problema, y será paralelo a la superficie plana del relleno.

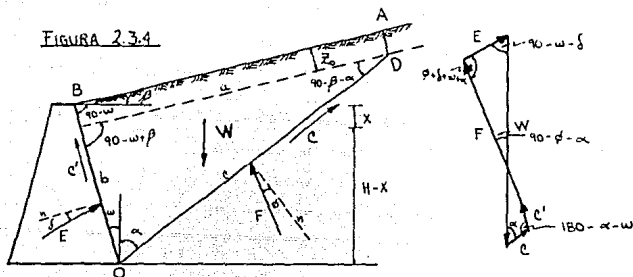
j) Se obtiene el punto de aplicación del empuje, el cual estará dado a partir de la corona del muro a $2/3 H$.

Para el caso en que el relleno sea un suelo cohesivo-friccionante, se realiza el mismo procedimiento que para suelos friccionantes con las considera-

ciones siguientes en los incisos que se mencionan:

b) Deberá darse, además el valor de la cohesión del material (C), en ton/m².

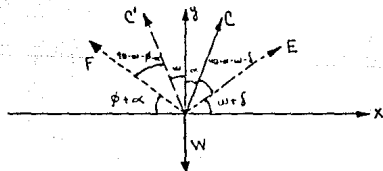
c) Se propone un primer tanteo con una cuña inicial de falla considerada a un ángulo α igual a 1° con respecto a la vertical. Cabe señalar que resulta suficientemente aproximado el suponer a la superficie hipotética de falla como un plano que se extiende desde la base del muro hasta la zona de aprietaamiento (zona de tensiones), tal como lo muestra la figura 2.3.4.



Transportando las fuerzas que intervienen en el cálculo del empuje a un sistema de ejes y haciendo una sumatoria de fuerzas, en ambos sentidos, se tiene lo siguiente:

$$F_x = 0 = E \cos(w + \delta) + C \operatorname{Sen} \alpha - C' \operatorname{Sen} w - F \cos(\theta + \alpha)$$

$$F_y = 0 = F \operatorname{Sen}(\theta + \alpha) + C' \operatorname{Cos} w + C \operatorname{Cos} \alpha + E \operatorname{Sen}(w + \delta) - W$$



d) Se calcula el peso del suelo comprendido en el área ABOOD considerándola una figura trapezoidal, haciendo el siguiente análisis matemático:

$$K_a = \operatorname{Tan}^2(45 - \theta/2)$$

$$z_0 = \frac{2C}{\gamma \sqrt{K_a}}$$

por lo tanto $X = z_0 \operatorname{Cos} w$

$$\overline{B'O} = \frac{H - X}{\cos w} ; \angle A = 90 - \beta - \alpha ; \angle B = 90 - w + \beta ; \angle C = w + \alpha \quad - 31 -$$

$$\overline{B'D} = \frac{B'O \operatorname{Sen} C}{\operatorname{Sen} A} ; \quad \overline{OD} = \frac{B'O \operatorname{Sen} B}{\operatorname{Sen} A}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$\text{Area 1} = (\overline{B'D})(z_0) ; \text{Area 2} = \frac{(\overline{B'O})^2 \operatorname{Sen} B \operatorname{Sen} C}{2 \operatorname{Sen} A}$$

$$\text{Area total} = \text{Area 1} + \text{Area 2}$$

Para obtener el valor del peso W de la masa de suelo, se multiplica el valor del área total por el peso volumétrico del material:

$$W = (\text{Area total})(PV)$$

e) Se calculan los valores de las fuerzas C y C' multiplicando el parámetro de la cohesión del suelo por las longitudes \overline{OD} y $\overline{OB'}$ respectivamente.

$$C = (\text{cohesión})(\overline{OD})$$

$$C' = (\text{cohesión})(\overline{OB'})$$

f) Considerando la sumatoria de fuerzas en el sentido X y en el sentido Y , se obtendrán los valores del empuje E y la fuerza F , mediante los pasos siguientes:

$$\sum F_x = 0 = E \cos(w + \delta) + C \operatorname{Sen} \alpha - C' \operatorname{Sen} w - F \cos(\phi + \alpha) \dots 1$$

$$\sum F_y = 0 = F \operatorname{Sen}(\phi + \alpha) + C' \cos w + C \cos \alpha + E \operatorname{Sen}(w + \delta) - W \dots 2$$

$$\text{De 1} \quad F = \frac{E \cos(w + \delta) + C \operatorname{Sen} \alpha - C' \operatorname{Sen} w}{\cos(\phi + \alpha)} \dots 3$$

Sustituyendo 3 en 2

$$E \operatorname{Sen}(w + \delta) = W - C' \cos w - C \cos \alpha - \left[\frac{E \cos(w + \delta) + C \operatorname{Sen} \alpha - C' \operatorname{Sen} w}{\cos(\phi + \alpha)} \right] \operatorname{Sen}(\phi + \alpha)$$

$$E \operatorname{Sen}(w + \delta) = W - C' \cos w - C \cos \alpha - E \cos(w + \delta) \operatorname{Tan}(\phi + \alpha) - C \operatorname{Sen} \alpha \operatorname{Tan}(\phi + \alpha) + C' \operatorname{Sen} w \operatorname{Tan}(\phi + \alpha)$$

$$E \left[\text{Sen}(w+\delta) + \text{Cos}(w+\delta) \text{Tan}(\phi+\alpha) \right] = W + C' \left(\text{Sen } w \text{Tan}(\phi+\alpha) - \text{Cos } w \right) - C (\text{Cos } \alpha + \text{Sen } \alpha \text{Tan}(\phi+\alpha))$$

Por lo tanto:

$$E = \frac{W + C' [\text{Sen } w \text{Tan}(\theta+\alpha) - \text{Cos } w] - C [\text{Cos } \alpha + \text{Sen } \alpha \text{Tan}(\theta+\alpha)]}{\text{Sen}(w+\delta) + \text{Cos}(w+\delta) \text{Tan}(\theta+\alpha)}$$

g) Una vez obtenidos los valores correspondientes al empuje activo E y a la reacción f entre la cuña y el suelo, se realiza lo señalado del inciso h al j correspondientes a suelos friccionantes de esta misma teoría de Coulomb.

Deberá considerarse, que en el caso de aplicar la teoría de Coulomb, el m_2 no deberá contar con un sistema adecuado de drenaje, lo que implícitamente nos indica que tras el muro no se ejercerán presiones hidrostáticas debidas a la presencia de agua; puesto que el programa de computadora elaborado para la solución de esta teoría no considera dichas presiones.

2.4 LIMITACIONES.

Debido al gran número de casos que se pueden presentar en relación a empujes de tierra sobre muros, es difícil que el programa que se realizó para dar solución a éstos, abarcara todos los tipos posibles. Por consiguiente presenta ciertas limitaciones, las cuales mencionamos enseguida:

a) Para la teoría de Rankine.

- 1.- Únicamente se podrán resolver problemas en donde el respaldo del muro sea totalmente vertical.
- 2.- El tipo de sobrecarga, en caso de existir, deberá ser únicamente del ti po uniformemente distribuida.
- 3.- Si existe nivel de aguas freáticas, deberá considerarse como el nivel de un estrato adicional.
- 4.- Para el cálculo del empuje, se toma en cuenta únicamente las fuerzas que produce el relleno, alguna sobrecarga y el agua que se halla tras el muro.
- 5.- Para rellenos constituidos por material totalmente cohesivo, no se permite que éste sea inclinado.

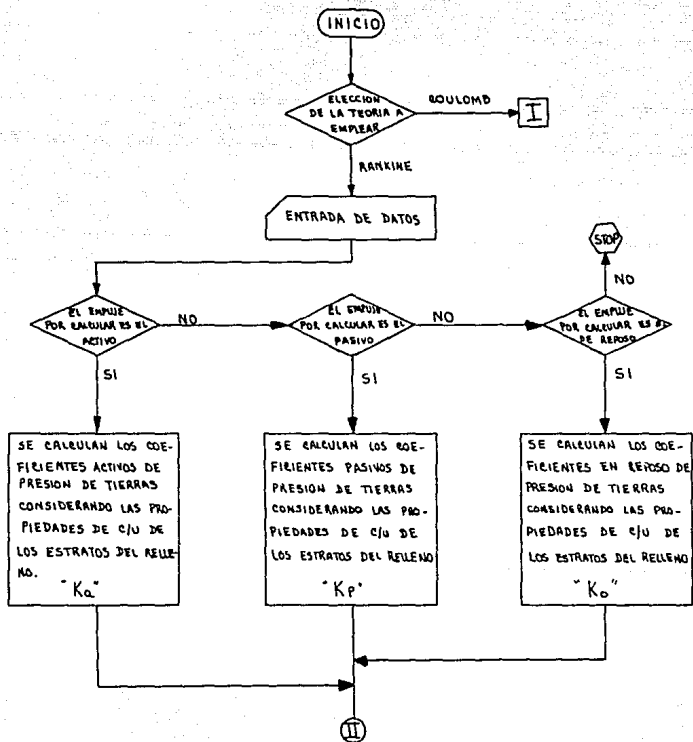
b) Para la teoría de Coulomb.

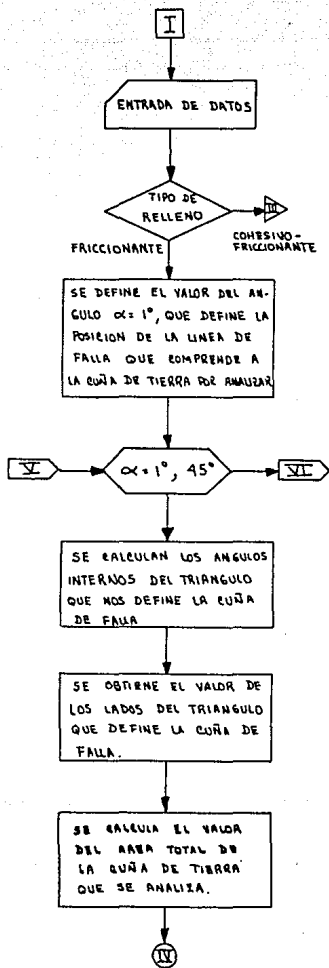
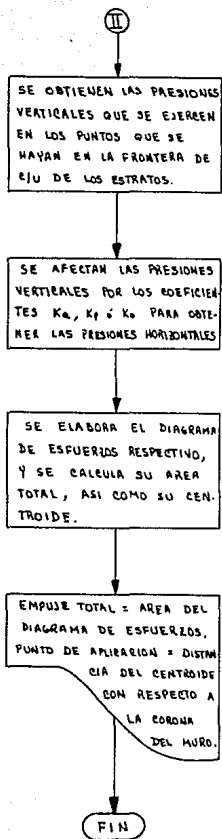
- 1.- Esta teoría resuelve únicamente problemas de empuje activo.
- 2.- El relleno que se halle tras el muro deberá ser cohesivo-friccionante o totalmente friccionante.
- 3.- No se permiten cálculos en donde el relleno sea estratificado.
- 4.- No debe existir nivel de aguas freáticas (NAF) atrás del muro.
- 5.- La altura del muro se contará a partir de la corona hasta llegar a la base, aunque el relleno sea inclinado.

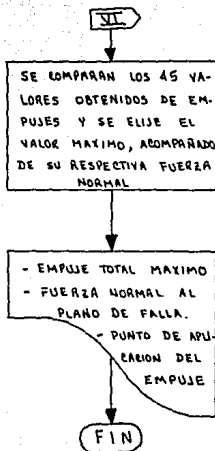
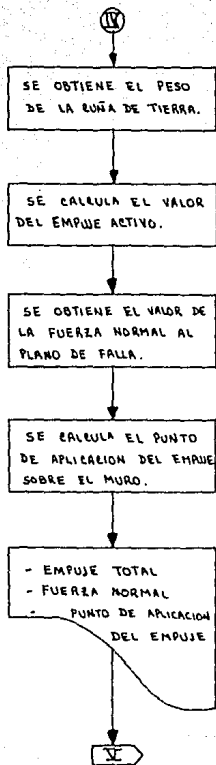
2.5 DIAGRAMA DE FLUJO Y CODIFICACION.

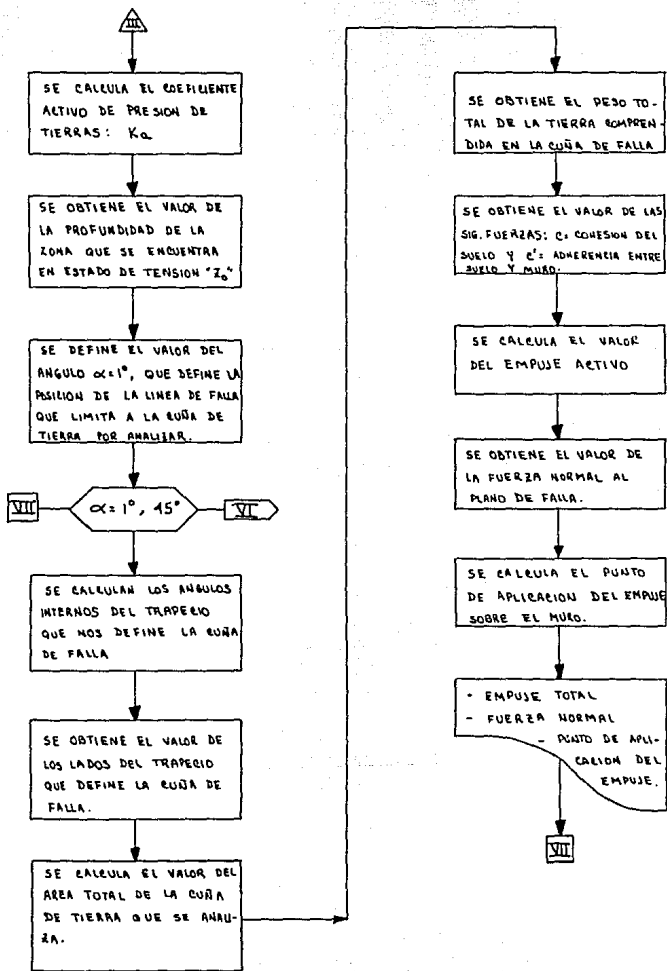
En este sub-índice se podrá ver el diagrama de flujo y el formato en líneas o codificación, en lenguaje BASIC, del programa realizado para Empujes sobre muros de retención.

DIAGRAMA DE FLUJO.









```

E G0906 10000
5 CLS
6 PRINT TAB(15) "*** EMPUJES SOBRE MUROS DE CONTENCIÓN ***"
8 PRINT TAB(19) "*****"
14 PRINT TAB(41) "/"
16 PRINT TAB(46) "/"
18 PRINT TAB(39) "/"
20 PRINT TAB(26) "/"
22 PRINT TAB(12) "-----"
24 PRINT TAB(33) "/ 2 1  "
26 PRINT TAB(32) "00000 1"
28 PRINT TAB(31) "/ 2 1  "
30 PRINT TAB 30) "/ 00000 1"
32 PRINT TAB(29) "0000 1"
34 PRINT TAB(28) "/ 2 2 1"
36 PRINT TAB(27) "/ 0 2 1  H"
38 PRINT TAB(25) "000000000000"
40 PRINT TAB(25) "/ 2 2 1  1"
42 PRINT TAB(24) "/ 2 2 1  1"
44 PRINT TAB(23) "000000 2 1  1"
46 PRINT TAB(22) "/ 2 2 2 1  1"
48 PRINT TAB(21) "/ 2 000000 1"
50 PRINT TAB 20) "/ 2 2 1  "
52 PRINT TAB(20) "-----"
54 PRINT "-----"
90 INPUT "¿SE EMPLEARA LA TEORIA DE RANKINE, S/N? ",TR:PRINT
100 IF TR="N" THEN 1700
105 GOTO 15000
110 INPUT "¿SE CALCULA EL EMPUJE ACTIVO, S/N? ",EA:PRINT
120 INPUT "¿SE CALCULA EL EMPUJE PASIVO, S/N? ",EP:PRINT
130 INPUT "¿SE CALCULA EL EMPUJE EN REPOSO, S/N? ",ER:PRINT
140 REM
145 CLS
150 REM "DATOS DEL MURO Y DEL RELLENO"
160 REM
170 INPUT "¿NUMERO DE ESTRATOS DEL RELLENO? ",NE:PRINT
172 INPUT "¿EXISTE NIVEL DE AGUAS FREATICAS, S/N? ",AFF:PRINT
174 IF AFF="N" THEN 170
176 GOTO 180
180 INPUT "¿PROFUNDIDAD DEL N.A.F., EN METROS? ",AF:PRINT
190 INPUT "¿INCLINACION DEL RELLENO CON LA HORIZONTAL, EN GRADOS? ",BETA:PRINT
195 BETA=(BETA*3.141592654)/180
200 INPUT "¿EXISTE SOBRECARGA EN EL RELLENO, S/N? ",SA:PRINT
210 IF SA="N" THEN C=0 ELSE INPUT "¿VALOR DE LA SOBRECARGA, EN TON/M2? ",Q:PRINT
215 CLS
220 PRINT "¿PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS DEL RELLENO"
225 PRINT
227 PRINT
230 REM
240 FOR I=1 TO NE
250 PRINT "ESTRATO: ",I
260 INPUT "¿NIVEL INFERIOR, EN METROS? ",PI(I):PRINT
270 INPUT "¿COHESION, EN TON/M2? ",CO=(I):PRINT
280 INPUT "¿ANGULO DE FRICCION INTERNA, EN GRADOS? ",PHI(I):PRINT
285 FNI(I)=(PHI(I)+3.141592654)/180
290 INPUT "¿PESO VOLUMETRICO, EN TON/M3? ",FV(I):PRINT
300 CLS
310 NEXT I
320 IF EA="N" THEN 480
330 REM

```

```

340 REM *SE CALCULA EL EMPUJE ACTIVO*
350 REM
360 FOR J=1 TO NE
362 E=FHI(J)
364 F=COS(BETA)
366 G=COS(E)
368 O=F*2
370 F=G*2
372 DISC=G-F
374 IF DISC <= 0 THEN 384
380 W=F-SQR(DISC)
382 T=F+SQR(DISC)
384 U=3.141592653589793/4
386 V=TAN(U-E/2)
388 IF DISC <= 0 THEN K(J)=V*2 ELSE I(J)=(W/T)+F
390 IF J=NE THEN K(J+1)=0:GOTO 425
400 B=FHI(J+1)
410 D=COS(B)
412 M=D*2
414 DISCO=D-H
416 IF DISCO <= 0 THEN 422
418 WE=F-SQR(DISCO)
420 TE=F+SQR(DISCO)
422 VE=TAN(U-E/2)
424 IF DISCO <= 0 THEN K(J+1)=VE*2 ELSE K(J+1)=(WE/TE)+F
425 NEXT J
430 CCH=I(J+1)+O
440 GOSUB 793
450 PRINT "EL VALOR DEL EMPUJE ACTIVO ES: ",EMPJ:PRINT "ton/m"
455 PRINT
465 PRINT "SU PUNTO DE APLICACION ESTA A: ",YJ:PRINT "m"
470 EAX="N"
480 IF EPR="N" THEN 649
490 REM
500 REM *SE CALCULA EL EMPUJE PASIVO*
510 REM
520 FOR J=1 TO NE
522 EM=FHI(J)
524 FN=COS(BETA)
526 OM=COS(EM)
528 OM=FM*2
530 FN=EM*2
532 RAIZ=OM-FN
534 IF RAIZ <= 0 THEN 546
536 NM=FN+SQR(RAIZ)
538 TM=FN-SQR(RAIZ)
540 UM=3.141592653589793/4
542 VM=TAN(UM+EM/2)
544 IF RAIZ <= 0 THEN K(J)=VM*2 ELSE K(J)=NM/TM+FM
550 IF J=NE THEN K(J+1)=0:GOTO 580
562 EM=FHI(J+1)
564 OM=COS(EM)
566 MM=DM*2
568 RAIZ2=OM-MM
570 IF RAIZ2 <= 0 THEN 566
572 WM=FN+SQR(RAIZ2)
574 TM=FN-SQR(RAIZ2)
576 VM=TAN(UM+EM/2)
578 IF RAIZ2 <= 0 THEN K(J+1)=(EM*2 ELSE K(J+1)=(NM/TM)+FM
580 NEXT J

```

```
570 CQHE(J+1)=0
580 GOSUB 760
605 PRINT
607 PRINT
610 PRINT "EL VALOR DEL EMPUJE PASIVO ES: ",EMP1;PRINT "ton/a"
615 PRINT
620 PRINT "SU PUNTO DE APLICACION ESTA A: ",J1;PRINT "a"
630 EP1="N"
640 IF EP1="N" THEN 770
650 REM
660 REM "SE CALCULA EL EMPUJE EN REPOSO"
670 REM
680 FOR J=1 TO NE
682 PQ=PH1(J)
684 SEN=SIGN(SD)
686 XM=1-SEN
688 Y1=1+SEN
690 ZM=1+(2/3)*SEN
695 K1(J)=ZM*(1M/YM)
700 IF J=NE THEN K1(J+1)=0:GOTO 720
702 PQM=PH1(J+1)
704 SENQ=SIGN(QM)
706 YMR=1-SENQ
708 YMQ=1+SENQ
710 ZMQ=1+(2/3)*SENQ
715 K1(J+1)=ZMQ*(1MR/YMQ)
720 NEXT J
730 CQHE(J+1)=0
740 GOSUB 790
745 PRINT
747 PRINT
750 PRINT "EL VALOR DEL EMPUJE EN REPOSO ES: ",EMP;PRINT "ton/a"
755 PRINT
760 PRINT "SU PUNTO DE APLICACION ESTA A: ",J;PRINT "a"
770 END
780 REM
790 REM "*** SUBROUTINA PARA EL CALCULO DE PRESIONES Y DE LAS AREAS DEL DIAGRAMA
DE ESFUERZOS"
800 REM
810 N1(0)=0;SUM1(0)=0
820 IF EP1="N" THEN 900
830 GOSUB 1070
840 FOR L=1 TO NE
842 AL=SUM1(L)
844 BL=(IL)
846 BLA=F(L+1)
848 CL=CQHE(L)
849 CLA=CQHE(L+1)
850 FRA(L)=AL*BL-2*(CL*SDR1EL)
851 FRA(L)=AL*BLA-2*(CLA*SDR1BLA)
870 NEXT L
880 GOSUB 1180
890 RETURN
900 IF EP1="N" THEN 980
910 GOSUB 1070
920 FOR J=1 TO NE
922 ALM=SUM(J)
924 BLM=F(J)
926 ALAP=F(J+1)
928 CLM=CQHE(J)
930 CLAM=CQHE(J+1)
```

```

935 PRA(J)=ALM*BLM*2*CLM+SDR:ELM:
940 PRA(L)=ALM*BLM*2*CLM+SDR:ELM:
950 NEXT J
960 GOSUB 1180
970 RETURN
980 IF ERR="M" THEN 1050
990 GOSUB 1070
1000 FOR M=1 TO NE
1005 FM=SUM(M)
1010 CCF=L(M)
1012 CCE=M(M+1)
1015 PRA(M)=FM*CCF
1020 PRA(M)=FM*CCE
1030 NEXT M
1040 GOSUB 1180
1050 RETURN
1060 REM
1070 REM *** SUBROUTINA UND ***
1080 REM
1090 FOR J=1 TO NE
1100 IF AFR="M" THEN AF=100 ELSE AF=AF
1110 NIV=PI(J)
1112 VOL=PV(J)
1114 IF NIV (= AF THEN VOL=VOL ELSE VOL=VOL-1)
1116 NIVI=FI(J-1)
1118 NIJ=NIV-NIVI
1120 Z=H(J)
1130 FRV(J)=VOL*Z
1135 ESF=FRV(J)
1140 SUM=SUM(J-1)
1145 SUM(J)=ESF+SUM+Q
1150 NEXT J
1160 RETURN
1170 REM
1180 REM *** SUBROUTINA DOE ***
1190 REM
1200 FOR L=1 TO NE
1210 NIV=PI(L)
1215 ENAIL=NIV*AF
1220 AGUA=ENAIL
1225 IF AGUA <= 0 THEN AGUA=0 ELSE AGUA=AGUA
1230 PRE=FRV(L)
1235 ESTO(L)=PRE*AGUA
1240 FT=ESTO(L)
1245 IF PT < 0 THEN FT=0 ELSE FT=PT
1250 PFEA=FRV(L)
1255 ESTO(L)=PFEA*AGUA
1260 PTA=ESTO(L)
1265 IF PTA < 0 THEN PTA=0 ELSE PTA=PTA
1270 IF L=NE THEN PTA=PTA*0:GOTO 1280
1280 NEXT L
1290 R10=0:L=1:M=1
1300 F(L)=ESTO(M)
1310 L=L+1
1320 F(L)=ESTO(M)
1330 IF M=NE THEN 1370
1340 M=M+1
1350 L=L+1
1360 GOTO 1300
1370 R10=0

```

```

1320 IF NE=1 THEN 1430
1370 JJ=NE-1
1400 FOR N=1 TO JJ
1402 AA=B*(N-1)
1404 ARAI=H*(N)
1410 B(N)=AA+AA*AI
1420 NEXT N
1430 M=0:J=1:K=0:L=1
1432 QME=F(1)
1434 P=F*(K+1)
1436 QME=P/J
1438 RME=B*(N)
1440 AFEA(L)=(P-QME)/2+QME
1450 PAL(L)=(2/3)*QME+RME
1452 SUP=AFEA(L)
1454 BPAZO=PAL(L)
1460 MOM(L)=SUP+BPZO
1470 L=L+1
1480 AFEA(L)=QME+QME
1490 PAL(L)=QME/2+RME
1492 SUP=AFEA(L)
1494 BPAZO=PAL(L)
1500 MOM(L)=SUP+BPZO
1510 IF J=NE THEN 1570
1520 J=J+1
1530 L=L+1
1540 K=K+2
1550 N=N+1
1560 GOTO 1432
1570 EMP=0:SUM=0
1580 N=2*NE
1590 FOR K=1 TO N
1592 AREA=AREA*(K)
1594 MOM=MOM*(K)
1600 EMP=EMP+AREA
1610 SUM=SUM+MOM
1620 NEXT K
1630 Y=SUM/EMP
1640 RETURN
1700 INPUT "¿SE EMPLEARA LA TEORIA DE COULCMBE, S/N? ",TC1:PRINT
1710 IF TC1="N" THEN 2170
1715 GOTO 13200
1720 INPUT "¿TIPO DE RELLENO: FRICCIONANTE (F) o COHESIVO-FRICCIONANTE (CF)?",RE
8:PRINT
1730 REM
1740 REM "DATOS DEL MURO Y DEL RELLENO"
1750 REM
1760 INPUT "¿ALTURA DEL MURO, EN METROS? ",H:PRINT
1770 INPUT "¿PESO VOLUMETRICO, EN TON/M3? ",PV:PRINT
1780 INPUT "¿COHESIVO, EN TON/M2? ",CGHE:PRINT
1790 INPUT "¿ANGULO DE FRICCION, EN GRADOS? ",PHI:PRINT
1795 PHI=(PHI*3.141592654)/180
1800 INPUT "¿INCLINACION DEL RELLENO CON LA HORIZONTAL, EN GRADOS? ",BE:PRINT
1805 BE=(BE*3.141592654)/180
1810 INPUT "¿INCLINACION DEL MURO CON LA VERTICAL, EN GRADOS? ",OM:PRINT
1815 OM=(OM*3.141592654)/180
1820 INPUT "¿ANGULO DE FRICCION ENTRE MURO Y RELLENO, EN GRADOS? ",LA:PRINT
1825 LA=(LA*3.141592654)/180
1830 IF RE="F" THEN 2180
1640 LA=(TAN(3.141592654/A)-PHI/2)*2)

```



```

1850 ZD=(2*CD*HE)/(F1+2DF1/A1)
1860 I=ZD+COS(GB)
1870 AL=3.141592654*(I/2)
1880 EMA1=0
1890 IT=45
1900 FOR L=1 TO IT
1910 B1C=(H-1)/COS(GB)
1920 A=(3.141592654*(Z1/2)-EE-AL
1930 E=(3.141592654*(Z1/2)+EE-DM
1940 C=DM*AL
1950 F1D=(B1C*SIN(C1))/SIN(A)
1960 AREA1=F1D*Z0
1970 D1=(B1D*SIN(B1))/SIN(A)
1980 AREA2=(D1D1^2)*SIN(B1)*SIN(C1)/(2*SIN(A1))
1990 AREA=AREA1+AREA2
2000 W=AREA*PV
2010 S=C*DE*QD
2020 SA=C*DE*E1D
2030 AP=W*SA*(SIN(DM)*TAN(PHI+AL)-COS(DM))-S*(SIN(AL)*TAN(PHI+AL)+COS(AL))
2040 AB=SIN(DM*LA1)+COS(DM*LA1)*(TAN(PHI+AL1))
2050 EMAC=AP/AB
2060 F=(EMAC+COS(DM*LA1)*S*SIN(AL)-SA*SIN(DM1))/COS(PHI+AL)
2070 V=(2/3)*H
2080 PRINT "ITERACION: ",L
2090 REM
2100 PRINT "VALOR DEL EMPUJE ACTIVO, EN TON.M= ",EMAC
2110 PRINT "VALOR DE LA FUERZA F= ",F
2115 REM
2120 AL=AL+(3.141592654*(I/20))
2130 IF EMAC >= EMAX THEN EM1=EMAC ELSE EM1=EMAX
2132 PRINT
2140 NEXT L
2145 CLS
2150 PRINT "EL VALOR DEL EMPUJE ACTIVO MAXIMO ES= ",EMAX
2155 PRINT
2160 PRINT "SU PUNTO DE APLICACION SE ENCUENTRA A= ",V
2170 END
2180 REM
2190 REM "RELLEMO FRICCIONANTE"
2200 AL=3.141592654*(I/20)
2210 EMA1=0
2220 IT=45
2230 FOR L=1 TO IT
2240 E=H/COS(GB)
2250 C=DM*AL
2260 B=(3.141592654*(Z1/2)-DM*BE
2270 A=1.570796327*(Z1-FM1-AL)
2280 G=(E+S1(B))/SIN(A)
2290 F=(E+S1(C))/SIN(A)
2300 AREA=(E^2)*S1(B)*S1(C)/(2*SIN(A))
2310 W=AREA*PV
2320 K=W/(SIN(DM*LA1)*PHI+AL1)
2330 EMAC=R*(SIN(3.141592654*(Z1-FM1-AL1))
2340 F=R*(SIN(3.141592654*(Z1-LA-CM))
2350 V=(2/3)*H
2360 PRINT "ITERACION: ",L
2370 REM
2380 PRINT "VALOR DEL EMPUJE ACTIVO= ",EMAC
2390 PRINT "VALOR DE LA FUERZA F= ",F
2400 AL=AL+(3.141592654*(I/20))

```

```
2410 IF EN=C >> ENR1 THEN ENR1=EN=C ELSE ENR1=EN=A1
2412 PRINT
2415 PER
2420 NEXT L
2430 GOTO 2145
```

2.6 PRUEBA DE ESCRITORIO Y CORRIDA DEL PROGRAMA.

Esta parte del capítulo tiene como finalidad el comparar los resultados obtenidos tanto con el uso de la computadora como en forma directa o prueba de escritorio en problemas de empujes sobre muros. Para poder llevar a cabo lo anterior, fue necesario calcular en forma directa varios tipos de ejemplo, y después, esos mismos problemas resolverlos mediante el uso del programa de computadora realizado para tal fin.

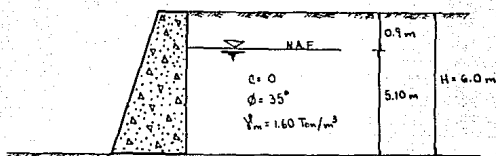
Se trabajaron tres tipos diferentes de ejemplos que abarcan tanto la teoría de Rankine como la teoría de Coulomb.

Enseguida se presentan los resultados obtenidos:

TEORIA DE RANKINE.

Ejemplo No. 1: Qué empuje activo y pasivo se presentará sobre el muro mostrado en la figura 2.6.17

FIGURA 2.6.1.



SOLUCION:

a) Empuje Activo.

ESTRATIGRAFIA.

Estrato	Nivel inf. m.	H m.	γ_m ton/m ³	$\gamma_m H_2$ ton/m	$\Sigma \gamma_m H_2$ ton/m	C ton/m ²	ϕ (o)	K_a	$\sqrt{K_a}$
0 - 0.9	0.90	0.90	1.60	1.44	1.44	0	35	0.271	0.521
0.9 - 6.0	6.00	5.10	0.60	3.06	4.50	0	35	0.271	0.521

donde: H = espesor del estrato.

γ_m = peso volumétrico del material, en el estado en que se encuentre (sumergido o no)

C = cohesión del material.

θ = ángulo de fricción interna.

K_a = coeficiente activo de presión de tierras = $\tan^2(45 - \theta/2)$

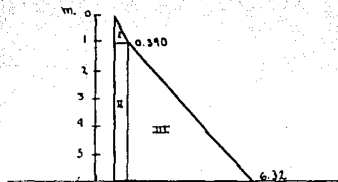
Cálculo de presiones horizontales ejercidas sobre el muro en las fronteras de los estratos:

$$e = \sum \gamma_m H K_a - 2C\sqrt{K_a}$$

	e_w	e_t
cuando $z = 0$ entonces	$e_1 = 0 - 2(0)(0.521)$	
cuando $z = 0.9$ entonces	$e_1 = (1.44)(0.271) - 2(0)(0.521) = 0.390$	0 0.390
	$e_2 = (1.44)(0.271) - 2(0)(0.521) = 0.390$	0 0.390
cuando $z = 6.0$ entonces	$e_1 = (4.5)(0.271) - 2(0)(0.521) = 1.220$	5.1 6.320

En los cálculos anteriores, e_w representa el empuje debido a la presencia de agua y e_t es el empuje total.

Realizando el diagrama de presiones respectivo, se tiene lo siguiente:



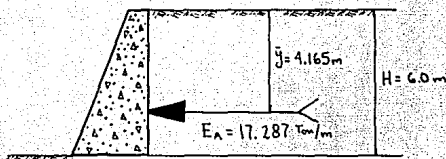
Cálculo del empuje Activo (áreas del diagrama de presiones).

Figura	Área	\bar{y}	(Área)(\bar{y})
I	0.176	0.60	0.106
II	1.989	3.45	6.862
III	15.122	4.30	65.025
Σ	17.287		$\Sigma = 71.993$

$$\bar{y} = \frac{\Sigma (\text{Área})(\bar{y})}{\Sigma \text{Área}} = \frac{71.993}{17.287} = 4.165 \text{ m.}$$

donde: Σ Area = Empuje Activo total, en ton/m.

P = Punto de aplicación del empuje a partir de la corona del muro, en metros.



b) Empuje Pasivo.

ESTRATIGRAFIA.

Estrato	Niv. Inf. m.	H m.	γ_m ton/m ³	$\gamma_m H$ ton/m ²	$\Sigma \gamma_m H$ ton/m ²	C ton/m ²	θ (°)	K_p	$\sqrt{K_p}$
0.0 - 0.9	0.90	0.90	1.60	1.44	1.44	0	35	3.690	1.921
0.9 - 6.0	6.00	5.10	0.60	3.06	4.50	0	35	3.690	1.921

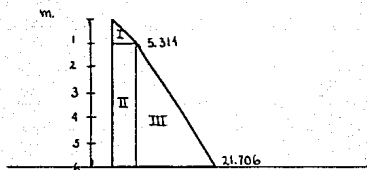
donde: K_p = coeficiente pasivo de presión de tierras = $\tan^2(45 + \theta/2)$

Cálculo de presiones horizontales ejercidas sobre el muro en las fronteras de los estratos:

$$e = \Sigma \gamma_m H K_p + 2 C \sqrt{K_p}$$

	e_w	e_z
cuando $z = 0$ entonces $e_1 = 0 + 2(0)(1.921) = 0$	0	0
cuando $z = 0.9$ entonces $e_1 = (1.44)(3.69) + 2(0)(1.921) = 5.314$	0	5.314
$e_2 = (1.44)(3.69) + 2(0)(1.921) = 5.314$	0	5.314
cuando $z = 6.0$ entonces $e_1 = (4.50)(3.69) + 2(0)(1.921) = 16.605$	5.10	21.705

Realizando el diagrama de presiones respectivo, se llega a la siguiente figura:



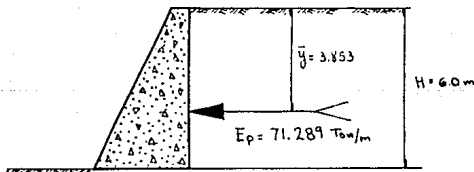
Cálculo del Empuje Pasivo (áreas del diagrama de presiones).

Figura	Area	\bar{y}	(Area)(\bar{y})
I	2.391	0.60	1.435
II	27.101	3.45	93.498
III	41.797	4.30	179.727
	$\Sigma = 71.289$		$\Sigma = 274.660$

$$\bar{y} = \frac{\Sigma (Area)(\bar{y})}{\Sigma Area} = \frac{274.660}{71.289} = 3.853 \text{ m.}$$

donde: $\Sigma Area =$ Empuje pasivo total, en ton/m.

$\bar{y} =$ punto de aplicación del empuje a partir de la corona del muro, en metros.



En la siguiente hoja se presentan los resultados obtenidos para el empuje activo y el empuje pasivo utilizando el programa de computadora elaborado para tal fin.

*** EMPUJES SOBRE MUROS DE RETENCION ***

APLICANDO LA TEORIA DE RANKINE

DATOS DEL RELLENO TRAS EL MURO:

NUMERO DE ESTRATOS DEL RELLENO = 2
PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS = 1.5 m.
INCLINACION DEL RELLENO CON LA HORIZONTAL = 0 grad.

PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS DEL RELLENO.

ESTRATO	NIV. INF. (m)	COHESION (ton/m ²)	FRICCION (%)	PESO VOL. (ton/m ³)
1	0.90	0.00	35.00	1.60
2	6.00	0.00	35.00	1.60

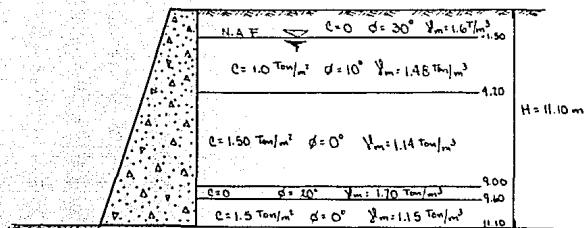
R E S U L T A D O S

EL VALOR DEL EMPUJE ACTIVO ES = 17.29 ton/m
SU PUNTO DE APLICACION SE ENCUENTRA A: 4.16 m. a partir de la corona del muro.

EL VALOR DEL EMPUJE PASIVO ES = 71.29 ton/m
SU PUNTO DE APLICACION SE ENCUENTRA A: 3.85 m. a partir de la corona del muro.

Ejemplo No. 2: ¿Cuál será el valor del empuje activo y pasivo que obra sobre el muro de contención mostrado en la figura 2.6.2?

FIGURA 2.6.2.



SOLUCIÓN:

a) Empuje Activo.

ESTRATIGRAFIA.

Estrato	Nivel inf.	H	γ_m	$\gamma_m H$	$\sum \gamma_m H$	C	θ	K_a	$\sqrt{K_a}$
---	m.	m.	ton/m ³	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	(o)	---	---
0.0 - 1.5	1.50	1.50	1.60	2.400	2.400	0	30	0.333	0.577
1.5 - 4.2	4.20	2.70	0.48	1.296	3.696	1.0	10	0.704	0.839
4.2 - 9.0	9.00	4.80	0.14	0.672	4.368	1.5	0	1.000	1.000
9.0 - 9.6	9.60	0.60	0.70	0.420	4.788	0	20	0.490	0.700
9.6 - 11.1	11.10	1.50	0.15	0.225	5.013	1.5	0	1.000	1.000

donde: H = espesor del estrato, en metros.

γ_m = peso volumétrico del material en el estado en que se encuentre, ya sea sumergido o no, en ton/m³.

C = cohesión del material, en ton/m².

θ = ángulo de fricción interna, en grados.

K_a = coeficiente activo de presión de tierras = $\tan^2(45 - \theta/2)$.

Cálculo de las presiones horizontales ejercidas sobre el muro en los puntos frontera de cada uno de los estratos que componen el relleno.

$$e = \sum \gamma_m H K_a - 2C \sqrt{K_a}$$

e_w e_z

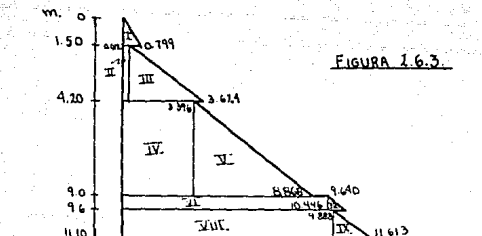
cundo $z=0$ entonces $e_f = 0 - 2(1)(0.577) = 0$

0 0

		e_w	- 51 -
			e_z
cuando $z=1.5$	$e_1 = (2.400)(0.333) - 2(0.10.577) = 0.799$	0	0.799
	$e_2 = (2.400)(0.704) - 2(1.010.839) = 0.012$	0	0.012
cuando $z=4.2$	$e_1 = (3.696)(0.704) - 2(1.0110.839) = 0.924$	2.70	3.624
	$e_2 = (3.696)(1.000) - 2(1.511.000) = 0.696$	2.70	3.396
cuando $z=9.0$	$e_1 = (4.368)(1.000) - 2(1.511.000) = 1.368$	7.50	8.868
	$e_2 = (4.368)(0.490) - 2(0.010.700) = 2.140$	7.50	9.640
cuando $z=9.6$	$e_1 = (4.788)(0.490) - 2(0.010.700) = 2.346$	8.10	10.446
	$e_2 = (4.788)(1.000) - 2(1.511.000) = 1.788$	8.10	9.888
cuando $z=11.1$	$e_1 = (5.013)(1.000) - 2(1.511.000) = 2.013$	9.60	11.613

En los cálculos anteriores, e_w representa el empuje debido a la presencia de agua y e_z es el empuje total.

Realizando el diagrama de presiones efectivas, se obtiene la figura 2.6.3.



Cálculo del empuje activo (áreas del diagrama de presiones).

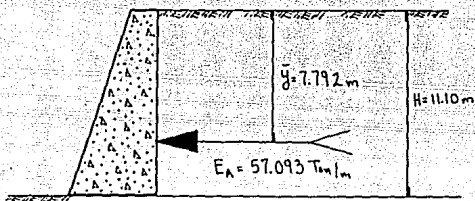
Figura	Área	\bar{y}	(Área)(\bar{y})
I	0.599	1.00	0.599
II	0.032	2.85	0.091
III	4.876	3.30	16.091
IV	16.301	6.60	107.587
V	13.133	7.40	97.184
VI	5.784	9.30	53.791
VII	0.242	9.40	2.275
VIII	14.832	10.35	153.511
IX	1.294	10.60	13.716

$$\Sigma \text{Area} = 57.093 \text{ ton/m} \quad \Sigma (\text{Area})(\bar{y}) = 444.845 \text{ ton.}$$

$$\bar{y} = \frac{\Sigma (\text{Area})(\bar{y})}{\Sigma \text{Area}} = \frac{444.845}{57.093} = 7.792 \text{ m.}$$

donde: ΣArea = Empuje activo total, en ton/m.

\bar{y} = Punto de aplicación del empuje a partir de la conona del muro, en metros.



b) Empuje Pasivo.

ESTRATIGRAFIA.

Estrato	Niv. Inf.	H	γ_m	$\gamma_m H$	$\gamma_m H^2$	C	θ	K_p	$\sqrt{K_p}$
---	m.	m.	ton/m ³	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	(a)	---	---
0.0 - 1.5	1.50	1.50	1.60	2.400	2.400	0	30	3.000	1.732
1.5 - 4.2	4.20	2.70	0.48	1.296	3.696	1.0	10	1.420	1.192
4.2 - 9.0	9.00	4.80	0.14	0.672	4.368	1.5	0	1.000	1.000
9.0 - 9.6	9.60	0.60	0.70	0.420	4.788	0	20	2.040	1.428
9.6 - 11.1	11.10	1.50	0.15	0.225	5.013	1.5	0	1.000	1.000

donde: K_p = coeficiente pasivo de presión de tierras = $\tan^2(45 + \theta/2)$

Cálculo de presiones horizontales ejercidas sobre el muro en los puntos frontera de cada uno de los estratos que componen el relleno:

$$e = \Sigma \gamma_m H K_p + 2C \sqrt{K_p}$$

cuando $z=0$ $e_j = (0)(3.000) + 2(0)(1.732) = 0$

$$\begin{matrix} e_w & e_t \\ 0 & 0 \end{matrix} ;$$

		e_w	e_t
		0	7.200
cuando $z=1.50$	$e_1 = (2.40)(3.000) + 2(0)(1.732) = 7.200$	0	7.200
	$e_2 = (2.40)(1.420) + 2(1.01)(1.192) = 5.792$	0	5.792
cuando $z=4.20$	$e_1 = (3.696)(1.420) + 2(1.01)(1.192) = 7.632$	2.70	10.332
	$e_2 = (3.696)(1.000) + 2(1.51)(1.000) = 6.696$	2.70	9.396
cuando $z=9.00$	$e_1 = (4.368)(1.000) + 2(1.51)(1.000) = 7.368$	7.50	14.868
	$e_2 = (4.368)(2.040) + 2(0.01)(1.428) = 8.911$	7.50	16.411
cuando $z=9.60$	$e_1 = (4.788)(2.040) + 2(0.01)(1.428) = 9.768$	8.10	17.868
	$e_2 = (4.788)(1.000) + 2(1.51)(1.000) = 7.788$	8.10	15.888
cuando $z=11.10$	$e_1 = (5.013)(1.000) + 2(1.51)(1.000) = 8.013$	9.60	17.613

En los cálculos anteriores, e_w representa el empuje debido a la presencia de agua tras el muro y e_t el esfuerzo total.

Realizando el diagrama de presiones, se obtuvo la figura 2.6.4.

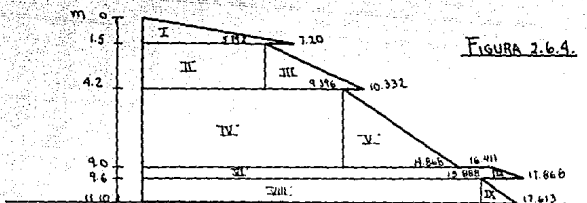


FIGURA 2.6.4.

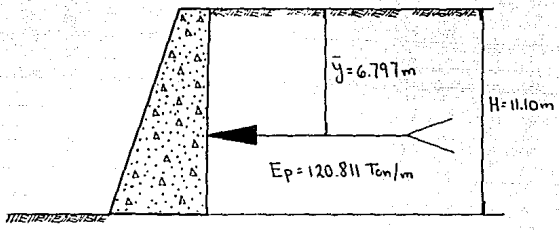
Cálculo del empuje pasivo (áreas del diagrama de presiones).

Figura	Área	\bar{y}	(Área)(\bar{y})
I	5.400	1.00	5.400
II	15.638	2.85	44.568
III	6.129	3.30	20.226
IV	45.101	6.60	297.667
V	13.133	7.40	97.184
VI	9.847	9.30	91.577
VII	0.437	9.40	4.109
VIII	23.832	10.35	246.661
IX	1.294	10.60	13.714

$$\Sigma \text{Area} = 120,811 \text{ ton/m} \quad \Sigma (\text{Area})(\bar{y}) = 821,106 \text{ ton.}$$

$$\bar{y} = \frac{\Sigma (\text{Area})(\bar{y})}{\Sigma \text{Area}} = \frac{821,106}{120,811} = 6.797 \text{ m.}$$

donde: ΣArea = Empuje pasivo total, en ton/m
 \bar{y} = Punto de aplicación del empuje a partir de la corona del muro, en metros.

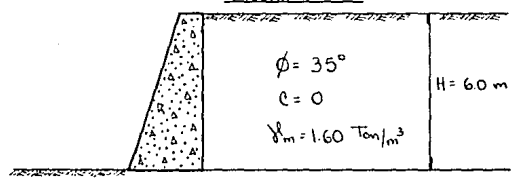


TEORÍA DE COULOMB.

Para el caso de la aplicación de la teoría de Coulomb al cálculo del empuje activo que obra sobre un muro de contención, se tomó el siguiente problema:

Ejemplo no.1: Encuentre el valor del empuje activo que ejerce el relleno sobre el muro mostrado en la figura 2.6.5.

FIGURA 2.6.5.



SOLUCIÓN: Debido a que el procedimiento de Coulomb para encontrar el valor del empuje activo máximo que se ejerce sobre un muro es a base de un método de tanteos, sería necesario realizar bastantes cálculos para encontrar dicho valor. Es por eso, que en este caso se manejó en primer término la solución con ayuda de la computadora, para poder definir el valor del

*** EMPUJES SOBRE MUROS DE RETENCION ***

APLICANDO LA TEORIA DE RANKINE

DATOS DEL RELLENO TRAS EL MURO:

NUMERO DE ESTRATOS DEL RELLENO = 5
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS = 1.5 m.
 INCLINACION DEL RELLENO CON LA HORIZONTAL = 0 rad

PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS DEL RELLENO.

ESTRATO	INCLINACION (α)	COHESION (c)	FRICCION (φ)	PESO VDL (γ)
	(m)	(ton/m ²)	(°)	(ton/m ³)
1	1.50	0.00	30.00	1.60
2	4.20	1.00	10.00	1.40
3	9.00	1.50	0.00	1.14
4	5.60	0.00	20.00	1.70
5	11.10	1.50	0.00	1.15

R E S U L T A D O S

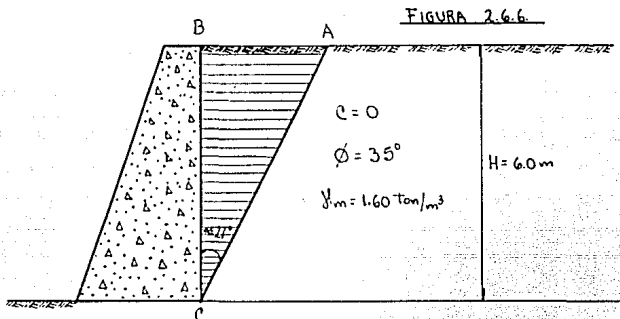
EL VALOR DEL EMPUJE ACTIVO ES = 57.09 ton/m
 SU PUNTO DE APLICACION SE ENCUENTRA A: 7.79
 m. a partir de la corona del muro.

EL VALOR DEL EMPUJE PASIVO ES = 120.81 ton/m
 SU PUNTO DE APLICACION SE ENCUENTRA A: 6.80
 m. a partir de la corona del muro.

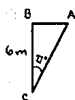
ángulo α , que nos define la cuña de terreno para la cual se presenta el empuje máximo en el muro.

Para el problema en particular, la solución que da la computadora, nos indica que el valor de $\alpha = 27^\circ$, en relación con la vertical del muro; una vez que se tiene el dato del ángulo, se obtendrá en forma directa el valor del empuje. Para llevar a cabo lo anterior, será necesario dibujar a escala el muro y todos los parámetros que intervienen para el cálculo del empuje.

El dibujo del muro de retención a escala, se presenta en la figura 2.6.6.



Como se puede ver, el triángulo que nos define la cuña ABC corresponde a un triángulo rectángulo, por lo que por trigonometría se pueden obtener los valores correspondientes a sus tres lados y ángulos:



$$\text{Tang } 27^\circ = \frac{\overline{AB}}{\overline{BC}}, \text{ pero } \overline{BC} = 6.0 \text{ m.}$$

por lo tanto: $\overline{AB} = (\text{Tang } 27^\circ)(6.0) = 3.057 \text{ m.}$

Aplicando el teorema de Pitágoras, se calcula el valor del segmento \overline{AC} :

$$\overline{AC} = \sqrt{(\overline{AB})^2 + (\overline{BC})^2} = \sqrt{(3.057)^2 + (6.0)^2} = 6.734 \text{ m.}$$

Para el cálculo del valor de cada uno de los ángulos del triángulo, se tiene lo siguiente:

$$\sphericalangle B = 90^\circ$$

$$\angle C = 27^\circ$$

por lo tanto:

$$\angle A = 180 - (90 + 27) = 180 - 117 = 63^\circ$$

Se obtiene el área de la cuña de tierra definida por el triángulo rectángulo ABC:

$$AREA = \frac{(\overline{AB})(\overline{BC})}{2} = \frac{(3.057)(6.0)}{2} = 9.171 \text{ m}^2.$$

Considerando una longitud unitaria en el sentido normal al plano de esta hoja, el peso de la cuña ABC será:

$$W = (9.171)(1.0)(1.60) = 14.674 \text{ ton.}$$

De acuerdo al análisis matemático desarrollado en el inciso 2.3, se tiene que el empuje estará dado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{W (\text{Sen } (90 - \theta - \alpha))}{\text{Sen } (w + \int + \theta + \alpha)}$$

donde: E = empuje activo de tierras, en ton/m.

W = peso de la cuña que produce el empuje, en ton.

θ = ángulo de fricción interna del material, en grados.

α = ángulo de la cuña de tierra con respecto a la vertical, en grados.

w = ángulo formado entre el respaldo del muro y la vertical, en grados.

\int = coeficiente de fricción entre muro y relleno.

Para el ejemplo en análisis, se tienen los siguientes valores:

$$W = 14.674 \text{ ton.}$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$\alpha = 27^\circ$$

$$w = 0^\circ$$

$$\int = 0^\circ$$

Por lo tanto, el empuje máximo activo que actúa sobre el muro será:

$$E_a \text{ máx.} = \frac{(14.674)(\text{Sen}90 - 35 - 27)}{\text{Sen}(0+0+35+27)} = \frac{(14.674)(\text{Sen}28^\circ)}{\text{Sen}62^\circ}$$

$$E_a \text{ máx.} = 7.794 \text{ ton/m}$$

Cálculando éste mismo empuje con la teoría de Rankine para verificar el resultado, se tiene lo siguiente:

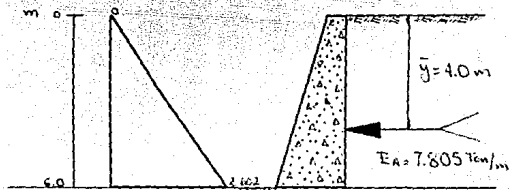
$$e = \sum y_m H \cdot K_a - 2 C \sqrt{K_a}$$

$$\text{Para } z=0 \quad e_1 = (0)(0.271) - 2(0)(0.521) = 0$$

$$\text{Para } z=6.0 \quad e_2 = (1.6)(6.0)(0.271) - 2(0)(0.521) = 2.602$$

En la figura 2.6.7. se muestra el diagrama de presiones correspondiente.

FIGURA 2.6.7.



El valor del área de dicho diagrama corresponde al valor total del Empuje Activo que se presenta sobre el muro, y que vale:

$$E_a \text{ máx.} = \frac{(2.602)(6.0)}{2} = 7.805 \text{ ton/m.}$$

Su punto de aplicación se halla a $2/3$ de la altura del muro a partir de la corona del mismo:

$$y = \frac{2}{3} (6.0) = 4.0 \text{ m.}$$

Podemos ver que el valor de los empujes es aproximadamente el mismo, utilizando la teoría de Coulomb y la de Rankine.

Enseguida se presenta la solución al problema con ayuda de la computadora.

*** EMPUJES SOBRE MUROS DE RETENCION ***

APLICANDO LA TEORIA DE COULOMB

DATOS DEL MURO Y DEL RELLENO :

ALTEZA DEL MURO = 6 mts.

TIPO DE RELLENO : FRICCIONANTE.

COHESION = 0 ton/m²

ANGULO DE FRICCION INTERNA = 35 grados.

PESO VOLUMETRICO = 1.6 ton/m³

INCLINACION DEL RELLENO CON LA HORIZONTAL = 0 grados

INCLINACION DEL MURO CON LA VERTICAL = 9 grados

ANGULO DE FRICCION ENTRE MURO Y RELLENO = 0 grados

R E S U L T A D O S

ITERACION : 1
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 0.69ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 9.85ton
ITERACION : 2
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 1.33ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 1.57ton
ITERACION : 3
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 1.93ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 2.45ton
ITERACION : 4
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 2.49ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 3.20ton
ITERACION : 5
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 3.00ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 3.92ton
ITERACION : 6
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 3.48ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 4.61ton
ITERACION : 7
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 3.93ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 5.09ton
ITERACION : 8
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 4.34ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 5.93ton
ITERACION : 9
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 4.72ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 6.57ton
ITERACION : 10
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.08ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 7.19ton
ITERACION : 11
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.41ton/m
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 7.78ton

ITERACION : 12
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.71ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 8.37ton
ITERACION : 13
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.99ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 8.95ton
ITERACION : 14
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.24ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 9.51ton
ITERACION : 15
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.48ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 10.07ton
ITERACION : 16
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.69ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 10.63ton
ITERACION : 17
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.88ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 11.17ton
ITERACION : 18
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.05ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 11.72ton
ITERACION : 19
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.20ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 12.26ton
ITERACION : 20
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.34ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 12.80ton
ITERACION : 21
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.45ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 13.34ton
ITERACION : 22
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.56ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 13.87ton
ITERACION : 23
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.64ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 14.42ton
ITERACION : 24
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.70ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 14.96ton
ITERACION : 25
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.75ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 15.51ton
ITERACION : 26
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.79ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 16.06ton
ITERACION : 27
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.80ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 16.62ton
ITERACION : 28
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.80ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 17.19ton
ITERACION : 29
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.79ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 17.76ton
ITERACION : 30
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.75ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 18.35ton
ITERACION : 31
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.70ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 18.94ton

ITERACION : 32
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.64ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 19.55ton
ITERACION : 33
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.58ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 20.17ton
ITERACION : 34
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.46ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 20.81ton
ITERACION : 35
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.34ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 21.46ton
ITERACION : 36
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.20ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 22.13ton
ITERACION : 37
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 7.05ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 22.82ton
ITERACION : 38
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.89ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 23.53ton
ITERACION : 39
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.69ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 24.26ton
ITERACION : 40
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.48ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 25.02ton
ITERACION : 41
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 6.24ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 25.80ton
ITERACION : 42
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.99ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 26.61ton
ITERACION : 43
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.71ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 27.46ton
ITERACION : 44
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.41ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 28.33ton
ITERACION : 45
VALOR DEL EMPUJE ACTIVO = 5.08ton/a
VALOR DE LA FUERZA NORMAL = 29.24ton

EL VALOR DEL EMPUJE ACTIVO MAXIMO ES=
SU PUNTO DE APLICACION SE ENCUENTRA A=

7.602482 ton/m
4 m.

2.7 ANALISIS DE RESULTADOS.

Resumiendo y analizando los resultados que se obtuvieron en los ejemplos de presión de tierras sobre elementos de soporte, se puede formar la siguiente tabla 2.7.1.

TABLA 2.7.1.

TEORIA DE:	EJEMPLO No.	R E S U L T A D O S	
		En forma directa.	por computadora.
RANKINE	1	$E_a = 17.287 \text{ t/m}$	$E_a = 17.285 \text{ t/m}$
		$E_p = 71.289 \text{ t/m}$	$E_p = 71.291 \text{ t/m}$
RANKINE	2	$E_a = 57.093 \text{ t/m}$	$E_a = 57.094 \text{ t/m}$
		$E_p = 120.811 \text{ t/m}$	$E_p = 120.810 \text{ t/m}$
COULOMB	1	$E_a = 7.794 \text{ t/m}$	$E_a = 7.802 \text{ t/m}$

Al comparar los resultados obtenidos en forma directa con los proporcionados por la computadora, se puede ver, que en general son muy parecidos, y que la diferencia que existe entre ellos es muy pequeña.

La diferencia que aparece entre éstos valores se debe a la cantidad de cifras significativas que utiliza la computadora en cada operación que realiza. Sin embargo, a pesar de estas desigualdades, se considera que los resultados que proporciona la máquina, al utilizar el programa elaborado para resolver este tipo de problemas, son correctos.

CAPITULO III

C A P I T U L O I I I

ESTABILIDAD DE TALUDES.

3.1 INTRODUCCION.

Un talud es cualquier superficie que se halle inclinada respecto a la horizontal. En la Mecánica de Suelos se refiere específicamente a formaciones en suelos, transitorias o permanentes. La formación de un talud puede ser natural, como las laderas, o artificial por la acción del hombre como lo son los cortes y terraplenes.

Hoy en día, el diseño y construcción de taludes en obras ingenieriles ha tomado una gran importancia debido a la inversión que representan, así como a las posibles consecuencias que se pudieran presentar en caso de su falla; es por eso que el proyectista debe tener mucho cuidado con el diseño de dicha estructura de tierra.

El gran auge que tiene en la actualidad el uso de taludes como parte de obras ingenieriles, tiene su origen desde que el hombre primitivo tuvo necesidad de construir elementos que le ayudaran a desarrollarse y a satisfacer sus necesidades primarias, y a medida que fue transcurriendo el tiempo, su importancia se fue acrecentando hasta hacer hoy, del diseño y construcción de taludes, una obra de ingeniería de primer orden.

Otro factor que contribuyó a considerar y a estudiar más a fondo el empleo de taludes fue el moderno desarrollo de las actuales vías de conducción y comunicación, tales como acueductos, canales, caminos o vías de ferrocarril, así como el impulso que la construcción de presas de tierra ha recibido en todo el mundo en los últimos años; también el desenvolvimiento de obras de protección contra la acción de ríos por medio de bordos, en donde los taludes tienen una función primordial.

En la antigüedad, la construcción de taludes tuvo muchos problemas, ya que en esos tiempos se manejaban con normas puramente empíricas, lo que traía como consecuencia fallas en el desarrollo de la obra. No fue sino hasta el primer tercio de este siglo cuando se hizo posible, gracias al nacimiento de la actual Mecánica de Suelos, aplicar al diseño de taludes, normas y criterios que sistemáticamente tomasen en cuenta las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constitutivos; obteniendo experiencia en bases firmes y desarrollando ideas teóricas que permiten conocer más detallada

mente el funcionamiento particular de estas estructuras.

En el estudio de los taludes existieron investigadores, como A. Collin en el año de 1845, que hablaron por primera vez de superficies de deslizamiento curvas en las fallas de los taludes. Este investigador imaginó mecanismos de falla que no difieren mucho de los que actualmente se consideran en muchos métodos prácticos de diseño.

Sin embargo, sus teorías fueron relegadas por las ideas de Charles A. Coulomb, en el año de 1776, gracias a su mayor prestigio y autoridad en la materia, quien establecía que las fallas de los taludes eran planas. Las ideas de Coulomb fueron desechadas cuando en el año de 1916 volvieron a surgir las ideas de superficie curva de deslizamiento, en Suecia por el investigador Peterson, e impulsadas principalmente por uno de los investigadores más importantes en el campo de los taludes en 1927, como lo fué W. Fellenius.

La escuela sueca propuso asimilar la superficie de falla real a una cilíndrica, cuya traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia; con esto se busca sobre todo facilidad en los cálculos, pues desde un principio se reconoció que la llamada falla circular no representa exactamente el mecanismo real.

Actualmente reciben el nombre genérico de Método Sueco aquellos procedimientos de cálculo de estabilidad de taludes en que se utiliza la hipótesis de falla circular.

En 1935 Rendulic propuso la espiral logarítmica como traza de una superficie de deslizamiento más real, pero Taylor en 1937 puso de manifiesto que esta curva, que complica bastante los cálculos, proporciona resultados muy similares a la circunferencia, por lo que su uso práctico no se justifica. Cabe señalar que a pesar de que las ideas teóricas sobre estabilidad de taludes distan de ser las mejores y más apegadas a la realidad, utilizándolas hoy, se construyen taludes muy importantes con factores de seguridad poco superiores a la unidad, lo cual es indicativo de que los métodos actuales funcionan bastante bien en la práctica; es más, cuando tales métodos se han aplicado cuidadosamente, tras haber investigado correctamente las propiedades de los suelos, las posibilidades de una falla de consecuencias ha demostrado ser realmente muy pequeña.

3.2 ENUNCIADOS DE LAS DISTINTAS TEORIAS SOBRE ESTABILIDAD DE TALUDES.

Para encontrar solución a la estabilidad de taludes, utilizaremos uno de los procedimientos del método sueco, que como se mencionó anteriormente, comprende a todos aquellos análisis de estabilidad respecto a falla de rotación, en los que se considera que la superficie de falla es un cilindro, cuya traza con el plano en el que se calcula es un arco de circunferencia. Existen varios procedimientos para aplicar este método, de acuerdo a las propiedades del suelo, a fin de garantizar la estabilidad de un talud. Entre éstos se hallan los siguientes:

- para suelos puramente cohesivos ($\theta = 0$; $C \neq 0$), el propuesto por el Dr. A. Casagrande.
- para suelos con cohesión y fricción ($\theta \neq 0$; $C \neq 0$), el propuesto por Fellenius.

El método que emplearemos para la solución a la estabilidad de un talud, con ayuda de una computadora, será el propuesto por Fellenius aplicado a suelos estratificados.

3.2.1. METODO DE LAS DOVELAS.

Este método será aplicable a aquellos suelos que después de haber sido sometidos a la prueba triaxial apropiada, trabajando con esfuerzos totales, y después de definir la envolvente de falla, tengan una ley de resistencia al esfuerzo cortante del tipo:

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

es decir, con parámetros de cohesión y fricción.

Posiblemente el procedimiento más popular de todos los procedimientos de aplicación del método sueco para este tipo de suelos, sea el establecido por Fellenius en el año de 1927, denominado también "método de las dovelas", el cual se expone a continuación:

En primer lugar, se propone un círculo de falla a elección y la masa de tierra deslizante se divide en dovelas, del modo que indica la figura 3.2.1.

El número de dovelas es, hasta cierto punto, cuestión de elección, pues a mayor número, los resultados del análisis se hacen más confiables.

El equilibrio de cada dovela puede analizarse como se muestra en la figura

3.2.1., donde W_i es el peso de la dovela considerada de espesor unitario. Las fuerzas N_i y T_i son las reacciones normal y tangencial del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento ΔL_i . Las dovelas adyacentes a la i -ésima, bajo estudio, ejercen ciertas acciones sobre ésta, que pueden representarse por las fuerzas normales P_1 y P_2 y por las tangenciales T_1 y T_2 .

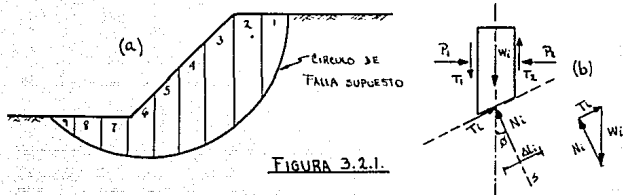


FIGURA 3.2.1.

En el procedimiento de Fellenius se hace la hipótesis de que el efecto de las fuerzas P_1 y P_2 se contrarresta; es decir, se considera que esas dos fuerzas son iguales, colineales y contrarias. También se acepta que el momento producido por las fuerzas T_1 y T_2 , que se consideran de igual magnitud, es despreciable. Estas hipótesis equivalen a considerar que cada dovela actúa en forma independiente de las demás y que N_i y T_i equilibran a W_i .

El cociente $N_i/\Delta L_i$ se considera una buena aproximación al valor de ∇_i , presión normal actuante en el arco ΔL_i , que se considera constante en esa longitud. Con este valor de ∇_i puede entrarse a la ley de resistencia al esfuerzo cortante que se halla obtenido, ver la figura 3.2.2., y determinar así el valor de S_i , que es la resistencia al esfuerzo cortante que se supone constante en todo el arco ΔL_i .

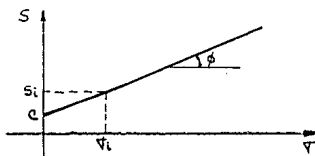


FIGURA 3.2.2.

Puede calcularse el momento motor debido al peso de las dovelas como:

$$M_m = (\text{radio}) \sum (T_i) \dots\dots\dots l$$

Nótese que la componente normal del peso de la dovela, N_i , pasa por O , por ser la superficie de falla un arco de circunferencia, y por lo tanto no produce

momento respecto a aquel punto. Si en la corona del talud existiesen sobre cargas, su momento deberá calcularse en la forma usual y añadirse al dado por la expresión 1.

El momento resistente es debido a la resistencia al esfuerzo cortante, Si, que se desarrolla en la superficie de deslizamiento de cada dovela y vale:

$$M_{r_i} = (\text{radio}) (\sum Si \Delta Li) \dots\dots\dots 2$$

Una vez más se está aceptando que la resistencia máxima al esfuerzo cortante se desarrolla al unísono en todo punto de la superficie de falla hipotética, lo cual no sucede realmente debido a las concentraciones de esfuerzos que se producen en ciertas zonas, las que tienden a generar más bien fallas progresivas, antes que las del tipo que aquí se aceptan.

Calculados el momento resistente y el motor puede definirse un factor de seguridad:

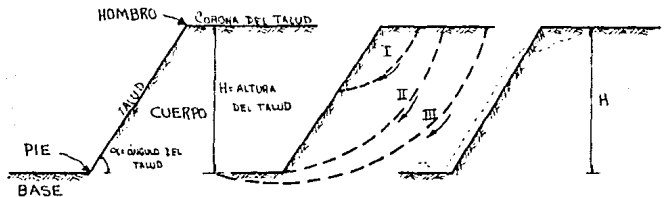
$$F.S. = \frac{M_{r_i}}{M_m} = \frac{\sum Si \Delta Li}{|\sum Ti|}$$

La experiencia ha demostrado que una superficie de falla en que resulte que $F.S. > 1.5$ es prácticamente estable.

El método de análisis consistirá también en un procedimiento de tanteos, en el cual deberán fijarse distintos círculos de falla, calculando el F.S. L_i dado a cada uno; es preciso que el F.S. mínimo no sea menor de 1.5, en general, para garantizar en la práctica la estabilidad de un talud.

El procedimiento arriba descrito habrá de aplicarse en general a círculos de falla de base y por el pie de talud, ver figura 3.2.3.

FIGURA 3.2.3.



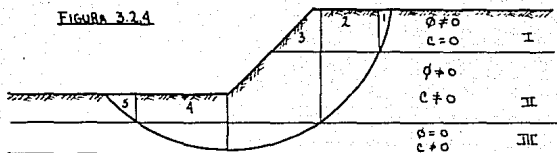
(a) NOMENCLATURA

(b) FALLAS POR ROTACION
 I) LOCAL
 II) POR EL PIE DEL TALUD
 III) DE BASE

(c) FALLA DE TRANSLACION SOBRE UN PLANO DEBIL

3.2.2. SUELOS ESTRATIFICADOS.

Frecuentemente se presentan en la práctica taludes formados por diferentes estratos de suelos distintos, que pueden idealizarse en forma similar al caso que muestra la figura 3.2.4.



Ahora puede realizarse una superposición de los casos tratados por el método sueco. En la figura anterior se suponen tres casos o estratos distintos: el I de material puramente friccionante, el II de material cohesivo-friccionante y el III, formado por suelo puramente cohesivo. Puede considerarse a la masa de suelo deslizante, correspondiente a un círculo supuesto, dividida por dovelas, de modo que ninguna base de dovela caiga entre dos estratos, a fin de lograr la máxima facilidad en los cálculos.

Para obtener el peso de cada dovela, ahora deberá calcularse en sumandos parciales, multiplicando la parte del área de la dovela que caiga en cada estrato por el peso específico correspondiente.

Las dovelas cuya base caiga en los estratos I y II, deberán de tratarse de acuerdo al método de Fellenius, aplicando las expresiones 1 y 2 y trabajando en cada caso con la ley de resistencia al esfuerzo cortante del material de que se trate. Así se obtienen momentos motores y resistentes parciales. Para la zona III lo más recomendable es utilizar el procedimiento del Dr. Casagrande para suelos puramente cohesivos, sin embargo para la utilización del programa de computadora aquí presentado, la solución en este tipo de suelos se llevó a cabo con la teoría de Fellenius.

Los momentos motor y resistente totales se obtienen, naturalmente, como suma de los parciales calculados y con ellos puede calcularse el F.S. correspondiente al círculo de falla elegido; usando otros arcos de circunferencia se podrá llegar al F.S. mínimo, que no debe ser menor de 1.5.

En resumen, podemos decir que las hipótesis utilizadas en los procedimientos anteriores son:

- Falla circular.

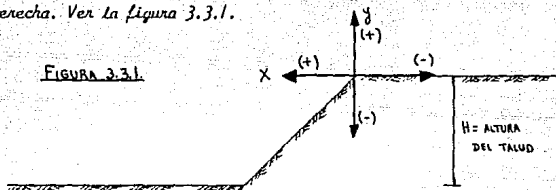
- El análisis es bidimensional, respondiendo a un estado de deformación plana.
- Es válida la ley de resistencia de Mohr-Coulomb.
- La resistencia al esfuerzo cortante se moviliza por completo y al mismo tiempo en toda la superficie de deslizamiento.
- No existe interacción entre las dovelas.
- El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia promedio al esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla y los esfuerzos cortantes actuantes medios en dicha superficie.

3.3 ALGORITMO DE SOLUCION.

Para llevar a cabo la solución a problemas de estabilidad de taludes por el procedimiento de las dovelas, empleando la computadora, será necesario considerar lo siguiente:

El límite del programa es el de dar solución a 99 círculos de falla posibles divididos en 27 círculos de falla por el pie de talud y 72 por falla de base.

La distribución y ubicación de estos círculos se realiza por medio de un sistema de ejes cartesianos donde los números positivos se hallan arriba y a la izquierda del origen del sistema y los números negativos abajo y a la derecha. Ver la figura 3.3.1.



El centro de dichos ejes se hace coincidir en el hombro de la corona del talud, y ese punto será el origen de las coordenadas de cada uno de los 99 círculos calculados.

Se empiezan los cálculos proponiendo un círculo de falla cuyo origen sea el punto (0,0) y como punto final las coordenadas del pie del talud. Se calcula para dicho círculo el factor de seguridad correspondiente, de la forma que más adelante trataremos.

Enseguida se aumenta el valor de la coordenada inicial X en un valor:

$$\Delta X = \frac{(\text{altura})(\text{pendiente})}{2}$$

Por lo que las coordenadas del segundo círculo a calcular serán: $(\Delta X, 0)$, calculando también su F.S.

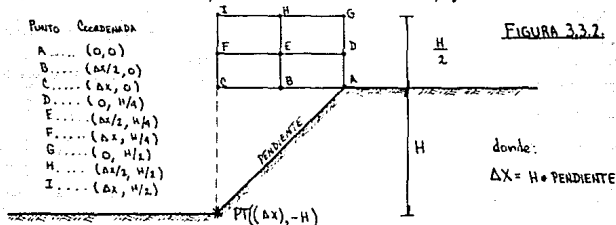
Enseguida se incrementa el valor de ΔX en la misma cantidad, por tanto las coordenadas del tercer círculo serán $(2 \Delta X, 0)$. Llegando a este valor, se procede a aumentar ahora el valor de Y en el correspondiente a:

$$\Delta Y = \frac{H}{4}$$

en donde H es la altura del talud, en metros. Y se considera a $X=0$; por lo que las coordenadas del cuarto círculo serán $(0, \Delta Y)$. El quinto círculo tendrá como coordenadas $(\Delta X, \Delta Y)$. Se procede entonces a calcular el siguiente círculo de falla incrementando a X en un valor ΔX hasta llegar al límite de $2 \Delta X$, y así sucesivamente con respecto a Y , hasta alcanzar el límite de $H/2$.

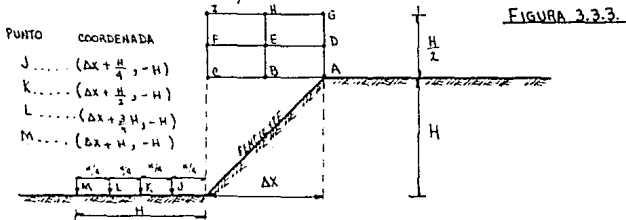
Para una mejor comprensión de la manera en que quedarán distribuidos los 99 círculos posibles de falla para un talud cualquiera, se presentan las siguientes figuras:

En la figura 3.3.2. se pueden ver un total de 9 círculos de falla de pie de talud, con las coordenadas que se indican en la misma figura.



Cada uno de estos círculos tendrá como punto inicial la coordenada correspondiente, y como punto final el punto PT que representa el pie del talud.

En la figura 3.3.3., se presentan un total de 36 círculos de falla de base considerando las coordenadas que se indican.

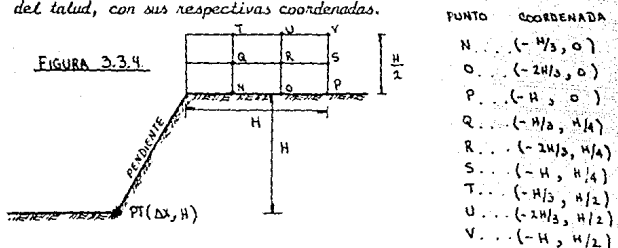


Los puntos A, B, C, ..., I tienen las mismas coordenadas iniciales que las descritas en la figura 3.3.2. Para cada coordenada inicial de estos círculos, se tendrán cuatro coordenadas finales, que están representadas por los puntos J, K, L y M. Tomando por ejemplo el punto E, habrá círculos cuyas coordenadas serán:

PUNTO E

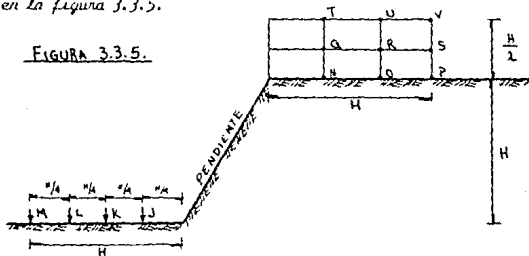
	Coordenadas iniciales (centro)	Coordenadas finales
Círculo # 1	$(\Delta X/2, H/4)$	$(\Delta X + H/4, -H)$
Círculo # 2	$(\Delta X/2, H/4)$	$(\Delta X + H/2, -H)$
Círculo # 3	$(\Delta X/2, H/4)$	$(\Delta X + 3H/4, -H)$
Círculo # 4	$(\Delta X/2, H/4)$	$(\Delta X + H, -H)$

Como se puede ver, para el punto E se calcularán un total de cuatro círculos de falla de base diferentes. Del mismo modo se calcularán cuatro círculos para los puntos A, B, C, D, F, G, H e I, haciendo un total de 36. En la figura 3.3.4. se pueden apreciar nueve círculos de falla por el pie del talud, con sus respectivas coordenadas.



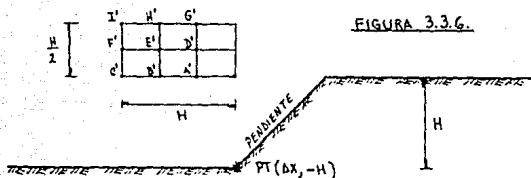
El punto PT tendrá como coordenadas $(\Delta X, -H)$. Cada uno de estos círculos tendrá como coordenada inicial el punto que se esté analizando (N, O, P, ..V), pero para cada uno de ellos la coordenada final será el punto PT, que corresponde al pie de talud.

Treinta y seis alternativas más de posibles círculos de falla se pueden ver en la figura 3.3.5.



Para estos puntos, las coordenadas iniciales corresponden a los parámetros definidos por N, O, P, ..., V, cuyos valores serán los mismos que los presentados en la figura 3.3.4. Las coordenadas finales estarán dadas por los

puntos J, K, L y M cuyas coordenadas están señaladas en la figura 3.3.3. Se tiene nuevamente que para cada uno de los puntos iniciales corresponden cuatro puntos finales, que representarán una falla de base. Para completar los 99 círculos de falla, en la figura 3.3.6. se presentan nueve círculos más que corresponden a falla por el pie de talud.



Nuevamente para la falla por el pie de talud, el punto final para cada uno de los puntos iniciales anteriores será el punto PT .

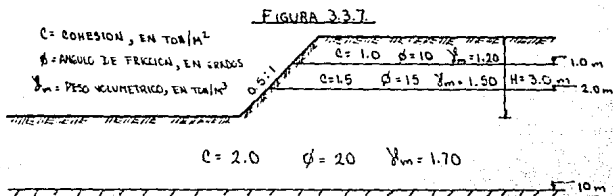
Una vez descritas las posiciones de cada uno de los círculos de falla, definiremos el algoritmo de solución empleado en la estabilidad de taludes por el método de las dovelas.

Para resolver este tipo de problemas, utilizando la computadora, se procede a realizar lo indicado en los siguientes incisos:

- a) La máquina pedirá con avisos le sean proporcionados los siguientes datos:
 - Altura del talud.
 - Pendiente del talud; deberá darse únicamente el valor horizontal.
 - Existencia o no de sobrecarga arriba o abajo del talud.
 - En caso de haber sobrecarga, se pedirán las características de la misma.
 - Las propiedades del subsuelo, por estratos, hasta una profundidad mínima de tres veces la altura del talud. Los datos serán:
 - * Nivel inferior del estrato (h_i), en metros.
 - * Cohesión (C), en ton/m^2 .
 - * Ángulo de fricción interna (θ), en grados.
 - * Peso volumétrico, sin considerar si se halla en estado sumergido, en ton/m^3 .
 - Definir la profundidad del agua subterránea (h.A.F.), en caso de existir deberá darse como un estrato adicional a los que conforman el talud.

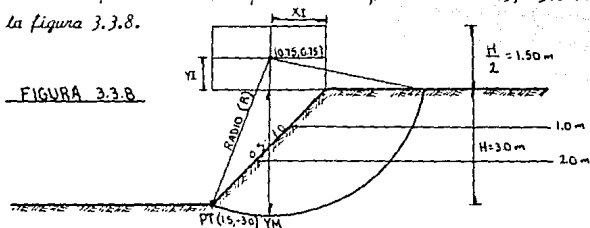
Los seis datos anteriores son necesarios para poder llevar a cabo el cálculo de los factores de seguridad de los círculos de falla que se analizarán.

Para un mejor entendimiento a la solución que lleva a cabo la computadora, se consideró conveniente ir resolviendo un caso, paso por paso, de acuerdo al proceso seguido por la máquina. Considerando que la solución que realiza la computadora a una falla por el pie de talud es semejante a la de falla de base, bastará con resolver un solo tipo de estas fallas para poder seguir los pasos realizados en la solución al problema que se desea resolver. Tomaremos la falla por el pie de talud. En la figura 3.3.7. se presenta el ejemplo a resolver y en seguida los pasos que se siguen para tal fin.



a) Se define el valor de las coordenadas iniciales (XI, YI) así como el de las coordenadas finales (XF, YF).

Para nuestro ejemplo tomaremos las coordenadas iniciales (10.75, 0.75) y como coordenadas finales las correspondientes al pie de talud (1.5, -3.0). Ver la figura 3.3.8.



b) Con las coordenadas iniciales y finales se calcula el valor del radio, (R), correspondiente al círculo en estudio, mediante la expresión que nos define la distancia entre dos puntos:

$$R = \sqrt{(XI - XF)^2 + (YI - YF)^2}$$

$$R = \sqrt{(10.75 - 1.5)^2 + (0.75 + 3.0)^2}$$

$$R = 3.824 \text{ mts.}$$

c) Se calcula el valor de la profundidad máxima (YM) que alcanza el círculo en el talud.

$$YM = R - YI$$

$$YM = 3.824 - 0.75 = 3.074 \text{ mts.}$$

d) Para cada uno de los estratos comprendidos hasta una profundidad YM , se calcula la distancia horizontal PC entre la vertical del estrato y el punto de origen del círculo, tratando los lados que intervienen como parte de un triángulo rectángulo. Ver figura 3.3.9.

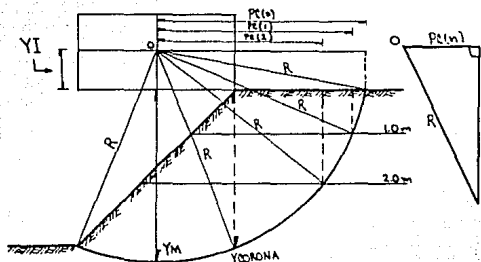


FIGURA 3.3.9.

$$PC(m) = \sqrt{R^2 - (NI + YI)^2}$$

$$PC(0) = \sqrt{(3.824)^2 - (0 + 0.75)^2} = 3.75 \text{ m.}$$

$$PC(1) = \sqrt{(3.824)^2 - (1 + 0.75)^2} = 3.40 \text{ m.}$$

$$PC(2) = \sqrt{(3.824)^2 - (2 + 0.75)^2} = 2.658 \text{ m.}$$

e) Se obtiene la distancia vertical del hombro del talud al círculo, denominándola Y_{corona} .

$$Y_{\text{corona}} = \sqrt{R^2 - (X)^2} - YI$$

$$Y_{\text{corona}} = \sqrt{(3.824)^2 - (10.75)^2} - 0.75$$

$$Y_{\text{corona}} = 3.0 \text{ mts.}$$

f) Se obtiene el punto característico PC correspondiente a Y_{corona} .

$$PC(3) = \sqrt{(3.824)^2 - (3.0 + 0.75)^2}$$

$$PC(3) = 0.75 \text{ mts.}$$

g) Se calcula el peso de las dovelas que se hallan a la derecha del talud a partir del hombro del talud, utilizando los valores de los puntos característicos (PC) obtenidos. Ver figura 3.3.10

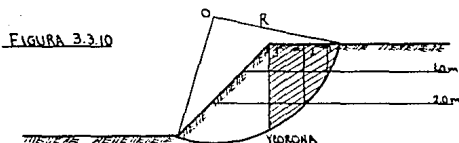


FIGURA 3.3.10

Las figuras geométricas que se tienen en las dovelas corresponden a rectángulos, triángulos y segmentos circulares.

Dovela # 1

estratos: 1

$$\text{base} = PC(0) - PC(1)$$

$$\text{base} = 3.75 - 3.40$$

$$\text{base} = 0.35 \text{ mts.}$$

$$\text{altura } 1 = NI(1)$$

$$\text{altura} = 1.0 \text{ mts.}$$

$$\text{área} = 0.175 \text{ m}^2.$$

$$\gamma_{m1} = 1.20 \text{ ton/m}^3.$$

$$\text{peso } (1) = (0.175)(1.2)$$

$$\text{peso } (1) = 0.210 \text{ ton.}$$

Dovela # 2

estratos: 2

$$\text{base} = PC(1) - PC(2)$$

$$\text{base} = 3.40 - 2.658$$

$$\text{base} = 0.742 \text{ mts.}$$

$$\text{altura } 1 = 1.0 \text{ mts.}$$

$$\text{altura } 2 = NI(2) - NI(1)$$

$$\text{altura } 2 = 2.0 - 1.0 = 1.0 \text{ m.}$$

$$\text{área } 1 = 0.742 \text{ m}^2$$

$$\text{área } 2 = 0.371 \text{ m}^2$$

$$\gamma_{m2} = 1.50 \text{ ton/m}^3.$$

$$\text{peso } (2) = (1.2)(0.742) +$$

$$+ (1.5)(0.371)$$

$$\text{peso } (2) = 1.447 \text{ ton.}$$

Dovela # 3

estratos: 3

$$\text{base} = PC(2) - PC(3)$$

$$\text{base} = 2.658 - 0.75$$

$$\text{base} = 1.908 \text{ mts.}$$

$$\text{altura } 1 = 1.0 \text{ mts.}$$

$$\text{altura } 2 = 1.0 \text{ mts.}$$

$$\text{altura } 3 = Y_{\text{corona}} -$$

$$NI(2)$$

$$\text{altura } 3 = 3 - 2$$

$$\text{altura } 3 = 1.0 \text{ mts.}$$

$$\text{área } 1 = 1.908 \text{ m}^2.$$

$$\text{área } 2 = 1.908 \text{ m}^2.$$

$$\text{área } 3 = 0.954 \text{ m}^2.$$

$$\gamma_{m3} = 1.7 \text{ ton/m}^3.$$

$$\text{peso } (3) = (1.908)(1.2) +$$

$$+ (1.908)(1.5) + (0.954)$$

$$(1.7)$$

$$\text{peso } (3) = 6.773 \text{ ton.}$$

h) Al peso calculado de cada dovela se añade el peso de suelo que queda comprendido entre la hipotenusa del triángulo y el arco de circunferencia. Para poder obtener este peso bastará con aplicar la fórmula que nos permite calcular el área comprendida en un arco de circunferencia y después multiplicarla por el peso específico del material correspondiente. La fórmula es:

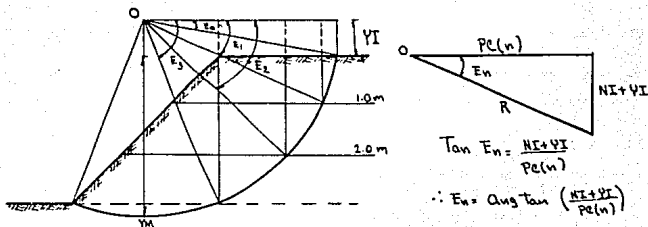
$$\text{Área del segmento circular} = \frac{R^2}{2} (\beta - \text{Sen } \beta)$$

donde, R = radio del círculo, en metros.

β = ángulo del segmento circular, en radianes.

Como puede verse, para poder obtener el valor del área comprendida en el segmento circular es necesario conocer el valor del ángulo central de cada dovela. Para obtenerlo se realiza lo siguiente:

Utilizando el valor de los puntos característicos (PC) y las distancias verticales de cada uno de los estratos, se obtienen los ángulos (E) a partir de la línea horizontal que pasa por el origen del círculo hasta la línea que une al estrato en estudio, ver la figura 3.3.11.



Calculando los ángulos del ejemplo, se tiene lo siguiente:

$$E(0) = \text{Ang. Tan } \frac{0 + 0.75}{3.75} = \text{Ang. Tan } (0.20) = 11.31^\circ$$

$$E(1) = \text{Ang. Tan } \frac{1 + 0.75}{3.40} = \text{Ang. Tan } (0.515) = 27.235^\circ$$

$$E(2) = \text{Ang. Tan } \frac{2 + 0.75}{2.658} = \text{Ang. Tan } (1.035) = 45.975^\circ$$

$$E(3) = \text{Ang. Tan } \frac{3 + 0.75}{0.75} = \text{Ang. Tan } (5.000) = 78.690^\circ$$

Para obtener el valor de los ángulos β , bastará con restar el valor de $E(0)$ al valor de $E(1)$, obteniendo β_1 ; $E(1)$ a $E(2)$ obteniendo β_2 y así sucesivamente. Por lo que:

$$\beta_1 = E(1) - E(0) = 27.235 - 11.31 = 15.925^\circ$$

$$\beta_2 = E(2) - E(1) = 45.975 - 27.235 = 18.740^\circ$$

$$\beta_3 = E(3) - E(2) = 78.690 - 45.975 = 32.715^\circ$$

Transformando estos ángulos a radianes se tiene:

$$\beta_1 = \frac{\pi (15.925)}{180} = 0.278 \text{ rad.}$$

$$\beta_2 = \frac{\pi (18.740)}{180} = 0.327 \text{ rad.}$$

$$\beta_3 = \frac{\pi (32.715)}{180} = 0.571 \text{ rad.}$$

Una vez que se tienen los ángulos centrales, se obtiene el peso de cada uno de los segmentos circulares de las dovelas hasta este momento tratadas, sus tituyendo los valores en la expresión siguiente:

$$p_{s0} = \frac{K^2}{2} (1 - \text{Sen } \beta) \delta_m$$

Segmento circular # 1

$$\text{peso} = \frac{(3.824)^2}{2} (0.278 - \text{Sen } 0.278) 1.2 = 0.031 \text{ ton.}$$

Segmento circular # 2

$$\text{peso} = \frac{(3.824)^2}{2} (0.327 - \text{Sen } 0.327) 1.5 = 0.064 \text{ ton.}$$

Segmento circular # 3

$$\text{peso} = \frac{(3.824)^2}{2} (0.571 - \text{Sen } 0.571) 1.7 = 0.386 \text{ ton.}$$

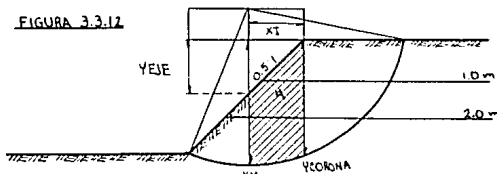
Para obtener el peso total de las dovelas, se añade el peso anterior al calculado previamente.

$$\text{peso total dovela # 1} = 0.210 + 0.031 = 0.241 \text{ ton.}$$

$$\text{peso total dovela # 2} = 1.447 + 0.063 = 1.510 \text{ ton.}$$

$$\text{peso total dovela # 3} = 6.773 + 0.386 = 7.159 \text{ ton.}$$

i) Se calcula el peso de la dovela que está ubicada entre el eje vertical del círculo y el hombro del mismo, considerando que las áreas estarán formadas por triángulos, rectángulos y un segmento circular. Ver figura 3.3.12.



En primer término, la computadora calcula el valor de Yeje de la siguiente manera:

$$(\text{Yeje}) / (\text{pendiente}) = XJ$$

despejando Yeje, se tiene:

$$\text{Yeje} = \frac{XJ}{\text{pendiente}}$$

Para nuestro caso se tiene que: $\text{Yeje} = \frac{0.75}{0.50} = 1.5 \text{ mts.}$

Enseguida se calculan los pesos parciales hasta la distancia Yeje.

$$\text{peso (1)} = \left[\frac{N(1) N(1) (\text{pendiente})}{2} \right] \delta_{ml} = \left[\frac{(1.0)(1.0)(0.5)}{2} \right] 1.20 = 0.3 \text{ ton.}$$

$$\text{peso}(2) = (Y_{\text{eje}} - N(1)) \cdot N(1) \cdot (\text{pendiente}) \cdot \delta_{m^2} + \left[\frac{(Y_{\text{eje}} - N(1))^2 \cdot (\text{pendiente})}{2} \right] \cdot \delta_{m^2}^{-79}$$

$$\text{peso}(2) = (1.5 - 1.0)(1.0)(0.5)(1.2) + \left[\frac{(1.5 - 1.0)^2 (0.5)}{2} \right] (1.5) = 0.394 \text{ ton.}$$

A partir de esta distancia Yeje, se calculan los pesos parciales hasta una profundidad con valor Ycorona, los cuales estarán formados únicamente por figuras rectangulares.

$$\text{peso}(3) = (N(2) - Y_{\text{eje}}) \cdot (Y_{\text{eje}}) \cdot (\text{pendiente}) \cdot \delta_{m^2}$$

$$\text{peso}(3) = (2.0 - 1.5)(1.5)(0.5)(1.5) = 0.563 \text{ ton.}$$

$$\text{peso}(4) = (Y_{\text{corona}} - N(2)) \cdot (Y_{\text{eje}}) \cdot (\text{pendiente}) \cdot \delta_{m^2}$$

$$\text{peso}(4) = (3.0 - 2.0)(1.5)(0.5)(1.7) = 1.313 \text{ ton.}$$

Se calcula el valor del peso del suelo comprendido entre YM y Ycorona, el cual presenta una forma triangular.

$$\text{peso}(5) = \frac{(Y_{\text{eje}}) \cdot (\text{pendiente}) \cdot (YM - Y_{\text{corona}})}{2} \cdot \delta_{m^2}$$

$$\text{peso}(5) = \frac{(1.5)(0.5)(3.074 - 3.0)(1.7)}{2} = 0.047 \text{ ton.}$$

Por último, se calcula el peso del segmento circular restante, para lo cual es necesario calcular el valor del ángulo $\beta(4)$, que estará dado por:

$$\beta(4) = \text{Ang. Tan} \left[\frac{(Y_{\text{eje}}) \cdot (\text{pendiente})}{Y_{\text{corona}} - Y} \right]$$

$$\beta(4) = \text{Ang. Tan} \left[\frac{(1.5)(0.5)}{(3.0 - 0.75)} \right] = 11.310^\circ$$

Transformando este valor anterior a radianes, se tiene lo siguiente:

$$\beta(4) = \frac{\pi (11.310)}{180} = 0.197 \text{ rad.}$$

Obteniendo el peso de la dovela en su sección circular se tiene:

$$\text{peso del segmento circular} = \frac{14.625}{2} (0.197 - \text{Sen } 0.197) (1.7) = 0.016 \text{ ton.}$$

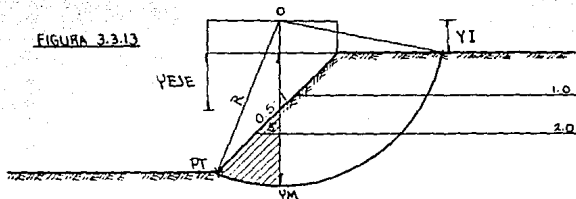
Por lo tanto, el peso total de la dovela # 4 será igual a la suma de los pesos parciales obtenidos:

$$\text{peso total dovela \# 4} = 0.3 + 0.394 + 0.563 + 1.313 + 0.047 + 0.016$$

$$\text{peso total dovela \# 4} = 2.633 \text{ ton.}$$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

j) Se obtiene el peso de la doveta comprendida entre el pie del talud y el eje del círculo. Ver la figura 3.3.13



Nuevamente se calculan los pesos parciales considerando figuras geométricas como triángulos y rectángulos.

$$\text{peso}(1) = \left[\frac{(N/2) - \text{Yeje}(N/2) - \text{Yeje}(\text{pendiente})}{2} \right] \gamma_{m2}$$

$$\text{peso}(1) = \left[\frac{(2.0 - 1.5)(2.0 - 1.5)(0.5)}{2} \right] (1.5) = 0.094 \text{ ton}$$

$$\text{peso}(2) = (N/2) - \text{Yeje}(\text{pendiente})(H - N/2) \gamma_{m3} + \left[\frac{(H - N/2)^2 (\text{pendiente})}{2} \right] \gamma_{m3}$$

$$\text{peso}(2) = (2.0 - 1.5)(0.5)(3.0 - 2.0)(1.7) + \left[\frac{(3.0 - 2.0)^2 (0.5)}{2} \right] (1.7)$$

$$\text{peso}(2) = 0.850 \text{ ton.}$$

$$\text{peso}(3) = \left[\frac{(H - \text{Yeje})(\text{pendiente})(YM - H)}{2} \right] \gamma_{m3}$$

$$\text{peso}(3) = \left[\frac{(3.0 - 1.5)(0.5)(3.074 - 3.0)}{2} \right] (1.7) = 0.047 \text{ ton.}$$

Se calcula el peso del segmento circular:

$$\beta_5 = \text{Ang. Tan} \left[\frac{(XF - XI)}{(H - YI)} \right] = \text{Ang. Tan} \left[\frac{1.5 - 0.75}{3.0 - 0.75} \right] = 11.31^\circ$$

$$\beta_5 = 0.197 \text{ rad.}$$

$$\text{peso}(4) = \frac{(3.824)^2}{2} (0.197 - \text{Sen } 0.197)(1.7) = 0.016 \text{ ton.}$$

Entonces el peso de la doveta # 5 será:

$$\text{peso total doveta \# 5} = 0.094 + 0.850 + 0.047 + 0.016 = 1.007 \text{ ton.}$$

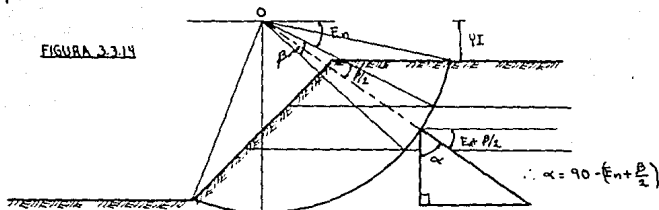
h) Una vez calculados los pesos de las dovelas, se obtienen los ángulos normales a cada una de ellas, considerando los siguientes aspectos:

El valor del ángulo α de cada dovela se obtendrá considerando el triángulo rectángulo que se forma de acuerdo a la figura 3.3.14., en donde:

$$\alpha = 90 - (E + \beta/2)$$

E nos representa el valor del ángulo considerado a partir de la línea horizontal que pasa por el origen del círculo hasta la línea que nos define una dovela anterior a la que se está analizando.

β es el ángulo central de la dovela en estudio.



Así, los ángulos normales a cada una de las dovelas de nuestro ejemplo estarán dados de la siguiente manera:

$$\alpha(1) = 90 - (E(1) + \beta(1)/2) = 90 - 111.31 + 115.925/2 = 70.728^\circ$$

$$\alpha(2) = 90 - (E(2) + \beta(2)/2) = 90 - 127.235 + 118.741/2 = 53.395^\circ$$

$$\alpha(3) = 90 - (E(3) + \beta(3)/2) = 90 - 145.975 + 132.715/2 = 27.668^\circ$$

$$\alpha(4) = 90 - (E(4) + \beta(4)/2) = 90 - 178.690 + 111.310/2 = 5.655^\circ$$

$$\alpha(5) = 90 - (E(5) + \beta(5)/2) = 90 - 190.000 + 111.310/2 = -5.655^\circ$$

1) Se obtiene el valor de la función coseno y seno de cada uno de los ángulos α obtenidos.

ángulo	Coseno	Seno
$\alpha 1 = 70.728$	0.330	0.944
$\alpha 2 = 53.395$	0.596	0.803
$\alpha 3 = 27.668$	0.886	0.464
$\alpha 4 = 5.655$	0.995	0.099
$\alpha 5 = -5.655$	0.995	-0.099

m) Se obtiene el valor de las reacciones normal (N_i) y tangencial (T_i) del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento de cada dovela multiplicando su peso por el coseno y seno de su ángulo α , respectivamente.

n) Se calcula la longitud del arco de circunferencia de cada dovela utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Longitud de arco} = 2\pi R \frac{\beta}{360} = \Delta L_i$$

donde, β = al ángulo central de cada dovela, en grados.

R = radio del círculo, en metros.

Obteniendo la longitud de arco para cada una de las dovelas tratadas en el ejemplo, se tiene lo siguiente:

$$\text{cte.} = \frac{2\pi(3.824)}{360} = 0.067 \text{ mts.}$$

$$\Delta L(1) = (0.067)(115.925) = 1.063 \text{ mts.}$$

$$\Delta L(2) = (0.067)(118.740) = 1.251 \text{ mts.}$$

$$\Delta L(3) = (0.067)(132.715) = 2.183 \text{ mts.}$$

$$\Delta L(4) = (0.067)(111.310) = 0.755 \text{ mts.}$$

$$\Delta L(5) = (0.067)(111.310) = 0.755 \text{ mts.}$$

o) Se calcula el valor de la presión normal ∇_i actuante a lo largo de ΔL_i . ∇_i se obtiene a través del cociente de $k_i/\Delta L_i$ correspondiente a cada dovela.

p) Se obtiene la ley de resistencia $S = C + \nabla_i \tan \theta$ para cada dovela, de acuerdo a sus parámetros de resistencia obtenidos con las pruebas de laboratorio adecuadas.

q) Se multiplica el valor de S_i por ΔL_i .

r) Se suman los valores de $S_i \Delta L_i$ obtenidos para todas las dovelas, así como la sumatoria de los valores correspondientes a T_i .

s) Por último, se obtiene el valor del factor de seguridad dividiendo la sumatoria de $S_i \Delta L_i$ entre la sumatoria de T_i .

$$F.S. = \frac{\sum S_i \Delta L_i}{\sum T_i}$$

Tabulando los resultados obtenidos para el caso que analizamos en este subtítulo, se tiene lo siguiente:

Dovela	W_i	α_i	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	N_i	T_i	ΔL_i	∇_i	$\nabla_i \tan$	S_i	$S_i L_i$
1	0.241	70.728	0.330	0.944	0.080	0.228	1.063	0.075	0.013	1.013	1.077
2	1.510	53.395	0.596	0.803	0.900	1.213	1.251	0.719	0.193	1.693	2.118
3	7.159	27.668	0.886	0.464	6.343	3.322	2.183	2.906	1.058	3.058	6.676
4	2.633	5.655	0.995	0.099	2.620	0.261	0.755	3.470	1.263	3.263	2.464
5	1.007	-5.655	0.995	-0.099	1.002	-1.000	0.755	1.327	0.483	2.483	3.295
										$\Sigma = 4.924$	$\Sigma = 15.630$

Por lo tanto:
$$F.S. = \frac{15.630}{4.924} = 3.17 > 1.50$$

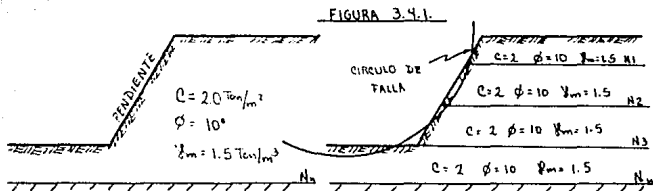
i) Una vez que se obtiene el F.S. del círculo, se incrementan los valores de las coordenadas como se mencionó al principio de este subtítulo, y se realiza nuevamente el procedimiento descrito con anterioridad.

ii) Una vez que la máquina calcula los factores de seguridad correspondientes a cada uno de los 99 círculos de falla propuestos, los compara entre sí y elige el menor de todos ellos, correspondiendo este valor al F.S. mínimo del talud en análisis.

3.4 LIMITACIONES.

El programa elaborado para encontrar la estabilidad que puede presentar un talud, no contempla todos los tipos de falla que pudieran presentarse en el mismo; consecuentemente deberá sujetarse a ciertas limitaciones para poder hacer uso de él. Entre éstas se encuentran las siguientes:

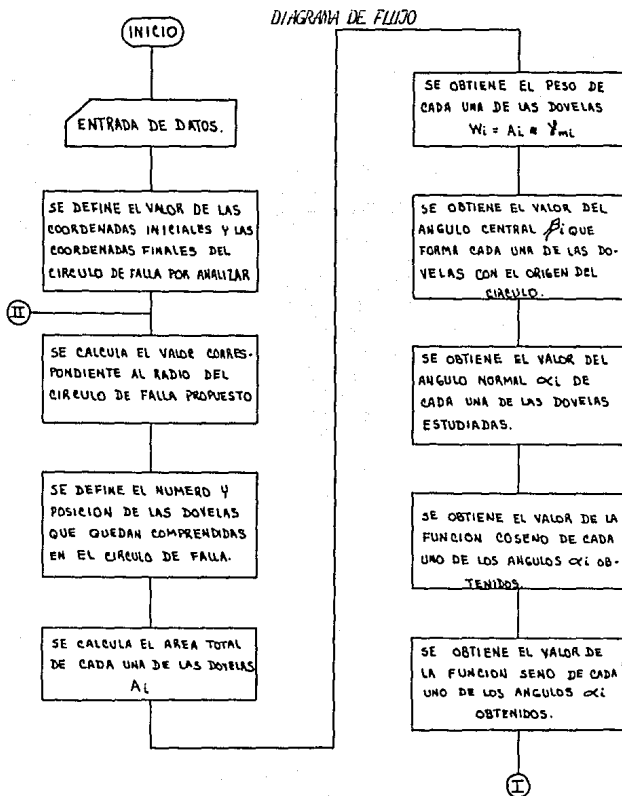
- 1) Si se desea calcular la estabilidad de un talud formado por material totalmente cohesivo, el cálculo se hará por el método de las dovelas, que es recomendable únicamente para suelos friccionantes o cohesivo-friccionantes.
- 2) Si el material que forma el talud es homogéneo, será necesario estratificarlo por lo menos en tres estratos que comprendan la altura del talud, como lo muestra la figura 3.4.1.

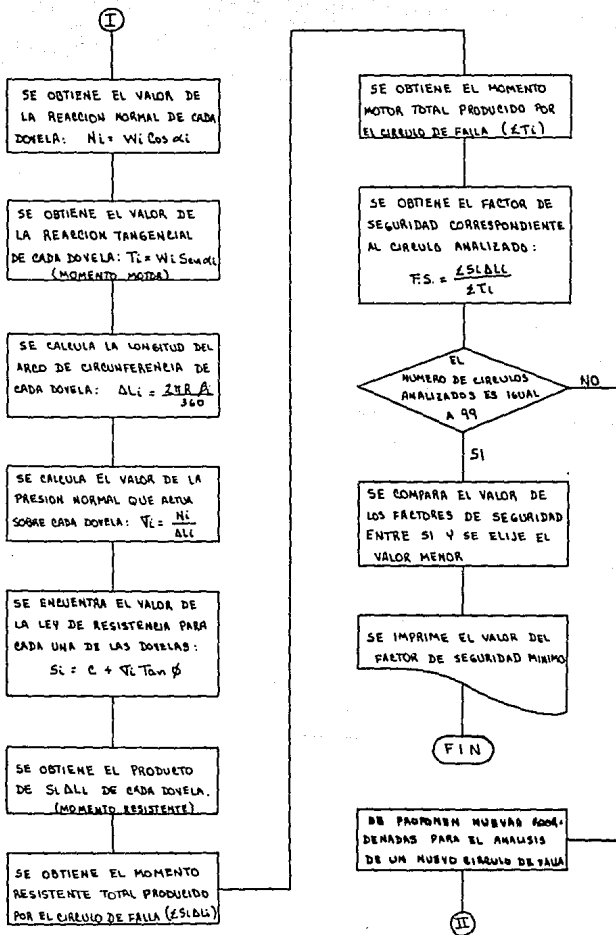


- 3) El número de círculos de falla posibles está limitado a 99, y cada uno de ellos a su vez, está limitado a tener sólo diez dovelas.
- 4) Si parte del círculo de falla que se está analizando se sale del talud, el programa no lo toma en cuenta y lo desecha, ver la figura No. 3.4.1
- 5) El tipo de talud que se esté analizando podrá tener en la corona o en el pie, la acción de una sobrecarga uniformemente distribuida únicamente.
- 6) En caso de existir nivel de aguas freáticas N.A.F., deberá considerarse como el nivel inferior de un estrato adicional.
- 7) El programa sólo admite problemas en donde la pendiente del talud sea menor a 1.0.
- 8) El programa no admite problemas, en donde el talud esté limitado por un estrato horizontal resistente comprendido a una distancia vertical de $2H$, donde H es la altura del talud, a partir de la corona, y en el que se produce la tangencia del círculo de falla.

3.5 DIAGRAMA DE FLUJO Y CODIFICACION.

Enseguida se muestra el diagrama de flujo y el formato en líneas del programa de computadora realizado para resolver problemas relacionados a la estabilidad de un talud. El tipo de lenguaje de máquina utilizado en su elaboración fue el lenguaje BASIC.





```
2 GOSUB 1000
5 GOTO 31400
5 CLE
10 PRINT TAB(25) "*** ESTABILIDAD DE TALUDES ***"
12 PRINT TAB(29) "*****"
15 PRINT TAB(47) "-----"
18 PRINT TAB(42) "/";PRINT TAB(45) "/";PRINT TAB(44) "/";PRINT TAB(42) "/";PRINT
TAB(42) "/";PRINT TAB(41) "/"
20 PRINT TAB(40) "/";PRINT TAB(39) "/";PRINT TAB(38) "/";PRINT TAB(37) "/";PRINT
TAB(36) "/";PRINT TAB(35) "/";PRINT TAB(34) "/"
22 PRINT TAB(33) " "
24 PRINT TAB(3) "-----"
30 REM
40 PRINT "SE EMPLEARA EL METODO DE LAS BOVELAS"
50 INPUT "ALTIMA DEL TALUD, EN MTS? ",H:PRINT
60 INPUT "PENDIENTE DEL TALUD? ",PEND:CLS
61 INPUT "EXISTE SOBRECARGA ARRIBA DEL TALUD, S/N? ",DAR:PRINT
62 IF DAR="1" THEN MM=0 ELSE GOTO 64
63 GOTO 67
64 INPUT "VALOR DE LA SOBRECARGA, EN TON/M2? ",DAR:PRINT
65 INPUT "LONGITUD DE LA SOBRECARGA, EN METROS? ",ALONG:PRINT
66 INPUT "DISTANCIA DE LA SOBRECARGA A LA CORONA DEL TALUD, EN METROS? ",DSC:PR
INT
67 INPUT "EXISTE SOBRECARGA ABAJO DEL TALUD, S/N? ",DAR:PRINT
68 IF DAR="1" THEN MM=0 ELSE GOTO 70
69 GOTO 75
70 INPUT "VALOR DE LA SOBRECARGA, EN TON/M2? ",DAR:PRINT
71 INPUT "LONGITUD DE LA SOBRECARGA, EN METROS? ",ALONG:PRINT
72 INPUT "DISTANCIA DE LA SOBRECARGA AL PIE DEL TALUD, EN METROS? ",DSC:PR
INT
75 CLE
80 PRINT "DEBERAN DARSE COMO DAJOS LAS PROPIEDADES DEL SUBSUELO HASTA UNA PROFUN
DIDAD A L A 1 M A DE 3M"
90 INPUT "NOMBRE DE ESTRATOS? ",NE:PRINT
100 CLE
110 FOR I=1 TO NE
120 PRINT "ESTRATO: ",I
130 INPUT "NIVEL INFERIOR, EN MTS? ",FI(I):PRINT
140 INPUT "COHESION, EN TON/M2? ",COHE(I):PRINT
145 BLEN(I)=COHE(I)
150 INPUT "ANGULO DE FRICCION INTERNA, EN GRADOS? ",PHI(I):PRINT
160 PH(I)=(PH(I)+3.141572534)/180
165 PLAS(I)=PH(I)
170 INPUT "FEED VOLUMETRICO, EN TON/M3? ",PV(I):PRINT
180 CLE
190 NEXT I
200 IF NE=1 THEN 220
210 GOTO 347
220 EST=200
230 JD=EST/41
240 FOR J=1 TO JD
250 AS=FI(J)
260 AC=COHE(J)
270 AD=PH(J)
280 AE=PV(J)
290 NEXT J
300 FOR J=1 TO JD
310 PI(J)=AB
320 COHE(J)=AC
330 PH(J)=AD
340 PV(J)=AE
```

```

34E NEXT J
345 Y2=Z0
347 INPUT "¿EXISTE NIVEL DE AGUAS FREATICAS, SI/NO?":AFN:PRINT
348 IF AFN="N" THEN 350
349 INPUT "¿PROFUNDIDAD DEL NIVEL EN MTS.?":YNAF:PRINT
350 I=0
351 I=I+1
352 FFOF=F112)
353 IF FFOF = YNAF THEN 355
354 GOTO 351
355 I=I+1
356 FOR J=1 TO NE
357 VOL=PV(J)
358 FV(J)=VOL-1
359 NEXT J
360 CLS
370 YSUM=0
380 YSLM=0
390 REM "COORDENADAS DE LA CROMA"
400 IC=0
410 IC=0
420 REM "COORDENADAS DEL TALON"
430 JI=0:YPEND
440 YI=0
444 LL=1
448 BASE=0
450 REM "COORDENADAS INICIALES"
460 CI=CI+YSUM
470 VI=CI+YSUM
480 REM "COORDENADAS FINALES"
490 CI=CI
500 VI=VI
501 IF CA="N" THEN 516
502 CON=CA+ALONG*CI
503 CE=ALONG/2
504 BFAL=CI+DEC*CE
505 PM=CON+BFAL
506 IF CB="N" THEN 515
507 CON2=CB+ALONG*CI
508 CE2=ALONG/2
509 BPE=VI-PI
510 BFALB=DEC*CE+PE
511 PMB=CON2+BFALB
515 A2=VI-PE
520 AG=AF*2
530 AH=VI-YF
540 AI=AH*2
550 AJ=AG+AI
560 F=SQF(AJ)
570 YN=R-YI
571 FOR I=1 TO NE
573 COME(I)=LEN(CI)
575 PM(I)=PLABT(I)
577 NEXT I
580 F=0
590 Y=K-1
600 GA=PI(I)
610 IF GA > YN THEN 630
620 GOTO 590
630 FCI(I)=1
640 NPC=I-1

```

```
650 FOR J=1 TO N/2
660 EQ=PI(J)
670 EC=EQ*Y1
680 ED=EC*2
690 EE=R*2
700 EF=EE-90
710 FC(J)=SQRT(EF)
720 NEXT J
730 CA=Y1*2
740 CB=9E-CA
750 FC(0)=SQRT(CB)
760 GOSUB 7000
770 N=N-1
780 DA=PI(N)
800 IF DA > YEJE THEN MA=N ELSE GOTO 760
810 IF DA >= YN THEN 1900
820 H(N)=DA-YEJE
830 J=N-1
840 I=J
850 IN=1
860 H(I)=0
870 W=0
880 DF=H(I)
890 W=W+DF*PEAD
900 IF J=K THEN 930
910 J=J+1
920 E310 B60
930 J=J+1
940 CC=PI(I)
950 IF CC \ H THEN 1060
960 DD=H(I)
970 DE=PV(I)
980 DF=W*CD*E
990 DG=DD*2
1000 C=(DG+FEND)/2
1010 DI=DH*CE
1020 W=DF+DI
1030 XOM(IN)=W
1040 IN=IN+1
1050 K=K+1
1060 J=MA
1070 E310 B70
1080 DC=F(I)-1)
1090 G=F(I)
1100 DL=H-D)
1110 GM=GL*2
1120 DN=DM*PEAD
1130 DO=DN/2
1140 CP=W*(EL+D)
1150 DQ=DO+D)
1160 W=DP+D)
1170 GM*(IN)=W
1180 IX=IN+1
1185 IF BASE=1000 THEN 3300
1190 IF DC <= YN THEN 1260
1200 CF=YH-H
1210 CS=CF-X1
1220 DI=DG+ES
1230 DY=DI/2
1240 DU=FY(I)
```



```
1250 W=DU*SV
1260 DW=H*Y1
1270 DI=DS*UW
1280 ALF=AT*H1*1
1290 DY=SE/2
1300 DZ=SI*ALF/2
1310 E4=ALF-DC
1320 WAD=D*EA+DV
1330 YTOT=W*AD
1340 ION(IN)=WTOT
1350 ETC 1510
1360 EE=IC*1
1370 EC=EE*2
1380 ED=BE-EC
1390 XM=SDR(ED)
1400 EE=DC-H
1410 EF=FV(J)
1420 W=EE*H*EF
1430 EG=IF*H
1440 EH=(EE*EG)/2
1450 W=W+EH*EF
1460 ION(IN)=W
1470 J=J+1
1480 IH=I*1
1490 EI=F(I)
1500 IF EI = YH THEN 1520
1510 GOTO 1710
1520 EJ=EI*Y1
1530 EI=EJ*2
1540 EL=BE-EI
1550 HF=SR(EL)
1560 EM=PI(I)-1
1570 EN=PV(I)
1580 EO=EI-EM
1590 W=EO*H*EN
1600 EP=EM*Y1
1610 EQ=EP*2
1620 ER=BE-EQ
1630 ES=SDR(ER)
1640 ET=ES-IMP
1650 EU=EO+ET*EM
1660 W=W+EU
1670 ION(IN)=W
1680 IH=IH+1
1690 J=J+1
1700 GOTO 1490
1710 FA=PI(I)-1
1720 FB=FA*Y1
1730 FC=FB*2
1740 FD=BE-FC
1750 IPD=SDR(FC)
1760 FE=YH*FA
1770 FF=(FE+IPD)/2
1780 FG=PV(I)
1790 W=FF*FO
1800 ION(IN)=W
1810 ADIC=0
1820 M=M+1
1830 LTH=LN
1840 FOR I=1 TO LTH
```

```
1250 GA=GDIN)
1340 ADIC=ADIC+GA
1370 NEXT Y
1450 PETDT(M)=ADIC
1470 GOTO 2140
1490 IF BASE=1(0) THEN 4250
1705 GA=H-YEJE
1910 GC=BB Z
1920 GS=(GC+END)/Z
1930 GE=FV(IN)
1740 W=ED+EE
1950 G'=BB#END
1960 GS=GF/DK
1970 ALF=ATH(55)
1980 GA=SIN(ALF)
1970 GI=ALF-GH
2000 GJ=EE/Z
2010 GN=SJ+GJ
2020 GL=G+GE
2030 W=W+GL
2040 T=T+1
2050 PETDT(M)=W
2060 TER=TER+1
2070 L=TEP
2080 BETA(L)=STA
2085 GJ=BETA(L)
2090 DELTA(L)=50+R
2100 L=L+1
2110 GY=ZF-I1
2115 IF DW=0 THEN STOP
2120 GN=GM/DW
2130 BETA(L)=ATH(GN)
2140 GR=BETA(L)
2150 DELTA(L)=GA+R
2160 HASTA=L
2170 GDEUB 2500
2180 STE=0
2190 LO=HASTA-1
2200 M=1
2210 HA=F(I(M))
2220 IF HA > YREAL THEN 2250
2230 M=M+1
2240 GOTO 2210
2250 M=M-N
2260 IF ETR = 1.5 THEN 2290
2270 HB=F(I(M))
2280 IF HB > Y1 THEN 2500
2290 HC=COHE(I(M))
2300 HD=PHI(I(M))
2310 HE=HB-YREAL
2320 F=HC+HE
2330 Y=HD+HE
2340 M1=M-M-1
2350 HF=F(I(M))
2360 IF HF > Y1 THEN 2400
2370 HB=COHE(I(M))
2380 HM=PHI(I(M))
2390 HI=PI(I(M)-1)
2400 HJ=HF-HI
2410 H=HG+HJ
```

```

2420 AL=MM+M
2430 X=X+MK
2440 Y=Y+ML
2450 B310 B340
2460 Q4=CDHE(MMM)
2470 Q5=FH(MMM)
2480 Q6=F1(MMM-1)
2490 Q3=YM-QC
2500 DE=Q4+Q5
2510 QF=Q6+QD
2520 I=I+DE
2530 Y=Y+DF
2540 IF BTR = 1.5 THEN 2840
2550 PA=YM-YREAL
2555 IF FA=0 THEN STOP
2560 CQHE(LQ)=X/FA
2570 FMI(LQ)=Y/FA
2580 GOTO 2650
2590 Q4C=CQHE(MMM)
2600 Q6P=FMI(MMM)
2610 CQHE(LQ)=Q4C
2620 FMI(LQ)=Q6P
2630 LQ=LQ+1
2640 J=1
2650 QC=F1(J)
2660 IF Q > YM THEN 2690
2670 J=J+1
2680 GOTO 2650
2690 IF Q2 > YM THEN 2790
2700 MM=M
2710 BTR=BTR+1.5
2720 QD=CQHE(MMM)
2730 QE=FH(MMM)
2740 QF=F1(MMM)
2750 QG=QF-H
2760 X=X+QG
2770 Y=Y+Q6
2780 GOTO 2820
2790 QH=CQHE(LJ)
2800 QI=FH(LJ)
2810 CQHE(LQ)=QH
2820 FMI(LQ)=QI
2830 GOTO 2890
2840 QJ=YM-H
2845 IF QJ=0 THEN STOP
2850 QI=I/QJ
2860 QL=I/QI
2870 CQHE(LQ)=QI
2880 FMI(LQ)=QL
2890 Q50R Q670
2900 MM=0
2910 MY=0
2920 FOR I=1 TO NASTA
2930 RA=Y1(I)
2940 RE=YR(I)
2950 MM=MM+RA
2960 MS=MS+RB
2970 NEIT X
2974 ME=MM+MM
2975 MS=MS+MS
2977 IF MM=0 THEN STOP

```

```

2990 FS=MP/MM
2995 GOSUB 2925
2996 RILL:=R
2997 I(ILL)=I1
2998 YI(ILL)=Y1
2999 IF(ILL)=IF
3000 YF(ILL)=YF
3001 MI(ILL)=MI
3002 MR(ILL)=MR
3003 FS(ILL)=FS
3004 LL=LL+1
3005 SA=IT/2
3006 JSUM=JSUM+SA
3007 IF JSUM > IT THEN 3050
3008 GOTO 450
3009 JSUM=0
3010 SB=H/4
3011 YSUM=YSUM+SB
3012 SC=H/2
3013 IF YSUM > SC THEN 3110
3100 GOTO 450
3110 NI=9
3120 MI=1
3130 SE=FS(M)
3140 MIN=SD
3145 MINM=M
3150 M=M+1
3160 IF M>NI THEN 3220
3170 SE=FS(M)
3180 IF SE < MIN THEN 3200
3190 GOTO 3150
3200 MIN=FS(M)
3205 MINM=M
3210 GOTO 3150
3220 SPT=MIN
3221 N.=MINM
3225 CLS
3230 PRINT "FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN FALLA DE PIE DE TALON- ",FSPI
3231 PRINT "COORDENADAS INICIALES"
3232 PRINT "I",I(ML);PRINT " ",YI(ML);PRINT " ",WIA=XI(ML);WIB=YI(ML)
3233 PRINT "COORDENADAS FINALES"
3234 PRINT "I",IF(ML);PRINT " ",YF(ML);PRINT " ",WIC=XF(ML);WID=YF(ML)
3235 PRINT "RADIO= ",R(ML);WIE=R(ML)
3236 PRINT "MOMENTO MOTOR= ",MM(ML);WIF=MM(ML)
3237 PRINT "MOMENTO RESISTENTE= ",MR(ML);WIG=MR(ML)
3238 BASE=BASE+1000
3239 PRINT
3240 JSUM=0
3241 PRINT
3242 YSUM=0
3243 REM "COORDENADAS DE LA CORDINA"
3244 IC=0;YC=0
3245 REM "COORDENADAS DEL TALON"
3250 XT=HAFEND
3251 YI=-H
3252 RN=H/4
3253 INC=RN;YINC=0
3254 IINC=RN;YINC=0
3255 KY=0
3256 LL=1
3258 REM "COORDENADAS INICIALES"
3259 REM "COORDENADAS FINALES"

```

```
3250 XI=C*FSUM
3252 YI=C*FSUM
3254 FEM *COORDEWADAE FINPLES*
3270 XF=XT*YINC
3280 YF=YI*YINC
3291 FGR I=1 TO AE
3293 COHE(I)=ELEN(I)
3295 PH(I)=PLAST(I)
3297 AEI I
3299 GOTO 315
3300 PRINT *PALLA TE PREE*
3310 DIST=AT-XI
3320 TA=DIST*2
3330 TB=FE-IA
3340 LAD=50*(TB)
3350 LARE=LAD-11
3360 IF DC < LARE THEN 3380
3370 GOTO 3650
3380 HI=DC-H
3390 IC=I(I)
3400 ID=PI(I)
3410 W=IC*DIST*TD
3412 DM(I)=W
3414 IN=IN+1
3420 J=J+1
3430 TE=FI(J)
3440 IF TE < LARE THEN 3460
3450 GOTO 3540
3460 TF=FI(J)-1
3470 H(J)=IE-IF
3480 TG=HI(J)
3490 TH=PI(J)
3500 W=TG*TH*DIST
3510 DM(IN)=W
3520 IN=IN+1
3530 GOTO 3420
3540 TI=PI(J)-1
3550 H(J)=LARE-TI
3560 TJ=H(J)
3570 TK=PI(J)
3580 W=TJ*TK*DIST
3590 DM(IN)=W
3600 IN=IN+1
3610 IF TE < VM THEN 3700
3620 H2=VM-LARE
3630 TL=(DIST+H2)/2
3640 TH=FI(J)
3650 W=TL*TH
3655 GOTO 3655
3656 LAD=LARE-H
3657 RCL=FI(J)
3658 W=LAD*DIST*RCCL
3659 IF LAD=0 THEN STOP
3660 TM=DIST/LAD
3670 RG=AIN(IN)
3672 H=H+1
3674 BETA(IN)=FO
3676 DELTA(IN)=RO*R
3680 TTD=EE/2
3690 TF=SIN(TD)
```

```

3700 IQ=I3-TF
3705 IR=F*UJ
3710 IR=TVG+IG*IR
3720 W=I+TR
3730 XCM(IN)=W
3740 FD=IN
3750 GOTO 4120
3760 UA=V1+TE
3770 UB=UA*E
3780 UC=BE+UB
3790 IMA1(J)=SOR(UC)
3800 JD=XMA1(J)
3810 HI=TE-LAFE
3820 UE=P*VJ)
3830 W=H*UD+UE
3840 ZMA=DIS1-JB
3850 UF=(ZMA+U1)/2
3860 VG=UF+VE
3870 W=U+UG
3880 XDM(IN)=W
3890 IN=I+U1
3900 J=J+1
3910 UN=P1(J)
3920 JI=P1(J)-1
3930 IF UN (<= VM THEN 4020
3940 HY=VM-U1
3950 UJ=XMA1(J)-1)
3960 UY=FV(J)
3970 UL=(HY+UJ)/2
3980 W=UL+UP
3990 XDM(IN)=W
4000 FD=IA
4001 IF LAD=0 THEN STOF
4002 TR=DIS1/LAD
4003 SD=ATN(IN)
4004 M=M+1
4005 BETAN(M)=F3
4006 DELTAN(M)=F0+R
4010 GOTO 4120
4020 HI=UH-U1
4030 UM=Y1+UH
4040 UN=UH*E
4050 UE=BE+UN
4060 IMA1(J)=SOR(UJ)
4070 AAA=XMA1(J)
4080 AAB=FV(J)
4090 W=H*AAA+AAB
4100 AAC=XMA1(J)-1
4110 ZI=AAA-AAC
4120 AAE=(ZI+H)/E
4130 AAF=AAD+AAB
4140 W=W+AAE
4150 XDM(IN)=W
4160 IN=IN+1
4170 GOTO 3760
4180 ADIC=0
4190 FOR K=1 TO FD
4200 EBA=XDM(K)
4210 ADIC=ADIC+EBA
4220 NEXT K

```

```
4234 FETOT(M)=401C
4234 CQHE(M)=CQHE(M-1)
4236 FHI(M)=FHI(M-1)
4240 G01E 4500
4250 DIST=17-11
4260 TA=DIST*2
4270 TB=BE-TA
4280 LAD=SQRT(TB)
4290 LARE=LAD*Y1
4300 GB=H-YEJE
4310 GC=GB*2
4320 GD=(GC*PENO)/2
4330 GE=PV(H)
4340 H=GD*GE
4350 GF=GB*PERD
4360 LADD=LARE-H
4370 H=H*LADD/GF*GE
4380 GG=GF/LAD
4390 ALF=ATH(GG)
4400 GH=SINI(ALF)
4410 GI=ALF*GH
4420 GJ=BE/2
4430 GN=J*GI
4440 GL=GF*GE
4450 H=H*GL
4455 M=M+1
4460 PETOT(M)=6
4465 CQHE(M)=CQHE(M-1)
4467 FHI(M)=FHI(M-1)
4470 IF LAD=0 THEN STOP
4472 TN=DIST/LAD
4474 RJ=ATH(TN)
4476 BETA(M)=RQ
4478 BELTA(M)=FQ*F
4480 RQ=C
4500 I=1
4510 CCA=PI(L)
4520 IF CCA > H THEN 4550
4530 I=I+1
4540 GOTO 4510
4550 I2=K
4560 CCF=F(L)
4570 IF CCF > LARE THEN 4600
4580 I=I+1
4590 GOTO 4560
4600 FCR(I)=CI-1)
4610 ARR1=H*Y1
4615 IF I2=K THEN 4700
4620 NF=K-1
4630 FOR J=12 TO NP
4640 CCC=F(I,J)
4650 CCD=CCC*Y1
4660 CCE=CCD*2
4670 CCF=BE-CCE
4680 PCN(I)=SOR(CCF)
4690 NEAT J
4700 I=I2-1
4710 CCG=ARR1*2
4720 CDH=BE-CCG
4730 FCR(I1)=SOR(CDH)
```

```
4740 P10(I)=M
4745 IF I2=N THEN NP=N-1 ELSE GOTO 4750
4746 L=I2
4747 P10=P10(I)
4748 GOTO 4840
4750 FOR K2=I2 TO NP
4760 P10(K2)=P10(KZ)
4770 P10(KZ-1)=P10(KZ-1)
4780 CC1=P10(KZ)
4790 CCJ=P10(I)Z-1)
4800 H0(KZ)=CC1-CCJ
4810 NEXT KZ
4820 F10=P10(NP)
4830 L=NP+1
4840 H0(L)=LARE-P10
4850 J=I2-1
4855 H0(J)=0
4860 FV0(J)=0
4865 I=I2-1
4870 L=I2
4880 J1=I2-1
4890 FOR N=J1 TO NF
4900 W=0
4910 DDA=PC0*(J)
4920 CB=PC0*(K+1)
4930 CDC=H0(J)
4935 FV0(J)=FV(J)
4940 DDC=PV0(J)
4950 CIE=DDA-DCB
4960 W=W+DDE+DDC*DDC
4970 IF J=N THEN S00*
4980 J=J+1
4990 GOTO 4910
5000 J=J+1
5010 EEA=H0(J)
5015 FV0(J)=FV(J)
5020 EEB=PV0(J)
5030 EEC=(DDE+EEA)/2
5040 EED=EEC+EEB
5050 W=W+EED
5060 FESD(L)=W
5070 L=L+1
5080 Y=Y+1
5090 J=I2
5100 NEXT N
5110 I=I2-1
5120 FFA=FC0(I)
5125 FC2=I1-I1
5130 F=FFA-IF2
5140 IF F LE 0 THEN S220
5145 P10(I)=P10(I)
5150 FFB=F10(I)
5160 ANG=FFB*Y1
5170 FFC=ANG*FFA
5180 BETA=ATN(FFC)
5190 E0(I)=BETA
5200 I=I+1
5210 GOTO 5120
5220 ANG=LAD
5225 IF FFA=0 THEN E0(I)=1.570796327*W ELSE GOTO 5220
```



```

5225 SOT0 =S0V
5230 FF=(ANS/FFA
5240 BETA=ATA/FFD
5250 EM(I)=BETA
5260 ME=
5270 FOR L=12 TO ME
5280 GA=EK(L)
5290 GB=E*(L-1)
5300 BIALI=GB-GSB
5310 GDC=B*AL(L)
5320 DELTA(L)=GBE*AR
5330 BEO=SIN(66C)
5340 GSE=GBD-GBD
5350 GGF=PV(L)
5360 GGG=GE/2
5370 FEAD(L)=GGG*GGE*GGF
5380 NEXT L
5390 M=R-1
5400 FOR N=12 TO ME
5410 M=A*FESD(M)
5420 MHR=FEAD(M)
5430 FETD(M)=MHR*MHR
5440 BETA(M)=B*AL(M)
5450 DELTA(M)=DELTA(M)
5460 COME(M)=COME(M)
5470 FHI(M)=F*AL(M)
5480 M=N+1
5490 NEXT N
5500 MASTA=M-1
5510 GDSUB 8500
5520 GDSUB 8700
5530 MR=0:MM=0
5540 FOR K=1 TO MASTA
5550 AA=TI(V)
5560 AB=IK(I)
5570 MM=MM+AA
5580 MR=MR+AB
5590 NEXT K
5600 MM=MM/MM
5610 MR=MR/MM
5620 IF MR=0 THEN STOP
5630 FS=MR/MM
5640 GDSUB 8925
5650 KILL=K
5660 XI(LL)=I
5670 YI(LL)=Y
5680 X(ILL)=X
5690 Y(ILL)=Y
5700 M(ILL)=M
5710 M(ILL)=M
5720 FS(LL)=FS
5730 LL=LL+1
5740 IF RAS=1000 THEN 20330
5750 XSUM=XSUM+SA
5760 IF XSUM > YI THEN 5640
5770 GOTO 5250
5780 XSUM=0
5790 SG=H/4
5800 SC=H/2
5810 YSUM=YSUM+SB

```

```
5680 IF VSUM > 50 THEN 5690
5690 GOTO 3258
5695 NI=9
5695 VSUM=0
5695 MI=1
5700 SE=FS(MI)
5710 MIN=SD
5715 MINM=MI
5720 MI=MI+1
5730 IF MI>NI THEN 5790
5740 SE=FS(MI)
5750 IF SE < MIN THEN 5770
5760 GOTO 5720
5770 MIN=FS(MI)
5775 MINM=MI
5780 GOTO 5720
5790 FSEA=MIN
5795 ML=MINM
5800 FX=FX+1
5810 SEGU(X)=FSEA
5812 ((A(X))=F(ML)
5814 ((B(X))=(I(ML),I(C(X)))+(I(ML)
5816 ((C(X))=I(ML),I(E(X))=Y(I(ML)
5818 ((F(X))=M(ML),I(G(X))=R(I(ML)
5820 TD=H/A
5830 IINC=IINC+DM
5840 IF IINC > N THEN 5860
5850 GOTO 3258
5860 MIT=N
5870 H=1
5880 S2=SEGU(H)
5890 MINI=S2
5895 MINM=H
5900 N=N+1
5910 IF N > MIT THEN 5970
5920 S2A=SEGU(N)
5930 IF S2A < MINI THEN 5950
5940 GOTO 5900
5950 MINI=SEGU(N)
5955 MINM=N
5960 GOTO 5900
5970 FBASE=MINI
5975 M=MININ
5976 CLE
5980 PRINT "FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN FALLA DE BASE= ",FSBASE
5981 PRINT "COORDENADAS INICIALES"
5982 PRINT "I, X(B(M)),PRINT "I, I(C(M)),PRINT "I,MIN=I(B(M)),I(I(C(M))
5983 PRINT "COORDENADAS FINALES"
5984 PRINT "I, X(B(M)),PRINT "I, I(E(M)),PRINT "I, I(G(M)),MIN=I(E(M))
5985 PRINT "ADIC= ",I(A(M)):W(L)=I(A(M))
5986 PRINT "MOMENTO 1010= ",I(F(M)):MIN=C(F(M))
5987 PRINT "MOMENTO RESISTENTE= ",I(G(M)):MIN=I(G(M))
5990 GOTO 1500
7000 REM ***SUBROUTINA LYC***
7005 P(I)=0
7010 FOR I=1 TO NFC
7020 A=P(I)
7030 B=P(I-1)
7040 H(I)=A-B
7050 NEXT I
```

```
7055 VL=V-1
7060 F1R=F1-VL1
7070 L=MPG+1
7080 VIC=1112
7090 FAG=BE-LIC
7100 VI=SGF(FAG)
7110 VREAL=V2-V1
7120 H(L1)=VREAL-F1R
7130 W(L)=0
7140 FV(L)=0
7150 J=01K=01L=1
7160 FDP N=6 TO NFC
7170 W=0
7180 C=FC(L)
7190 CM=FC(N+1)
7200 F=I-CM1
7210 L=N1J1
7220 E=PV(L)
7230 W=4+F*J1E
7240 IF J=N THEN 7270
7250 J=J+1
7260 GOTO 7210
7270 J=J+1
7280 G=N1J1
7290 G=PV(L)
7300 D1=(F+E)VE
7310 FGD=C1V1D
7320 W=H+P6D
7330 PESO(L)=W
7340 L=L+1
7350 I=I+1
7360 J=1
7370 NEXT N
7380 I=0
7390 F=FC(L)
7400 FZ=F-J1
7410 IF FZ <= 0 THEN 7490
7420 A2=F1111
7430 ANG=r1*42
7440 CAS=AR6/P
7450 BETA=ATH(CAS)
7460 E(1)=BETA
7470 I=I+1
7480 GOTO 7390
7490 ANG=V2
7495 IF P=0 THEN 7525
7500 CAS=ANG/P
7510 BETA=ATH(CAS)
7520 E(1)=BETA
7522 GOTO 7530
7525 E(1)=1.5707963270
7530 IEF=1
7540 FOR L=1 TO TER
7550 CDR=E(L)
7560 CTU=E(L-1)
7570 FETA(L)=CGR-CTU
7580 ANG=BETA(L)
7590 DELTA(L)=ANG*4R
7600 FEVGL=FV(L)
```

```
7620 REE=APD-SENG
7630 FOR=EE/2
7640 PEAD(L)=FOR+SEEN+FEVGL
7650 NEXT L
7660 FOR M=1 TO TER
7670 FEED=FEED(M)
7680 PEAD=PEAD(M)
7690 PEICT(M)=FEED+PEAD
7700 NEXT M
7710 FTU=L1/FEED
7720 EJE=FTU*Y1
7730 YEJE=EJE-Y1
7740 I=1
7750 M(O)=0
7760 J=0
7770 LI=0
7770 M=0
7780 FIC=M(I)
7790 W=M*RI0+PENO
7800 IF J=L1 THEN 7830
7810 J=J+1
7820 GOTO 7770
7830 J=J+1
7840 YNIVE=P1(I)
7850 IF YNIVE >= YEJE THEN 7970
7860 VOLU=P1(J)
7870 ESTF=M(I)
7880 ES2=ESTF^2
7890 ENTRE=(ES2+PEN0)/2
7900 PRD=ENTRE*VLU
7910 W=M*ESTF*VOLU+PRD
7920 LCM(I)=W
7930 I=I+1
7940 L1=L1+1
7950 J=1
7960 GOTO 7770
7970 RCB=P1(J)-1
7980 PDC=YEJE-RCB
7990 RCB=RCB^2
8000 TRI=P1(J)
8010 TRA=(ROA+PEN0)/2
8020 M=(M*RCB+TRI)+(TRA*TRI)
8030 LCM(I)=M
8040 I=I+1
8050 IF YNIVE >= YN THEN 8030
8060 TRQ=YNIVE-YEJE
8070 W=TRQ*(1+TR)
8080 LCM(I)=M
8090 I=I+1
8100 J=J+1
8110 TRI=P1(J)
8120 IF TRI >= YN THEN 8030
8130 T2=P1(J)-1
8140 TRV=P1(J)
8150 TARES=TRI-12T
8160 W=TARES*1+TRV
8170 LCM(I)=W
8180 I=I+1
8190 GOTO 8100
** ** ** ** **
```

```
8210 W=REAL(XI)*RZ
8220 ROT=ZETA
8230 ROT=PI*IJ-1
8240 RAY=YREAL-FOY
8250 TRICO=Y*IJ
8260 W=RAY*I+TRICO
8270 TRICO=YM-YREAL
8280 TLA=I+TRICO
8290 TLE=TLA/2
8300 TLI=PI*IJ
8310 W=W+TLE*TLI
8315 IF YZ=0 THEN STOP
8320 AZIE=PI.YZ
8330 BTA=ATN(AZIE)
8340 M=IER*1
8350 BETA(M)=BTA
8360 DELTA(M)=BTAR
8370 YNES=SIN(S14)
8380 FNI=BTA-YNES
8390 WA=FCR*W*LI
8400 WT=W*WA
8410 IOM(I)=WT
8420 MN=1
8430 ADIC=0
8440 FOR Y=1 TO YN
8450 SIN=IOM(Y)
8455 ADIC=ADIC+SIN
8460 NEXT Y
8462 PETOT(M)=ADIC
8463 IA=1
8464 ROT=PI*IA
8465 IF ROT > YREAL THEN 8469
8466 IA=IA+1
8467 GOTO 8454
8468 IF ROT >= YN THEN 8470
8469 GOTO 8473
8470 COHE(M)=BLENT(IA)
8471 FHI(M)=PLAST(IA)
8472 RETURN
8473 FROME=YM-YREAL
8474 SRI=ROT-YREAL
8475 SAI=SRI+PLEN(IA)
8476 ARCO=SAI+PLAST(IA)
8477 IA=IA+1
8478 ROT=PI*IA
8479 IF ROT >= YN THEN 8481
8480 GOTO 8468
8481 RAR0=YM-ROT
8482 SARA=RAR0+ELEN(IA)
8483 FID0=RAR0+PLAST(IA)
8484 FEZ=RAI+SARA: CADD=FID0+ARCO
8485 COHE(M)=BLENT(IA)
8486 FHI(M)=FLAST(IA)
8487 RETURN
8488 PERA=ROT-PI*(IA-1)
8489 GOMA=PERA+ELEN(IA)
8490 TPA=PERA+PLAST(IA)
8491 CONFU=FDI-YREAL
8492 PATI=GOMA+SAR0: CIAS=TPA+ARCO
8493 COHE(M)=PATI/CONFU
```

```
8494 PHI(M)=LIAS/CONFU
8495 RETURN
8496 REM
8500 REM ****SUBROUTINA BGS****
8510 RD(0)=E(0)
8520 SCL=E(0)
8530 FOR J=1 TO NASTA
8540 BTM=BETA*(J)
8550 SCL=SCL*BTM
8560 RD(J)=SCL
8570 BSA=RD(J-1)
8580 BSE=BTM/2
8590 THETA(J)=BSA+BSA
8600 BSC=THETA(J)
8610 ALFA(J)=1.5707963270-BSC
8620 BSA=ALFA(J)
8630 ROS(J)=COS(BSD)
8635 COSE(J)=ROS(J)
8640 SEN(J)=SIN(P50)
8650 NEXT J
8660 RETURN
8670 REM
8680 REM ****SUBROUTINA TRES****
8690 REM
8700 FOR I=1 TO NASTA
8710 PESD=PETOT(I)
8720 COSE=COSE(I)
8730 SEN=SEN(I)
8740 YN(I)=PESD*COSE
8750 CTM=YN(I)
8760 YI(I)=PESD*SEN
8770 CTM=YI(I)
8780 DTM=DELTA(I)
8785 IF DTM=0 THEN SIGMA(I)=0 ELSE GO TO 8790
8786 GO TO 8900
8790 SIGMA(I)=CTM/DTM
8800 SIGMA=SIGMA(I)
8810 ETA=PHI(I)
8820 TANG=TAN(ETA)
8830 YI(I)=SIGMA*TANG
8840 ETU=YI(I)
8850 ETI=COSE(I)
8860 YSI(I)=ETI*ETU
8870 RUM=YSI(I)
8880 YR(I)=RUM*DTM
8890 RQMA=YR(I)
8900 ALFA=ALFA(I)
8910 NEXT I
8920 RETUEN
8922 REM
8925 REM ****SUBROUTINA CUATRO****
8926 PLAY "c:\a20\dise20c20a20"
8930 PRINT "COORDENADAS INICIALES"
8940 PRINT "I";PRINT USING "###.##";I;PRINT "J";PRINT USING "###.##";J;PRINT
NT "K";PRINT
8950 PRINT "COORDENADAS FINALES"
8960 PRINT "I";PRINT USING "###.##";I;PRINT "J";PRINT USING "###.##";J;PRINT
NT "K";PRINT
8970 PRINT "RADIO=";PRINT USING "###.##";R;PRINT
8980 PRINT "VALOR TOTAL DEL MOMENTO MOTOR=";PRINT USING "###.##";NM;PRINT
8990 PRINT "VALOR TOTAL DEL MOMENTO RESISTENTE=";PRINT USING "###.##";MR;PRINT
```

9000 PRINT 'FACTOR DE SEGURACION=';FFPRINT USING '###.##':FFPRINT

- 104 -

```
14000 YSUM=H/3
14010 YSUM=0
14020 REM 'COORDENADAS DE LA CORDONA'
14030 IC=I*YC=0
14040 REM 'COORDENADAS DEL TALON'
14050 IT=I*IPEND
14060 YI=H
14070 LL=1
14080 P=EE=0
14090 REM 'COORDENADAS INICIALES'
14100 JI=IC+XSUM
14110 JI=YC+YSUM
14120 REM 'COORDENADAS FINALES'
14130 IF=IT
14140 YF=YT
14145 PAS=0
14150 FOR I=1 TO NE
14160 COE(I)=BLEH(I)
14170 PM(I)=PLAST(I)
14180 NEXT I
14185 PAS=0
14190 IF QAN='N' THEN 14240
14200 CON=GAN+ALONG*I
14210 DEZ=ALONG/2
14220 BPAL=PI+DCC+DEZ
14222 IF BPAL < 0 THEN 14225
14224 GOTO 14230
14226 MR=CON+BPAL
14228 GOTO 14240
14230 MR=CON+BPAL
14240 IF DBI='N' THEN 14260
14250 CON3=GBR+BLONG*I
14260 DE3=BLONG/2
14270 DP1E=PI+PI
14280 SFALB=DE3+DPP+DP1E
14290 MNR=CON3+EPALB
14300 AF=PI-YF
14310 AG=AF^2
14320 AH=I-YF
14330 AI=AH^2
14340 AJ=AG+AI
14350 R=SDR(AJ)
14360 YN=R-YI
14370 KJ=1
14380 ER=PI(KJ)
14390 IF EA > YN THEN 14420
14400 KJ=KJ+1
14410 GOTO 14380
14420 PC(J)=0
14425 K=KJ
14430 NFC=K-1
14440 FOR J=1 TO NFC
14450 EB=PI(J)
14460 EC=EB+YI
14470 EG=EC^2
14480 EE=E^2
14490 EF=EE-EJ
14500 PC(J)=SGR(EF)
14510 NEXT J
```

```
14520 CA=Y1*E
14530 CB=PE-CA
14540 PC(O)=SDR(CB)
14550 F1(O)=0
14560 FOR K=1 TO NFC
14570 A=PI(K)
14580 B=F1(K-1)
14590 H(K)=A-B
14600 NEXT K
14610 L=L+1
14620 F1R=F1(L,L)
14630 L=NFC+1
14640 F1C=L1*E
14650 PAD=BE-C1C
14660 Y2=EOF(PAD)
14670 YREAL=Y1
14680 H(L)=YREAL-F1R
14690 H(O)=0
14700 FV(O)=0
14710 J=0:H=0:L=1
14720 FOR N=0 TO NFC
14730 W=0
14740 C=FC(N)
14750 CRU=FC(N+1)
14760 F=C-CPU
14770 L=H(L)
14780 E=PV(J)
14790 W=W+F*D+E
14800 IF J=N THEN 14850
14810 J=J+1
14820 GOTO 14770
14830 J=J+1
14840 G=H(J)
14850 D=PV(J)
14860 DIV=(F+G)/Z
14870 FRQ=DIV*O
14880 W=W+FRQ
14890 FESJ(L)=W
14900 L=L+1
14910 J=K+1
14920 J=1
14930 NEXT N
14940 I=0
14950 F=PC(I)
14960 FZ=F+I
14970 IF FZ /= 0 THEN 15050
14980 AZ=F1(I)
14990 ANG=Y1+AZ
15000 CAS=ANG/F
15010 BETA=ATN(CAS)
15020 E(I)=BETA
15030 I=I+1
15040 GOTO 14950
15050 CHEC=NFC-1
15060 IF I=CHEC THEN 15110
15070 GOTO 14980
15080 BETA=ATN(CAS)
15090 E(I)=BETA
15100 GOTO 15120
15110 E(I)=1.570796327*
```


15150 TEF=1
15155 FC=L-1 TO TER
15160 CCR=E(L)
15165 CTU=E(L-1)
15166 BETA(L)=CCR-CTU
15170 A=O=BETA(L)
15180 DELTA(L)=A*CMR
15190 PEVCL=FV(L)
15200 SEND=SINI*MG
15210 PSEN=AMD*SEND
15220 FOR=SE/2
15230 FEAL(L)=FOR+SEN+PEVCL
15240 NEXT L
15250 FOR I=1 TO TER
15260 PESO=PESD(I)
15270 PEAC=FEAD(I)
15280 PETOT(M)=PESO+PEAD
15290 NEXT M
16000 TIC=I/2
16010 BE=F/2
16020 WALF=FE-TIC
16030 CUY=SER*(WALF)
16040 CQ=CQ/(-1)
16041 GOTO 35000
16042 FOR K=1 TO NFC
16044 A=P(I)
16046 B=F(I)*(-1)
16050 H(K)=A+B
16060 NEXT K
16070 VL=K-1
16080 FIR=P(I)*VL
16090 L=HFC+1
16100 H(L)=CQV-FIR
16110 FOR C=1 TO L
16120 CHA=H(C)
16130 CHE=ABS(C)
16140 CHI=P*(C)
16150 WPK)=(CHE+CHA+CHI
16160 NEXT C
16162 L=L+1
16164 THA=FM-CQV
16166 THI=THA*CHE
16168 THD=THI/2
16170 HP(L)=THD*CHI
16175 CND=CHE/CQV
16180 CHU=ATI*CHC
16190 SEND=SINI*CHU
16200 DIFER=LHU-SEND
16210 CCA=P/V(L-1)
16220 WPA=PCF+DIFER*COA
16230 PESO=0
16240 FOR I=1 TO L
16245 PESO=HP(I)+PESO
16250 NEXT I
16260 M=TER+1
16270 PETOT(M)=PESO+WPA
16280 BETA(M)=CQU
16290 DELTA(M)=CA*MR
16292 CQHE(M)=CQHE(M-1)
16294 PHI(M)=PHI(M-1)

```
16294 IF PAB=1000 THEN 16340
16304 M=M+1
16310 J=0
16321 J=J+1
16330 BAO=F1(IJ)
16340 IF BAO > H THEN 16380
16350 GOTO 16320
16360 J1=J
16370 BAO=F1(IJ)
16380 IF BAO > DOF THEN 16410
16390 J=J+1
16400 GOTO 16370
16410 PCD(I)=0
16420 NFD=J-1
16425 IF J=J1 THEN 16510
16430 FOR I=J1 TO NFD
16440 EB=F1(I)
16450 EC=EB*Y1
16460 ED=EC*Z
16470 EE=R*Z
16480 EF=EE-ED
16490 PCD(I)=SOR(EF)+I1
16500 NEXT I
16510 LM=J1-1
16520 DER=H*Y1
16522 DER2=DER*Z
16524 DERE=EE-CEP2
16530 PCD(LM)=SOR(DERE)+I1
16540 FOR I=LM TO NFD
16550 W=PCD(I)
16560 V=PCD(I+1)
16565 E(F(I))=W-V
16570 NEXT I
16580 IM=1
16590 H(I)=0
16600 J=0
16650 LI=0
16660 W=0
16670 R10=H(IJ)
16680 W=W+R10*FEND
16690 IF J=L1 THEN 16720
16700 J=J+1
16710 GOTO 16670
16720 J=J+1
16730 YNIVE=F1(IJ)
16740 IF YNIVE > H THEN 16960
16750 VOLU=PV(IJ)
16760 ESTRA=H(IJ)
16770 ES2=ESTRA*Z
16780 ENTRE=(ES2+FEND)/Z
16790 FROD=ENTRE*VOLU
16800 W=W+ESTRA*VOLU+FROD
16810 AGR(IN)=W
16820 IN=IN+1
16830 LI=LI+1
16840 J=1
16850 GOTO 16620
16860 RQ2=PI(J-1)
16870 RQC=A*FDE
16880 RGA=FDC*Z
16890 TRI=PV(IJ)
```

```
16710 TRA=(RCA*PENDING)/2
16720 W=(W+RDC*TRI)/(TRA*TRI)
16730 ADM(IN)=W
16740 IN=IN+1
16745 IF RAS=1000 THEN 16700
16750 IF YNIVE >= CDY THEN 17100
16760 TRD=YNIVE-H
16762 DIFE=DIF(LM)
16764 PAF=(TRD*DIFE)/2
16766 PAPA=PAF*TRI
16768 PEP=PCD(LM+1)
16770 W=PAPA+TRD*TRF+FEF
16780 ADM(IN)=W
16790 IN=IN+1
17000 J=J+1
17010 TR=P1(J)
17020 IF TR >= CDY THEN 17130
17025 LM=LM+1
17030 T2=P1(J-1)
17040 T1Y=PV(J)
17050 TAFES=TR1-T2
17052 GAL=DIF(LM)
17054 GEL=(TAFES+GAL)/2
17056 GCL=GRL*TKY
17058 GDL=PCD(LM+1)
17060 GEL=TAFES*T1Y+GCL
17062 W=GCL+GEL
17070 ADM(IN)=W
17080 IN=IN+1
17090 GOTO 17000
17100 REAL=CDY-H
17110 TRD=H*PENDING
17120 SIETE=(REAL+TRD)/2
17125 W=SIETE*TRI
17135 ADM(IN)=W
17137 IN=IN+1
17128 GOTO 17120
17130 RDT=P1(J-1)
17140 RAY=CDY-RDT
17150 TRICO=PV(J)
17152 LM=LM
17152 LM=LM+1
17154 PEPI=DIF(LM)
17156 PEFE=(RAY*PEPI)/2
17160 W=PEFE*TRICO
17162 ADM(IN)=W
17164 IN=IN+1
17180 N=1
17190 TRE=P1(N)
17200 IF TRE > H THEN 17230
17210 N=N+1
17220 GOTO 17190
17230 NN=N
17235 LN=NN
17240 TRE=P1(N)
17250 IF TRE >= CDY THEN 17280
17260 N=N+1
17270 GOTO 17240
```

```
17280 MVM=N
17290 SDEL=CDY-H
17295 IF NN=NN THEN 17490
17300 PFM=PI(NN)
17310 UND=FFI(H-H)
17320 DDS=PV(NN)
17324 FIL=CDR(NN)
17326 PDS=PHI(NN)
17330 T(NN)=UND+DDS
17334 C(NN)=UND+FIL
17336 P(NN)=UND+PDS
17340 NN=NN+1
17350 IF NN=NN THEN 17460
17360 CUATRO=PI(NN)-FI(NN-1)
17370 CINCO=PV(NN)
17372 FIL=CDR(NN)
17374 GJI=PHI(NN)
17380 T(NN)=CUATRO+CINCO
17384 C(NN)=CUATRO+GJI
17388 P(NN)=CUATRO+GUT
17390 GOTO 17340
17400 CUATRO=CGI-FI(NN-1)
17410 CINCO=PV(NN)
17412 PAR=CDR(NN)
17414 PAT=PHI(NN)
17420 T(NN)=CUATRO+CING
17422 C(NN)=CUATRO+PAR
17424 F(NN)=CUATRO+PAT
17430 SUMA=P+O+VDS+O+EC+O
17440 FOR I=LN TO NN
17450 SUMA=SUMA+T(I)
17452 YOG=VCG+C(I)
17454 GO=GOY+P(I)
17460 NEXT I
17470 PV=P+SUMA/SUEL
17472 CCEFF=YOG/SUEL
17474 FHI=P+GO/SCEL
17480 GOTO 17560
17490 FJFF=PV(NN)
17492 CCEFF=CCEFF(NN)
17494 FHIFF=FHI(NN)
17500 EOP=H+HEND
17510 YMR=GOY-K
17520 ALT=H+YI
17530 QG=YMR/ALT
17540 SAC=ATN(DGS)
17550 IF AME=100 THEN BETU=(1.570796327)*TEZ) ELSE BETU=BETAN(M-1)
17560 BETAN(M)=SAC*BETU
17570 SCLD=BET(N)
17580 CELTA(K)=SCLD+R
17590 TH=SIN(SCLD)
17600 SUM=P*2
17610 SUN2=SU/2
17620 PFN=SCLD-THF
17670 DNE=PFN+SUM2
17680 WA=UNE+JFF
17690 DM(I)=VA
17700 LTN=TA
17710 ADIC=0
17720 FOR K=1 TO LTN
```

```
17730 GA=I*GIA I
17740 ADIC=ADIC+GA
17750 NEXT X
17760 FETOT(M)=ADIC
17762 COE(M)=COEFP
17764 FHL(M)=FHLFP
17770 L=M
17780 HASTA=L
17790 GOSUB 8500
17800 GOSUB 8670
17810 M=0
17820 MM=0
17830 FGA K=1 TO HASTA
17840 RA=YII(I)
17850 R3=YF(I)
17860 MM=MM+FA
17870 MR=MR+R3
17880 NEXT I
17890 MM=MM+MM
17900 MR=MR+MM
17910 IF MM=0 THEN STOP
17920 FS=MR/MM
17930 GOSUB 8925
17940 R(ILL)=R
17950 I(ILL)=I
17960 Y(ILL)=Y
17970 F(ILL)=F
17980 YF(ILL)=YF
17990 MM(ILL)=MM
18000 MR(ILL)=MR
18010 FS(ILL)=FS
18020 LL=LL+1
18030 S=H/3
18040 USUM=USUM+SA
18050 IF USUM > H THEN 18070
18060 GOTO 14090
18070 USUM=SA
18080 SB=H/4
18090 YSUM=YSUM+SB
18095 SC=H/2
18100 IF YSUM > SC THEN 18120
18110 GOTO 14090
18120 MI=9
18130 M=1
18140 SD=FS(M)
18150 MI=M+SD
18160 MI=M+M
18170 M=M+1
18180 IF MI=1 THEN 18250
18190 SE=FS(M)
18200 IF SE < MI THEN 18220
18210 GOTO 18170
18220 MI=MI+SE
18230 MI=M+M
18240 GOTO 18170
18250 FS(2)=MI
18260 ML=MINM
18270 CLS
18280 PRINT "FACTO DE SEGURIDAD EN FALLA DE PIE DE TALUD CONSIDERANDO PUNTOS A
LA DERECHA DE LA CORONA"
18290 PRINT
```

```

16209 PRINT "FACTOR LE SEGURIDAD MINIMO= ",FSP12
16210 PRINT "COORDENADAS INICIALES"
16220 PRINT "I",XI(ML)::PRINT ",",YI(ML)::PRINT "I"
16225 WIG=XI(ML):WY=YI(ML)
16230 PRINT "COORDENADAS FINALES"
16240 PRINT "I",XF(ML)::PRINT ",",YF(ML)::PRINT "I"
16245 WIG=XF(ML):WY=YF(ML)
16250 PRINT "RADIO= ",R(ML)
16255 WIG=R(ML)
16260 PRINT "MOMENTO MOTOR= ",MM(ML)
16265 WIG=MM(ML)
16270 PRINT "MOMENTO RESISTENTE= ",MR(ML)
16275 WIG=MR(ML)
16278 PRINT
16279 PRINT
16276 PRINT
16278 PRINT
16280 PAS=PAE+(LON)
16290 XSUM=H/3
16300 YSUM=0
16410 REM "COORDENADAS DE LA COORDA"
16420 XC=0:YC=0
16430 REM "COORDENADAS DEL TALON"
16440 XT=XFEND
16450 YT=-H
16460 RDN=H/4
16470 XINC=RDN:YINC=0
16480 IX=0
16490 LL=1
16495 REM "COORDENADAS INICIALES"
16500 XI=XC-XSUM
16510 YI=YC+YSUM
16520 REM "COORDENADAS FINALES"
16530 XF=XI+XINC
16540 YF=YI+YINC
16550 GOTO 14190
16560 N=N+1
16570 CABLE=IT-XI
16580 EOX=CABLE*2
16590 BAK=BE-EOX
16600 YAL=SDR(ERAI)
16610 YALE=YAL-YI
16620 J=0
16630 J=J+1
16640 COQ=PI(I)
16650 IF COQ > YALE THEN 18670
16660 GOTO 18630
16670 I=J
16680 COQ=PI(I)
16690 IF COQ > COY THEN 18720
18700 J=J+1
18710 GOTO 18680
18720 FCC(I)=0
18730 NPC=J-1
18735 IF J=N THEN 18620
18740 FOR I=N TO NFD
18750 BE=PI(I)
18760 BC=BE+YI
18770 BD=BC*2
18780 BE=BC*2
18790 BF=SE-ED

```

```
18500 PCD(I)=SCRIP(I)+1
18510 NEXT I
18520 LN=K-1
18530 PCD(LN)=IT
18540 FOR K=LN TO NFD
18550 W=PCD(K)
18560 V=PCD(K+1)
18570 DIF(K)=W-V
18580 NEXT K
18590 GOTO 18520
18600 IF (NIVE) YALE THEN 19460
18610 CADC=YNIVE-H
18620 ESD=PV(I)
18630 W=CADC+IT+EEO
18640 ICM(IN)=W
18650 IN=IN+1
18660 J=J+1
18670 AHOC=F1(J)
18680 IF A
18690 IF AHOC > YALE THEN 19060
18700 BHOC=F1(J-1)
18710 DHOC=PV(I)
18720 REA=AHOC-BHOC
18730 W=REA+IT+BHOC
18740 ICM(IN)=W
18750 IN=IN+1
18760 GOTO 18670
18770 REB=F1(J-1)
18780 QUIN=YALE-PEB
18790 RUIN=PV(I)
18800 W=QUIN+IT+RUIN
18810 ICM(IN)=W
18820 IN=IN+1
18830 IF AHOC >= COF THEN 19260
18840 TUIN=DIF(LN)
18850 GTL=AHOC-YALE
18860 FTL=PV(I)
18870 STL=(GTL+TUIN)/2
18880 RTL=DTL+FTL
18890 STL=PCD(LN+1)
18900 TTL=RTL+STL+FTL
18910 W=RTL+TTL
18920 ICM(IN)=W
18930 IN=IN+1
18940 J=J+1
18950 UTL=F1(J)
18960 IF UTL >= COF THEN 19360
18970 JUL=F1(J-1)
18980 SUL=JTL+JUL
18990 CUL=PV(I)
19000 LN=LN+1
19010 EUL=DIF(LN)
19020 FUL=(EUL+PCD(LN+1)
19030 SUL=(EUL+CUL)/2
19040 HUL=SUL+EUL+CUL
19050 W=GUL+HUL
19060 ICM(IN)=W
19070 GOTO 19260
19080 OUL=DIF(NFD)
```

```

1939 IF AHDG = YALE AND AHDG = COY THEN PUL=YALE ELSE PUL=P1(1)-1
1940 QUL=COY-FUL
1941 ZAL=IGUL*QUL/2
1942 ZBL=PV(1)
1943 W=ZAL+ZBL
1944 JCM(1)=W
1945 GO TO 1953
1946 ZCL=YALE-H
1947 ZDL=PV(1)
1948 W=ZCL+ZDL
1949 JCM(1)=W
1950 IN=IN+1
1951 AHDG=P1(1)
1952 GO TO 1912
1953 N=1
1954 TRE=P1(1)
1955 IF TRE > YALE THEN 1958
1956 N=N+1
1957 GO TO 1954
1958 N=N
1959 LZ=IN
1960 TRE=P1(1)
1961 IF TRE >= COY THEN 1964
1962 N=N+1
1963 GO TO 1960
1964 NN=N
1965 SUEL=COY-YALE
1966 IF NN=NN THEN 2062
1967 PRIM=P1(N)
1968 UNO=PRIM-YALE
1969 DGO=PV(N)
1970 FIL=COE(N)
1971 RCO=PHI(N)
1972 TIN=UNO+DGO
1973 CIN=CIN+UNO+FIL
1974 PIN=UNO+DGO
1975 N=N+1
1976 IF NN=NN THEN 1990
1977 CUATD=P1(N)-P1(N-1)
1978 CINCO=PV(N)
1979 GIL=COE(N)
1980 GUT=PHI(N)
1981 TIN=CUATD+CINCO
1982 CIN=CIN+GUT
1983 PIN=CUATD+GUT
1984 GO TO 1975
1985 CUATD=COY-P1(NN-1)
1986 CINCO=PV(NN)
1987 PAR=COE(NN)
1988 PAT=PHI(NN)
1989 TIN=CLATO+CINCO
1990 CIN=CINCO+PAR
1991 PIN=CUATD+PAT
1992 SUMAR=GIL+DGO+GIL+DGO
1993 FOR I=LZ TO NN
1994 SUMAR=SUMAR+T(I)
1995 YG=YG+C(I)
1996 GY=GY+P(I)
1997 NET I
1998 PVFP=SUMAR/SUEL
1999 COHEFP=YG/SUEL

```


20000 FDIFF=GI*SUCL
20010 GOTO 20050
20020 FVFF=PVVNA
20030 COEFF=COE(NM)
20040 FDIFF=FH1(N)
20050 GCM=HFEAD
20060 YMAR=GM*LI
20070 ALT=YAL
20080 DBB=YMA*ALI
20090 SAC=ATN(DDB)
20100 BETU=BETAIN-11
20110 BETA(M)=SAC*ZET1
20120 SOLC=BETA(M)
20130 DELT(M)=SOLC*H
20140 TH=SIN(SOLC)
20150 SUN=N*2
20160 SUNB=SUN*2
20170 PFN=SOLC*TH
20180 DNE=PFN*SUM2
20190 WA=ONE*V*FF
20200 IN=1*1
20210 JCM(IN)=WA
20220 LTA=IN
20230 ADIC=0
20240 FOR I=1 TO LTA
20250 GA=JCM(I)
20260 ADIC=ADIC+GA
20270 NEXT I
20280 FETOT(M)=ADIC
20290 CO-E(M)=COEFF
20300 PH1(M)=FDIFF
20310 LASE=YALE
20320 LAD=YAL
20330 GOTO 4540
20335 PER
20335 SA=H*3
20337 SB=N*4
20339 SC=M*2
20340 YSUM=ISUM*SA
20350 IF YSUM > H THEN 20370
20360 ETO 1645
20370 ISUM=SA
20380 YSUM=YSUM+SB
20390 IF YSUM < SC THEN 20410
20400 GOTO 1645
20410 NI=9
20420 M=1
20430 SD=FS(M)
20440 MIN=SD
20450 MIN=M
20460 M=M+1
20470 IF M > NI THEN 20540
20480 SE=FS(M)
20490 IF SE < MIN THEN 20510
20500 ETO 20460
20510 MIN=SE(M)
20520 MIN=M
20530 GOTO 20460
20540 FSSA=M*4
20550 ML=MIN
20560 KR=V*1

```

20520 LTR(M)=R*(M)
20530 X(R)=X1*(M)+X2*(M)+X3*(M)
20540 Y(S)=Y1*(M)+Y2*(M)+Y3*(M)
20550 X(F)=X*(M)+X*(M)+X*(M)
20560 Y(N)=Y*(M)
20570 TON=M/4
20580 JINC=JINC*TON
20590 IF JINC > H THEN 20650
20600 SUM=M/3
20610 YEM=Y
20620 SOTO 18490
20630 M1=M
20640 N=1
20650 SZ=SEGUIN
20660 MINI=52
20670 MINIM=M
20680 N=N+1
20690 IF N = M1 THEN 20750
20700 SZ4=SEGUIN
20710 IF SZ4 : MINI THEN 20760
20720 GOTO 20710
20730 MINI=SEGUIN
20740 MINIM=M
20750 GOTO 20710
20760 FBASE2=M/VI
20770 M1=M/VI
20780 CLS
20790 PRINT "FACTOR DE SEGURIDAD EN FALLA DE BASE CONSIDERANDO PUNTOS A LA DERECH
HA DE LA CORDA"
20800 PRINT "FACTOR DE SEGURIDAD= ",FSBASE2
20810 PRINT "COORDENADAS INICIALES"
20820 PRINT " ",X1(M);PRINT " ",X2(M);PRINT " "
20830 Y1=Y1*(M)+X1(M)
20840 PRINT "COORDENADAS FINALES"
20850 PRINT " ",X1(M);PRINT " ",X2(M);PRINT " "
20860 W1=X1(M)+X1(M)
20870 W2=X2(M)+X2(M)
20880 W3=X3(M)+X3(M)
20890 W4=Y1(M)+Y1(M)
20900 PRINT "MOMENTO POTO= ",W1(W1)
20910 W2=X1(M)
20920 PRINT "MOMENTO RESISTENTE= ",W2(W2)
20930 W3=X1(M)
20940 W4=X1(M)
20950 IF FSP1 (= FSPTE THEN 20940
20960 VICH1=FSF12
20970 GOTO 20950
20980 VICH1=FSF1
20990 IF FBASE (= FBASE2 THEN 20980
21000 VEN1=FSBASE2
21010 GOTO 20990
21020 VEN1=FSBASE
21030 IF VEN1 (= VICH1 THEN 21000
21040 REM
21050 FST=VICH1
21060 SOTO 21900
21070 FET=VEN1
21080 GOTO 21900
21090 EAA=M/3
21100 EAA=M/FEND
21110 TALUD=1000
21120 SUM=EAA+EAA
21130 SUM=0

```

```

22020 PEM *COORDENADAS DE LA CROMA*
22030 IC=VIG=0
22040 PEM *COORDENADAS DEL TALON*
22050 IT=NFENDI:IT=H
22060 LL=1
22070 PEM *COORDENADAS INICIALES*
22080 JI=IC+ISUM
22090 VI=IC+VSLM
22100 PEM *COORDENADAS FINALES*
22110 IF=AT:VF=V*
22112 FGR I=1 TO NE
22114 COME(1)=3, EX(1)
22115 FMI(1)=FLAST(1)
22116 NEXT I
22120 IF CBI="H" THEN 22230
22130 ECC=JI+1
22140 CCB=DEFA+DND*11
22150 DE3=BLCK*2
22160 DP1E=DCF+1E3
22170 IF DP1E > ECC THEN 22210
22180 FAA=ECC-DP1E
22190 MMR=MMR+COB+FAA
22200 GOTO 22230
22210 FAA=DP1E-ECC
22220 MMR=COB+FAA
22230 AF=VI-IF
22240 AB=AF*2
22250 AH=VI-IF
22260 AI=AH*2
22270 AJ=AS+AI
22280 R=SGR(AJ)
2228E IF R (= 1) THEN 2225E
22284 GOTO 22290
22286 MN=10:NR=1000:FS=100
22288 GOTO 22940
22290 CA=VI*2
22300 CB=AI-CA
22310 PC(0)=SGR(CB)
22320 FCD=FC(0)
22330 CCA=PC(0)
22340 IF CCA (= 0) THEN STOP
22350 AAA=VI*2
22360 BBB=R*2
22370 CCC=BBB-AAA
22380 CDD=SGR(CCC)
22390 CERG=CDD-VI
22400 K=0
22410 L=VI
22420 ZA=PI(1)
22430 IF BA > CERG THEN 22450
22440 GOTO 22410
22450 FC(K)=VI
22460 LFC=L-1
22461 IF NFC (= 0) THEN 22463
22462 GOTO 22470
22463 V=1
22464 ADM=FC(1)-1-FC(K)
22465 ADEM=ICERG+ADM*1/2
22466 FESD(1)=ADEM+PV(V)
22467 GOTO 22940

```

```
22470 FOR J=1 TO NFC
22480 B=F(1)
22490 EC=E6*Y1
22500 ED=SC*2
22510 BE=R*2
22520 BF=EE-SD
22530 FC(J)=SJR(EF)
22540 NEXT J
22550 F1(I)=0
22560 FOR K=1 TO NFC
22570 A=P1(K)
22580 B=P1(K)-1
22590 H(K)=A-B
22600 NEXT K
22610 L=L+1
22620 PIR=F(1+L)
22630 L=NP(L)
22640 H(L)=CEFD-PIR
22650 H(I)=0
22660 P1(I)=0
22670 J=0:H=0:L=1
22680 FOR N=0 TO NFC
22690 W=0
22700 C=PC(K)
22710 CMU=FC(N+1)
22720 F=C-CMJ
22730 D=H(J)
22740 E=F1(J)
22750 W=W+F*D+E
22760 IF J=N THEN 22790
22770 J=J+1
22780 GOTO 22730
22790 J=J+1
22800 G=H(J)
22810 O=F1(J)
22820 DIV=(F+G)/2
22830 FPO=DIV*O
22840 W=W+FPO
22850 PESO(L)=W
22860 L=L+1
22870 Y=Y+1
22880 J=1
22890 NEXT N
22900 I=0
22910 F=FC(I)
22920 F2=P-I1
22930 IF F2 <= 0 THEN 23010
22940 A2=F1(I1)
22950 ANG=Y1+2
22960 CAS=ANG/P
22970 BETA=ATN(CAS)
22980 E(I1)=BETA
22990 I=I+1
23000 GOTO 22910
23010 ANG=000
23020 IF F=0 THEN 23070
23030 CAS=ANG/P
23040 BETA=ATN(CAS)
23050 E(I1)=BETA
23060 GOTO 23020
```

```
23070 E(L)=1.570796327*
23080 TER=1
23090 FOR L=1 TO TER
23100 COR=E(L)
23110 CTU=E(L-1)
23120 BETA(L)=COR-CTU
23130 AID=BETA(L)
23140 DELTA(L)=AMD*#
23150 FEVL=FV(L)
23160 SEND=SIN(A#E)
23170 RSEN=AMD*SEND
23180 FOR BE/E
23190 PEAS(L)=FOR*PSEN*FEVL
23200 NEXT L
23210 FOR M=1 TO TER
23220 FESD=FESD(M)
23230 PE=D*FAD(M)
23240 FETOT(M)=FESD+PE*D
23250 NEXT M
23260 PL=1
23270 YLO=F1(M)
23280 IF YLO > CERD THEN 23310
23290 ML=ML+1
23300 GOTO 23270
23310 M3=ML
23320 IF YLO > H THEN 23360
23330 PL=PL+1
23340 YLO=F1(M3)
23350 GOTO 23320
23360 PT=ML+1
23370 RCF=11-1T
23380 FC(PT)=RCP
23390 MFC=M/PC+E
23400 ML=ML-1
23410 FOR J=H3 TO PL
23420 BB=F1(J)
23430 SC=BB*Y1
23440 BD=BC*E
23450 FE=R*E
23460 BF=BE-BD
23470 J1=J+1
23480 FC(J1)=SCP(BF)
23490 NEXT J
23500 M3=ML+1
23510 LML=1
23520 THU=P*(M3-1)
23530 LHM=PC*(M3)
23540 DIF=THU-LHM
23550 RH=DIF*FEND
23560 HT(LML)=RH
23570 IM=1
23580 J=0
23590 LI=0
23600 M=0
23610 FID=F1(J)
23620 AT=J-1
23630 IF AT = 0 THEN AT=0 ELSE AT=AT
23640 RIOS=P1(AT)
23650 ESP=RID-RIOS
23660 M=M+ESP*PEND
```

```
23670 IF J=1 THEN 23700
23680 J=J+1
23690 GOTO 23610
23700 J=J+1
23710 INI2=P1(I)
23720 IF YNIVE = 9H THEN 23810
23730 VDLU=FV(I)
23740 FES=F(I)
23750 SCA=P1(I)-1
23760 ESTRA=FES*SCF
23770 ES2=ESTRA/2
23780 ENTFE=(ES2*FEND1)/2
23790 FROC=ENTFE*DLU
23800 W=W+ESTRA*VDLU*FFOD
23810 ICM(IM)=W
23820 IM=IM+1
23830 LI=LI+1
23840 J=1
23850 GOTO 23600
23860 IF YNIVE = CERD THEN 23900
23865 ROB=P1(J)-1
23870 FOC=RA*ROB
23880 RDA=FOC/2
23890 TRI=FV(I)
23900 KA=(RDA*FEND1)/2
23910 W=W+(RDA*TRI)*(TRA*TRI)
23920 ICM(IM)=W
23930 IM=IM+1
23940 IF YNIVE = CERD THEN 24000
23950 AR=YNIVE*RH
23960 WA=AR*DIF*TFI
23970 ICM(IM)=WB
23980 IM=IM+1
23990 J=J+1
24000 YLAV=P1(J)
24010 IF YLAV = CERD THEN 24080
24020 VLAV=P1(J)-1
24030 TFES=YLAV*VLAV
24040 PEVD=FV(J)
24050 WB=DIF*TFES*FEVG
24060 ICM(IM)=WB
24070 GOTO 23980
24080 IF (E1D=999) THEN VAR=FM ELSE VAR=P1(J)-1
24085 YLA:=P1(J)
24090 VSA=CERD*VA
24100 JCA=FV(J)
24110 VDA=VSA*DIF*VLA
24120 ICM(IM)=VDA
24130 IM=IM+1
24140 CUA=YLAV*CERD
24150 LZ=1
24160 FUN(LZ)=YLAV
24170 CINC0=(CUA*CF)/2
24180 WR=CINC0*VCA
24190 ICM(IM)=WB
24200 ZI=IM
24210 M=TER+1
24220 SEIS=YLAV*FI
24230 SIETE=SEIS/UMJ
24240 E(M)=ATN(SIETE)
```

```
24250 L=ELM
24260 EM=E(M-1)
24270 BETA(M)=EL-EM
24280 E2=BETA(M)
24290 DELTA(M)=E2*F
24300 S2A3=510-E2*
24310 ALI=E2-S2M3
24320 OS=EE/E
24330 W4D=OS+ALI*W4
24340 ADIC=C
24350 FOF K=1 TO 24
24360 DEN=10101
24370 ADIC=ADIC+DEN
24380 NEXT K
24390 FETOT(M)=ADIC+W4D
24400 M3=M3+1
24410 LML=LML+1
24420 YMU=YPC(M)
24430 DIFE=MI-YMU
24440 FM=DIFE/FEHD
24450 HT(LML)=FM
24460 K=1
24470 J=1:NM=1
24480 RAZ=PE10
24490 K3=HT(J)
24500 FAV=HT(J+1)
24510 IF RAZ > R3J THEN 24520
24520 Y=Y+1
24530 GOTO 24450
24540 IF RAZ > R3J THEN 24760
24550 ASC=RAZ-R3J
24560 AED=FAV
24570 ABE=ASC*FEND
24580 ABF=(ABE+BE)/2
24590 W2=GEF+ABD
24600 TOM(M)=W2
24610 NM=NM+1
24620 T=T+1
24630 RAZ=PI(T)
24640 IF RAZ > R3J THEN 24760
24650 TAA=PI(T-1)
24660 TBA=RAZ-TAA
24670 TCA=FAV(T)
24680 TCA=ABE+TBA*TC3
24690 TEA=TEA*FEND
24700 TFA=(TEA+TBA)/2
24710 TGA=1FA*TC4
24720 TOM(M)=TGA+TEA
24730 NP=NP+1
24740 FBE=FAE+TEA
24750 GOTO 24520
24760 IF RAN = H THEN 25410
24761 IF RAZ=M THEN 25410
24762 GOTO 24767
24767 GOM=PI(M+1)
24768 IF GOM > H THEN 26620
24769 IF RAZ < GOM AND RAZ > R3J THEN 24770
24770 CAL=FIK-11
24780 CEL=RAI-CAL
24790 CIL=CEL*FEND
```

24200 CCL=PV(I)
24210 CUL=CCL+REK+CGL
24220 CAL=(CCL+CIL)/2
24230 GEL=GAL+COL
24240 TDM(NM)=DEL+CUL
24250 NM=NM+1
24260 GIL=RAZ+FAK
24270 RAZ=FC(MJ-1)
24280 REA=RAA+YAU
24290 FCA=FP(I)
24300 TDM(NM)=GIL+RB+RAC
24310 NM=NM+1
24320 K=L+1
24330 LZ=L+1
24340 RDA=PI(I)
24350 REA=PUNILZ
24360 IF RDA = REN THEN 25030
24370 RFA=FI(I-1)
24380 RDA=RDA+RFA
24390 RHA=PV(I)
25030 RIA=RDA+RBA+RHA
25040 TDM(NM)=RJA
25050 GDT 24310
25060 RJA=FI(I-1)
25070 LZ=LZ+1
25080 PUNILZ)=RBA
25090 RJA=RDA-RJA
25100 RLA=PV(K)
25110 RMA=(FA+REA)/2
25120 TDM(NM)=RMA+RLA
25130 ADIC=0
25140 FOR L=1 TO NM
25150 RMA=ADM(L)
25160 ADIC=ADIC+RMA
25170 NEXT L
25180 RMA=ADIC
25190 FFA=FDA+YI
25200 RDA=FFA/YAU
25210 X=M+1
25220 E(M)=ATH(RCAI)
25230 FFA=E(M)
25240 BETA(M)=RAA-RSA
25250 RIA=BETA(M)
25260 DELTA(M)=PTAAR
25270 SENO=SIN(RTA)
25280 RUA=RJA-SENO
25290 RVA=BE/2
25300 RWA=RVA+RUA+PLA
25310 FEIOT(M)=RDA+RWA
25320 M=M+1
25330 HJ=HJ+1
25340 LML=LML+1
25350 YMU=FC(MJ)
25360 DIFE=II-YMU
25370 FM=DIFE/PEMD
25380 HT(LML)=RM
25390 K=1
25400 J=J+1
25410 NM=1
25420 GDT 24480

25410 SFA=F1A-11
25420 SFA=F2A-544
25430 SFA=SF+FEFG
25440 SFA=SCA+SBF
25450 SFA=SLA/2
25460 SFA=SPA/2
25470 SFA=SEA+SF4
25480 SFA=SOR+SEBA
25490 SFA=SCA/2
25500 SFA=SI4+SF4
25510 SFA=SC+(SJA)
25520 SFA=SLA+SE+SEMA
25530 SFA=SLA/2
25540 SFA=SHA-SYA
25550 SFA=SHA-ABE
25560 SFA=SHA-SHA
25570 SFA=SHA+SHA+SOA+SFA
25580 SFA=SR(SOA)
25590 SFA=F1A
25600 SFA=SR4+SB4
25610 TDM(H)=SIA
25620 ADIC=0
25630 FOR J=1 TO NM
25640 ESC=TDM(J)
25650 ADIC=ADIC+ESC
25660 NEXT J
25670 M=M+1
25680 SFA=E(M-1)
25690 SFA=J-1
25700 ZFA=M+Y1
25710 SFA=ZFA/SFA
25720 E(M)=A-N(SFA)
25730 SFA=E(M)
25740 BETA(M)=SIA-SJA
25750 SFA=BETA(M)
25760 DELTA(M)=SIA+R
25770 SZP=SIGN(SFA)
25780 UFA=SIA-SZA
25790 UFA=EE/2
25800 UCA=UBA+UAA+ESA
25810 FETOT(M)=UCA+ADIC
25815 GOTO 27100
25820 L=M
25830 HASTA=L
25840 GOSUB 2570
25850 GOSUB 2570
25860 MR=0
25870 MM=0
25880 FOR Y=1 TO HASTA
25890 KA=TI(L)
25900 FB=VF(L)
25910 RT=MM+RA
25920 MR=MR+PB
25930 NEXT Y
25940 MM=MM+MM
25950 MR=MR+MR
25960 IF MR=0 THEN STOP
25970 FS=MR/MM
25980 GOSUB 2595
25990 PILL)=R

```
26000 I(ILL)=I1
26010 Y(ILL)=Y1
26020 YF(ILL)=YF
26030 YF(ILL)=YF
26040 M(ILL)=M0
26050 M(ILL)=M0
26060 FS(ILL)=FS
26070 LL=LL+1
26075 IF TALL0=2000 THEN 26000
26080 SA=M/3
26090 YSUM=YSUM+SA
26095 M=M+1
26100 IF YSUM > M THEN 26120
26110 GOTO 22070
26120 YSUM=SA+EEA
26130 SB=M/4
26140 SC=M/2
26150 YSUM=YSUM+SB
26160 IF YSUM > SC THEN 26130
26170 GOTO 22070
26180 N1=9
26190 M=1
26200 SD=FS(M)
26210 MIN=SD
26220 MIN=M
26230 M=M+1
26240 IF M > N1 THEN 26210
26250 SE=FS(M)
26260 IF SE < MIN THEN 26260
26270 GOTO 26230
26280 MIN=SE(M)
26290 MIN=M
26300 GOTO 26230
26310 FSPT3=MIN
26320 ML=MINN
26330 CLS
26340 PRINT "FACTOR DE SEGURIDAD EN FALLA DE PIE DE TALUD CONSIDERANDO PUNTOS A
LA IZQUIERDA DE LA CORONA"
26350 PRINT
26360 PRINT "FACTOR DE SEGURIDAD= ",FSPT3
26370 PRINT "COORDENADAS INICIALES"
26380 PRINT "(X1,Y1):",X1(ML);PRINT ",(Y1):",Y1(ML);PRINT "!"
26390 WY0=X1(ML);WY0=Y1(ML)
26390 PRINT "COORDENADAS FINALES"
26400 PRINT "(X1,Y1):",X1(ML);PRINT ",(Y1):",Y1(ML);PRINT "!"
26405 WY=X1(ML);WY=Y1(ML)
26410 PRINT "RADIO= ",R(ML)
26415 WH=X1(ML)
26420 PRINT "MOMENTO MOTOR= ",M(ML)
26425 W1=M(ML)
26430 PRINT "MOMENTO RESISTENTE= ",M1(ML)
26435 W1=M1(ML)
26440 REM
26450 IF FS1 < FSPT3 THEN 26460
26455 GOTO 26740
26460 IF FS1 = FSPT3 THEN 26460
26470 REM
26480 GOTO 26500
26490 CLS
26500 PRINT TAB(15); "R E S U L T A D O F I N A L":PRINT
```

```

26510 PRINT 'FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN EL TALUD, CON FALLA DE PIE=' ;:PRINT
USING '###.##':FPT:PRINT
26520 PRINT 'COORDENADAS INICIALES'
26530 PRINT 'I':PRINT USING '###.##':WIA:PRINT ',':PRINT USING '###.##':WIB:;
PRINT 'J':PRINT
26540 PRINT 'COORDENADAS FINALES'
26550 PRINT 'I':PRINT USING '###.##':WIC:PRINT ',':PRINT USING '###.##':WID:;
PRINT 'J':PRINT
26560 PRINT 'ADIG=' ;:PRINT USING '###.##':WIE:PRINT
26570 PRINT 'VALOR TOTAL DEL MOMENTO ROTOR=' ;:PRINT USING '###.##':WIF:PRINT
26580 PRINT 'VALOR TOTAL DEL MOMENTO RESISTENTE=' ;:PRINT USING '###.##':WIG:PRI
NT
26590 END
26600 CLS
26610 IF FPT = FBASE THEN 26620
26616 GOTO 26670
26620 PRINT 'FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN EL TALUD, CON FALLA DE BASE=' ;:PRINT
USING '###.##':FSEASE:PRINT
26630 WIA=WIA+WIB+WJ
26640 WIC=WIC+WID+WJ
26650 WIE=WIE
26660 WIF=WIF
26670 WIG=WIG
26680 GOTO 26590
26690 CLS
26700 IF FPT=FSPT THEN 26720
26701 GOTO 26709
26702 PRINT 'FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN EL TALUD, CON FALLA DE PIE=' ;:PRINT
USING '###.##':FSP12:PRINT
26712 WIA=WIA+WIB+WIF
26714 WIC=WIC+WID+WIR
26715 WIE=WIE
26716 WIF=WIF
26717 WIG=WIG
26718 GOTO 26590
26719 CLS
26710 IF FPT=FSEASE THEN 26720
26715 GOTO 26730
26720 PRINT 'FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN EL TALUD, CON FALLA DE BASE=' ;:PRINT
USING '###.##':FSEASE2:PRINT
26721 WIA=WIA+WIB+WJ
26722 WIC=WIC+WID+WIC
26723 WIE=WIE
26724 WIF=WIF
26725 WIG=WIG
26726 GOTO 26590
26730 STOP
26740 CLS
26745 PRINT 'FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN EL TALUD, CON FALLA DE PIE=' ;:PRINT
USING '###.##':FSP13:PRINT
26755 WIA=WIA+WIB+WIE
26755 WIC=WIF+WID+WIG
26765 WIE=WIE
26765 WIF=WIF
26770 WIG=WIG
26775 GOTO 26590
26800 IF YNIVE = W THEN 31500
26805 BETA=999
26810 GOTO 23865
26820 UAA=RAK+PI

```

26630 UAB=UAA*2
26640 UAC=UAE
26650 UAD=UAC-UAB
26660 UAE=5DF(UAC)
26670 UAF=UAE-YM
26680 UAG=UAF-CIL
26690 UAH=5EE-UAG
26700 CAL=FI*(I-1)
26710 CEL=CAF-CAL
26720 CIL=CEL+FCNG
26730 COL=FY*(I)
26740 CUL=CEL+JAB+CCL
26750 DAL=(CEL+CIL)/2
26760 DEL=DAL+COL
26770 DFL=(CEL+DAH)/2
26780 GLA=DFL+CCL
26790 TOR(NM)=CUL+DEL+OLA
27000 NP=NM+1
27010 GIL=RAZ-RA
27020 RAA=UAE
27030 RAB=RAM-1MU
27040 RCA=FY*(I)
27050 TDA=(DIL+FEA)/2
27060 ICN(NM)=TOR+RCA
27070 RDA=RAZ
27080 GDT 25100
27100 MAI=R-YI
27110 J=1
27120 CPA=PI(I)
27130 IF CPA > N THEN 27160
27140 J=J+1
27150 GDT 27120
27160 IF CAA > MAI THEN 27260
27170 REM
27180 ESP(J)=C+A-H
27190 J=J
27200 J=J+1
27210 CAB=PI(J)
27220 IF CAB > MAI THEN 27260
27230 CAC=PI(J-1)
27240 ESP(J)=CAB-CAC
27250 GDT 27210
27260 CAD=FI(J-1)
27270 ESP(J)=MAI-CAD
27280 JM=J
27290 TAL=(IBL+O)TEL=0
27300 FOR I=J TO JM
27310 CAE=ESP(I)
27320 VV=FY(I)
27330 CAF=BLE*(I)
27340 CAB=PLAST(I)
27350 TAL=TAL+CAE+FA
27360 TEL=IBL+CAE+CAF
27370 TCL=TCL+CAE+CAE
27380 HEAT I
27390 FJN=MAI-F
27400 YOLP=TAL/FJN
27410 CH=TEL/FJN
27420 FI=TCL/FJN
27430 HAA=(I)-IF
27440 HEE=(FI+HGA)/2

```
27400 PEEB=HEE+VOLF
27460 HBC=VYF
27470 HFC=VCC+VFC
27480 M=N+1
27490 BETA(M)=ATH/HEB
27500 HFE=EST+M
27510 DELTA(M)=HTE+P
27520 TD=SIM/HFE
27530 FTE=HFE*TD
27540 YTF=HFE+VTE+YDF
27550 PETH(M)=PESO+YTF
27560 CDE(M)=CM
27570 PH(M)=F1
27580 M=N+1
27590 PETH(M)=PESO+YTF
27600 CDE(M)=CM
27610 PH(M)=F1
27620 BETA(M)=ATH/HFE
27630 DELTA(M)=HTE+P
27640 GOTO 27520
27650 ESP(J)=PAT-M
27660 J=J
27670 JH=J
27680 GOTO 2720
30090 J=1
30100 TAT=F111
30120 IF TAT > COY THEN 30150
30130 J=J+1
30140 GOTO 30010
30150 IF TAT > VM THEN 30180
30160 J=J
30170 TPA=T1+Y1
30180 TAP=TPA*2
30190 TRC=FC*2
30200 SAC=PC-TRC
30210 TCE(J)=SAP/TPA
30220 J=J+1
30230 TAT=F111
30240 IF TAT > VM THEN 30270
30250 GOTO 30070
30260 TRC(J)=0
30270 IC=IC
30280 M=0
30290 J=1
30295 TRC=V11
30300 JH=20+20*ICE
30310 IF J=IC THEN 30320
30320 GOTO 30190
30330 J=J+1
30340 CP=P111
30350 IF CP > VM THEN 30370
30360 CC=CP-20
30370 CP=20+CC*JF
30380 JI=J+1
30390 M=M+20*21
30400 TRC=V11+M
```

30224 GOTO 30180
 30230 ZS=V*CA
 30240 D=1/2*ZD/10
 30250 Z1=PV(1)
 30260 M=4*CH*Z1
 30270 P=SQRT(C*M)
 30280 VC=IC
 30290 M=TEP*1
 30300 LM=M
 30410 FFA=TEE*(KCI)
 30420 FFB=Z*V1
 30430 PAC=PAR/PAB
 30440 DETAIN1=ATN(PAC)
 30450 PAC=DETAIN1
 30460 DELTAIN1=PRD*P
 30470 SEND=SIN(P*PD)
 30480 PESE=PAD-SEND
 30490 PV=PV*(C+1)
 30500 JKE*(C+1)=PDR+PESE*PV
 30510 PAE=VAD*(KCI)
 30520 FAT=PESD*(KCI)
 30530 PETOT(M)=PRE+PRF
 30540 CD=PE(M)=CDNE(LM-1)
 30550 PH1(M)=PH1(LM-1)
 30560 IF CD=30 THEN 30610
 30570 C=C+1
 30580 M=M+1
 30590 LM=LM+1
 30600 GOTO 30410
 30610 JK=TC-1
 30620 FOR K=1 TO JK
 30630 A=PI*(K)
 30640 B=PI*(K-1)
 30650 H(A)=A-B
 30660 NEXT K
 30670 VL=K-1
 30680 FIR=PI*(VL)
 30690 L=J*V1
 30700 H*(L)=CD*FIR
 30710 ECT=TEE*(JC)
 30720 BAA=ABS(I11)
 30730 ENE=EAN-GET
 30740 FOR Y=1 TO L
 30750 CHA=H*(Y)
 30760 CHI=F*(Y)
 30770 WFL(Y)=CH*CHI*CHA
 30780 NEXT Y
 30790 L=L+1
 30800 THC=PI*(JC)
 30810 THA=THC*GDY
 30820 TH1=THA*CHC*1/2
 30830 WFL1(Y)=TH*CHI
 30840 THC=THC*1
 30850 TFC=THC*EST
 30860 TC2=PTN(TBC)
 30870 TIC=TC1*FAC
 30880 TFC=ATN(TIC)
 30890 C=UM*TC2-TEZ
 30900 EOLE=SIGN(CHC)

30910 DIFER=CHU-SEMO
30920 CIA=CHI
30930 WPA=FG+DIFER+CDA
30940 PESQ=0
30950 FOR I=1 TO L
30960 PESQ=WP(I)+PESQ.
30970 NEXT I
30980 N=N+1
30990 PETG(M)=PESQ+WFA
31000 BETA(M)=CPU
31010 DELTA(M)=CHUR
31020 CO-E(M)=CO-HEIC
31030 PHI(M)=PHI(JC)
31040 AHE=IGG
31050 COTO 18215
31060 FCE=PI(2-1)
31070 POC=CERC+POB
31080 RCD=RCDTP
31090 IRI=I*V1
31100 FOC=(RCD+PEN3)/2
31110 W=(WTRD+RI) * (TFA+FI.
31120 COM(M)=WK
31130 IM=IM1
31140 SAA=CERC
31150 PAX=H
31160 APE=WA+GC+PEND
31170 SPA=RAI-SAA
31180 SCA=EBB+PEMG
31190 SGA=SCA+PPE
31200 SBA=SCA*2
31210 SFA=SPA*2
31220 SBA=SEA+SFA
31230 SIA=SGA(SBA)
31240 SIA=SCA*2
31250 SJA=SIA+SFA
31260 SVA=SOR(SJA)
31270 SLD=SPA+AE+SHA
31280 SMC=SLA*2
31290 SHM=EM+SYA
31300 SCA=SM+SEE
31310 SQA=SM+SHA
31320 SDF=EM+SM+ECF+SPA
31330 SFA=SDR(SDF)
31340 SBA=PM*1
31350 SFA=SM+SJA
31360 SGM=IM+SIA
31370 N=N+1
31380 N=TER
31390 FIF I=1 TO NM
31400 TCM(I)=TDM(I)
31410 N=N+1
31420 BOTO 25020

3.6 PRUEBA DE ESCRITORIO Y CORRIJIDA DEL PROGRAMA.

En este subtítulo se comparan los resultados en el análisis de la estabilidad de un talud obtenidos tanto en forma directa como con el uso de la computadora.

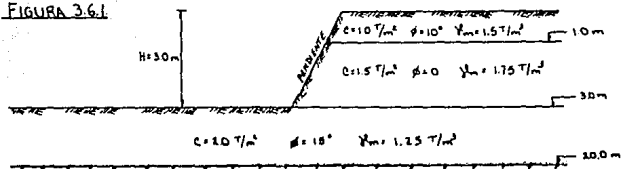
Debido al gran número de tanteos que se realiza para los posibles círculos de falla que se pueden tener en el análisis de estabilidad del talud, se consideró pertinente presentar en primer término los resultados obtenidos por la computadora y comprobar en forma directa únicamente los círculos de falla que arrojen los factores de seguridad mínimos.

Para presentar los resultados, se realizó el análisis en dos tipos de taludes: uno formado por material puramente cohesivo, manejando pendientes de 0.5:1 (horizontal a vertical) y 0.95:1; el segundo talud se formó de manera estratificada, incluyendo diversos tipos de materiales (cohesivos y cohesivos-friccionantes). En este caso, se manejaron también inclinaciones de 0.5:1 y 0.95:1.

Enseguida se muestran los ejemplos tratados en este capítulo:

EjemPlo No. 1.- Encuentre el círculo de falla crítico y su factor de seguridad mínimo para estabilidad del talud mostrado en la figura 3.6.1., con inclinaciones de pendiente 0.5:1 y 0.95:1

FIGURA 3.6.1



En las siguientes hojas se presentan los resultados obtenidos con ayuda del programa de computadora; en ellas se pueden ver las coordenadas de cada uno de los círculos de falla propuestos, su radio, el momento resistente, el momento motor y su factor de seguridad correspondiente. Al final se presentan los valores obtenidos para el factor de seguridad MINIMO correspondiente al talud que se está analizando.

*** ESTABILIDAD DE TALUDES ***

DATOS DEL TALUD:

ALTURA DEL TALUD: 3 m.
 PENDIENTE DEL TALUD: .5
 SOBRECARGA ARRIBA DEL TALUD: 0 ton/m²
 SOBRECARGA ABAJO DEL TALUD: 0 ton/m²

PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS

ESTRATO	INCLINACION (m.)	COHESION (ton/m ²)	FRICCION (co)	PESO VOLUMENICO (ton/m ³)
1	1.00	1.00	0.17	1.50
2	3.00	1.50	0.00	1.75
3	20.00	2.00	0.26	1.25

R E S U L T A D O S

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.35	5.83	14.45	2.49
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.75, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.09	5.07	9.74	1.60
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(1.50, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.00	5.87	8.92	1.52
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(1.50, -3.00)	4.64	6.35	14.90	2.35
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.75, 0.75)	(1.50, -3.00)	3.82	6.55	10.31	1.57
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(1.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	3.75	6.40	9.50	1.49
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.74	6.69	15.35	2.29
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.75, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.51	6.87	10.87	1.59
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(1.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.50	6.74	10.07	1.49
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	3.75	7.19	18.90	2.63
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.75, 0.00)	(2.25, -3.00)	3.35	6.49	13.47	2.08

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.50, 0.00)	(2.25, -3.00)	3.07	5.70	11.21	1.90
(0.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	4.37	7.45	17.05	2.55
(0.75, -0.75)	(2.25, -3.00)	4.04	6.25	13.40	2.02
(1.50, 0.75)	(2.25, -3.00)	3.82	6.40	11.79	1.84
(0.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	5.05	7.64	19.31	2.53
(0.75, 1.50)	(2.25, -3.00)	4.74	7.16	14.34	2.00
(1.50, 1.50)	(2.25, -3.00)	4.55	6.73	12.35	1.83
(0.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	4.24	9.02	24.09	2.67
(0.75, 0.00)	(3.00, -3.00)	5.75	7.54	17.95	2.38
(1.50, 0.00)	(3.00, -3.00)	3.55	5.86	12.53	2.13
(0.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	4.80	9.04	23.91	2.65
(0.75, 0.75)	(3.00, -3.00)	4.37	7.81	18.10	2.32
(1.50, 0.75)	(3.00, -3.00)	4.04	6.40	12.93	2.02
(0.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	5.41	9.02	23.91	2.65
(0.75, 1.50)	(3.00, -3.00)	5.03	7.97	18.35	2.30
(1.50, 1.50)	(3.00, -3.00)	4.74	6.73	13.36	1.98
(0.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	4.80	11.26	29.93	2.66
(0.75, 0.00)	(2.75, -3.00)	4.24	9.05	22.11	2.88
(1.50, 0.00)	(3.75, -3.00)	2.75	6.85	16.99	2.48
(0.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	5.30	11.00	29.58	2.67

COORD. INICIALES (0.75, 0.75)	COORD. FINALES (3.75, -3.00)	RADIO 4.69	MM.MOTOR 9.16	MM.RESIST. 22.93	F.S. 2.59
COORD. INICIALES (1.50, 0.75)	COORD. FINALES (3.75, -3.00)	RADIO 4.37	MM.MOTOR 7.25	MM.RESIST. 17.12	F.S. 2.36
COORD. INICIALES (0.00, 1.50)	COORD. FINALES (3.75, -3.00)	RADIO 5.86	MM.MOTOR 10.77	MM.RESIST. 29.09	F.S. 2.70
COORD. INICIALES (0.75, 1.50)	COORD. FINALES (3.75, -3.00)	RADIO 5.41	MM.MOTOR 9.18	MM.RESIST. 22.93	F.S. 2.59
COORD. INICIALES (1.50, 1.50)	COORD. FINALES (3.75, -3.00)	RADIO 5.03	MM.MOTOR 7.59	MM.RESIST. 17.37	F.S. 2.32
COORD. INICIALES (0.00, 0.00)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 5.41	MM.MOTOR 13.75	MM.RESIST. 36.35	F.S. 2.64
COORD. INICIALES (0.75, 0.00)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 4.80	MM.MOTOR 10.58	MM.RESIST. 28.92	F.S. 2.66
COORD. INICIALES (1.50, 0.00)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 4.24	MM.MOTOR 8.17	MM.RESIST. 22.14	F.S. 2.71
COORD. INICIALES (0.00, 0.75)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 5.86	MM.MOTOR 13.25	MM.RESIST. 35.45	F.S. 2.68
COORD. INICIALES (0.75, 0.75)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 5.30	MM.MOTOR 10.62	MM.RESIST. 28.38	F.S. 2.62
COORD. INICIALES (1.50, 0.75)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 4.80	MM.MOTOR 6.45	MM.RESIST. 21.94	F.S. 2.60
COORD. INICIALES (0.00, 1.50)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 6.36	MM.MOTOR 12.62	MM.RESIST. 34.85	F.S. 2.72
COORD. INICIALES (0.75, 1.50)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 5.86	MM.MOTOR 10.71	MM.RESIST. 28.09	F.S. 2.62
COORD. INICIALES (1.50, 1.50)	COORD. FINALES (4.50, -3.00)	RADIO 5.41	MM.MOTOR 8.61	MM.RESIST. 21.94	F.S. 2.55
COORD. INICIALES (-1.00, 0.00)	COORD. FINALES (1.50, -3.00)	RADIO 3.91	MM.MOTOR 6.01	MM.RESIST. 21.86	F.S. 3.64
COORD. INICIALES (-2.00, 0.00)	COORD. FINALES (1.50, -3.00)	RADIO 4.61	MM.MOTOR 6.54	MM.RESIST. 30.40	F.S. 4.65
COORD. INICIALES (-3.00, 0.00)	COORD. FINALES (1.50, -3.00)	RADIO 5.41	MM.MOTOR 7.49	MM.RESIST. 46.01	F.S. 5.41
COORD. INICIALES (-1.00, 0.75)	COORD. FINALES (1.50, -3.00)	RADIO 4.51	MM.MOTOR 6.45	MM.RESIST. 21.92	F.S. 3.40
COORD. INICIALES (-2.00, 0.75)	COORD. FINALES (1.50, -3.00)	RADIO 5.13	MM.MOTOR 6.76	MM.RESIST. 30.02	F.S. 4.43
COORD. INICIALES (-3.00, 0.75)	COORD. FINALES (1.50, -3.00)	RADIO 5.86	MM.MOTOR 7.39	MM.RESIST. 39.18	F.S. 5.30

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	5.15	6.76	22.11	3.27
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	5.70	6.99	29.67	4.27
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	6.36	7.43	35.62	5.20
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	4.42	6.33	27.39	3.29
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	5.20	5.70	36.73	3.79
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	6.05	11.39	47.17	4.15
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	4.96	8.37	27.99	3.23
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	5.67	9.50	35.96	3.78
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	6.45	10.87	45.93	4.23
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	5.55	6.41	26.91	3.20
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	6.19	9.36	35.47	3.79
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	6.91	10.59	45.03	4.29
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	5.00	10.95	33.36	3.05
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	5.62	13.19	43.60	3.33
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	6.71	15.48	54.89	3.54
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	5.46	10.59	32.70	3.06
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	6.25	12.51	42.46	3.40
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	7.08	14.54	52.91	3.64
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	6.02	10.43	32.20	3.09
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	6.73	12.04	41.65	3.45

COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	7.50	13.82	51.97	3.76
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	5.62	13.85	40.00	2.39
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	6.49	16.65	50.99	3.05
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	7.39	19.66	62.91	3.20
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	6.05	13.29	36.97	2.94
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	6.82	15.73	49.51	3.15
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	7.72	18.43	60.99	3.32
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(3.75, -3.00)	6.54	12.20	36.26	2.99
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(3.75, -3.00)	7.30	14.97	46.37	3.23
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(3.75, -3.00)	8.11	17.34	59.43	3.43
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(4.50, -3.00)	6.22	15.93	47.18	2.79
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(4.50, -3.00)	7.12	20.32	56.87	2.90
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(4.50, -3.00)	8.09	23.94	71.48	2.59
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(4.50, -3.00)	6.66	16.09	45.80	2.85
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(4.50, -3.00)	7.50	19.11	57.06	2.99
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(4.50, -3.00)	8.39	22.35	69.25	3.10
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(4.50, -3.00)	7.11	15.32	44.77	2.91
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(4.50, -3.00)	7.91	18.09	55.61	3.07
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(4.50, -3.00)	8.75	21.02	67.38	3.21
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.50, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.14	2.84	11.10	3.91
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.50, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.21	1.50	15.40	4.60

COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MM.MOTOR	MM.RESIST.	F.S.
(2.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	3.68	3.73	11.66	3.12
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MM.MOTOR	MM.RESIST.	F.S.
(3.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	4.65	2.54	15.51	6.10
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MM.MOTOR	MM.RESIST.	F.S.
(4.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	4.80	1.53	20.69	13.43
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MM.MOTOR	MM.RESIST.	F.S.
(2.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.61	4.39	12.22	2.79
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MM.MOTOR	MM.RESIST.	F.S.
(3.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.92	3.29	15.83	4.61
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MM.MOTOR	MM.RESIST.	F.S.
(4.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	5.41	2.34	20.56	8.80

R E S U L T A D O F I N A L

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO EN EL TALUD, CON FALLA DE PIE= 1.49

COORDENADAS INICIALES

(1.50, 0.75)

COORDENADAS FINALES

(1.50, -3.00)

RADIO= 3.75 m.

VALOR TOTAL DEL MOMENTO MOTOR= 6.40 ton·m

VALOR TOTAL DEL MOMENTO RESISTENTE= 9.50 ton·m

*** ESTABILIDAD DE TALUDES ***

DATOS DEL TALUD:

ALTURA DEL TALUD: 3 m.
 PENDIENTE DEL TALUD: .95
 SOBRECARGA ARRIBA DEL TALUD: 0 ton/m²
 SOBRECARGA ABAJO DEL TALUD: 0 ton/m²

PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS

ESTRATO	INCLIN.	COHESION	FRICCIÓN	PESO VOL.	
(m)	(gr)	(ton/m ²)	(%)	(ton/m ³)	
1	1	1.00	1.00	0.17	1.50
2	2	3.00	1.50	0.00	1.75
3	3	20.00	2.00	0.26	1.25

R E S U L T A D O S

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(2.85, -3.00)	4.14	6.34	23.87	3.77
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.00)	(2.85, -3.00)	3.32	5.87	13.13	2.24
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.00)	(2.85, -3.00)	3.00	2.86	6.57	2.30
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(2.85, -3.00)	4.71	6.77	23.78	3.52
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.75)	(2.85, -3.00)	4.01	6.39	13.55	2.12
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.75)	(2.85, -3.00)	3.75	4.89	12.04	2.48
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(2.85, -3.00)	5.33	7.06	23.86	3.38
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 1.50)	(2.85, -3.00)	4.72	6.73	14.02	2.08
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 1.50)	(2.85, -3.00)	4.50	5.42	12.41	2.29
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	4.67	9.51	29.20	3.07
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.00)	(3.00, -3.00)	3.71	6.93	17.45	2.52

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.00)	(3.60, -3.00)	3.09	5.25	14.53	2.48
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(3.60, -3.00)	5.20	9.40	28.79	3.05
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.75)	(3.60, -3.00)	4.34	7.29	17.63	2.42
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.75)	(3.60, -3.00)	3.62	5.61	15.33	2.73
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(3.60, -3.00)	5.74	9.30	28.59	3.07
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(1.43, 1.50)	(3.60, -3.00)	5.00	7.51	17.91	2.38
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(2.85, 1.50)	(3.60, -3.00)	4.56	5.92	15.90	2.68
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(4.35, -3.00)	5.28	12.30	35.61	2.90
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.00)	(4.35, -3.00)	4.19	8.37	22.56	2.69
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.00)	(4.35, -3.00)	3.35	6.13	15.72	2.56
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(4.35, -3.00)	5.74	11.86	34.80	2.93
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.75)	(4.35, -3.00)	4.78	8.58	22.40	2.61
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.75)	(4.35, -3.00)	4.04	6.18	16.33	2.64
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(4.35, -3.00)	6.26	11.50	34.29	2.98
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(1.43, 1.50)	(4.35, -3.00)	5.37	8.68	22.43	2.59
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(2.85, 1.50)	(4.35, -3.00)	4.74	6.43	16.84	2.62
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(5.10, -3.00)	5.92	15.34	42.55	2.77
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.00)	(5.10, -3.00)	4.74	10.12	28.31	2.60
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.00)	(5.10, -3.00)	3.75	6.26	17.99	2.87
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(5.10, -3.00)	6.23	14.40	41.39	2.83

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.75)	(5.10, -3.00)	5.25	10.16	27.60	2.73
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.75)	(5.10, -3.00)	4.37	6.52	18.17	2.74
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(5.10, -3.00)	6.80	13.97	40.54	2.90
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 1.50)	(5.10, -3.00)	5.31	10.15	27.54	2.71
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 1.50)	(5.10, -3.00)	5.03	6.84	19.44	2.70
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(5.85, -3.00)	6.57	13.55	50.01	2.70
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.00)	(5.85, -3.00)	5.35	12.09	34.66	2.87
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.00)	(5.85, -3.00)	4.24	6.77	21.41	3.16
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(5.85, -3.00)	6.45	17.56	48.50	2.76
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 0.75)	(5.85, -3.00)	5.80	12.00	33.80	2.82
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 0.75)	(5.85, -3.00)	4.90	7.17	21.18	2.95
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(5.85, -3.00)	7.38	16.71	47.34	2.83
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(1.43, 1.50)	(5.85, -3.00)	6.31	11.86	33.23	2.80
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(2.85, 1.50)	(5.85, -3.00)	5.41	7.43	21.15	2.85
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(2.85, -3.00)	4.82	7.59	32.78	4.32
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(2.85, -3.00)	5.70	9.23	42.74	4.63
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(2.85, -3.00)	6.57	11.25	53.70	4.77
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(2.85, -3.00)	5.37	7.75	32.25	4.16
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(2.85, -3.00)	6.13	9.06	41.76	4.61
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(2.85, -3.00)	6.95	10.71	52.26	4.88

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	5.92	7.57	31.76	4.06
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	5.62	8.74	41.07	4.54
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	7.36	13.32	51.16	4.96
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 2.00)	(3.60, -3.00)	5.49	11.60	39.41	3.56
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.60)	(3.60, -3.00)	6.35	13.35	50.18	3.76
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(3.60, -3.00)	7.25	15.04	61.70	3.86
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(3.60, -3.00)	5.92	10.66	38.48	3.50
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(3.60, -3.00)	5.74	12.59	48.79	3.85
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(3.60, -3.00)	7.59	14.99	60.07	4.01
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(3.60, -3.00)	6.44	16.44	37.85	3.63
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(3.60, -3.00)	7.18	12.16	47.75	3.93
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(3.60, -3.00)	7.99	14.16	58.61	4.14
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(4.35, -3.00)	6.13	14.59	46.56	3.19
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(4.35, -3.00)	7.02	17.58	58.08	3.30
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(4.35, -3.00)	7.94	20.89	70.52	3.38
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(4.35, -3.00)	6.53	13.87	45.26	3.26
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(4.35, -3.00)	7.37	16.49	56.33	3.42
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.78)	(4.35, -3.00)	6.98	19.41	48.34	2.88
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(4.35, -3.00)	6.99	13.30	44.30	3.33
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM. MOTOR	MM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(4.35, -3.00)	7.72	15.61	54.95	3.52

COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(4.35, -3.00)	8.82	18.20	66.54	3.68
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(5.10, -3.00)	6.80	18.32	54.20	2.48
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(5.10, -3.00)	7.71	21.90	66.43	3.03
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(5.10, -3.00)	8.64	25.78	79.56	3.09
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(5.10, -3.00)	7.16	17.26	52.56	3.04
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(5.10, -3.00)	8.03	20.46	64.36	3.15
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(5.10, -3.00)	8.93	23.94	77.07	3.22
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(5.10, -3.00)	7.58	16.39	51.26	3.13
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(5.10, -3.00)	8.41	19.25	62.66	3.25
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(5.10, -3.00)	9.27	22.40	74.96	3.35
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(5.85, -3.00)	7.48	22.15	62.32	2.81
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(5.85, -3.00)	8.40	26.28	75.24	2.86
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(5.85, -3.00)	9.34	29.71	89.03	2.90
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(5.85, -3.00)	7.81	20.80	60.37	2.90
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(5.85, -3.00)	8.70	24.53	72.86	2.97
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(5.85, -3.00)	9.61	28.55	86.25	3.02
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(5.85, -3.00)	8.20	19.66	58.77	2.99
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(5.85, -3.00)	9.05	23.05	70.86	3.07
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(5.85, -3.00)	9.93	26.72	83.85	3.14

Como podrá notarse, en este segundo ejemplo no se presenta el valor del factor de seguridad mínimo de los resultados anteriormente obtenidos en la computadora, esto se debe a que en la serie de cálculos que realiza la máquina, pudieron haberse presentado dos casos que hacen que la computadora pare el proceso de solución y no sea posible seguir visualizando o imprimiendo los resultados. Estos casos pueden ser los siguientes:

- 1) Que el número de dovelas que se forman con el círculo que se analiza sea mayor a 10.
- 2) Que parte o todo el perímetro del círculo que se esté analizando quede fuera de la zona del talud. (Falla Local)

Para este caso en particular, el punto que se presentó fue el segundo.

Sin embargo, con los resultados que se obtuvieron se tiene que el círculo de falla crítico está definido por los siguientes valores:

RESULTADO FINAL

Factor de seguridad mínimo en el talud, con falla de pie = 2.08

Coordenadas iniciales

(1.43, 1.50)

Coordenadas finales

(2.85, - 3.00)

Radio = 4.72 m.

Valor total del momento motor = 6.73 ton.m

Valor total del momento resistente = 14.02 ton.m

En las figuras 3.6.2 y 3.6.3 se muestran los factores de seguridad obtenidos en los cálculos anteriores, señalando el factor de seguridad MINIMO obtenido para cada una de las pendientes consideradas en el análisis del talud.

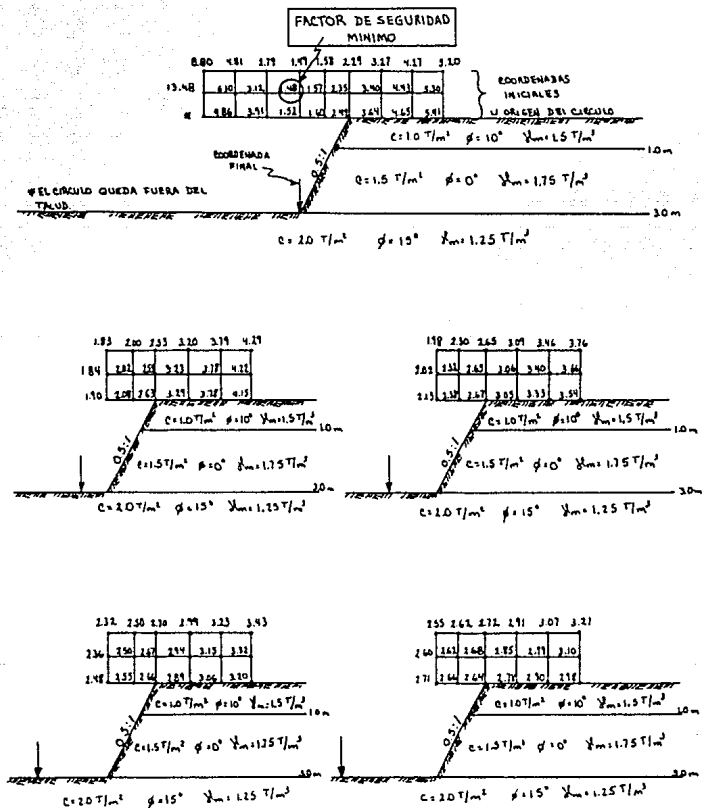


FIGURA 3.6.2.

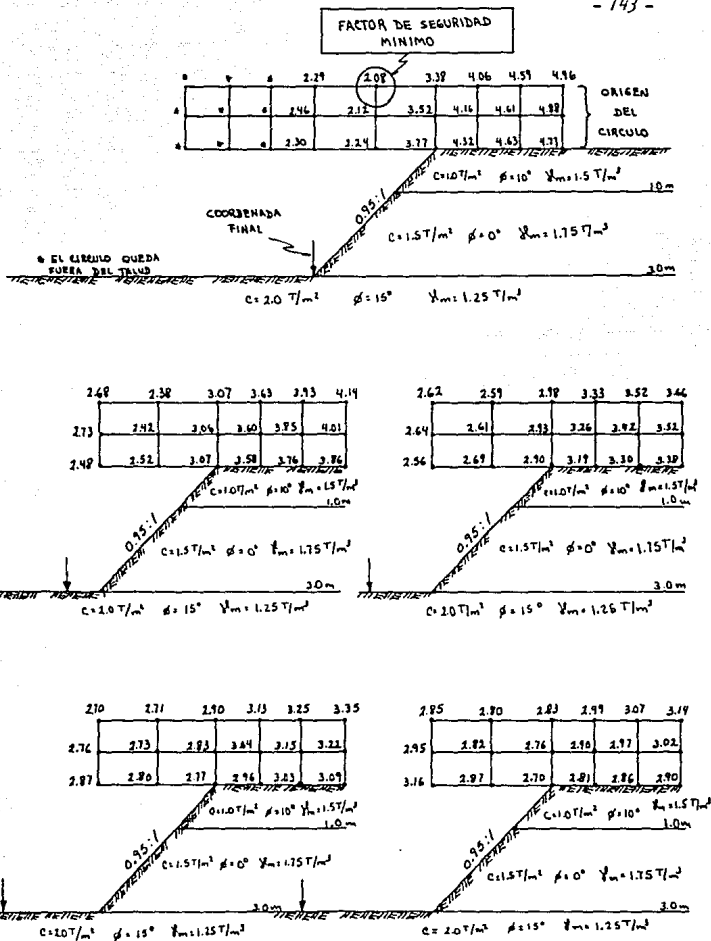


FIGURA 3.6.3.

Enseguida resolveremos en forma directa el círculo de falla que define al factor de seguridad MÍNIMO marcado anteriormente para cada de las inclinaciones tratadas en el problema.

Para el caso en que el valor de la pendiente es 0.5: 1, se tiene que el círculo crítico está definido por los siguientes datos:

ORIGEN DEL CÍRCULO..... (1.5, 0.75)
 COORDENADAS FINALES..... (1.5, - 3.00)
 RADIO 3.75 m.
 MOMENTO RESISTENTE..... 9.50 ton.m
 MOMENTO MOTOR..... 6.40 ton.m
 FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO..... 1.48

En la tabla 3.6.1 se presenta la solución analítica en la estabilidad del talud, mientras que la solución gráfica se presenta en la figura 3.6.4.

T A B L A 3.6.1

Wp/Li No	Wi	α_i	$\text{Cos}\alpha_i$	$\text{Sen}\alpha_i$	Ni	Ti	ΔLi	∇_i	$\nabla_i \text{Tan}\phi$	Si	Si ΔLi
—	ton.	(o)	—	—	ton.	ton.	mts.	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton.
1	0.330	70	0.342	0.940	0.113	0.310	1.080	0.105	0.019	1.019	1.101
2	6.135	42	0.743	0.669	4.558	4.104	2.520	1.809	0.000	1.500	3.780
3	3.630	12	0.978	0.208	3.550	0.755	1.538	2.308	0.000	1.500	2.307
					Σ		5.169				Σ 7.188

$$\text{FACTOR DE SEGURIDAD} = \frac{\Sigma Si \Delta Li}{\Sigma Ti} = \frac{7.188}{5.169} = 1.39$$

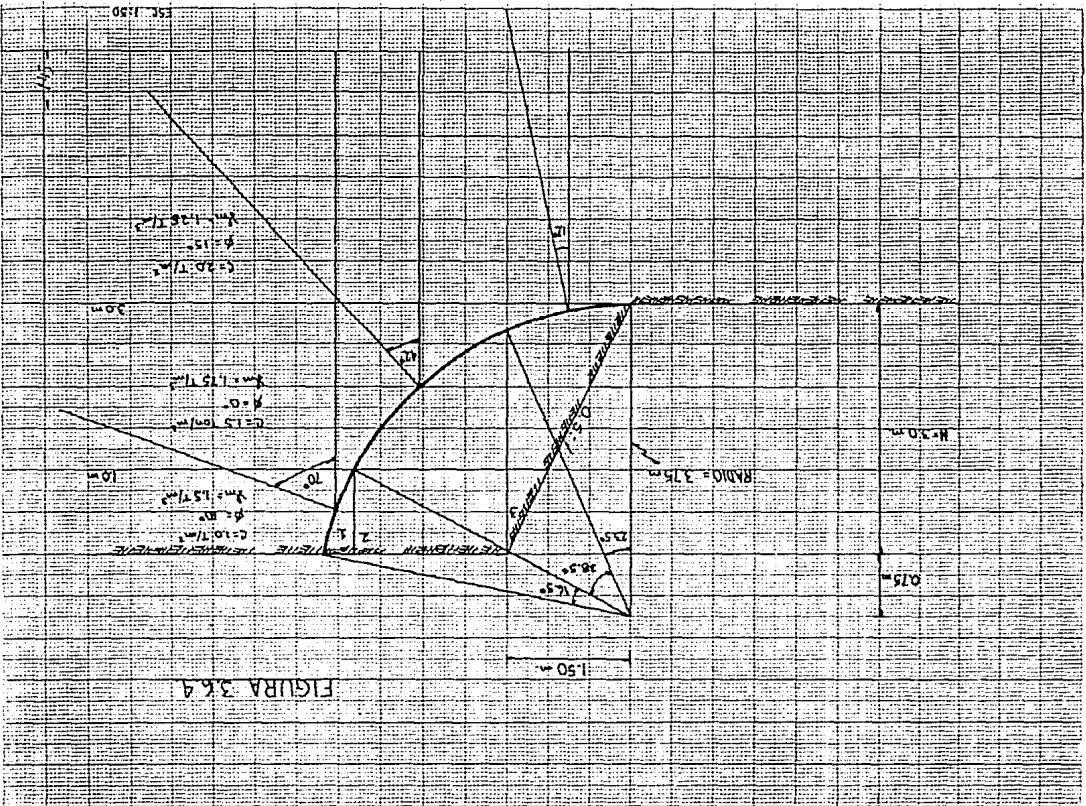
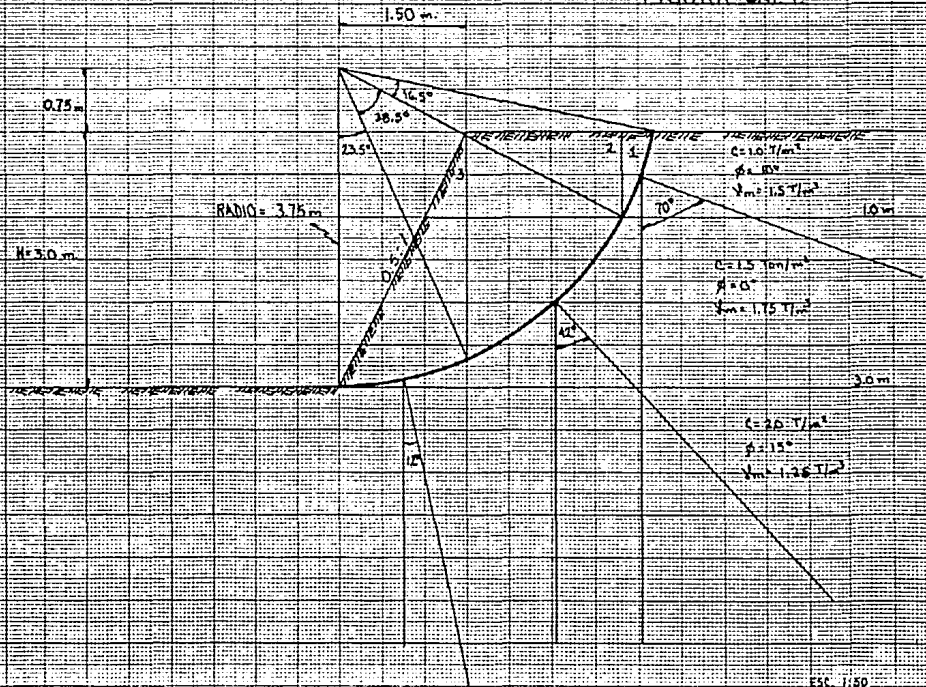


FIGURA 3.6.9

FIGURA 3.6.4.



Para el caso en que la pendiente del problema corresponde a 0.95: 1, el círculo crítico está definido por los siguientes datos:

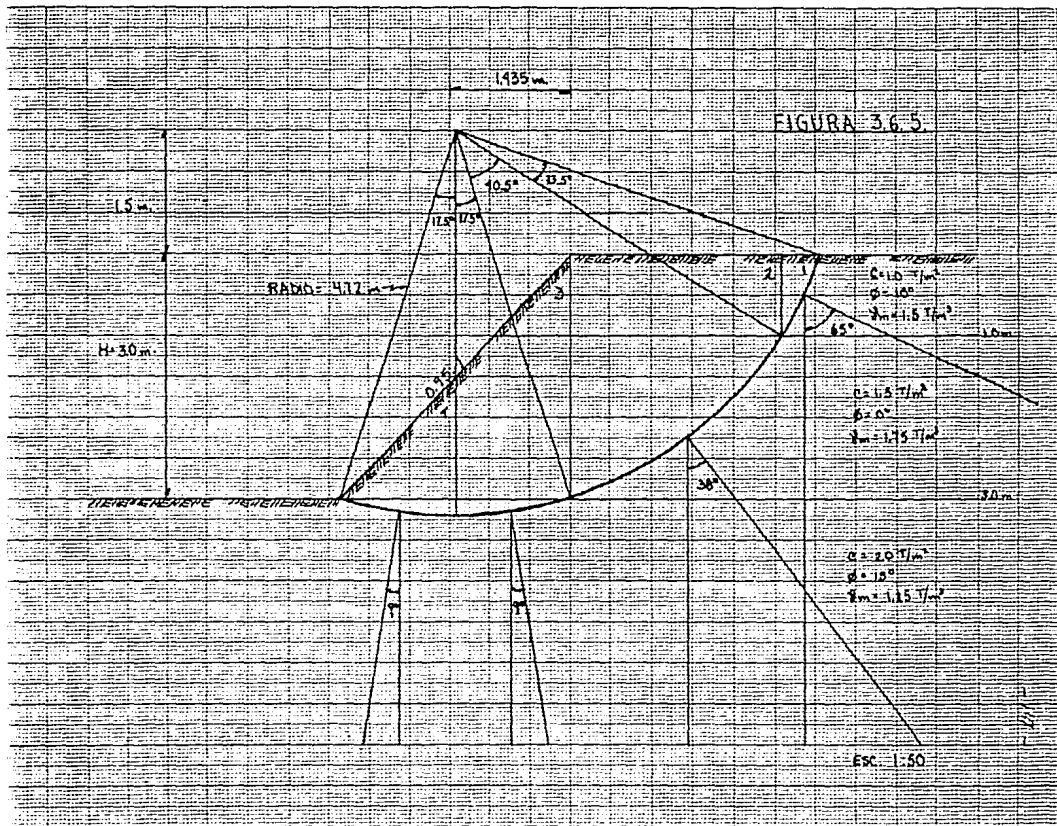
ORIGEN DEL CIRCULO (1.43 , 1.50)
 COORDENADAS FINALES (2.85 , - 3.0)
 RADIO..... 4.72 m.
 MOMENTO RESISTENTE 14.02 ton·m
 MOMENTO MOTOR 6.73 ton·m
 FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO 2.08

En la tabla 3.6.2. se presenta la solución analítica al problema de estabilidad del talud, mientras que en la figura 3.6.5. se muestra la solución gráfica que da origen a la analítica.

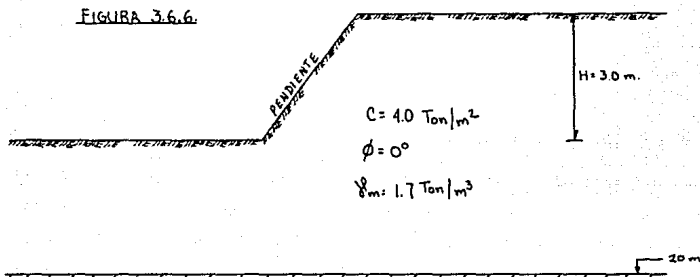
T A B L A 3.6.2.

AVENA No	W_i	α_i	$\text{Cos } \alpha_i$	$\text{Sen } \alpha_i$	N_i	T_i	ΔL_i	∇_i	$\nabla_i \tan \phi$	S_i	$S_i \Delta L_i$
—	ton.	(o)	—	—	ton.	ton.	mts.	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton.
1	0.393	65	0.423	0.906	0.166	0.356	1.112	0.149	0.026	1.026	1.141
2	9.489	38	0.788	0.616	7.477	5.845	3.336	2.241	0.000	1.500	5.004
3	5.797	9	0.988	0.156	5.757	0.904	1.442	3.972	1.064	3.064	4.418
4	2.099	-9	0.988	-0.156	2.074	-0.327	1.442	1.438	0.385	2.385	3.439
					Σ	6.778					Σ 14.002

$$\text{FACTOR DE SEGURIDAD} = \frac{\Sigma S_i \Delta L_i}{\Sigma T_i} = \frac{14.002}{6.778} = 2.07$$



EJEMPLO No.2.- Encuentre el círculo de falla crítico y el factor de seguridad MÍNIMO correspondiente para estabilidad del talud mostrado en la figura 3.6.6. con inclinaciones de pendiente 0.5: 1 y 0.95: 1 (horizontal a vertical).



Al igual que en el ejemplo anterior, se presentan en las siguientes hojas los resultados obtenidos con ayuda de la computadora, tanto para la pendiente de 0.5: 1 como para 0.95: 1

*** ESTABILIDAD DE TALUDES ***

DATOS DEL TALUD:

ALtura DEL TALUD: 3 m.
 PENDIENTE DEL TALUD: .5
 SOBRECARGA ARRIBA DEL TALUD: 0 ton/m2
 SOBRECARGA ABAJO DEL TALUD: 0 ton/m2

PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS

ESTRATO	INCLINACION	COHESION	FRICCION	PESO VOLU
(n)	(gr)	(ton/m2)	(%)	(ton/m3)
1	1.00	4.00	0.00	1.70
2	3.00	4.00	0.00	1.70
3	26.00	4.00	0.00	1.70

RESULTADOS

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOD. MOTOR	MOD. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.35	6.07	27.29	4.50
(0.75, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.09	6.29	22.46	3.57
(1.50, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.00	6.11	25.13	4.11
(0.00, 0.75)	(1.50, -3.00)	4.04	6.62	26.51	4.30
(0.75, 0.75)	(1.50, -3.00)	3.62	6.61	24.03	3.53
(1.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	3.75	6.66	26.71	4.01
(0.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.74	6.99	29.60	4.26
(0.75, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.56	7.14	25.56	3.53
(1.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.50	7.02	25.27	4.02
(0.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	3.75	7.50	33.21	4.43
(0.75, 0.00)	(2.25, -3.00)	3.35	6.70	27.29	4.07

COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.00)	(2.25, -3.00)	3.09	4.11	25.39	4.15
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	4.37	7.79	39.92	4.36
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.75, 0.75)	(2.25, -3.00)	4.04	7.15	28.51	3.99
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.75)	(2.25, -3.00)	3.82	3.65	26.96	4.06
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	5.03	7.97	34.85	4.37
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.75, 1.50)	(2.25, -3.00)	4.74	7.44	29.80	4.00
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(1.50, 1.50)	(2.25, -3.00)	4.56	7.01	28.53	4.07
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	4.24	9.42	39.99	4.24
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.75, 0.00)	(3.00, -3.00)	3.75	7.78	33.21	4.27
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.00)	(3.00, -3.00)	3.25	6.07	27.25	4.50
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	4.80	9.42	40.12	4.26
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.75, 0.75)	(3.00, -3.00)	4.37	8.08	33.92	4.20
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.75)	(3.00, -3.00)	4.04	6.62	28.51	4.30
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	5.41	9.40	40.62	4.32
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.75, 1.50)	(3.00, -3.00)	5.03	8.26	34.55	4.22
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(1.50, 1.50)	(3.00, -3.00)	4.74	6.99	29.80	4.26
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	4.80	11.78	47.39	4.02
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.75, 0.00)	(3.75, -3.00)	4.24	9.31	39.99	4.29
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.00)	(3.75, -3.00)	3.75	7.02	33.21	4.73
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	NOM.MOTOR	NOM.RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	5.39	11.48	46.97	4.69

COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.75, 0.75)	(3.75, -3.00)	4.80	9.44	40.12	4.25
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.75)	(3.75, -3.00)	4.37	7.47	33.92	4.54
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(3.75, -3.00)	5.86	11.23	47.02	4.19
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.75, 1.50)	(3.75, -3.00)	5.41	9.47	40.62	4.29
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(1.50, 1.50)	(3.75, -3.00)	5.02	7.75	34.85	4.50
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(4.50, -3.00)	5.41	14.40	55.24	3.94
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.75, 0.00)	(4.50, -3.00)	4.80	11.16	47.39	4.24
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.00)	(4.50, -3.00)	4.24	8.29	39.99	4.32
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.00, 0.75)	(4.50, -3.00)	5.86	13.85	54.32	3.92
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.75, 0.75)	(4.50, -3.00)	5.30	11.13	45.97	4.22
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(1.50, 0.75)	(4.50, -3.00)	4.89	8.65	40.12	4.64
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.00, 1.50)	(4.50, -3.00)	6.36	13.35	53.92	4.03
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(0.75, 1.50)	(4.50, -3.00)	5.86	11.04	47.02	4.26
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(1.50, 1.50)	(4.50, -3.00)	5.41	8.84	40.62	4.59
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.91	8.32	35.39	5.60
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(1.50, -3.00)	4.81	8.98	44.86	6.42
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(1.50, -3.00)	5.41	8.67	55.24	6.85
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(1.50, -3.00)	4.51	6.77	35.90	5.30
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(1.50, -3.00)	5.13	7.21	44.63	6.19
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(1.50, -3.00)	5.86	7.98	54.32	6.81

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	5.15	7.09	56.70	5.17
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	5.70	7.40	44.82	6.06
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(1.50, -3.00)	6.36	7.97	53.92	6.76
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	4.42	8.73	42.39	4.85
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	5.20	10.39	52.58	5.08
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(2.25, -3.00)	6.05	12.42	63.43	5.11
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	4.96	8.78	42.34	4.82
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	5.67	10.11	51.82	5.13
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	6.45	11.76	62.06	5.28
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	5.55	9.82	42.69	4.84
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	6.19	9.92	51.57	5.20
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	6.91	11.29	61.24	5.42
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	5.09	11.57	49.96	4.32
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	5.63	14.08	66.67	4.31
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	6.71	16.97	71.86	4.23
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	5.48	11.23	49.37	4.39
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	6.25	13.36	59.45	4.45
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	7.08	15.82	70.10	4.42
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	6.02	10.97	49.27	4.49
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	6.73	12.80	58.76	4.59

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	7.50	14.52	48.90	4.62
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	5.62	14.70	57.94	3.94
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	6.49	17.99	65.02	3.84
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(3.75, -3.00)	7.39	21.55	80.47	3.71
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	6.05	14.02	56.86	4.06
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	6.66	15.87	67.39	3.99
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(3.75, -3.00)	7.72	20.02	78.37	3.90
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(3.75, -3.00)	6.54	15.47	56.32	4.18
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(3.75, -3.00)	7.30	15.98	66.32	4.15
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(3.75, -3.00)	8.11	18.80	76.83	4.09
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.00)	(4.50, -3.00)	6.26	18.04	66.21	3.67
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.00)	(4.50, -3.00)	7.16	22.05	77.58	3.52
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.00)	(4.50, -3.00)	8.08	25.46	89.21	3.37
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 0.75)	(4.50, -3.00)	6.66	17.05	64.71	3.80
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 0.75)	(4.50, -3.00)	7.50	20.59	75.59	3.67
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(4.50, -3.00)	8.39	24.51	86.82	3.54
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-1.00, 1.50)	(4.50, -3.00)	7.11	18.23	69.76	3.93
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-2.00, 1.50)	(4.50, -3.00)	7.91	19.36	74.16	3.83
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 1.50)	(4.50, -3.00)	8.75	22.88	84.97	3.71
COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MDM. MOTOR	MDM. RESIST.	F.S.

COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(3.50, 0.00)	(1.50, -3.00)	3.61	1.5E	31.12	19.65
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(2.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	3.88	3.88	25.41	6.54
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(2.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	4.25	2.63	32.02	12.17
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(4.50, 0.75)	(1.50, -3.00)	4.60	1.57	40.12	25.56
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(2.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.81	4.57	26.89	5.88
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(3.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	4.92	3.43	33.08	9.65
COORD.INICIALES	COORD.FINALES	RADIO	MDM.MOTOR	MDM.RESIST.	F.S.
(4.50, 1.50)	(1.50, -3.00)	5.41	2.42	49.62	16.76

COORDENADAS INICIALES
(-3.00, 0.00)

COORDENADAS FINALES
(4.50, -3.00)

RADIO= 8.08 m.

VALOR TOTAL DEL MOMENTO MOTOR= 26.45 ton.m

VALOR TOTAL DEL MOMENTO RESISTENTE= 89.21 ton.m

FACTOR DE SEGURIDAD = 3.37

*** ESTABILIDAD DE TALUDES ***

DATOS DEL TALUD:

ALTURA DEL TALUD: 3 m.
 PENDIENTE DEL TALUD: .95
 SOBRECARGA ARRIBA DEL TALUD: 0 ton/m2
 SOBRECARGA ABAJO DEL TALUD: 0 ton/m2

PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS

ESTRATO	INCLINACION	COHESION	FRICCION	PESO VOL
(m)	(m)	(ton/m2)	(%)	(ton/m3)
1	1.00	4.00	0.00	1.70
2	3.00	4.00	0.00	1.70
3	20.00	4.00	0.00	1.70

RESULTADOS

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MOM. MOTOR	MOM. RESIST.	F.S.
(0.00, 0.00)	(2.85, -3.00)	4.14	6.63	39.57	5.82
(1.43, 0.00)	(2.85, -3.00)	3.32	6.07	26.75	4.41
(2.85, 0.00)	(2.85, -3.00)	3.06	2.87	19.88	6.58
(0.00, 0.75)	(2.85, -3.00)	4.71	7.09	38.83	5.48
(1.43, 0.75)	(2.85, -3.00)	4.01	5.63	28.92	4.23
(2.85, 0.75)	(2.85, -3.00)	3.75	5.17	33.49	6.48
(0.00, 1.50)	(2.85, -3.00)	5.33	7.40	39.41	5.32
(1.43, 1.50)	(2.85, -3.00)	4.72	5.99	29.34	4.20
(2.85, 1.50)	(2.85, -3.00)	4.50	5.72	34.59	6.03
(0.00, 0.00)	(3.60, -3.00)	4.67	10.18	45.87	4.51

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MM.MOTOR	MM.RESIST.	F.S.
(1.43, 0.00)	(3.60, -3.00)	3.71	7.16	32.56	4.55
(2.85, 0.00)	(3.60, -3.00)	3.07	6.12	39.05	4.91
(0.00, 0.75)	(3.60, -3.00)	5.20	10.00	45.56	4.55
(1.43, 0.75)	(3.60, -3.00)	4.34	7.55	33.34	4.41
(2.85, 0.75)	(3.60, -3.00)	3.82	5.94	32.52	5.48
(0.00, 1.50)	(3.60, -3.00)	5.76	9.86	45.69	4.63
(1.43, 1.50)	(3.60, -3.00)	5.09	7.80	34.31	4.40
(2.85, 1.50)	(3.60, -3.00)	4.56	6.26	34.09	5.45
(0.00, 0.00)	(4.35, -3.00)	5.25	12.15	53.64	4.08
(1.43, 0.00)	(4.35, -3.00)	4.19	8.62	39.28	4.56
(2.85, 0.00)	(4.35, -3.00)	3.35	6.22	51.48	5.06
(0.00, 0.75)	(4.35, -3.00)	5.74	12.61	52.82	4.19
(1.43, 0.75)	(4.35, -3.00)	4.75	9.86	39.47	4.46
(2.85, 0.75)	(4.35, -3.00)	4.04	6.36	33.76	5.25
(0.00, 1.50)	(4.35, -3.00)	6.26	12.19	52.50	4.31
(1.43, 1.50)	(4.35, -3.00)	5.37	8.98	40.02	4.46
(2.85, 1.50)	(4.35, -3.00)	4.74	6.65	34.89	5.25
(0.00, 0.00)	(5.10, -3.00)	5.92	16.43	61.77	3.76
(1.43, 0.00)	(5.10, -3.00)	4.74	10.40	46.62	4.48
(2.85, 0.00)	(5.10, -3.00)	3.75	6.33	34.98	5.52

COORD. INICIALES (0.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	RADIO 6.33	MDM.MOTOR 15.55	MDM.RESIST. 66.49	F.S. 3.69
COORD. INICIALES (1.43, 0.75)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	RADIO 5.25	MDM.MOTOR 10.48	MDM.RESIST. 46.28	F.S. 4.41
COORD. INICIALES (2.85, 0.75)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	RADIO 4.37	MDM.MOTOR 6.71	MDM.RESIST. 35.91	F.S. 5.35
COORD. INICIALES (0.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	RADIO 6.80	MDM.MOTOR 14.84	MDM.RESIST. 59.75	F.S. 4.03
COORD. INICIALES (1.43, 1.50)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	RADIO 5.21	MDM.MOTOR 10.47	MDM.RESIST. 46.35	F.S. 4.43
COORD. INICIALES (2.85, 1.50)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	RADIO 5.03	MDM.MOTOR 7.92	MDM.RESIST. 36.94	F.S. 5.27
COORD. INICIALES (0.00, 0.00)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 6.57	MDM.MOTOR 19.93	MDM.RESIST. 70.16	F.S. 3.52
COORD. INICIALES (1.43, 0.00)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 5.35	MDM.MOTOR 12.40	MDM.RESIST. 54.44	F.S. 4.39
COORD. INICIALES (2.85, 0.00)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 4.24	MDM.MOTOR 6.87	MDM.RESIST. 39.79	F.S. 5.82
COORD. INICIALES (0.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 6.55	MDM.MOTOR 16.75	MDM.RESIST. 68.47	F.S. 3.65
COORD. INICIALES (1.43, 0.75)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 5.80	MDM.MOTOR 12.33	MDM.RESIST. 53.57	F.S. 4.34
COORD. INICIALES (2.85, 0.75)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 4.30	MDM.MOTOR 7.33	MDM.RESIST. 40.12	F.S. 5.47
COORD. INICIALES (0.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 7.28	MDM.MOTOR 17.75	MDM.RESIST. 67.35	F.S. 3.79
COORD. INICIALES (1.43, 1.50)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 6.31	MDM.MOTOR 12.21	MDM.RESIST. 52.21	F.S. 4.26
COORD. INICIALES (2.85, 1.50)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	RADIO 5.41	MDM.MOTOR 7.63	MDM.RESIST. 40.62	F.S. 5.32
COORD. INICIALES (-1.00, 0.00)	COORD. FINALES (2.85, -3.00)	RADIO 4.88	MDM.MOTOR 8.07	MDM.RESIST. 43.41	F.S. 6.00
COORD. INICIALES (-2.00, 0.00)	COORD. FINALES (2.85, -3.00)	RADIO 5.70	MDM.MOTOR 10.05	MDM.RESIST. 59.03	F.S. 5.67
COORD. INICIALES (-3.00, 0.00)	COORD. FINALES (2.85, -3.00)	RADIO 6.57	MDM.MOTOR 12.53	MDM.RESIST. 70.16	F.S. 5.60
COORD. INICIALES (-1.00, 0.75)	COORD. FINALES (2.85, -3.00)	RADIO 5.37	MDM.MOTOR 6.21	MDM.RESIST. 47.93	F.S. 5.83
COORD. INICIALES (-2.00, 0.75)	COORD. FINALES (2.85, -3.00)	RADIO 6.13	MDM.MOTOR 9.78	MDM.RESIST. 57.89	F.S. 5.92

COORD. INICIALES	COORD. FINALES	RADIO	MGM. MOTOR	MGM. RESIST.	F.S.
(-3.00, 0.75)	(2.25, -3.00)	5.75	11.21	68.47	5.20
(-1.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	5.92	3.33	47.71	5.75
(-2.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	6.52	9.61	57.29	5.95
(-3.00, 1.50)	(2.25, -3.00)	7.35	11.29	67.35	5.97
(-1.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	5.47	11.78	56.32	4.78
(-2.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	6.25	14.20	67.34	4.51
(-3.00, 0.00)	(3.00, -3.00)	7.25	17.90	78.73	4.40
(-1.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	5.93	11.37	55.33	4.87
(-2.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	6.74	13.75	65.78	4.78
(-3.00, 0.75)	(3.00, -3.00)	7.57	16.57	76.70	4.63
(-1.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	6.44	11.07	54.68	4.96
(-2.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	7.18	13.10	64.78	4.94
(-3.00, 1.50)	(3.00, -3.00)	7.99	15.53	75.22	4.84
(-1.00, 0.00)	(4.35, -3.00)	6.13	15.73	64.54	4.10
(-2.00, 0.00)	(4.35, -3.00)	7.02	19.33	75.65	3.92
(-3.00, 3.00)	(4.35, -3.00)	7.94	23.39	87.45	3.74
(-1.00, 0.75)	(4.35, -3.00)	6.53	14.86	63.12	4.25
(-2.00, 0.75)	(4.35, -3.00)	7.37	17.98	73.43	4.11
(-3.00, 0.75)	(4.35, -3.00)	8.25	21.54	85.11	3.95
(-1.00, 1.50)	(4.35, -3.00)	6.95	14.17	62.25	4.39

COORD. INICIALES (-2.00, 1.50)	COORD. FINALES (4.35, -3.00)	FACIO 7.78	MDM.MOTOR 18.90	MDM.RESIST. 72.57	F.S. 4.29
COORD. INICIALES (-3.00, 1.50)	COORD. FINALES (4.35, -3.00)	FACIO 8.82	MDM.MOTOR 20.04	MDM.RESIST. 85.32	F.S. 4.16
COORD. INICIALES (-1.00, 0.00)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 6.80	MDM.MOTOR 19.37	MDM.RESIST. 75.00	F.S. 3.67
COORD. INICIALES (-2.00, 0.00)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 7.71	MDM.MOTOR 24.19	MDM.RESIST. 84.23	F.S. 3.49
COORD. INICIALES (-3.00, 0.00)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 8.44	MDM.MOTOR 28.98	MDM.RESIST. 96.29	F.S. 3.32
COORD. INICIALES (-1.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 7.16	MDM.MOTOR 18.59	MDM.RESIST. 71.19	F.S. 3.63
COORD. INICIALES (-2.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 8.03	MDM.MOTOR 22.41	MDM.RESIST. 82.29	F.S. 3.67
COORD. INICIALES (-3.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 8.93	MDM.MOTOR 26.68	MDM.RESIST. 93.68	F.S. 3.51
COORD. INICIALES (-1.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 7.58	MDM.MOTOR 17.54	MDM.RESIST. 69.94	F.S. 3.79
COORD. INICIALES (-2.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 8.41	MDM.MOTOR 20.95	MDM.RESIST. 80.61	F.S. 3.65
COORD. INICIALES (-3.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.10, -3.00)	FACIO 9.27	MDM.MOTOR 24.77	MDM.RESIST. 91.62	F.S. 3.70
COORD. INICIALES (-1.00, 0.00)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 7.48	MDM.MOTOR 24.15	MDM.RESIST. 81.63	F.S. 3.38
COORD. INICIALES (-2.00, 0.00)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 8.40	MDM.MOTOR 29.16	MDM.RESIST. 93.33	F.S. 3.20
COORD. INICIALES (-3.00, 0.00)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 9.34	MDM.MOTOR 34.65	MDM.RESIST. 105.21	F.S. 2.04
COORD. INICIALES (-1.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 7.81	MDM.MOTOR 22.51	MDM.RESIST. 79.48	F.S. 3.53
COORD. INICIALES (-2.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 8.70	MDM.MOTOR 27.01	MDM.RESIST. 90.61	F.S. 3.36
COORD. INICIALES (-3.00, 0.75)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 9.61	MDM.MOTOR 31.96	MDM.RESIST. 102.37	F.S. 3.20
COORD. INICIALES (-1.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 8.20	MDM.MOTOR 21.15	MDM.RESIST. 77.90	F.S. 3.68
COORD. INICIALES (-2.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 9.05	MDM.MOTOR 25.19	MDM.RESIST. 88.84	F.S. 3.53
COORD. INICIALES (-3.00, 1.50)	COORD. FINALES (5.85, -3.00)	FACIO 9.93	MDM.MOTOR 29.68	MDM.RESIST. 100.06	F.S. 3.37

Como podrá notarse, en este segundo ejemplo nuevamente no se presenta el valor del factor de seguridad mínimo de los resultados anteriormente obtenidos en la computadora, esto se debe a que en la serie de cálculos que realiza la máquina, pudieron haberse presentado dos casos que hacen que la computadora pare el proceso de solución y no sea posible seguir calculando e imprimiendo los resultados. Estos casos pueden ser los siguientes:

- 1) Que el número de dovelas que se forman con el círculo que se analiza sea mayor a 10.
- 2) Que parte o todo el perímetro del círculo que se está analizando quede fuera de la zona del talud. (Falla Local)

Para este caso en particular, lo que se presentó fue lo mencionado en el segundo inciso.

Sin embargo, con los resultados que se pudieron obtener se tiene que el círculo crítico de falla está definido por los siguientes valores:

RESULTADO FINAL

Factor de seguridad mínimo en el talud = 3.04

Coordenadas iniciales

(- 3.00, 0.00)

Coordenadas finales

(5.85, -3.00)

Radio = 9.34 m.

Valor total del momento motor = 34.65 ton.m

Valor total del momento resistente = 105.21 ton.m

En las figuras 3.6.7 y 3.6.8 se pueden observar los valores correspondientes a los factores de seguridad obtenidos para cada uno de los círculos calculados, señalando el factor de seguridad MÍNIMO obtenido para cada una de las pendientes consideradas en el análisis del talud.

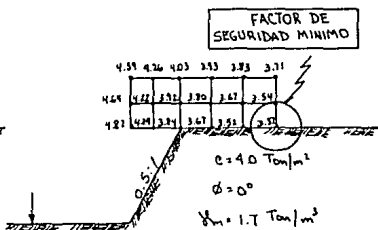
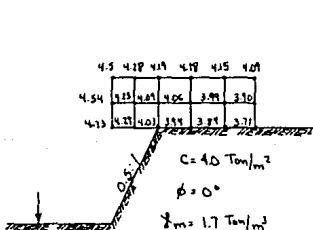
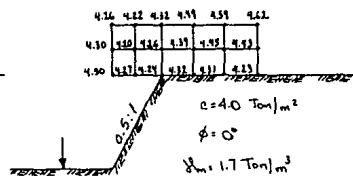
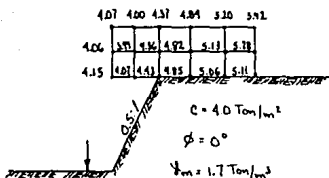
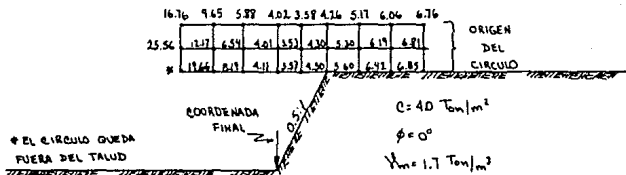


FIGURA 3.6.7

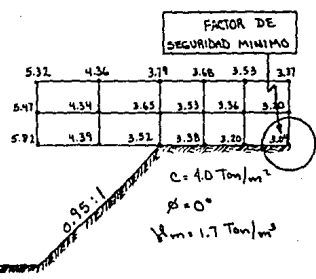
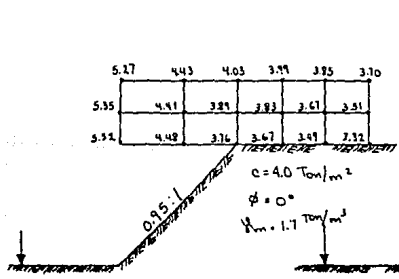
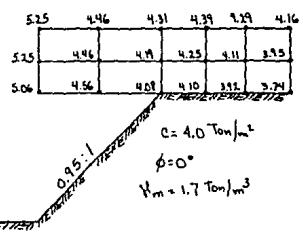
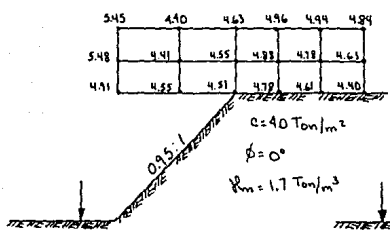
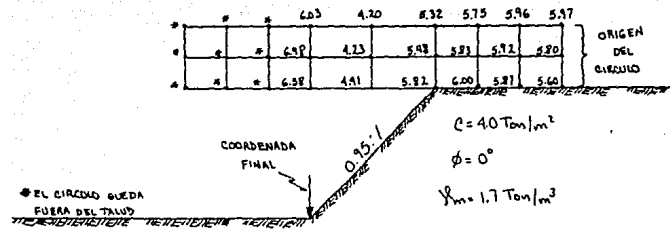


FIGURA 3.6.8

Resolviendo en forma directa los círculos de falla que dan por resultado los factores de seguridad mínimos para cada caso, se tiene lo siguiente:

Para la pendiente de 0.5: 1, el círculo crítico tiene las siguientes características:

ORIGEN DEL CIRCULO..... (-3.0, 0.0)
 COORDENADAS FINALES..... (4.5, -3.0)
 RADIO (8.08 m.)
 MOMENTO RESISTENTE..... 89.21 ton·m
 MOMENTO MOTOR..... 26.46 ton·m
 FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO..... 3.37

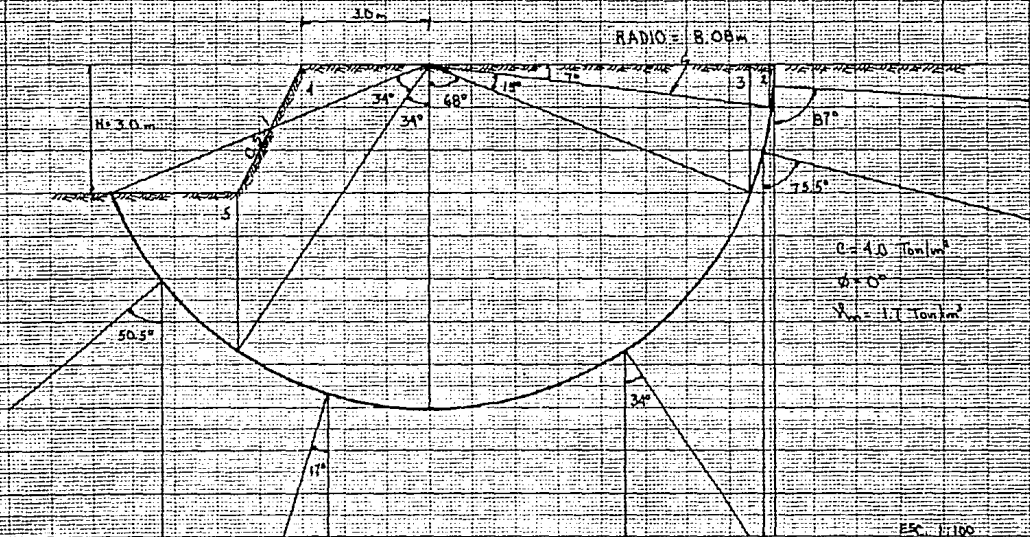
En la tabla 3.6.3. se presenta la solución analítica en la estabilidad del talud, mientras que la parte gráfica que da origen a dicha solución se muestra en la figura 3.6.9.

T A B L A 3.6.3.

POZEA No.	W_i ton.	α_i (°)	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	h_i ton.	T_i ton.	ΔL_i mts.	∇_i ton/m ²	$\nabla_i \tan \phi$ ton/m ²	S_i ton/m ²	$S_i \Delta L_i$ ton.
1	0.102	87	0.052	0.999	0.005	0.102	0.987	0.005	0.000	4.000	3.948
2	1.865	75.5	0.250	0.968	0.466	1.805	2.115	0.220	0.000	4.000	8.460
3	85.143	34	0.829	0.559	70.584	47.595	9.590	7.350	0.000	4.000	38.360
4	54.684	17	0.956	-0.292	52.278	-15.968	4.795	10.903	0.000	4.000	19.180
5	11.334	50.5	0.636	-0.772	7.208	-8.750	4.795	1.503	0.000	4.000	19.180
						Σ 24.784					Σ 89.128

$$\text{FACTOR DE SEGURIDAD} = \frac{\Sigma S_i \Delta L_i}{\Sigma T_i} = \frac{89.128}{24.784} = 3.60$$

FIGURA 3.6.9.



Para el caso en que la pendiente del problema corresponde a 0.95: 1, se tiene que el círculo crítico está definido por los siguientes valores:

ORIGEN DEL CIRCULO..... (-3.0, 0.0)
 COORDENADAS FINALES..... (5.85, -3.0)
 RADIO 9.34 m.
 MOMENTO RESISTENTE..... 105.21 ton·m
 MOMENTO MOTOR..... 34.65 ton·m
 FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO..... 3.04

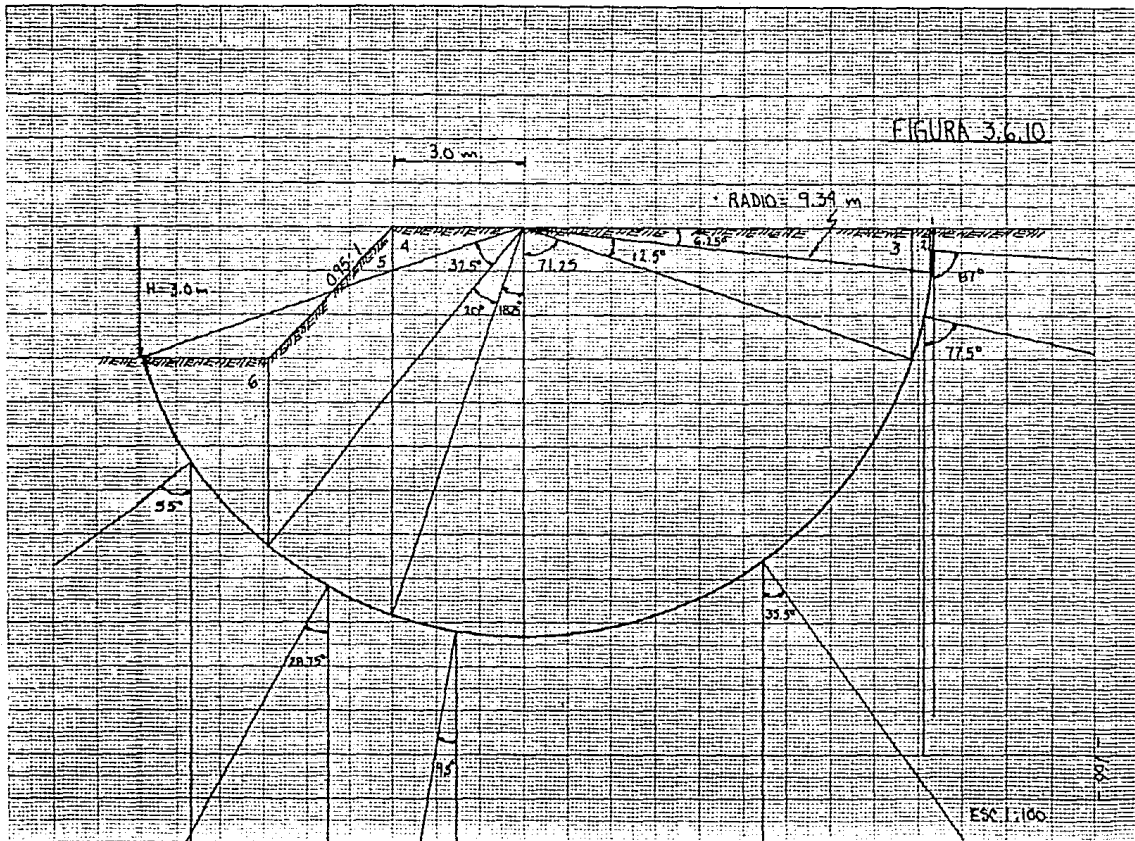
En la tabla 3.6.4. se presenta la solución analítica al problema de estabilidad del talud, mientras que en la figura 3.6.10 se puede apreciar la solución gráfica que da origen a la analítica.

T A B L A 3.6.4.

SECTORA No.	W_i ton.	α_i (°)	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	N_i ton.	T_i ton.	ΔL_i mts.	∇_i ton/m ²	$\nabla_i \tan \phi$ ton/m ²	S_i ton/m ²	$S_i \Delta L_i$ ton.
1	0.049	87	0.052	0.999	0.003	0.049	1.019	0.003	0.000	4.000	4.076
2	1.658	77.5	0.216	0.976	0.358	1.618	2.038	0.176	0.000	4.000	8.152
3	114.848	35.5	0.814	0.581	93.486	66.727	11.615	8.049	0.000	4.000	46.460
4	46.815	-9.5	0.986	-0.165	46.160	-7.724	3.057	15.100	0.000	4.000	12.228
5	32.354	28.7	0.877	-0.480	28.374	-15.530	3.260	8.704	0.000	4.000	13.040
6	13.159	-55	0.574	-0.819	7.553	-10.777	5.298	1.426	0.000	4.000	21.192
					Σ	34.363					Σ 105.148

$$\text{FACTOR DE SEGURIDAD} = \frac{\Sigma S_i \Delta L_i}{\Sigma T_i} = \frac{105.148}{34.363} = \underline{3.06}$$

FIGURA 3.6.10



3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Resumiendo los resultados que se obtuvieron en los dos ejemplos de estabilidad de taludes tratados en este capítulo, se tiene la tabla 3.7.1

T A B L A 3.7.1.

MÉTODO	EJEMPLO	PENDIENTE	R E S U L T A D O S	
			En forma directa	por computadora
DOVELAS	1	0.5 : 1	F.S.=1.391	F.S.=1.485
	1	0.95 : 1	F.S.=2.070	F.S.=2.080
DOVELAS	2	0.5 : 1	F.S.=3.600	F.S.=3.370
	2	0.95 : 1	F.S.=3.060	F.S.=3.040

Al comparar los resultados obtenidos en forma directa con los proporcionados por la computadora, notamos que en general son muy semejantes y que la diferencia que existe entre ellos es muy pequeña. La diferencia que aparece en los valores se debe a la cantidad de cifras significativas que toma la computadora en cada operación que realiza y a los errores de medición que se tienen en el cálculo de las áreas de las dovelas que componen el círculo de falla, en forma directa. Sin embargo, podemos considerar que los resultados que se obtienen por medio del empleo del programa de computadora son correctos.

CAPITULO IV

C A P I T U L O I V

CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS.

4.1 INTRODUCCION.

Otro de los aspectos de la Mecánica de Suelos que más preocupa al ingeniero civil, es el concerniente al problema de la capacidad de carga. El poder determinar el valor de la carga máxima que puedan soportar los suelos sin llegar a la falla es de gran importancia, sobre todo en el diseño y construcción de cimentaciones.

Para poder conocer estos valores, se han desarrollado una serie de teorías, basadas en hipótesis que suponen el comportamiento de los suelos y en análisis matemáticos a partir de tales ideas.

En este cuarto capítulo abordaremos algunas de las teorías de capacidad de carga que han desarrollado varios investigadores con el fin de encontrar una solución adecuada al problema. Entre éstas se hallan las expuestas por el Dr. Karl Terzaghi, H. W. Steppon y G. Meyerhof.

Se puede decir que todas las teorías matemáticas de capacidad de carga en suelos tienen como punto de partida la solución propuesta por Prandtl en el año de 1920, al problema de calcular la máxima presión que se puede dar a un elemento rígido de longitud infinita y base plana sin que éste penetre en un suelo, considerado como un medio semi-infinito, homogéneo, isotrópico y rígido plástico perfecto, la cual fue desarrollada en el marco de la teoría de la plasticidad.

Todas las teorías de capacidad de carga que se formaron a partir de las ideas de Prandtl proporcionaron una base más o menos científica al estudio de las cimentaciones. Estas teorías, auxiliadas por la clasificación y el estudio de los suelos, así como por mediciones del comportamiento de cimentaciones construídas, proporcionan una base común, que hace posible el intento de generalizar el conocimiento sobre cimentaciones, convirtiendo el arte de cimentar en una disciplina que tiende a lo científico cada vez más.

Las cimentaciones son clasificadas hoy en día en cimentaciones superficiales y en cimentaciones profundas.

Entiéndase por cimentación superficial o poco profunda a aquella en que la profundidad de desplante no es mayor a dos veces el ancho del cimiento,

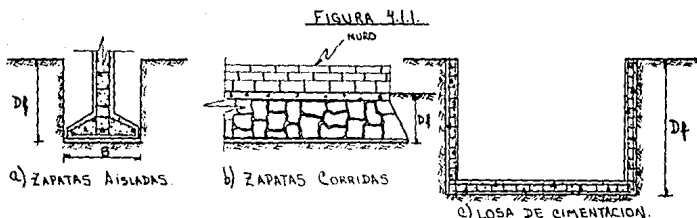
aunque éste es solo un criterio y no hay límite bien definido.

Entre los tipos más frecuentes de cimentaciones superficiales, utilizadas en diversas obras civiles, se hallan las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas de cimentación.

Las zapatas aisladas son elementos estructurales, generalmente cuadrados o rectangulares y en raras ocasiones circulares, que se construyen bajo columnas con el objeto de transmitir la carga de éstas al terreno en una mayor área, para lograr una presión de contacto adecuada. Las zapatas aisladas se construyen generalmente de concreto reforzado. Ver figura 4.1.1.a.

Las zapatas corridas son elementos estructurales semejantes a las aisladas, con la diferencia de que la longitud supera en mucho al ancho. Estas zapatas pueden soportar varias columnas o un muro y pueden ser de concreto reforzado o de mampostería. La zapata corrida es una forma evolucionada de la zapata aislada, en el caso en que el suelo ofrezca una resistencia baja, que obligue al empleo de mayores áreas de repartición o en el caso de que las cargas que deban transmitirse al suelo sean muy grandes, ver la figura 4.1.1.b.

Cuando el terreno presenta una resistencia o capacidad de carga muy baja o que las cargas de la estructura sean muy altas, las áreas para apoyo de la cimentación deberá aumentarse, llegando a emplear verdaderas losas de cimentación, ver la figura 4.1.1.c.



Sin embargo, en ocasiones los suelos en su parte superficial no presentan las condiciones adecuadas para el uso de cimentaciones poco profundas, por lo que es necesario buscar un apoyo más resistente a profundidades mayores. En este caso, se hace necesario recurrir al uso de cimentaciones profundas. Entre los tipos de cimentaciones profundas más comunes se encuentran los pilotes, que son elementos muy esbeltos, con dimensiones transversales que varían de 0.30 mts. a 1.0 mts., éstos pueden ser de madera, concreto o acero.

Otro tipo de cimentación profunda lo forman las pilas, que son elementos cuyo ancho sobrepasa el valor de 1.0 metro, pero no excede de 2.0 metros. Por último, se requieren muchas veces elementos de mayor sección que los anteriores, a los que se les da el nombre de cilindros, cuando son de esa forma geométrica, o cajones de cimentación, cuando son prismales. Los diámetros de los primeros suelen oscilar entre 3.0 y 6.0 metros, se construyen huecos para ahorro de materiales y reducción de peso, con un tapón en su punta y siempre se hacen de concreto. Los cajones tienen anchos similares, son huecos por la misma razón y se construyen también de concreto reforzado. En la figura 4.1.2. aparecen los tipos de cimentación descritos con anterioridad.

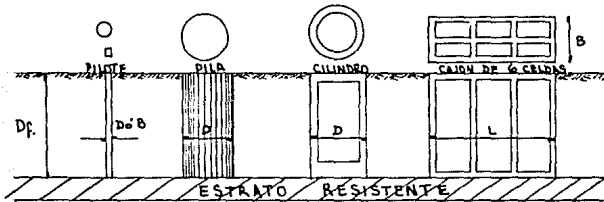


FIGURA 4.1.2.

- Generalidades sobre los pilotes.

El uso de pilotes como parte de la cimentación se hace necesario cuando se requiere:

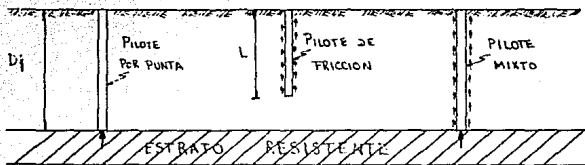
- 1) Transmitir las cargas de una estructura, a través de un espesor de suelo blando o a través de agua, hasta un estrato de suelo resistente, que garantice el apoyo adecuado.
- 2) Transmitir la carga a un cierto espesor de suelo blando, utilizando para ello la fricción lateral que se produce entre suelo y pilote.
- 3) Compactar suelos granulares, con fines de incremento de la capacidad de carga.
- 4) Proporcionar el debido anclaje lateral a ciertas estructuras (como tablas tacas) o resistir las fuerzas laterales que se ejerzan sobre ellas.
- 5) Alcanzar con la cimentación profundidades ya no sujetas a erosión, socavaciones u otros efectos nocivos.

Desde el punto de vista de su forma de trabajo, los pilotes se clasifican en: de punta, de fricción y mixtos.

Los pilotes de punta desarrollan su capacidad de carga con apoyo directo en un estrato resistente. Los pilotes de fricción desarrollan su resistencia

por la fricción lateral que generan contra el suelo que los rodea. Los pilotes mixtos aprovechan a la vez estos dos efectos. Ver la figura 4.1.3.

FIGURA 4.1.3.



El elegir el tipo de cimentación más adecuada en la construcción de una obra depende básicamente de los siguientes factores:

- resistencia del suelo (capacidad de carga).
- deformación (inmediata y a largo plazo).
- economía (proceso constructivo).

4.2. ENUNCIADOS DE LAS DISTINTAS TEORÍAS DE CAPACIDAD DE CARGA.

4.2.1. TEORÍA DE TERZAGHI.

El físico alemán Ludwig Prandtl estudió en el año de 1920, el problema de la penetración de un elemento rígido de longitud infinita y base plana a un medio semi-infinito, homogéneo, isótropo y rígido plástico perfecto; el Dr. Karl Terzaghi en base a estos estudios propuso un mecanismo de falla de un cimiento continuo poco profundo, como el que se aprecia en la figura 4.2.1, donde la cuña de la zona I se mueve como cuerpo rígido. La zona II es de deformación tangencial radial y la zona III es una zona donde se presenta un estado plástico pasivo de Rankine.

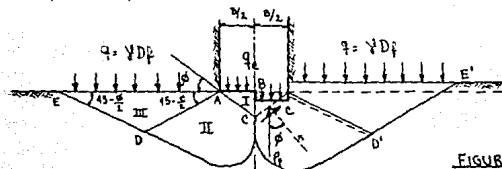
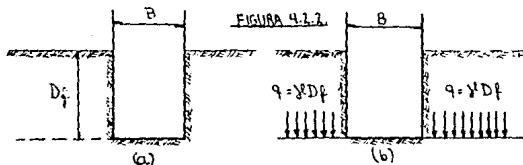


FIGURA 4.2.1.

La teoría de Terzaghi es uno de los primeros esfuerzos por adaptar a la Mecánica de Suelos los resultados de la Mecánica del medio continuo.

La teoría cubre el caso más general de suelos con cohesión y fricción y posiblemente sea la teoría más usada para el cálculo de capacidad de carga en el caso de cimientos poco profundos.

Terzaghi en su teoría, desprecia la resistencia al esfuerzo cortante arriba del nivel de desplante del cimiento, considerándola sólo de dicho nivel hacia abajo, como se indica en la figura 4.2.1. El terreno que se halla sobre la base del cimiento supone una sobrecarga $q = \gamma D_f$ actuando en un plano horizontal que pasa por la base del cimiento, véase la figura 4.2.2.



Para que se presente la falla en el terreno, será necesario que el cimiento junto con la cuña de la zona I, penetren al mismo; esto será posible siem-

pre y cuando logren vencer a las fuerzas resistentes que se oponen a dicha penetración. Estas fuerzas comprenden el efecto de la cohesión en las superficies AC y a la resistencia pasiva del suelo desplazado actuando en dichas superficies. Este empuje pasivo toma en cuenta el empuje debido a la cohesión actuante a lo largo de la superficie CD, denominándolo P_{pc} , el debido a la sobrecarga $q = \gamma_1 D_f$ que actúa sobre la superficie AE, representado por P_{pq} , y el debido a los efectos normales y de fricción a lo largo de la superficie de deslizamiento CD, causados por el peso de la masa de suelo en las zonas II y III, $P_{p\gamma}$. Ver figura 4.2.1.

Por tanto, el empuje pasivo total que actúa en la superficie AC será:

$$P_p = P_{pc} + P_{pq} + P_{p\gamma}$$

Trabajando algebraicamente con las fuerzas verticales que intervienen en el equilibrio, Terzaghi llegó a establecer que la capacidad de carga de un suelo está formada por los siguientes términos:

$$(q_c)(B) = 2P_p + c \text{ Sen } \theta$$

donde:

q_c = carga de falla en el cimiento, por unidad de longitud del mismo.

P_p = empuje pasivo actuando en la superficie AC.

c = fuerza de cohesión en la superficie AC.

Como $c = cB/2 \text{ Cos } \theta$, ver la figura 4.2.1., y sustituyendo el valor de P_p en la ecuación anterior, se tiene lo siguiente:

$$q_c = \frac{2}{B} (P_{pc} + P_{pq} + P_{p\gamma} + 0.5 c B \text{ Tan } \theta)$$

Terzaghi calculó algebraicamente los valores de P_{pc} , P_{pq} y $P_{p\gamma}$, y expresándolos en forma de literales, llegó a establecer la fórmula siguiente:

$$q_c = C \text{ hc} + \gamma_1 D_f \text{ h}_q + 0.5 \gamma_2 B \text{ h}_\gamma$$

donde:

q_c = capacidad de carga última que puede darse al cimiento, sin provocar su falla, en ton/m^2 .

c = cohesión del suelo, en ton/m^2 .

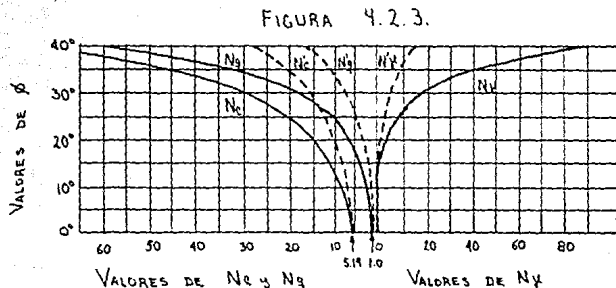
$\gamma_{1,2}$ = peso volumétrico del suelo, en ton/m^3 , por arriba y por abajo del nivel de desplante de la cimentación, respectivamente.

D_f = profundidad de desplante, en mts.

B = ancho del cimiento (recordando que es continuo), en metros.

N_c , N_q y N_γ = factores de capacidad de carga adimensionales que dependen del ángulo de fricción interna θ del suelo; debidos a la cohesión, a la sobrecarga y al peso del suelo, respectivamente.

Para facilitar los cálculos de los factores de capacidad de carga propuestos por Terzaghi, se graficaron curvas que nos permiten obtenerlos a partir del valor del ángulo de fricción interna del material. Dichas curvas aparecen



en la figura 4.2.3.

En realidad las curvas de la figura 4.2.3. correspondientes a los factores N_c y N_q no fueron dibujadas por Terzaghi a partir de sus expresiones, sino que se calcularon a partir de otra solución matemática exacta de tales valores, obtenida por Prandtl y Reissner. Según ésta solución, se tiene que:

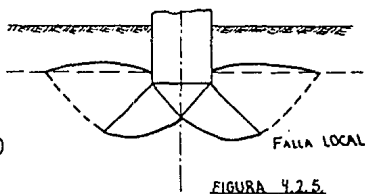
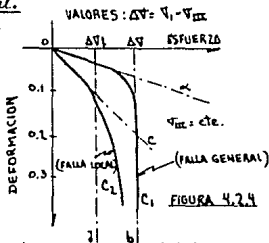
$$N_q = e^{(\pi \tan \theta)} \tan^2 (45 + \theta/2)$$

$$N_c = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} (N_q - 1.0)$$

$$N_\gamma = \frac{4}{3} \frac{P_0}{B^2} \cos (\psi - \theta)$$

Como puede verse en la figura 4.2.3. aparecen tres curvas que dan los valores de N_c , N_q y N_γ en función del ángulo de fricción interna del material θ ; y aparecen también otras tres curvas que dan valores modificados de esos

factores $k'c$, $k'q$ y $k'z$, representados por líneas discontinuas. La razón de ser de estas últimas tres curvas es la siguiente: el mecanismo de falla que se mostró en la figura 4.2.1, supone que al ir penetrando el cimiento en el suelo se va produciendo cierto desplazamiento lateral de modo que los estados plásticos desarrollados incipientemente bajo la carga se amplían hasta los puntos E y E', en tal forma que, en el instante de la falla, toda la longitud de la superficie de falla trabaja al esfuerzo límite. Sin embargo, en materiales arenosos sueltos o arcillosos blandos, cuya curva esfuerzo-deformación sea parecida a la curva C_2 , mostrada en la figura 4.2.4, en la cual la deformación crece mucho para cargas próximas a la de falla, Terzaghi consideró que al penetrar el cimiento el estado plástico no logra desarrollarse hasta puntos tan lejanos como los E y E', sino que la falla ocurre antes, a una carga menor, por haberse alcanzado un nivel de asentamiento en el cimiento que, para fines prácticos equivale a la falla del mismo. A este tipo de falla, Terzaghi la denominó falla local, la cual se aprecia en la figura 4.2.5.; cuando la falla tiene un desarrollo completo, como el expuesto al principio de éste sub-título, se le denomina falla general.



Para obtener la capacidad de carga última con respecto a la falla local, Terzaghi introdujo en su teoría nuevos valores de la cohesión " C' " y el ángulo de fricción θ' para efectos de cálculo; para éste caso, los valores obtenidos anteriormente se alteran en la forma siguiente:

$$C' = \frac{2}{3} C$$

$$\tan \theta' = \frac{2}{3} \tan \theta$$

O sea, da al suelo una resistencia equivalente a las dos terceras partes de la real.

Para calcular el valor de θ' , bastará con despejarlo de la ecuación anterior,

obteniendo lo siguiente:

$$\theta' = \text{Any. Tan} \left(\frac{2}{3} \text{Tan } \theta \right)$$

Si con este valor θ' se entrara a las curvas llenas de la figura 4.2.3, se obtendrían valores de los factores de capacidad de carga iguales a los que se obtienen entrando con el θ original en las curvas discontinuas.

De esta forma, la capacidad de carga última de un cimiento en condiciones de falla local, estará dada por la siguiente expresión:

$$q_c = \frac{2}{3} C N'c + \gamma D_f N'q + 0.5 \gamma B N'q$$

donde $N'c$, $N'q$ y $N'q$ son los factores de capacidad de carga para falla local y que se obtienen de la manera descrita anteriormente.

En base a resultados experimentales, Terzaghi propuso expresiones para calcular la capacidad de carga en zapatas cuadradas y zapatas circulares:

Zapata cuadrada: $q_c = 1.2 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_q$

Zapata circular: $q_c = 1.2 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.6 \gamma B N_q$

En las ecuaciones anteriores, los factores de capacidad de carga se obtienen de la figura 4.2.3, ya sea los correspondientes a falla general o a la local, cuando esta última sea de tener.

Cabe señalar que todas las fórmulas anteriores son válidas sólo para cimientos sujetos a carga vertical y sin ninguna excentricidad.

En relación a suelos puramente cohesivos, en donde $\theta = 0$, la teoría de Terzaghi da los siguientes resultados:

Para $\theta = 0$, de las curvas de la figura 4.2.3, se obtienen los factores de capacidad de carga siguientes:

$$N_c = 5.14$$

$$N_q = 1.0$$

$$N'q = 0.0$$

Si sustituimos estos valores en la ecuación de capacidad de carga en falla general, se tendría la siguiente ecuación:

$$q_c = 5.14C + \gamma D_f$$

Su equivalente para un cimiento cuadrado o circular será:

$$q_c = 1.2 (5.14C) + \gamma D_f$$

De acuerdo a la práctica que se ha tenido al aplicar la teoría de Terzaghi al cálculo de capacidad de carga, se ha llegado a establecer que esta teoría es recomendable para toda clase de cimentaciones superficiales en cualquier tipo de suelo, pudiéndose aplicar con gran confiabilidad hasta el límite $Df \leq 2B$.

4.2.2. TEORÍA DE SKEMPTON.

Uno de los inconvenientes al aplicar la teoría de Terzaghi a los suelos puramente cohesivos, es que ésta no toma en cuenta, para fijar el valor de Nc la profundidad de desplante del cimiento en el estrato de apoyo, D . De esta forma, los cimientos mostrados en la figura 4.2.6. tendrían la misma capacidad, en lo referente a la influencia de la cohesión, es decir, al valor de Nc .

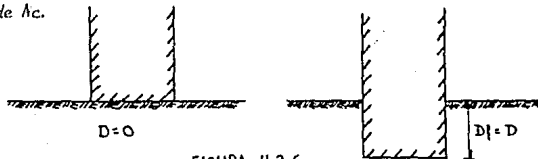


FIGURA 4.2.6

Aunque el valor de la capacidad de carga en los dos cimientos no sería el mismo, debido al diferente valor de γDf . Si se piensa en términos de superficies de falla, el cimiento más profundo tendría una superficie de mayor desarrollo, en la cual la cohesión trabajará más, a lo largo del mismo, a lo que deberá corresponder un mayor valor de Nc .

A través de una serie de trabajos e investigaciones, A.W. Skempton pudo determinar que el valor de Nc depende de la profundidad de desplante del cimiento, además de que su valor aumenta al aumentar ésta. Señala además que este crecimiento está limitado a una cierta profundidad de desplante, a partir de la cual el valor del factor de capacidad de carga Nc , permanece constante.

Para poder obtener el valor de la capacidad de carga en un suelo puramente cohesivo, Skempton propone una expresión de forma análoga a la de Terzaghi y según la cual:

$$q_c = C Nc + \gamma Df$$

El valor de Nc , aquí ya no vale siempre 5.14 sino que varía con la relación D/B , sabiendo que D es la profundidad de desplante del cimiento y B el ancho

del mismo.

En la figura 4.2.7. se muestran las gráficas obtenidas por Skempton para obtener el valor de N_c en función de D/B , en el caso de cimientos largos y de cimientos cuadrados o circulares. Además podemos ver en esta misma figura la diferencia que hay entre el valor de D y D_f para poder aplicar su teoría.

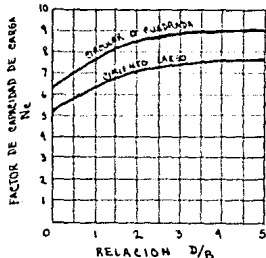
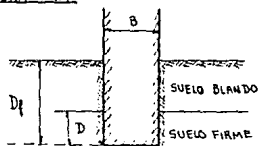


FIGURA 4.2.7.



DISTINCIÓN ENTRE D y D_f PARA APLICAR LA TEORÍA DE SKEMPTON.

En conclusión la teoría de Skempton es apropiada para cimentaciones en arcilla cohesiva donde $\theta = 0$, sean superficiales o profundas, incluyendo el cálculo de capacidad de carga en cilindros y pilotes.

4.2.3. TEORÍA DE MEYERHOF. (1963)

G. Meyerhof, con más información sobre el tema de capacidad de carga en los suelos, propone un nuevo mecanismo de falla en la cimentación, principalmente prolongando las superficies de deslizamiento hasta la superficie del terreno, tal como lo indica la figura 4.2.8.

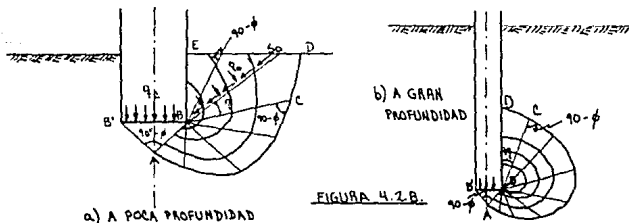


FIGURA 4.2.8.

Meyerhof considera que el suelo que se halla arriba del plano de apoyo del cimiento debe considerarse como un medio a través del cual pueden propagarse superficies de deslizamiento o en la cual pueden desarrollarse resisten

cias al esfuerzo cortante y no tomarlo sólo como una sobrecarga. De acuerdo a la figura 4.2.8. Meyerhof considera a la cuña $\alpha\beta\beta'$ como una zona de esfuerzos uniformes, a la que se puede considerar en estado activo de Rankine. La cuña ABC , limitada por un arco espiral logarítmico, es una zona de esfuerzo cortante radial y, finalmente, la cuña BCE es una zona de transición en que los esfuerzos varían desde los correspondientes al estado de corte radial, hasta los de una zona en estado plástico pasivo. La extensión del estado plástico en esta última zona depende de la profundidad del cimiento y de la rugosidad de la cimentación. La línea BD es llamada por Meyerhof la superficie libre equivalente y en ella actúan los esfuerzos normales, P_0 , y tangenciales, S_0 , correspondientes al efecto del material contnido en la cuña BDE .

Al desarrollar su teoría, Meyerhof llega a establecer la siguiente expresión:

$$q_c = C N_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \dots\dots 1$$

Como podemos notar, la expresión anterior tiene una forma matemática similar a la propuesta por Terzaghi, sin embargo, los factores de capacidad de carga N_c , N_q y N_γ son diferentes a los establecidos por Terzaghi. Meyerhof, para el caso de cimientos superficiales muy largos, conserva los factores N_c y N_q propuestos por Prandtl en 1920:

$$N_c = (N_q - 1.0) \frac{\cos \theta}{\text{Sen } \theta}$$

$$N_q = e^{(\pi \text{ Tan } \theta)} N_0$$

$$N_0 = \text{Tan}^2(45 + \theta/2)$$

Para el coeficiente N_γ considera la expresión siguiente:

$$N_\gamma = (N_q - 1.0) \text{Tan}(1.4 \theta)$$

Las gráficas que se obtienen a partir de las ecuaciones anteriores, pueden verse en la figura 4.2.9.

El considerar que la ecuación 1 no toma en cuenta la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, arriba del nivel de desplante, trae como resultado que la capacidad de carga de un cimiento, desplantado bajo la superficie, sea mayor que la que se obtenga al aplicar dicha ecuación. En cimientos su

perforadas, en que $D_f \leq B$, el incremento en la capacidad se obtiene al afectar a la ecuación 1 por los llamados factores de profundidad d_c, d_q y d_f .

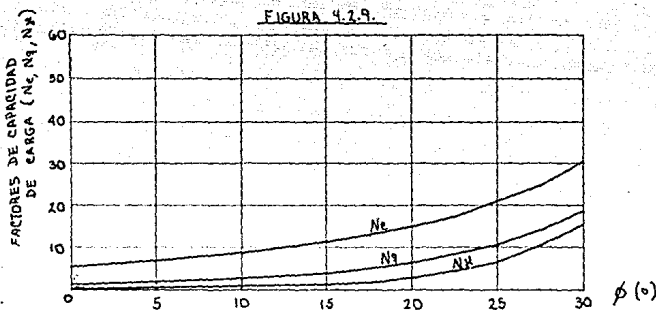
$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{h\theta} \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_f = 1.0 \text{ para } \theta = 0$$

$$d_q = d_f = 1.0 + 0.1 \sqrt{h\theta} \frac{D}{B}, \text{ para } \theta > 10^\circ$$

Por lo tanto, la capacidad de carga en un cimiento superficial de longitud infinita, aplicando la teoría de Meyerhof, estará dada por la siguiente expresión:

$$q_c = d_c C N_c + d_q \frac{1}{2} D_f N_q + d_f 0.5 \frac{1}{2} B N_f$$



Para el caso de cimientos superficiales rectangulares, Meyerhof propone un ángulo de resistencia θ_r , en función de las dimensiones B y L y del ángulo de fricción interna del material θ . Dicho ángulo está dado por:

$$\theta_r = (1.1 - 0.1 \frac{B}{L}) \theta, \text{ donde } \theta \text{ es obtenido de prueba triaxial.}$$

Este valor de θ_r deberá utilizarse para determinar los factores de capacidad de carga N_c , N_q y N_f en cimientos rectangulares superficiales, de la figura 4.2.9. Además estos factores deberán multiplicarse por los denominados factores de forma, de origen empírico, S_c , S_q y S_f establecidos por Meyerhof, debido esto a que no se han obtenido factores de capacidad de carga por métodos teóricos para este tipo de cimentación. Y donde:

$$S_c = 1.0 + 0.2 h \theta \frac{B}{L}$$

$$S_q = S_g = 1.0, \text{ para } \theta = 0$$

$$S_q = S_g = 1.0 + 0.1 N \theta \frac{B}{L}, \text{ para } \theta > 10^\circ$$

En resumen, la capacidad de carga de un cimiento superficial rectangular de dimensiones B y L , aplicando la teoría de Meyerhof, estará dada por la expresión siguiente:

$$q_c = S_c d_c C N_c + S_q d_q \gamma D_f N_q + S_g d_g 0.5 \gamma B N_g$$

A pesar de todo lo expuesto en relación a la teoría de Meyerhof para cimentaciones superficiales, no es recomendable utilizarla en este tipo de cimientos, debido a que proporciona valores muy altos de capacidad de carga. Esta teoría puede usarse para determinar la capacidad de carga de cimientos profundos en arena y grava, incluyendo cilindros y pilotes.

Para obtener la capacidad de carga por punta de un pilote aislado, Meyerhof propone la siguiente expresión:

$$q_c = C A' c + \gamma D_f A' q$$

valor que multiplicado por el área de la sección transversal de la base del pilote aislado, da su capacidad de carga total por punta, a la falla.

C y γ tienen los sentidos usuales, D_f es la profundidad a la que se halla el estrato resistente de apoyo; además, es necesario que el pilote penetre en dicho estrato un valor mínimo D :

$$D = 4 B \tan (45 + \theta/2)$$

$A' c$ y $A' q$ son factores de capacidad de carga semi-empíricos y que toman en cuenta el efecto de la profundidad; corresponden a pilotes hincados al golpe de sección cuadrada o circular. En la gráfica 3 del anexo 1 se presentan las curvas que nos definen dichos factores.

Si el pilote no penetra en la capa resistente el valor D , sino uno menor, Meyerhof recomienda interpolar linealmente los factores de capacidad de carga entre los $A' c$ y $A' q$ y los correspondientes a cimentaciones superficiales de la gráfica 4.2.9.

4.2.4. PILOTES DE FRICCIÓN.

Los pilotes de fricción son aquellos que se hallan totalmente embebidos en

material blando, de modo que su resistencia proviene total o casi totalmente de la adherencia que se desarrolla en el fuste, en el caso de suelos cohesivos o de la fricción entre suelo y pilote en el caso de suelos friccionantes.

Para calcular la capacidad de carga de pilotes de fricción en arcilla blanda, se supone que la adherencia entre el fuste del pilote y la arcilla es igual a la cohesión de ésta, calculada en prueba rápida o de compresión simple.

M.J. Tomlinson, en base a sus investigaciones propone los valores de la adherencia respecto al valor de la cohesión, que se presentan en la tabla 4.1.

Por tanto, la adherencia $f_a = f(\text{cohesión})$.

La capacidad de carga de un pilote de fricción aislado e hincado en un suelo cohesivo, estará dada por la siguiente expresión:

$$Q_p = f_a L p$$

donde:

Q_p = capacidad de carga, en ton.

f_a = adherencia entre el pilote y el suelo, en ton/m^2 .

L = longitud del pilote, en metros.

p = perímetro de la sección transversal del pilote, en metros.

T A B L A 4.1

Material del pilote	Consistencia de la arcilla	Cohesión, c en ton/m	Adherencia, f_a en ton/m
Concreto y madera	Blanda	0 - 4	0 - 3.5
	Firme	4 - 8	3.5 - 4.5
	Dura	8 - 15	4.5 - 7.0
Acero	Blanda	0 - 4	0 - 3.0
	Firme	4 - 8	3 - 4
	Dura	8 - 15	?

Otro tipo de caso que se presenta, es el cálculo de la capacidad de carga para pilotes de fricción hincados en arenas sueltas, lo cual es aún más difícil de estimar. En estos casos los pilotes nunca trabajan únicamente por fricción lateral y la capacidad de carga por punta siempre juega un papel de importancia. La hincada de los pilotes tiene un efecto compactador en la

arena, por lo que, a pesar de tener un manto originalmente suelto, puede volverse muy difícil y aún imposible hincar un pilote cuando en su vecindad se han hincado previamente otros.

Algunos investigadores suponen que la fricción lateral sigue una ley lineal a lo largo del fuste, aumentando la fricción con la profundidad; expresan dicha fricción como una fracción de la presión normal por peso propio del suelo que exista en un nivel determinado.

Si a la profundidad " z " hay una presión vertical igual a γz , la presión lateral correspondiente es considerada como $K_0 \gamma z$, donde K_0 es un coeficiente de empuje de tierras. Esta presión actuando normalmente al fuste del pilote produce a lo largo de éste y a la profundidad " z " una fricción que vale:

$$f_{pr} = K_0 \gamma z \operatorname{Tan} \delta$$

donde δ es el ángulo de fricción a considerar entre suelo y pilote y cuyo valor generalmente se toma como $\delta = 2/3 \phi$.

Por lo tanto, la capacidad de carga de un pilote de fricción hincado en un suelo arenoso, estará dada por la expresión:

$$Q_p = 1 K_0 \gamma z \operatorname{Tan} \delta \int L p$$

donde:

Q_p = capacidad de carga del pilote, en ton.

K_0 = coeficiente de empuje de tierras, en reposo.

γ = peso volumétrico del material, en ton/m^3 .

δ = ángulo de fricción entre suelo y pilote, en grados.

L = longitud total del pilote, en metros.

p = perímetro de la sección transversal del pilote, en metros.

4.3. ALGORITMOS DE SOLUCION.

4.3.1. TEORIA DE TERZAGHI.

Con ayuda de la computadora, la teoría de Terzaghi nos permitirá calcular el valor de la capacidad de carga para cimentaciones superficiales como lo son: zapatas corridas, zapatas aisladas y losas de cimentación. Para llevar a cabo la solución, la máquina realiza los siguientes pasos:

a) A través de avisos en la pantalla del monitor, la computadora pedirá le sean proporcionados los siguientes datos:

- número de estratos que conforman el suelo en el que se desplantará el ci miento.
- profundidad del nivel de aguas freáticas, N.A.F.
- tipo de cimiento, considerando únicamente los mencionados al principio de este sub-título.
- el valor del factor de seguridad a utilizar en los cálculos, F.S.
- el número de veces que se desee calcular la capacidad de carga, para dife-
rentes anchos o profundidades de desplante.
- el tipo de falla (general o local) que se cree puede presentar el ci mien-
to en caso de fallar.

b) También como dato, la máquina pedirá el valor del ancho del ci miento, B, y la profundidad de desplante Df, del mismo.

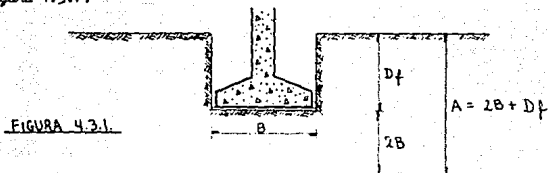
c) Dar el valor de las propiedades de cada uno de los estratos que conforman el material de apoyo del ci miento, siendo éstos los correspondientes a:

- nivel inferior, en metros.
- peso volumétrico, en ton/m^3 .
- cohesión, en ton/m^2 .
- ángulo de fricción interna del material, en grados.

d) Una vez que se tienen todos los datos, se compara la profundidad del NAF con la profundidad de desplante del ci miento, Df; en caso de que ésta sea mayor a aquella, se calcula el valor de la sobrecarga que produce el terre-
no que se halla sobre la base del ci miento, γz , considerando pesos volumé-
tricos en estado sumergido.

Si el NAF es mayor que el valor de la profundidad de desplante, Df, enton-
ces el valor a usar en el cálculo de la sobrecarga será el peso volumétrico
normal.

e) Se calcula la profundidad a la cual las propiedades de los estratos, que se hallan bajo el nivel de desplante D_f , tienen influencia en la obtención de la capacidad de carga. Se consideró esta influencia hasta una profundidad de dos veces el ancho del cimiento a partir del nivel de desplante D_f . Ver la figura 4.3.1.



f) En base a la profundidad calculada en el inciso anterior, se calcula el valor de los promedios pesados de las propiedades de los estratos que quedan comprendidos en dicho valor. Estos valores se obtendrán multiplicando el valor de los parámetros de la cohesión, ángulo de fricción interna y peso volumétrico, por el espesor del estrato correspondiente; la suma de todos estos valores, en forma particular, se divide entre la suma total de los espesores de cada uno de los estratos, que será igual a la profundidad calculada en el inciso e.

g) Se compara el valor de la profundidad de influencia calculada en el inciso e, con el valor del nivel de aguas freáticas N_{af} y se determina si el valor del peso volumétrico (promedio pesado) a usar en el tercer miembro de la expresión de capacidad de carga propuesta por Terzaghi, es el sumergido o no.

h) Se determina el tipo de falla que se considera puede presentarse en el cimiento, de acuerdo a lo descrito en el subtítulo 4.2.; si la falla es general se realiza lo indicado en el siguiente inciso; si la falla es local, se procede a calcular el valor de la cohesión y del ángulo de fricción interna modificados, tal como lo propuso Terzaghi. Cabe aclarar que el tipo de falla deberá darse como parte de los datos a la computadora.

i) Para falla general, empleando el valor del ángulo de fricción interna, se calculan los valores correspondientes a los factores de capacidad de carga N_c , N_q y N_ϕ mediante el uso de las expresiones matemáticas siguientes:

$$Nq = e^{(\pi \cdot \tan \theta)} \tan^2 (45 + \theta/2)$$

$$Nc = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} (Nq - 1.0)$$

Para el caso del valor Nq , se utilizó la expresión propuesta por Meyerhof, por considerar que representa una mayor facilidad en su cálculo, y porque los valores obtenidos a través de dicha expresión son muy semejantes a los obtenidos por Terzaghi. El valor de Nq estará dado entonces por la siguiente ecuación:

$$Nq = (Nq - 1.0) \tan (1.4 \theta)$$

En el caso de una falla local, se utilizará el valor modificado del ángulo de fricción interna del material, θ' ; sustituyendo este valor en las expresiones anteriores obtendremos los coeficientes Nq' , Nc' y Nq' .

j) Se calcula el valor de la capacidad de carga última considerando el tipo de cimiento y el tipo de falla considerada.

h) Por último, se obtiene el valor de la capacidad de carga admisible, afectando a la capacidad de carga última por un factor de seguridad:

$$q_{adm.} = \frac{q_{ult.}}{F.S.}$$

1) Terminado este proceso, se vuelven a realizar los mismos pasos para los siguientes valores de B y Df , en caso de ser necesario.

4.3.2. TEORÍA DE SKEMPTON.

Para la aplicación de esta teoría es necesario que el suelo en donde se desplantará el cimiento sea puramente cohesivo, ya que de no ser así, es aconsejable utilizar otra teoría.

Para la solución a la teoría de Skempton con ayuda de la computadora, se siguen los pasos que a continuación se indican:

a) Por medio de avisos en la pantalla, la computadora pedirá los siguientes datos:

- número de estratos que conforman el suelo donde se desplantará el cimiento.
- profundidad del nivel de aguas freáticas, MAF .
- tipo de cimiento, considerando que esta teoría puede resolver problemas

donde intervengan zapatas corridas, zapatas aisladas, zapatas rectangulares, losas de cimentación, cilindros y pilotes.

- el factor de seguridad, FS.
- el número de veces que se desee calcular la capacidad de carga para diferentes anchos de cimiento o profundidades de desplante.

b) También la máquina pedirá el ancho del cimiento, B, la profundidad de desplante, Df, y la profundidad que el cimiento penetra al estrato de apoyo, D. Ver la figura 4.2.7.

c) Dar el valor de las propiedades del suelo en el que se desplantará el cimiento, siendo éstos los correspondientes a:

- nivel inferior, en metros.
- cohesión, en ton/m^2 .
- peso volumétrico, en ton/m^3 .

d) Se compara la profundidad del NAF con la profundidad de desplante del cimiento, Df; en caso de que Df sea mayor al NAF, se calcula el valor de la sobrecarga que produce el terreno que se halla sobre la base del cimiento, $\frac{1}{2} Df$, considerando pesos volumétricos en estado sumergido.

Si el NAF es mayor que el valor de la profundidad de desplante Df, entonces el valor a usar en el cálculo de la sobrecarga será el peso volumétrico normal del suelo.

e) Se calcula la profundidad a la cual las propiedades de los estratos, que se hallan bajo Df, tienen influencia en la obtención de la capacidad de carga. Se consideró esta influencia hasta una profundidad de dos veces el ancho del cimiento a partir del nivel de desplante del mismo.

f) En base a la profundidad anterior, se calcula el valor de los promedios pesados de la cohesión, multiplicar el valor de esta propiedad por el es peson del estrato correspondiente, y dividiéndolo entre el valor de 2 B.

g) Se define el tipo de cimiento del problema y en función de ello, se cal cula el factor de capacidad de carga Kc.

Si la cimentación es a base de zapatas corridas, se calcula la relación entre la profundidad D y el ancho del cimiento B, es decir D/B y al resultado de la división se le denomina "y". El valor de Kc estará dado por la siguiente ecuación:

$$Kc = \sqrt{2.1309 (y + 0.0221)} + 4.9243$$

Si el tipo de cimiento son zapatas cuadradas, pilotes o cilindros, el valor de N_c estará dado por la expresión:

$$N_c = \sqrt{3.52 (q + 0.071)} + 5.70$$

Si la estructura de la cimentación es a base de zapatas rectangulares, será necesario calcular adicionalmente un factor de forma S_c , el cual afectará al factor de capacidad de carga N_c . Dicho factor de forma está dado por:

$$S_c = 1.0 + 0.2 \frac{B}{L}$$

donde B es el ancho de la zapata y L el largo de la misma, ambos valores en metros.

El valor de N_c correspondiente a este tipo de cimiento se calcula con la expresión comentada para zapatas corridas.

Cabe señalar que las expresiones matemáticas empleadas para el cálculo del coeficiente N_c en la teoría de Shempton, fueron obtenidas a partir de las curvas que se muestran en la figura 4.2.7, cuyo comportamiento corresponde a una función parabólica. Las ecuaciones obtenidas se comprobaron de tal forma, que se vió que nos permiten obtener valores de N_c muy semejantes a los que se obtienen directamente de las gráficas antes mencionadas.

h) Una vez obtenido el factor N_c , se procede a calcular la capacidad de carga admisible, la cual estará dada por las siguientes expresiones:

Para zapatas corridas, zapatas aisladas, pilotes o cilindros:

$$q_{adm.} = \frac{C N_c}{FS} + \gamma D_f$$

para zapatas rectangulares:

$$q_{adm.} = \frac{S_c C N_c}{FS} + \gamma D_f$$

L) Terminado este proceso, se vuelven a realizar los mismos pasos para los siguientes valores de B , D_f y D , en caso de ser necesario.

4.3.3. TEORÍA DE MEYERHOFF.

Como se mencionó en el inciso 4.2.3., la aplicación de la teoría de Meyer-

hof es recomendable utilizarla en el cálculo de capacidad de carga en cimientos profundos (pilas y pilotes), debido a que en cimientos superficiales proporciona valores altos. Sin embargo, su aplicación en éste tipo de cimientos es factible siempre y cuando se ejerza un cuidado en los resultados que proporciona.

En la solución a la teoría de Meyerhof por medio de la computadora, se realizan los siguientes pasos:

a) Definir el número de estratos del suelo en el que se apoyará el cimiento, la profundidad del nivel de aguas freáticas, el tipo de cimiento a emplear considerando los siguientes tipos: zapatas corridas, zapatas rectangulares, losas de cimentación y pilotes o pilas trabajando por punta.

También deberá proporcionarse el valor del factor de seguridad FS y el número de veces que se desea calcular la capacidad de carga.

b) Dar los valores correspondientes al ancho del cimiento así como de la profundidad de desplante del mismo.

c) Dar el valor de los siguientes parámetros en cada uno de los estratos:

- nivel inferior, en metros.
- peso volumétrico, en ton/m^3 ,
- cohesión, en ton/m^2 ,
- ángulo de fricción interna, en grados.

d) Se compara la profundidad del NAF con el valor de Df; en caso de que éste sea mayor a aquel, se calcula el valor de la sobrecarga en la base del cimiento empleando pesos volumétricos sumergidos. Si el NAF está a mayor profundidad que Df, para el cálculo de la sobrecarga se utilizan los valores normales de γ .

e) Se calcula la profundidad a la que se obtendrán los promedios pesados de cada una de las propiedades de los estratos. Esta profundidad estará dada por dos veces el ancho del cimiento a partir de la posición de Df.

f) De acuerdo al valor de la profundidad anterior, se calculan los promedios pesados de la cohesión, ángulo de fricción interna y peso volumétrico.

g) Se compara el valor de la profundidad obtenida en el inciso e con la del NAF y se determina si el valor del peso volumétrico a usar en el tercer término de la expresión de capacidad de carga de Meyerhof es el sumergido o no.

h) Se define el tipo de cimentación y se calcula el valor de los factores de capacidad de carga k_c , k_q y k_γ empleando las expresiones propuestas por Meyerhof.

Si la cimentación es a base de zapatas continuas o losa de cimentación, se calculan dichos factores empleando el valor de θ en las siguientes ecuaciones:

$$k_c = \tan^2(45 + \theta/2)$$

$$k_q = e^{(\pi \tan \theta) k_c}$$

$$k_c = (k_q - 1.0) \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$k_\gamma = (k_q - 1.0) \tan(1.4 \theta)$$

En caso de que el cimiento sea a base de zapatas rectangulares, será necesario realizar una modificación al valor de θ para poder calcular los factores de capacidad de carga:

$$\theta' = (1.1 - 0.1 \frac{B}{L}) \theta$$

Una vez obtenido θ' modificado, se procede a calcular los factores empleando las ecuaciones antes descritas.

Para el caso de cimientos profundos, más adelante se explican los pasos a seguir en su solución.

i) Una vez que se tienen los factores k_c , k_q y k_γ deberán afectarse por los llamados factores de profundidad d_c , d_q y d_γ respectivamente, por lo que se procede a calcularlos:

$$d_c = 1.0 + 0.2 \sqrt{k_c} \frac{D_f}{B}$$

$$d_q = d_\gamma = 1.0, \text{ para } \theta = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1.0 + 0.1 \sqrt{k_c} \frac{D_f}{B}, \text{ para } \theta > 10^\circ$$

j) Para el caso de cimientos rectangulares, además deberán afectarse los factores k_c , k_q y k_γ por los llamados factores de forma s_c , s_q y s_γ respectivamente. Estos factores podrán calcularse con las siguientes expresiones:

$$s_c = 1.0 + 0.2 k_c \frac{B}{L}$$

$$s_q = s_\gamma = 1.0, \text{ para } \theta = 0$$

$$S_q = S_f = 1.0 + 0.1 N_6 \frac{B}{L}, \text{ para } \theta > 10^\circ$$

donde B y L son las dimensiones de la zapata rectangular.

h) Se procede a calcular la capacidad de carga última de acuerdo al tipo de cimiento de que se trate:

Zapatas corridas y losa de cimentación:

$$q_c = dc C N_c + dq \gamma D_f N_q + dq 0.5 \gamma B N_\gamma$$

Zapatas rectangulares:

$$q_c = Sc dc C N_c + Sq dq \gamma D_f N_q + S_\gamma dq 0.5 \gamma B N_\gamma$$

l) Por último, se calcula la capacidad de carga admisible afectando la carga última por el valor del factor de seguridad:

$$q_{adm} = \frac{q_c}{FS}$$

m) Se repite el proceso anteriormente descrito para los siguientes valores de B y Df, para el caso de cimientos superficiales, en caso de ser necesario.

Para el caso de cimientos profundos, será necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

a) Deberán darse a la máquina los datos necesarios para resolver el problema. La computadora los pedirá por medio de avisos que irán apareciendo en la pantalla, éstos datos serán los correspondientes a:

- ancho del pilote o pila, en metros.
- longitud total del pilote o pila, en metros.
- profundidad total de desplante, Df.
- profundidad de entrada del pilote o pila a la capa resistente, D'.
- valor del peso volumétrico de cada uno de los estratos que se hallen com prendidos dentro del valor Df.
- las propiedades del estrato que servirá de apoyo al pilote o pila, las cuales deberán ser:

- nivel superior, en metros.

- ángulo de fricción interna, en grados.
- peso volumétrico, en ton/m³.

- el valor del factor de seguridad a emplear, FS.
- profundidad del nivel de aguas freáticas, NAF.

Una vez que se le han proporcionado a la computadora todos los datos anteriores, ésta procederá a calcular la capacidad de carga del cimiento realizando los siguientes pasos:

b) Se compara la profundidad del NAF con la profundidad total de desplante del pilote o pila, D_f ; en caso de que ésta sea mayor a aquella, se calcula el valor de la sobrecarga que produce el terreno que se halla sobre la base del cimiento, γD_f , considerando pesos volumétricos sumergidos en el segundo término de la expresión de Meyerhof para cimientos profundos; en caso contrario, se tomarán los pesos específicos normales.

c) Se calcula el valor de la profundidad mínima que el pilote deberá penetrar en la capa de apoyo, con la expresión:

$$D = 4 B \tan (45 + \phi/2)$$

donde: B = ancho del cimiento, en metros.

ϕ = ángulo de fricción interna de la capa de apoyo, en grados.

d) Se compara el valor obtenido de D con el valor real D' que representa la profundidad a la que deberá penetrar el pilote a la capa resistente de acuerdo a los datos antes proporcionados. De acuerdo a esta comparación, se tomarán los siguientes aspectos:

Si $D' < D$, entonces los coeficientes de capacidad de carga λ_{cp} y λ_{qp} se verán afectados por los correspondientes a cimentaciones superficiales λ_c y λ_q , obteniéndose de las siguientes expresiones:

$$\lambda_{cp}' = \lambda_c + \left[\frac{\lambda_{cp} - \lambda_c}{D} \right] D'$$

$$\lambda_{qp}' = \lambda_q + \left[\frac{\lambda_{qp} - \lambda_q}{D} \right] D'$$

donde: λ_c y λ_q , son factores de capacidad de carga de Meyerhof para zapatas cuadradas.

λ_{cp} y λ_{qp} son factores de capacidad de carga de Meyerhof para pilotes o pilas.

Los factores anteriores se obtienen a partir del valor del ángulo de fricción interna del material que forma la capa donde se apoyará el cemento.

En caso de que $D' \gg D$, entonces se obtiene el valor de los coeficientes de carga λ_{cp} y λ_{qp} directamente de las gráficas o expresiones de Meyerhof.

e) Se calcula la capacidad de carga última del pilote, con la fórmula siguiente:

$$q_u = C \lambda_{cp} + \gamma \sum D_f \lambda_{qp}$$

f) Se obtiene la capacidad de carga admisible, afectando a la última por el factor de seguridad.

$$q_{adm.} = \frac{q_u}{FS}$$

g) Se calcula el área del pilote de acuerdo a la forma de éste.

h) Se obtiene la capacidad de carga en la punta del pilote, multiplicando el área del mismo por la capacidad de carga admisible.

$$Q_{punta} = (\text{área})(q_{adm.})$$

i) Considerando que el material de que está hecho el pilote es concreto reforzado, con un peso volumétrico de 2.4 ton/m^3 , la computadora calcula el peso total del pilote; de esta forma calcula la capacidad de carga útil, restando dicho peso al valor de la carga en la punta.

$$Q_{\text{útil}} = Q_{punta} - \text{peso del pilote}$$

4.3.4. PILOTES DE FRICCIÓN.

En lo concerniente a la solución de pilotes de fricción deberá considerarse que los programas realizados para tal fin, únicamente darán solución a aquellos problemas en donde el pilote se halle inmerso en un suelo totalmente cohesivo o totalmente friccionante.

Si se desea obtener la capacidad de carga de un pilote de fricción hincado en material totalmente cohesivo, se procederá a realizar lo siguiente:

a) Es necesario dar a la computadora los siguientes datos:

- tipo de pilote (circular o cuadrado)
- ancho o diámetro del pilote, en metros.
- material de construcción del pilote (concreto, madera o acero)

- longitud total del pilote, en metros.
- propiedades del suelo, como lo son la cohesión en ton/m^2 y su peso volumétrico, en ton/m^3 .

b) Una vez que se registran todos los datos, se procede a calcular el valor de la adherencia que se desarrolla en el fuste del pilote y el suelo, en función del valor de la cohesión (C).

Para obtener con mayor facilidad el valor de la adherencia, se realizó una regresión lineal con los datos mostrados en la tabla 4.1, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

Valor de la cohesión en ton/m^2 .	Concreto y madera	Acero
$0 \leq C < 4$	$A = 0.875 C$	$A = 0.75 C$
$4 \leq C < 8$	$A = 0.25 C + 2.5$	$A = 0.25 C + 2.0$
$8 \leq C < 15$	$A = 0.357 C + 1.643$	-----

En la tabla anterior, C representa el valor de la cohesión del material que se halla rodeando el pilote; A representa el valor de la adherencia entre pilote y suelo, en ton/m^2 .

c) De acuerdo a la forma geométrica del pilote, se calcula el valor de su área perimetral.

pilote cuadrado

$$A_p = 4 B(\text{Longitud})$$

pilote circular

$$A_p = \pi(\text{diámetro})(\text{longitud})$$

d) Por último, se calcula el valor de la capacidad de carga del pilote por medio de la siguiente expresión:

$$Q_p = (\text{adherencia})(\text{área perimetral}).$$

Considerando que el material de que está hecho el pilote es concreto reforzado con un peso volumétrico de 2.4 ton/m^3 , la computadora calcula el peso del pilote, para poder calcular el valor de la capacidad de carga útil, restando dicho peso al valor de la capacidad de carga Q_p :

$$Q_{\text{útil}} = Q_p - \text{peso del pilote.}$$

Para el caso de pilotes de fricción hincados en material arenoso, se seguirán los siguientes pasos:

1) Dar por medio del teclado a la computadora los siguientes datos:

- Tipo de pilote (circular o cuadrado).
- Ancho o diámetro del pilote, en metros.
- Longitud total del pilote, en metros.
- Profundidad del nivel de aguas freáticas, en metros.
- Propiedades del material donde se hincará el pilote, como son: ángulo de fricción interna y peso volumétrico.

2) Una vez que se han dado todos los datos anteriores, se calcula el valor del empuje horizontal que ejerce el suelo sobre el pilote, considerando la existencia o no, de agua.

3) De acuerdo a la posición del nivel de aguas freáticas, la máquina calcula el empuje de la siguiente manera:

- Con presencia de nivel de aguas freáticas (N.A.F.)

Obtiene el valor de la presión vertical en el punto en donde se encuentra el N.A.F.; $PR1 = \gamma z$, en donde z es la profundidad del N.A.F.

Transforma esta presión vertical a presión horizontal afectándola por un coeficiente de empujes de tierra K_0 cuyo valor está dado por:

$$K_0 = 1 - \text{Sen } \theta$$

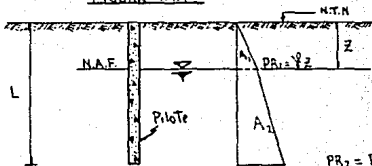
Enseguida calcula una nueva presión vertical $PR2$ en un punto coincidente con la longitud total del pilote, y la transforma en presión horizontal afectándola nuevamente por el valor de K_0 , considerando para este caso el peso volumétrico del material en estado sumergido.

Una vez que se tienen estas presiones, la máquina calcula el valor del empuje que el suelo ejerce sobre el fuste del pilote, obteniendo el área del diagrama de presiones que se obtuvieron anteriormente, ver figura 4.4.1.

- Sin nivel de aguas freáticas (N.A.F.).

Cuando el lugar en el que se hincará el pilote no presenta un nivel de aguas freáticas, los pasos a realizar serán los siguientes:

FIGURA 4.4.1.



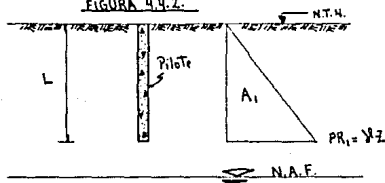
$$A_1 = \frac{(PR_1)(z)}{2}$$

$$A_2 = \frac{(PR_1 + PR_2)(L-z)}{2}$$

$$PR_2 = PR_1 + \gamma'(L-z) \therefore \text{EMPUJE} = A_1 + A_2$$

La computadora calcula el valor de la presión vertical en un punto ubicado a una profundidad igual a la longitud total del pilote. Transforma esta presión a presión horizontal afectándola por el coeficiente de empujes de tierra $K_0 = 1 - \text{Sen } \theta$. Graficando los resultados, da por resultado un diagrama de presiones de forma triangular, de cuya área se obtiene el valor del empuje que se ejerce sobre el pilote, ver la figura 4.4.2.

FIGURA 4.4.2.



$$\text{AREA I} = \frac{(PR_1)(L)}{2}$$

$$\text{EMPUJE} = \text{AREA I}$$

4) Se calcula el valor de δ considerando que $\delta = 2/3 \theta$, donde θ es el ángulo de fricción interna del suelo.

5) De acuerdo a la forma geométrica del pilote se calcula el valor de su perímetro.

6) Se calcula la capacidad de carga del pilote en forma individual por medio de la siguiente expresión:

$$Q_p = (\text{empuje}) / (\text{perímetro}) (\tan \delta)$$

Considerando que el material de que está hecho el pilote es concreto reforzado con un peso volumétrico de 2.4 ton/m^3 , la computadora calcula el peso total del pilote para poder determinar el valor de la capacidad de carga útil, restando dicho peso al valor de Q_p :

$Q_{itl} = Q_p$ - peso del pilote

De esta manera se termina la corrida del programa.

4.4. LIMITACIONES.

Debido a la gran diversidad de casos de capacidad de carga que se pueden presentar en el diseño de cimentaciones, es un poco difícil elaborar un programa de computadora que abarque a todos los problemas que se puedan presentar. El realizado en este trabajo, trató de abarcar el mayor número posible de casos; objetivo que se logró. Sin embargo, el programa de capacidad de carga tiene ciertas limitaciones para cada una de las teorías empleadas en él.

Las limitaciones son las siguientes:

a) TEORÍA DE TERZAGHI.

- Sólo puede calcularse la capacidad de carga para cimientos superficiales.
- Deberán darse como datos las propiedades de los estratos hasta una profundidad mínima de cuatro veces el ancho del cimiento más la profundidad de desplante.
- En caso de existir nivel de aguas freáticas (N.A.F.), su posición deberá considerarse como el nivel de un estrato adicional.

b) TEORÍA DE SKEMPTON.

- Se usará únicamente para cimientos desplantados en suelos puramente cohesivos, ya sea homogéneos o en forma estratificada.
- Para cimentaciones profundas, sólo podrá calcular la capacidad de carga para pilotes o cilindros que trabajen por punta.
- En caso de haber N.A.F. deberá darse su profundidad como el nivel superior de un estrato adicional a los que se tienen.
- Deberán darse las propiedades de los estratos hasta una profundidad mínima de cuatro veces el ancho del cimiento más la profundidad de desplante.

c) TEORÍA DE MEYERHOF.

- No se podrá resolver la capacidad de carga para zapatas aisladas.
- Para cimentaciones profundas, únicamente calcula la capacidad de carga en pilotes o cilindros que trabajen por punta.

- En caso de existir nivel de aguas freáticas, deberá considerarse su posición como el nivel superior de un estrato adicional a los que se tienen originalmente.
- Deberán darse las propiedades de los estratos hasta una profundidad mínima de cuatro veces el ancho del cimiento más la profundidad de desplante del mismo.

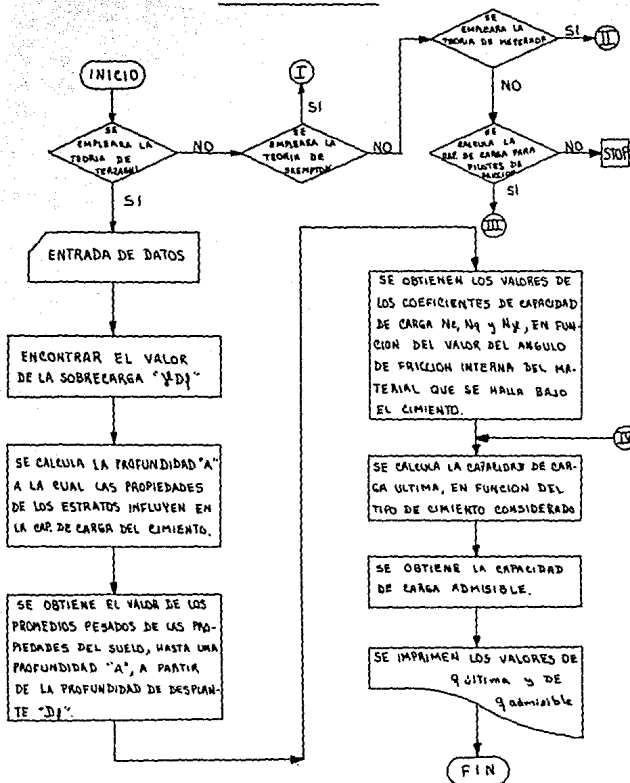
d) PILOTES DE FRICCIÓN.

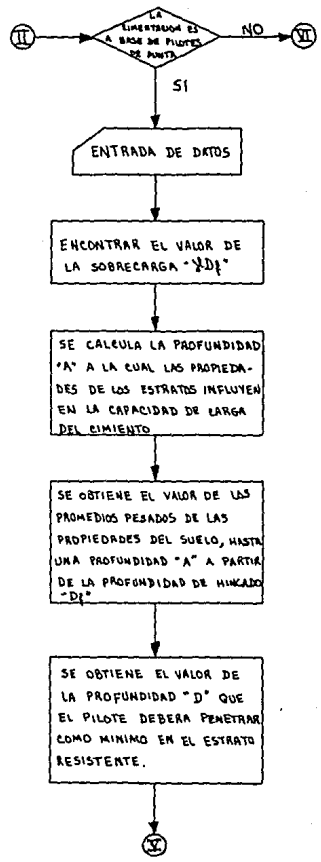
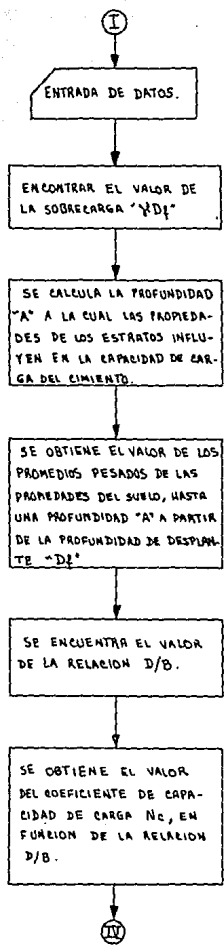
- Únicamente se podrá calcular la capacidad de carga para pilotes hincados en suelos puramente cohesivos o puramente friccionantes.
- El programa no admite suelos estratificados.
- El valor de la capacidad de carga obtenido a través del programa de computadora, será aplicable al pilote en forma individual.
- No calcula la capacidad de carga para pilotes en conjunto.
- En caso de existir N.A.F. su valor deberá darse como parte de los datos que pide la máquina por medio de avisos.

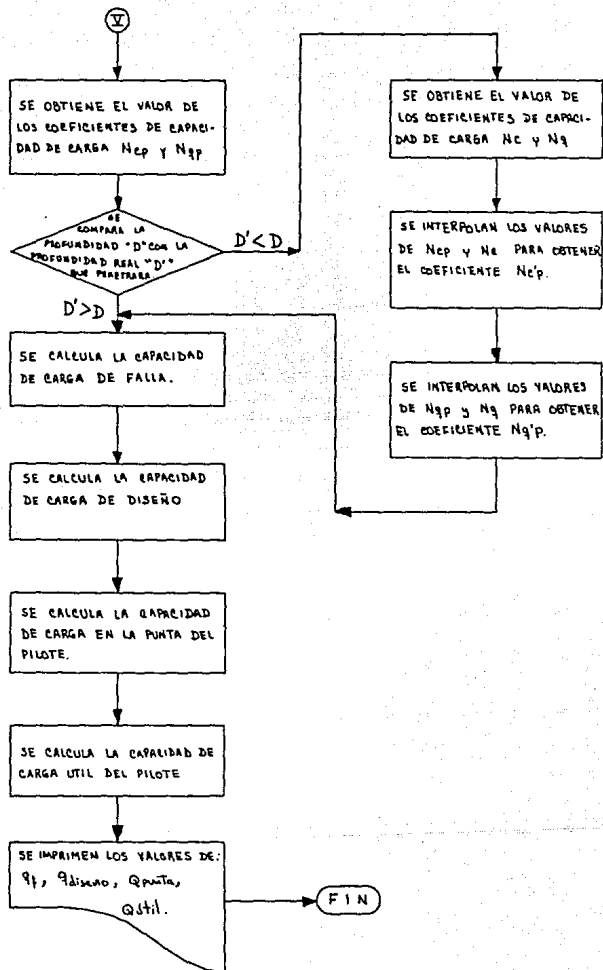
Para pilotes de fricción, teoría de Shempton y teoría de Meyerhof, los programas realizados no calculan la capacidad de carga para pilotes hincados en forma inclinada.

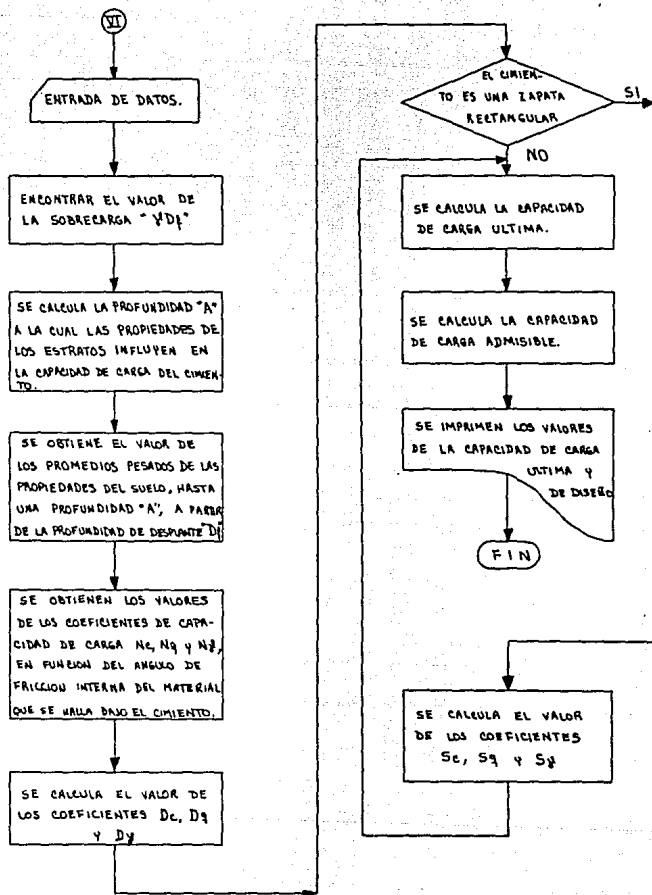
4.5. DIAGRAMA DE FLUJO Y CODIFICACION.

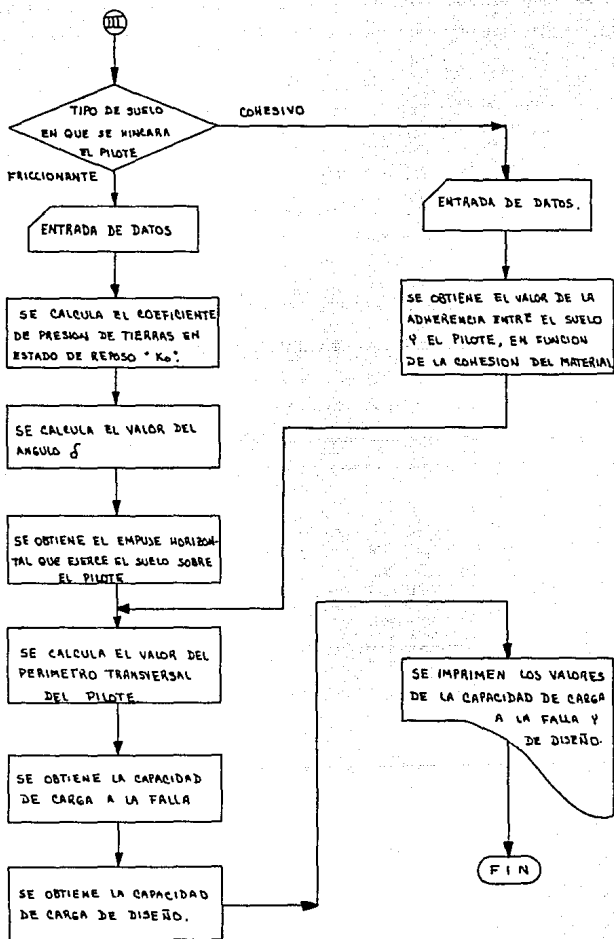
Enseguida se muestra el diagrama de flujo y el formato en líneas, o codificación, del programa para computadora elaborado para resolver problemas sobre capacidad de carga en cimentaciones superficiales y profundas.

DIAGRAMA DE FLUJO.









```

40 REM *** PROGRAMA PARA EL CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA ***
10 CLS
15 PRINT TAB(25) "*** CAPACIDAD DE CARGA ***"
20 PRINT TAB(33) "*****"
25 PRINT
27 PRINT
30 PRINT TAB(38) "1"
32 PRINT TAB(35) "1"
34 PRINT TAB(19) "----- 1%"
35 PRINT TAB(44) "1"
36 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
38 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
40 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
42 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
44 PRINT TAB(35) "1 1 1 1 1"
46 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
48 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
50 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
52 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
54 PRINT TAB(33) "1 1 1 1 1"
56 PRINT TAB(33) "-----"
58 PRINT
60 PRINT TAB(33) "1----- B -----"
70 PRINT
80 REM
110 INPUT "¿SE EMPLEARA LA TEORIA DE TERZAGHI, S/N?" ,T1%;PRINT:CLS
112 IF T1% = "N" THEN 1620
115 GOTO 1300
120 INPUT "¿TIPO DE CIMENTACION: ZAPATAS CORRIDAS (1), CUADRADAS (2) O CIRCULARES (3)?" ,TC:PRINT
130 INPUT "¿NUMERO DE ESTRATOS?" ,NE:PRINT
135 INPUT "¿NIVEL DE AGUAS FREATICAS, S/N?" ,AFR:PRINT
137 IF AFR="N" THEN AF=100 ELSE GOTO 140
138 GOTO 150
140 INPUT "¿PROFUNDIDAD DEL N.A.F., EN MTS?" ,AF:PRINT
150 INPUT "¿FACTOR DE SEGURIDAD?" ,FS:PRINT
160 INPUT "¿NUMERO DE CALCULOS?" ,J:PRINT
170 INPUT "¿TIPO DE FALLA POR CONSIDERAR, LOCAL (L) O GENERAL (G)?" ,TF:PRINT
180 DT:=100:CLS
190 PRINT "¿PROFUNDIDADES DE LOS ESTRATOS?"
195 PRINT
200 FOR I=1 TO NE
210 PRINT "ESTRATO: ",I
220 INPUT "¿NIVEL INTERICL. EN METROS?" ,F1(I):PRINT
230 INPUT "¿COHESION, EN TON/M2?" ,CG(I):PRINT
240 INPUT "¿ANGULO DE FRICCION INTERNA, EN GRADOS?" ,F1(I):PRINT
250 INPUT "¿PESO VOLUMEN RIGID. EN TON/M3?" ,FV(I):PRINT
260 CLS
270 AERT J
280 FOR I=1 TO JT
290 INPUT "¿ANCHO DEL CIMIENTO, EN METROS?" ,B(I):PRINT
300 INPUT "¿PROFUNDIDAD DE DESPLANTE, EN METROS?" ,DF(I)
310 IF AFR="N" THEN AF=100 ELSE AF=AF
320 PD=DF(I)
330 IF AF < PD THEN GOSUB 1280
340 IF AF = PD THEN 470
350 PR=0:PI(Q)=0
360 I=1
370 ZI=DF(I)
380 ZI=DF(I)+ 11

```

```

390 VOL=PV(I)
395 JN=K
400 IF ZIN > A THEN 450
410 DIF=ZIN-ZINA
420 FR=FR+VOL*DIF
430 K=K+1
440 GOTO 370
450 DIFE=PD-ZIAA
460 FR=FR+VOL*DIFE
470 BASE=6(I)
480 A=PD+BASE
48E ZIN=FI(JN)
495 IF ZIN > A THEN 490
499 GOTO 543
499 CH=COE(IJN)
500 FR1=FR(IJN)
505 VOL=PV(IJN)
510 RESTA=A-EG
520 I=CH*RESTA
530 Y=FR1*RESTA
540 Z=VOL*RESTA
54E GOTO 720
54B CH=COE(IJN)
551 FR1=FR(IJN)
552 VOL=PV(IJN)
554 RESTA=ZIN-FD
55B I=CH*RESTA
55E Y=FR1*RESTA
560 Z=VOL*RESTA
56E Y=JN
56A K=K+1
56B ZD=PI(I)
570 IF ZD > A THEN 630
580 ZDA=PI(K-1)
590 CL=COE(K)
600 AF1=PI(K)
610 FVOL=PV(K)
620 DIFEF=ZD-ZDA
630 I=CL*DIFEF
640 Y=AF1*DIFEF
650 Z=Z+VOL*DIFEF
660 I=I+1
670 GOTO 566
680 ZDA=PI(K-1)
68E SUS=A-ZDA
684 CL=COE(K)
68E AF1=PI(K)
68B FVOL=PV(K)
690 I=CL*SUS
700 Y=AF1*SUS
710 Z=Z+VOL*SUS
720 FR=Z+BASE
730 COHEP=I/PP
740 FHIPP=I/PP
750 FVFF=Z/FF
760 IF STD=10.0; THEN 2590
770 IF AF > A THEN 750
780 FVFP=FVFF-1
790 FHIF=1FHIF*3.141592654*1/166
800 Y=3.141592654*Y

```

```

810 IF TFB="L" THEN 1180
820 IF ZHIPP=0 THEN 1010
830 ANG=PI/PP
840 SNA=P/IPP/2
850 DA=YK/GNA
862 CB=TAN(SA)
864 DC=DB**2
866 CD=TAN(ANG)
870 DE=3.141592654*DD
880 CF=EXP(DE)
890 CNG=OF/CC
900 DG=CCS(ANG)
910 CH=CSX(ANG)
920 CI=CNQ-1
930 LCGA=GS/ON
940 CMC=DI/CGA
950 DJ=1.4*ANG
960 DE=TAN(DJ)
970 CNG=C/IDR
1000 GOTO 1040
1020 CNG=S.14
1020 CNQ=1
1030 CNG=0
1040 IF TFB="L" THEN 1230
1045 CLS
1050 PRINT "EL TIPO DE FALLA QUE SE CONSIDERO FUE FALLA G E N E R A L"
1052 @AT=CONEP*FCNC
1054 BATA=PK*CMQ
1055 PRINT
1055 PERA=.5*PVV/P*BASE*CG
1060 IF TC=1 THEN @C=@AT+BATA+PERA ELSE GOTO 1142
1070 @AEN=@C/FS
1080 PRINT "          R E S U L T A D O S          "
1091 PRINT:PRINT
1095 PL1="01a2701020c20a20"
1100 PRINT "ANCHO DEL CIMIENTO: ";PRINT USING "00.00";@C1);PRINT " m.":PRINT
1110 PRINT "PROFUNDIDAD DE DESPLANTE: ";PRINT USING "00.00";@DF(1);PRINT " m.":
PRINT
1120 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA: ";PRINT USING "000.00";@C);PRINT " ton/m
2":PRINT
1130 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE: ";PRINT USING "000.00";@CGM);PRINT "
ton/m2":PRINT
1135 PRINT
1137 PRINT
1140 GOTO 1250
1142 LBNA=1.2*CONEP*FCNC
1144 XCF=GR*CMQ
1146 ZENUS=.6*PVV/P*BASE*CG
1150 IF TC=2 THEN @C=LBNA+XCF+ZENUS ELSE GOTO 1160
1160 GOTO 1070
1162 MESA=1.2*CONEP*FCNC
1164 SLLA=PK*CMQ
1166 LOMA=.6*PVV/P*BASE*CG
1170 IF TC=4 THEN @C=MESA+SLLA+LOMA ELSE STOP
1180 GOTO 1070
1180 CCH=PP/(2/3)*CONEP
1200 STAN=TAN(PHIPP)
1210 STANG=STAN*(2/3)

```



```

1220 GOTO 240
1230 CLS
1232 PRINT "EL TIPO DE FALLA QUE SE CONSIDERO FUE FALLA LOCAL"
1235 PRINT
1240 GOTO 1050
1250 NEXT I
1260 END
1270 REM
1280 REM *****RUTINA QUE CONSIDERA FRESIONES EN PRESENCIA DE AGUA****
1290 FF=0:PI=0:PV=0
1300 L=0
1310 FINFE=PI*LI
1320 IF AF=FINFE THEN 1350
1330 L=L+1
1340 GOTO 1310
1350 M=L
1360 FF=0
1370 N=0
1380 PC=PI*N
1390 ARP=N-1
1400 IF ARP < 0 THEN ARP=0 ELSE ARP=ARP
1410 B0=PI*ARP
1420 EE=PV*N
1430 SUSTA=B0+EE
1440 FRI=FRI+EE+SUSTA
1450 IF N=0 THEN 1430
1460 N=N+1
1470 GOTO 1360
1480 FFE=PI*M
1490 PES0=PV*M
1500 ED=PI*(M-1)
1510 IF PD <= SF THEN 1500
1520 PES0=PES0-1
1530 TARE0=BF-ED
1540 FRE=FFE+TARE0+TARE0
1550 GOTO 1470
1560 PES0=PES0-1
1570 DM=FD-ED
1580 FR2=PRE+FE0+DM
1590 FR=FR1+FR2
1600 RETURN
1610 REM
1620 REP
1630 INPUT "SE EMPLEARA LA TEORIA DE BIENFICION, S/N? ",TS:PRINT
1640 IF TS="N" THEN 2500
1642 CLS
1643 GOTO 1320
1645 PRINT TAB(10) "ESTA TEORIA SE USARA UNICAMENTE PARA SUELOS PURAMENTE COHESI-
VOS."
1647 PRINT
1650 INPUT "¿TIPO DE CEMENTO: ZAFATAS CORRIDAS(1), CUADRADAS (2), RECTANGULARES"
(3), CILINDROS O PILOTES POR UNIDAD(S) ? ",TC:PRINT
1655 IF TC=5 THEN 370
1660 INPUT "¿NUMERO DE ESTRATOS? ",NE:PRINT
1665 INPUT "¿EXISTE NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS, S/N? ",AFR:PRINT
1670 IF AFR="N" THEN AF=0 ELSE GOTO 1570
1675 GOTO 1470

```

```

1670 INPUT "¿PROFUNDIDAD DEL N.A.F., EN METROS? ",AF:PRINT
1680 INPUT "¿FACTOR DE SEGURIDAD? ",FS:PRINT
1690 INPUT "¿NÚMERO DE CALZOS? ",IT:PRINT
1700 CLS
1710 PRINT "PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS"
1715 PRINT
1720 FOR J=1 TO NE
1730 PRINT "ESTRATO: ",J
1740 INPUT "¿NIVEL INFERIOR EN METROS? ",PI(J):PRINT
1750 INPUT "¿COHESION, EN TON/M2? ",CME(J):PRINT
1760 INPUT "¿PESO VOLUMETRICO, EN TON/M3? ",P(V(J):PRINT
1770 CLS
1780 NEXT J
1790 FOR I=1 TO IT
1800 INPUT "¿ANCHO DEL CEMENTO, EN METROS? ",B(I):PRINT
1810 INPUT "¿PROFUNDIDAD DE DESPLANTE TOTAL, IT, EN METROS? ",D(I):PRINT
1820 D(I)=D(I)-1
1830 IF AF#="M" THEN AF=100 ELSE AF=AF
1840 PD=D(I)
1850 IF AF <= PD THEN GOSUB 1890
1860 IF AF <= PD THEN 1790
1870 FR=0:PI(I)=0
1880 I=I+1
1890 ZIN=PI(I)
1900 ZIN=PI(I)-1
1910 VOL=P(V(I)
1920 IF ZIN >= PD THEN 1790
1930 DIF=ZIN-FD
1940 FR=FR+VOL*DIF
1950 I=I+1
1960 GOTO 1890
1970 JN=J
1975 CIFE=PI-ZIN
1980 FR=FR+VOL*CIFE
1990 BASE=B(I)
2000 A=FS*CIFE*BASE
2005 ZIN=PI(JN)
2007 IF ZIN >= A THEN 2040
2008 GOTO 2018
2010 BDM=A-PD
2012 BAI=CME(JN)
2014 I=BDM*BAI
2016 GOTO 2150
2018 RESTA=ZIN-FD
2020 CH=CME(JN)
2030 I=CH*RESTA
2040 JN=JN+1
2050 ZC=PI(JN)
2060 ZC=PI(JN)-1
2070 CL=CME(JN)
2080 PVOL=P(V(JN)
2090 DIFER=ZC-ZC
2100 IF ZC >= A THEN 2130
2110 I=I+CL*DIFER
2120 GOTO 2040
2130 SUS=A-ZC
2140 I=I+CL*SUS
2150 PP=PI*BASE
2160 CMEFF=I/PP
2170 IF I=0 THEN 2210

```

```
2180 IF TC=2 OR TC=5 THEN 2340
2190 IF TC=3 THEN 2220
2200 GOTO 2170
2210 YE=D*11
2220 Y=YE/BASE
2230 IF Y >= 41 THEN CMC=7.5 ELSE GOTO 2234
2232 GOTO 2240
2234 BEAT=1+.0221
2235 TLES=2.1277*BEAT
2236 *F12=EXP(TLES)
2238 CMC=4.9243*FA12
2240 UMG=C0*EFF1*CMC
2250 DOS=UMG*FS
2252 GADR=C0S1*FR
2270 GLS
2280 PRINT TAB(25) "R E S U L T A D O S "
2285 PLAY "c1a20d1e20c20:25"
2290 PRINT "ANCHO DEL CEMENTO : ";PRINT USING "00.00";B(1);PRINT "c.";PRINT
2300 PRINT "PROFUNDIDAD TOTAL DE DESPLANTE; ";PRINT USING "00.00";DF(1);PRINT
"m.";PRINT
2310 PRINT "PROFUNDIDAD DE ENTRADA DEL CEMENTO AL ESTRATO DURO; ";PRINT USING
"00.00";D(1);PRINT "m.";PRINT
2320 PRINT "CAPACIDAD DE CAPSA PERMISIBLE; ";PRINT USING "000.00";GM;PRINT "
kg/m2"
2322 PRINT
2324 PRINT
2330 GOTO 2470
2340 YE=D*11
2350 Y=YE/BASE
2360 IF Y >= 41 THEN CMC=91 ELSE GOTO 2364
2362 GOTO 2240
2364 CPED=*.971
2365 RDL=3.52*CPED
2366 R/DIAP=SC/RDL*1
2368 CMC=5.44*1*Y
2370 GOTO 2240
2380 INPUT "LONGITUD DE LA ZAPATA, EN METROS? ";ALONG(1);PRINT
2390 AL=ALONG(1)
2400 SC=14.2*BASE*(AL/D)
2410 YE=D*11
2420 Y=YE/BASE
2430 IF Y >= 41 THEN CMC=7.5 ELSE GOTO 2434
2432 GOTO 2240
2434 ROS=*.0221
2435 FLOC=C.13*TC*BA
2436 VETA=SC*FLOC
2438 CMC=4.9243*VETA
2440 UMG=C0*CMC*EFF*CMC
2450 DOS=UMG*FS
2460 GOTO 2250
2470 NEXT I
2480 END
2490 REM
2500 INPUT "¿DE EMPLEARA LA TECNICA DE MEYERHOF, SI? ";TMI;PRINT
2510 IF TMI="N" THEN 2590
2515 GLS
2517 GOTO 13400
2520 INPUT "¿TIPO DE CIMENTACION: ZAPATAS CIRCULARES(1), RECTANGULARES(2) O PILETO
S Y PILAS CON PUNTA(3) ? ";TC;PRINT
```

```

2530 INPUT "¿NUMERO DE ESTRATOS? ",AE:PRINT
2535 INPUT "¿EXISTE NIVEL DE AGUAS FREATICAS, S/N? ",AFE:PRINT
2537 IF AFE="M" THEN AF=100 ELSE GOTO 2540
2538 GOTO 2550
2540 INPUT "¿PROFUNDIDAD DEL N.A.F., EN METROS? ",AF:PRINT
2550 INPUT "¿FACTOR DE SEGURIDAD? ",FS:PRINT
2560 INPUT "¿NUMERO DE CALCULOS? ",IT:PRINT
2570 BTO=100.0
2580 GOTO 100
2590 IF AF >= A THEN 2610
2600 FVPP=FVPP-1
2610 IF TC=1 THEN 2640
2620 IF TC=3 THEN 2660
2630 STOP
2640 IF PHIPP=0 THEN 3160
2650 ANG=(PHIPP*3.141592654)/100
2660 TM=3.141592654/A
2665 COSA=ANG/2
2670 DA=TM+COSA
2680 DB=TAN(DA)
2685 DC=DB^2
2705 DS=TAN(ANG)
2710 DE=3.141592654*REC
2720 DF=EXP(DE)
2730 CNQ=CF*DF
2740 DG=CEC(ANG)
2750 DH=CEM(ANG)
2760 GI=CNQ-1
2765 LCSA=CG/CH
2770 CMC=D1*LOSA
2780 D=1.4*ANG
2790 DI=TAN(D)
2800 CMC=DI*DC
2810 DL=SQRT(CC)
2820 CA=PG/BASE
2825 BATS=.2*DL*DM
2837 TAPD=.1*DL*DM
2838 CDC=1+BATO
2840 CCR=1+TAPD
2850 CGD=DMQ
2860 IF TC=1 THEN 2872
2870 GOTO 2880
2872 DCSA=CC*CGD*HPP*RCMC
2874 AFPA=CGD*FPA*RCMC
2876 CESA=CGD*.5*FVPP*BASE*RMG
2880 GE=CSA+AKNA+CSA
2890 GOTO 1070
2900 INPUT "¿LARGO DE LA ZAPATA, EN METROS? ",ALONG(I):PRINT
2910 IF PHIPP THEN 3040
2920 ALD=ALONG(I)
2930 EA=BASE/ALD
2935 COL=1.4*.5*EA
2940 PHIP=COL*PHIPP
2950 GOTO 2650
2960 INPUT "¿LARGO DE LA ZAPATA, EN METROS? ",ALONG(I):PRINT
2970 ALD=ALONG(I)
2980 EA=BASE/ALD
2985 LUD=.2*DC*EEB
2997 ACUC=.1*DC*EEB
2998 EC=1+LUD

```

```
3020 GC=C0*114*1AN
3025 CLS
3030 GOTO 1070
3040 CND=C.14
3050 CND=11
3060 CND=01
3065 AFB=PD/AFSE
3075 ESC=.24AFB
3079 CDC=1+ESC
3080 CDD=11
3090 CDE=11
3100 ALO=ALON(11)
3110 EA=BASE/ALO
3120 SC=1+.2 KEA
3130 SD=11
3140 SE=11
3150 GOTO 3020
3160 CND=C.14
3170 CND=11
3180 CND=01
3185 AFB=PD/AFSE
3187 ESC=.24AFB
3190 CDC=1+ESC
3200 CDD=11
3210 CDE=11
3220 GOTO 2880
3700 PRINT TAB(20) "CARACTERISTICAS DEL FILOTE O FILA"
3770 INPUT "¿ TIPO DE FILOTE: CIRCULAR(1) O CUADRADO(2) ?",TP:PRINT
3780 IF TP=1 THEN 3810
3790 INPUT "ANCHO DEL FILOTE, EN METROS ?",B:PRINT
3800 GOTO 3820
3810 INPUT "¿DIAMETRO DEL FILOTE, EN METROS ?",D:PRINT
3820 INPUT "¿LONGITUD TOTAL DEL FILOTE, EN METROS ?",L:PRINT
3830 CLS
3840 INPUT "¿PROFUNDIDAD TOTAL DE DESCENTE, EN METROS ?",D1:PRINT
3845 FD=D1
3850 INPUT "¿PROFUNDIDAD DE ENTRADA DEL CEMENTO EN EL ESTRATO DURO, D, EN METRO
S ?",D2:PRINT
3860 CLS
3870 PRINT TAB(10) "PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS HASTA UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE"
3880 PRINT:PRINT
3890 INPUT "¿NÚMERO DE ESTRATOS ?",N:CLS
3900 FOR L=1 TO N
3910 PRINT "ESTRATO: ",L:PRINT
3920 INPUT "¿NIVEL INFERIOR, EN METROS?",D1L:PRINT
3925 INPUT "¿COHESIÓN, EN TON/M2?",C1L:PRINT
3930 INPUT "¿PESO VOLUMÉTRICO, EN TON/M3?",P1L:PRINT
3940 CLS
3950 NEXT L
3960 PRINT TAB(20) "PROPIEDADES DEL ESTRATO DURO"
3970 PRINT:PRINT
3980 INPUT "¿NIVEL SUPERIOR, EN METROS?",S:PRINT
3990 INPUT "¿NIVEL INFERIOR, EN METROS?",I:PRINT
4000 INPUT "¿COHESIÓN, EN TON/M2?",C:PRINT
4010 INPUT "¿PESO VOLUMÉTRICO, EN TON/M3?",P:PRINT
4020 PESA=D*B
4030 P1M=PESA/C1
4040 IF P1M=I THEN 4050
4050 GOTO 3020
4060 CLS
```

```

4030 INPUT "FACTOR DE SEGURIDAD",FSECLS
4040 INPUT "EXISTE NIVEL DE AGUAS FREATICAS, S=N",AF:PRINT
4050 IF AF="N" THEN 4070
4060 INPUT "PROFUNDIDAD DEL N.A.F., EN METROS",AF
4070 CLS
4080 IF AF="N" THEN AF=500 ELSE AF=AF
4090 IF AF <= DF THEN GOSUB 1260
4100 IF AF <= DF THEN 4240
4110 FR=0:F1(0)=0
4120 K=1
4130 ZIN=F1(K)
4140 Z1A=F1(K-1)
4150 VOL=PV(F)
4160 JN=K
4170 IF Z1A > DF THEN 4220
4180 DIF=ZIN-Z1A
4190 FR=FR+VOL*DIF
4200 K=K+1
4210 GOTO 4130
4220 DIFE=DF-Z1A
4230 FF=FR+VOL*DIFE
4240 Y=D/B
4250 IF Y >= 4 THEN 4210
4260 CAN=Y+.071
4270 CEN=CAN*.52
4280 CON=CON+CEN
4290 CNC=CCN+.57
4300 GOTO 4320
4310 CNC=C*
4320 LND=CNC*CNC
4330 GF=LND*FF
4340 DOS=LND/FS
4350 QDM=DOS*FR
4360 CLS
4370 PRINT TAB(25) "R E S U L T A D O S"
4380 PRINT:PRINT
4390 PLAY "01020016e20c20a20"
4400 PRINT "ANCHO DEL PILOTE: ";PRINT USING "00.00";E;PRINT "A";PRINT
4410 PRINT "PROFUNDIDAD TOTAL DE DESPLANTE: ";PRINT USING "00.00";DF;PRINT "A.
";PRINT
4420 PRINT "PROFUNDIDAD DE ENTRADA DEL CIMIENTO AL ESTRATO BUD: ";PRINT USING
"00.00";D;PRINT "A. ";PRINT
4425 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA A LA FALLA DEL PILOTE O PILA: ";PRINT USING "000
0.00";DF;PRINT "ton/m2";PRINT
4430 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE INDIVIDUAL PARA UN PILOTE O PILA POR FU
NTA: ";PRINT USING "0000.00";QDM;PRINT "ton/m2"
4440 END
4500 PRINT TAB(12) "CARACTERISTICAS DEL PILOTE":PRINT
4510 INPUT "TIPO DE PILOTE: CIRCULAR(1) O CUADRO(2)",TF:PRINT
4520 IF TF=1 THEN 4560
4530 REM
4540 INPUT "ANCHO DEL PILOTE, EN METROS",S;PRINT
4550 GOTO 4570
4560 INPUT "DIAMETRO DEL PILOTE, EN METROS",S;PRINT
4570 INPUT "LONGITUD TOTAL DEL PILOTE, EN METROS",VLP;PRINT
4580 CLS
4590 INPUT "PROFUNDIDAD TOTAL DE DESPLANTE, DF, EN METROS",DF;PRINT
4595 PD=DF
4600 INPUT "PROFUNDIDAD DE ENTRADA DEL PILOTE A LA CAPA DE AFO3, D, EN METROS"

```

4610 CLS

4620 PRINT 150(10) "PROPIEDADES DE LOS ESTADOS HASTA UNA PROFUNDIDAD MINIMA DE."

- 214 -

4630 PRINT:PRINT

4640 INPUT "NIVEL DE ESTADOS",NEXLE

4650 FOR I=1 TO NEX

4660 PRINT "ESTADOS":PRINT:PRINT

4670 INPUT "NIVEL INFERIOR, EN METROS?",PI(I):PRINT

4675 INPUT "COHESION, EN TON/M²",C(I):PRINT

4677 INPUT "ANGULO DE FRICCION INTERNA, EN GRADOS",FHI(I):PRINT

4679 FHI(I)=FHI(I)*3.141592654**PI(I)

4680 INPUT "PESO VOLUMETRICO, EN TON/M³",FV(I):CLS

4700 NEXT I

4710 PRINT TAB(24) "PROPIEDADES DE LA CAPA DE ARVID"

4720 PRINT:PRINT

4730 INPUT "NIVEL SUPERIOR, EN METROS",L3:PRINT

4740 INPUT "NIVEL INFERIOR, EN METROS",L1:PRINT

4750 INPUT "COHESION, EN TON/M²",CONE:PRINT

4760 INPUT "ANGULO DE FRICCION INTERNA, EN GRADOS",FHI:PRINT

4770 FHI=(FHI*3.141592654**L3)

4780 INPUT "PESO VOLUMETRICO, EN TON/M³",FVOL:PRINT

4782 PESO=2*P

4784 FVOL=FVOL*F

4786 IF FVOL <= F1 THEN GOTO

4788 GOTO 6500

4790 CLS

4800 INPUT "FACTOR DE SEGURIDAD",FS:CLS

4810 INPUT "EXISTE NIVEL DE AGUA FREATICAS, SI/NO",AFN:PRINT

4820 IF AFN="N" THEN GOTO

4830 INPUT "PROFUNDIDAD DEL N.A.F., EN METROS",AF

4840 CLS

4850 IF AFN="N" THEN AF=500 ELSE AF=AF

4860 IF AF <= DF THEN GOTO 1000

4870 IF AF <= DF THEN 201:

4880 FRO=F1*(1+)

4890 I=1

4900 ZIN=F1*I

4910 ZINA=F1*(I-1)

4920 VEL=FV*I

4930 JI=)

4940 IF ZIN > DF THEN 4500

4950 DIF=ZIN-ZINA

4960 FF=FR+VOL*DI

4970 I=I+1

4980 GOTO 4900

4990 DIFE=DF-ZINA

5000 FF=FR+VOL*DIFE

5010 DI=FHI*I

5020 LM=(45*3.141592654**I)/180

5030 ZAF=LUM-DIV

5040 TA=TAN(7*P)

5050 CE=1+ATA

5070 REM "CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE CAPACIDAD DE CARGA"

5075 PHI=FHI*180)/3.141592654

5080 IF PHI >=0 AND PHI <= 5.5 THEN 5100

5090 GOTO 5120

5100 CNOF=1.05*(FHI*3.37777)

5110 CNOF=.16*(FHI+.7)

5120 GOTO 5080

5130 PRINT "C O F 200 (1) = 1.05 (1.5) 5100

5807 ONCR+20000000
5808 0000 0000
5809 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5810 0000 0000
5811 ONCR+20000000
5812 0000 0000
5813 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5814 0000 0000
5815 ONCR+20000000
5816 0000 0000
5817 ONCR+20000000
5818 0000 0000
5819 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5820 0000 0000
5821 ONCR+20000000
5822 0000 0000
5823 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5824 0000 0000
5825 ONCR+20000000
5826 0000 0000
5827 ONCR+20000000
5828 0000 0000
5829 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5830 0000 0000
5831 ONCR+20000000
5832 0000 0000
5833 ONCR+20000000
5834 0000 0000
5835 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5836 0000 0000
5837 ONCR+20000000
5838 0000 0000
5839 ONCR+20000000
5840 0000 0000
5841 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5842 0000 0000
5843 ONCR+20000000
5844 0000 0000
5845 ONCR+20000000
5846 0000 0000
5847 ONCR+20000000
5848 0000 0000
5849 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5850 0000 0000
5851 ONCR+20000000
5852 0000 0000
5853 ONCR+20000000
5854 0000 0000
5855 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5856 0000 0000
5857 ONCR+20000000
5858 0000 0000
5859 ONCR+20000000
5860 0000 0000
5861 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5862 0000 0000
5863 ONCR+20000000
5864 0000 0000
5865 ONCR+20000000
5866 0000 0000
5867 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5868 0000 0000
5869 ONCR+20000000
5870 0000 0000
5871 ONCR+20000000
5872 0000 0000
5873 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5874 0000 0000
5875 ONCR+20000000
5876 0000 0000
5877 ONCR+20000000
5878 0000 0000
5879 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5880 0000 0000
5881 ONCR+20000000
5882 0000 0000
5883 ONCR+20000000
5884 0000 0000
5885 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5886 0000 0000
5887 ONCR+20000000
5888 0000 0000
5889 ONCR+20000000
5890 0000 0000
5891 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5892 0000 0000
5893 ONCR+20000000
5894 0000 0000
5895 ONCR+20000000
5896 0000 0000
5897 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5898 0000 0000
5899 ONCR+20000000
5900 0000 0000
5901 ONCR+20000000
5902 0000 0000
5903 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5904 0000 0000
5905 ONCR+20000000
5906 0000 0000
5907 ONCR+20000000
5908 0000 0000
5909 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5910 0000 0000
5911 ONCR+20000000
5912 0000 0000
5913 ONCR+20000000
5914 0000 0000
5915 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5916 0000 0000
5917 ONCR+20000000
5918 0000 0000
5919 ONCR+20000000
5920 0000 0000
5921 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5922 0000 0000
5923 ONCR+20000000
5924 0000 0000
5925 ONCR+20000000
5926 0000 0000
5927 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5928 0000 0000
5929 ONCR+20000000
5930 0000 0000
5931 ONCR+20000000
5932 0000 0000
5933 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5934 0000 0000
5935 ONCR+20000000
5936 0000 0000
5937 ONCR+20000000
5938 0000 0000
5939 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5940 0000 0000
5941 ONCR+20000000
5942 0000 0000
5943 ONCR+20000000
5944 0000 0000
5945 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5946 0000 0000
5947 ONCR+20000000
5948 0000 0000
5949 ONCR+20000000
5950 0000 0000
5951 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5952 0000 0000
5953 ONCR+20000000
5954 0000 0000
5955 ONCR+20000000
5956 0000 0000
5957 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5958 0000 0000
5959 ONCR+20000000
5960 0000 0000
5961 ONCR+20000000
5962 0000 0000
5963 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5964 0000 0000
5965 ONCR+20000000
5966 0000 0000
5967 ONCR+20000000
5968 0000 0000
5969 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5970 0000 0000
5971 ONCR+20000000
5972 0000 0000
5973 ONCR+20000000
5974 0000 0000
5975 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5976 0000 0000
5977 ONCR+20000000
5978 0000 0000
5979 ONCR+20000000
5980 0000 0000
5981 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5982 0000 0000
5983 ONCR+20000000
5984 0000 0000
5985 ONCR+20000000
5986 0000 0000
5987 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5988 0000 0000
5989 ONCR+20000000
5990 0000 0000
5991 ONCR+20000000
5992 0000 0000
5993 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
5994 0000 0000
5995 ONCR+20000000
5996 0000 0000
5997 ONCR+20000000
5998 0000 0000
5999 IF THE 10000 AND 4000 1000 THEN 5800
6000 0000 0000


```
5637 GOTO 5700
5700 WPA=AREA*ALF*PDJA
5710 GETL=QCONTA*W
5720 GOTO 5830
5725 PHI=(CMI*100)/J, 14155265+I
5730 IF PHI >= 0 AND PHI <= 5 THEN 5750
5740 GOTO 5780
5750 CMC=.31*PHI*.15
5760 CMQ=.14*PHI*.40
5770 GOTO 5820
5780 IF PHI > 5 AND PHI <= 10 THEN 5800
5790 GOTO 5830
5800 CMC=.58*PHI*.5
5810 CMQ=.26*PHI*.40
5820 GOTO 5820
5830 IF PHI > 10 AND PHI <= 15 THEN 5850
5840 GOTO 5880
5850 CMC=.9*PHI*.4
5860 CMQ=.38*PHI*.12
5870 GOTO 5820
5880 IF PHI > 15 AND PHI <= 20 THEN 5900
5890 GOTO 5930
5900 CMC=1.27*PHI*.40
5910 CMQ=.68*PHI*.5.02
5920 GOTO 5820
5930 IF PHI > 20 AND PHI <= 25 THEN 5950
5940 GOTO 5980
5950 CMC=2.1*PHI*.19.1
5960 CMQ=1.14*PHI*.14.1
5970 GOTO 5820
5980 IF PHI > 25 AND PHI <= 30 THEN 6000
5990 GOTO 6030
6000 CMC=3.54*PHI*.501
6010 CMQ=2.35*PHI*.46.6
6020 GOTO 5820
6030 IF PHI > 30 AND PHI <= 35 THEN 6050
6040 GOTO 6080
6050 CMC=7.1*PHI*.165.6
6060 CMQ=4.7*PHI*.120.3
6070 GOTO 5820
6080 IF PHI > 35 AND PHI <= 40 THEN 6100
6090 STOP
6100 CMC=13.32*PHI*.412.2
6110 CMQ=10.44*PHI*.324.30
6120 TRES=CND-CMC
6130 CCA170=TRES*0
6140 CINCO=CA170/0E
6150 CMCFE=CNC+CINCO
6160 SEIS=CMQ-CMQ
6170 SIETE=SEIS*0
6180 OCHO=SEITE/0E
6190 CMQFE=CMQ+OCHO
6200 UNO=OCHFECNCFE
6210 DOS=PRACMCFE
6220 T=UNO+DOS
6240 D2=B*0
6250 DIV=3, 14155265A*02
6260 AREA=DIV/4
6270 PRINT "CAPACIDAD DE CASA INDIVIDUAL PARA UN PILOTE DE PRIMA SUELTANDO LA "
```

```

EORJA LE MEYEHDF.*
6340 PRINT
6340 PRINT "ANCHO DEL PILOTE: ",B1;PRINT "MTS.":PRINT
6350 PRINT "LONGITUD TOTAL DEL PILOTE: ",YL1;PRINT "MTS.":PRINT
6360 PRINT "PROFUNDIDAD TOTAL DE DESPLANTE, DF: ",DF;PRINT "MTS.":PRINT
6370 PRINT "PENETRACION DEL PILOTE AL ESTIATO RESISTENTE, E: ",D;PRINT "MTS.":PR
INT
6380 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA DE FALLA: ":PRINT USING "####.##";CF;PRINT "ton
/m2":PRINT
6390 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA DE DISEÑO: ":PRINT USING "####.##";DD;PRINT "
ton/m2":PRINT
6400 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA: ":PRINT USING "####.##";PUNTA;PR
INT "ton":PRINT
6410 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA UTIL: ":PRINT USING "####.##";GUTIL;PRINT "ton"
6420 END
6500 INPUT "¿SE CALCULARA CAPACIDAD DE CARGA PARA PILOTES DE FRICCION, S/N?";FR
:PRINT
6510 IF FR="N" THEN STOP
6515 CLS
6517 GOTO 1360:
6520 INPUT "¿EL TIPO DE SUELO EN QUE SE HINCARA EL PILOTE ES COHESIVO(C) O FRIC
CIONANTE(FR)?";SS;PRINT
6530 IF SS="FR" THEN "030"
6540 CLS
6550 PRINT TAB(15) "CARACTERISTICAS DEL PILOTE"
6560 PRINT:PRINT
6570 INPUT "¿TIPO DE PILOTE: CIRCULAR(1) O CUADRADO(2)?";TF;PRINT
6580 IF TF=1 THEN 6610
6590 INPUT "¿ANCHO DEL PILOTE, EN METROS?";B;PRINT
6600 GOTO 6620
6610 INPUT "¿DIAMETRO DEL PILOTE EN METROS?";B;PRINT
6620 INPUT "¿LONGITUD TOTAL DEL PILOTE, EN METROS?";YL;PRINT
6630 INPUT "¿MATERIAL DE CONSTRUCCION DEL PILOTE (CONCRETO(C), MADERA(M) O ACE
RO(C))";M;PRINT
6640 CLS
6645 INPUT "¿FACTOR DE SEGURIDAD?";FS;CLS
6650 PRINT TAB(15) "PROPIEDADES DEL SUELO"
6660 PRINT:PRINT
6670 INPUT "¿COHESION, EN TON/M2?";COHE;PRINT
6680 INPUT "¿PESO VOLUMETRICO, EN TON/M3?";F;
6690 CLS
6700 IF M="C" THEN 6810
6710 IF COHE = 0 AND COHE <= 41 THEN 6750
6720 IF COHE > 41 AND COHE <= 61 THEN 6770
6730 IF COHE > 61 AND COHE <= 151 THEN 6790
6740 STOP
6750 ADHER=.875*COHE
6760 GOTO 6870
6770 ADHER=.25*COHE+.5
6780 GOTO 6870
6790 ADHER=.35*COHE+1.643
6800 GOTO 6870
6810 IF COHE <= 0 AND COHE <= 41 THEN 6840
6820 IF COHE > 41 AND COHE <= 61 THEN 6860
6830 STOP
6840 ADHER=.75*COHE
6850 GOTO 6870
6860 ADHER=.25*COHE+.21
6870 IF TF=1 THEN 6910
6880 PRINT:PRINT

```

```

6590 GOTO 6595
6592 GOTO 6595
6594 GOTO 6595
6596 R=0.5
6598 PEF=1.1415+265+44*FAD
6599 GOTO 6595
6599 CLS
6600 PRINT "RESUMEN DE RESULTADOS"
6601 PRINT:PRINT
6602 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA INDIVIDUAL PARA UN PILOTE DE FRICCION."
6603 PRINT
6604 PRINT "ANCHURA DEL PILOTE: ";B;PRINT "mts.":PRINT
6605 PRINT "LONGITUD TOTAL DEL PILOTE: ";L;PRINT "mts.":PRINT
6606 P=0.5
6607 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA A LA FALLA DEL PILOTE: ";:PRINT USING "###.##"Q
F;PRINT "ton"
6608 PRINT
6609 PRINT "CAPACIDAD DE CARGA DE DISEÑO DEL PILOTE: ";:PRINT USING "###.##"QD
;PRINT "ton"
6610 END
6611 PRINT TAB(15); "CARACTERISTICAS DEL PILOTE"
6612 PRINT:PRINT
6613 INPUT "TIPO DE PILOTE: CIRCULAR(1) O CUADRADO(2)?";T;PRINT
6614 IF T=1 THEN GOTO 6615
6615 INPUT "ANCHO DEL PILOTE EN METROS?";B;PRINT
6616 GOTO 6617
6617 INPUT "DIAMETRO DEL PILOTE, EN METROS?";B;PRINT
6618 INPUT "LONGITUD TOTAL DEL PILOTE, EN METROS?";L;PRINT
6619 P=0.5
6620 CLS
6621 INPUT "EXISTE NIVEL DE AGUAS FREATICAS, SI/NO?";AF;PRINT
6622 IF AF="N" THEN AF=0 ELSE GOTO 6623
6623 GOTO 6624
6624 INPUT "PROFUNDIDAD DEL N.A.F., EN METROS?";AF;PRINT
6625 CLS
6626 INPUT "FACTOR DE SEGURIDAD?";FS;CLS
6627 PRINT TAB(15); "PROFUNDIDADES DEL SUELO":PRINT:PRINT
6628 INPUT "ANGULO DE FRICCION INTERNA, EN GRADOS?";FI;PRINT
6629 INPUT "PESO VOLUMETRICO, EN TON/M3?";PV;CLS
6630 PHI=PI/180
6631 DELTA=B/2+PHI
6632 TANG=TAN(DELTA)
6633 SENO=SEN(DELTA)
6634 QD=1-SENO
6635 IF AF="N" THEN T=0
6636 IF AF="Y" THEN T=0
6637 T=AF*PV
6638 PHI=PI/180+AF/2
6639 FS=L*H+V
6640 R=1/(1+FS*Q)
6641 ENF=FS*Q*Q
6642 IF T=1 THEN T=0
6643 PEF=4+6
6644 QFI=Q*ENF*PEF*TANG
6645 QF=Q*ENF*PEF*TANG
6646 QP=Q*PI*QF
6647 QD=Q*QF

```

```
7390 GOTO 7520
7400 RAD=5:2
7410 FER=3.141592654*PI*RAD
7420 GOTO 7520
7430 BAI=M:2
7440 EMP=(BAI*PI)/2
7450 IF IP=1* THEN 7470
7460 FER=4*B
7470 DF=M*EMP*FER*TRIG
7475 CDIS=DF/FS
7480 GOTO 7520
7490 RAD=5:2
7500 FER=3.141592654*PI*RAD
7510 BDT 7470
7520 GOTO 67-3
5000 M=1
6010 AZU=PI(M)
6020 ZUL=CH(M)
6030 IF AZU > Y1 THEN 6060
6040 M=M+1
6050 GOTO 6010
6060 IF AZU = FFORM THEN 6090
6070 GOTO 6120
6080 ZH=FORM-11
6090 ZB=Y1-DF
6100 ZC=CGHE*Z1+ZUL*Z2
6110 CGHE=ZC/FESE
6120 GOTO 4020
6130 DRV= Y1-DF
6140 CPA=CH(M-1)
6150 CFS=DRV*GRA
6160 ZD=AZU+1
6170 ZE=ZUL*ZD
6180 M=M+1
6190 SUMAR=0
6200 AZU=PI(M)
6210 IF AZU = FFORM THEN 6240
6220 ZULA=PI(M-1)
6230 FES=AZU-ZULA
6240 TAR=CH(M)
6250 SUMA=FES*TAR
6260 SUMAR=SUMA+SUMAR
6270 M=M+1
6280 GOTO 6200
6290 RAZU=PI(M-1)
6300 ZF=FORM-RAZU
6310 ZE=CH(M)
6320 ZH=ZF*ZB
6330 FIN=ZH+ZE+CGE+SUMAR
6340 CGHE=FIN/FESE
6350 GOTO 4020
6500 M=1
6510 AZU=PI(M)
6520 ZUL=CH(M)
6530 ZAL=FHI(M)
6540 ZBL=PY(M)
6550 IF AZU > Y1 THEN 6580
6560 M=M+1
6570 GOTO 6510
6580 IF LTB = FFORM THEN 6610
```

6660 ZB=PRCM*Y1
6661 ZB=Y1-DF
6662 ZC=CCHM*ZB + ZUL*ZA
6663 CD=FHI*ZB + ZUL*ZA
6664 CE=PVOL*ZB + ZBL*CA
6665 CDE=ZC*FESA
6666 FHI=ZD/FESA
6667 PVOL=ZE/FESA
6668 GOTO 4770
6669 CRV=Y1-DF
6700 CFA=CCHM-11
6710 CDE=FHI*ZB-11
6720 CFC=FY*Y1-11
6730 CDC=GRV*ZRA
6740 CDE=C*Y1*DBB
6750 CFF=GRV*CAC
6760 ZF=AZU*Y1
6770 ZG=ZUL*ZF
6780 ZH=ZAL*ZF
6790 ZI=ZBL*ZF
6800 M=K*1
6810 SUMAR=0
6820 UMA=0
6830 ANU=0
6840 AZU=11*Y1
6850 IF AZU .NE. FROM THEN 6770
6860 ZULA=11*Y1-11
6870 FES=AZU-ZULA
6880 TAR=C*Y1
6890 TES=FHI*Y1
6900 TIF=Y1*Y1
6910 SUMA=FES*TAR
6920 UMA=FES*TER
6930 ANU=FES*TIF
6940 SUMAR=SUMA+SUMAR
6950 UMAR=UMA+UMAR
6960 ANUR=ANU+ANUR
6970 M=K*1
6980 GOTO 8840
6990 KAZU=11*Y1-11
7000 ACF=FROM-FAZU
7010 AZU=CH*Y1
7020 AZH=FHI*Y1
7030 AZI=11*Y1
7040 AZJ=AZF*AZU
7050 AZK=AZF*AZH
7060 AZL=ACF*AZI
7070 AZM=AZI*CG+CRD*EUMAR
7080 AZN=AZK*CH+OBE*UMAR
7090 AZO=AZL*Z1+OBF*ANUR
9100 COME=AZM/FESA
9110 FHI=ZCN/FESA
9120 PVOL=AZD/FESA
9130 GOTO 4770

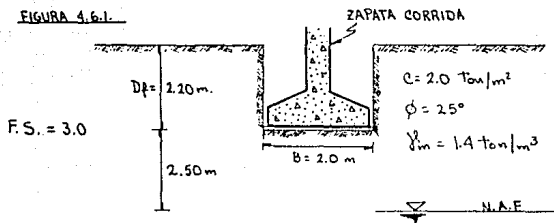
4.6 PRUEBA DE ESCRITORIO Y CORRIDA DEL PROGRAMA.

En este subtítulo se presentan los resultados obtenidos en forma directa y con el uso de la computadora, a problemas concernientes a la capacidad de carga en cimientos superficiales y profundos, empleando las teorías descritas en el inciso 4.2.

TEORÍA DE TERZAGHI.

En esta parte se resolverán problemas que impliquen a las cimentaciones su per fici ales.

EJEMPLO No. 1: Calcule la capacidad de carga admisible del cimiento mostrado en la figura 4.6.1.



SOLUCIÓN: Como existe nivel de aguas freáticas, se calcula primero la zona de influencia del NAF, considerando una profundidad de dos veces el ancho del cimiento a partir de la base del mismo, para saber si en el tercer miembro de la expresión de Terzaghi para capacidad de carga se utiliza el valor de γ ó γ' sumergido.

$$\text{Zona de influencia del NAF} = A = 2B = 2(2) = 4.0 \text{ m.}$$

Por lo tanto, el valor del peso volumétrico del material γ_m , se considerará sumergido, ya que $4.0 \text{ m.} > 2.5 \text{ m.}$

Se define el valor de los coeficientes de capacidad de carga N_c , N_q y N_γ en función del ángulo de fricción interna θ del material; para ello utilizaremos la gráfica 1 del Anexo 1 (véase).

$$\text{Para } \theta = 25^\circ \quad \begin{cases} h_c = 20.50 \\ h_q = 10.50 \\ h_f = 7.00 \end{cases}$$

Sustituyendo los datos anteriores en la expresión de Terzaghi tenemos que:

$$q_c = C h_c + \frac{1}{2} D_f h_q + 0.5 \frac{1}{2} B h_f$$

$$q_c = (2.0)(20.50) + (2.2)(1.4)(10.50) + 0.5(0.4)(2.0)(7.00)$$

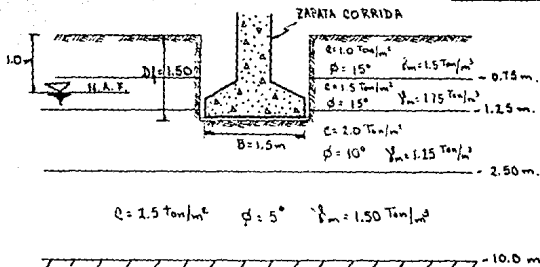
$$q_c = 41.00 + 32.34 + 2.80 = 76.14 \text{ ton/m}^2$$

$q_{adm.} = \frac{q_c}{1.5}$; si se considera un factor de seguridad de 3, la capacidad de carga admisible será:

$$q_{adm.} = \frac{76.14}{3.00} = 25.38 \text{ ton/m}^2$$

EJEMPLO No. 2 : Calcular la capacidad de carga admisible de la zapata corrida mostrada en la figura 4.6.2., considere un factor de seguridad igual a 1.5

FIGURA 4.6.2.



SOLUCIÓN: Debido a que el terreno sobre el que se haya desplazado el cimiento es estratificado, es necesario calcular la zona de influencia tanto del NAF como para obtener el valor de los promedios pesados de las propiedades de los estratos que queden comprendidos en dicha zona.

$$\text{Zona de influencia} = A = 2b = 2(1.5) = 3.0 \text{ m.}$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Cohesión (promedio pesado)} = C_{pp} = \frac{(2.0)(1.0) + (2.5)(2.0)}{3.0} = 2.33 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Ang. de fricción (prom. pesado)} = \theta_{pp} = \frac{1(0)(1.0) + (1.5)(2.0)}{3.0} = 6.67^\circ$$

$$\text{Peso volumétrico (prom. pesado)} = \gamma_{pp} = \frac{(1.25)(1.0) + (1.5)(2.0)}{3.0} = 1.42 \text{ ton/m}^3$$

Obteniendo de la gráfica 1 del Anexo 1 los valores de los coeficientes de capacidad de carga, tenemos lo siguiente:

$$\text{Para } \theta = 6.67^\circ \quad \begin{cases} N_c = 7.00 \\ N_q = 1.80 \\ N_\gamma = 0.15 \end{cases}$$

Entonces, la capacidad de carga estará dada por:

$$q_c = C N_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

$$q_c = (2.33)(7.0) + [(1.5)(0.75) + (1.75)(0.25) + (0.75)(0.25) + (0.25)(0.25)] (1.80) + (0.5)(0.42)(1.5)(0.15)$$

$$q_c = 16.31 + 3.26 + 0.05 = 19.62 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{adm.} = \frac{19.62}{1.50} = 13.08 \text{ ton/m}^2$$

Enseguida se presentan los resultados obtenidos por medio de la computadora en la solución de ambos problemas, por medio de la teoría de Terzaghi.

TEORIA DE TERZAGHI

EL TIPO DE FALLA QUE SE CONSIDERO FUE FALLA GENERAL

*** CAPACIDAD DE CARGA ***
INDICACION DE BASE

DATOS :

CIMENTACION A BASE DE ZAPATAS CORRIDAS.

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO :

ANCHO = 2 m.

PROFUNDIDAD DE DESPLANTE = 2.2 m.

ESTRATIGRAFIA :

[ESTRATO]	[NIV. INF.]	[COHESION]	[FRICCION]	[PESO VOL]
[m]	[(m)]	[(ton/m ²)]	[o]	[(ton/m ³)]
1	4.70	2.00	25.00	1.40
2	20.00	2.00	25.00	1.40

PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS = 4.7 m.

FACTOR DE SEGURIDAD = 3

R E S U L T A D O S.

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA = 76.99ton/m²

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE = 25.66 ton/m²

T E O R I A D E T E F Z A G H I

EL TIPO DE FALLA QUE SE CONSIDERO FUE FALLA G E N E R A L

*** CAPACIDAD DE CARGA ***

***** ** *****

DATOS :

CIMENTACION A BASE DE ZAPATAS CORRIDAS.

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO :

ANCHO = 1.5 m.

PROFUNDIDAD DE DESPLANTE = 1.5 m.

E S T R A T I G R A F I A :

ESTRATO	NIV. INF.	COHESION	FRICCION	PESO VOL
----	(m)	(ton/m ²)	(o)	(ton/m ³)
1	0.75	1.00	15.00	1.50
2	1.60	1.50	15.00	1.75
3	1.25	1.50	15.00	1.75
4	2.50	2.00	18.00	1.25
5	10.00	2.50	5.00	1.50

PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS = 1 m.

FACTOR DE SEGURIDAD = 1.5

R E S U L T A D O S.

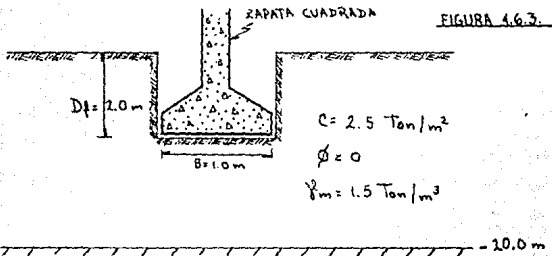
CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA = 19.71ton/m²

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE = 13.12 ton/m²

TEORÍA DE SKEMPTON.

En lo referente a esta teoría, se presentan problemas tanto de cimentaciones superficiales como de cimentaciones profundas, desplantadas ambas únicamente en suelos de tipo cohesivo.

EJEMPLO No. 1: Utilizando la teoría de Skempton, obtenga el valor de la capacidad de carga admisible de la zapata cuadrada que se muestra en la figura 4.6.3. Considere un factor de seguridad igual a 3.0.



SOLUCIÓN: De la gráfica 2 del Anexo 1, encontramos el valor del coeficiente de capacidad de carga N_c , en función de la relación entre la profundidad de desplante y el ancho del cimiento (D/B)

$$\frac{D}{B} = \frac{2.0}{1.0} = 2.0 ; \text{ para el cual se tiene que } N_c = 8.40$$

Aplicando la expresión de Skempton para capacidad de carga y sustituyendo los valores obtenidos, se tiene lo siguiente:

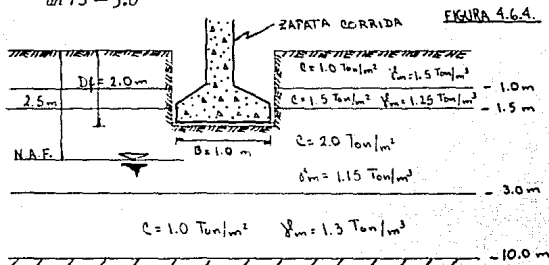
$$q_c = c N_c + \gamma D_f$$

$$q_c = (2.5)(8.4) + (1.5)(2.0) = 21 + 3 = 24.0 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{adm.} = \frac{c N_c}{FS} + \gamma D_f = \frac{21.0}{3.0} + 3.0 = 7.0 + 3.0$$

$$q_{adm.} = 10 \text{ ton/m}^2$$

EJEMPLO No. 2 : Calcule la capacidad de carga del cimiento mostrado en la figura 4.6.4., aplicando la teoría de Shempton. Considere un $FS = 3.0$



SOLUCIÓN: Debido a que el terreno sobre el que se desplantará el cimiento está formado por varios estratos, es necesario calcular el valor de la profundidad de la zona de influencia tanto del N.A.F. como para el cálculo de los promedios pesados de las propiedades:

$$\text{Zona de influencia} = A = 2B = (2)(1.0) = 2.0 \text{ m a partir de } D_f.$$

Por lo tanto, los promedios pesados de las propiedades de los estratos hasta una profundidad "h" serán:

$$\text{Cohesión (promedio pesado)} = C_{pp} = \frac{(1.0)(2.0) + (1.0)(1.0)}{2.0}$$

$$C_{pp} = 1.5 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Peso volumétrico (prom. pesado)} = \gamma_{pp} = \frac{(1.0)(1.15) + (1.0)(1.3)}{2.0}$$

$$\gamma_{pp} = 1.225 \text{ ton/m}^3$$

Se obtiene de la gráfica 2 del Anexo 1 el valor del coeficiente de carga N_c en función de la relación D/B :

$$\frac{D}{B} = \frac{2.0}{1.0} = 2.0 \text{ al cual corresponde un valor } N_c = 7.0$$

Sustituyendo en la expresión de capacidad de carga de Shemp-ton, se tiene:

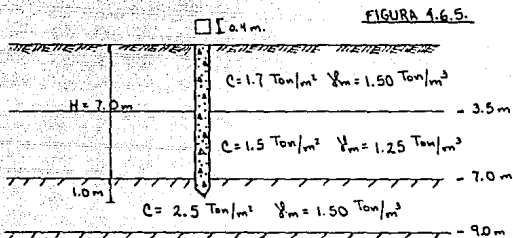
$$q_c = C \lambda_c + \gamma D_f$$

$$q_c = (1.5)(7.0) + [(1.5)(1.0) + (1.25)(0.5) + (1.15)(0.5)]$$

$$q_c = 10.5 + 2.70 = 13.20 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{adm.} = \frac{C \lambda_c}{FS} + \gamma D_f = \frac{10.5}{3.0} + 2.70 = 6.20 \text{ ton/m}^2$$

EjemPlo No. 3: Utilizando la teoría de Shemp-ton, encuentre la capacidad de carga del pilote de punta mostrado en la figura 4.6.5. Considere un factor de seguridad FS = 3.0



SOLUCION: Para una relación entre el valor de la profundidad de desplante y el ancho del cemento igual a :

$$\frac{D}{B} = \frac{1.0}{0.4} = 2.50$$

se tiene, utilizando la gráfica 2 del anexo 1 un valor de $\lambda_c = 8.70$

Por lo tanto, la capacidad de carga estará dada por:

$$q_c = (2.5)(8.70) + [(1.5)(3.5) + (1.25)(3.0) + (1.15)(1.0)]$$

$$q_c = 21.75 + 11.125 = 32.875 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{adm.} = \frac{21.75}{3.0} + 11.125 = 18.375 \text{ ton/m}^2$$

Enseguida se muestran los resultados que se obtuvieron utilizando el programa de computadora elaborado para resolver la teoría de Shempzon a problemas de capacidad de carga, para cada uno de los tres problemas anteriormente resueltos.

TEORIA DE SKEMPTON

*** CAPACIDAD DE CARGA ***

DATOS :

DIRECCION A BASE DE DATOS AISLADOS.

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO :

ANCHO = 1 m.

PROFUNDIDAD DE DESPLANTE = 8 m.

ESTRATIGRAFIA :

ESTRATO	NIV.	H.G.	COHESION	FRICCION	ESFUERZO VCL
1	0.00	1	0.00	0.20	1.00
2	1.00	1	0.00	0.20	1.00
3	2.00	1	0.00	0.20	1.00
4	3.00	1	0.00	0.20	1.00
5	4.00	1	0.00	0.20	1.00
6	5.00	1	0.00	0.20	1.00
7	6.00	1	0.00	0.20	1.00
8	7.00	1	0.00	0.20	1.00
9	8.00	1	0.00	0.20	1.00

FACTOR DE SEGURIDAD = 3

F. E. S. M. L. T. A. D. S.

PROFUNDIDAD DE ENTRADA DEL CEMENTO AL ESTRATO DURO: 0.00 m.

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA: 2.00 ton/m²

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE: 0.66 ton/m²

TEORIA DE SLOEPTON

*** CAPACIDAD DE CARGA ***

***** de *****

DATOS :

CIMENTACION A BASE DE CAPATAS CORRIDAS.

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO :

ANCHO = 1 m.

PROFUNDIDAD DE DESPLANTE = 2 m.

ESTRATIGRAFIA :

ESTRATO (V. INF. COHESION (Kgf/cm²) (c) (Kgf/cm²)|-----| (m) | (ton/m²) | (c) | (ton/m²) |

|-----|-----|-----|-----|-----|

| 1 | 1.00 | 1.00 | 0.60 | 1.50 |

|-----|-----|-----|-----|-----|

| 2 | 1.50 | 1.50 | 0.00 | 1.25 |

|-----|-----|-----|-----|-----|

| 3 | 2.50 | 2.70 | 0.60 | 1.10 |

|-----|-----|-----|-----|-----|

| 4 | 3.00 | 2.00 | 0.30 | 1.15 |

|-----|-----|-----|-----|-----|

| 5 | 4.00 | 1.00 | 0.50 | 1.20 |

|-----|-----|-----|-----|-----|

PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS = 2.5 m.

FACTOR DE SEGURIDAD = 3

R E S U L T A D O S.

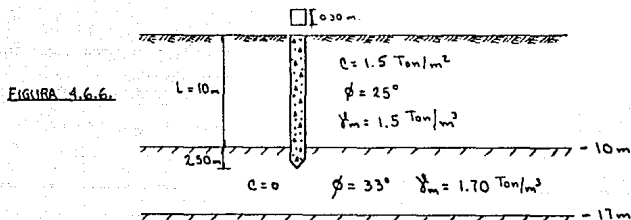
PROFUNDIDAD DE ENTRADA DEL CEMENTO AL ESTADO DURO: 4.00 m.

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA : 13.20 ton/m²CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE : 4.40 ton/m²

TEORÍA DE MEYERHOF

El uso de la teoría de Meyerhof es muy confiable para el caso de cimentaciones profundas, por lo que los ejemplos que se manejan en esta parte de pilotes trabajando por punta, se resuelven con dicha teoría.

EJEMPLO No. 1: Calcule la capacidad de carga del pilote cuadrado que está mostrado en la figura 4.6.6. empleando la teoría de Meyerhof. Considere un factor de seguridad de 3.0



SOLUCIÓN: Para poder encontrar el valor de la capacidad de carga del cimiento, es necesario obtener en este caso, el valor de la profundidad que deberá penetrar el cemento como mínimo, en el estrato duro; esta profundidad está dada por la siguiente expresión:

$$D = 4 B \tan (45 + \phi/2)$$

Para nuestro ejemplo, se tiene lo siguiente:

$$D = 4 (0.30) \tan (45 + 33/2) = 2.21\text{ m.}$$

Como la profundidad que penetra el cemento, 2.50 m , es mayor a la que se necesita en forma teórica, entonces se procede a obtener el valor de los coeficientes de capacidad de carga h_{cp} y h_{qp} , en función del ángulo de fricción interna del material que servirá de apoyo al pilote. Estos coeficientes se pueden obtener directamente de la gráfica 3 del Anexo 1.

$$\text{Para } \phi = 33^\circ \begin{cases} h_{cp} = 530 \\ h_{qp} = 90 \end{cases}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la expresión de Meyerhof, se tiene:

$$q_c = C N_{cp} + \gamma \delta D_f N_{qp}$$

$$q_c = (0)(530) + [(1.5)(110) + (2.5)(11.7)] \cdot (90)$$

$$q_c = 1732.50 \text{ ton/m}^2$$

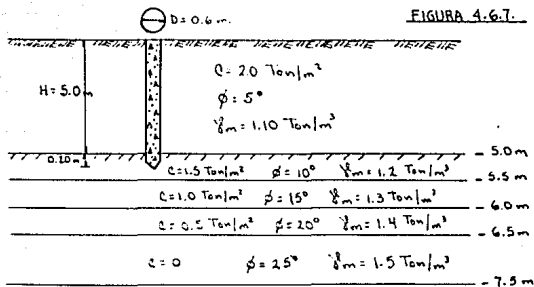
$$q_{adm} = \frac{q_c}{FS} = \frac{1732.50}{3.0} = 577.50 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_{punta} = (q_{adm})(\text{área del pilote}) = (577.50)(0.31)(0.31) = 51.975 \text{ ton.}$$

$$Q_{util} = Q_{punta} - \text{peso propio del pilote}$$

$$Q_{util} = 51.975 - (0.31)(0.31)(2.50)(2.40) = 49.275 \text{ ton.}$$

EjemPlo No. 2 : Calcule la capacidad de carga del pilote circular mostrado en la figura 4.6.7. empleando la teoría de Meyerhof. Considere un factor de seguridad igual a 3.0



SOLUCION: Debido a que el terreno sobre el que se hincará el pilote está formado por varios estratos, es necesario calcular la profundidad de influencia para obtener los valores de los promedios pesados de la cohesión, del ángulo de fricción interna y del peso volumétrico de los estratos que se hayan bajo la punta del pilote. Esta profundidad estará dada por dos ve

ces el ancho del cimienta a partir de la profundidad total de desplante.

$$\text{Zona de influencia} = A = 2 B = (2)(0.60) = 1.20 \text{ m.}$$

Por lo que se tienen los siguientes valores:

$$\text{Cohesión (promedio pesado)} = C_{pp} = \frac{(1.5)(0.3) + (1.0)(0.5) + (0.5)(0.4)}{1.20}$$

$$C_{pp} = 0.958 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Angulo de fricción interna (prom. pesado)} = \theta_{pp} = \frac{(10)(0.3) + (15)(0.5) + (20)(0.4)}{1.20}$$

$$\theta_{pp} = 15.417^\circ$$

$$\text{Peso volumétrico (promedio pesado)} = \gamma_{pp} = \frac{(1.2)(0.3) + (1.3)(0.5) + (1.4)(0.4)}{1.20}$$

$$\gamma_{pp} = 1.308 \text{ ton/m}^3$$

Ahora se calcula la profundidad necesaria que debe penetrar el pilote en el estrato duro, y se compara con la profundidad real:

$$D = 4 B \tan(45 + \theta/2) = 4(0.6) \tan(45 + 15.417/2)$$

$$D = 3.151 \text{ m.}$$

$$D' = 0.20 \text{ m} < 3.151 \text{ m.}$$

Como se puede ver, el valor de la profundidad que penetrará el pilote es inferior al valor que tiene que penetrar como mínimo; por tanto, hay que trabajar al pilote como un tipo de cimentación intermedia entre las profundas y las superficiales. Ello con el fin de obtener un coeficiente de carga idóneo a las condiciones del cimienta en lo referente a las profundidades de hincado.

$$\text{Para } \theta = 15.417^\circ \left\{ \begin{array}{l} n_c = 15.7 \\ n_q = 4.9 \end{array} \right.$$

Para el caso de cimentaciones superficiales, Gráfica 1 Anexo 1.

$$\text{Para } \theta = 15.417^\circ \left\{ \begin{array}{l} n_{cp} = 42.0 \\ n_{qp} = 6.5 \end{array} \right.$$

Para el caso de cimentaciones profundas, Gráfica 3 de Anexo 1.

Los coeficientes de capacidad de carga que se utilizarán para este ejemplo, estarán dados por las siguientes expresiones:

$$N_{cp}' = N_c + \frac{(N_{cp} - N_c) D'}{D} = 15.7 + \frac{(42 - 15.7)(0.2)}{3.151} = 17.369$$

$$N_{qp}' = N_q + \frac{(N_{qp} - N_q) D'}{D} = 4.9 + \frac{(6.5 - 4.9)(0.20)}{3.151} = 5.002$$

Sustituyendo por último los valores obtenidos en la expresión de Meyerhof para capacidad de carga, se tiene:

$$q_c = C N_{cp}' + \gamma D_f' N_{qp}'$$

$$q_c = (0.958)(17.369) + [(1.1)(5.0) + (1.2)(0.2)] 5.002$$

$$q_c = 16.640 + 28.711 = 45.351 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{adm.} = \frac{q_c}{FS} = \frac{45.351}{3.0} = 15.117 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_{punta} = (15.117) \left(\frac{\pi (0.6)^2}{4} \right) = (15.117)(0.283) = 4.278 \text{ ton.}$$

$$Q_{útil} = (4.278) - (0.283)(5.20)(2.40) = 0.746 \text{ ton.}$$

Debido al bajo valor de capacidad de carga útil que puede proporcionarse al pilote, se considera que éste tendría una mayor capacidad de carga si trabajará por fricción y por punta al mismo tiempo.

Enseguida se muestran los resultados que se obtuvieron utilizando el programa de computadora elaborado para resolver la teoría de Meyerhof a problemas de capacidad de carga, para cada uno de los problemas anteriores.

TEORÍA DE NEVEFADP

CARACTERÍSTICAS DEL PILOTE.

FORMA GEOMÉTRICA DEL PILOTE (SECCIÓN TRANSVERSAL) : CUADRADO.
 ANCHO DEL PILOTE : .3 metros.
 LONGITUD TOTAL DEL PILOTE : 12.5 metros.
 PROFUNDIDAD TOTAL DE DESPLANTE, D : 12.5 metros.
 PENETRACIÓN DEL PILOTE AL ESTRATO RESISTENTE, D : 2.5 metros.

PROPIEDADES DE LA OPA DE APOYO.

NIVEL SUPERIOR : 16 metros.
 NIVEL INFERIOR : 17 metros.
 COHESIÓN : 0 ton/m²
 ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : 33 grados.
 PESO VOLUMÉTRICO : 1.7 ton/m³

*** CAPACIDAD DE CARGA ***
 ***** de *****

DATOS :

CIMENTACIÓN A BASE DE PILOTES DE PUNTA.

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO :

ANCHO = .3 m.
 PROFUNDIDAD DE DESPLANTE = 12.5 m.

ESTRATIGRAFÍA :

ESTRATO	NIV.	INF.	COHESION	FRICCION	PESO VOL.	
1	----	1	(m)	(ton/m ²)	(gr)	(ton/m ³)
1	1	10.00	1.50	25.00	1.50	
1	2	17.00	0.00	33.00	1.70	

FACTOR DE SEGURIDAD = 3

R E S U L T A D O S .

CAPACIDAD DE CARGA A LA FALLA: 1725.77ton/m²

CAPACIDAD DE CARGA DE DISEÑO: 575.59ton/m²

CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA: 55.07ton

CAPACIDAD DE CARGA ÚTIL: 47.37ton

TEORIA DE MEYERHOF

- 238 -

CARACTERISTICAS DEL PILOTE.

FORMA GEOMETRICA DEL PILOTE (SECCION TRANSVERSAL) : CIRCULAR.
 DIAMETRO DEL PILOTE : .6 metros.
 LONGITUD TOTAL DEL PILOTE : 5.2 metros.
 PROFUNDIDAD TOTAL DE DESPLANTE, D : 5.2 metros.
 PENETRACION DEL PILOTE AL ESTRATO RESISTENTE, D : .2 metros.

PROPIEDADES DE LA CAPA DE APOYO.

NIVEL SUPERIOR : 5 metros.
 NIVEL INFERIOR : 5.5 metros.
 COHESION : 1.5 ton/m²
 ANGULO DE FRICCION INTERNA : 10 grados.
 PESO VOLUMETRICO : 1.2 ton/m³

*** CAPACIDAD DE CARGA ***

DATOS :

CIMENTACION A BASE DE PILOTES DE PUNTA.

CARACTERISTICAS DEL CIMENTO :

ANCHO = .6 m.
 PROFUNDIDAD DE DESPLANTE = 5.2 m.

E S T R A T I G R A F I A :

[ESTRATO]	MIV.	INF.	[COHESION]	[FRICCION]	[PESO VOL]
[]	[(m)]	[(m)]	[(ton/m ²)]	[(o)]	[(ton/m ³)]
[1]	[5.00]	[2.00]	[5.00]	[1.10]	
[2]	[5.50]	[1.50]	[10.00]	[1.20]	
[3]	[6.00]	[1.00]	[15.00]	[1.30]	
[4]	[6.50]	[0.50]	[20.00]	[1.40]	
[5]	[7.50]	[0.00]	[25.00]	[1.50]	

FACTOR DE SEGURIDAD = 3

R E S U L T A D O S .

CAPACIDAD DE CARGA A LA FALLA: 43.55ton/m²

CAPACIDAD DE CARGA DE CIZERO: 14.53ton/m²

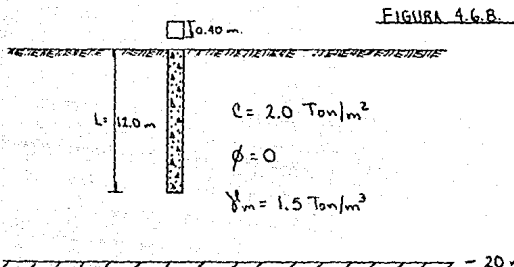
CAPACIDAD DE CARGA EN LA PUNTA: 4.71ton

CAPACIDAD DE CARGA UTIL: 0.58ton

PILOTES DE FRICCIÓN.

Para este caso, se resolverán ejemplos de pilotes trabajando por fricción, tanto en suelos puramente cohesivos como en suelos friccionantes.

EJEMPLO No. 1: Encuentre el valor de la capacidad de carga del pilote de adherencia mostrado en la figura 4.6.8. Considere un factor de seguridad igual a 1,5



SOLUCION: Para encontrar la capacidad de carga del pilote, en forma individual, es necesario encontrar el valor de la adherencia que se presenta entre el terreno y el pilote; dicho valor se obtiene utilizando la tabla 4.1, en función del valor de la cohesión del suelo:

Para una cohesión de 2.0 ton/m^2 se tiene una adherencia igual a 1.75 ton/m^2 .

En la obtención del valor de la adherencia se utilizó una regresión lineal.

La superficie perimetral del pilote está dada por:

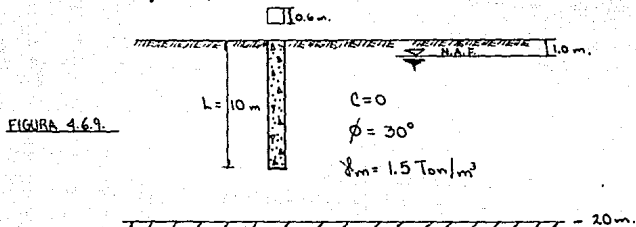
$$S = 4 B L = 4 (0.4)(12.0) = 19.20 \text{ m}^2.$$

Por lo tanto, la capacidad de carga del pilote estará dada por la siguiente expresión:

$$Q_p = (S)(\text{Adherencia}) = (19.2)(1.75) = 33.60 \text{ ton.}$$

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{Q_p}{FS} = \frac{33.60}{1.5} = 22.40 \text{ ton.}$$

EJEMPLO No. 2 : Encuentre la capacidad de carga del pilote de fricción mostrado en la figura 4.6.9. Considere un factor de seguridad igual a 3.0



SOLUCION: La expresión a utilizar en el cálculo de la capacidad de carga para este tipo de pilotes es la siguiente:

$$Q_p = K_o \nabla_o p \tan 2/3 \theta$$

de donde: Q_p = capacidad de carga del pilote, en ton.

K_o = coeficiente de presión de tierras en reposo.

∇_o = presión ejercida al pilote por el suelo, en ton/m^2 .

p = perímetro de la sección transversal del pilote, en metros.

θ = ángulo de fricción interna del material, en grados.

Se obtienen los parámetros anteriormente citados:

$$K_o = 1 - \text{Sen } \theta = 1 - \text{Sen } 30^\circ = 1 - 0.5 = 0.5$$

$$p = 4 B = 4 (0.6) = 2.40 \text{ m.}$$

$$\tan \frac{2\theta}{3} = \tan \frac{2(30^\circ)}{3} = \tan 20^\circ = 0.364$$

Para obtener la presión ejercida sobre el pilote, se muestra en la figura 4.6.10. el diagrama de presiones verticales correspondientes, considerando la posición del nivel de aguas freáticas:

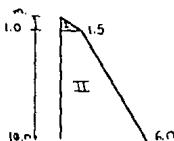


FIGURA 4.6.10

$$\text{Empuje 1} = \frac{(0.5)(1.5)(1.0)}{2.0} = 0.375 \text{ ton/m.}$$

$$\text{Empuje 2} = \left(1.5 - \frac{6.0}{2.0}\right)(9.0)(0.5) = 16.875 \text{ ton/m.}$$

$$\text{Empuje total} = 0.375 + 16.875 = 17.250 \text{ ton/m.}$$

Por lo tanto, la capacidad de carga será:

$$Q_p = (17.250)(2.40)(0.364) = 15.070 \text{ ton.}$$

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{15.070}{3.0} = 5.023 \text{ ton.}$$

En la siguiente hoja se presentan los resultados obtenidos para pilotes de fricción utilizando la computadora. Se presentan los valores obtenidos para los dos problemas anteriores.

FILOTES DE FRICCIÓN.

TIPO DE SUELO EN QUE SE HAYÓRA EL FILOTE : TOTALMENTE COHESIVO.

CARACTERÍSTICAS DEL FILOTE

FORMA GEOMÉTRICA DEL FILOTE (SECCIÓN TRANSVERSAL) : CUADRADO.
ANCHO DEL FILOTE : 14 metros.
LARGITUD TOTAL DEL FILOTE : 10 metros.
MATERIA DE CONSTRUCCIÓN DEL FILOTE : CONCRETO.
FACTOR DE SEGURIDAD : 1.5

PROPIEDADES DEL SUELO

COHESION : 2 toneladas
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO : 0 grados.
PESO VOLUMÉTRICO : 1.2 toneladas

R E S U L T A D O S

CAPACIDAD DE CARGA A LA FALLA DEL FILOTE: 73,50ton

CAPACIDAD DE CARGA DE DISEÑO DEL FILOTE: 22,40ton

PILOTES DE FRICCIÓN.

TIPO DE SUELO EN QUE SE HIRCARA EL PILOTE : TOTALMENTE FRICCIÓNANTE.

CARACTERÍSTICAS DEL PILOTE.

FORMA GEOMÉTRICA DEL PILOTE (SECCIÓN TRANSVERSAL) : CUADRADO.
ANCHO DEL PILOTE : .8 metros.
LONGITUD TOTAL DEL PILOTE : 10 metros.
PROFUNDIDAD DEL N.A.F. : 1 metros.
FACTOR DE SEGURIDAD : 3

PROPIEDADES DEL SUELO

COHESIÓN : 0 ton/m²
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO: .3235888 radianes.
PESO VOLUMÉTRICO : 1.5 ton/m³

RESULTADOS

CAPACIDAD DE CARGA A LA FALLA DEL PILOTE: 15.07ton

CAPACIDAD DE CARGA DE DISEÑO DEL PILOTE: 5.02ton

4.7 ANALISIS DE RESULTADOS.

Resumiendo los resultados obtenidos en forma directa y por medio de la computadora, de los ejemplos de capacidad de carga tratados anteriormente, se puede formar la siguiente tabla 4.7.1.

TABLA 4.7.1.

TEORIA DE:	EJEMPLO No.	RESULTADOS	
		En forma directa.	por computadora.
TERZAGHI	1	$q_{adm} = 25.380 \text{ t/m}^2$	$q_{adm} = 25.66 \text{ t/m}^2$
TERZAGHI	2	$q_{adm} = 13.080 \text{ t/m}^2$	$q_{adm} = 13.18 \text{ t/m}^2$
SKEMPTON	1	$q_{adm} = 10.000 \text{ t/m}^2$	$q_{adm} = 10.000 \text{ t/m}^2$
SKEMPTON	2	$q_{adm} = 6.20 \text{ t/m}^2$	$q_{adm} = 6.200 \text{ t/m}^2$
SKEMPTON	3	$q_{adm} = 18.375 \text{ t/m}^2$	$q_{adm} = 18.380 \text{ t/m}^2$
MEYERHOFF	1	$q_{adm} = 577.500 \text{ t/m}^2$	$q_{adm} = 578.590 \text{ t/m}^2$
MEYERHOFF	2	$q_{adm} = 15.117 \text{ t/m}^2$	$q_{adm} = 14.53 \text{ t/m}^2$
ADHERENCIA	1	$Q_{dis} = 22.400 \text{ ton.}$	$Q_{dis} = 22.400 \text{ ton.}$
FRICCION	2	$Q_{dis} = 5.023 \text{ ton.}$	$Q_{dis} = 5.023 \text{ ton.}$

Al analizar y comparar los resultados anteriores, se notó que en general son muy parecidos y que la diferencia que existe entre ellos es muy pequeña. Dicha diferencia se debe entre otras cosas a la cantidad de cifras significativas que toma la computadora en cada operación que realiza, y al cálculo que hace de los factores de capacidad de carga; obteniendo estos valores más exactos que los obtenidos directamente por observación de las gráficas.

En general, podemos considerar que el programa desarrollado para resolver problemas de capacidad de carga funciona correctamente, proporcionando resultados confiables. Sin embargo no hay que olvidar que dicho programa presenta ciertas limitaciones, las cuales se pueden observar en el inciso 4.4.

CAPÍTULO V

C A P I T U L O V

DISEÑO DE PAVIMENTOS.

5.1 INTRODUCCION.

A través del tiempo, desde la época en que se inicia la historia de los más antiguos pueblos, se ha hecho patente la presencia de la ingeniería y, merced a sus obras, se ha permitido el desarrollo económico, social y político de las comunidades.

Uno de los medios que utiliza el hombre para lograr este desarrollo es el transporte, el cual se realiza por medio de vías de comunicación para poder transportar sus ideas, objetos o al mismo hombre.

El hombre para resolver sus necesidades de consumo (alimentos, agua, etc..) se tiene que comunicar con los centros de abastecimiento para transportar los artículos necesarios a los centros de consumo, surgiendo primero la comunicación terrestre por medio de brechas en donde se transitaba a pie; es las brechas fueron transformándose a medida que el ingenio humano fue descubriendo nuevos medios de transporte siendo el primero las bestias y posteriormente, con la aparición de la rueda, las carretas. Esta evolución fue motivando que las vías terrestres fueran cambiando de características en su geometría y en sus materiales, para hacer expedito el tránsito y que pudiera soportar los vehículos de transporte, hasta llegar a lo que actualmente conocemos como carretera, a la cual definiremos como el conjunto de instalaciones y construcciones efectuadas para permitir el fácil, cómodo y seguro tránsito de vehículos automotores como son automóviles, autobuses y camiones.

Existen testimonios de la construcción de caminos carreteros desde tiempos muy lejanos, considerándose que los primeros se remontan al tiempo en que se inventó la rueda, 5000 años A.C. En Babilonia se sabe que hubo cuatro grandes carreteras y de la época romana aún existen vestigios, como el de La Vía Apia, la que tiene un ancho de 5 a 10 metros.

En México tenemos antecedentes desde la época precolombiana, por ejemplo el "Camino Blanco de los Mayas" y los construidos por los aztecas, como el de México a Veracruz, por el que se abastecían de pescado fresco y el de Duran

go a Mazatlán, que estaba empedrado en su totalidad y el cual era utilizado para llevar a los reyes aztecas a descansar a Mazatlán. En la época colonial se hicieron aproximadamente 7600 Km. de caminos carreteros y 19000 Km. de caminos de herradura. En 1537 Cortés construyó un camino de México a Tampico, habiendo hecho en este último lugar un muelle.

En 1825 se creó en México la primera Junta de carreteras y entre 1837 y 1846 se dictaron las primeras leyes en materia de caminos, habiéndose formado la Dirección General de Colonización e Industria a la cual quedó adscrita la junta de carreteras. En 1881 se creó lo que en nuestros días es la llamada Secretaría de Comunicaciones y Transportes, e inicióse la construcción de caminos propiamente en el año de 1925, al crearse la Comisión Nacional de Caminos y fijarse las bases sólidas para la planeación, estudio de proyectos, construcción y conservación de las carreteras.

El problema de la construcción de caminos que garanticen a los usuarios superficies de rodamiento con resistencia adecuada al tamaño y peso de los vehículos, es tan antiguo como el hombre mismo y para que esto sea posible es necesario construirlos con pavimento.

El pavimento es una estructura formada por una o varias capas de material seleccionado que sirve para transmitir en forma disipada las cargas de los vehículos a la subrasante o superficie de una terracería terminada de manera que no se exceda su capacidad. La terracería terminada es el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial.

Quien inició la construcción de pavimentos por capas ordenadas según el tamaño de sus partículas constitutivas fué el técnico francés Trescaquet y más tarde los ingleses Telford y Mc. Adam.

La estructura llamada pavimento está constituida en su forma más completa por las capas de sub-base, base y carpeta, con lo que se hace posible el tránsito expedito de los vehículos, con comodidad y economía.

Existen dos tipos de pavimento según el material con que se construya la carpeta o capa de rodamiento, empleando concreto hidráulico o materiales pétreos y asfálticos, denominándose pavimentos rígidos o flexibles, respectivamente.

Para que el pavimento cumpla con sus funciones se requiere que éste sea

estable a los agentes del intemperismo, resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito, durable, impermeable y económico. Estos requisitos hacen que los materiales que se emplean en la construcción del pavimento sean seleccionados y de buena calidad, los cuales generalmente no se obtienen en forma natural, y en algunos casos las partículas deben estar ligadas por otro elemento. Por lo anterior, se deduce que el pavimento es costoso y el factor económico debe tomarse en cuenta para su diseño, pudiéndose emplear materiales de menor calidad a mayor profundidad ya que las acciones que deben soportar disminuyen en esta forma.

Debido a lo antes mencionado, se desprende que la división en capas que se le ha hecho al pavimento obedece al factor económico, siendo la capa superficial la más costosa y de mejor calidad: la carpeta; y la de menor precio, ya que su calidad es inferior, la sub-base.

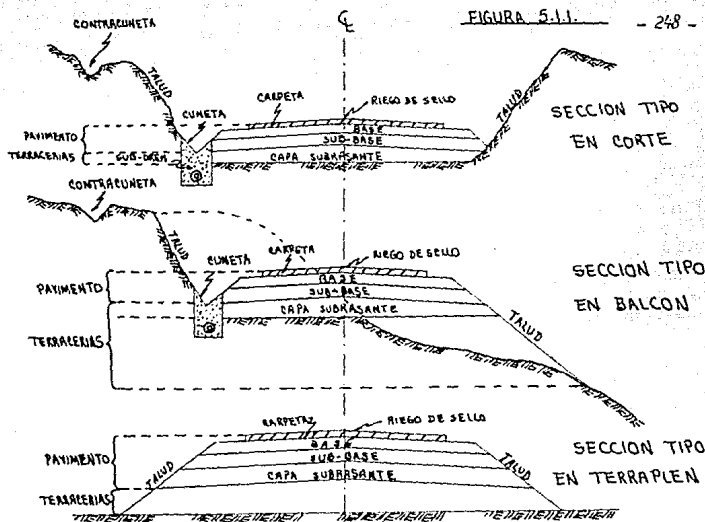
Actualmente, cuando las cargas que el tránsito transmite al pavimento son muy grandes se utiliza una capa de material bajo la capa subyacente llamada "capa de mejoramiento", la cual soporta parte de la carga y además provoca una disminución en los espesores de las diferentes capas del pavimento.

El diseño de la estructura del pavimento, no es una ciencia exacta, las múltiples variables que se deben tomar en cuenta, hacen imposible reducir el problema a los términos matemáticos exactos comúnmente aplicados por ejemplo, a estructuras metálicas. La práctica actual se basa en fórmulas empíricas obtenidas en pruebas de carga y otros factores tales como la observación de pavimentos en servicio.

En este capítulo se hará referencia únicamente al procedimiento para llevar a cabo la estructuración de la sección transversal con pavimento flexible. Estos pavimentos están formados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base; la calidad de estas capas es descendente hacia abajo. En la figura 5.1.1. se muestran las secciones tipo de pavimentos flexibles.

Para escoger la combinación óptima de espesores de las capas que constituyen al pavimento flexible, se debe tener en cuenta que las principales funciones de cada una de ellas son las siguientes:

Las sub-bases y las bases tienen finalidades y características semejantes, sin embargo, las primeras pueden ser de menor calidad.



Las principales funciones de la sub-base y la base son:

- a) Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o losa).
- b) Transmitir, en forma disipada, estas cargas a las terracerías.
- c) Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
- d) En caso de que haya alguna filtración de agua por la parte superior, permitir que ésta descienda hasta la capa subrasante en la que por el efecto de bombeo, o sobreelevación, sea desalojada hacia el exterior.
- e) Disminuir el espesor de la carpeta, que es más costosa.

Las funciones principales que debe satisfacer la carpeta asfáltica son las siguientes:

- a) Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil, cómodo y seguro de los vehículos.
- b) Impedir la filtración de agua de lluvia hacia las capas inferiores del pavimento, que ocasionaría una disminución en su capacidad para soportar cargas.
- c) Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes del intemperismo.

Son tres los tipos de carpetas asfálticas más usadas en el país:

- 1) Por riegos.
- 2) Mezclas en el lugar.
- 3) Concretos asfálticos.

- Carpetas por el sistema de riegos.

Las carpetas construidas por el sistema de riegos consisten en una serie de capas sucesivas de productos asfálticos y pétreos sobre la base impregnada. La forma de construir este tipo de carpetas es la siguiente:

Sobre la base impregnada se da un primer riego de producto asfáltico que se cubre con un riego del material pétreo más grueso que se vaya a usar. Utilizando una compactadora de rodillo liso de 10 ton. se da un acomodo a la superficie, dando tres pasadas. Enseguida se repite la operación, sólo que ahora el material pétreo será de dimensiones menores al usado con anterioridad; enseguida, utilizando el material pétreo más fino se vuelve a repetir toda la operación; es decir se da un riego de asfalto fluidificado, se riega el material pétreo y se compacta con un rodillo liso. Se deja un tiempo de 24 horas para que frague el producto asfáltico (se evaporen los solventes), y después por medio de un barrido manual o mecánico, se retira el material fino que no quedó adherido al resto de la estructura. El tipo de carpeta construido como se indicó, se denomina de "tres riegos". Y los materiales empleados se denominan: material 1, el más grueso, y su gama de tamaños varía entre 25.4 mm. y 6.35 mm. ; el material de tamaño intermedio se le denomina 2 y varía de 12.7 mm. a 2.38 mm. y por último, el más fino tiene granulometría entre 9.53 mm. y 0.42 mm. y se denomina número 3. También se pueden construir carpetas de dos y un riego para las que el procedimiento de construcción es semejante, sólo que en ellas se omite uno o dos de los ciclos mencionados: el correspondiente al material 1 para la carpeta de 2 riegos y los de los materiales 1 y 2 para la de un riego.

- Mezclas en el lugar.

Las mezclas asfálticas elaboradas en el lugar se ejecutan utilizando materiales pétreos de granulometría continua; las normas establecen dos zonas que se muestran en la figura 5.1.2.; la granulometría del pétreo debe tener una forma semejante a las que se marcan entre las zonas; el material pétreo se mezcla a la temperatura ambiente con el asfáltico; se pueden uti

lizar en la mezcla: rebajado asfáltico FR-3) o emulsión de fraguado medio; la mezcla se puede realizar con motoconformadoras o con mezcladoras senifijas.

- Carpetas de concreto asfáltico.

Las carpetas de concreto asfáltico son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico; como este último a temperatura ambiente es sólido, es necesario que la mezcla se efectúe en una planta en la que se calienta hasta 140°C y, por consiguiente, también se calienta el material pétreo hasta los 160°C.

Debido a las características del cemento asfáltico, este tipo de carpeta tiene comportamiento de tipo elástico, con ruptura de tipo frágil y de poca resistencia, principalmente a bajas temperaturas, por lo que este tipo de carpetas no deben construirse sobre bases naturales, con módulos de elasticidad bajos, que pueden tener altas deformaciones bajo la acción del tránsito, sino que se deben construir sobre bases rigidizadas con cal hidratada o cemento portland o sobre bases asfálticas.

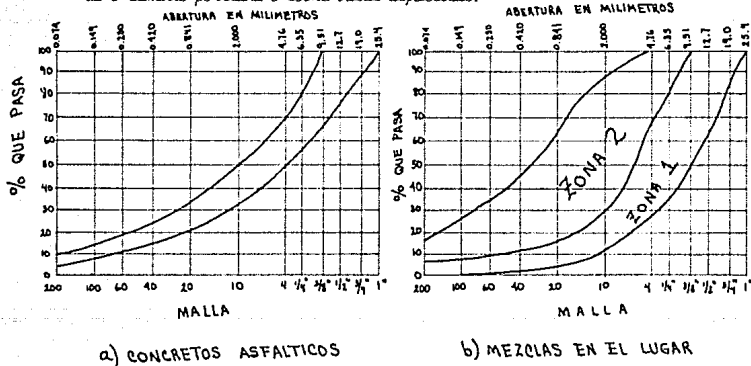


FIGURA 5.1.2.

5.2 ENUNCIADOS DE LAS DISTINTAS TEORÍAS EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Hasta la fecha, muchos investigadores y asociaciones han desarrollado una serie de métodos de diseño para pavimentos flexibles y con ellos poder determinar los espesores requeridos en las diferentes capas que los forman. Sin embargo, puede decirse que no existe uno al que no puedan hacerse serias objeciones de carácter técnico. Es por eso que en el diseño de pavimentos se exige que la calidad de los materiales que van a ser usados en sub-bases, bases y carpetas vayan de acuerdo a muy rígidas especificaciones, referentes a granulometría, porcentaje de finos, grado de compactación, etc...

Entre la enorme variedad de métodos de diseño para pavimentos flexibles se encuentran los siguientes:

- a) Método de Hvem (Estado de California, EHA).
- b) Método triaxial de Texas.
- c) Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EHA.
- d) Métodos basados en el valor relativo de soporte (VRS), o (CBR).

Dentro de los métodos de diseño que se basan en el valor relativo de soporte, se halla un método desarrollado por el ingeniero Rodrigo Padrón Llaca en el año de 1951, denominado "método de la Porter Modificada". Este fue el método utilizado en la elaboración de nuestro programa de computadora y por lo tanto será el que analizaremos a continuación.

El método de la Porter Modificada obtiene los espesores de las diferentes capas del pavimento flexible a partir de pruebas de valor relativo de soporte, llevadas a cabo utilizando la prueba de Porter sobre el material que se utilizará en la construcción de la capa subrasante y del cuerpo del terraplén.

La prueba consiste en obtener el valor relativo de soporte (VRS) de un espécimen compactado estáticamente para obtener la combinación de peso volumétrico y humedad que el proyectista crea conveniente, de acuerdo a las condiciones críticas que se esperan en la obra; el espécimen no se satura.

Para realizar esta prueba se requiere con anticipación conocer el valor del peso volumétrico seco máximo (PVS_M) y la humedad óptima correspondiente (w_0)

del material, así como su humedad inicial; estos datos se registran en una forma especial de cálculo, en la que se tienen las fórmulas para encontrar la cantidad de agua que hay que agregar al material y el peso del material húmedo que hay que colocar en el cilindro de prueba para que al quedar enraizado en su parte inferior, el material tenga el peso volumétrico seco y la humedad de prueba desecados.

Una vez compactado el material, de inmediato se coloca en la prensa para efectuar la penetración del espécimen, con lo que se puede calcular el valor relativo de soporte.

El valor obtenido de VRS mediante la prueba anterior será el que nos servirá para la obtención de los espesores de las capas del pavimento.

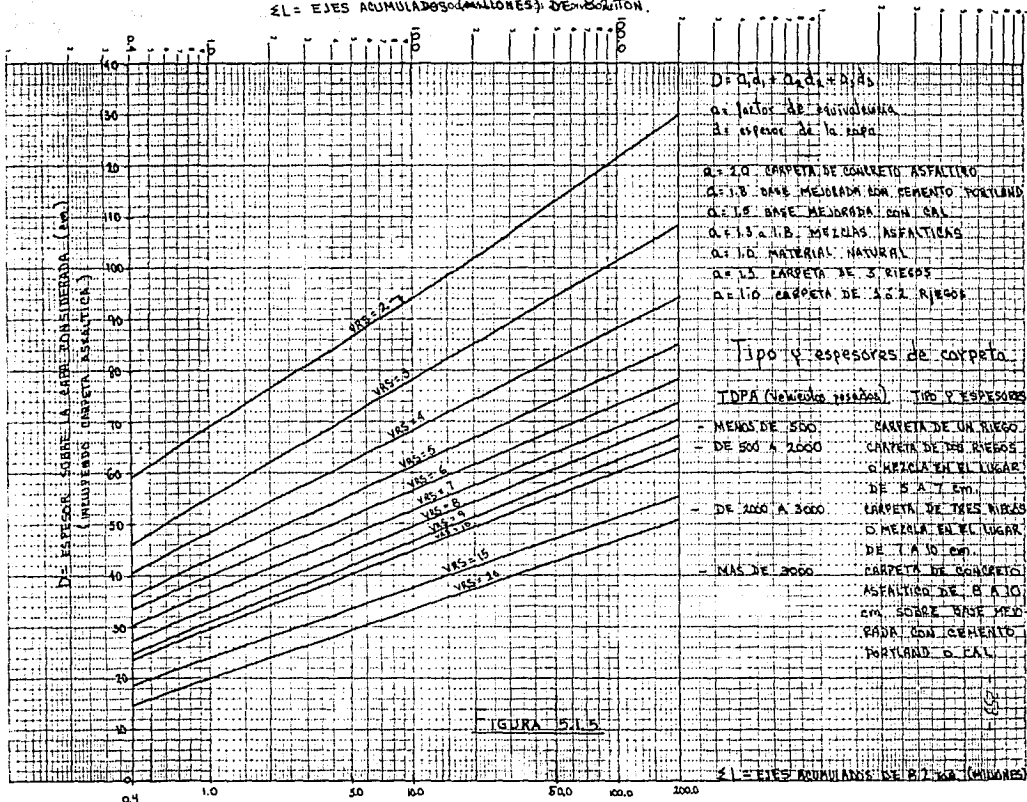
Para el cálculo de espesores basados en esta prueba portier modificada, se formó un nomograma de proyecto, ver figura 5.1.5., de cuyas ordenadas se obtiene el espesor "D", que corresponde al necesario desde la capa en estudio (que puede ser desde el terreno natural o cualquier nivel del cuerpo del terraplén o de la capa subrasante) hasta la superficie de rodamiento, incluyendo el espesor de la carpeta asfáltica. El espesor correspondiente es de material natural o grava.

Para poder utilizar las curvas de la figura 5.1.5 se requiere contar con el Tránsito Equivalente durante la vida útil del pavimento y los datos de VRS de proyecto, tanto del cuerpo del terraplén como de la capa subrasante. Con el VRS de la parte superior del cuerpo del terraplén y el dato del tránsito se encuentra un espesor D1; con el VRS correspondiente a la capa subrasante y el valor del tránsito se encuentra un espesor D2. La diferencia entre estos dos valores da por resultado el espesor de la capa subrasante necesario para resistir las cargas, ver figura 5.1.6. El espesor de la capa subrasante mínimo, por especificaciones será de 30 cm.

El cálculo del espesor de las capas del pavimento, o sea el de la carpeta, de la base y la sub-base, se realiza a partir del espesor D2 que corresponde a material de grava o natural.

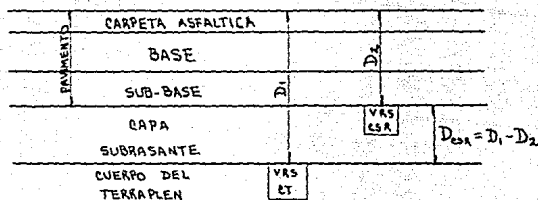
Como al utilizarse materiales estabilizados en forma química o con asfalto, éstos tienen mayor resistencia que los naturales, el espesor de la capa en que intervienen se puede reducir; para ello, se recomienda utilizar los factores de equivalencia siguientes:

EL = EJES ACUMULADOS (MILLONES) DE BOITON.



EL = EJES ACUMULADOS DE B/7.60 (MILLONES)

FIGURA 5.1.6.



TIPO DE MATERIAL

FACTOR DE EQUIVALENCIA

- Carpeta de concreto asfáltico..... 2.0
- Carpeta de mezcla en el lugar de buena calidad..... 1.8
- Carpeta de mezcla en el lugar de regular calidad..... 1.3
- Base estabilizada con cemento Portland..... 1.8
- Base estabilizada con cal..... 1.5
- Carpeta de tres riegos..... 1.3
- Carpeta de uno a dos riegos..... 1.0
- Material natural..... 1.0

Con todos los valores anteriores podemos hacer uso de la siguiente igualdad:

$$D_2 = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3$$

en donde:

D_2 = espesor obtenido del nomograma de proyecto utilizando el VRS de proyecto de la capa subrasante.

a_1, a_2, a_3 = factores de equivalencia correspondientes a la carpeta, base y sub-base de acuerdo con la calidad de materiales que se usen.

d_1, d_2, d_3 = espesores reales de carpeta, base y sub-base respectivamente.

El tipo y espesor de la carpeta se recomienda en el nomograma de proyecto, mostrado en la figura 5.1.5., de acuerdo al tránsito diario promedio anual (TDPAA) de vehículos con peso mayor a 5 ton. en los dos sentidos.

Con las recomendaciones que aparecen en el nomograma de la figura 5.1.5.,

se obtienen los valores d_1 y a_1 ; para la elección del espesor y calidad de la base, se debe tomar en cuenta si se necesita rigidizar o no y el producto que se utilizaría para ello; además, es necesario considerar los espesores mínimos, que para base y sub-base se establecen por especificaciones de construcción y que son de 15 cm. En caminos con tránsito diario promedio anual mayor a los 5000 vehículos pesados, el espesor mínimo de base será de 20 cm.

Por otro lado, si el cálculo da por resultado un espesor de sub-base del orden de 8 a 12 cm., lo más conveniente será aumentarlo a su espesor mínimo de 15 cm., pero si es menor quizá sea mejor añadirsele al espesor de la base, haciendo las correcciones por calidad y no construir aquella capa. El espesor de la sub-base se calcula con la siguiente igualdad:

$$d_3 = D_2 - a_1 d_1 - a_2 d_2$$

En resumen se tiene que, para llevar a cabo la estructuración de la sección transversal de un pavimento flexible con el método aquí tratado, es necesario llevar a cabo la prueba de Porter Modificada para conocer los valores relativos de soporte (VRS) para los materiales del cuerpo de terraplén y capa subrasante con la combinación de humedades que decida el proyectista, y el tránsito futuro equivalente en el carril de diseño; por medio del nomograma de la figura 5.1.5. se calcula el espesor de la capa subrasante y del pavimento; de acuerdo a la calidad de los materiales (naturales o estabilizados), el tránsito pesado actual y los espesores mínimos, se calculan los espesores de sub-base, base y carpeta.

5.3. ALGORITMO DE SOLUCION.

Para poder obtener la estructuración de la sección transversal de un pavimento flexible utilizando el método de la Porter Modificada en una computadora, será necesario contar con los siguientes datos:

- a) Número de carriles con los que contará el nuevo camino (m); su valor deberá quedar comprendido entre los siguientes: 2, 4 ó 6.
- b) El valor del tránsito diario promedio anual (TDPA).
- c) El valor relativo de soporte de proyecto, obtenido mediante la prueba Porter Modificada, para el cuerpo del terraplén (VRSC) y el VRS de proyecto para la capa subrasante (VRSCS) obtenido por el mismo método.
- d) La composición del tránsito, en %, dividida en los siguientes tipos:
 - Vehículos con peso de hasta 5 ton.
 - Vehículos de 6 a 15 ton.
 - Autobuses.
 - Camiones de 16 a 24 ton.
 - Camiones de 25 a 34 ton.
 - Camiones de 35 a 55 ton.
 - Camiones de 56 a 85 ton.

La suma de todos los porcentajes anteriores deberá ser igual al 100 %.

- e) El período de diseño "n", para el cual se proyecta la vida útil del camino, en años.
- f) El valor de la tasa de crecimiento anual del tránsito que se estima se producirá en el camino, "n", en %.

Todos los datos anteriormente descritos serán pedidos por la computadora por medio de avisos, y una vez que se hayan dado cada uno de ellos, ésta procederá a realizar el cálculo de los espesores de las distintas capas del pavimento siguiendo los lineamientos que enseguida se marcan:

- 1) Se calcula el valor del tránsito en el carril de diseño (TC), que estará dado por un cierto porcentaje del tránsito diario promedio anual en función del número de carriles del camino:

Si $m = 2$ entonces $TC = 60\%$ del tránsito diario promedio anual.

Si $m = 4$ entonces $TC = 50\%$ del TDPA.

Si $n = 6$ entonces $TCD = 40\%$ del TDA .

2) Calcula el valor del factor de proyección a futuro " C " mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} (365)$$

donde: C = factor de proyección.

r = tasa de crecimiento anual del tránsito, en forma decimal.

n = período de diseño, en años.

3) Se calcula la distribución del tránsito, multiplicando el valor del tránsito en el carril de diseño (TCD) por los porcentajes de la composición del tránsito, mencionados en el inciso d.

4) Se registran los coeficientes de equivalencia que se emplearán para cada tipo de vehículo, de acuerdo a lo siguiente:

$Ce1 = 0.06$ (vehículos con peso de hasta 5 ton.)

$Ce2 = 0.06$ (vehículos de 6 a 15 ton.)

$Ce3 = 2.10$ (autobuses)

$Ce4 = 2.10$ (camiones de 16 a 24 ton.)

$Ce5 = 4.10$ (camiones de 25 a 34 ton.)

$Ce6 = 6.40$ (camiones de 35 a 55 ton.)

$Ce7 = 8.40$ (camiones de 56 a 85 ton.)

5) Se calcula el número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton., para cada tipo de vehículo, multiplicando los coeficientes de equivalencia por las cantidades obtenidas en el inciso número 3.

6) Se realiza la sumatoria de todas las cantidades obtenidas en el inciso anterior, lo que dará por resultado el número total de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton.

7) Se obtiene el valor del tránsito equivalente acumulado (TEA) al final de la vida útil del proyecto, multiplicando el valor obtenido en el inciso número 6 por el factor de proyección a futuro " C ".

8) Con el valor del tránsito equivalente acumulado (TEA) y el valor relativo de soporte de proyecto del cuerpo del terraplén, se obtiene el espesor

necesario desde la parte inferior de la capa subrasante hasta la superficie de rodamiento, utilizando la siguiente expresión:

$$D = \left[\frac{225}{1.0} \left[1 - \frac{1.0}{VRS} \right]^{2/3} - 1.0 \right] (A)$$

donde: VRS = Valor relativo de soporte de proyecto del material que se está utilizando.

TEA = tránsito equivalente acumulado.

A = factor adimensional que depende del número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton. Su valor estará dado por las siguientes expresiones:

$$A = 0.017 VRS + 0.833 \quad \text{siempre que } TEA > 3,000,000 \text{ de ejes.}$$

$$A = 0.0056 VRS + 0.789 \quad \text{siempre que } TEA < 3,000,000 \text{ de ejes.}$$

9) Utilizando ahora el valor relativo de soporte del material de la capa subrasante, se obtiene un espesor $D2$ que corresponde al espesor total del pavimento (carpeta + base + sub-base). Dicho espesor se calcula empleando la expresión vista en el inciso número 8.

10) Obtenidos los valores correspondientes al espesor de la parte inferior de la subrasante a la superficie de rodamiento $D1$, y el espesor del pavimento $D2$, se procede a calcular el espesor de la capa subrasante:

$$\text{espesor de la capa subrasante} = D1 - D2$$

Si el espesor de la capa subrasante es menor a 30 cm. entonces se tomará el valor mínimo que debe tener dicha capa, que es de 30 cm.

11) Se calcula el valor del tránsito pesado actual "TPA", mayor de 5 ton. Para obtener el tránsito pesado actual se resta a 100 % el porcentaje de vehículos con peso de hasta 5 ton y este valor se multiplica por el correspondiente al tránsito diario promedio anual.

12) En función del tránsito pesado actual (TPA), se determina el tipo y

espesor de la carpeta, utilizando el nomograma de proyecto mostrado en la figura 5.1.5, así como el espesor de la base:

Si el tránsito pesado actual es mayor a 5000 vehículos entonces el espesor de la base será de 20 cm.

Si el tránsito pesado actual es menor a 5000 vehículos entonces el espesor de la base será de 15 cm.

13) Se determinan los factores de conversión de grava a_1, a_2, a_3 , de acuerdo al tipo y calidad de los materiales empleados en la construcción del pavimento.

14) Se calcula el espesor de la sub-base utilizando la siguiente expresión:

$$d_3 = D_2 - a_1 d_1 - a_2 d_2$$

En caso de que el valor obtenido para el espesor de la sub-base sea menor a 15 cm., pero mayor a 8, se tomará el valor mínimo de dicha capa, que corresponde a 15 cm. Pero, si el espesor obtenido es menor a 8 cm., el espesor de la sub-base se añadirá al de la base y se evitará la construcción de la primera.

Una vez efectuados estos pasos, aparecerá en la pantalla del monitor la estructuración final del pavimento, dejando al criterio del proyectista el tomar o no dichos espesores.

De esta manera termina la corrida del programa.

5.4 LIMITACIONES.

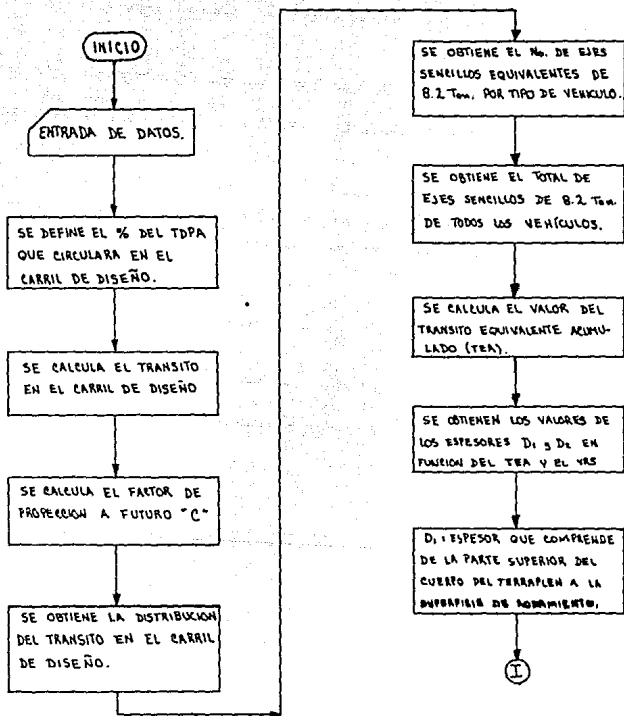
Las limitaciones que presenta el programa de computadora elaborado para el diseño de pavimentos flexibles son las siguientes:

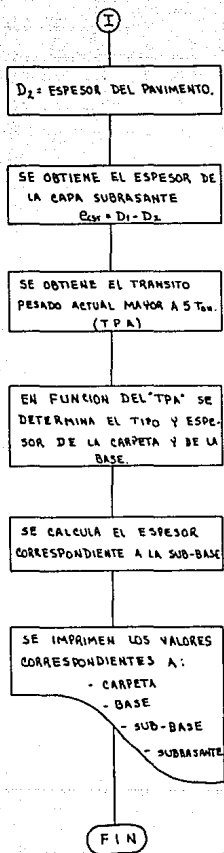
- 1) Únicamente se podrán estructurar pavimentos de tipo flexible, es decir, aquellos cuya superficie de rodamiento sea una carpeta asfáltica.
- 2) Los valores relativos de soporte (VRS) que intervienen en el diseño, deberán ser obtenidos necesariamente por medio de la prueba de Porter Modificada.
- 3) Será necesario contar con la información referente al número y tipo de vehículos que se espera transitarán por el nuevo camino.
- 4) Los espesores que se obtengan con la ayuda de este programa pueden modificarse de acuerdo a lo que considere la persona que proyecta el pavimento.

5.5 DIAGRAMA DE FLUJO Y CODIFICACION.

En esta parte del capítulo se incluye el diagrama de flujo y el formato en líneas, o codificación, en lenguaje BASIC, del programa para computadora - elaborado para solucionar problemas en donde se desee estructurar un pavimento flexible.

DIAGRAMA DE FLUJO.






```

5 GOSUB 1300
7 GOTO 13100
10 REM *** DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, EMPLEANDO VAS OBTENIDOS DE FRUERA
PORTEO MODIFICADA ***
11 CLS
12 PRINT TAB(25) " *** DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES ***"
14 PRINT TAB(27) "*****"
20 REM
30 PRINT
35 PRINT
40 REM
50 INPUT "¿NUMERO DE CARRILES? ";NC;PRINT
60 INPUT "¿TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL? ";TDA;PRINT
65 CLS
70 INPUT "¿VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CT)? ";VCT;PRINT
80 INPUT "¿VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CSR)? ";VSR;PRINT
90 REM
95 CLS
100 PRINT "CONDICION DEL TRANSITO, EN PORCENTAJE"
110 INPUT "¿VEHICULOS DE HASTA 5.0 TON? ";AA;PRINT
120 INPUT "¿VEHICULOS DE 5 A 15 TON.? ";BB;PRINT
130 INPUT "¿AUTOCARSES? ";CC;PRINT
140 INPUT "¿CAMIONES DE 16 A 24 TON.? ";DD;PRINT
150 INPUT "¿CAMIONES DE 25 A 34 TON.? ";EE;PRINT
160 INPUT "¿CAMIONES DE 35 A 45 TON.? ";FF;PRINT
170 INPUT "¿CAMIONES DE 50 A 65 TON.? ";GG;PRINT
175 CLS
180 INPUT "¿PERIODO DE DISEÑO, EN AÑOS? ";N;PRINT
190 INPUT "¿TASA DE INCREMENTO ANUAL DEL TRAFICO? ";R;PRINT
200 CLS
210 REM
220 IF NC=1 THEN 280
230 IF NC=2 THEN 310
240 IF NC=3 THEN 320
250 IF NC=4 THEN 340
260 CLS
265 PRINT "VERIFICAR QUE EL NUMERO DE CARRILES SEA 1,2,4 o 6"
270 GOTO 1310
280 TCD=10FA
290 GOTO 350
310 TCD=.6*TDPA
310 GOTO 250
330 TCD=.5*TDPA
330 GOTO 350
340 TCD=.4*TDPA
350 F=R/100
360 AM=1+R
370 FAP=AM*(N)
380 DIV=(FAP-1)/R
390 CF=DIV+.365
400 EN=TCD*100
410 ESE1=AA*EN*.06
420 ESE2=BB*EN*.06
430 ESE3=CC*EN*.21
440 ESE4=DD*EN*.21
450 ESE5=EE*EN*.41
460 ESE6=FF*EN*.64
470 ESE7=GG*EN*.99999
480 SUM=ESE1+ESE2+ESE3+ESE4+ESE5+ESE6+ESE7
490 TEA=CF*SUM

```

```

500 IF TEA <= 3100000 THEN 540
510 AU=.017*VCT*.833
520 AD=.017*VER*.833
530 BDT0 C0
540 AU=.0025*VCT*.789
550 AD=.0025*VER*.789
560 FLN=LDS1TEA
575 ZEA=.43427+.618*FLN
570 ZE=1.6*ZEA
580 DEY=ZE*.4
590 YE=VCT/DEY
600 IEA=(1-YE)*2
610 Y=IEA*(1.3)
620 YE=75A/6EN
630 YEA=(1-YE)*2
640 Y=YEA*(1.3)
650 INV=1/Y
655 INVER=1/Y
660 P=INV-1
665 B=(INVER-1)
670 FE=225/P
675 BE=225*P
674 CU=(PE*.5)*AU
676 CD=(GE*.5)*AD
680 CSP=CU-DD
690 IF CSR <= 30 THEN CSR=30 ELSE CSR=CSR
700 VF=(1(100-AA)/100)*TQPA
710 IF VF <= 500 THEN 790
720 IF VF > 500 AND VF <= 2000 THEN 630
730 IF VF > 2000 AND VF <= 3000 THEN 880
740 CLS
750 PRINT "SE USARA CAPPETA DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE UNA BASE MEJORADA CON
CAL O CEMENTO PORTLAND"
760 E=9
770 A1=21
780 BDT0 940
790 PRINT "SE USARA CARPETA DE UN RIEGO"
800 E=51
810 A1=11
820 BDT0 940
830 PRINT "SE USARA CARPETA DE DOS RIEGOS O MEZCLA EN EL LUGAR"
840 E=61
850 INPUT "EL TIPO DE CARPETA A UTILIZAR SERA DE DOS RIEGOS, S/N? ",CA1:PRINT
860 IF CA1="S" THEN A1=11 ELSE A1=1.3
870 BDT0 940
880 PRINT "SE USARA CARPETA DE TRES RIEGOS O MEZCLA EN EL LUGAR"
890 REZ
900 E=61
910 INPUT "EL TIPO DE CARPETA A UTILIZAR SERA DE TRES RIEGOS, S/N? ",CA1:PRINT
920 IF CA1="S" THEN A1=1.3 ELSE A1=1.3
930 FEN
940 IF VP <= 500 THEN B=15 ELSE B=20
950 IF E=9 THEN 1030
960 A2=11
970 A3=11
972 AA=A1+E
974 AB=A2+B
976 AC=DD-AA-A2
980 SB=AC/A3
990 IF SB <= 15 THEN 952
991 BDT0 1000

```

```
972 IF SE < 5 THEN 975
993 SE=15
994 GOTO 1000
995 BAS=SB*AE
996 R=B*BAS
997 SE=0
1000 PAV=E+E*SE
1010 TOT=PAV+CSR
1020 GOTO 1060
1030 INPUT 'LA BASE SERA ESTABILIZADA CON CAL, S/N? ',BA:PRINT
1040 IF BA='S' THEN A2=1.5 ELSE A2=1.8
1050 GOTO 970
1055 CLS
1060 PRINT "          R E S U L T A D O S "
1065 PLAY "c1a20c15e20c20a20"
1070 REM
1080 PRINT "  ES' ESOR DE LA CARPETA = ",E:PRINT "ca."
1090 PRINT "  ESPESOR DE LA BASE   = ",B:PRINT "ca."
1100 PRINT "  ESPESOR DE LA SUB-BASE = ",SB:PRINT "ca."
1110 PRINT "  ESPESOR DE LA CIFA SUBRASANTE = ",CSR:PRINT "ca."
1120 PRINT "  ESPESOR DEL PAVIMENTO = ",PAV:PRINT "ca."
1130 PRINT "  ESPESOR TOTAL       = ",TOT:PRINT "ca."
1320 PRINT "TIPO DE CARPETA: "
1350 IF E=5 THEN PRINT "CARPETA DE UN RIEGO" ELSE GOTO 1370
1360 GOTO 1510
1370 IF E=6 THEN 1370
1380 GOTO 1410
1390 IF CA='S' THEN PRINT "CARPETA DE DOS RIEGOS" ELSE PRINT "MEZCLA EN EL LUGAR"
1400 GOTO 1510
1410 IF E=8 THEN 1430
1420 GOTO 1450
1430 IF CA='S' THEN PRINT "CARPETA DE TRES RIEGOS" ELSE PRINT "MEZCLA EN EL LUGAR"
1440 GOTO 1510
1450 IF E=9 THEN PRINT "CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO" ELSE GOTO 1510
1455 PRINT
1457 PRINT "TIPO DE BASE: "
1460 IF BA='S' THEN PRINT "BASE ESTABILIZADA CON CAL" ELSE PRINT "BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND"
1510 END
```

5.6 PRUEBA DE ESCRITORIO Y CORRIDA DEL PROGRAMA.

Para el diseño de pavimentos flexibles por el método de la Porter Modificada, se propusieron dos tipos diferentes de ejemplos a resolver; cada uno de ellos se resolvió tanto en forma directa como con ayuda de la computadora, utilizando el programa elaborado para tal fin.

EJEMPLO No. 1 : Estructure la sección transversal del pavimento flexible a utilizar en un camino que tendrá los siguientes datos; (4 carriles):

- VRS de proyecto para el cuerpo del terraplén: 6.5 %
- VRS de proyecto para la capa subrasante: 12.0 %
- El tránsito diario promedio anual "TDPA" inicial será de 4728 vehículos con la siguiente composición:

Vehículos de hasta 5 ton.....	50 %
Vehículos de 6 a 15 ton.....	15 %
Autobuses.....	8 %
Vehículos de 16 a 24 ton.....	15 %
Vehículos de 25 a 34 ton.....	0 %
Vehículos de 35 a 55 ton.....	10 %
Vehículos de 56 a 85 ton.....	2 %

- Período de diseño de 15 años.
- Tasa de incremento anual del tránsito: 6 %

SOLUCION DE MANERA DIRECTA: Con la ayuda del nomograma mostrado en la figura 5.1.5 y la forma de cálculo siguiente podrá resolverse en forma directa el problema anterior.

Datos para el proyecto:

Tránsito Diario Promedio Anual en dos sentidos (TDPA): 4728 vehículos.

Tránsito en el carril de diseño (50 %): 2364 vehículos.

Período de diseño: 15 años. Tasa anual de crecimiento (r): 6 %

Factor de proyección a futuro (C): 8496

Enseguida se presenta una tabla en donde se obtiene el número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton. a usar en la solución al problema.

Tipo de vehículo	Distribución del tránsito (%)	Distribución del tránsito	Coef. de equival.	Ejes sencillos equival. 8.2 T
Hasta de 15 ton.	65	1537	0.06	92
Autobuses	8	189	2.10	397
De 16 a 24 ton.	15	355	2.10	746
De 25 a 34 ton.	0	0	4.10	0
De 35 a 55 ton.	10	236	6.40	1510
De 56 a 85 ton.	2	47	8.40	395
				SUMA..... 3140

Tránsito equivalente acumulado al final de la vida útil = $(CI)(SUMA)$

$$TEA = (18496)(3140) = 26,676,589$$

Cálculo de espesores.

VRS de diseño del cuerpo de terraplén: 6.5%

D1 espesor de capa subrasante más pavimento 62 cm. de grava.

VRS de diseño de la capa subrasante: 12%

D2 espesor de pavimento 47 cm. de grava.

Los valores de los espesores D1 y D2 fueron obtenidos a partir del nomograma de proyecto de la figura 5.1.5, en función del VRS del material en estudio y el tránsito equivalente acumulado.

ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO.

Capa	Tipo	espesor real	factor de conversión	espesor de grava (cm.)		
				por capa	de pav.	total
Carpeta	3 riegos	8 cm.	1.3	10.4	--	--
Base		15 cm.	1.0	15.0	--	--
Sub-base		22 cm.	1.0	22.0	--	--
Subrasante		30 cm.	1.0	30.0	47.4	77.4

Por lo tanto, la estructuración final del pavimento es:

Carpeta de tres riegos:	8 cm.
Base	: 15 cm.
Sub-base	: 22 cm.
Capa subrasante	: 30 cm.

Cabe señalar que los factores de conversión presentados en la tabla correspondiente a la estructuración del pavimento fueron obtenidos en función del tipo de material de cada una de las capas. En este ejemplo, la base, sub-base y subrasante se construirán utilizando material natural.

En las siguientes hojas, se presenta el ejemplo, anteriormente resuelto en forma directa, solucionado ahora con ayuda de la computadora.

*** DISEÑO DE PAVIMENTOS ***

=====

DATOS:

NUMERO DE CARRILES = 4
 TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL = 4728 vehiculos.
 VALOR RELATIVO DE SOPORTE (cuerpo del terraplen) = 6.5 %
 VALOR RELATIVO DE SOPORTE (capa subrasante) = 12 %

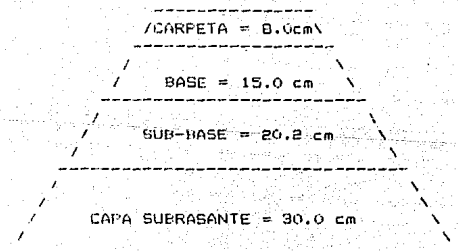
COMPOSICION DEL TRANSITO :

VEHICULOS DE HASTA 5 ton. = 50 %
 VEHICULOS DE 6 A 15 ton. = 15 %
 AUTOBUSES = 0 %
 VEHICULOS DE 16 A 24 ton. = 15 %
 VEHICULOS DE 25 A 34 ton. = 0 %
 VEHICULOS DE 35 A 55 ton. = 10 %
 VEHICULOS DE 56 A 65 ton. = 2 %

PERIODO DE DISEÑO = 15 años
 TASA DE INCREMENTO ANUAL DEL TRANSITO = 6 %

R E S U L T A D O S.

ESPESOR DE LA CARPETA = 8 cm.
 ESPESOR DE LA BASE = 15 cm.
 ESPESOR DE LA SUB-BASE = 20.16303 cm.
 ESPESOR DE LA CAPA SUBRASANTE = 30 cm.
 ESPESOR DEL PAVIMENTO = 43.16304 cm.
 ESPESOR TOTAL = 73.16303 cm.



TIPO DE CARPETA:
 CARPETA DE TRES RIEGOS

EJEMPLO No. 2 : Para la construcción de un camino de dos carriles, se realizaron sondeos en los bancos para el cuerpo de terraplén y de capa subrasante; para cada uno de ellos se obtuvo el VRS de proyecto correspondiente al 80 percentil, teniéndose los siguientes datos:

- VRS de proyecto para el cuerpo de terraplén: 5 %
- VRS de proyecto para capa subrasante : 11 %
- El tránsito diario promedio anual inicial será de 8756 vehículos con la siguiente composición:

Vehículos de hasta 5 ton.....	35 %
Vehículos de 6 a 15 ton.....	25 %
Autobuses.....	10 %
Vehículos de 16 a 24 ton.....	20 %
Vehículos de 25 a 34 ton.....	0 %
Vehículos de 35 a 55 ton.....	10 %
Vehículos de 56 a 85 ton.....	0 %

- Período de diseño: 18 años.
- Tasa de incremento anual del tránsito: 6 %

SOLUCION DE FORMA DIRECTA:

Datos para proyecto:

Tránsito diario promedio anual en dos sentidos: 8756 vehículos.

Tránsito en el carril de diseño (60 %) 5253 vehículos.

Período de diseño: (n) 18 años

Tasa anual de crecimiento (r) 6 % Factor de proyección al futuro (C) 11281

Tipo de vehículo	Distribución del tránsito (%)	Distribución del tránsito	Coeff. de equival.	Ejes sencillos equival. 8.2 ton.
Hasta de 15 ton.	60	3152	0.06	189
Autobuses	10	525	2.10	1103
De 16 a 24 ton.	20	1051	2.10	2207
De 25 a 34 ton.	0	0	4.10	0
De 35 a 55 ton.	10	525	6.40	3360
De 56 a 85 ton.	0	0	8.40	0

La suma de los ejes sencillos equivalentes a 8.2 ton. es igual a:

$$SUM = 6859$$

$$\text{Tránsito equivalente acumulado} = (11281)(6859) = 77,376,379$$

Cálculo de espesores.

VRS de diseño del cuerpo del terraplén: 5 %

VRS de diseño de la capa subrasante: 11 %

D1 espesor de capa subrasante más pavimento 77 cm. de grava.

D2 espesor de pavimento 56 cm. de grava.

ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO.

Capa	Tipo	espesor real	factor de conversión	espesor de grava (cm)		
				por capa	de pav.	total
Carpeta	concreto asfáltico.	9 cm.	2.0	18	--	--
Base	rigidizada con cal	24 cm.	1.5	36	--	--
Sub-base		0 cm.	1.0	0	--	--
Subrasante		30 cm.	1.0	30	54	84

Por lo tanto, la estructuración final del pavimento será:

Capa subrasante.....	30 cm.
Sub-base.....	0 cm.
Base rigidizada con cal.....	24 cm.
Carpeta de concreto asfáltico.....	9 cm.

Cabe señalar que en este ejemplo el espesor de la sub-base que se obtuvo fue menor a 8 cm. por lo que dicha capa se añadió al espesor de la base, desapareciendo aquella.

En las siguientes páginas se podrán ver los resultados obtenidos por la computadora en el diseño del pavimento del ejemplo antes analizado.

DATOS:

NUMERO DE CARRILES = 2
 TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL = 8754 vehiculos
 VALOR RELATIVO DE SOPORTE (cuerpo del terraplen) = 5 %
 VALOR RELATIVO DE SOPORTE (capa subrasante) = 11 %

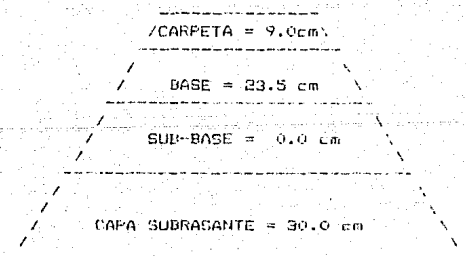
COMPOSICION DEL TRANSITO :

VEHICULOS DE HASTA 5 ton. = 35 %
 VEHICULOS DE 6 A 15 ton. = 25 %
 AUTOBUSES = 10 %
 VEHICULOS DE 16 A 24 ton. = 20 %
 VEHICULOS DE 25 A 34 ton. = 0 %
 VEHICULOS DE 35 A 55 ton. = 10 %
 VEHICULOS DE 56 A 85 ton. = 0 %

PERIODO DE DISEÑO = 18 años
 TASA DE INCREMENTO ANUAL DEL TRANSITO = 6 %

R E S U L T A D O S.

ESPESOR DE LA CARPETA = 9 cm.
 ESPESOR DE LA BASE = 23.454 cm.
 ESPESOR DE LA SUB-BASE = 0 cm.
 ESPESOR DE LA CAPA SUBRASANTE = 30 cm.
 ESPESOR DEL PAVIMENTO = 32.454 cm.
 ESPESOR TOTAL = 62.454 cm.



TIPO DE CARPETA:
 CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO

TIPO DE BASE:
 BASE ESTABILIZADA CON CAL

5.7 ANALISIS DE RESULTADOS.

Si se resumen los resultados obtenidos en el diseño de pavimentos flexibles tanto en forma directa como con el uso de la computadora, se puede elaborar la tabla 5.7.1:

TABLA 5.7.1.

TEORIA DE:	EJEMPLO No.	R E S U L T A D O S	
		En forma directa.	por computadora
PORTER MODIFICADA	1	carpeta = 8 cm.	carpeta = 8 cm.
		base = 15 cm.	base = 15 cm.
		sub-base = 22 cm.	sub-base = 20.2 cm.
		capa sub- rasante = 30 cm.	capa sub- rasante = 30 cm.
PORTER MODIFICADA	2	carpeta = 9 cm.	carpeta = 9 cm.
		base = 24 cm.	base = 23.5 cm.
		sub-base = 0 cm.	sub-base = 0 cm.
		capa sub- rasante = 30 cm.	capa sub- rasante = 30 cm.

Al analizar y comparar los resultados anteriores, se puede notar que en general los valores son los mismos. La diferencia que existe entre ellos es muy pequeña y es debida al número de cifras significativas que toma la computadora en cada una de las operaciones que realiza; también se debe al cálculo de los espesores D1 y D2, la máquina los calcula de una forma más exacta por hacer uso de la ecuación que define las gráficas, que los obtenidos en forma directa por la observación de las mismas.

CAPÍTULO VI

C A P Í T U L O V I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En cada uno de los capítulos que anteceden al presente se ha demostrado la eficacia y facilidad que representa el hacer uso de una computadora en la solución a problemas tan diversos como los que se presentan en la Ingeniería Civil.

Con este trabajo, se propone un nuevo enfoque en la solución a problemas que involucran diversos tópicos de la Mecánica de Suelos como lo son: Empujes de Tierras, Estabilidad de Taludes, Capacidad de Carga y Diseño de Pavimentos.

Una microcomputadora con capacidad de 360 KB y un diskette pueden convertir la tediosa tarea de estar efectuando un sinnúmero de cálculos en una empresa sencilla e interesante.

La precisión de los resultados obtenidos con el uso correcto de los programas para computadora elaborados en este trabajo, es comparable con los obtenidos mediante el uso de cualquiera de las actuales teorías y ayudas de diseño, pero sin la necesidad de utilizar tablas y gráficas voluminosas.

Sin embargo, cabe hacer notar que los resultados que arrojan los programas no bastan para poder definir el diseño de una cierta estructura a menos que se tomen en cuenta todas las precauciones necesarias en su construcción, y posteriormente en su vida de trabajo, para asegurar que la calidad y resistencia en el resultado final correspondan a la marcada en el proyecto respectivo.

En cuanto al empleo de los programas, se recomienda tener en forma ordenada y en las unidades correspondientes cada uno de los datos que sean necesarios en la solución del problema que se desea resolver.

Se recomienda también, que en caso de existir alguna duda con respecto al empleo de la computadora, se haya uso del manual del usuario de la máquina o se consulte algún libro relacionado al tema.

Por último, cabe señalar que las propiedades de los suelos que se presentan en cada uno de los ejercicios resueltos en el desarrollo de este escrito, fueron seleccionados sus valores en forma arbitraria, y tal vez en algunos

casos no corresponden a valores comunes. Sin embargo, esto no altera en ninguna forma el empleo y resultados de los programas en la solución a problemas reales.

El desconocimiento en la aplicabilidad de cualquier teoría tratada en este escrito, puede conducir a graves errores.

BIBLIOGRAFIA

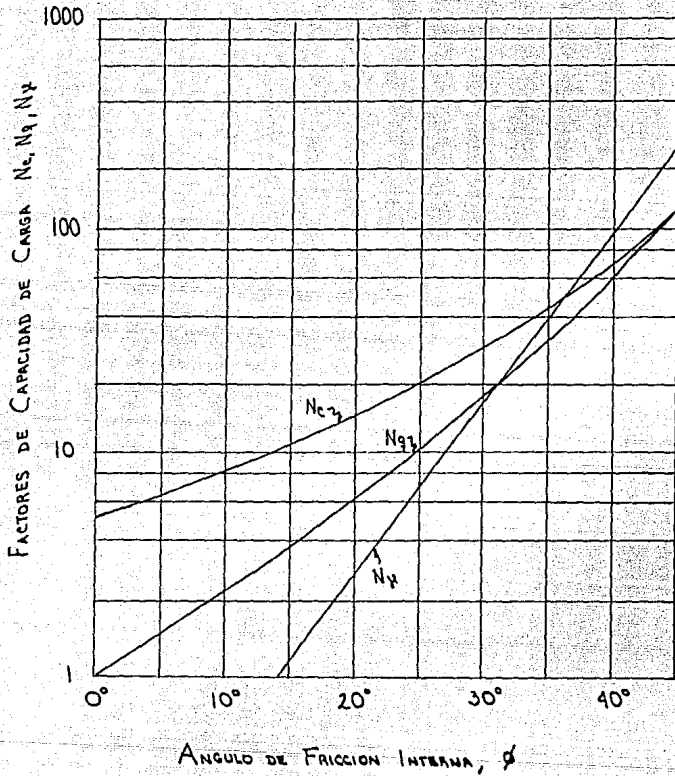
B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Barteo, Thomas C. BASIC (Lenguaje de Programación para Computadoras). Ed. Harper and Row. New York, 1981.
- 2.- Beer, Ferdinand P. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Ed. Mc. Graw Hill. México, 1982.
- 3.- Bowles, Joseph E. Foundation, Analysis and Design. Ed. Mc. Graw Hill. New York, 1982.
- 4.- Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. Análisis de la Capacidad de Carga de Cimentaciones Superficiales. A.S. Vesic, pub. 308. Ed. U.N.A.M. México 1973.
- 5.- Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. Diseño y Construcción de Cimentaciones. Ed. U.N.A.M. México, 1977.
- 6.- Instituto de Investigaciones Eléctricas, C.F.E. Manual de Diseño de Obras Civiles, B.2.4. Ed. C.F.E. México, 1981.
- 7.- Joyanes, Luis A. Basic Avanzado (Tratamiento y Diseño de Archivos). Ed. Mc. Graw Hill. México, 1987.
- 8.- Juárez, Badillo E. Mecánica de Suelos tomo II. Ed. Limusa. México, 1984.
- 9.- Lehmann, Charles H. Geometría Analítica. Ed. Limusa. México, 1980.
- 10.- Marsal, Raúl y Masari M. El Sub-Suelo de la Ciudad de México. Ed. U.N.A.M. México, 1959.
- 11.- Meyerhof, George G. Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations. Ed. Canadian Geotechnical Journal, vol. 1, 1963.
- 12.- Olivera, Bustamante F. Estructuración de Vías Terrestres. Ed. CFCSA. México, 1986.
- 13.- Souera, George B. Introducción a la Mecánica de Suelos. Ed. CIBT. México, 1972.
- 14.- Terzaghi, Karl. Soils Mechanics in Engineering Practice. Ed. John Wiley and Sons. Nueva York, 1967.

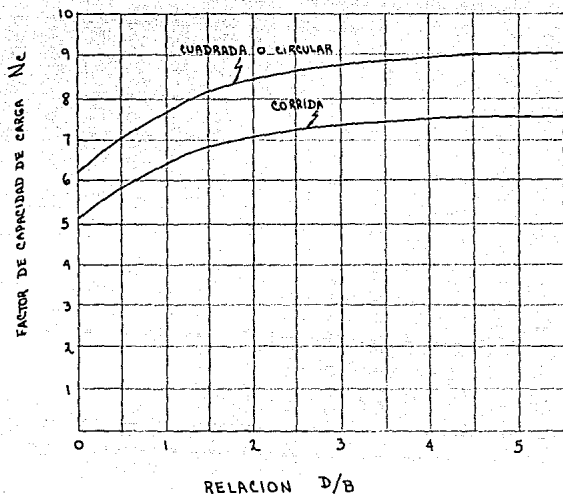
A N N E X O I

GRAFICA 1

(TERZAGHI)



GRAFICA 2 SKEMPTON (1951)



VALORES TÍPICOS DE N_c

D/B	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
N_c ○ □	6.2	6.7	7.1	7.4	7.7	8.1	8.4	8.6	8.8	9.0	9.0
N_c ▭	5.14	5.6	5.9	6.2	6.4	6.8	7.0	7.2	7.4	7.5	7.5

GRAFICA 3

MEYERHOF (1963)

