

RESUMEN

Ahora, para el desarrollo del siguiente documento, es necesario hablar de términos de la Mecánica de Suelos que están ligados al diseño y estabilidad de taludes. Primeramente se definirá una presa de tierra, como una obra civil que se utiliza para la retención de agua, y un talud, como cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal que deba adoptar, permanentemente, la sección transversal de una presa de tierra. La heterogeneidad de los suelos que componen el talud de la cortina, se reflejan en la variabilidad de los parámetros de resistencia a cortante: cohesión (c) y ángulo de fricción interna entre partículas (Φ). La estabilidad será medida mediante un valor llamado factor de seguridad (**F.S.**). Dentro del análisis de la estabilidad de taludes es necesario determinar una superficie crítica de corte y su radio, que limitan la zona que se desliza en el momento de la falla en un talud, llamada masa deslizante. También se necesita el concepto de presión de poros (u), debido a la existencia de un flujo de filtración, producto del gradiente hidráulico ocasionado por la diferencia de energía del agua

libre entre la entrada y la salida. En el caso de un flujo libre, como es el existente en la cortina de la presa de tierra, se requiere delimitar la región de flujo mediante hipótesis y simplificaciones aplicadas a la hidrodinámica. La línea que delimita ese flujo dentro de la presa, se denomina línea de corriente superior (**L.C.S.**).

PALABRAS CLAVES:

Estabilidad de taludes, Factor de Seguridad, Línea de corriente superior, Métodos de análisis de estabilidad, Parámetros mecánicos del suelo, Presas de tierra.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

INTERPRETACIÓN PROBLÉMICA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

1.1.1 DEFINICIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD

1.1.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

1.2 PRESAS DE TIERRA

1.2.1 ANÁLISIS DE LA PRESIÓN DE PORO EN LAS PRESAS DE TIERRA

1.2.2 ANÁLISIS EN TENSIONES TOTALES Y EN TENSIONES EFECTIVAS

1.2.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN PRESAS DE TIERRA EN EL ESTADO OPERACIÓN

1.3 DETERMINACIÓN DE LA LINEA DE CORREINTE SUPERIOR (L.C.S.), MÉTODO DE SCHAFFERNAK Y VAN ITERSON

CAPÍTULO 2

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA SLOPE/W

2.1 EJEMPLO DE APRENDIZAJE

2.2 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

2.3 DEFINIR LA ESCALA DE TRABAJO

2.4 DEFINIR EL ESPACIO DE CUADRÍCULA

2.5 GUARDAR EL PROBLEMA

2.6 BOCETO DEL PROBLEMA

2.7 ESPECIFICACIONES DEL PROBLEMA

2.7.1 ESPECIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD REQUERIDOS

2.7.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE ANÁLISIS DE PRESIÓN DE POROS

2.7.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE OPCIÓN DE FALLA

2.7.4 DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS

2.8 DEFINICIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA

2.9 DEFINICIÓN DE LA SUPERFICIE DE FALLA DE LOS RADIOS

2.10 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE LOS CENTROS DE LOS CÍRCULOS DE FALLA

2.11 VERIFICACIÓN DEL PROBLEMA

2.12 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

CAPÍTULO 3.

CÁLCULO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS, UTILIZANDO EL PROGRAMA SLOPE/W

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TALUD ESTUDIADO

3.1.1 GEOMETRÍA

3.1.2 PROPIEDADES DE LOS SUELOS

3.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR (L.C.S.)

3.2 VARIACIÓN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD (F.S.) MÍNIMOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES MANTENIENDO CONSTANTE LA PRESIÓN DE PORO (u)

3.3 VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO OBTENIDO POR EL MÉTODO DE FELLENIOUS MANTENIENDO CONSTANTE LA PRESIÓN DE PORO (U)

3.3.1 VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA A CORTANTE C' Y ϕ' DEL CIMIENTO, MANTENIENDO C' Y ϕ' CONSTANTES EN LA CORTINA.

3.3.2 VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA A CORTANTE C' Y ϕ' DE LA CORTINA, MANTENIENDO C' Y ϕ' CONSTANTES EN EL CIMIENTO.

3.4 VARIACIÓN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD (F.S.) MÍNIMOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES, VARIANDO LA PRESIÓN DE PORO (U)

3.5 VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO OBTENIDO POR EL MÉTODO DE FELLENIOUS, SEGÚN LA VARIACIÓN DE LA PRESIÓN DE PORO U



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

**PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD**



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO
ECHEVERRÍA”
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PASANTÍA
ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS
PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO
Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL
FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD**

AUTOR: MARIO BERNARDO VINTIMILLA ZAVALA

TUTOR: MSc. Ing. ROLANDO ARMAS NOVOA

JUNIO 2009

LA HABANA – CUBA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

DEDICATORIA

A toda mi familia y mis amigos.

En especial: Hernán, Blanca,

Javier, Alicia, José y Ana Paz.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

AGRADECIMIENTOS

Al MSc. Ing. **ROLANDO ARMAS NOVOA.**

Al MSc. Ing. **TOMÁS DE LA TORRE GRAS.**

Al Ing. **YOERMES GONZÁLEZ HARAMBOURE.**

A la república de **CUBA.**

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de taludes ha sido, y es hasta ahora, una rama de la Mecánica de Suelos que se encuentra en constante evolución por la dificultad de análisis teórico matemático que representa. En sus inicios, la construcción de taludes se desarrolló de forma empírica, hasta que el desarrollo del conocimiento científico logró conectarla con las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.

Debido al amplio campo de estudio de la Mecánica de Suelos y su corta historia de vida en comparación con las otras ramas de la ingeniería, existen todavía una serie de incógnitas en el diseño de estructuras de sostenimiento de tierras (taludes). El presente documento pretende comparar las relaciones existentes entre el tipo de suelo, el método de análisis de estabilidad que se ocupe y la presión de poro en problemas reales, con el factor de seguridad de los taludes. Con dicha comparación se pretende definir el “peso” que tiene cada uno de los parámetros citados anteriormente a la hora del cálculo del factor de seguridad, utilizando programas

computacionales que permiten simplificar los cálculos de manera muy significativa.

Cabe resaltar que la construcción de taludes hoy en día está presente en muchas de las obras civiles e hidráulicas y de ahí la importancia de tener una normativa adecuada, que acompañada de los análisis de suelos debidos, facilitarían ampliamente la etapa de diseño de cualquier proyecto y su ejecución.

Es importante destacar que para resolver numéricamente el análisis teórico de estabilidad de taludes se han hecho una serie de hipótesis, suposiciones y simplificaciones, que han cambiado a lo largo de la historia de la Mecánica de Suelos, pero se puede resaltar, que si bien no se llega a la respuesta numérica exacta del fenómeno, el resultado aplicado al campo práctico se adapta muy bien y no está muy alejado de la realidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

La heterogeneidad de los suelos existentes en el planeta Tierra, el reciente desarrollo de los métodos de análisis de

estabilidad y la serie de suposiciones realizadas a la hora de la determinación del factor de seguridad, así como el clima y la geometría de los taludes naturales o artificiales, ponen a la estabilidad de taludes como una ciencia en función de demasiados parámetros, algunos definibles y otros no, por lo que es una necesidad encontrar más relaciones de las ya existentes, entre el factor de seguridad y los parámetros resistentes del suelo y la presión del agua dentro del cuerpo del talud, para aportar y conseguir nuevas relaciones del comportamiento de un talud determinado, construido en cierto tipo de suelo, o clasificar los parámetros en orden de importancia.

INTERPRETACIÓN PROBLÉMICA

Ahora, para el desarrollo del siguiente documento, es necesario hablar de términos de la Mecánica de Suelos que están ligados al diseño y estabilidad de taludes. Primeramente se definirá una presa de tierra, como una obra civil que se utiliza para la retención de agua, y un talud, como cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal que

deba adoptar, permanentemente, la sección transversal de una presa de tierra. La heterogeneidad de los suelos que componen el talud de la cortina, se reflejan en la variabilidad de los parámetros de resistencia a cortante: cohesión (c) y ángulo de fricción interna entre partículas (Φ). La estabilidad será medida mediante un valor llamado factor de seguridad (**F.S.**). Dentro del análisis de la estabilidad de taludes es necesario determinar una superficie crítica de corte y su radio, que limitan la zona que se desliza en el momento de la falla en un talud, llamada masa deslizante. También se necesita el concepto de presión de poros (u), debido a la existencia de un flujo de filtración, producto del gradiente hidráulico ocasionado por la diferencia de energía del agua libre entre la entrada y la salida. En el caso de un flujo libre, como es el existente en la cortina de la presa de tierra, se requiere delimitar la región de flujo mediante hipótesis y simplificaciones aplicadas a la hidrodinámica. La línea que delimita ese flujo dentro de la presa, se denomina línea de corriente superior (**L.C.S.**).

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

El alcance del trabajo será: El factor de seguridad de un talud dado es función de tres elementos importantes:

- 1.- La representatividad de los parámetros mecánicos del suelo, obtenidos de la investigación geotécnica, para los estados de carga que son necesario estudiar al diseñar el talud.
- 2.- El método de análisis de estabilidad utilizado en el cálculo del factor de seguridad.
- 3.- La aproximación con que se definan los valores de las presiones intersticiales (presión de poro) y la forma en que se manipulen estos en el método de análisis de estabilidad escogido.

Este estudio pretende mostrar que la mayor influencia en el factor de seguridad viene dada por los parámetros de resistencia a cortante c y Φ

El objeto de esta investigación será la Estabilidad de Taludes, el campo de acción, el cálculo del Factor de Seguridad (**FS**)

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL:

- ✚ Determinar cómo influyen los parámetros de resistencia, la presión de poro y el método de análisis de estabilidad en el valor del factor de seguridad de un talud y partiendo de la variación de los resultados, definir el orden de importancia que el proyectista debe dar al diseño de taludes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Comparar el efecto en el valor del factor de seguridad del incremento de la presión de poro, en el cuerpo de un talud
- ✚ Demostrar que los parámetros de resistencia a cortante c y ϕ aumentan el valor del factor de seguridad

HIPOTESIS:

- ✚ La elevación de la línea de corriente superior (**L.C.S.**) y con ello el incremento de la presión de poro (**u**), en el

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

cuerpo de un talud, disminuye su estabilidad y el valor del factor de seguridad.

- ✚ Para una superficie de falla determinada, el incremento de los parámetros de resistencia a cortante de los suelos, la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (Φ), aumentan la estabilidad de los taludes.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

1.1.1 DEFINICIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD

La estabilidad de un talud se define mediante el cálculo de un valor llamado factor de seguridad (**FS**), que expresa físicamente la magnitud en la que puede reducirse la resistencia a cortante del suelo conformante, para que se produzca el deslizamiento a lo largo de la superficie más desfavorable y depende de los siguientes parámetros:

- ✚ La representatividad de los parámetros mecánicos del suelo, obtenidos en la investigación geotécnica, para los estados de carga que son necesarios estudiar al diseñar el talud.
- ✚ El método de análisis de estabilidad utilizado en el cálculo del factor de seguridad.
- ✚ La aproximación con que se definan los valores de las presiones intersticiales y la forma en que se manipulen éstos en el método de análisis de estabilidad escogido.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

Para un talud con características geométricas y propiedades de suelo dadas, se obtendrá un factor de seguridad mínimo (FS_{min}), que por definición, expresa la magnitud de la reducción que deben llegar a experimentar los parámetros de resistencia a cortante (c) y (Φ), para alcanzar un estado de equilibrio límite, y que en general debe cumplir la condición:

$$FS_{MIN} \geq FS_{NORMA}$$

La ecuación gobernante del factor de seguridad, es la siguiente (para cualquier método de análisis de estabilidad):

$$FS = \frac{\Sigma \text{FUERZAS.QUE.INDUCEN.EL.DESLIZAMIENTO}}{\Sigma \text{FUERZAS.QUE.SE.OPONEN.AL.DESLIZAMIENTO}}$$

En términos numéricos, se considera a un talud, según el valor del factor de seguridad, como:

INESTABLE		Si el valor de FS_{min} es menor que 1
FALLA INMINENTE		Si el valor de FS_{min} es igual que 1
ESTABLE		Si el valor de FS_{min} es mayor que 1
ESTABLE Y SEGURO		Si el valor de FS_{min} es mayor que 1.5

El diseño de taludes se basa en un proceso de tanteo, o sea, buscar la inclinación del talud más empinado, que cumpla que el **FS_{min}**, de todos los supuestos círculos de falla posibles, sea mayor que 1.5. De acuerdo a la mayoría de Códigos de Construcción internacionales, a este valor se le denomina **FS_{norma}** ⁽¹⁾.

1.1.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

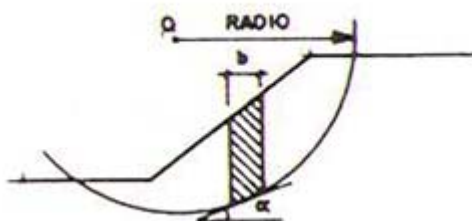
Los métodos de análisis de estabilidad de taludes se catalogan entre los métodos de análisis límite, lo que quiere decir, que se lleva al suelo a la condición de rotura (mecanismo de falla) y se considera que a lo largo de la

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

superficie de falla supuesta se alcanza, en todos los puntos de ella, la máxima resistencia al cortante. Para el análisis se hace la hipótesis de que la masa deslizante está dividida en una serie de fajas verticales llamadas dovelas y estudian el equilibrio de cada una, así como el de la masa deslizante como un solo cuerpo, además de considerar que, a lo largo de la superficie de falla, el suelo desarrolla su máxima resistencia.

Para hacer el análisis de la estabilidad de taludes en suelos que tienen cohesión (c) y fricción (Φ), es necesario dividir la masa deslizante en dovelas (**FIG 1.1**) y considerar las fuerzas actuantes sobre ellas. En la (**FIG 1.2**) se muestran las fuerzas que actúan sobre una dovela. El cálculo del factor de seguridad para una superficie de deslizamiento cualquiera implica la solución de un problema indeterminado desde el punto de vista de la estática.



$$\cos \alpha = \frac{b}{\delta s} \rightarrow \delta s = b \times \sec \alpha$$

FIG 1.1 DOVELA DE UN CÍRCULO DE FALLA CUALQUIERA

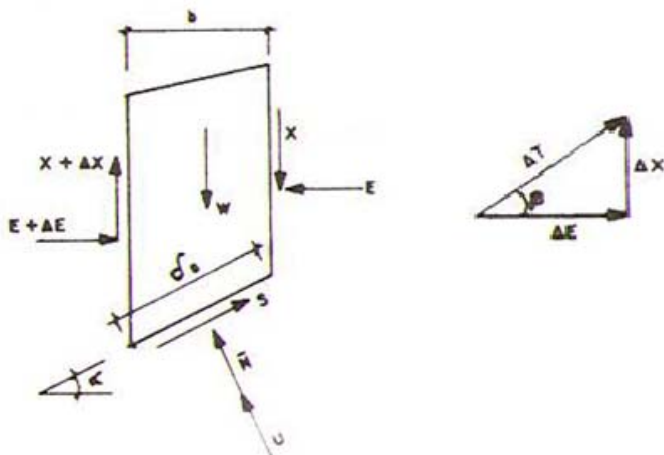


FIG 1.2 FUERZAS ACTUANTES SOBRE UNA DOVELA

En la (TABLA 1.1) se muestran las incógnitas asociadas al equilibrio de fuerzas y momentos, para las “n” dovelas en que está dividida la masa deslizante.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

A	Incógnitas asociadas al equilibrio de fuerzas
N	Resultantes normales $\tilde{N}$ sobre la base de cada dovela
1	Factor de Seguridad
n-1	Resultantes de las fuerzas laterales en la cara de contacto de las dovelas
n-1	Ángulos β que expresa la inclinación de la resultante ΔT con respecto a la horizontal
3n-1	Incógnitas para 2n ecuaciones.
B	Incógnitas asociadas al equilibrio de momentos
N	Coordenadas de situación de las resultantes $\tilde{N}$ en la base de cada dovela
n-1	Coordenadas de situación de la resultante ΔT
2n-1	Incógnitas para n ecuaciones.
C	Total de incógnitas
5n-2	Incógnitas para 3n ecuaciones

TABLA 1.1 INCÓGNITAS ASOCIADAS AL EQUILIBRIO DE FUERZAS Y MOMENTOS PARA “n” DOVELAS

Los métodos más utilizados en la práctica no consideran el equilibrio de momentos en cada una de las dovelas, reduciendo así el problema a $3n-1$ incógnitas para $2n$ ecuaciones. Para eliminar la indeterminación del problema expuesto, se hacen $n-1$ hipótesis con respecto al ángulo β , dando como resultado un sistema de $2n$ ecuaciones con $2n$ incógnitas ⁽²⁾.

En la (FIG 1.3), se muestra el polígono de fuerzas correspondientes a una dovela, cuando se supone conocido el ángulo β :

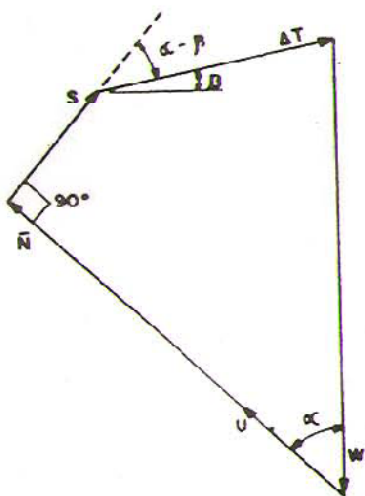


FIG 1.3 POLÍGONO DE FUERZAS DE UNA DOVELA

Ahora, con la proyección de las fuerzas en la dirección de $\bar{N}$ y S , se determinan las ecuaciones de equilibrio:

$$(\bar{N} + U) = W \cdot \cos \alpha + \Delta T \cdot \sin (\alpha + \beta)$$

$$S + \Delta T \cdot \cos (\alpha - \beta) = W \cdot \sin \alpha$$

Si la definición de factor de seguridad (**FS**) para cada dovela es:

$$S = \frac{1}{FS} (C' + \bar{N} \cdot \tan \phi')$$

Donde:

$$C' = c' \cdot \delta_s$$

Sustituyendo el valor de S en la ecuación obtenida de la proyección de las fuerzas en la dirección de S , se tiene:

$$\frac{1}{FS} (C' + \bar{N} \cdot \tan \phi') + \Delta T \cdot \cos (\alpha - \beta) = W \cdot \sin \alpha$$

Y el sistema de ecuaciones de equilibrio queda:

$$(\bar{N} + U) = W \cdot \cos \alpha + \Delta T \cdot \sin (\alpha + \beta)$$

$$\frac{1}{FS} (C' + \bar{N} \cdot \tan \phi') + \Delta T \cdot \cos (\alpha - \beta) = W \cdot \sin \alpha$$

Sin embargo, no será necesario resolverlo si se recurre al análisis del equilibrio de la masa deslizante como un todo, ya que puede decirse que:

$$\Sigma W \times x = \Sigma S \times R$$

Donde:

x: Es la distancia horizontal del centro de gravedad de la dovela al centro del círculo

R: Radio del círculo

Esto se cumple, ya que las fuerzas internas, así como los empujes entre dovelas, no entran en el equilibrio general. Entonces, sustituyendo la ecuación de definición del factor de seguridad en el análisis de la masa deslizante como un todo, se obtiene:

$$F = \frac{\Sigma (C' + \bar{N} \cdot \tan \phi') R}{\Sigma W \cdot x}$$

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

Que muestra, que solo se necesitan conocer los n valores de $\bar{N}$

Por medio de sustituciones matemáticas, operando el sistema de ecuaciones, se obtiene la siguiente expresión:

$$\bar{N} = \frac{W \cdot \cos \alpha [1 + \tan \alpha \cdot \tan(\alpha - \beta)] - \frac{1}{FS} C' \cdot \tan(\alpha - \beta) - U}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan(\alpha - \beta)}{FS}}$$

Que indica que no es necesario determinar el valor de ΔT para obtener el valor del factor de seguridad.

Ahora, dependiendo de la hipótesis que se haga para el valor de β , el valor de $\bar{N}$ cambiará, dando paso a los distintos métodos de análisis de estabilidad, como por ejemplo:

Para el método de Fellenius se hace la consideración de que ($\beta=\alpha$), y operando en la ecuación anterior, ella queda reducida a:

$$\bar{N} = W \cdot \cos \alpha - U$$

Y el factor de seguridad (FS), queda de la siguiente manera:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

$$FS = \frac{R \sum [c' \cdot \delta_s + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot \delta_s) \tan \phi']}{\sum W \cdot x}$$

Para el método de Bishop se hace la consideración de que ($\beta=0$), y operando en la ecuación $\bar{N}$, ella queda reducida a:

$$\bar{N} = \frac{\frac{(W - c' \cdot b \cdot \tan \alpha - ub) \cdot \sec \alpha}{FS}}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan \alpha}{FS}}$$

Y el factor de seguridad (FS), queda de la siguiente manera:

$$FS = \frac{R \sum c' \cdot \delta_s \cdot \eta}{\sum W \cdot x} + \frac{R \sum (W - ub) \epsilon \tan \phi'}{\sum W \cdot x}$$

Donde:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{FS}}$$

$$\epsilon = \eta \cdot \sec \alpha$$

Aunque estos autores (Fellenius y Bishop) son los más usados internacionalmente, la historia del estudio de la Estabilidad de Taludes es mucho más amplia, como se muestra a continuación (**TABLA 1.2**) ⁽³⁾:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

AUTOR	APORTE A LA ESTABILIDAD DE TALUDES
COULOMB (1776)	Fue el primer científico en suponer la superficie de falla en taludes y la imaginó plana
COLLIN (1845)	Primer científico que supuso que la superficie de falla era curva, tal como se la considera en la actualidad, pero vio obstaculizada su teoría por el prestigio de Coulomb
PETTERSON (1916)	Primero de los grandes científicos de la escuela “sueca”, al analizar una falla ocurrida en el puerto de Gotemburgo (Suecia), logró deducir que la superficie de rotura era curva
FELLENIOUS (1927)	Perteneciente a la escuela “sueca”, propuso asumir que la traza de la falla real intersecada con el plano del papel, da como resultado un arco de

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

	circunferencia para facilitar el análisis, aunque se sabe que no sucede con exactitud realmente. Todos los métodos desarrollados bajo la suposición de Fellenius de una superficie de falla circular, reciben el nombre de suecos. Para suelos con cohesión y fricción, desarrolló el método de las dovelas. Su método no satisface equilibrio de momentos y supone que la resultante de las fuerzas laterales que actúan entre dovelas (empujes), tienen una dirección paralela a la base de las mismas ($\alpha=\beta$), sin embargo es muy utilizado por su procedimiento simple, aunque resulta impreciso para taludes planos con alta presión de poros y como resultado brinda factores de seguridad bajos.
RENDULIC (1935)	Propuso tomar como superficie de falla a

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

	la espiral logarítmica, aunque dificultara mucho el análisis matemático de la estabilidad de taludes
KREY (1936)	Con sus ideas, cimentó el <u>procedimiento de círculo de fricción o círculo Φ</u> para fallos por rotación, desarrollado por Gilboy y Casagrande
TAYLOR (1937)	Por medio del análisis de estabilidad, con la teoría de la superficie de falla de la espiral logarítmica y la superficie de falla circular, demostró que ambas dan resultados bastantes similares; entonces desechó la espiral logarítmica por la complejidad de cálculos y demostró que los resultados de la circular son aplicables a la realidad. Confeccionó ábacos para definir el factor de seguridad en suelos homogéneos por el método del círculo de fricción.
BISHOP (1955)	Replanteó el método de Fellenius

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

	considerando una hipótesis más real con respecto a las fuerzas laterales actuantes en cada dovela. El método desarrollado, cumple con el equilibrio de momentos y sirve para superficies de falla circulares. La solución es estáticamente indeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela. Supone como simplificación inicial que las fuerzas de empuje actuantes en las caras laterales de las dovelas son horizontales y que no existen entre ellas fuerzas tangenciales ($\beta=0$).
JANBU (1954)	Realizó ábacos para el cálculo del factor de seguridad de taludes simples y homogéneos con círculos críticos por el pie de él. Desarrolló junto a Col, una simplificación del método de Bishop para superficies de falla no necesariamente

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

		circulares. Su método analiza cualquier forma de superficie de falla y cumple con el equilibrio de fuerzas, al igual que Bishop, asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es indeterminada estáticamente, ya que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Supone que los empujes entre dovelas se aplican aproximadamente a un tercio de su altura, hipótesis con la que intentó cumplir el equilibrio de momentos, pero no lo consiguió. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección (F_o) para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos con relación al método de análisis de estabilidad de taludes de Bishop.
BISHOP	Y	Formaron ábacos que indican las

MORGESTERN (1960)	combinaciones de parámetros necesarias para la estabilidad de un talud de un caso específico.
LOWE Y KARAFIATH (1960)	Asume que las fuerzas entre dovelas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas y analiza problemas ligados a cualquier forma de superficie de falla.
MORGENSTERN Y PRICE (1965)	El método desarrollado sirve para el análisis de cualquier forma de superficie de falla, cumple con el equilibrio de momentos y fuerzas. Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. Supusieron que las componentes tangenciales son una cierta

		fracción de las horizontales ($T = k \cdot f(x) \cdot E$, siendo k un factor de corrección), para poder cumplir las condiciones de equilibrio. Como el problema resulta claramente hiperestático es preciso efectuar alguna simplificación, siendo la más corriente la de suponer una determinada forma para la función $f(x)$, forma que dependerá de la forma geométrica del talud y del tipo de terreno. El método es muy similar al método de Spencer, con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
WITMAN	Y	Realizaron los primeros trabajos de estabilidad de taludes, ligados con la computación
BAILEY (1967)		
SPENCER		Sirve para analizar cualquier forma de

(1967)	superficie de falla, satisface el equilibrio de momentos y fuerzas. Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada dovela. Rigurosamente satisface el equilibrio estático, asumiendo que la fuerza resultante entre dovelas tiene una inclinación constante pero desconocida. Asume una función $f(x)$ constante para la relación de las fuerzas tangenciales de cada dovela, lo que significa que todas las fuerzas de empuje entre rebanadas, son paralelas. En la práctica es frecuente encontrar funciones constantes como: funciones seno, funciones de tipo trapezoidal o funciones de cualquier tipo definidas por el usuario.
SARMA (1973)	Analiza cualquier forma de superficie de falla y cumple con el equilibrio de momentos y fuerzas. Asume que las

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

	magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso del valor de cero para el coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
ELEMENTOS FINITOS	Sirve para el análisis de estabilidad de cualquier forma de la superficie de falla, analiza esfuerzos y deformaciones como presagia la teoría de los elementos finitos y satisface todas las condiciones

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

	de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
--	--

TABLA 1.2 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y ANÁLISIS DEL MÉTODO

1.2 PRESAS DE TIERRA.

1.2.1 ANÁLISIS DE LA PRESIÓN DE PORO EN LAS PRESAS DE TIERRA

En una presa de tierra, la presión de poro (u) tiene tres componentes:

$$u = u_c + u_h + u_f$$

Donde:

 u_h es la componente debida a la altura de agua o componente hidrostática que existe sobre el punto específico de estudio.

 **u_C** es la componente que tiene el punto específico de estudio debida a un cambio de las presiones totales o la componente de consolidación.

 **u_f** es la componente debida a un flujo de filtración o componente de filtración del punto específico de estudio.

En el cuerpo de un talud recién construido se producen presiones de poro de consolidación (u_C), mientras que en la base, si existe un nivel freático, se tendrán presiones de poro hidrostáticas más un exceso de éstas, producto del peso del terraplén, siempre y cuando el material sea impermeable. En el cuerpo de un talud y su cimentación, a través del cual se produce un flujo de agua, se tienen las componentes de altura (u_h) y de flujo (u_f) únicamente. Para el caso de desembalse de la presa, se tiene que el estado final de presiones de poro (u), es el resultado de la suma de las tres componentes (u_h) (u_C) (u_f).

Para el caso en que solo existe flujo de agua a través del cuerpo del terraplén ($u_h + u_f$) pueden plantearse, al menos, dos alternativas para analizar el equilibrio de un elemento de suelo.

- Sumando vectorialmente el peso total saturado de dicho elemento, con las presiones de poro (γ_{SAT} , u)
- Sumando los vectores peso sumergido y fuerza de filtración (γ' , i y γW)

Siendo el resultado, exactamente el mismo en ambos casos. La primera alternativa tiene ventajas cuando el agua está en movimiento, como es el caso del flujo a través de un talud, mientras que la segunda las tiene cuando el agua está estática y por tanto, el gradiente hidráulico es igual a cero ($i=0$).

1.2.2 ANÁLISIS EN TENSIONES TOTALES Y EN TENSIONES EFECTIVAS

Durante algún tiempo existió cierta controversia entre los defensores del análisis de estabilidad en tensiones efectivas y en tensiones totales. A continuación se exponen los criterios de Whitman, referidos a este tema, según BISHOP ⁽⁴⁾:

"Si se usan inteligentemente, ambos métodos de análisis son igualmente confiables, y el escoger uno u otro depende de la cantidad de esfuerzo ingenieril que está justificado en ambos casos".

Las características de los dos métodos, a partir del ejemplo de construcción de un terraplén sobre una cimentación firme, donde ésta, se hace tan rápido que no se producen cambios en el contenido de humedad del suelo desde el momento en que se compacta hasta el momento en que todo el terraplén está terminado, se muestran, analizándose los requisitos y algunos comentarios sobre las dificultades que se producirán al satisfacerlos si se emplea uno u otro análisis (**TABLA 1.3**).

Por ello, se concluye que, cuando se quiere mantener el costo de análisis ingenieril en un mínimo y existen muchos otros factores pequeños, que sugieren que el factor de seguridad total va a ser alto, un análisis en tensiones totales

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

es el indicado, y cuando existe la oportunidad de lograr economías importantes en el costo de construcción, mediante un análisis ingenieril cuidadoso, el análisis en tensiones efectivas ofrecerá el mejor camino.

ANÁLISIS DE TENSIONES TOTALES (TT)	
REQUISITOS	COMENTARIOS
Tensiones totales en la masa de suelo debido a fuerzas de masa y cargas externas	Común a los dos métodos
Ensayos para determinar la resistencia del suelo cuando es sometido a cambios con esfuerzos totales, similares a los cambios de esfuerzos dentro de la masa del suelo	La exactitud del ensayo es siempre dudosa, ya que la resistencia depende de las presiones de poro inducidas, la cuales dependen a su vez de muchos detalles del método de ensayo; los ensayos son fáciles de realizar
ANÁLISIS DE TENSIONES EFECTIVAS (TE)	

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

REQUISITOS	COMENTARIOS
Tensiones totales en la masa de suelo debido a fuerzas de masa y cargas externas	Común a los dos métodos
Ensayos lentos para determinar la relación entre la resistencia a cortante y los esfuerzos efectivos	Puede realizarse con considerable exactitud, ya que esta relación es muy poco sensible a las condiciones del ensayo. Los ensayos son prolongados
Determinación en los cambios en la presión de poro, resultantes de los cambios en cargas externas	La exactitud es dudosa, debido a los muchos factores que afectan la magnitud de los cambios de la presión de poro
COMPARACIÓN ENTRE UN ANÁLISIS EN TENSIONES TOTALES Y (TT) Y UN ANÁLISIS EN TENSIONES	

EFECTIVAS (TE)		
CRITERIO	TENSIONES TOTALES (TT)	TENSIONES EFECTIVAS (TE)
Simplicidad y cantidad de cálculos en el ensayo	Mucho menos esfuerzo, ya que en TENSIONES EFECTIVAS (TE) se tiene el paso adicional de determinación de los cambios de la presión de poro	
Confiability	No hay diferencias: Las mismas lagunas que existen en el conocimiento, que hacen difícil reproducir los cambios en la presión de poro, hacen difícil predecir y reproducir las condiciones apropiadas para este ensayo	
		Más claro porque

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

Claridad en los resultados		la resistencia a cortante es controlada por las TENSIONES EFECTIVAS (TE). Es posible comprobar el diseño mediante la medición de la presión de poro durante la construcción
-----------------------------------	--	---

TABLA 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS

1.2.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN PRESAS DE TIERRA EN EL ESTADO OPERACIÓN

En la realidad, es necesario analizar la estabilidad de los taludes en una presa de tierra homogénea, a través de su vida útil. De ello resultan 3 estados de carga y se analiza el talud más desfavorable:

FINAL DE CONSTRUCCIÓN	Se analiza el talud más empinado
OPERACIÓN	Se analiza el talud aguas abajo
DESEMBALSE RÁPIDO	Se analiza el talud aguas arriba

De acuerdo a lo explicado en los objetivos de este trabajo, se realizará el análisis del estado de carga operación. En este estado, en la presa y la cimentación, la presión de poro por consolidación (u_C) del proceso constructivo se ha disipado y se forma la red de flujo. Para medir la resistencia a cortante del suelo se hacen ensayos lentos o drenados, que son los que representan las condiciones de este estado de carga, resultando obligatorio el análisis en tensiones efectivas. Para su estudio, se presenta la siguiente figura (**FIG 1.4**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

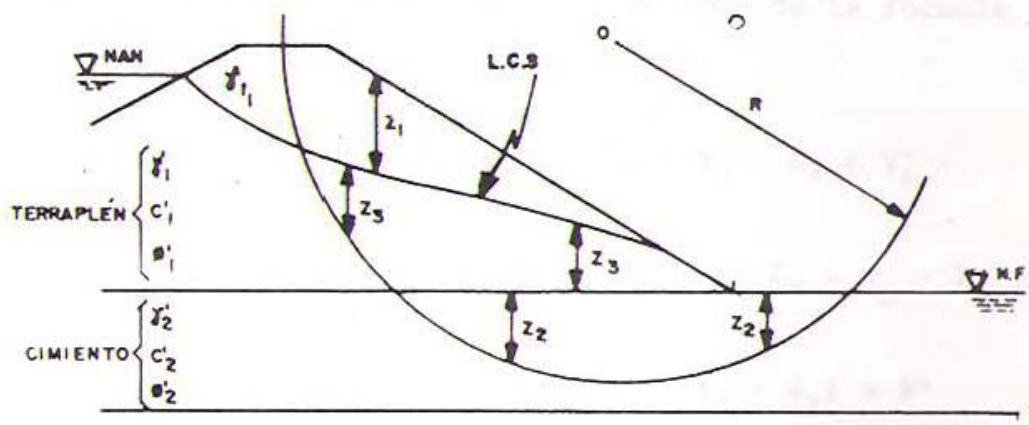


FIG 1.4 ANÁLISIS EN ESTADO OPERACIÓN

Para obtener el peso (W) de la dovela, se usan los pesos específicos saturados de los suelos por debajo de la línea de corriente superior (L.C.S.). Los valores de la presión de poro (u) se obtienen para la base de cada dovela a partir de la red de flujo (presión hidrodinámica). En la práctica se acostumbra realizar ciertas simplificaciones que reducen el tiempo necesario para el cálculo, como son:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

- ✚ Considerar que la red de flujo se establece solo en el cuerpo del talud por encima del nivel estático (NE), mientras que por debajo de este nivel no se produce flujo y por tanto, el gradiente hidráulico es nulo ($i=0$). Esto permite utilizar la variante de peso específico sumergido para los suelos por debajo del nivel estático, donde el agua se considera en equilibrio y por tanto:

$$u=u_h$$

- ✚ Considerar en la zona comprendida entre el nivel estático de agua y la línea de corriente superior (L.C.S.) que las presiones de poro (u) son iguales a la componente hidrostática (u_h), en cada dovela. Esto es una hipótesis conservadora que desprecia el valor de la componente de filtración (u_f) y por tanto se usa una presión de poro (u) mayor que la real, siempre y cuando, la línea de corriente superior (L.C.S.) no sea muy empinada, como se muestra a continuación (**FIG 1.5**)

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

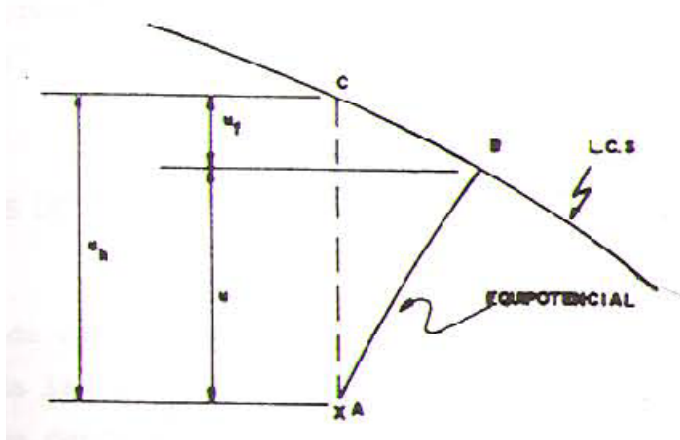


FIG 1.5 CONSIDERACIÓN DE QUE LA PRESIÓN DE PORO (u) ACTUANTE, ES LA COMPONENTE u_h

En resumen, el peso de una dovela cualquiera (W), se calcula mediante los siguientes criterios:

1. El peso específico húmedo del terraplén (γ_f) cuando ella o el pedazo correspondiente, definido por la altura Z_1 , se encuentra por encima de la línea de corriente superior (L.C.S.)
2. El peso saturado del terraplén (γ_{SAT}) cuando ella o la porción correspondiente definida por la altura Z_3 se encuentra por debajo de la línea de corriente superior (L.C.S.) y la frontera entre el cimiento y el terraplén.

3. El peso específico sumergido del cimientó (γ') en la porción que esté entre su límite con el terraplén y la superficie de falla, definido por la altura Z_2 siempre y cuando el nivel estático (N.E.) se encuentre en la frontera del cimientó y el terraplén.

1.4 DETERMINACION DE LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR (L.C.S.): MÉTODO DE SCHAFFERNAK Y VAN ITERSON

- 1.5 En un flujo libre, como es el caso de una presa de tierra, existe una frontera de la región de flujo que no se conoce *a priori*, debiendo recurrirse para su determinación a métodos que consideran válida la ley de Darcy y geometría de secciones en función del drenaje que se decida utilizar. La frontera desconocida se denomina línea de corriente superior (L.C.S.) como se muestra en la figura (**FIG 1.6**):

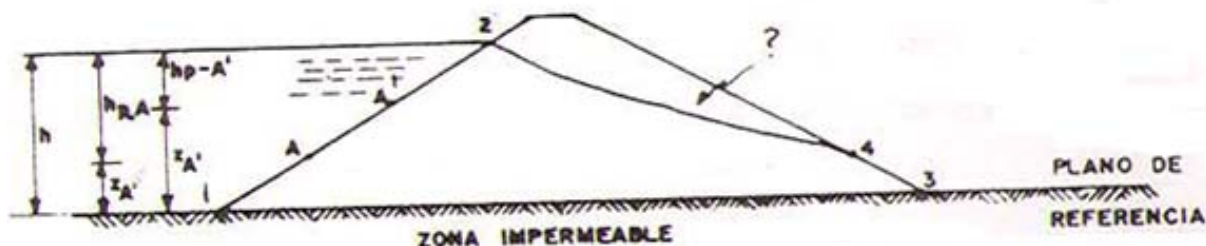
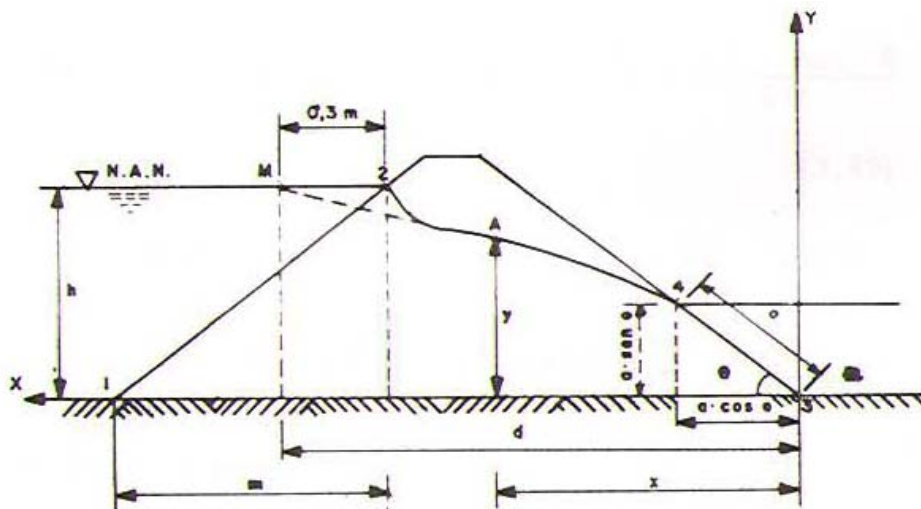


FIG 1.6 PRESA DE TIERRA CON LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR (L.C.S.) INDETERMINADA

Considerando una presa de tierra homogénea, con cimienta impermeable y drenaje de pie de talud, la línea 2-4, (**FIG 1.6**) que limita la zona de flujo dentro de la presa, recibe el nombre de línea de corriente superior (L.C.S.) y ha de ser, por lo menos, aproximadamente determinada para poder trazar la red de flujo, cuyas características a su vez influyen en su compleja determinación. La línea de corriente superior (L.C.S.) no es sólo línea de flujo, sino que también es línea de igual presión en todos sus puntos (equipresión). Por definición, la presión sobre esta línea, es la presión atmosférica.

El método de Schaffernak y Van Iterson, es válido para cuando se utiliza drenaje de pie de talud, el nivel del agua al pie del talud aguas abajo es igual cero y las inclinaciones de talud menores a 30 (**FIG 1.6**).

En la sección de la presa de tierra homogénea (**FIG 1.7**):



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

FIG 1.7 PRESA DE TIERRA HOMOPGÉNEA CONSIDERADA PARA LA SOLUCIÓN DE SCHAFFERNAK Y VAN ITERSON

Para considerar la condición de entrada de la línea de corriente superior (L.C.S.), se supone conocido el punto M, que según Casagrande, se encuentra a 0.3 veces la proyección horizontal entre el punto 2 y el pie del talud aguas arriba.

El gasto en cualquier sección vertical bajo LCS (punto **A**), está dado por:

$$q = k \cdot y \cdot \frac{dy}{dx}$$

Integrándola y evaluándola para $x=d$ e $y=h$:

$$C = qd - \frac{kh^2}{2}$$

Y sustituyéndola en la integral, se obtiene la ecuación de la parábola en función del gasto:

$$q(d - x) = k \frac{h^2 - y^2}{2}$$

Para el punto de salida (**punto 4**), se tiene como condición, que la LCS debe ser tangente al talud en dicho punto, entonces:

$$x = a \cos \vartheta$$

$$y = a \sin \vartheta$$

$$i = \tan \vartheta$$

Y el gasto en la sección vertical que pasa por el punto 4 será:

$$q = k \cdot a \cdot \sin \vartheta \cdot \tan \vartheta$$

Que si se sustituye en la ecuación de la parábola de la LCS y se la evalúa para las coordenadas del punto de salida (**punto 4**):

$$a^2 - 2 \frac{d^2}{\cos \vartheta} \cdot a + \frac{h^2}{\sin^2 \vartheta} = 0$$

Por último, resolviendo esta ecuación y eliminando la solución con radical positivo, por ser absurdo físicamente, tenemos la longitud de **a**, definida por:

$$a = \frac{d}{\cos \vartheta} - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \vartheta} - \frac{h^2}{\sin^2 \vartheta}}$$

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

Una vez definida la ecuación y la posición del punto **4**, a una distancia **a** del pie del talud, se grafica la parábola que constituye la línea de corriente superior (LCS). Para hacer cumplir la condición de entrada en el punto **2**, Casagrande propone realizar la corrección a ojo, haciendo salir la línea de corriente superior (LCS) en el punto **2**, perpendicular al talud (5).

CAPÍTULO 2.

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA SLOPE/W

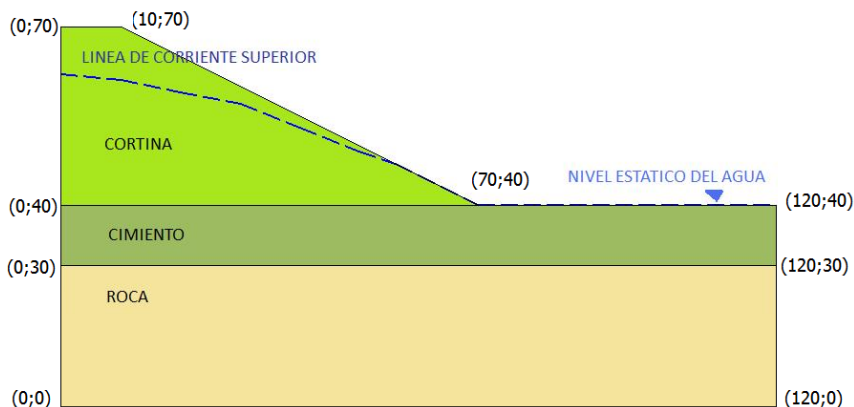
En este capítulo se detallan los pasos a seguir para la utilización del programa SLOPE/W, en un ejercicio de simple aplicación, donde se presenta detalladamente el procedimiento para obtener la solución del cálculo de los Factores de Seguridad (**FS**) por diferentes métodos de análisis de estabilidad.

Por medio de la ejecución en el computador de la secuencia presentada, es posible definir un problema, solucionarlo y ver el resultado, considerando un análisis bastante simple.

2.1 EJEMPLO DE APRENDIZAJE

En la **figura 2.1**, se presenta un diagrama esquemático sobre un problema de estabilidad de taludes y los parámetros mecánicos de cada tipo de suelo.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD



DATOS DEL TERRAPLEN		
c'	50	kPa
ϕ'	20	$^{\circ}$
γ_f	18	kN/m^3
γ_{SAT}	21	kN/m^3
γ_W	9.807	kN/m^3

DATOS DEL CIMIENTO		
c'	100	kPa
ϕ'	10	$^{\circ}$
γ'	10	kN/m^3
γ_{SAT}	20	kN/m^3
γ_W	10	kN/m^3

FIG 2.1 DIAGRAMA DEL EJEMPLO DE APRENDIZAJE Y PARÁMETROS DE CADA TIPO DE SUELO

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

El objetivo es obtener el factor de seguridad mínimo por diferentes métodos de estabilidad de taludes y la ubicación de la superficie de deslizamiento crítica. Los métodos de análisis de estabilidad que presenta el SLOPE W son:

- + Fellenius u ordinario
- + Bishop
- + Janbu
- + Morgenstern y Price
- + Spencer
- + G.L.E.
- + Cuerpo de ingenieros 1
- + Cuerpo de ingenieros 2

2.2 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo es el tamaño del espacio libre para definir el problema. El área de trabajo puede ser más pequeña, igual o superior a la página de la impresora. Si el área de trabajo es más grande que la página de la impresora, el problema será impreso sobre páginas múltiples cuando es exhibido en

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

100 % o más grande. El área de trabajo debe ser puesta con el propósito de trabajar en una escala conveniente. Para este ejemplo, tendremos un área de trabajo de 260mm de ancho por 200mm de alto.

■ Para fijar el tamaño del área de trabajo:

1. En el menú **Set**, de la barra de menús se escoge la opción **Page**, y la siguiente ventana aparecerá (**FIG 2.2**)

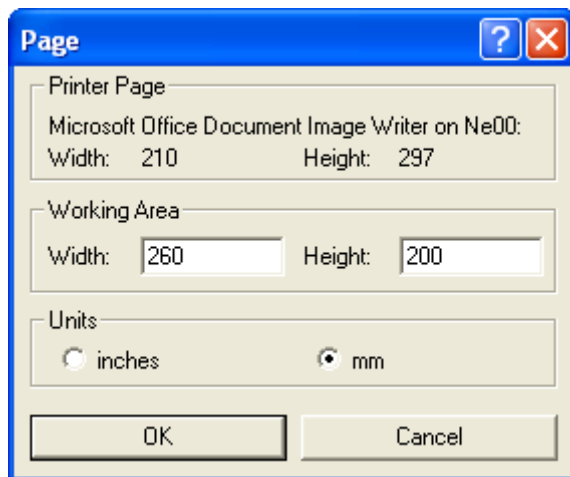


FIG 2.2 VENTANA DE LA OPCIÓN PAGE

El primer recuadro **Printer Page** informa la impresora que tiene configurada el computador y el área de

impresión disponible sobre una página de la impresora.

Esta información es presentada para ayudarlo definir una área de trabajo apropiada, de acuerdo con el área de impresión.

2. Se selecciona **mm** (milímetros) en el recuadro final **Units**.
3. Se escribe en el recuadro central **Working Area** 260 en ancho **Width** y 200 en alto **Height**. Presionando la tecla de tabulador puede trasladarse a la próxima caja de edición.
4. Se selecciona OK.

2.3 DEFINIR LA ESCALA DE TRABAJO

La geometría del problema se definirá en metros. Como se muestra en **Figura 1**, el problema tiene 120m de ancho y 40m de alto. La esquina inferior izquierda del problema será dibujada en el punto (0,30). Las extensiones tienen que ser más grandes que el tamaño del problema para tener en cuenta un margen alrededor del dibujo.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

✚ Para fijar la escala:

1. En el menú **Set** de la barra de menús, se elije la opción **Scale**, y la siguiente ventana aparecerá (**FIG 2.3**):

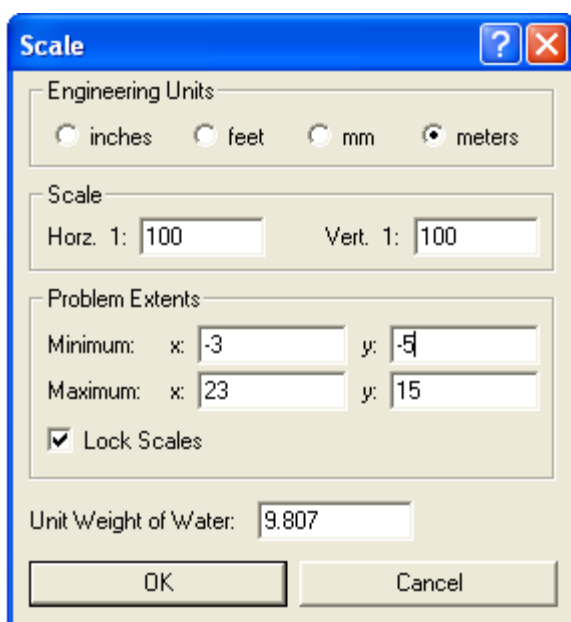


FIG 2.3 VENTANA DE LA OPCIÓN SCALE

2. Seleccione **meters** en el recuadro **Engineering Units**.
3. La escala a usar será la 1:500, por lo tanto se escribe **500** en las cajas de edición del grupo **Scale** en **Horz. 1**, y en el **Vert. 1**.
4. Escriba los siguientes valores en las cajas de edición

de **Problem Extents** o simplemente se pasa presiona OK para que se definan automáticamente:

Mínimo: x: -10 Mínimo: y: -10

Máximo: x: 120 Máximo: y: 90

5. Se selecciona OK.

Debido a que el problema se definió en el sistema métrico, los pesos se darán en kN. Siendo el peso específico del agua de 9.807 kN/m^3 .

2.4 DEFINIR EL ESPACIO DE CUADRÍCULA

Una cuadrícula de puntos es usada para ayudar a dibujar el problema. Estos puntos pueden ser usados en la configuración del problema para crear nodos y elementos con coordenadas exactas. El espaciado de cuadrícula que se tomará en este ejemplo es un metro.

 Para poner y exhibir las cuadrículas:

1. En el menú **Set** de la barra de menús, se escoge la

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

opción **Grid**, y la siguiente ventana aparecerá (**FIG 2.4**):

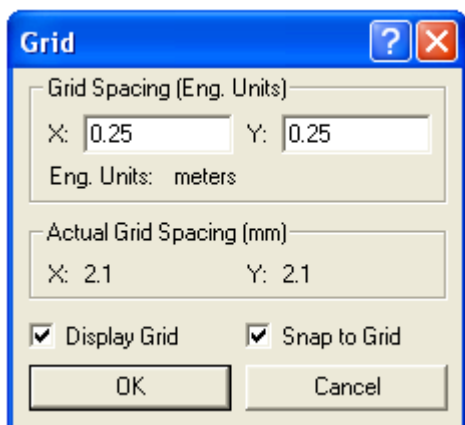


FIG 2.4 VENTANA DE LA OPCIÓN GRID

2. Se escribe 1 en X y Y, en el grupo de **Grid Spacing**.
3. Se marca la casilla de verificación de **Display Grid** para mostrar la cuadrícula en la pantalla.
4. Se marca la casilla de verificación de **Snap to Grid** para que el cursor solo trabaje en puntos de la cuadrícula.
5. Se selecciona OK.

2.5 GUARDAR EL PROBLEMA

Los datos de definición del problema deben ser guardados en un archivo. Esto permite que el **SOLVE** y las funciones de

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

contorno tengan los datos solucionar el problema y ver los resultados. Los datos pueden ser guardados en cualquier momento durante su definición.

■ Para guardar los datos en un archivo:

1. En el menú **File** de la barra de menús, se elige la opción **Save**, si es primera vez que se guarda el problema o se quiere renombrarlo, la opción **Save As**, y la siguiente ventana aparecerá (**FIG 2.5**):

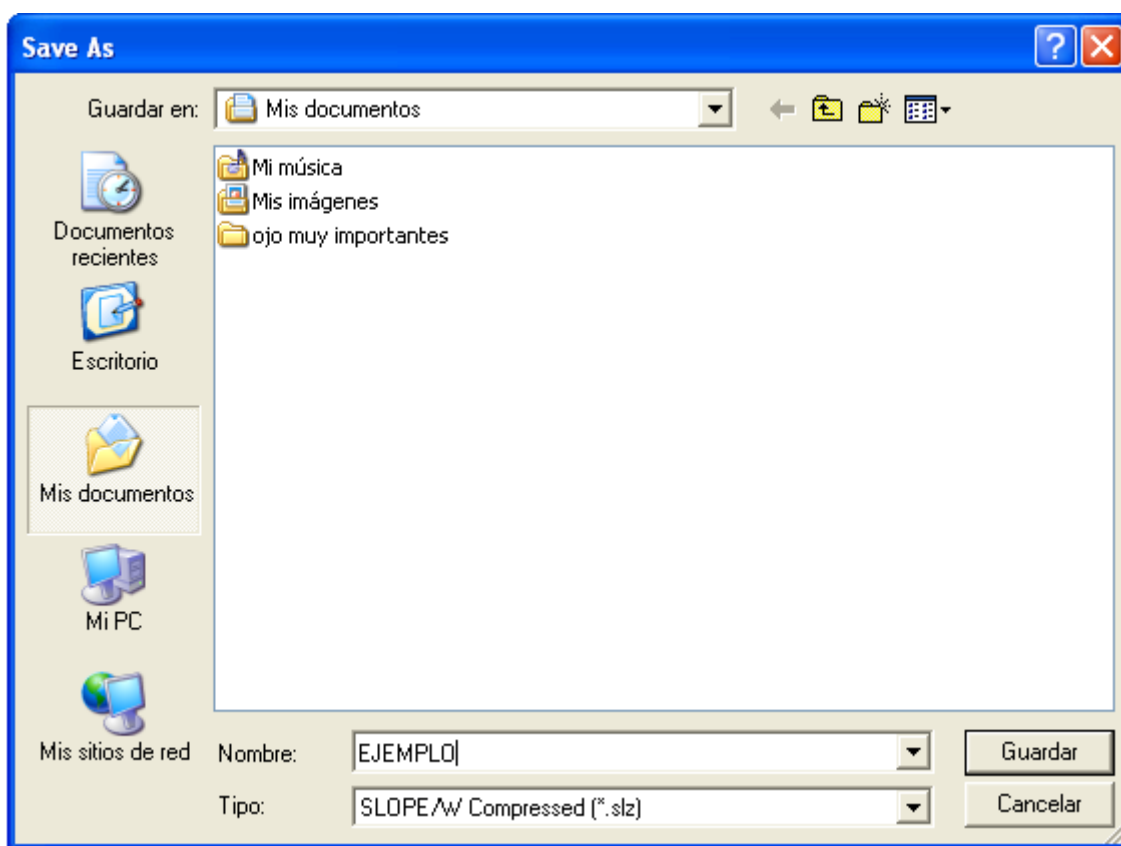


FIG 2.5 VENTANA DE LA OPCIÓN SAVE AS

2. Se escribe el nombre del archivo en la caja de edición de nombre de archivo (**name**). En este caso, se lo guardó como **EJEMPLO**.
3. Se selecciona guardar. Los datos serán salvados en el archivo **EJEMPLO.SLZ**. En cuanto es guardado, el nombre de archivo es exhibido en la barra de títulos de ventana de trabajo.

La próxima vez que se guarde el archivo presionando el botón izquierdo del ratón en la opción **Save**, este será salvado sin que aparezca la ventana porque el nombre del archivo ya está especificado y se están guardando únicamente los cambios.

2.6 BOCETO DEL PROBLEMA

Es conveniente preparar la plantilla del problema, la que servirá de guía para definir la malla de elemento finito y las condiciones de borde.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

✚ Para dibujar la plantilla del problema:

En la barra de herramientas de foco (**Zoom Toolbars**), se hace click en Zoom de página (**Zoom Page**) y el área de trabajo entera es exhibida (**FIG 2.6**).

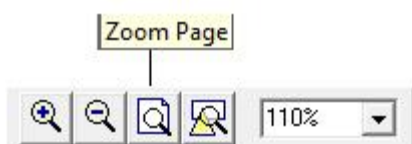


FIG 2.6 BOTÓN ZOOM PAGE

1. Se hace click en el botón líneas (**Sketch lines**). El cursor cambiará de una flecha a un retículo (**FIG 2.7**).



FIG 2.7 BOTÓN SKETCH LINES

2. Por medio del ratón, se coloca el cursor cerca del punto (0;70) y se hace click. Entonces el cursor desaparece y se lo lleva hasta el punto (10;70), se da otro click, entonces se dibuja una línea hasta el nuevo puesto del ratón

El puesto de cursor (en unidades de ingeniería) es

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

siempre exhibido en la barra de estado. Este siempre cambia al cambiar de lugar el cursor.

3. Se repite el procedimiento desde (10;70) hasta (70;40) y quedará dibujada una línea entre (10;70) hasta (70;40). Ahora entre (70;40) y (120;40), entre (120;40) y (120;30), entre (120;30) y (0;30), entre (0;30) y (0;70) y por último entre (0;40) y (70;40)
4. Se hace click en el botón derecho del ratón para terminar de dibujar. El cursor cambiará de un retículo a una flecha de nuevo.
5. En la barra de herramientas de foco (**Zoom Toolbars**), haga click en Zoom de objetos (**Zoom objects**). Se mostrará todo el dibujo que se acaba de realizar (**FIG 2.8**).

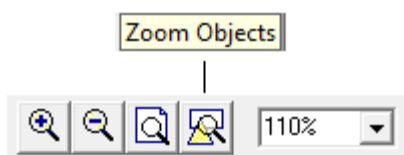


FIG 2.8 BOTÓN ZOOM OBJECTS

Después de terminados los pasos antes expuestos, deben estar conformadas las líneas que forman el boceto del problema y en su pantalla debe aparecer lo siguiente (**FIG 2.9**):

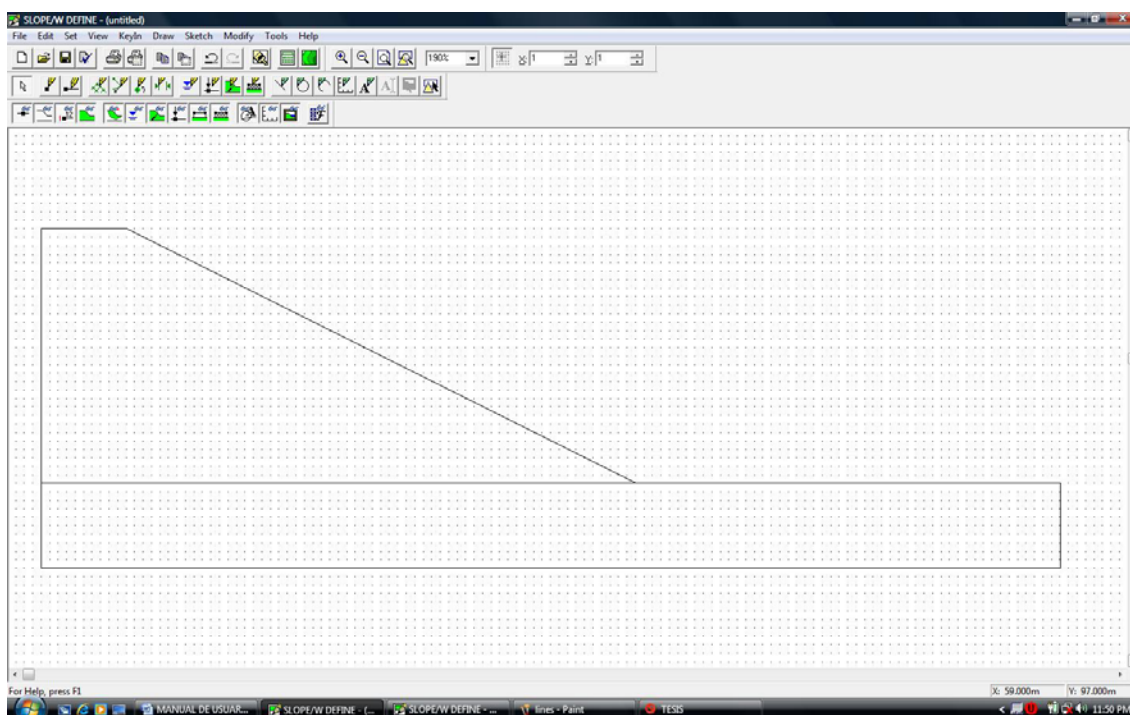


FIG 2.9 BOCETO DEL PROBLEMA

2.7 ESPECIFICACIONES DEL PROBLEMA

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

2.7.1 ESPECIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD REQUERIDOS

Para especificar los métodos de análisis:

1. Se escoge en el menú de **KeyIn** de la barra de menús, la opción de **Analysis Settings** y la siguiente ventana aparecerá (**FIG 2.10**):

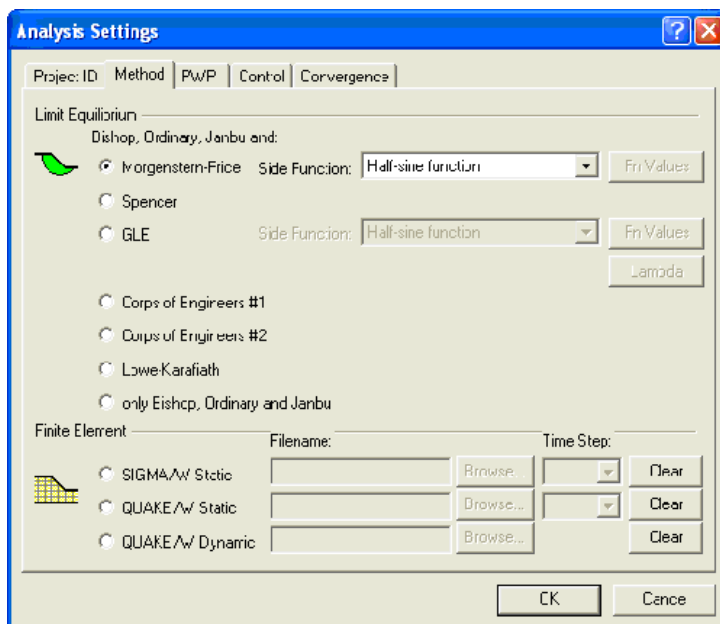


FIG 2.10 VENTANA DE ANALYSIS SETTINGS (MÉTODOS DE ESTABILIDAD A ELEJIR)

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

2. Se selecciona en el recuadro de Equilibrio Limite (**Limit Equilibrium**) la opción Morgenstern – Price, para escoger este método de análisis además de Fellenius (ordinario), Bishop y Janbu, pero según la casilla que se marque cambiarán ellos.
3. Se deja todo definido como está al abrir la ventana y se presiona **OK**.

2.7.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE ANÁLISIS DE PRESIÓN DE POROS

El análisis del problema concerniente a la presión de poros, se realizará utilizando la malla de elementos finitos generada en SEEP/W.

 Para especificar esta información:

1. Se elije en el menú **KeyIn**, de la barra de menús, la opción de **Analysis Settings** y se selecciona la opción

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

de **PWP (pore water pressures)**, la siguiente ventana
aparecerá (**FIG 2.11**):

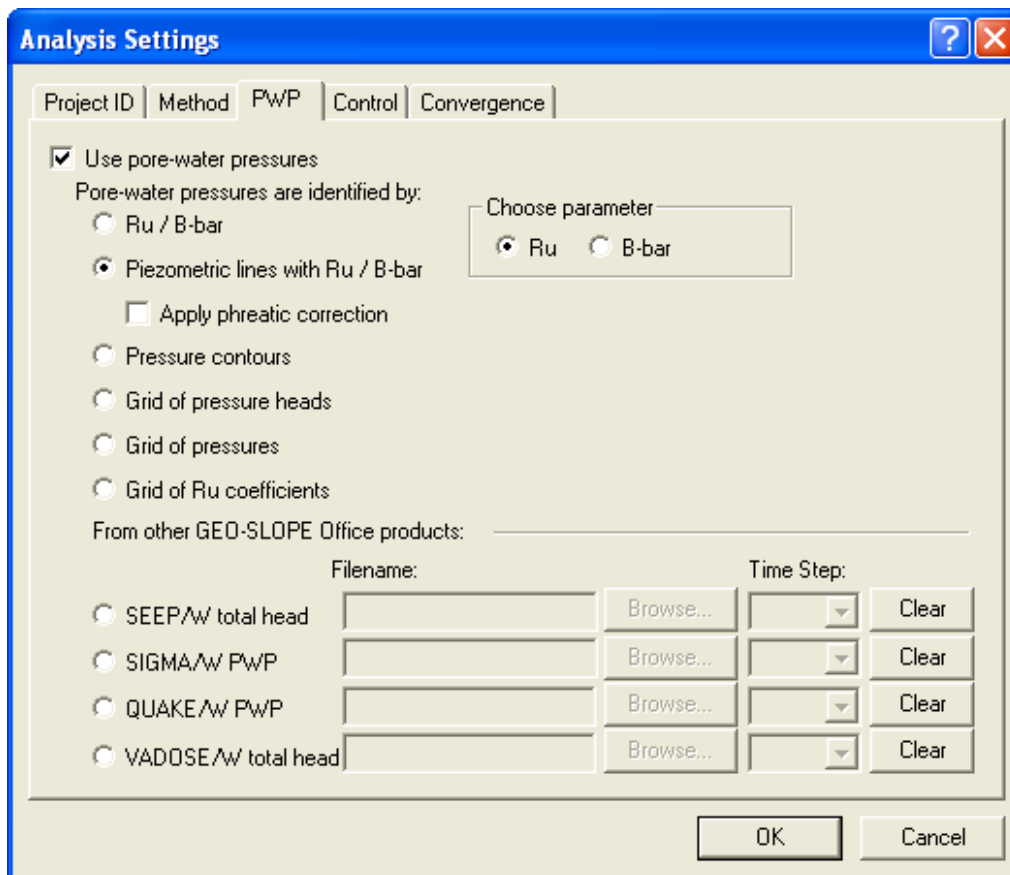


FIG 2.11 VENTANA DE LA OPCIÓN PWP

2. Se selecciona **Piezometric line with Ru /B – bar.**, como se muestra en la **FIG 2.7.2** para el ejemplo o cualquier variante según la necesidad del usuario.
3. Se dejan el resto de opciones como vienen predefinidas

y se presiona **OK**

2.7.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE OPCIÓN DE FALLA

El tipo de falla que se usará en el ejemplo a calcular, está definido por una grilla de puntos donde estará el centro del círculo de falla para el cual el factor de seguridad es mínimo, según el método de análisis de estabilidad y una superficie por donde pasarán las diferentes posibilidades de ellos.

1. Se elije en el menú **KeyIn**, de la barra de menús, la opción de **Analysis Settings** y se selecciona la opción de **Control**, la siguiente ventana aparecerá (**FIG 2.12**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

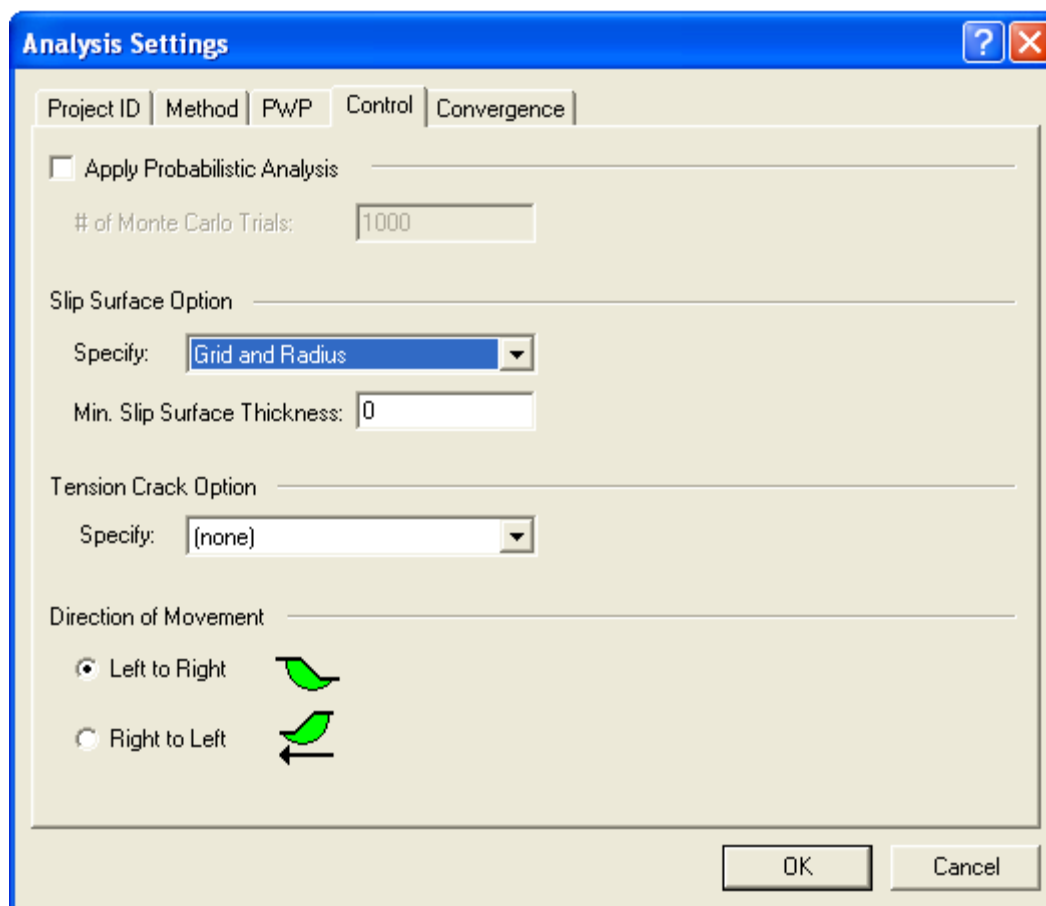


FIG 2.12 VENTANA DE LA OPCIÓN CONTROL

NOTA: Para el ejemplo, el Análisis probabilístico no será aplicado al igual que la opción **Tension Crack Option**. La dirección del movimiento de la superficie de deslizamiento será de izquierda a derecha (**left to right**), pudiendo ser modificada cualquiera de ellas por la

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD
demanda del usuario.

En **Slip Surface Option** seleccione **Grid and Radius**.

Esto permite que se especifique superficies de deslizamiento, definiendo una cuadrícula de centros de superficie de deslizamiento y líneas de radio.

4. Se selecciona **OK**.

2.7.4 DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS

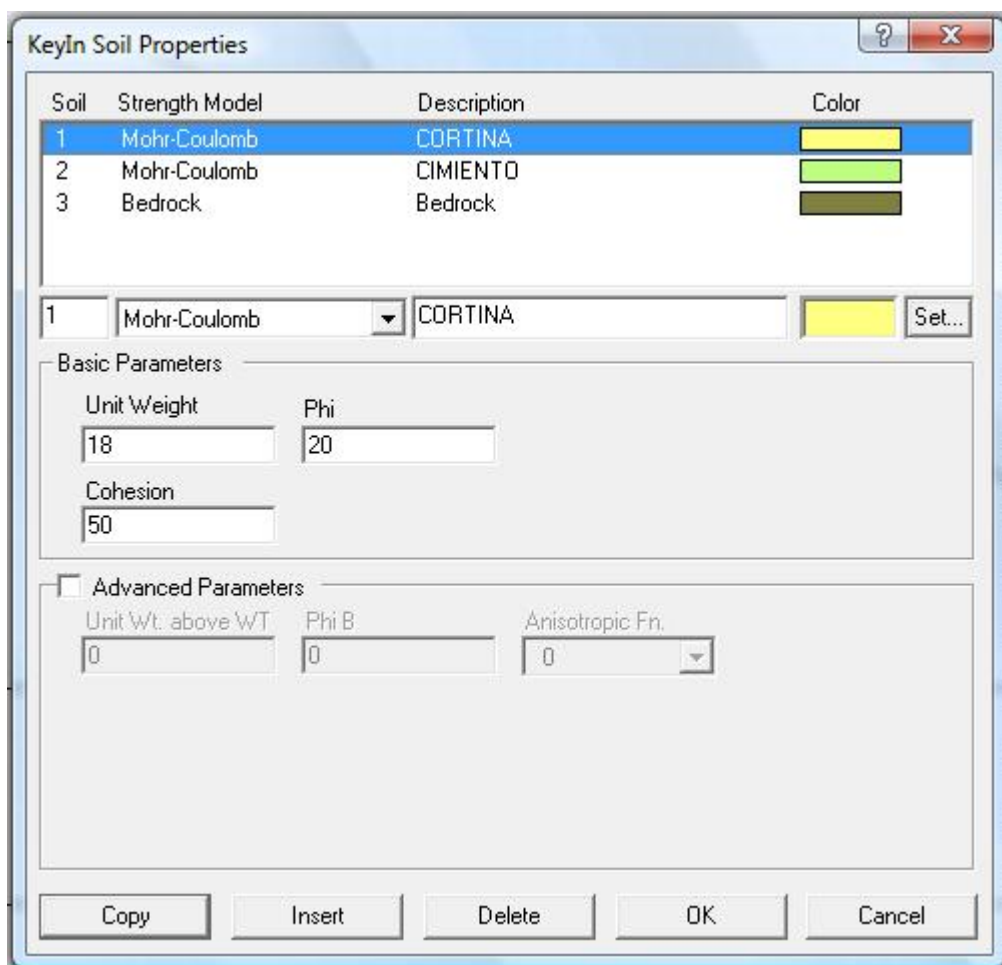
Las propiedades de los suelos de este problema se expusieron en la **Figura 2.1** y deben ser definidas para tres materiales:

- Cortina
- Cimiento
- Roca

Para definir las propiedades de cada tipo de suelo:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

1. Se escoge en el menú de **KeyIn**, de la barra de menús, la opción de **Soil Properties** y la siguiente ventana aparecerá (**FIG 2.13**):



Soil	Strength Model	Description	Color
1	Mohr-Coulomb	CORTINA	Yellow
2	Mohr-Coulomb	CIMIENTO	Light Green
3	Bedrock	Bedrock	Brown

1 | Mohr-Coulomb | CORTINA | Yellow | Set...

Basic Parameters

Unit Weight: 18 | Phi: 20 | Cohesion: 50

☐ **Advanced Parameters**

Unit Wt. above WT: 0 | Phi B: 0 | Anisotropic Fr.: 0

Copy | Insert | Delete | OK | Cancel

FIG 2.13 VENTANA DE LA OPCIÓN SOIL PROPERTIES

2. Se escribe **1** en la caja de edición de suelo (**Soil**), que se encuentra ubicado arriba del título **Basic Parameters**, utilizando el modelo de Mohr – Coulomb (no necesita ser especificado, es el que viene predefinido por el SLOPE/W).
3. Se escribe CORTINA en la caja de edición de descripción.
4. Se define el color de suelo, dando un click en **Set...** o simplemente se ocupa el predefinido.
5. Se escribe **18** en la caja de edición de peso específico (**Unit Weight**).
6. Se escribe **50** en la caja de edición de Cohesión (**Cohesion**).
7. Se escribe **20** en la caja de edición del ángulo de fricción Φ (**Phi**).
8. Se acepta el tipo de suelo dando un click en la opción **Copy**. Los valores contenidos en las cajas de edición son copiados en el cuadro de lista y queda definido el primer tipo de suelo.
9. Se escribe **2** en la caja de edición suelo (**Soil**).
10. Se escribe CIMIENTO en la caja de edición de

descripción.

11. Se repiten los pasos siguientes, colocando **20** en la caja de edición de peso específico (**Unit Weight**), **100** en la caja de edición de Cohesión (**Cohesion**) y **10** en la caja de edición del ángulo de fricción Φ (**Phi**).
12. Se acepta el tipo de suelo dando un click en la opción **Copy**.
13. Para definir la roca, se hace click en la flecha de la derecha de la caja de edición de modelo de resistencia (**Strength Model**), donde está predeterminado el modelo de Mohr – Coulomb y se selecciona el modelo de resistencia de base (**Bedrock**). La opción es puesta a lecho de roca (**Bedrock**).
14. Se selecciona **Copy**.
15. Se selecciona **OK**.

2.8 DEFINICIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA

La geometría y la estratigrafía determinan los bloques donde existe cada tipo de suelo que se guardaron en el inciso anterior y está definida por líneas conectadas con los puntos.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

Una línea continua debe ser realizada para cada capa de suelo.

NOTA: Todas las líneas deben comenzar a la izquierda y terminar en la derecha en la medida de que sea posible. El procedimiento normal es definir la línea superior como la número 1 y luego las demás líneas en orden secuencial.

✚ Para dibujar las líneas en la geometría:

1. Se selecciona el menú **Draw**, de la barra de menús y luego la opción **Lines** o directamente se elige el botón **Draw lines** de la pantalla (**FIG 2.14**) y aparecerá la siguiente ventana (**FIG 2.15**):



FIG 2.14 BOTÓN DRAW LINES

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

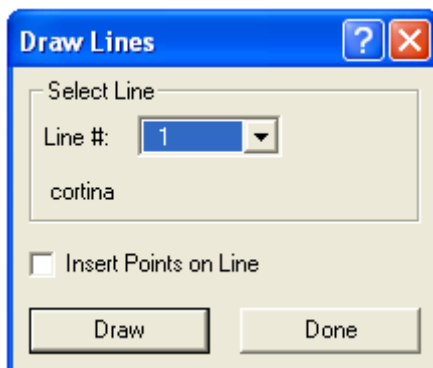


FIG 2.15 VENTANA DE LA OPCIÓN DRAW LINES (LÍNEA 1)

2. Se selecciona 1 en el cuadro de lista desplegable **Line #**: para dibujar la primera línea (este es el valor por defecto).
3. Se escoge el botón de dibujar (**Draw**). El cursor cambiará de una flecha a un retículo, y la barra de estado indicará "Dibujar líneas". Es el modo operativo en curso.
4. Se coloca el cursor en (0;70) y se da un click en el botón izquierdo del ratón, entonces se crea una posición o un punto allí; luego, cuando se mueve el ratón, una línea es dibujada desde la posición (punto 1) al nuevo puesto del cursor.
5. Se desplaza el cursor hasta (10;70) y con otro click, se crea un nuevo punto (punto 2) y una línea roja es dibujada desde el punto1 al punto 2.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

6. Se lleva el cursor hasta (70;40) y se da un último click, se crea el punto 3 y se finaliza la línea de suelo 1, se presiona el botón derecho en el ratón o la tecla de Esc.
7. La ventana **Draw Lines (FIG 2.16)** aparecerá otra vez.
8. Se hace click en la flecha que baja a la derecha del cuadro de lista desplegable **Line #:** y aparece una lista de líneas disponibles (uno para cada número de los suelos definidos:

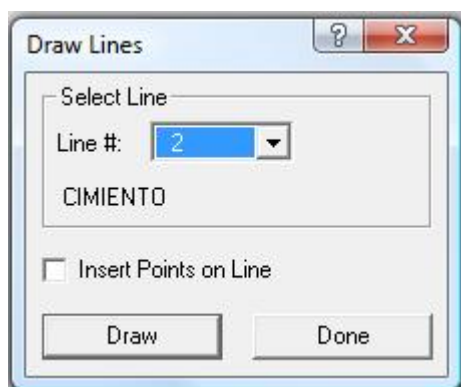


FIG 2.16 VENTANA DE LA OPCIÓN DRAW LINES (LÍNEA2)

9. Con un click en 2 en el cuadro de lista desplegable y seleccionando el botón de **Draw** se empieza a dibujar la línea 2. El cursor cambiará de una flecha a un retículo, y la barra de estado indicará "Dibujar líneas" es el modo

operativo en curso.

10. Se coloca el cursor en la posición (0;40) y se da click en el botón izquierdo del ratón, luego se lleva el cursor hasta (120;40), entonces se presiona el botón derecho del ratón y se termina la línea 2.
11. Análogamente se repite el proceso, escogiendo la línea 3 en la ventana de opción **Draw Lines**, se presiona en **Draw**, se lleva el cursor a (0,30) se da click con el botón izquierdo del ratón y se traza una línea hasta la posición (120;30)

Terminadas las líneas, en la pantalla debe aparecer lo siguiente (**FIG 2.17**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

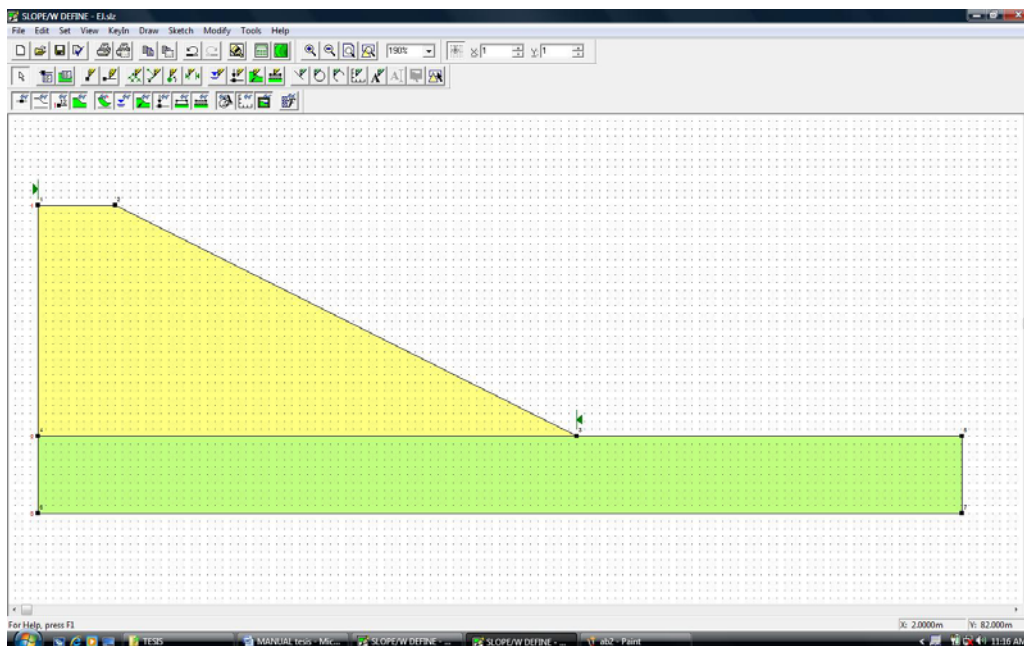


FIG 2.17 PANTALLA CON EL PROBLEMA Y LOS SUELOS DEFINIDOS.

2.9 DEFINICIÓN DE LA SUPERFICIE DE FALLA DE LOS RADIOS

Para controlar la ubicación de las superficies de deslizamiento, es necesario definir líneas o puntos que son usados para la determinación de los radios de la superficie de falla. Para dibujar las líneas de superficie de falla de los radios se hace el siguiente procedimiento:

1. Se selecciona el menú **Draw**, de la barra de menús, luego **Slip Surface** y por último la opción **Radius** o directamente se elige el botón **Draw Slip Surface Radius** de la pantalla (**FIG 2.18**):



FIG 2.18 BOTÓN DRAW SLIP SURFACE RADIUS

2. Se ubica el cursor en la posición (50;33) y con un click en el botón izquierdo del ratón un punto es creado.
3. Se mueve el cursor hasta (110,33) y con otro click se dibuja una línea, luego se desplaza nuevamente hasta (50;33) se presiona click, para terminar se aplasta el botón derecho, o presionando la tecla Esc. La línea en la que el radio de falla se moverá es la que se acaba de definir. La ventana de **Draw Slip Surface Radius** que aparece a continuación (**FIG 2.19**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

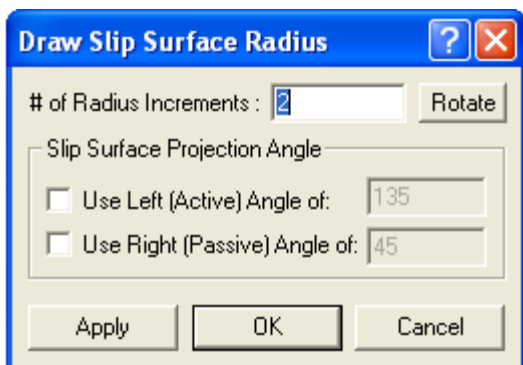


FIG 2.19 VENTANA DE DRAW SLIP SURFACE RADIUS

NOTA: Para este caso, se deja el incremento de 2 en la caja de edición de número de superficies de falla (**# of Radius Increments**) por ser un valor predeterminado aunque al ser una línea en el problema propuesto, esta no podrá tenerlos.

4. Se aceptan los valores predefinidos y se selecciona **OK**.

Después de terminados los pasos de este inciso, en la pantalla debe aparecer lo siguiente (**FIG 2.20**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

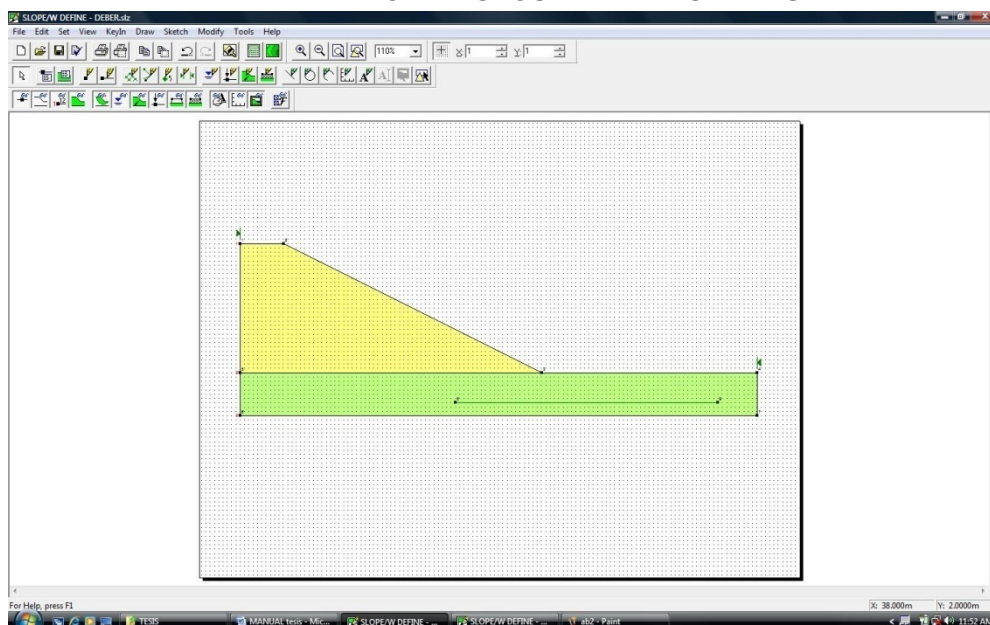


FIG 2.20 PANTALLA CON EL PROBLEMA Y LA SUPERFICIE DE FALLA.

2.10 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE LOS CENTROS DE LOS CÍRCULOS DE FALLA

Una cuadrícula para los centros debe ser definida para especificar y controlar la ubicación de los centros de los círculos de falla y las superficies de deslizamiento.

✚ Para dibujar las cuadrículas de los centros:

1. Se selecciona el menú **Draw**, de la barra de menús, luego **Slip Surface** y por último la opción **Grid**, o directamente se elige el botón **Draw Slip Surface Grid** de la pantalla (**FIG 2.21**):

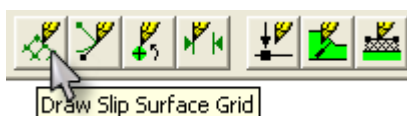


FIG 2.21 BOTÓN DRAW SLIP SURFACE GRID

2. Se coloca el cursor en la posición (50;90) y se fija el punto con un click en el botón izquierdo del ratón. Cuando se cambia de lugar el cursor, una línea es dibujada desde el punto creado y el nuevo puesto de cursor.
3. Se mueve el cursor hasta (70;90) y se presiona click, luego se desplaza hasta (70;70) con un click en ese punto, entonces aparecerá la siguiente ventana (**FIG 2.22**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

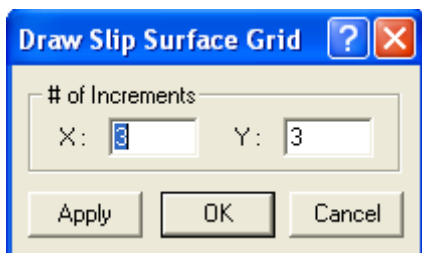


FIG 2.22 VENTANA DE DRAW SLIP SURFACE GRID

4. El valor en el cuadro de edición representa el número de divisiones horizontales y divisiones verticales en que se divide la región de cuadrícula.
5. Se cambian los valores en las cajas de edición a 10 en ambas, para una mayor precisión, incrementando el número de cuadrículas.
6. Se selecciona **OK**.

Después de que haber terminado los pasos más arriba señalados, en la pantalla debe aparecer lo siguiente (**FIG 2.23**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

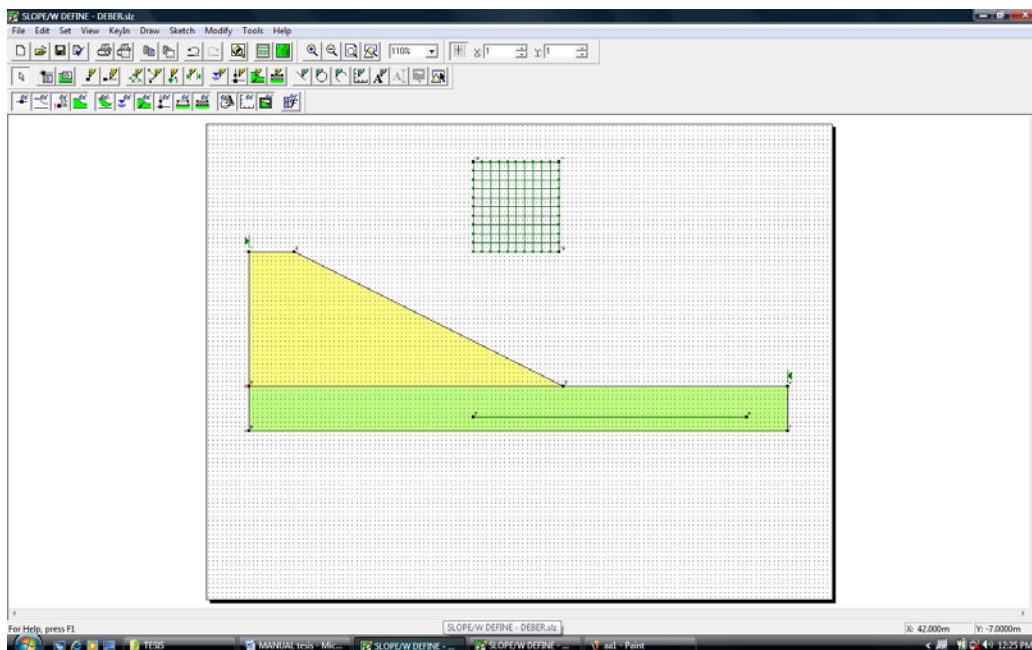


FIG 2.23 PANTALLA CON EL PROBLEMA Y LA CUADARÍCULA DE CENTROS.

2.11 VERIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La definición del problema debe ser verificado para asegurar que no se hayan cometido errores a la hora de definir los datos.

 Para verificar la validez de los datos:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

1. Se elije **Tools** de la barra de menús y luego la opción **Verify**, entonces la siguiente ventana aparece (**FIG 2.24**):

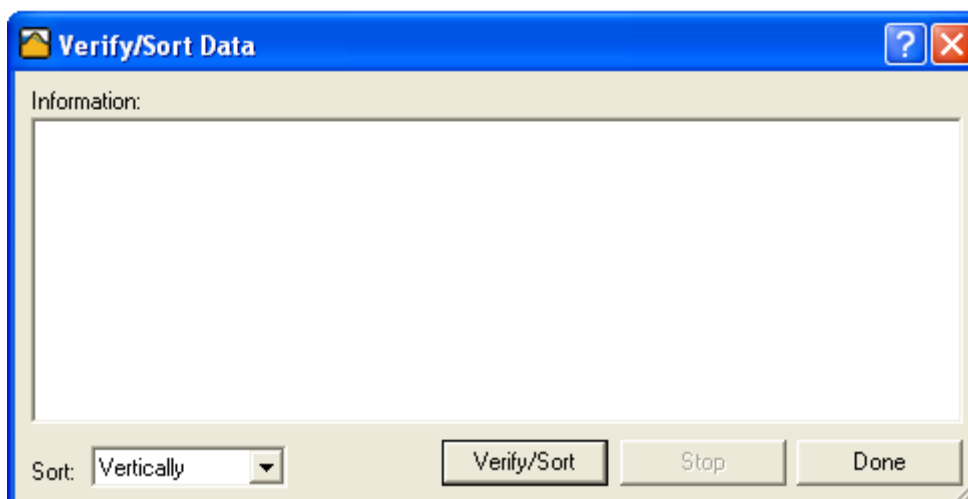


FIG 2.24 VENTANA DE LA OPCIÓN VERIFY

2. Se presiona el botón de **Verify/Sort** en el cuadro de diálogo.

El SLOPE/W verifica los datos entrados y elimina cualquier punto repetido. Los mensajes que aparecen en el cuadro de lista de diálogo informan la clasificación o paso de verificación que se está llevando a cabo. Los mensajes de

errores también saldrán en el cuadro de lista, si existen.

Los siguientes mensajes salen en la ventana (**FIG 2.25**):

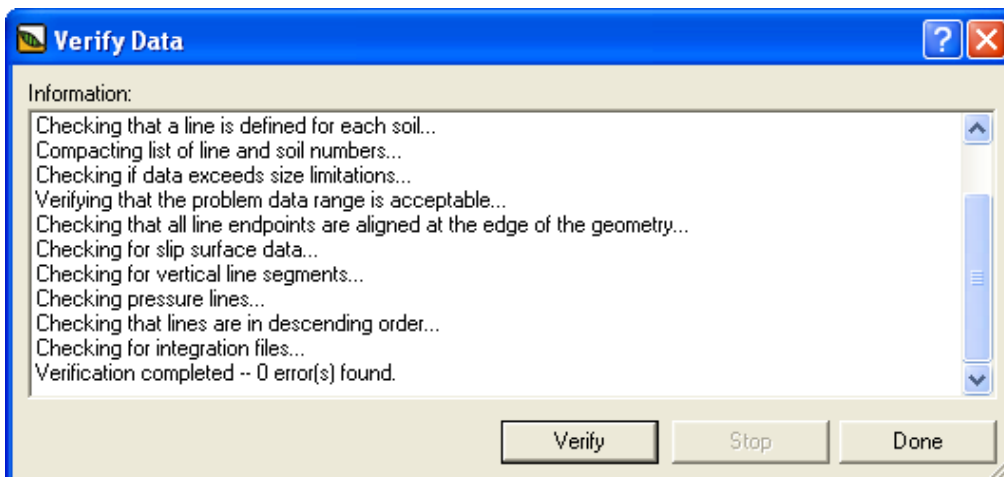


FIG 2.25 VENTANA DE LA OPCIÓN VERIFY CUANDO TERMINA LA VERIFICACIÓN

La definición del problema ahora está completa. Es recomendable guardar, en este punto, el problema.

2.12 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

La segunda parte de un análisis es usar la función de resolver del SLOPE/W para calcular los factores de seguridad.

 Para utilizar la función de resolver se debe presionar el

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

botón de **SOLVE** (FIG 2.26) en la barra de herramientas
o se escoge el menú **Tools** y luego la opción **Solve**,
donde aparecerá la siguiente ventana (FIG 2.27):



FIG 2.26 BOTÓN SOLVE

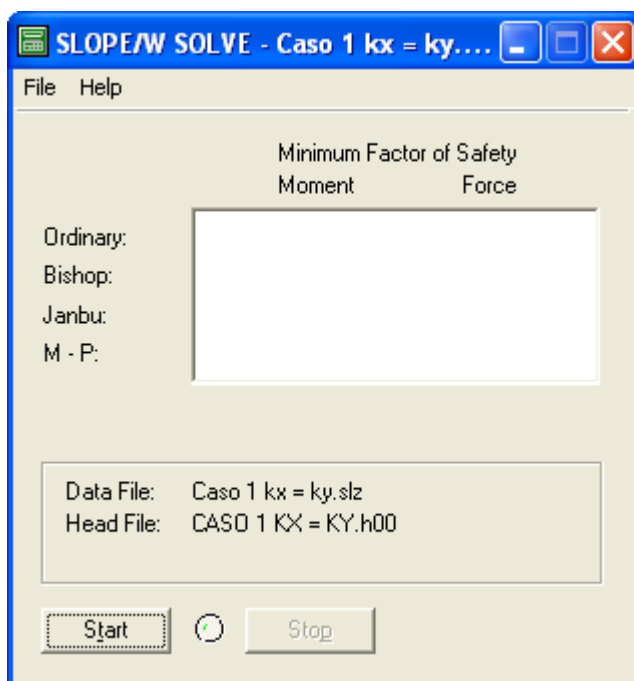


FIG 2.27 VENTANA DE LA OPCIÓN SOLVE

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

Para empezar a solucionar el problema, se presiona en el botón de **Start** (inicio) en la ventana de **SOLVE**. Un punto verde aparece entre el botón de inicio (**Start**) y de alto (**Stop**); el punto destella mientras los cálculos están en marcha. La información sobre los cálculos es exhibida en un cuadro de lista en la ventana de SOLVE, mientras el problema está siendo solucionado.

Durante los cálculos, se visualiza factores mínimos de seguridad según el método de análisis y el número de las superficies que se corrieron para el análisis (en este ejemplo, un total de 242 superficies de deslizamiento son analizadas) (**FIG 2.28**).

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

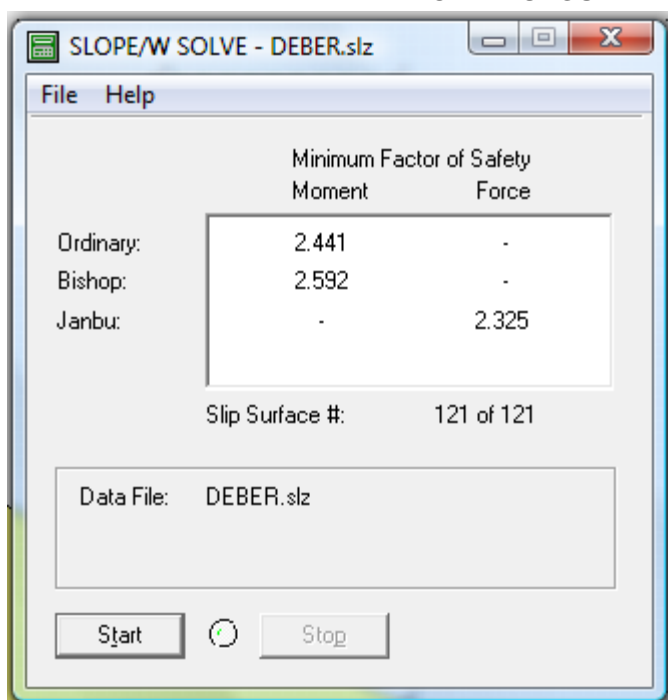


FIG 2.28 VENTANA DE LA OPCIÓN SOLVE, DESPUÉS DE EJECUTADO

✚ Para ver los resultados gráficamente es necesario acudir a la función de contorno (**CONTOUR**), a esta se accede presionando el botón **Contour** en la barra de herramientas (**2.29**):



FIG 2.29 BOTÓN CONTOUR

La ventana de contorno aparece. El contorno abre el archivo de datos de deber.slz automáticamente (**FIG 2.30**):

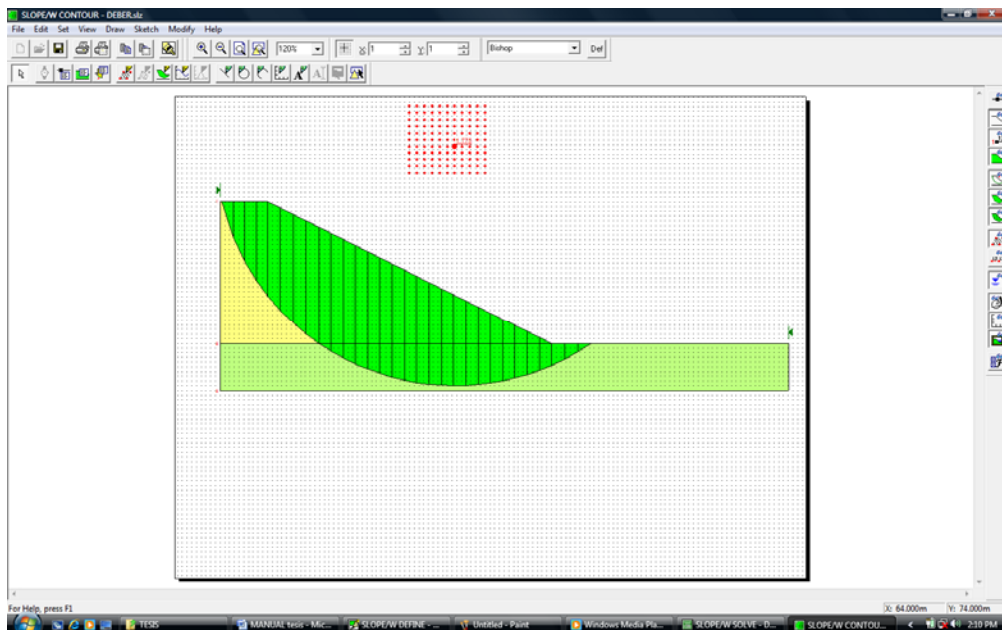


FIG 2.30 PANTALLA DE CONTORNOS QUE ILUSTRAR EL MÍNIMO FACTOR DE SEGURIDAD POR EL MÉTODO DE BISHOP.

La superficie de deslizamiento que aparece es la de menor factor de seguridad, para el método seleccionado, además aparece el valor del mismo, resaltado en un círculo rojo, un poco más grande que los demás y con el valor.

 Para ver otras superficies de deslizamiento seleccionadas:

1. Se elije **Draw Slip Surface**, en la barra de herramientas (FIG 2.31).



FIG 2.31 BOTÓN DRAW SLIP SURFACE DE LA VENTANA CONTOUR

Y aparece en pantalla la siguiente ventana (FIG 2.32):

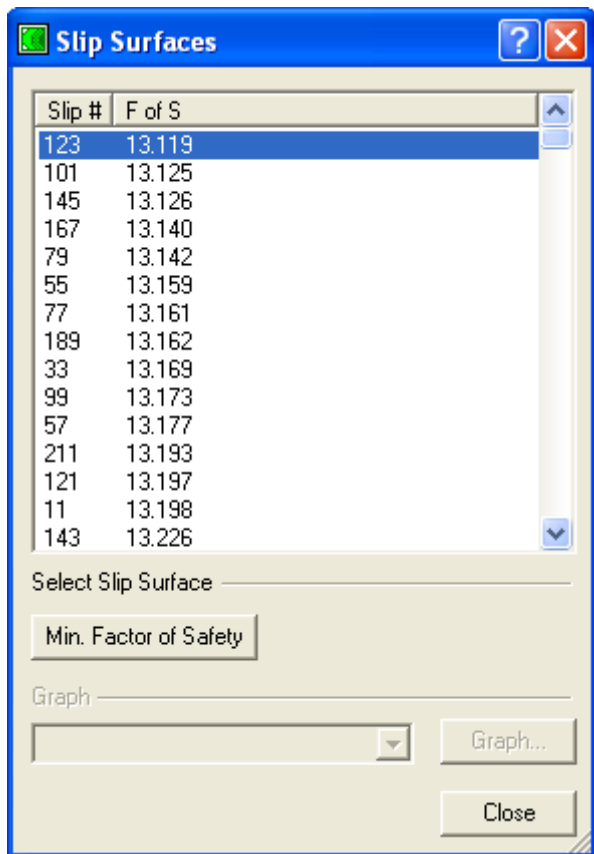


FIG 2.32 VENTANA DE LA OPCIÓN SLIP SURFACES EN LA VENTANA CONTOUR

2. El cursor cambiará de una flecha a un retículo, y la barra de estado indicará "Dibujar superficies de deslizamientos"; es el modo operativo en curso.
3. La ventana (**FIG 2.32**) da la información sobre la superficie de deslizamiento, el número de superficie de deslizamiento y los factores de seguridad, y en ella se pueden clasificar el # de superficie de deslizamiento y el factor de seguridad en órdenes ascendentes o descendentes haciendo click en **Slip #** (superficie #) o en **F of S** (factor de seguridad).
4. Si se da click, en alguno de los otros números de superficie de deslizamiento. La superficie de deslizamiento seleccionada y su factor de seguridad son exhibidos en la ventana de contorno.
5. Para exhibir otra superficie de deslizamiento, se cambia de lugar el cursor en la ventana de contorno cerca del centro de rotación de cuadrícula de la superficie de deslizamiento deseada y se hace click con el botón izquierdo del ratón.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

6. Para terminar de ver superficies de deslizamiento, se selecciona el botón de Cerrar (**Close**) en la parte inferior derecha de la ventana.

 Para cambiar de Método de Cálculo:

En (**DEFINE**), se seleccionaron los métodos a usar para el cálculo de los factores de seguridad. Mientras (**CONTOUR**) exhibe el factor de seguridad de Morgenstern–Price por defecto, para ver el factor de seguridad calculado por otros métodos se siguen los siguientes pasos:

1. Se selecciona el botón de desplegar menú en la barra de herramientas de métodos (**FIG 2.33**).

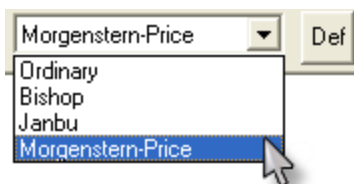


FIG 2.33 CAJÓN DE OPCIÓN DE MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA VENTANA CONTOUR

2. Se selecciona el método requerido y se da click con el botón izquierdo del ratón; entonces inmediatamente se cambiará la ventana (**CONTOUR**) al punto donde exista el mínimo factor de seguridad por el método seleccionado.

CAPÍTULO 3.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

CÁLCULO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS, UTILIZANDO EL PROGRAMA SLOPE/W

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TALUD ESTUDIADO

3.1.1 GEOMETRÍA

Para el siguiente análisis se utilizará el talud aguas abajo de una presa de tierra homogénea, por ser ésta la estructura de mayor interés en el campo de la ingeniería civil que involucra la Estabilidad de Taludes. Su complejidad, interés económico e importancia social ante un fallo por deslizamiento, puede provocar pérdidas de vidas humanas y afectar apreciablemente la economía de un país.

El fallo de estabilidad del talud aguas abajo de la presa se considera como una falla catastrófica, o sea, que produce el colapso total de la obra y una ola destructora en toda la región aguas abajo de la presa.

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

La presa de tierra homogénea asumida en este trabajo, se presenta a continuación (**FIG 3.1**):

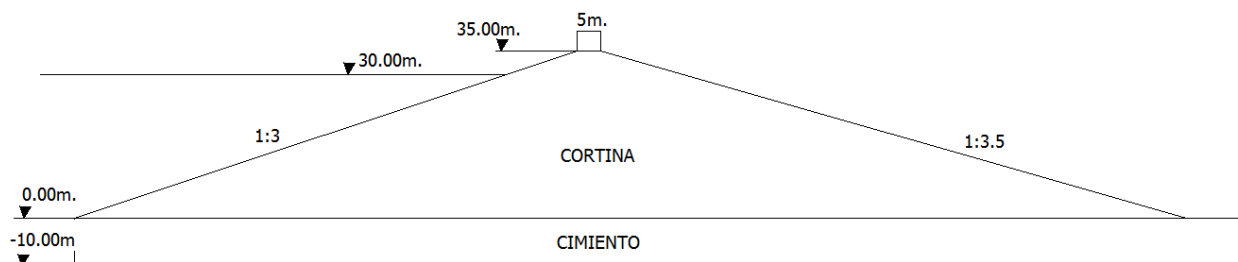


FIG 3.1 SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA ASUMIDA EN ESTE TRABAJO

La presa de tierra homogénea tendrá drenaje de pie de talud, con permeabilidad horizontal (K_x) igual a la permeabilidad vertical (K_y). Para el cálculo de la línea de corriente superior (L.C.S.), se utilizará el método de Schaffernak y Van Iterson, explicado en el capítulo 1 y que se muestra a continuación (**FIG. 3.2**):

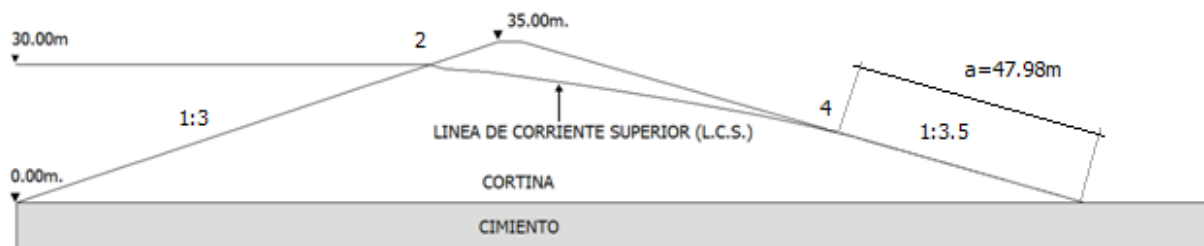


FIG 3.2 SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA ASUMIDA EN ESTE TRABAJO CON LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR (L.C.S.) DEFINIDA

3.1.2 PROPIEDADES DE LOS SUELOS

La presa de tierra homogénea, consta de 2 partes, la cortina y el cimientado. Para la cortina, compuesta de material arcilloso compactado con la energía del Proctor Estándar a fin de evitar el fallo por agrietamiento, son asumidos valores del peso específico húmedo y parámetros de resistencia a cortante lentos, ya que se hace un Análisis en Tensiones Efectivas. Los rangos de variación de cada parámetro son los siguientes:

 Peso específico húmedo (γ_f): 17 kN/m^3

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

✚ Peso específico saturado (γ_{SAT}): 19 kN/m^3

✚ Peso específico del agua: 9.807 kN/m^3

✚ Cohesión (c'): 40 kPa a 100 kPa

✚ Ángulo de fricción interna entre partículas (Φ'): 15° a 35°

Para el cimiento de la presa de tierra homogénea, considerando la misma situación que para la cortina, y utilizando parámetros de resistencia a cortante de los suelos existentes en nuestro medio, serán asumidos los siguientes rangos de variación de cada parámetro:

✚ Peso específico saturado (γ_{SAT}): 19 kN/m^3

✚ Peso específico del agua: 9.807 kN/m^3

✚ Cohesión (c'): 40 kPa a 100 kPa

✚ Ángulo de fricción interna entre partículas (Φ'): 10^0 a 35^0

3.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR (L.C.S.)

Para estudiar el Factor de Seguridad (F.S.) cuando no es constante la presión de poro (u), se asumirán tres posiciones de la línea de corriente superior:

✚ **Posición 1:** Considerando que la presa está en estado operación y asumiendo las simplificaciones propias de este estado: En esta condición, el Nivel de Aguas Normales se encuentra en la cota 30.00m. y la línea de corriente superior (L.C.S.) es la que se muestra en la **FIG. 3.2**

✚ **Posición 2:** Considerando que el nivel del embalse permanece deprimido por sequía, en la cota 20.00m. como se muestra en la **FIG. 3.3:**

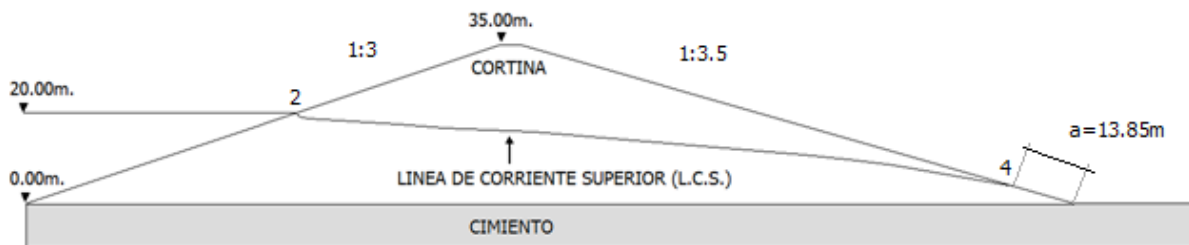


FIG 3.3 SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA ASUMIDA EN ESTE TRABAJO CON LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR (L.C.S.) EN LA POSICIÓN 2 (EMBALSE A 20.00m. POR SEQUÍA)

 **Posición 3:** Considerar la condición más desfavorable de la posición de la línea de corriente superior (L.C.S.), o sea, que la permeabilidad horizontal (K_x) sea mucho mayor que la permeabilidad vertical (K_y) y por tanto la línea de corriente superior (L.C.S.) sale en el talud aguas abajo con la misma cota del Nivel de Aguas Normales. Esta suposición es solamente teórica, pues el solo hecho de que exista flujo de agua, ya da como resultado una pérdida de carga. La **FIG. 3.4** muestra la posición 3:

Una vez realizado el cálculo de los factores de seguridad mínimos utilizando el programa SLOPE/W, considerando la superficie de falla en el límite del cimiento y el lecho de roca, por los métodos de análisis de estabilidad de Fellenius, Bishop, Janbu y Morgenstern y Price, se obtiene una tabla con la variación de los distintos factores de seguridad mínimos (**TABLA 3.1**):

CÁLCULO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS, POR LOS MÉTODOS DE FELLENIUS, BISHOP, JANBU Y MORGENSTERN-PRICE, UTILIZANDO EL SLOPE W					
VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO, CUANDO Φ' DEL CIMIENTO VARIA, MANTENIENDO CONSTANTE LA $C'=40$ kPa. y CONSIDERANDO UN TIPO DE SUELO PARA LA CORTINA ($C'=40$ kPa Y $\Phi=35^\circ$)					
CORTINA CON COHESION $C'=40$ kPa Y ÁNGULO DE FRICCIÓN $\Phi=35^\circ$	COHESION = 40 kPa				
	Φ	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	M Y P (M)
	10	1.012	1.277	1.200	1.254
	15	1.195	1.441	1.343	1.418
	20	1.354	1.608	1.489	1.580
	25	1.511	1.783	1.641	1.768
	30	1.676	1.966	1.799	1.959
	35	1.856	2.128	1.972	2.133

TABLA 3.1 VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO, CON LOS DISTINTOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, PARA CONDICIONES DE LA CORTINA Y CIMIENTO DEFINIDAS

Los resultados de la **Tabla 3.1** se muestran en la (**FIG. 3.6**):

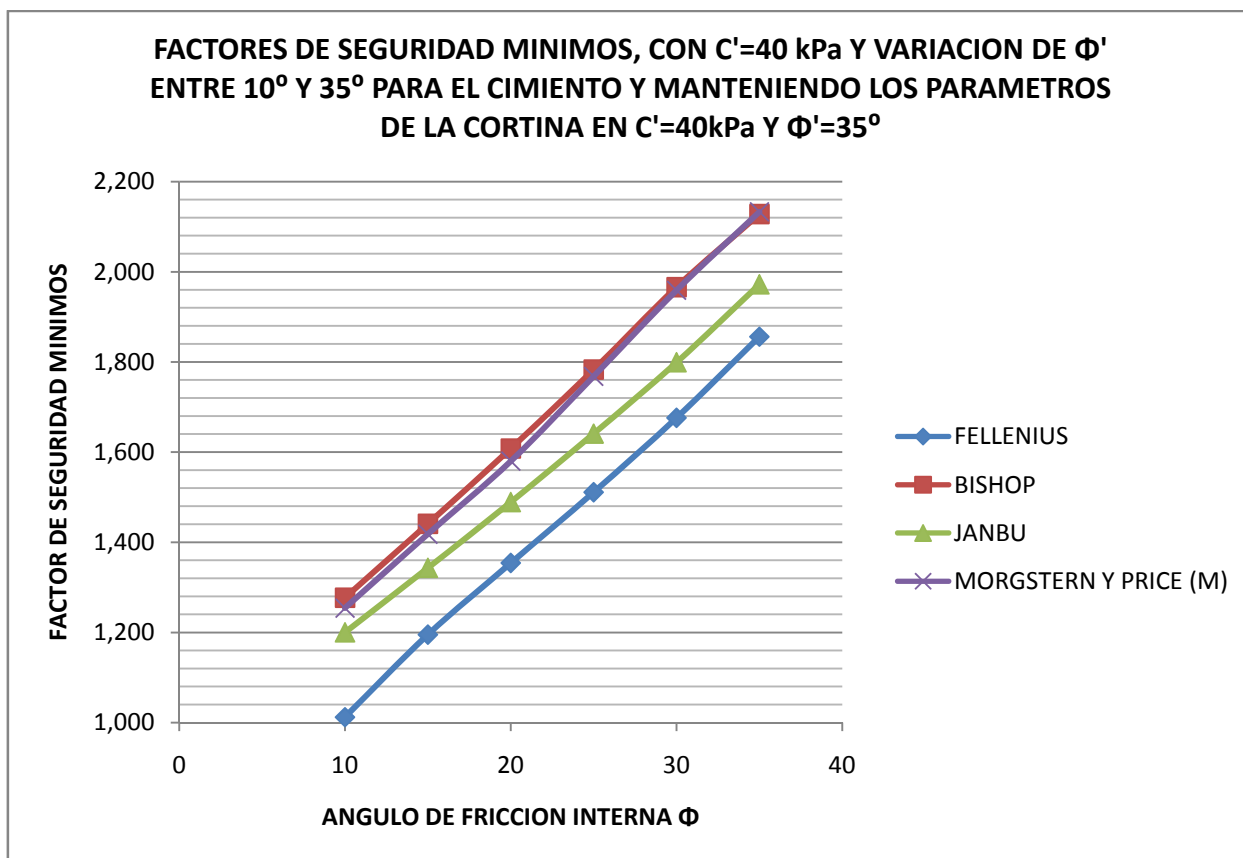


FIGURA 3.6 VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO, CON LOS DISTINTOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, PARA CONDICIONES DE LA CORTINA Y CIMIENTO DEFINIDAS

Conclusión: De la TABLA 3.1 y FIG. 3.6 se observa que los factores de seguridad mínimos, con independencia de los

parámetros de resistencia de la cortina y el cimiento, utilizando el método de análisis de estabilidad de Fellenius son los menores (más conservadores), mientras que los de Bishop y Morgenstern-Price, son los mayores. Los valores dados por el método de análisis de estabilidad de Janbu, resultan intermedios.

La conclusión anterior se ratifica con los resultados mostrados en el **Anexo 1**, donde se hace el cálculo de los factores de seguridad mínimos por los diferentes métodos de análisis de estabilidad, variando los parámetros de resistencia c' y ϕ'

3.3 VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO OBTENIDO POR EL MÉTODO DE FELLENIOUS, MANTENIENDO CONSTANTE LA PRESIÓN DE PORO (u)

Debido a que los resultados obtenidos en el epígrafe anterior, demuestran que los factores de seguridad (F.S.) mínimos crecen a medida que aumenta la cohesión (c') y/o el ángulo de fricción interna (ϕ'), se dedicará el estudio, únicamente al

método de análisis de estabilidad de Fellenius por ser el menor de todos.

3.3.1 VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA A CORTANTE C' Y Φ' DEL CIMIENTO, MANTENIENDO C' Y Φ' CONSTANTES EN LA CORTINA.

Para este subepígrafe, se realiza la variación de los parámetros de resistencia a cortante del cimiento entre los siguientes rangos:

 **Cohesión (C'):** Entre 40kPa y 100kPa

 **Ángulo de fricción interna (Φ'):** Entre 10^0 y 35^0

CASO A: Para la cortina: Cohesión $c'=40\text{kPa}$. y ángulo de fricción interna $\Phi'=35^0$

Los factores de seguridad mínimos obtenidos por el método de Fellenius, para las condiciones anteriormente fijadas, se muestran en las **TABLA 3.2** y **TABLA 3.3**:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR EL MÉTODO DE FELLENIOUS							
	COHESION (C') (kPa)						
Φ'	40	50	60	70	80	90	100
10	1.012	1.113	1.216	1.314	1.403	1.492	1.581
15	1.195	1.291	1.377	1.466	1.556	1.643	1.730
20	1.354	1.443	1.532	1.621	1.707	1.795	1.884
25	1.511	1.600	1.690	1.799	1.867	1.957	2.038
30	1.676	1.767	1.857	1.947	2.031	2.038	2.038
35	1.856	1.948	2.035	2.039	2.035	2.038	2.038

TABLA 3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO A; MANTENIENDO CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR EL MÉTODO DE FELLENIOUS
--

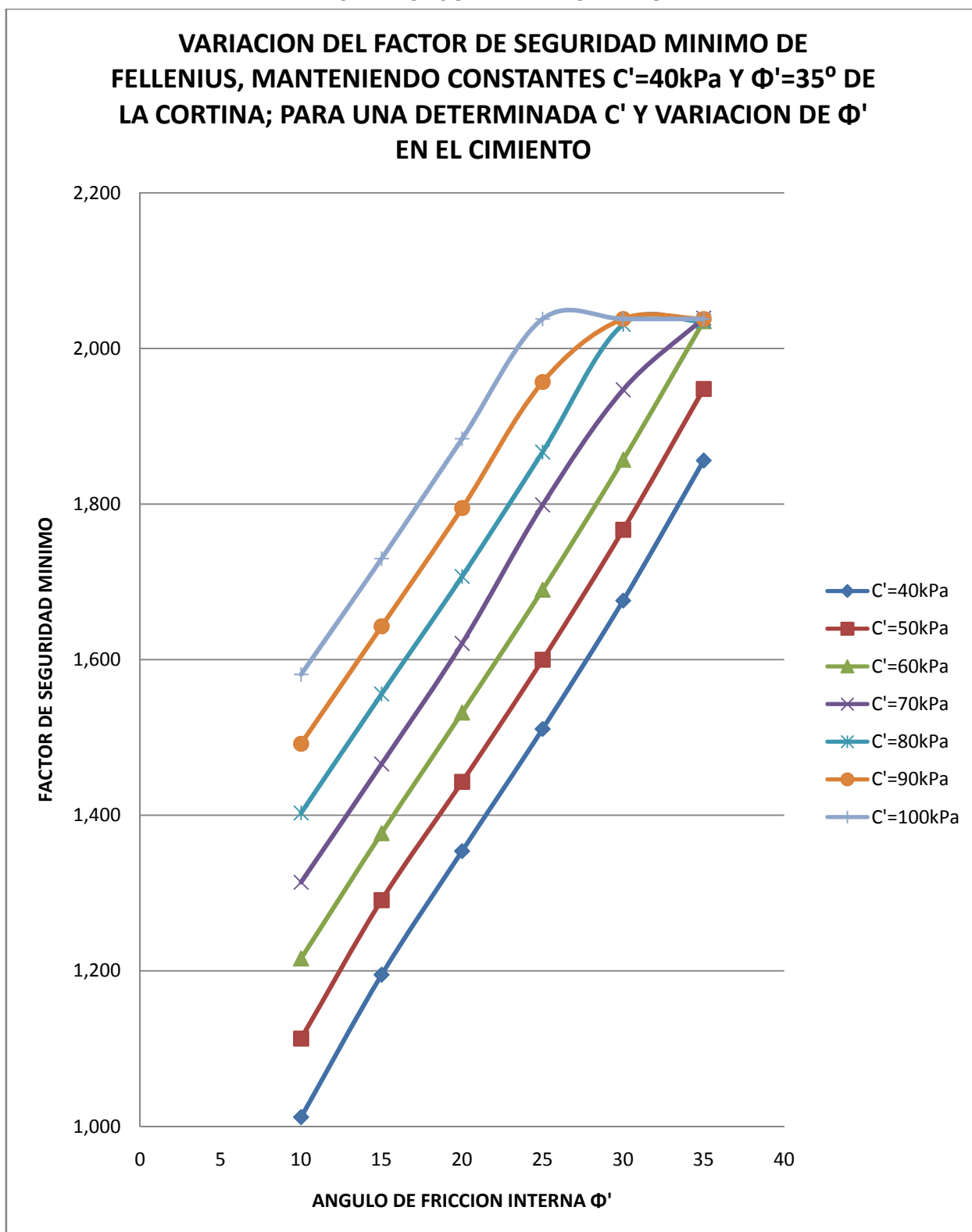
INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

C' EN kPa	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA Φ EN $^{\circ}$					
	10	15	20	25	30	35
40	1.012	1.195	1.354	1.511	1.676	1.856
50	1.113	1.291	1.443	1.600	1.767	1.948
60	1.216	1.377	1.532	1.690	1.857	2.035
70	1.314	1.466	1.621	1.779	1.947	2.039
80	1.403	1.556	1.707	1.867	2.031	2.035
90	1.492	1.643	1.795	1.957	2.038	2.038
100	1.581	1.730	1.884	2.038	2.038	2.038

3.3 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO A; MANTENIENDO CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'

Los gráficos correspondientes a las **TABLA 3.2** y **TABLA 3.3** se muestran en las **FIG 3.7** y **FIG 3.8**:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD



AUTOR: MARIO BERNARDO VINTIMILLA ZAVALA

FIGURA 3.7 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO A; MANTENIENDO CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'

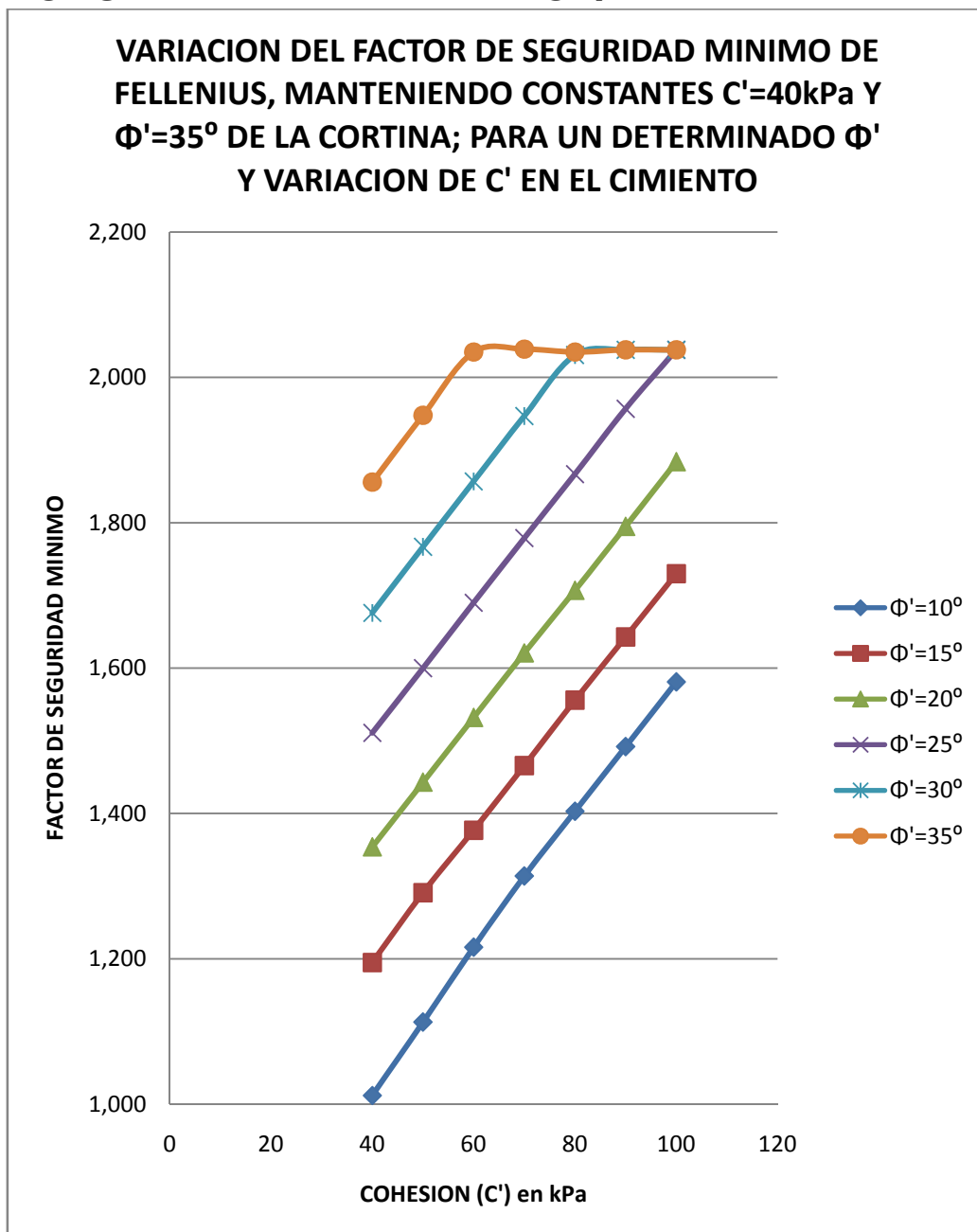


FIGURA 3.8 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO A; MANTENIENDO CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'

CASO B: Para la cortina: Cohesión $C'=100$ kPa. y ángulo de fricción interna $\Phi'=10^\circ$

Los factores de seguridad mínimos obtenidos por el método de Fellenius, para las condiciones anteriormente fijadas, se muestran en las **TABLA 3.4** y **TABLA 3.5**:

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR EL MÉTODO DE FELLENIOUS							
	COHESION (C') (kPa)						
Φ'	40	50	60	70	80	90	100
10	1.256	1.349	1.440	1.531	1.621	1.711	1.800
15	1.392	1.483	1.574	1.666	1.756	1.846	1.936
20	1.527	1.619	1.711	1.803	1.894	1.986	2.077
25	1.673	1.765	1.856	1.948	2.040	2.131	2.223
30	1.831	1.922	2.014	2.106	2.198	2.289	2.345
35	2.005	2.097	2.189	2.280	2.345	2.345	2.345

TABLA 3.4 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO B; MANTENIENDO CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR EL METODO DE FELLENIOUS						
C' EN kPa	ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ EN $^{\circ}$					
	10	15	20	25	30	35
40	1.256	1.392	1.527	1.673	1.831	2.005
50	1.349	1.483	1.619	1.765	1.922	2.097
60	1.44	1.574	1.711	1.856	2.014	2.189
70	1.531	1.666	1.803	1.948	2.106	2.28
80	1.621	1.756	1.894	2.04	2.198	2.345
90	1.711	1.846	1.986	2.131	2.289	2.345
100	1.8	1.936	2.077	2.223	2.345	2.345

TABLA 3.5 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO B; MANTENIENDO CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'

Los gráficos correspondientes a las **TABLA 3.4** y **TABLA 3.5**
se muestran en las **FIG 3.9** y **FIG 3.10**:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

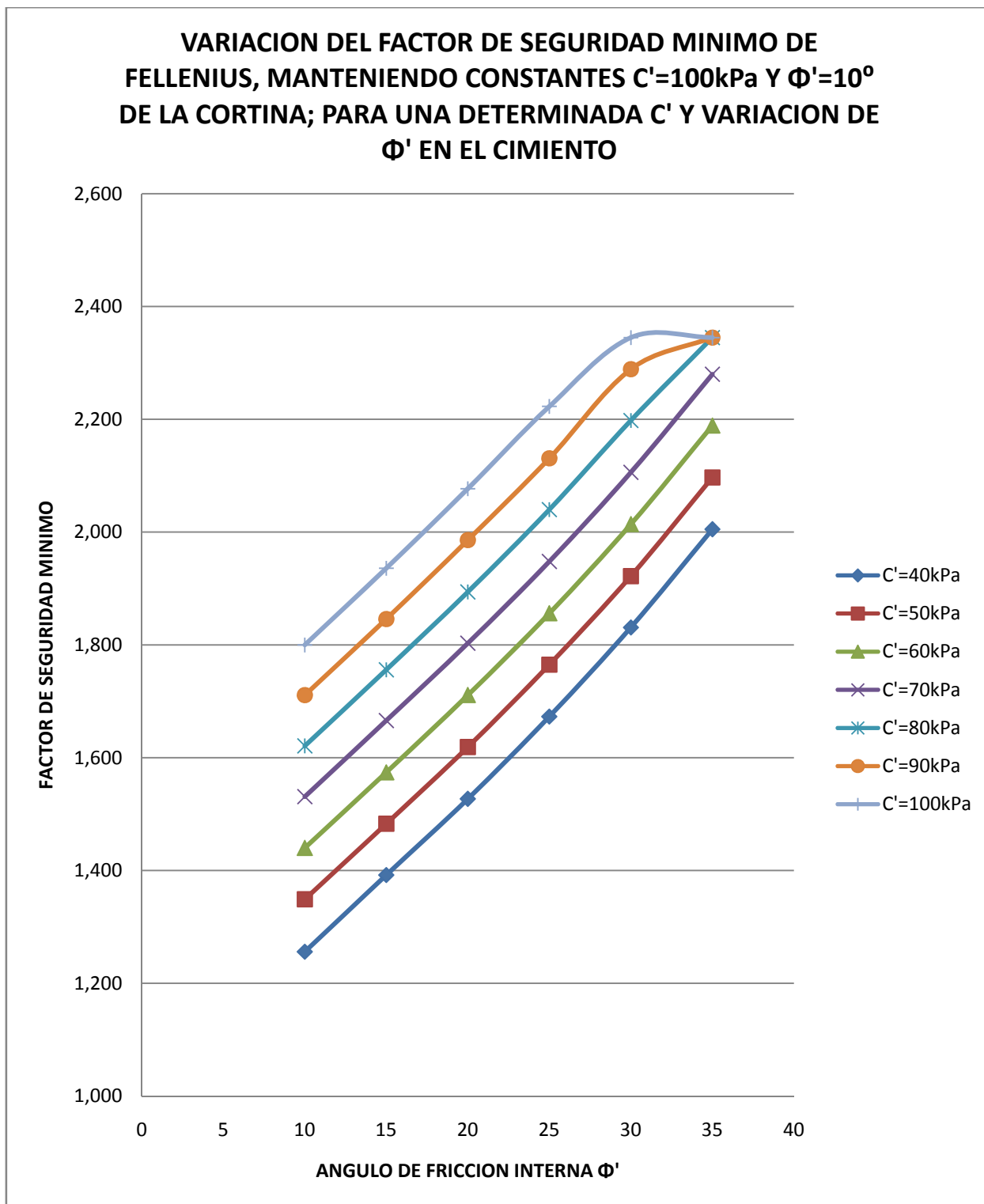
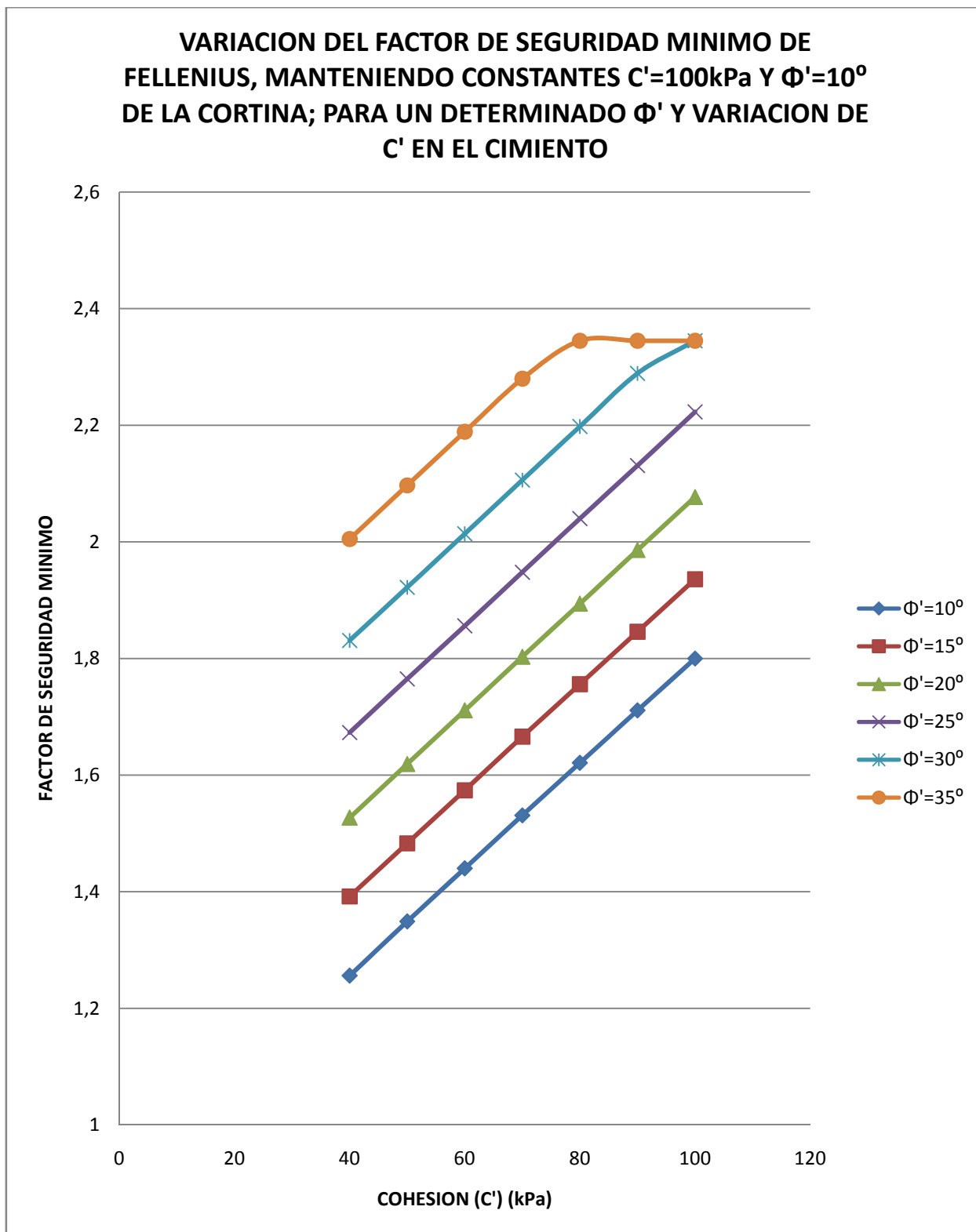


FIGURA 3.9 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO B; MANTENIENDO CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD



AUTOR: MARIO BERNARDO VINTIMILLA ZAVALA

FIGURA 3.10 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.1, CASO B; MANTENIENDO CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'

3.3.2 VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA A CORTANTE c' Y Φ' DE LA CORTINA, MANTENIENDO C' Y Φ' CONSTANTES EN EL CIMIENTO.

Para este subepígrafe, se realiza la variación de los parámetros de resistencia a cortante de la cortina entre los siguientes rangos:

✚ **Cohesión (C'):** Entre 40 kPa y 100kPa

✚ **Ángulo de fricción interna (Φ'):** Entre 15° y 35°

CASO C: Para el cimiento: Cohesión $C'=40$ kPa. y ángulo de fricción interna $\Phi'=35^{\circ}$

Los factores de seguridad mínimos obtenidos por el método de Fellenius, para las condiciones anteriormente fijadas, se muestran en las **TABLA 3.6** y **TABLA 3.7**:

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR EL METODO DE FELLENIOUS							
	COHESION (C') (kPa)						
Φ'	40	50	60	70	80	90	100
15	1.243	1.426	1.614	1.797	1.909	1.954	2.006
20	1.422	1.605	1.796	1.886	1.950	1.996	2.047
25	1.609	1.794	1.877	1.933	1.992	2.042	2.091
30	1.811	1.868	1.927	1.979	2.037	2.088	2.139
35	1.857	1.914	1.973	2.028	2.086	2.138	2.191

TABLA 3.6 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.2, CASO C; MANTENIENDO CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

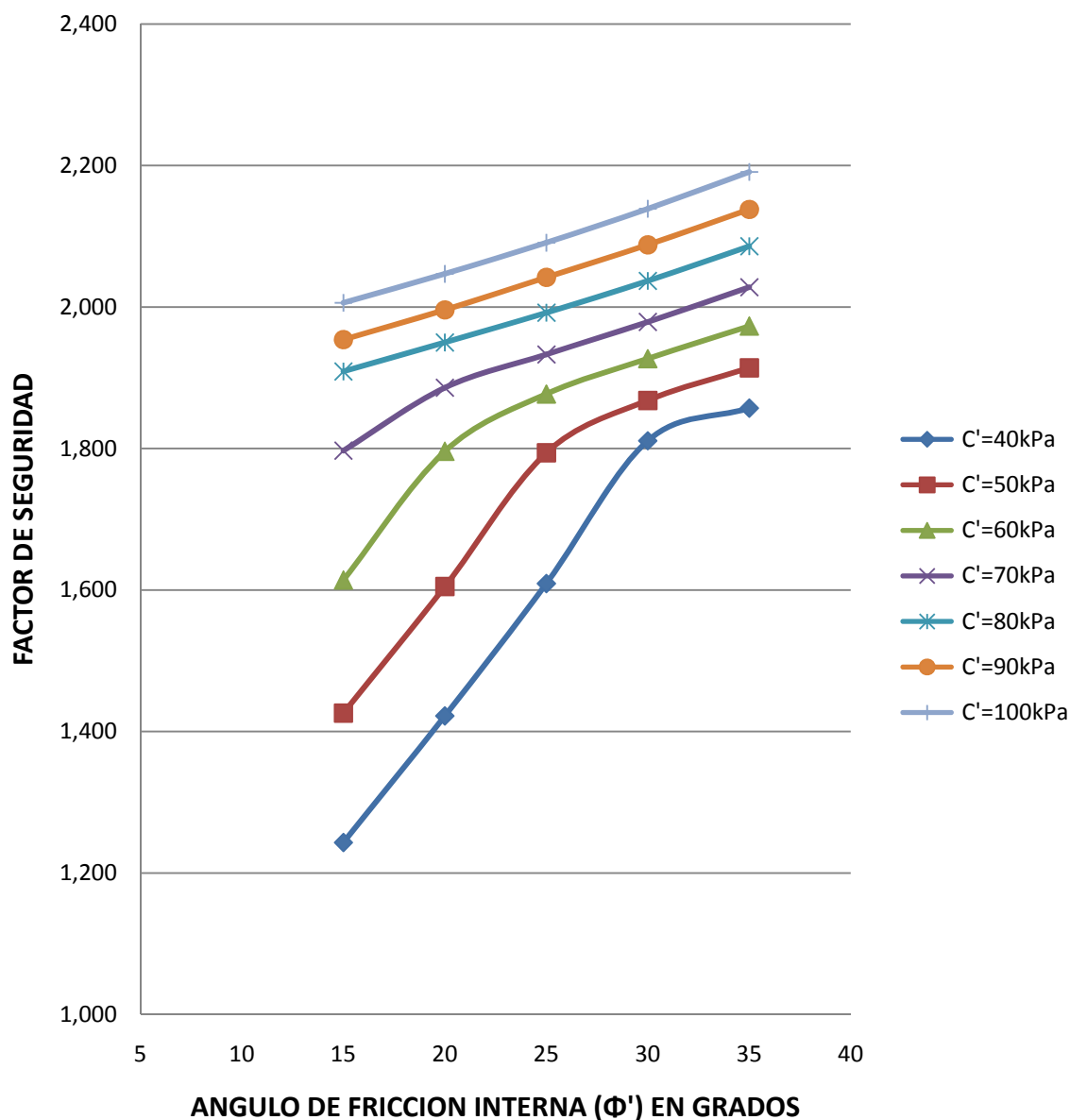
FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR FELLENIOUS					
C' EN kPa	ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ EN °				
	15	20	25	30	35
40	1.243	1.422	1.609	1.811	1.857
50	1.426	1.605	1.794	1.863	1.914
60	1.614	1.796	1.877	1.927	1.973
70	1.797	1.886	1.933	1.979	2.028
80	1.909	1.95	1.992	2.037	2.086
90	1.954	1.996	2.042	2.088	2.138
100	2.006	2.047	2.091	2.139	2.191

TABLA 3.7 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPIGRAFE 3.3.2, CASO C; MANTENIENDO CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'

Los gráficos correspondientes a las **TABLA 3.6** y **TABLA 3.7** se muestran en las **FIG 3.11** y **FIG 3.12**:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

VARIACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO DE FELLENIUS, MANTENIENDO CONSTANTES $C'=40\text{kPa}$ Y $\Phi'=35^\circ$ DEL CIMIENTO; PARA UNA DETERMINADA C' Y VARIACION DE Φ' EN LA CORTINA



**FIGURA 3.11 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE
FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL
SUBEPÍGRAFE 3.3.2, CASO C; MANTENIENDO
CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'**

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

**VARIACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO DE
FELLENUS, MANTENIENDO CONSTANTES $C'=40\text{kPa}$ Y
 $\Phi'=35^\circ$ DEL CIMIENTO; PARA UN DETERMINADO Φ' Y
VARIACION DE C' EN LA CORTINA**

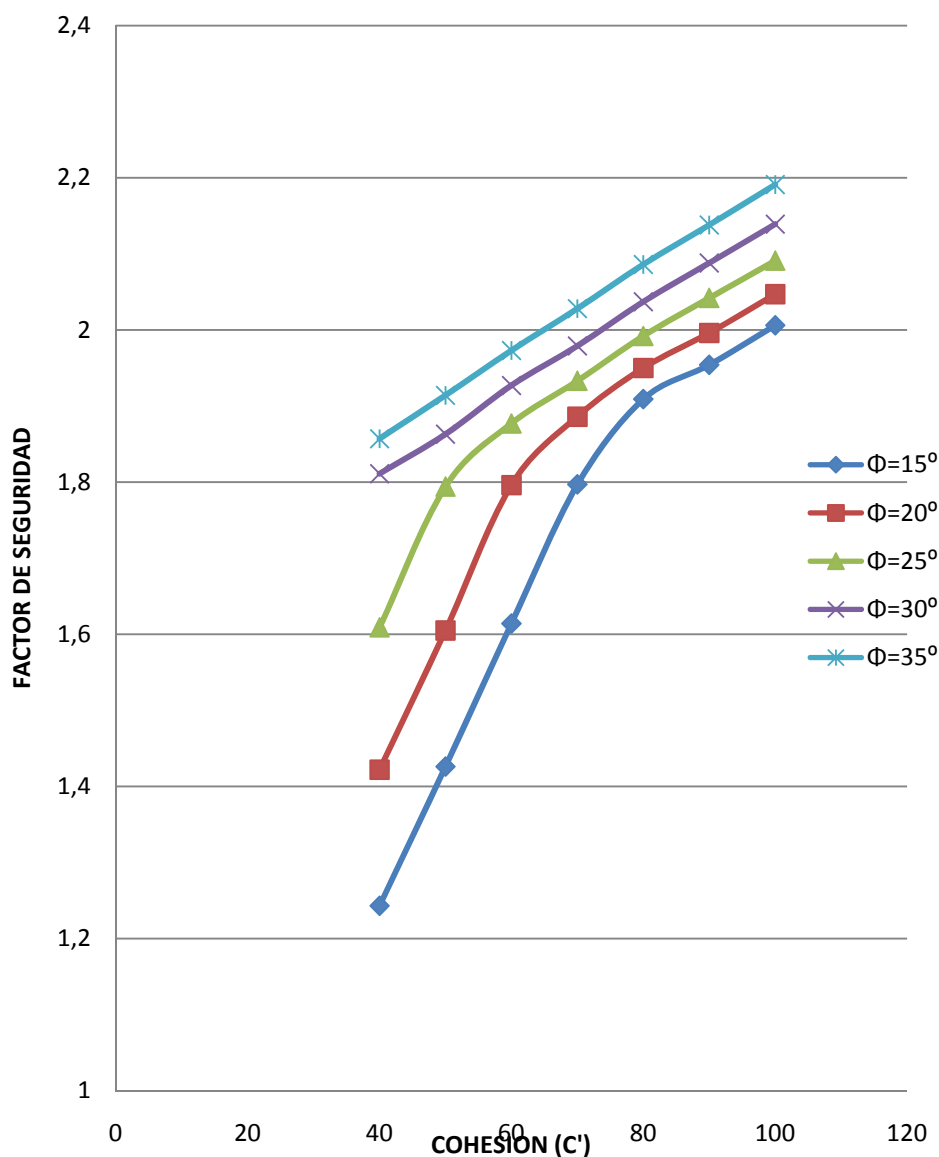


FIGURA 3.12 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.2, CASO C; MANTENIENDO CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'

CASO D: Para el cemento: Cohesión $C'=100$ kPa. y ángulo de fricción interna $\Phi'=15^\circ$

Los resultados obtenidos son (TABLA 3.3.2.3) y (TABLA 3.3.2.4):

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR FELLENIOUS							
	COHESION (C') EN KILOPASCALES (kPa)						
Φ'	40	50	60	70	80	90	100
15	1.243	1.428	1.581	1.636	1.692	1.747	1.801
20	1.422	1.555	1.615	1.672	1.728	1.784	1.839
25	1.526	1.588	1.648	1.708	1.765	1.822	1.878
30	1.556	1.618	1.680	1.742	1.802	1.862	1.919
35	1.583	1.649	1.712	1.775	1.838	1.900	1.960

TABLA 3.8 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.2, CASO D; MANTENIENDO CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'

FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO OBTENIDO POR FELLENIOUS					
C' EN kPa	ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ EN °				
	15	20	25	30	35
40	1.243	1.422	1.526	1.556	1.583
50	1.428	1.555	1.588	1.618	1.649
60	1.581	1.615	1.648	1.68	1.712
70	1.636	1.672	1.708	1.742	1.775
80	1.692	1.728	1.765	1.802	1.838
90	1.747	1.784	1.822	1.862	1.9
100	1.801	1.839	1.878	1.919	1.96

**TABLA 3.9 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE
FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL
SUBEPÍGRAFE 3.3.2, CASO D; MANTENIENDO
CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'**

Los gráficos correspondientes a las **TABLA 3.8** y **TABLA 3.9**
se muestran en las **FIG 3.13** y **FIG 3.14**:

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

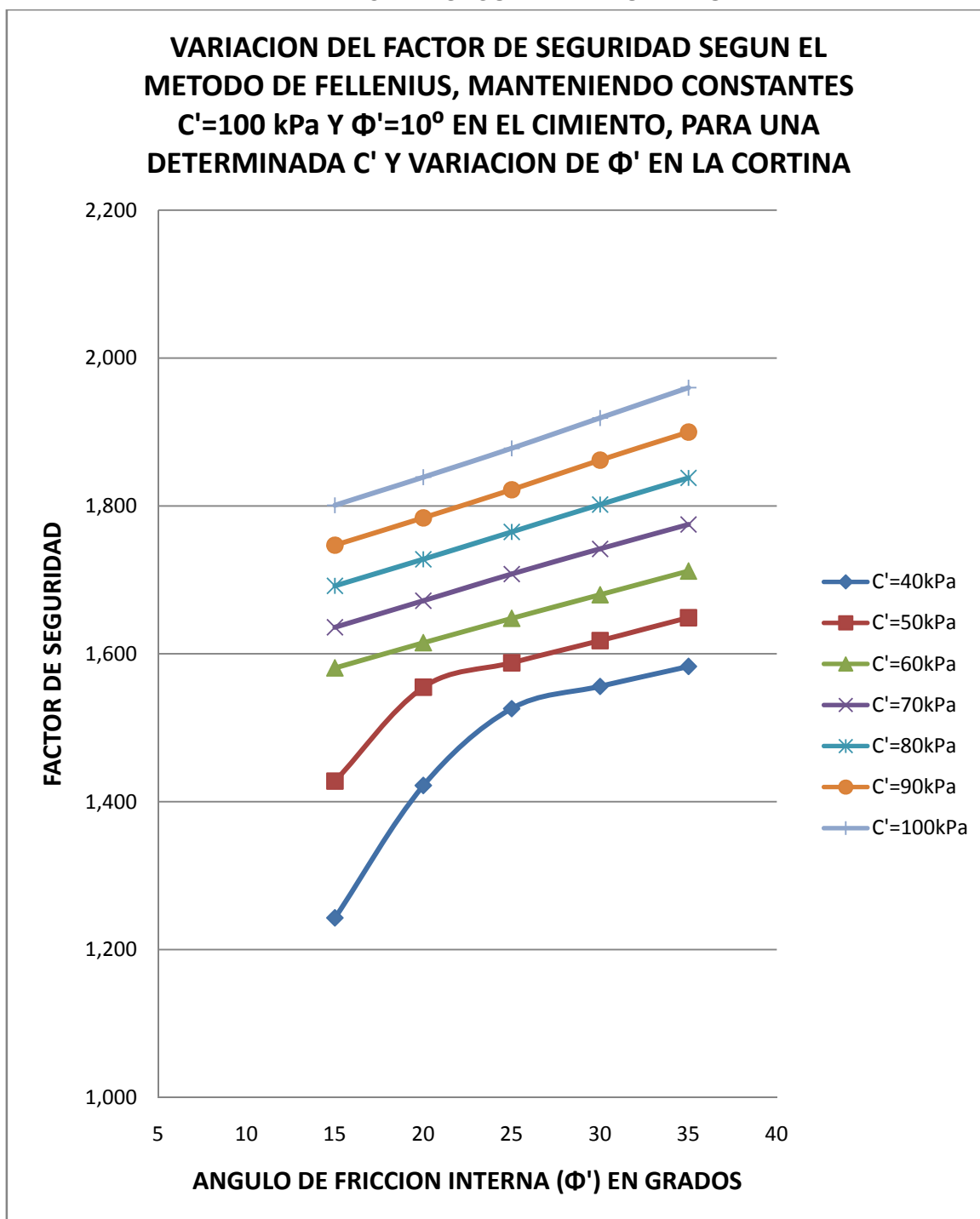


FIGURA 3.13 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.2, CASO D; MANTENIENDO CONSTANTE C' Y VARIANDO Φ'

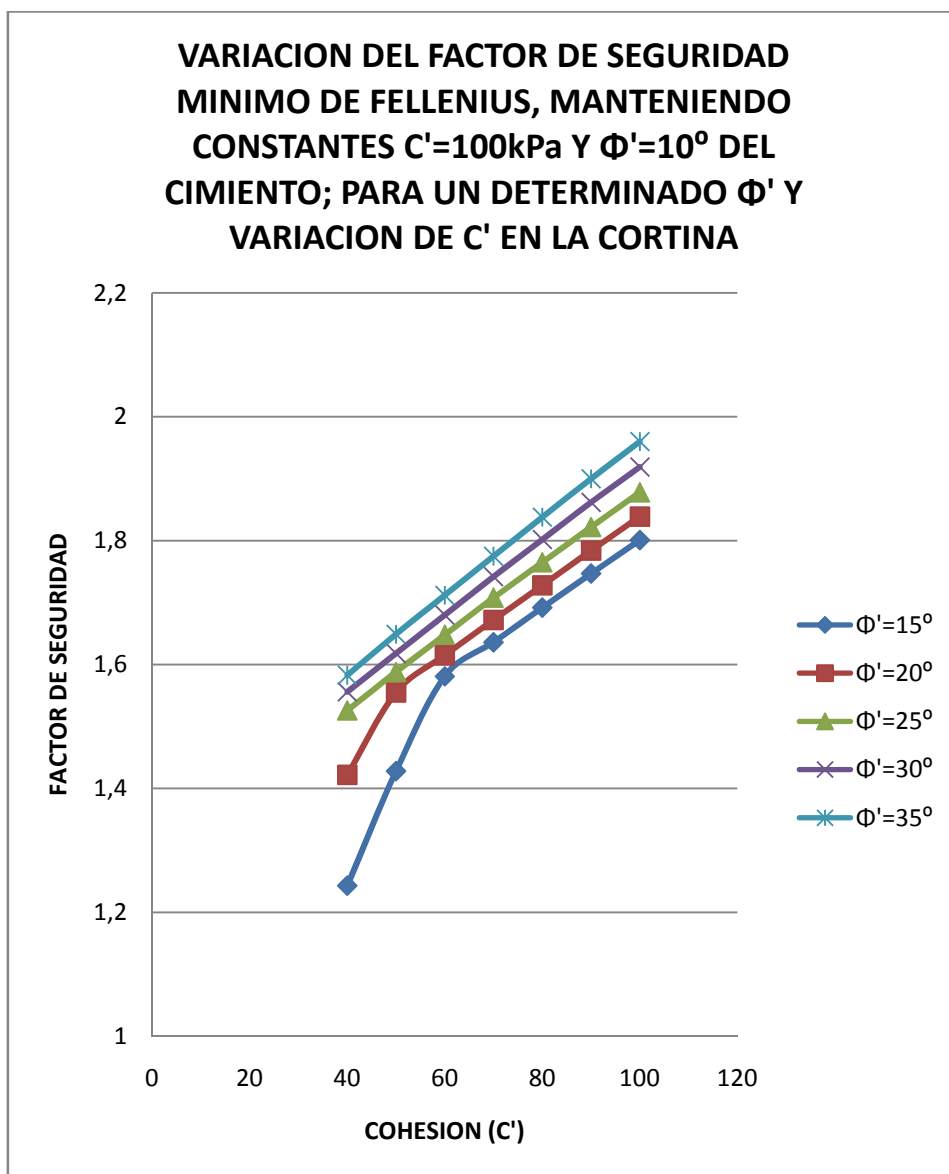


FIGURA 3.14 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIOUS PARA LAS CONDICIONES DEL SUBEPÍGRAFE 3.3.2, CASO D; MANTENIENDO CONSTANTE Φ' Y VARIANDO C'

3.4 VARIACIÓN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD (FS) MÍNIMOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES, VARIANDO LA PRESIÓN DE PORO (u)

A continuación, se realiza el análisis de la variación de los Factores de Seguridad (F.S.) mínimos, con variación de la presión de poro (u), como se describió en el subepígrafe 3.1.3 para las tres posiciones descritas en él, variando la posición de la línea de corriente superior (L.C.S.) como se puede observar en las figuras: **(FIG 3.2), (FIG 3.3) y (FIG 3.4)**

Los resultados del factor de seguridad mínimos, utilizando el programa SLOPE/W, por los métodos de análisis de estabilidad de Fellenius, Bishop, Janbu y Morgenstern-Price son los siguientes **(TABLA 3.10)**:

PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

CALCULO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD MINIMOS, POR LOS METODOS DE: FELLENIUS, BISHOP, JANBU, MORGESTERN Y PRICE, UTILIZANDO EL PROGRAMA SLOPE/W												
PARAMETROS Φ' Y C' DEL CIMIENTO CONSTANTES, C' DE LA CORTINA=40kPa Y VARIACION DE Φ' DE LA CORTINA							PARAMETROS Φ' Y C' DE LA CORTINA CONSTANTES, C' DE CIMIENTO=40kPa Y VARIACION DE Φ' DE LA CORTINA					
CIMIENTO CON COHESION C= 40 kPa Y ANGULO DE FRICCION $\phi=35\text{DEG}$		COHESION = 40 kPa				LINEA DE CORRIENTE SUPERIOR A 20.00 m. (POSICION 2)	CORTINA CON COHESION C'= 40 kPa Y ANGULO DE FRICCION $\phi'=35\text{DEG}$		COHESION = 40 kPa			
	Φ	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	M Y P (M)			Φ	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	M Y P (M)
	15	1.349	1.408	1.333	1.407			10	1.243	1.393	1.303	1.373
	20	1.601	1.683	1.589	1.682			15	1.399	1.588	1.465	1.565
	25	1.862	1.965	1.853	1.964			20	1.554	1.786	1.626	1.763
	30	2.021	2.210	2.044	2.227			25	1.719	1.991	1.792	1.973
	35	2.096	2.382	2.159	2.383			30	1.898	2.191	1.968	2.180
						35	2.096	2.376	2.159	2.377		
CIMIENTO CON COHESION C= 40 kPa Y ANGULO DE FRICCION $\phi=35\text{DEG}$		COHESION = 40 kPa				LINEA DE CORRIENTE SUPERIOR A 30.00 m. (POSICION 1)	CORTINA CON COHESION C'= 40 kPa Y ANGULO DE FRICCION $\phi'=35\text{DEG}$		COHESION = 40 kPa			
	Φ	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	M Y P (M)			Φ	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	M Y P (M)
	15	1.243	1.339	1.250	1.339			10	1.012	1.277	1.200	1.254
	20	1.422	1.554	1.446	1.555			15	1.195	1.441	1.343	1.418
	25	1.609	1.779	1.652	1.781			20	1.354	1.608	1.489	1.580
	30	1.811	2.002	1.883	2.003			25	1.511	1.783	1.641	1.768
	35	1.857	2.125	1.973	2.131			30	1.676	1.966	1.799	1.959
						35	1.856	2.128	1.972	2.133		
CIMIENTO CON COHESION C= 40 kPa Y ANGULO DE FRICCION $\phi=35\text{DEG}$		COHESION = 40 kPa				LINEA DE CORRIENTE SUPERIOR A 30.00 m. (POSICION 3)	CORTINA CON COHESION C'= 40 kPa Y ANGULO DE FRICCION $\phi'=35\text{DEG}$		COHESION = 40 kPa			
	Φ	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	M Y P (M)			Φ	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	M Y P (M)
	15	1.147	1.266	1.166	1.266			10	0.784	1.162	1.074	1.132
	20	1.286	1.438	1.332	1.438			15	0.945	1.323	1.214	1.295
	25	1.432	1.612	1.508	1.614			20	1.114	1.488	1.355	1.464
	30	1.587	1.797	1.697	1.799			25	1.294	1.645	1.502	1.629
	35	1.668	1.951	1.817	1.957			30	1.490	1.808	1.654	1.800
						35	1.668	1.950	1.817	1.955		

TABLA 3.10 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS OBTENIDOS MEDIANTE LOS DISTINTOS TIPOS DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, PARA CONDICIONES DE LA CORTINA Y CIMIENTO DEFINIDAS, ADEMÁS DE LA POSICIÓN DE LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR

Los gráficos correspondientes a la **TABLA 3.10** se muestran en la **FIG 3.15**:

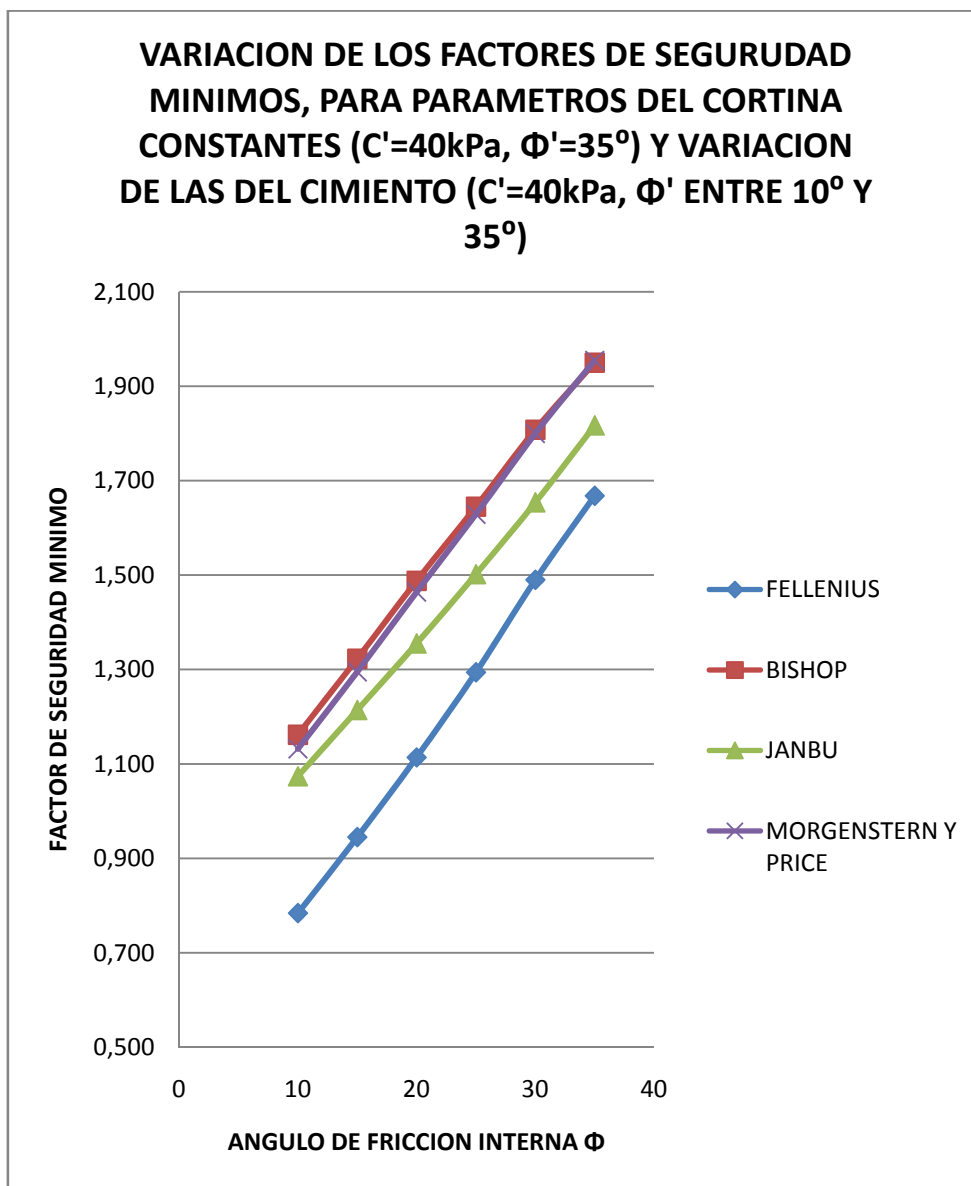


FIGURA 3.15 VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD

MÍNIMO, CON LOS DISTINTOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, PARA CONDICIONES DE LA CORTINA Y CIMIENTO DEFINIDAS AL IGUAL QUE LA POSICIÓN DE LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR (LCS)

3.5 VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO OBTENIDO POR EL MÉTODO DE FELLENIOUS, SEGÚN LA VARIACIÓN DE LA PRESIÓN DE PORO (u)

Como se ha descrito en el subepígrafe **3.1.3**, la variación de la presión de poro (u), se la obtiene según la posición de la línea de corriente superior (L.C.S.). Los resultados obtenidos fueron mostrados en la **TABLA 3.10** y sus gráficos correspondientes, se presentan a continuación (**FIG 3.16 Y FIG 3.17**):

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

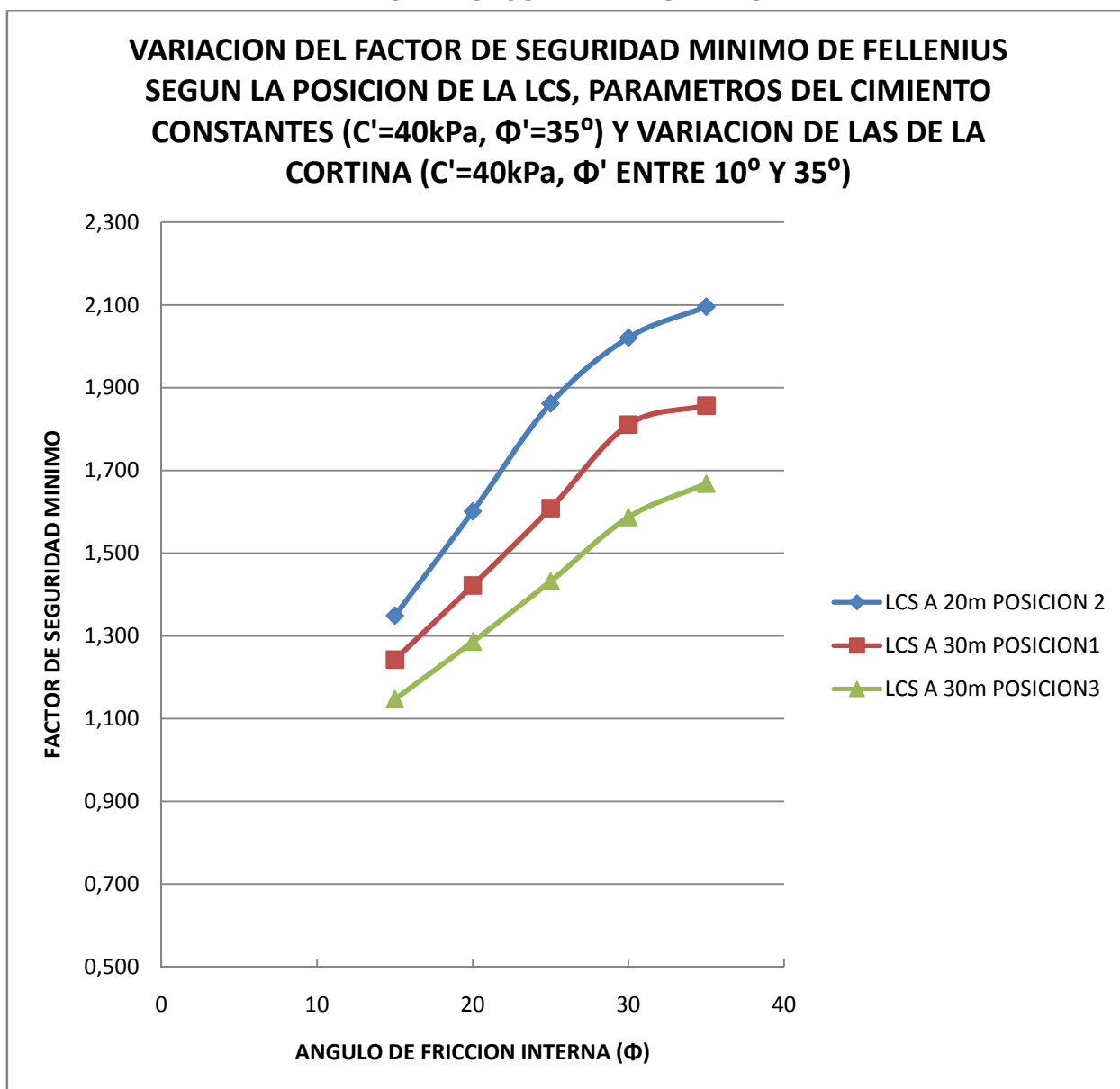
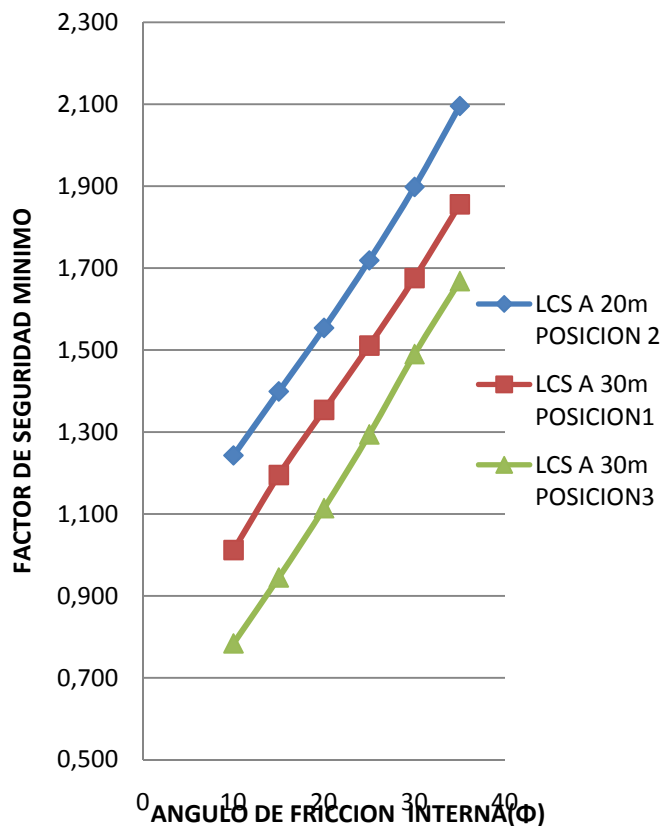


FIG 3.16 VARIACIÓN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS DE FELLENIUS PARA LAS DISTINTAS POSICIONES DE LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA"
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

**VARIACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD
MINIMO DE FELLENIUS SEGUN LA POSICION
DE LA LCS, PARAMETROS DE LA CORTINA
CONSTANTES ($C'=40\text{kPa}$, $\Phi'=35^\circ$) Y
VARIACION DE LAS DEL CIMIENTO
($C'=40\text{kPa}$, Φ' ENTRE 10° Y 35°)**



**FIG 3.17 VARIACIÓN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD
MÍNIMOS DE FELLENIUS PARA LAS DISTINTAS
POSICIONES DE LA LÍNEA DE CORRIENTE SUPERIOR**
CONCLUSIONES

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

- ✚ En la medida que aumenta la cohesión (c') del cimient o de la cortina de la presa de tierra homogénea, crece el valor del Factor de Seguridad del talud para todos los métodos de análisis de estabilidad. Ver figuras: **3.6** a **3.17**.
- ✚ En la medida que aumenta el ángulo de fricción interna (Φ') del cimient o de la cortina de la presa de tierra homogénea, crece el valor del Factor de Seguridad del talud para todos los métodos de análisis de estabilidad. Ver figuras: **3.6** a **3.17**.
- ✚ De los métodos de análisis de estabilidad estudiados, el método de Fellenius es el que da menores valores del Factor de Seguridad del talud (FS) y los métodos de Bishop y Morgenstern-Price dan los mayores valores. En la generalidad de los casos el método de Janbu da valores intermedios, aunque en la literatura de la Mecánica de Suelos, para el caso de superficies de falla

supuestas circulares, se dice que el método de Janbu coincide con el de Bishop. Ver figuras: **3.6** y **3.15**.

✚ En la medida en que aumenta la presión de poro (u), disminuye el factor de seguridad mínimo del talud, tal como se muestra en las **FIG 3.16** y **FIG 3.17**. Para el caso de parámetros de resistencia a cortante de la cortina constantes, en la medida que el ángulo de fricción interna del cimientto (Φ') aumenta, esta disminución del factor de seguridad del talud aumenta en un % mayor (**FIG 3.16**). Para el caso de parámetros de resistencia a cortante del cimientto constantes, en la medida que el ángulo de fricción interna (Φ') aumenta, esta disminución del factor de seguridad del talud disminuye en un % menor (**FIG 3.17**).

✚ La influencia en el factor de seguridad de un talud se debe a los parámetros de resistencia c' y Φ' , siendo mayor cuando éstos aumentan en el material del cimientto. En la **FIG 3.7** se observa que manteniendo constante los parámetros c' y Φ' de la cortina, un

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO “JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA”
PASANTÍA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA, LA PRESIÓN DE PORO Y EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, EN
EL FACTOR DE SEGURIDAD DE UN TALUD

incremento en c' de 40 kPa a 100kPa, para un valor de $\Phi'=20^0$, el valor del factor de seguridad de Fellenius, se incrementa desde 1.354 hasta 1.884, o sea un **39.1%**.

✚ La influencia en el factor de seguridad de un talud se debe al incremento de la presión de poro (u), como se muestra en la **FIG 3.17** al pasar de la posición 2 a la 3. Como se observa en dicha figura, manteniendo constantes los parámetros c' y Φ' de la cortina y valores del cimientado de $c'=40\text{kPa}$ y $\Phi'=20^0$, se obtiene un decremento del factor de seguridad desde 1.554 hasta 1.114, o sea un **39.5%**, para cuando la posición de la LCS varía desde la posición 2 a la 3.

✚ La influencia en el factor de seguridad de un talud se debe al método de análisis de estabilidad utilizado. Como se muestra en la **FIG 3.15**, manteniendo constantes los parámetros de c' y Φ' de la cortina y valores del cimientado de $c'=40\text{kPa}$ y $\Phi'=20^0$ se obtiene un incremento del factor de seguridad desde 1.114 por el

método de Fellenius, hasta 1.488 por el método de
Bishop, o sea un **33.6%**

- ✚ De las últimas 3 conclusiones se puede afirmar, que la influencia en el factor de seguridad de los 3 elementos analizados (parámetros de resistencia a cortante c' y Φ' , presión de poro (u) y método de análisis de estabilidad) muestran un peso similar, por lo que el ingeniero que proyecta taludes en general y en particular el talud aguas debajo de una presa de tierra homogénea, debe atender a los 3 por igual, sin menoscabo de uno por otro

RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta las incertidumbres que atañen a los diferentes métodos de análisis de estabilidad de taludes por equilibrio límite, es más lógico plantearse un rango de valores del factor de seguridad mínimo, teniendo como fronteras, el valor dado por Fellenius (menor) y el dado por Bishop (mayor).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ROLANDO ARMAS NOVOA Y EVELIO HORTA MESTAS:
“*Presas de Tierra*”, **página 210**, Editorial ISPJAE, Ciudad de
La Habana, Cuba, 1987.

- (2) ROLANDO ARMAS NOVOA Y EVELIO HORTA MESTAS:
“*Presas de Tierra*”, **página 218**, Editorial ISPJAE, Ciudad
de La Habana, Cuba, 1987.

- (3) JAIME SUÁREZ DÍAS: “*Deslizamientos y Estabilidad de
Taludes en Zonas Tropicales*”, **página 122**

- (4) BISHOP, A. W.: “*The Stability of Earth Dams*”, Tesis
doctoral presentada en el Imperial College, Londres, 1952.

- (5) ROLANDO ARMAS NOVOA Y EVELIO HORTA MESTAS:
“*Presas de Tierra*”, **páginas 143 a 146**, Editorial ISPJAE,
Ciudad de La Habana, Cuba, 1987.

BIBLIOGRAFÍA

BRAJA M. DAS: *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, Thompson Learning, México D.F., México, 2001

JUÁREZ BADILLO, E. Y A. RICO RODRÍGUEZ: *Mecánica de Suelos*, tomo II, Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba, 2001.

ROLANDO ARMAS NOVOA Y EVELIO HORTA MESTAS: *Presas de tierra*, Editorial ISPJAE, Ciudad de La Habana, Cuba, 1987.

SLOPE/W FOR SLOPE STABILITY ANALYSIS: *User's guide*, GEO-SLOPE International Ltd. Canada, Calgary, Canadá, 1991-2001

ANEXOS

(1): Disco compacto (CD) con los archivos del programa SLOPE/W, para cada condición determinada en el problema, archivos con las tablas y gráficos de Microsoft Office Excel obtenidos en el desarrollo del trabajo.