

**ESTUDIO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA
LA ELABORACION DE UN SOFTWARE CON FINES EDUCATIVOS**

JAZMIN NATALY BENAVIDES CASTRO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015**

**ESTUDIO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA
LA ELABORACION DE UN SOFTWARE CON FINES EDUCATIVOS**

JAZMIN NATALY BENAVIDES CASTRO

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniera Civil**

**Director
JAVIER MORENO MESIAS I.C.ESP**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015**

Las ideas aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor. Artículo 1ro acuerdo No. 324 del 11 de octubre de 1966 del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”. Artículo 13º del Acuerdo Número 005 del 26 de enero de 2010.

NOTA DE ACEPTACION

Firma del Director del Proyecto

Firma Jurado

Firma Jurado

San Juan de Pasto, Octubre de 2015

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso porque día a día me enseñó el camino que debía seguir para descubrir cuál era mi misión y hoy puedo decir que ser ingeniera es mi pasión. Quiero expresar mi reconocimiento y gratitud a mi madre Aura Castro, por sacrificar miles de cosas para formarme, educarme y sacarme adelante, me siento profundamente agradecida con mi familia que han creído y confiado en mí pero sobre todo por su infinito amor.

A lo largo de este proceso conté con la presencia de un gran hombre John Meneses gracias por el cariño, dedicación, comprensión, confianza y tolerancia, gracias por estar en cada momento de mi vida.

A mi segunda Madre Leonor Mora, a quien amo profundamente, le agradezco por su apoyo durante toda mi vida.

Quiero dedicar y compartir esta alegría con mi abuelita y mi primo, que por motivos de la vida ya no están pero desde el cielo fueron esa luz que me acompañó e iluminó y me dió la fuerza para continuar

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a DIOS, porque fue el consuelo indefectible que encontré cuando todo se tornó gris, fue el ser que me dio fuerza, esperanza, aliento y fortaleza mostrándome el camino que debía seguir.

A mi director de trabajo, Ingeniero Civil Javier Moreno Mesías, quien muy amablemente me brindo su conocimiento, tiempo y asesoría para la ejecución del presente proyecto.

A la Universidad de Nariño, especialmente el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño y a su gran equipo de profesores por compartir generosamente partículas de sabiduría, cariño y comprensión

Y a todas aquellas personas, que de alguna manera colaboraron para que este trabajo se lleve a cabo.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

El presente trabajo de aplicación consiste en la elaboración de un software desarrollado en lenguaje de programación Java el cual permite aplicar la teoría del desarrollo general del Método de las Dovelas y dos de sus métodos más utilizados para el análisis de estabilidad de taludes, como son el método de Bishop Simplificado y Janbu Simplificado para que pueda ser utilizado a nivel educativo y profesional en el proceso de análisis de estabilidad de taludes.

Principalmente se da a conocer la teoría relacionada con la estabilidad de un talud, como es el concepto de estabilidad e inestabilidad, los factores que intervienen en la estabilidad de un talud, los tipos de falla que se pueden presentar, el concepto del factor de seguridad y una descripción general de los métodos de análisis de estabilidad de taludes.

La metodología para la elaboración del software se desarrolló en cinco fases. La primera comprende la búsqueda de asesoría de personal calificado y de la información relacionada con el tema. En la segunda se definen los parámetros de entrada, información de salida y descripción del proceso a seguir mediante diagramas de flujo. La fase de diseño es la primera de las tres actividades técnicas para la elaboración del software en la cual se crean las interfaces. En la fase de codificación se traduce la información recopilada en un lenguaje de programación. Finalmente se realizan pruebas al software mediante ejemplos de diferente complejidad.

ABSTRACT

The present research is the development of software developed in Java programming language which allows to apply the theory of general development of Method of Slices and two of its most used methods for slope stability analysis, such as Bishop's Simplified Method and Janbu's Simplified Method to can be used to educational and professional level in the process of slope stability analysis.

Mainly it shows the theory related to slope stability, such as the concept of stability and instability, factors that influence the slope stability, the types of failure that may occur, the concept of safety factor and overview of the methods of slope stability analysis.

The methodology for elaboration software application was developed in five phases. The first involves the search qualified counseling and information related to the topic. The second phase defines input parameters, output information and the description of the process to be followed by flowcharts. The design phase is the first of three technical activities for the elaboration of software which interfaces are created. In the coding phase the information collected is translated to programming language. Finally the software is tested by examples of different complexity.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	18
1. MARCO TEORICO.....	19
1.1.ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES	19
1.2.MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO	29
1.3.MÉTODO DE JANBU SIMPLIFICADO	31
1.4.LENGUAJE DE PROGRAMACION JAVA.....	35
2. METODOLOGIA.....	36
3. FASE DE ANALISIS	37
3.4.PARAMETROS DE ENTRADA EN LA ELABORACION DEL SOFTWARE	37
3.5.INFORMACION DE SALIDA	39
3.6.DIAGRAMA GENERAL DE PROGRAMACION.....	40
3.7.DIAGRAMAS DE FLUJO PARA EL CÁLCULO DEL F.S	40
4. FASE DE DISEÑO	41
4.4.INTERFAZ GRAFICA	41
4.5.CLASES	41
4.6.DIAGRAMA DE CLASES	43
4.7.DISTRIBUCIÓN DE PAQUETES	45
5. FASE DE CODIFICACION	46
6. FASE DE PRUEBAS	51
7. MANUAL DE PROCEDIMIENTO	59

8. CONCLUSIONES.....	77
9. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFIA	79
WEBGRAFIA	81
ANEXOS.....	82

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Tabulación de los valores de d/L y f_0 de forma manual y con fórmulas.....	34
Tabla 2. Valores de las propiedades de los suelos.....	38
Tabla 3. Clases utilizadas en el paquete interfaces	41
Tabla 4. Clases utilizadas en el paquete talud.....	42
Tabla 5. Descripción de las partes de una clase.....	43
Tabla 6. Métodos codificados para encontrar puntos de intersección.	46
Tabla 7. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 1	52
Tabla 8. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 2.....	53
Tabla 9. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 3.....	54
Tabla 10. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 4.....	55
Tabla 11. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 5.....	56
Tabla 12. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 6.....	57
Tabla 13. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 7.....	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de factores causantes de deslizamientos	21
Figura 2. Nomenclatura de un deslizamiento.....	23
Figura 3. Métodos de cálculo	24
Figura 4. Planteamiento general del método de las dovelas	26
Figura 5. Valores de los parámetros e , f y R para cálculo de factor de seguridad desarrollando el método general de las dovelas	28
Figura 6. Planteamiento del Método de Bishop	29
Figura 7. Fuerzas actuantes en cada dovela en el Método de B. Simplificado	30
Figura 8. Superficie de falla no circular propuesta en el Método de Janbu.....	31
Figura 9. Valores de F_0 para emplear en el Método de Janbu	33
Figura 10. Interfaz de la pantalla de inicio del software	44
Figura 11. Distribución de paquetes	45
Figura 12. Puntos de intersección en la masa fallada.....	47
Figura 13. Puntos de intersección de dovelas	49
Figura 14. Alturas en cada abscisa de las dovelas	50
Figura 15. Representación del ejemplo 1	52
Figura 16. Representación del ejemplo 2	53
Figura 17. Representación del ejemplo 3	54
Figura 18. Representación del ejemplo 4	55
Figura 19. Representación del ejemplo 5	56

Figura 20. Representación del ejemplo 6	57
Figura 21. Representación del ejemplo 7	58
Figura 22. Opción para crear un nuevo proyecto.....	59
Figura 23. Opción para dibujar el perfil del talud.....	60
Figura 24. Opción para dibujar el nivel freático.....	60
Figura 25. Opción para dibujar los límites de los estratos.	61
Figura 26. Opción para asignar las propiedades del suelo a cada estrato.	61
Figura 27. Grafica del talud en el panel del software.	62
Figura 28. Opción para seleccionar el método de análisis.....	62
Figura 29. Comparación de ancho de dovela y ancho de masa fallada.....	63
Figura 30. Opción para el cálculo del factor de seguridad	64
Figura 31. Numero de dovela	64
Figura 32. Abscisa inicial de la dovela	65
Figura 33. Peso por estrato de la dovela	65
Figura 34. Area de la dovela	66
Figura 35. Ancho de dovela	67
Figura 36. Angulo de inclinación de la base de la dovela para superficie de falla circular.	68
Figura 37. Angulo formado entre la fuerza normal a la base de la dovela y la vertical	69
Figura 38. Altura del nivel freático en el punto medio de la dovela	70
Figura 39. Angulo de inclinación de la base de la dovela para superficie de falla compuesta.	72
Figura 40. Longitud de la dovela.....	75

LISTA DE FÓRMULAS

	Pág.
Fórmula 1: Factor FS_f	26
Fórmula 2: Factor FS_f para esfuerzos efectivos.....	27
Fórmula 3: Factor FS_f para esfuerzos totales	27
Fórmula 4: Factor FS_m	27
Fórmula 5: Factor FS_m para esfuerzos efectivos	28
Fórmula 6: Factor FS_m para esfuerzos totales	28
Fórmula 7: Factor de seguridad M.Bishop para esfuerzos efectivos	30
Fórmula 8: Factor ma para esfuerzos efectivos	30
Fórmula 9: Factor de seguridad M.Bishop para esfuerzos totales	31
Fórmula 10: Factor ma para esfuerzos totales	31
Fórmula 11: Factor de seguridad M.Janbu para esfuerzos efectivos.....	32
Fórmula 12: Factor de seguridad M.Janbu para esfuerzos totales	32
Fórmula 13: Calculo de f_o para suelos cohesivos.....	34
Fórmula 14: Calculo de f_o para suelos granulares.....	34
Fórmula 15: Calculo de f_o para suelos mixtos	34
Fórmula 16: Abscisa en el punto de intersección entre dos rectas	47
Fórmula 17: Ordenada en el punto de intersección entre dos rectas.....	47
Fórmula 18: Abscisa en el punto de intersección entre una recta y una circunferencia:.....	48

Fórmula 19: Ordenada en el punto de intersección entre una recta y una circunferencia	48
Fórmula 20: Altura de la dovela comprendida entre el perfil y la superficie de falla.	49
Fórmula 21: Altura de la dovela comprendida entre el perfil y el estrato	49
Fórmula 22: Altura de una dovela comprendida entre el estrato y la superficie de falla.	49
Fórmula 23: Calculo del peso de la dovela	66
Fórmula 24: Calculo del área de la dovela.....	66
Fórmula 25: Coeficiente de fricción.....	67
Fórmula 26: Ancho de dovela	67
Fórmula 27: Angulo de inclinación de la dovela para superficie de falla circular ...	68
Fórmula 28: Función seno del ángulo de inclinación de la dovela	69
Fórmula 29: Altura del agua.....	69
Fórmula 30: Presión de poros.....	70
Fórmula 31: Fuerza del agua	70
Fórmula 32: Angulo de inclinación de la dovela para superficie de falla compuesta	72
Fórmula 33: Función coseno del ángulo de inclinación de la dovela	72
Fórmula 34: Función tangente del ángulo de inclinación de la dovela	73
Fórmula 35: Longitud de la dovela.....	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Diagrama general de programación.....	82
Anexo 2 Diagrama de flujo para el cálculo de FS. método Bishop Simplificado ...	83
Anexo 3 Diagrama de flujo para el cálculo de FS. método Janbu Simplificado	86
Anexo 4 Diagrama de flujo para el cálculo de FS. por el desarrollo general del método de las tajadas	90
Anexo 5 Interfaces del software	94
Anexo 6 Diagrama de Clases.....	116
Anexo 7 Verificación de Ejemplos.....	130
Anexo 8 Manual de Usuario	140

GLOSARIO

Clase	Son los modelos sobre los cuáles se construyen los objetos.
Interfaces	Es un conjunto de métodos que indican que una clase tiene un comportamiento particular además del que hereda de sus superclases.
Masa Fallada	Sección del suelo comprendida entre el paramento del talud o perfil y la superficie de falla.
Miembros de clase	Se conocen a los campos, propiedades, métodos y eventos de una clase.
Nivel freático	Nivel o altura física que tiene el agua en el suelo.
Objeto	Entidad compuesta de unos datos y las operaciones que realizamos sobre esos datos.
Paleodeslizamiento	Deslizamiento que tuvo origen en la era Paleozoica.
Paquete	Son una forma de agrupar clases es interfaces asociadas. Habilitan los grupos de clases para estar disponibles sólo si son necesarios y eliminan los conflictos potenciales entre los nombres de clases en grupos diferentes de clases.
Peso específico Saturado (γ_{sat}):	Se define al peso total de la muestra que ocupa el volumen unitario, después de su saturación con agua. El suelo se encuentra sobre el nivel freático.
Presión de poros	Presión que ejerce el agua subterránea atrapada en el suelo en huecos situados entre las partículas del suelo llamados poros.

INTRODUCCION

Teniendo en cuenta que el avance tecnológico actúa como una solución ante los requerimientos de estudiantes y profesionales en Ingeniería Civil, en el presente trabajo de aplicación denominado ESTUDIO DE LOS METODOS DE ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA ELABORACION DE UN SOFTWARE CON FINES EDUCATIVOS, se elaboró una herramienta informática desarrollada en lenguaje de programación Java, la cual permite aplicar la teoría de algunos métodos de análisis de estabilidad de taludes con el fin de calcular el factor de seguridad y determinar la estabilidad de un talud en un tiempo significativamente menor al empleado mediante cálculos manuales.

Para el cálculo del Factor de Seguridad, en el presente proyecto se trabajó con el desarrollo general del Método de las Dovelas y con dos de sus métodos aproximados como son el método de Bishop Simplificado y el método de Janbu Simplificado, pertenecientes a los métodos de equilibrio límite, la elección de estos métodos es debido a que son los más utilizados en la práctica común, a su sencillez, y porque el valor del coeficiente de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real¹.

Para lograr cumplir el objetivo del presente trabajo se realizó la búsqueda de información de entrada, procedimientos a seguir, e información de salida relacionada con los métodos de análisis de estabilidad de taludes más utilizados, para ser aplicada en la elaboración de una herramienta informática que sirva de apoyo a los estudiantes, docentes y profesionales en Ingeniería Civil que requieran realizar el análisis de la estabilidad de un talud.

¹ UPCOMMONS. [en línea]. <<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6529/6/05.pdf>>. [citado en 1 de noviembre de 2014].

1. MARCO TEORICO

1.1. ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES

El estudio de estabilidad de taludes está basado en el concepto de interacción de dos fuerzas que actúan sobre el talud como sistema, las fuerzas estabilizantes o resistentes y las fuerzas desestabilizantes o movilizantes. Se considera que el talud es estable cuando las fuerzas resistentes son mayores que las desestabilizantes y caso contrario, el talud se considera inestable cuando las fuerzas desestabilizantes son mayores que las resistentes; el estudio de estas fuerzas se concentra en tres cargas principales²:

La **gravedad** es una fuerza de carácter universal, es decir, que afecta a todos los cuerpos en virtud de su masa y que para efectos de los estudios de estabilidad, está relacionada con el peso de los diferentes materiales que conforman el talud y que pueden encontrarse en un momento dado en capacidad de moverse. La fuerza de gravedad no siempre desestabiliza un talud ya que su efecto depende en buena medida de la disposición espacial de los materiales que lo conforman.

La **resistencia intrínseca de los materiales que conforman el talud** es la fuerza que incide en mayor proporción en la estabilidad de taludes. Las fuerzas intrínsecas de los materiales se idealizan en dos conceptos básicos denominados cohesión y fricción.

El **efecto del agua presente en los materiales que conforman el talud** es quizás el aspecto que merece la mayor atención en los estudios de estabilidad de taludes, el agua puede ejercer una función parcialmente estabilizante (mediante el fenómeno conocido como cohesión aparente) o desestabilizante dentro del material, afectando la magnitud de dichas fuerzas a nivel microscópico cuando se encuentra ocupando los espacios libres de las partículas de suelo (presión de poros) y macroscópico cuando ocupa las fisuras y grietas presentes en las masas de suelo y roca (presión hidrostática y flujos subterráneos).

Factores contribuyentes en la estabilidad de un talud. Los problemas de estabilidad en un talud pueden ser muy variados y están en función de las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, topográficas de cada zona, e incluso la incidencia de la vía sobre el terreno (en caso de carreteras) que puede

² INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Estabilidad de Taludes. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. Pág. 27.

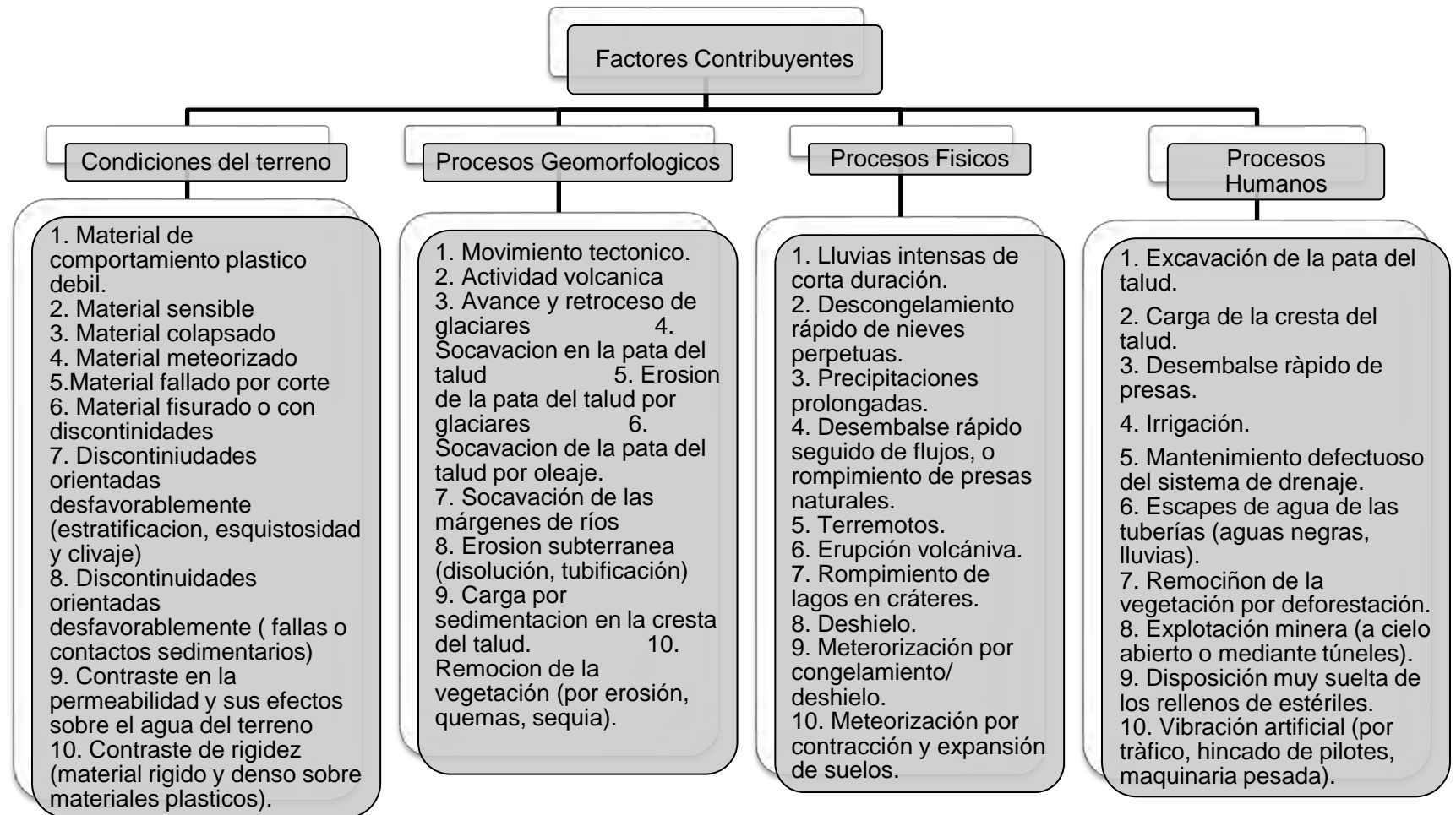
abarcando desde los simples problemas de arrastre y erosión hasta la activación de grandes paleodeslizamientos³ que involucran enormes masas de tierra.

Para el estudio del comportamiento de un talud es de gran importancia identificar los factores que pueden contribuir a su inestabilidad (Figura 1), a continuación se da a conocer la clasificación citada por el INSTITUTO NACIONAL DE VIAS⁴ de los factores causantes de deslizamientos:

³ Deslizamiento que tuvo origen en la era Paleozoica.

⁴ POPESCU, M.E. "A Suggested Method for reporting Landslides Causes". Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 50, Paris, Francia, 1994. Citado por INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Estabilidad de Taludes. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. Pág. 30.

Figura 1. Tipos de factores causantes de deslizamientos



Tomado de: INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (1998)

Tipos de movimientos de falla de taludes. Es de gran importancia conocer los tipos de movimientos de falla que pueden presentarse para el estudio y control de los movimientos en masa, por esta razón a continuación se dará a conocer la clasificación propuesta por García en el año 1986, la cual es la adopción del sistema de Clasificación de Varnes.

- Caídas
- Volcamientos
- Deslizamientos
- Propagación lateral
- Flujos
- Movimientos complejos

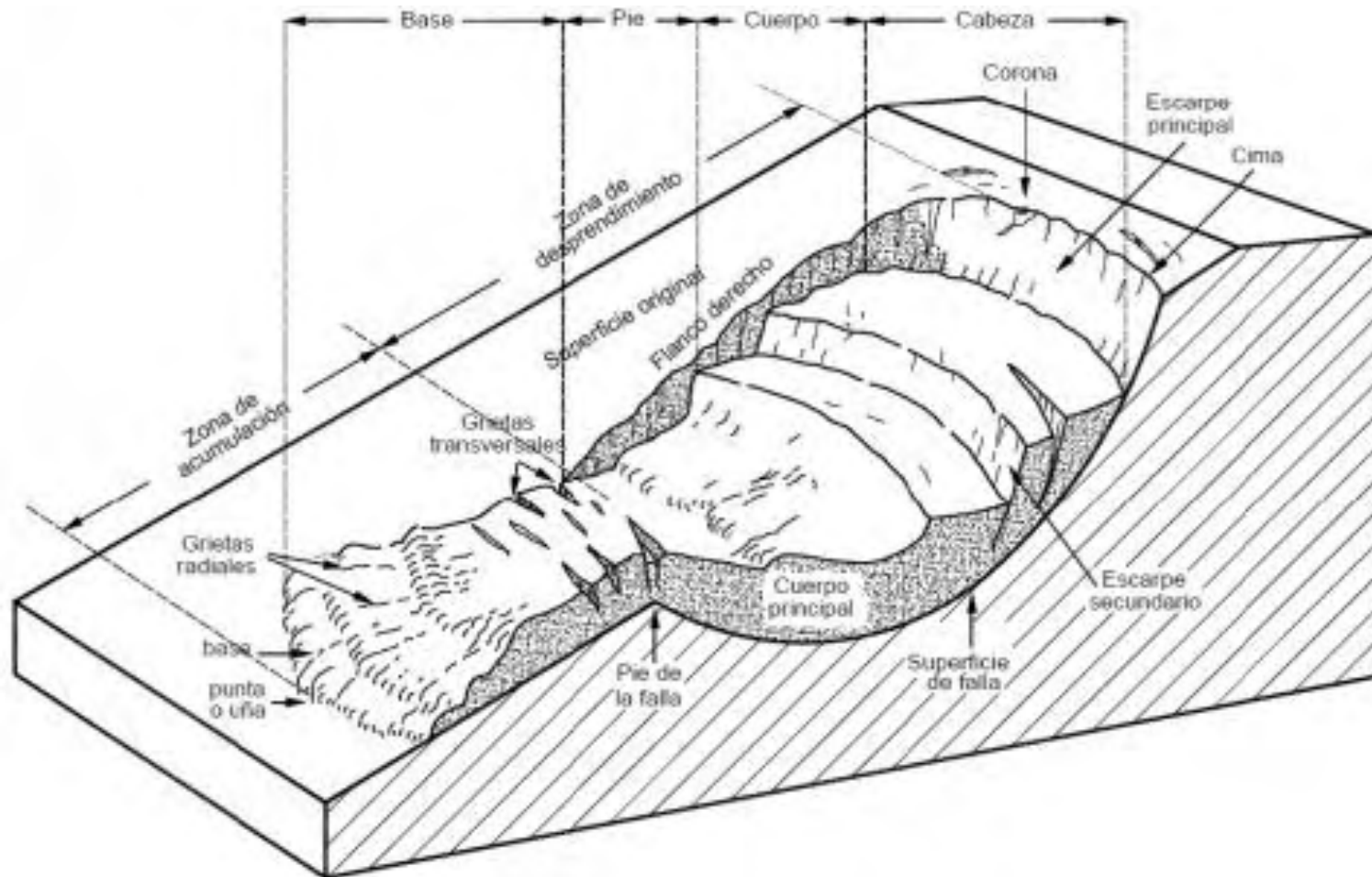
Los deslizamientos son movimientos relativos de masas de suelo o roca con respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura cuando se supera la resistencia al corte de estas superficies. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes.⁵

En los deslizamientos se hace distinción entre **deslizamientos rotacionales** y **traslacionales**, los primeros son deslizamientos de masas de suelo a lo largo de una superficie cóncava bien definida, conocidos como “golpes de cuchara” y los segundos son movimientos de espesores delgados de fragmentos de roca, mezclas de suelo y roca fracturada, coluvión, suelo, material orgánico y vegetación, a lo largo de superficies casi planas, bien definidas, conformadas con frecuencia por la pendiente estructural en estratos más resistentes, sobre los cuales descansan estratos de roca alterada, mantos de suelo residual o capas de depósitos.

Los deslizamientos son uno de los movimientos de falla de taludes más frecuentes en Colombia, es por ello que en el presente proyecto se trabajará con los métodos de análisis aplicables a estos casos.

⁵ SANHUEZA PLAZA, C y RODRIGUEZ CIFUENTES, L. Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. En: Revista de la Construcción. Enero, 2013. Volumen 12, No.1. Pág. 19.

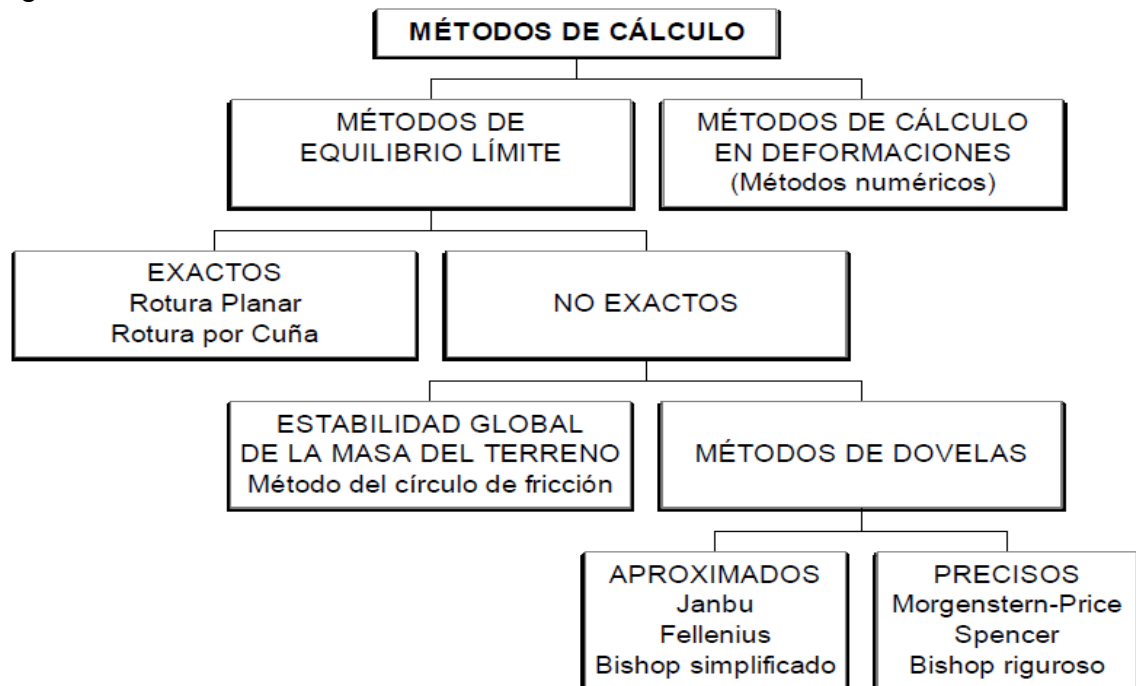
Figura 2. Nomenclatura de un deslizamiento



Tomado de: TAPIA ALFARO (2009)

Métodos de análisis de estabilidad de taludes. Existen dos tipos de análisis de estabilidad de taludes, aquellos que están basados en métodos de equilibrio límite y que buscan evaluar la estabilidad del talud sin recurrir a las relaciones esfuerzo-deformación y aquellos que utilizan elementos finitos y evalúan los movimientos de una masa potencial de falla y tienen en cuenta las relaciones esfuerzo-deformación.

Figura 3. Métodos de cálculo



Tomado de: HERRERA RODRIGUEZ (2003)

Como lo muestra la Figura 3, la mayoría de los métodos de análisis consideran las condiciones para equilibrio límite, el cual corresponde al sistema de fuerzas que están justo en el punto de falla y utiliza las ecuaciones de la estática para resolver el factor de seguridad.

Los **Métodos de Equilibrio Límite** para el cálculo de estabilidad de taludes son los más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porqué el valor del factor de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real.

Estos métodos establecen que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno. En el momento de producirse la rotura, la

resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático.

Las siguientes son las hipótesis básicas del método de equilibrio límite⁶:

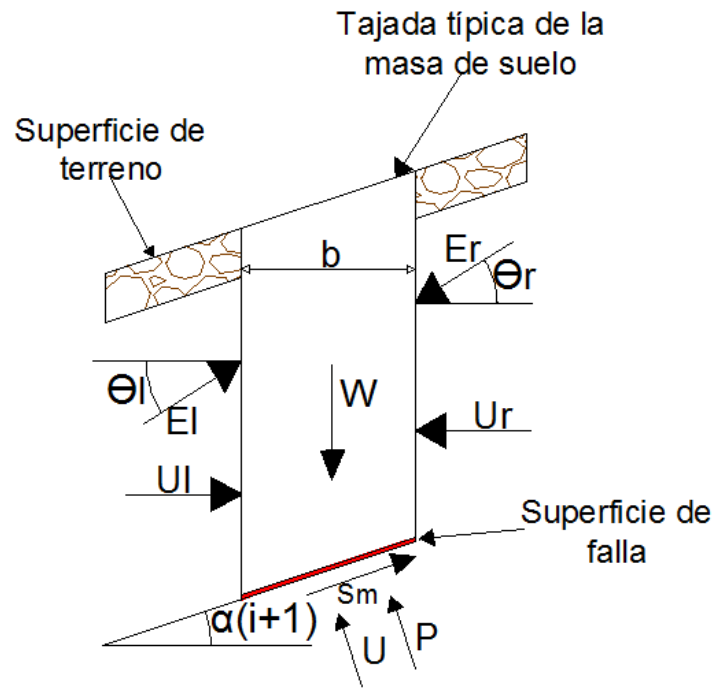
- Se considera que el talud es indefinido en la dirección horizontal paralela a su superficie, es decir, el problema se estudia en condiciones bidimensionales o de deformación plana, si bien existen algunos procedimientos, no habituales, que consideran la tridimensionalidad.
- Se supone un mecanismo de rotura a favor de determinadas superficies de deslizamiento (planas o curvas). La masa de suelo contenida por dichas superficies se considera como un único bloque rígido, o bien se subdivide en bloques más pequeños, también rígidos, dependiendo de la forma de rotura supuesta o del procedimiento de cálculo.
- Se asume un criterio de rotura del terreno a lo largo de las superficies de deslizamiento definidas. Dicho criterio es habitualmente de Mohr Coulomb.
- Se supone que cada bloque en los que se ha dividido la masa de suelo se encuentra en equilibrio estricto.
- Se define un factor de seguridad, que se supone constante a lo largo de toda la superficie de deslizamiento.

En el presente trabajo se utilizará el **Método de Dovelas**, el cual a diferencia de los otros métodos divide la masa deslizante en porciones o tajadas verticales llamadas *dovelas*, en las cuales se consideran las fuerzas que actúan sobre una superficie de falla cuya estabilidad se desea examinar (Figura 4)⁷.

⁶ ORTUÑO ABAD, Luis. Estabilidad de taludes en suelo. Cálculo. Curso de Geotecnia para Infraestructuras. Sevilla, 2004. Pág. 22-23.

⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Estabilidad de Taludes. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. 129 p.

Figura 4. Planteamiento general del método de las dovelas



Tomado de: INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (1998).

En dónde;

- W : Peso de la dovela
- E_I y E_r : Fuerzas resultantes inclinadas
- θ_I y θ_r : Ángulos con respecto a la horizontal de las fuerzas E_I y E_r
- U_I y U_r : Fuerzas del agua de los poros sobre los lados de la dovela
- P : Fuerza normal
- U : Fuerza de la presión de poros
- S_m : Fuerza cortante

Considerando el talud completo y que la suma de las fuerzas horizontales debe ser cero, se obtiene la siguiente

Fórmula 1: Factor FS_f

$$FS_f = \frac{\sum (c' l \cos \alpha + (P - ul) \tan \phi' \cos \alpha)}{\sum P \sin \alpha + \sum KW + (H_r - H_l) + L \cos \omega}$$

Se supone un factor de seguridad constante a lo largo de la superficie de deslizamiento.

El alcance del presente proyecto no consideró las fuerzas causadas por sismo, carga externa o grietas de tracción; por lo tanto, las anteriores fórmulas se expresan de la siguiente manera:

Fórmula 2: Factor FS_f para esfuerzos efectivos

$$FS_f = \frac{\sum(c'l\cos\alpha + (P - ul)\tan\phi'\cos\alpha)}{\sum P\sin\alpha}$$

Siendo

$$P = \frac{W - \frac{c'l\sin\alpha}{FS_{sup}} + \frac{ul\tan\phi'\sin\alpha}{FS_{sup}}}{\cos\alpha + \frac{\tan\phi'\sin\alpha}{FS_{sup}}}$$

Fórmula 3: Factor FS_f para esfuerzos totales

$$FS_f = \frac{\sum(cl\cos\alpha + P\tan\phi\cos\alpha)}{\sum P\sin\alpha}$$

Siendo

$$P = \frac{W - \frac{cl\sin\alpha}{FS_{sup}}}{\cos\alpha + \frac{\tan\phi\sin\alpha}{FS_{sup}}}$$

c: Cohesión del suelo (Ton/m²)
l: longitud de la dovela (m)
α: Angulo de inclinación de la dovela (°)
P: Factor de cálculo (Ton/m)
u: presión de poros (Ton/m²)
φ: Angulo de fricción del suelo (°)
W: peso de la dovela (Ton/m)
 FS_{sup} : Factor de seguridad supuesto (-)

Considerando el talud completo y que la suma de momentos es cero, se obtiene la siguiente fórmula:

Fórmula 4: Factor FS_m

$$FS_m = \frac{\sum[clR + (P - ul)R\tan\phi]}{\sum We + \sum KWk - (H_l h_l - H_R h_R) + Lj - \sum Pf}$$

Ya que el alcance del presente proyecto no consideró las fuerzas causadas por sismo, carga externa o grietas de tracción, las anteriores fórmulas se expresan de la siguiente manera:

Fórmula 5: Factor FS_m para esfuerzos efectivos

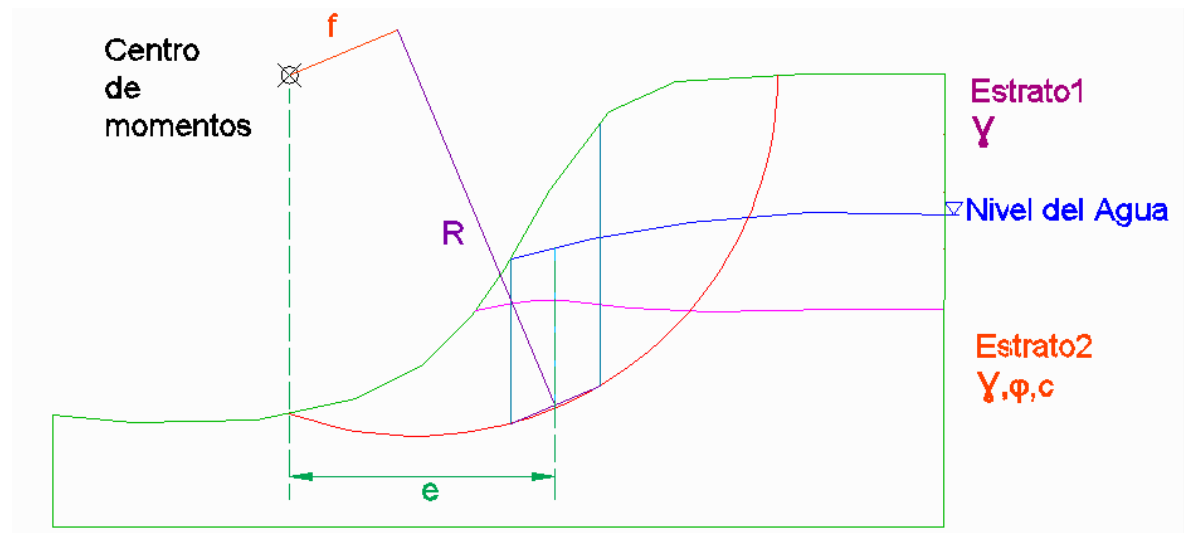
$$FS_m = \frac{\sum [c'lR + (P - ul)R \tan \phi']}{\sum We - \sum Pf}$$

Fórmula 6: Factor FS_m para esfuerzos totales

$$FS_m = \frac{\sum [clR + PR \tan \phi]}{\sum We - \sum Pf}$$

c	: cohesión del suelo (Ton/m ²)
l	: longitud de la dovela (m)
α	: ángulo de inclinación de la dovela (°)
P	: factor de cálculo (Ton/m)
R, e y f	: Distancia respecto al centro de momentos (m)
U	: presión de poros (Ton/m ²)
ϕ	: ángulo de fricción del suelo (°)
W	: peso de la dovela (Ton/m)

Figura 5. Valores de los parámetros e, f y R para cálculo de factor de seguridad desarrollando el método general de las dovelas.



FS_f y FS_m se deben resolver por iteración. La solución se obtiene cuando $FS_f = FS_m$.

1.2. MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO

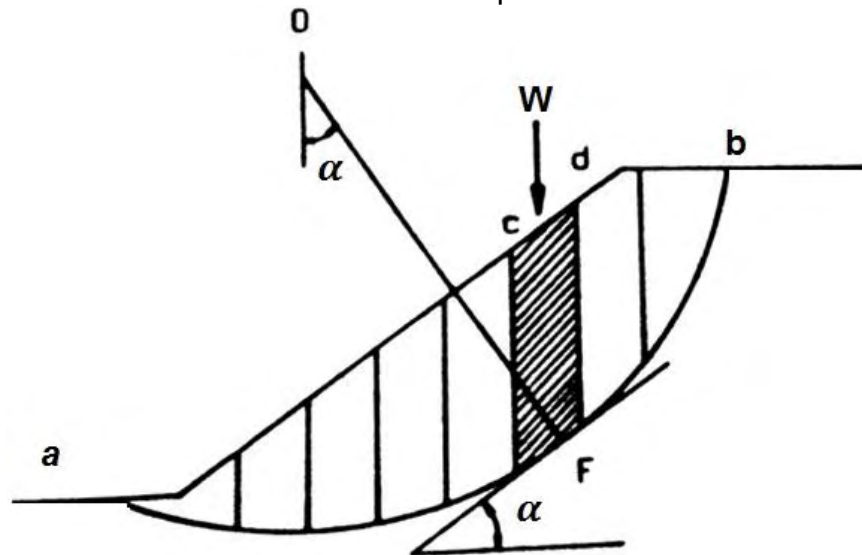
Bishop en el año 1955, propuso un método de análisis para deslizamientos en superficies de falla esférica. Él supuso, en una versión simplificada de su método, que la resultante de las fuerzas a ambos lados de una dovela es horizontal y que el factor de seguridad encontrado es el mismo para todas las fajas. Por otra parte, la resistencia al cortante utilizada en el análisis del método es la resistencia solicitada en lugar de la resistencia máxima; la relación entre una y otra es igual al inverso del factor de seguridad.⁸

El método de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes, aunque sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario.

Aunque existen métodos de mayor precisión que el de Bishop, las diferencias de los factores de seguridad calculados no son grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado es que solamente considera las superficies circulares.

En este método se divide la masa considerada en una serie de dovelas verticales (Figura 6) y se realiza el análisis de equilibrio límite para cada una.

Figura 6. Planteamiento del Método de Bishop

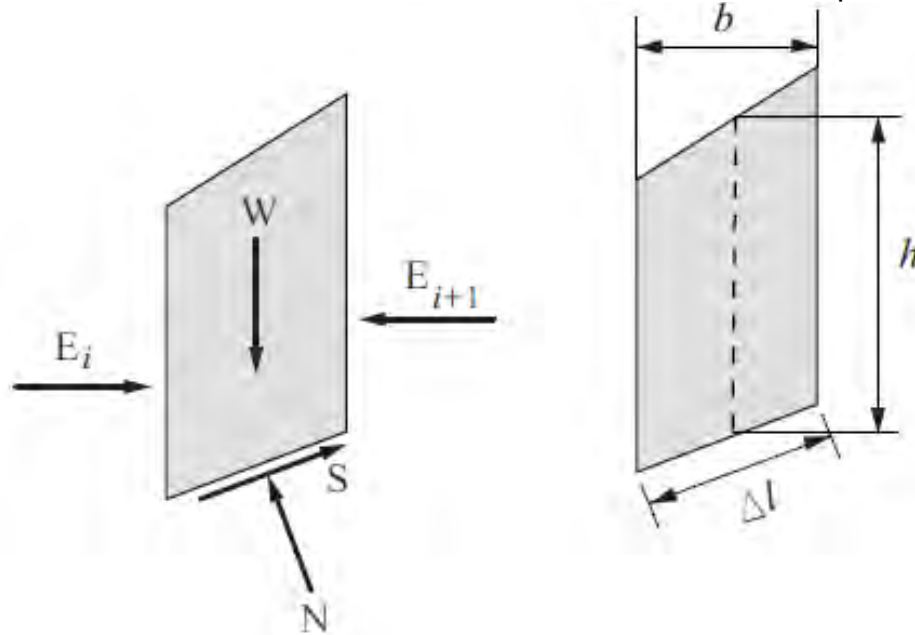


Tomado de SUAREZ DIAZ (1989)

⁸ ESPINOZA DURÁN, Carlos Eduardo y TAPIA BERZOZA, Leandro Enrique. Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto Pacalori. Trabajo de Grado. Cuenca, Ecuador.: Universidad de Cuenca. Facultad de Cuenca. Escuela de Ingeniería Civil, 2013. Pág. 43.

Las fuerzas laterales o entre dovelas se suponen horizontales (Figura 7) por lo cual no se presenta esfuerzo cortante entre ellas.

Figura 7. Fuerzas actuantes en cada dovela en el Método de B. Simplificado



Tomado de KERGUELEN ARGUMEDO (2009)

Según Bishop, el factor de seguridad puede obtenerse por iteración resolviendo el siguiente juego de fórmulas:

Fórmula 7: Factor de seguridad M.Bishop para esfuerzos efectivos

$$FS = \frac{\sum \frac{1}{m_a} [c'b + (W - ub) \tan \Phi']}{\sum W \text{Sen} \alpha}$$

Fórmula 8: Factor m_a para esfuerzos efectivos

$$m_a = \cos \alpha + \frac{\tan \Phi' \text{Sen} \alpha}{FS}$$

FS: Factor de seguridad

c: cohesión

b: Ancho de cada dovela

α : Angulo de inclinación de la dovela

W: Peso de cada dovela

u: Presión de poros

ϕ : Angulo de fricción

Para obtener la anterior fórmula en términos de esfuerzos totales se deberá considerar que:

$$u=0$$

Fórmula 9: Factor de seguridad M.Bishop para esfuerzos totales

$$FS = \frac{\sum \frac{1}{m_a} [cb + W \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha}$$

Fórmula 10: Factor m_a para esfuerzos totales

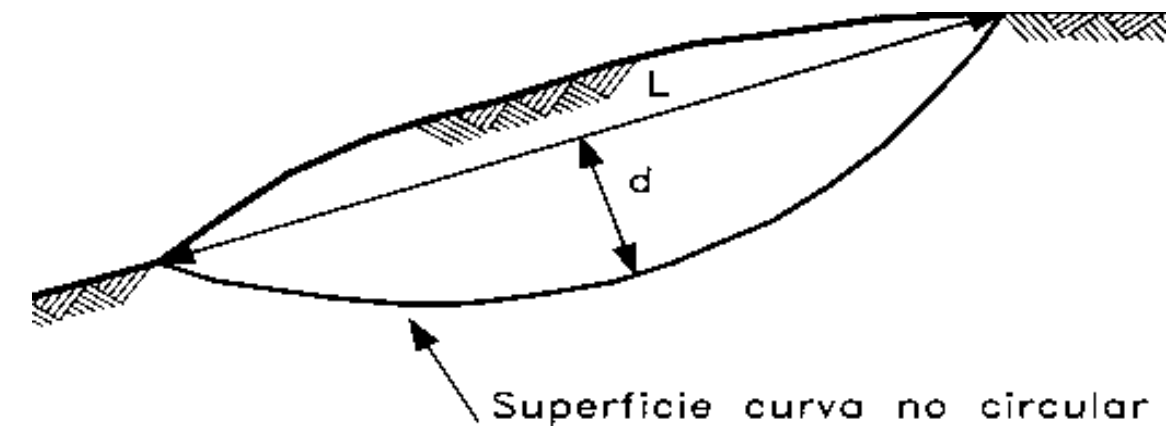
$$m_a = \cos \alpha + \frac{\tan \phi \sin \alpha}{FS}$$

Como se puede observar en las fórmulas, el término factor de seguridad se encuentra tanto en la izquierda como en la derecha; por lo cual como se dijo anteriormente, se requiere llevar a cabo un proceso de iteración para calcular el factor de seguridad.

1.3. MÉTODO DE JANBU SIMPLIFICADO

El método simplificado de Janbu se basa en la suposición que las fuerzas entre las dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante. Janbu considera que las superficies de falla son curvas pero no necesariamente son circulares (Figura 8) y establece un factor de corrección, el cual depende de la curvatura de la superficie de falla (Figura 9).

Figura 8. Superficie de falla no circular propuesta en el Método de Janbu



Tomado de SUAREZ DIAZ (1989)

Similar a los métodos de Fellenius y Bishop, en el método de Janbu se divide la masa fallada en tajadas o dovelas y se obtiene el factor de seguridad de acuerdo a las siguientes expresiones:

Fórmula 11: Factor de seguridad M.Janbu para esfuerzos efectivos

$$FS = f_o * \frac{\sum \frac{c' + (W - ub) \tan \phi'}{m_a \cos \alpha}}{\sum W \tan \alpha}$$

Donde el factor m_a que agrupa a una serie de factores puede obtenerse por medio de la fórmula 8:

Dónde:

FS: Factor de seguridad

c: cohesión

b: Ancho de cada dovela

W: Peso de cada dovela

u: Presión de poros

ϕ : Angulo de fricción

α : Angulo de inclinación de la dovela

f_o : Factor de corrección por curvatura

Para obtener la anterior fórmula en términos de esfuerzos totales se deberá considerar que:

$u=0$

Fórmula 12: Factor de seguridad M.Janbu para esfuerzos totales

$$FS = f_o * \frac{\sum \frac{cb + W \tan \phi}{m_a \cos \alpha}}{\sum W \tan \alpha}$$

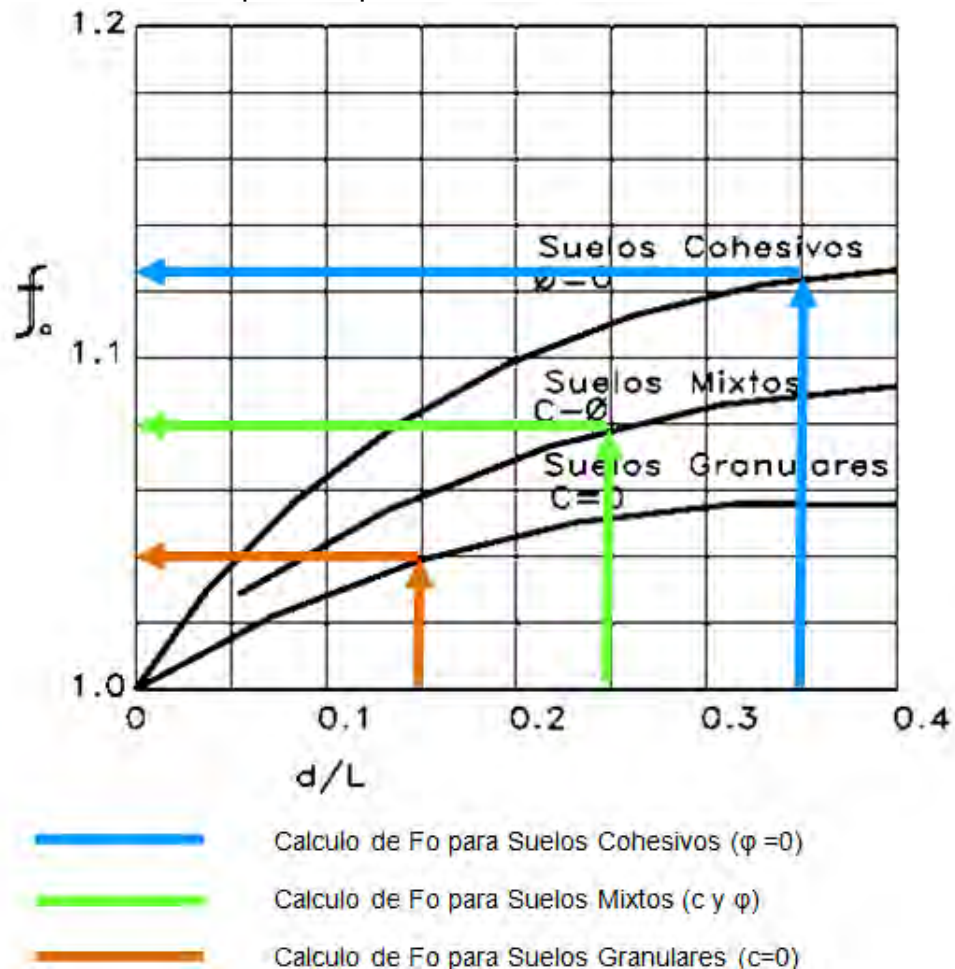
Esta expresión general se reduce a la del Método de Bishop Simplificado multiplicado por f_o .

Donde el factor m_a que agrupa a una serie de factores puede obtenerse por medio de la fórmula 10.

Deducción de la fórmula para el cálculo del valor de F_o a partir de su respectiva grafica

Según la siguiente gráfica el valor de F_o se calcula ingresando el valor de d/L el cual es conocido teniendo en cuenta la superficie de falla. Después de ingresar este valor se determina si el suelo es cohesivo ($\varphi = 0$), granular ($c=0$) o mixto (φ, c) y finalmente se encuentra el valor de F_o .

Figura 9. Valores de F_o para emplear en el Método de Janbu



Tomado de SUAREZ DIAZ (1989)

La anterior es una manera de calcular el valor de f_o , pero para el desarrollo del presente proyecto esta forma de cálculo no es muy precisa, además requiere trabajar continuamente con esta figura. Es por ello que mediante la aplicación Microsoft Excel se tabularon una serie de valores para obtener gráficas y sus respectivas fórmulas.

Fórmula 13: Calculo de f_o para suelos cohesivos

$$f_o = -0,9113 \left(\frac{d}{L}\right)^2 + 0,6662 \left(\frac{d}{L}\right) + 1,0035$$

Fórmula 14: Calculo de f_o para suelos granulares

$$f_o = -0,4303 \left(\frac{d}{L}\right)^2 + 0,3128 \left(\frac{d}{L}\right) + 1,0004$$

Fórmula 15: Calculo de f_o para suelos mixtos

$$f_o = -0,4753 \left(\frac{d}{L}\right)^2 + 0,3977 \left(\frac{d}{L}\right) + 1,0084$$

Se realizaron pruebas utilizando diferentes valores de d/L y aplicándolos a las fórmulas encontradas, con lo cual se observó que los valores de f_o obtenidos manualmente y los valores calculados con las fórmulas son aproximadamente iguales:

Tabla 1. Tabulación de los valores de d/L y f_o de forma manual y con fórmulas

Suelos Granulares C=0			Suelos Mixtos C-Φ			Suelos Cohesivos Φ=0		
d/L	f _o	Fórmula	d/L	f _o	Fórmula	d/L	f _o	Fórmula
0	1,000	1,000				0	1,000	1,003
0,05	1,015	1,015	0,06	1,028	1,028	0,1	1,037	1,034
0,1	1,028	1,027	0,1	1,044	1,043	0,1	1,064	1,060
0,15	1,038	1,037	0,15	1,058	1,057	0,2	1,084	1,082
0,2	1,045	1,045	0,2	1,069	1,068	0,2	1,100	1,100
0,25	1,052	1,051	0,25	1,078	1,078	0,3	1,112	1,113
0,3	1,055	1,055	0,3	1,084	1,084	0,3	1,118	1,121
0,35	1,057	1,057	0,35	1,089	1,089	0,4	1,124	1,125
0,4	1,057	1,056	0,4	1,092	1,091	0,4	1,127	1,124

1.4. LENGUAJE DE PROGRAMACION JAVA

Java es un lenguaje de programación y una plataforma informática comercializada por primera vez en 1995 por Sun Microsystems. Hay muchas aplicaciones y sitios web que no funcionarán a menos que tenga Java instalado y cada día se crean más. Java es rápido, seguro y fiable. Desde portátiles hasta centros de datos, desde consolas para juegos hasta súper computadoras, desde teléfonos móviles hasta Internet, Java está en todas partes.⁹

JAVA es un lenguaje de programación con el que se puede realizar cualquier tipo de programa. En la actualidad es uno de los lenguajes más usados y cada vez cobra más importancia tanto en el ámbito de Internet como en la informática en general. Una de las principales características por las que JAVA se ha hecho muy famoso, es el ser un lenguaje independiente de la plataforma.¹⁰

Java tiene la ventaja de que se encuentran fácilmente herramientas que facilitan la creación de software, por ejemplo para manejar el código que se está realizando y la creación de las ventanas de despliegue de información se cuenta con la herramienta gratuita llamada Netbeans.

⁹ www.java.com

¹⁰ www.umbbga.edu.co/pacademicos/diplomados/ingenieria/desarrollo_java.html

2. METODOLOGIA

El desarrollo del presente trabajo de grado se realizó en 5 fases, las cuales se describen a continuación:

FASE I

Se realizó la búsqueda de asesoría de personal calificado en los conceptos de estabilidad de taludes.

Se realizó una búsqueda de la información relacionada con estabilidad de taludes, tipos de suelo, propiedades de los suelos, fuerzas resistentes y desestabilizantes y factores relacionados con la inestabilidad de un talud.

La elaboración del software se realizó siguiendo la metodología en cascada, la cual comprende las siguientes partes: Análisis (Fase II), Diseño (Fase III), Codificación (Fase IV) y Pruebas (Fase V).

FASE II: ANALISIS

Con relación a los métodos de Bishop Simplificado y Janbu Simplificado se identificó la información a ingresar, los parámetros de entrada, tales como el tipo de suelo, la geometría del talud, el peso específico, cohesión, fricción del material por el cual está constituido el terreno, el procedimiento a realizar en cada uno de los métodos y la información de salida, como es el valor del factor de seguridad y la representación gráfica de la falla del talud.

Teniendo en cuenta los métodos seleccionados, los parámetros de entrada y las salidas se realizó un diagrama general de la aplicación.

FASE III: DISEÑO

Teniendo en cuenta las salidas del software se diseñaron las interfaces de usuario y se especificaron los formatos de entrada y salida de información.

FASE IV: CODIFICACION

Se realizó la codificación de los módulos establecidos en el análisis en el lenguaje de programación Java y se elaboró el manual de usuario (**Anexo 7**).

FASE V: PRUEBAS

En esta etapa se realizaron pruebas al software utilizando ejercicios de diferente complejidad, se realizaron los reajustes necesarios y se reevaluó el software.

Las pruebas se realizaron verificando que los módulos funcionen correctamente de manera individual o en conjunto.

3. FASE DE ANALISIS

3.4. PARAMETROS DE ENTRADA EN LA ELABORACION DEL SOFTWARE

Para la elaboración del software es necesario conocer cada una de las características del talud, como son: geometría del talud, tipo de suelo, cohesión, ángulo de fricción, peso específico y nivel freático, las cuales son las variables de entrada que se utilizan para el desarrollo de cada método.

Tanto en el método de Bishop simplificado, como en el de Janbu simplificado se utilizan las mismas variables de entrada que se mencionaron anteriormente, por ello se realizara una sola descripción de estas variables.

Geometría del talud. La geometría del talud se refiere a su altura y la inclinación, siendo este último una característica muy importante en los países económicamente desarrollados, en los cuales son muy conservadores en las políticas relacionadas con la definición de la inclinación de los taludes de sus carreteras, motivados en la circunstancia de que los volúmenes de tránsito circulantes y los factores que definen el índice de servicio son tan altos, que justifican cualquier inversión inicial con tal de prevenir las interrupciones debidas a fallas y derrumbes. En los países en transición, en cambio, los criterios de selección han sido más audaces, buscando minimizar los costos de construcción y considerando los volúmenes de tránsito relativamente bajos que tienen la mayor parte de las carreteras construidas.

Propiedades de los suelos

COHESION

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. En mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos.

ANGULO DE FRICCION

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física:

Coeficiente de fricción= $\tan \phi$

El ángulo de fricción depende de varios factores entre ellos algunos de los más importantes son:

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

PESO ESPECÍFICO

Se designa por (γ_s) el peso específico del suelo in situ no sumergido, es decir el peso de la muestra que ocupa el volumen unitario. Implica particularmente el agua comprendida naturalmente entre sus partículas sólidas¹¹.

A continuación, se da a conocer los valores del peso específico, ángulo de fricción y cohesión de algunos tipos de suelos:

Tabla 2. Valores de las propiedades de los suelos

TIPO DE SUELO	γ (Ton/m ³)	Φ (Grados)	c (Ton/m ²)
Bloques y bolos sueltos	1.7	35-40	-
Grava	1.7	37.5	
Grava Arenosa	1.9	35	
Arena compacta	1.9	32.5-35	-
Arena semicompacta	1.8	30-32.5	
Arena suelta	1.7	27.5-30	
Limo firme	2.0	27.5	1-5
Limo	1.9	25	1-5
Limo blando	1.8	22.5	1-2.5
Marga arenosa rígida	2.2	30	20-70
Arcilla arenosa firme	1.9	25	10-20
Arcilla media	1.8	20	5-10
Arcilla blanda	1.7	17.5	2-5
Fango blando arcilloso	1.4	15	1-2
Suelos orgánicos (Turba)	1.1	10-15	-

Tomado de BAÑON BLAZQUEZ y BEVIÁ GARCÍA (2000)

¹¹ EDITORES TECNICOS ASOCIADOS, S.A, Mecánica del suelo. Proyecto de muros y cimentaciones. 2 ed. Barcelona, 1975.

PESO ESPECÍFICO SUMERGIDO

Se designa por (γ') el peso específico del suelo in situ cuando este está sumergido en agua, es decir que se encuentra bajo el nivel freático y sometido así al empuje de Arquímedes. Este peso específico aparente no puede determinarse por medida directa. Equivale por definición a la diferencia entre el peso específico saturado y el peso específico del agua:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

3.5. INFORMACION DE SALIDA

Factor de seguridad. La relación existente entre las fuerzas resistentes y las desestabilizantes es conocida como Factor de Seguridad y es empleado por los ingenieros para analizar la estabilidad de un talud, pues este factor hace una distinción simple entre los taludes estables e inestables, para que con base en este análisis se pueda tomar medidas correctivas o preventivas cuando ya existe una falla o se quiera disminuir la probabilidad de que esta ocurra.

$$F.S = \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{Fuerzas inestabilizantes}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes, como las analizadas en el método de Bishop, el factor de seguridad se establece según la siguiente fórmula:

$$F.S = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}}$$

Según el INSTITUTO NACIONAL DE VIAS¹², el factor de seguridad se define como aquel factor por el cual pueden reducirse los parámetros de resistencia al corte disponible, para llevar al talud a un estado de equilibrio limite a lo largo de la superficie de falla determinada.

Con base en lo anterior, se establece que el factor de seguridad en un talud tiene que ser mayor a 1. Si el factor de seguridad es igual a 1 el talud se encuentra en equilibrio, pero puede fallar en cualquier momento y si es inferior a 1 indica que el movimiento a lo largo de la superficie de deslizamiento es posible; por lo el título H

¹² INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Estabilidad de Taludes. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. 116 p.

de la NSR-10¹³ establece que el Factor de seguridad mínimo para taludes en condición estática y presencia de agua subterránea normal es de 1.5 para definir a un talud como estable o inestable.

Se asume que el FS es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla.

El valor de seguridad calculado dependerá de:

La precisión de los parámetros mecánicos del suelo obtenidos en los ensayos de laboratorio.

El método de análisis de estabilidad utilizado y la forma en que se definan los valores de las presiones intersticiales a usar en cada uno de ellos.

Superficie de falla. En taludes siempre se ha imaginado que la falla ocurre como un deslizamiento de la masa de suelo, actuando como un cuerpo rígido, a lo largo de la superficie de falla supuesta. Al analizar la posibilidad de dicho suceso se admite que el suelo desarrolla en todo punto de la superficie de falla la máxima resistencia considerada.

3.6. DIAGRAMA GENERAL DE PROGRAMACION

El diagrama de flujo general de programación se detalla en el **Anexo 1**.

3.7. DIAGRAMAS DE FLUJO PARA EL CÁLCULO DEL F.S

En esta sección se dan a conocer los diagramas de flujo elaborados para el cálculo del Factor de Seguridad aplicando la teoría de:

Método de Bishop Simplificado **Anexo 2**.

Método de Janbu Simplificado **Anexo 3**.

Desarrollo General del Método de las Dovelas **Anexo 4**

¹³ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: NSR-10. Bogotá: 2010.

4. FASE DE DISEÑO

Una vez analizada la información de entrada, información de salida y los algoritmos para el cálculo del factor de seguridad, el diseño es la primera de las tres actividades técnicas para la elaboración del software en la cual se crean las *interfaces*, las *clases*, los miembros de clase y se define la forma en la que se asocian estas para cumplir con el objetivo del software.

4.4. INTERFAZ GRAFICA

La interfaz de la pantalla de inicio del software (Figura 10) contiene los componentes utilizados (label, button, list, text área, etc) para crear un nuevo proyecto, graficar (perfil, nivel freático, límites de los estratos y superficie de falla), asignar las propiedades del suelo a los estratos, seleccionar el método de análisis, calcular el factor de seguridad, determinar la estabilidad del talud y observar el procedimiento de cálculo. En alguna de las anteriores funciones el componente utilizado puede abrir otra interfaz como las que se dan a conocer en el **Anexo 5**.

4.5. CLASES

En programación orientada a objetos una *clase* es un conjunto de datos y operaciones comunes a un conjunto de objetos.

Las *clases* son agrupadas en *paquetes*, en el presente proyecto se trabajó con dos *paquetes* (interfaces y talud), a continuación se da a conocer el nombre de las *clases* utilizadas en el Software y el objetivo de cada una de ellas.

Tabla 3. Clases utilizadas en el paquete interfaces

CLASE	OBJETIVO
AnchoDovela	Detalla lo referente al ancho de dovela.
AnguloBishop	Detalla lo referente al ángulo de inclinación de la dovela en superficie de falla circular
AnguloJanbu	Detalla lo referente al ángulo de inclinación de la dovela en superficie de falla compuesta.
Cohesion	Detalla lo referente a la Cohesión del suelo.
Configuración	Dar a conocer al usuario la configuración predeterminada del Software
CosAngulo	Detalla lo referente a las funciones trigonométricas del ángulo de inclinación de la dovela.

DistanciaE	Detalla a las distancias con respecto al centro de momentos.
DistanciaF	Detalla a las distancias con respecto al centro de momentos.
DistanciaR	Detalla a las distancias con respecto al centro de momentos.
FSBishop	Dar a conocer conceptos y fórmulas para el cálculo del Factor de Seguridad por el método de Bishop.
FSJanbu	Dar a conocer conceptos y fórmulas para el cálculo del Factor de Seguridad por el método de Janbu.
FSMGeneral	Dar a conocer conceptos y fórmulas para el cálculo del Factor de Seguridad por el método General de las Dovelas.
FactorFo	Dar a conocer el concepto, fórmulas y gráficas del factor de corrección por curvatura.
FactorMa	Dar a conocer conceptos y fórmulas del factor Ma.
FactorP	Dar a conocer las fórmulas utilizadas para el cálculo del factor P.
FuerzaAgua	Dar a conocer conceptos y fórmulas de la Fuerza del Agua.
LongitudDovela	Detalla lo referente a la longitud de la dovela.
NDovela	Detalla lo correspondiente al número de la dovela.
PresionPoros	Da conocer el concepto y la fórmula utilizada para el cálculo de la presión de poros.
Procedimiento	Explicar los pasos para el cálculo el Factor de Seguridad.
Proyecto	Administrar todas las clases.
SenAngulo	Detalla lo referente a las funciones trigonométricas del ángulo de inclinación de la dovela.
TanAFriccion	Detalla lo referente al coeficiente de fricción.
TanAngulo	Detalla lo referente a las funciones trigonométricas del ángulo de inclinación de la dovela.
VerDetallePaso4	Explicar cómo se divide una dovela.
WPeso	Mostrar lo referente al Peso de la Dovela.
XiAbscisa	Detalla lo correspondiente a la abscisa inicial de cada dovela.
panelGraficas	Graficar todo lo que el usuario puede observar.

Tabla 4. Clases utilizadas en el paquete talud

CLASE	OBJETIVO
AlturaDovela	Obtener y asignar valores para calcular la altura en la abscisa inicial y final de la dovela.
Coordenadas	Leer las coordenadas del perfil, nivel freático, superficie de falla o límites de estratos que se ingresan por el usuario.
CoordenadasCirculo	Leer las coordenadas del centro y el radio de la circunferencia.
CortesDovela	Obtener y asignar valores en los puntos e intersección del límite de la dovela con el perfil, estrato o superficie de falla.
Dovela	Realizar cálculos correspondientes a cada dovela.
Estrato	Contiene los métodos para leer y graficar las coordenadas de los estratos ingresadas por el usuario.
NivelFreatico	Contiene los métodos para leer y graficar las coordenadas del nivel freático ingresadas por el usuario.

Perfil	Contiene los métodos para leer y graficar las coordenadas del perfil ingresadas por el usuario.
SuperficieFalla	Contiene los métodos para leer y graficar las coordenadas de la superficie de falla ingresadas por el usuario.
Talud	Realizar los cálculos para obtener el Factor de Seguridad

El diagrama de las anteriores clases se puede observar en el **Anexo 6**.

4.6. DIAGRAMA DE CLASES

Un diagrama de Clases describe gráficamente las especificaciones de las clases de software y de las interfaces en una aplicación. Contiene clases, asociaciones y atributos; interfaces, con sus operaciones y constantes; métodos; información sobre los tipos de atributos; navegabilidad y dependencias.

En una clase se destacan tres partes importantes:

Tabla 5. Descripción de las partes de una clase

Nombre de la clase
Con el nombre de la clase se identifican a todos los objetos que tengan determinadas características.
Atributos
Los atributos diferencian una clase de objetos de otros y determinan la apariencia, estado y otras cualidades de la clase.
Métodos
Son grupo de instrucciones asociadas en una clase de objetos que actúan en sí mismos y en otras clases y objetos. Se usan para realizar tareas específicas, del mismo modo que las funciones se usan en otros lenguajes de programación.

Figura 10. Interfaz de la pantalla de inicio del software

Proyecto Perfil Nivel Freatico Estratos Suelos Método Superficie Falla

Area de dibujo

min X:

min Z:

max X:

max Z:

Asignar Fin Ubicar Puntos

Datos de circunferencia

x(m)

z(m)

r(m)

Graficar Ver

Estrato 1

Asignar

Propiedades del Suelo

Peso específico (Ton/m3)

Peso específico Sumergido (Ton/m3)

Cohesión (Ton/m2)

Angulo Fricción (°)

Factor de Seguridad

calcular FS Bishop FS

calcular FS Janbu FS

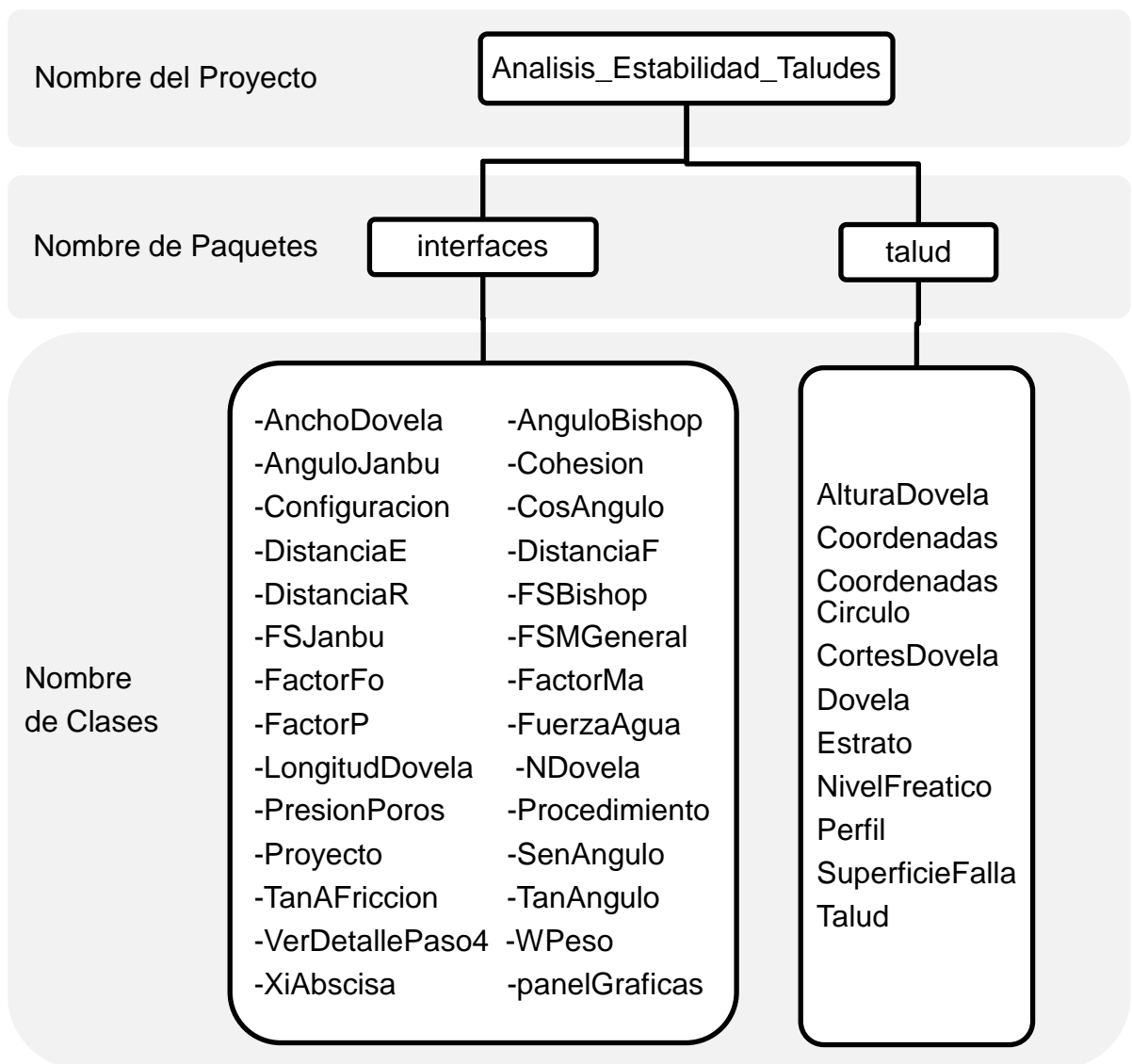
calcular FS M. General FS

Ver Procedimiento

4.7. DISTRIBUCIÓN DE PAQUETES

Los paquetes son una forma de agrupar clases en interfaces asociadas. El siguiente diagrama permite observar la distribución de los paquetes y sus respectivas clases.

Figura 11. Distribución de paquetes



5. FASE DE CODIFICACION

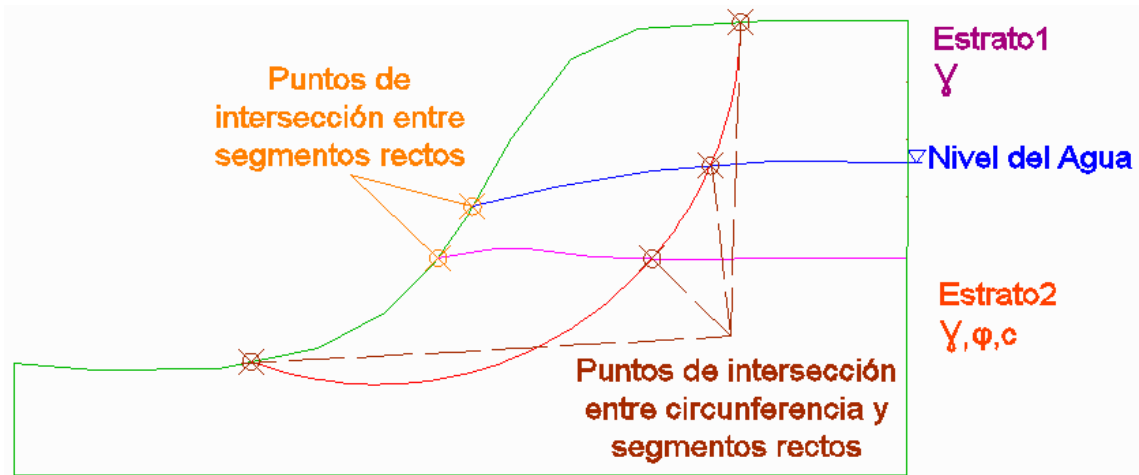
En esta fase la información ingresada por el usuario y los algoritmos elaborados para cada método de análisis de estabilidad de taludes se traducen a un lenguaje de programación.

Para encontrar los **puntos de intersección** del perfil, el nivel freático, los límites de los estratos y la superficie de falla (circular o compuesta) que están dentro de la masa fallada se codificaron algunos métodos (Tabla 6) que utilizan las coordenadas ingresadas por el usuario y aplicando ciertas fórmulas. fórmula 16 y 17 para buscar la intersección entre segmentos rectos (Figura 12) que hacen parte de las gráficas ingresadas y fórmula 18 y 19 para buscar la intersección entre estos segmentos y la circunferencia (Figura 12).

Para superficies de falla circulares	Para superficies de falla compuesta	Descripción del Método
public void buscarPINF()	public void buscarPINFSupCompuesta()	Busca el punto de intersección entre el perfil y el nivel freático.
public void buscarPIE()	public void buscarPIESupCompuesta()	Busca los puntos de intersección entre el perfil y los límites de los estratos.
public void buscarPISFBishop()	public void buscarPISupCompuesta()	Busca los puntos de intersección entre el perfil y la superficie de falla.
public void buscarSFINF()	public void buscarSFINFSupCompuesta()	Busca el punto o los puntos de intersección entre la superficie de falla y el nivel freático.
public void buscarSFIE()	public void buscarSFIESupCompuesta()	Busca el punto o los puntos de intersección entre la superficie de falla y los límites de los estratos.

Tabla 6. Métodos codificados para encontrar puntos de intersección.

Figura 12. Puntos de intersección en la masa fallada



Fórmula 16: Abscisa en el punto de intersección entre dos rectas

$$X = \frac{\left[Z_a - \left(\frac{Z_b - Z_a}{X_b - X_a} \right) * X_a \right] - \left[Z_1 - \left(\frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1} \right) * X_1 \right]}{\left(\frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1} \right) - \left(\frac{Z_b - Z_a}{X_b - X_a} \right)}$$

Fórmula 17: Ordenada en el punto de intersección entre dos rectas

$$Z = (x - x_1) * \frac{(z_2 - z_1)}{(x_2 - x_1)} + z_1$$

O también:

$$Z = (x - x_a) * \frac{(z_b - z_a)}{(x_b - x_a)} + z_a$$

X: Abscisa del punto de intersección.

Z: Ordenada del punto de intersección.

X_a: Abscisa inicial de la recta ab.

Z_a: Ordenada inicial de la recta ab.

X_b: Abscisa final de la recta ab.

Z_b: Ordenada final de la recta ab.

X₁: Abscisa inicial de la recta 12.

Z₁: Ordenada inicial de la recta 12.

X₂: Abscisa final de la recta 12.

Z₂: Ordenada final de la recta 12.

Fórmula 18: Abscisa en el punto de intersección entre una recta y una circunferencia:

$$F1 = \frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1}, \quad F2 = Z_1 - \left(\frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1} \right) * X_1$$

$$X = \frac{-(2F1F2 - 2bF1 - 2a) \pm \sqrt{(2F1F2 - 2bF1 - 2a)^2 - 4 * (F1^2 + 1) * [(F2 - b)^2 + a^2 - r^2]}}{2 * (F1^2 + 1)}$$

Fórmula 19: Ordenada en el punto de intersección entre una recta y una circunferencia

$$Z = \frac{-(-2b) \pm \sqrt{(-2b)^2 - 4 * (1) * [b^2 + (X - a)^2 - r^2]}}{2 * (1)}$$

X: Abscisa del punto de intersección.

Z: Ordenada del punto de intersección.

X₁: Abscisa inicial de la recta.

Z₁: Ordenada inicial de la recta.

X₂: Abscisa final de la recta.

Z₂: Ordenada final de la recta.

F1 y F2: Factores utilizados para los cálculos.

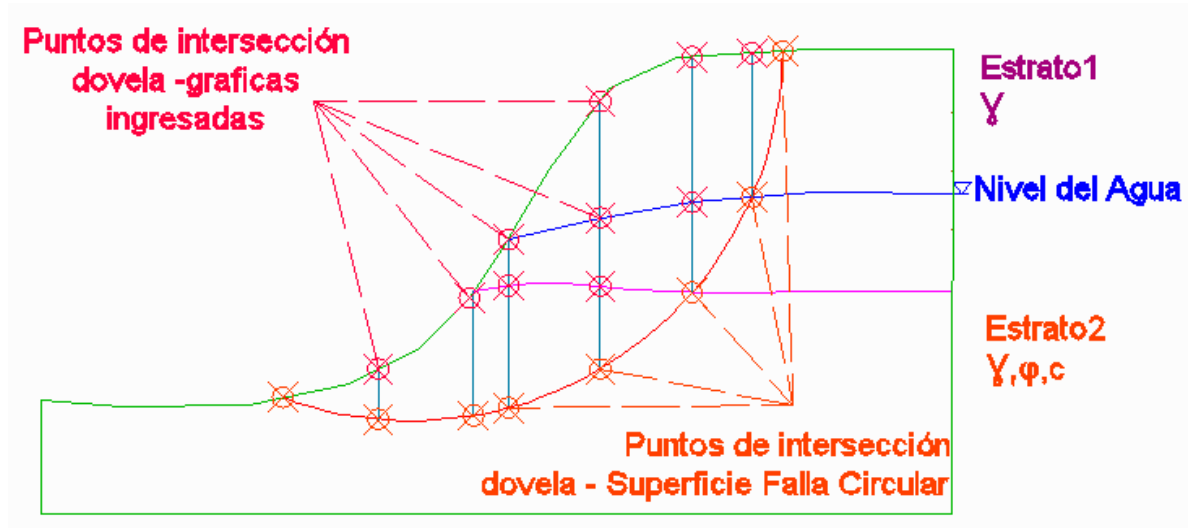
a: Abscisa en el centro de la circunferencia

b: Ordenada en el centro de la circunferencia

r: Radio de la circunferencia

Para encontrar las **ordenadas de los puntos de intersección o cortes de dovelas** entre los límites de las dovelas y las gráficas ingresadas por el usuario (Figura 13) se codificó el método crear Dovelas para superficies de falla circulares y crearDovelasSupCompuesta para superficies de falla no circulares. En estos métodos se utilizan las abscisas de los puntos de intersección encontrados anteriormente y los segmentos rectos de las gráficas ingresadas y se aplica la fórmula 17 para encontrar las ordenadas superior e inferior de cada abscisa y la fórmula 19 para obtener las ordenadas de cada abscisa en la superficie de falla circular.

Figura 13. Puntos de intersección de dovelas



Para calcular la **altura** en cada abscisa de las dovelas (Figura 14) se codificó el método `calcularAlturasCortes` el cual analiza los cortes en cada dovela y utiliza una o varias de las siguientes fórmulas.

Fórmula 20: Altura de la dovela comprendida entre el perfil y la superficie de falla.

$$h_i = Corte_p - Corte_{SF}$$

Fórmula 21: Altura de la dovela comprendida entre el perfil y el estrato

$$h_i = Corte_p - Corte_E$$

Fórmula 22: Altura de una dovela comprendida entre el estrato y la superficie de falla.

$$h_i = Corte_E - Corte_{SF}$$

En las anteriores fórmulas

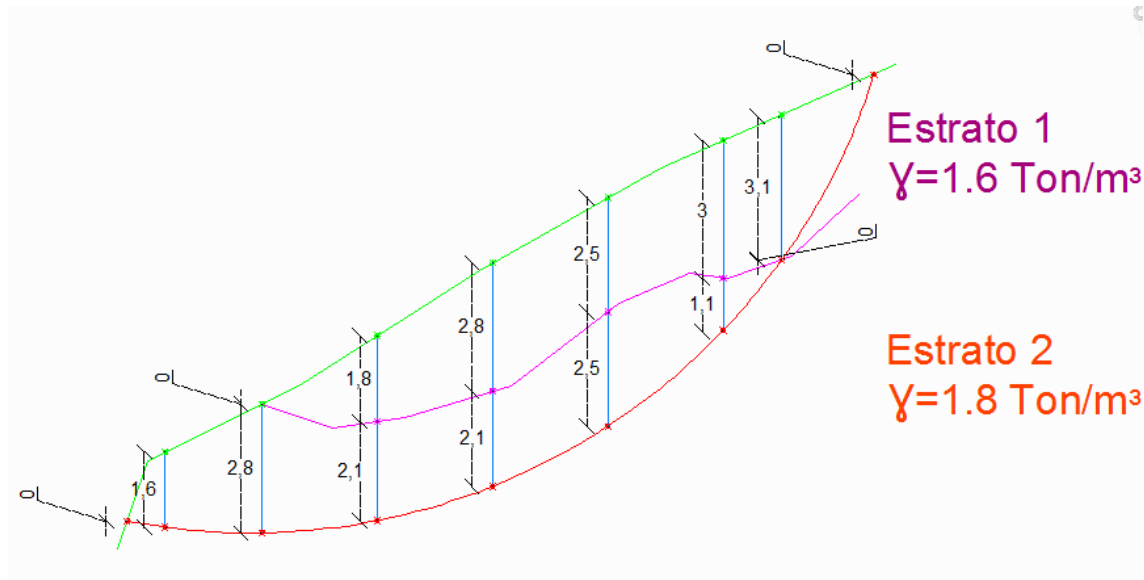
h_i : Altura de una dovela en cada abscisa

$Corte_p$: Componente z del punto de intersección entre el límite de la dovela y el perfil.

Corte_E: Componente z del punto de intersección entre el límite de la dovela y el Estrato.

Corte_{SF}: Componente z del punto de intersección entre el límite de la dovela y la Superficie de Falla.

Figura 14. Alturas en cada abscisa de las dovelas



6. FASE DE PRUEBAS

En esta etapa se realizaron pruebas al software con ejemplos de diferente complejidad, algunos de ellos tomados del libro Estabilidad de Taludes en zonas tropicales¹⁴, en los cuales se cambia la geometría del talud, las propiedades del suelo, se modifica el número de estratos, la presencia de aguas freáticas y se utilizan superficies de falla circular y compuesta.

Las pruebas se realizaron verificando que los módulos funcionen correctamente de manera individual o en conjunto y se realizaron los ajustes necesarios al software.

Para los ejemplos tomados de la referencia bibliográfica citada se realizó la comparación de los resultados obtenidos en el software con los resultados obtenidos en dichos ejemplos.

Con el fin de corroborar el procedimiento de cálculo y que las fórmulas utilizadas en el software hayan sido correctamente aplicadas se realizó el cálculo del factor de seguridad **Anexo 7** con la ayuda de programas como Microsoft Excel para aplicar las fórmulas y AutoCAD para obtener valores exactos de coordenadas, distancias y áreas.

Los siguientes ejemplos fueron tomados del libro Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales¹⁴, en los cuales se realiza el cálculo del factor de seguridad colocando a prueba el software y comparando dichos resultados con los proporcionados por el libro.

Ejemplo N.1

Se calcula el Factor de Seguridad para un círculo de falla en un talud alto en formación de suelos cementados duros que descansa sobre arcillas arenosas de consistencia mediana y donde aparecen grietas de tensión profundas¹⁵.

¹⁴ SUAREZ DIAZ, Jaime, Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. 1ed, Bucaramanga, 1989.

¹⁵ SUAREZ DIAZ, Jaime, Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. 1ed, Bucaramanga, 1989. Pág. 182.

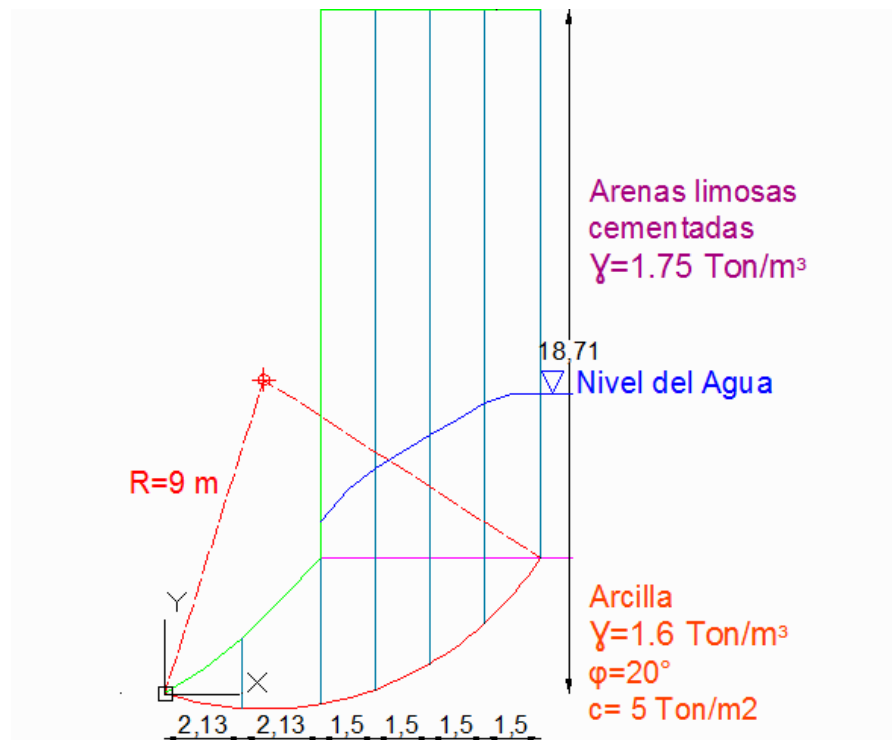


Figura 15. Representación del ejemplo 1

Se calcula el factor de seguridad mediante el método de Bishop Simplificado y se compara este resultado con el valor del factor de seguridad del libro, por lo cual se establece que los resultados son bastante similares.

Tabla 7. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 1

Método	FS	
	Software	Libro Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales
Bishop Simplificado	1.2003	1.22

Ejemplo N.2

Se considera un talud de 9.9 m de altura conformado por 1 estrado de ciertas propiedades y presencia de aguas freáticas tal como se observa en la Figura 16. Se analiza el ejemplo para una superficie de falla no circular¹⁶.

¹⁶ SUAREZ DIAZ, Jaime, Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. 1ed, Bucaramanga, 1989. Pág. 187.

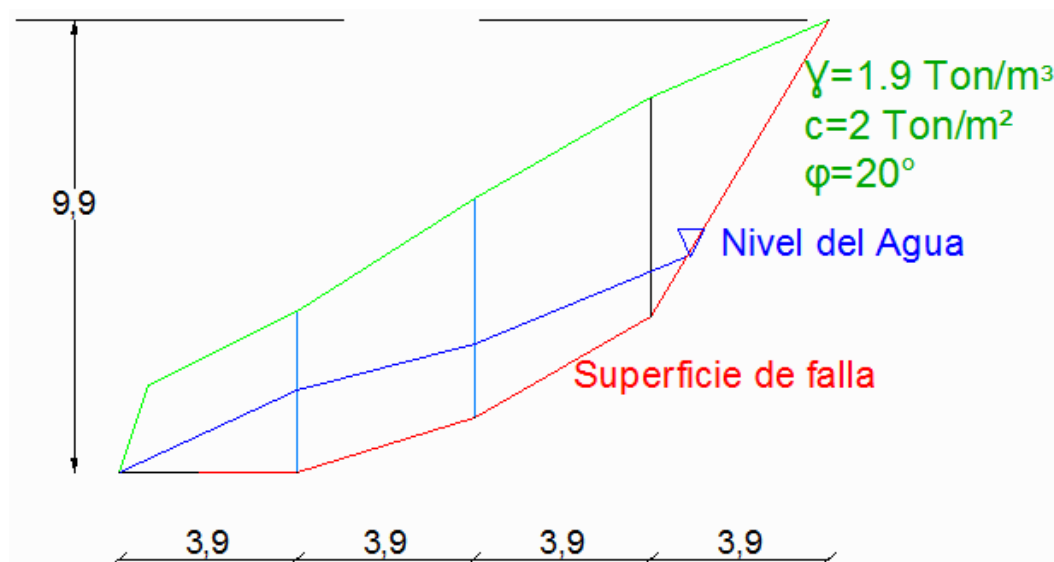


Figura 16. Representación del ejemplo 2

Se calcula el factor de seguridad mediante el método de Janbu Simplificado y se compara este resultado con el del libro. El valor obtenido en el software dista del valor obtenido en el libro debido a que no se cuenta con las coordenadas exactas del perfil, el nivel freático y la superficie de falla.

Tabla 8. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 2

Método	FS	
	Software	Libro Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales
Janbu Simplificado	1.63	1.46

En los siguientes ejemplos se coloca a prueba al software con taludes de diferentes características geométricas, conformados por varios estratos y diferentes propiedades del suelo. La finalidad de realizar estos ejemplos es la verificación de que las fórmulas y el procedimiento codificado en el software hayan sido correctamente aplicados, por lo cual se comparan estos resultados con los obtenidos mediante cálculos realizados en Excel.

Ejemplo N.3

Se considera un talud de 6.9 m de altura conformado por 3 estrados de diferentes propiedades y presencia de aguas freáticas tal como se observa en la Figura 17. Se analiza el ejemplo para una superficie de falla circular con centro en el punto (8, 3) y radio 3m.

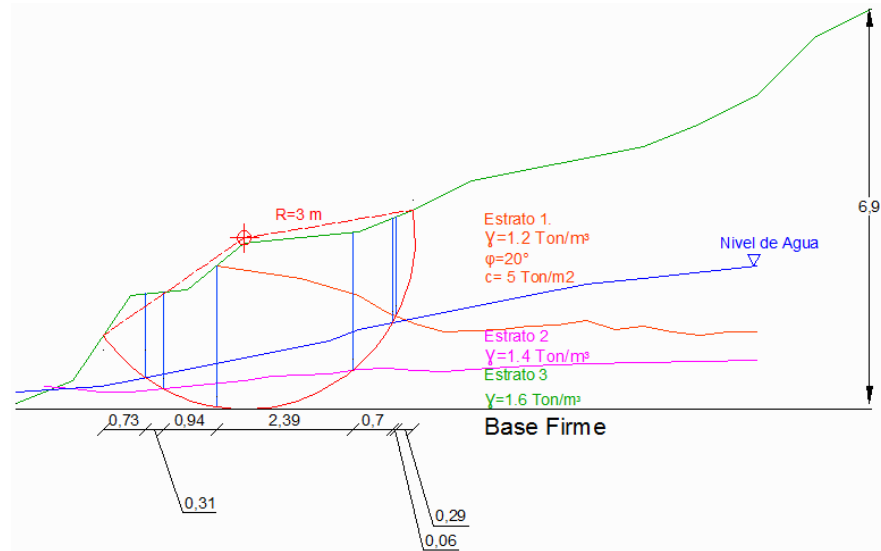


Figura 17. Representación del ejemplo 3

Se calcula el factor de seguridad mediante el método de Bishop Simplificado y el desarrollo General del Método de las Dovelas.

Tabla 9. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 3

Método	FS		Variación Porcentual
	Excel	Software	
Bishop Simplificado	20.1735	20.3376	1 %
Método General	21.6884	21.9847	1 %

Ejemplo N.4

Se considera un talud de 10.4 m de altura conformado por 2 estrados de diferente peso específico, $c=5 \text{ Ton/m}^2$, $\phi=20^\circ$ y presencia de aguas freáticas tal como se observa en la Figura 17. Se analiza el ejemplo para una superficie de falla circular con centro en el punto (7, 15) y radio 14 m.

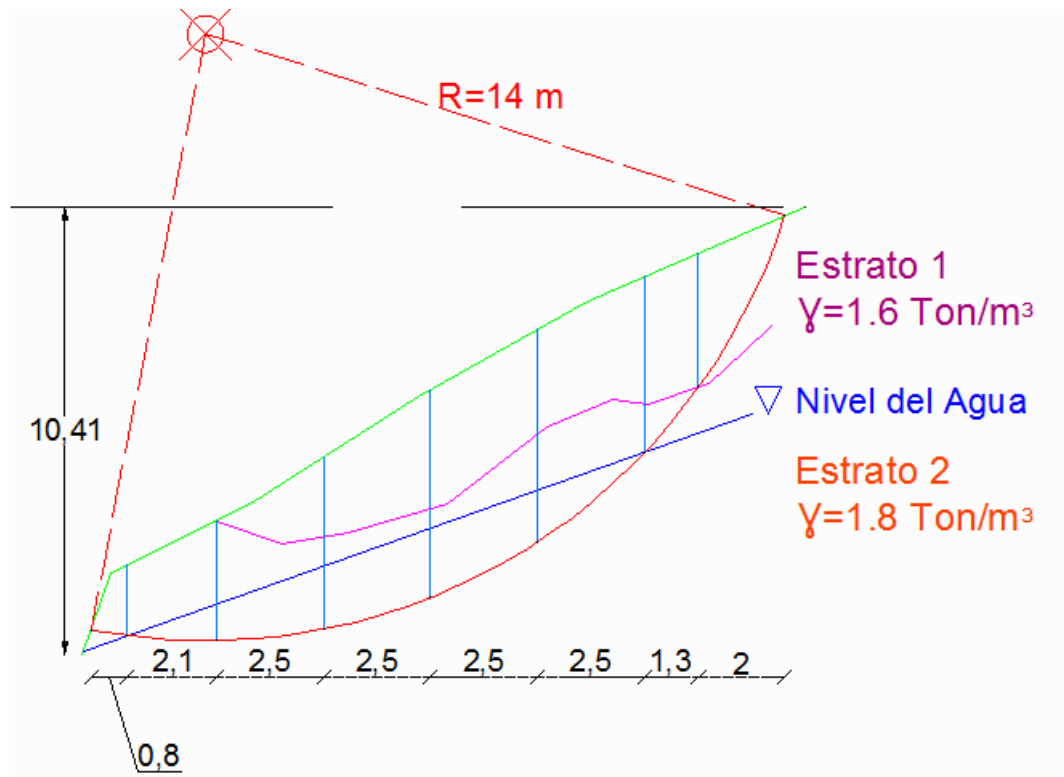


Figura 18. Representación del ejemplo 4

Se calcula el factor de seguridad mediante el método de Bishop Simplificado y el desarrollo General del Método de las Dovelas.

Tabla 10. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 4

Método	FS		Variación Porcentual
	Excel	Software	
Bishop Simplificado	3.4022	3.3967	0 %
Método General	3.3553	3.3867	1 %

Ejemplo N.5

Se considera un talud de 9.9 m de altura conformado por 2 estratos de diferentes propiedades y presencia de aguas freáticas tal como se observa en la Figura 19. Se analiza el ejemplo para una superficie de falla no circular.

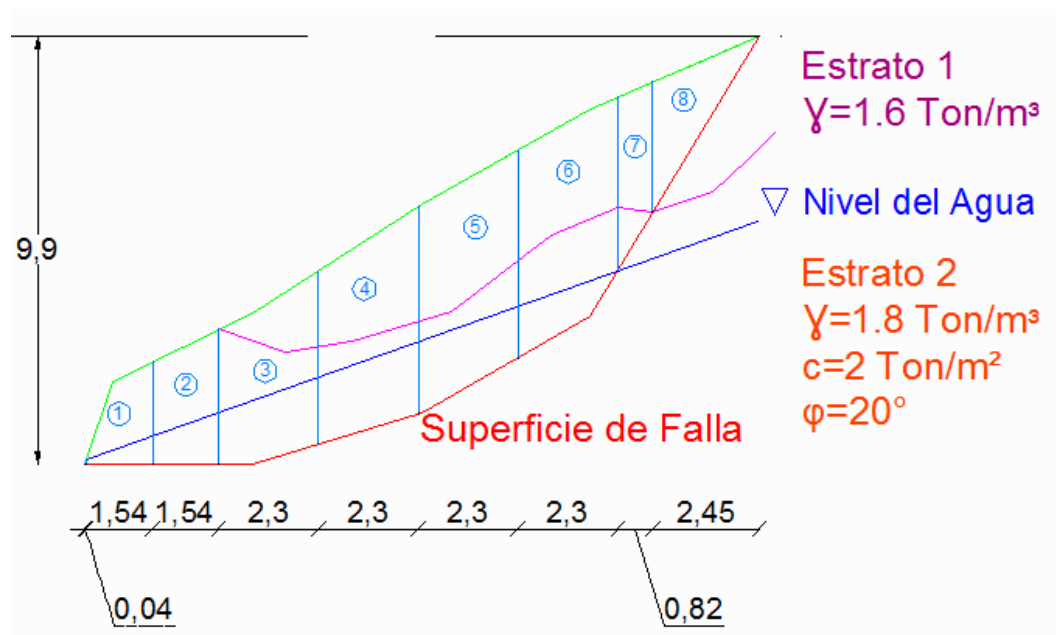


Figura 19. Representación del ejemplo 5

Se calcula el factor de seguridad mediante el método de Janbu Simplificado y el desarrollo General del Método de las Dovelas.

Tabla 11. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 5

Método	FS		Variación Porcentual
	Excel	Software	
Janbu Simplificado	1.8812	1.8812	0 %
Método General	1.7856	1.7862	0 %

Ejemplo N.6

Se considera un talud de 9.9 m de altura conformado por 2 estrados de diferentes propiedades y presencia de aguas freáticas tal como se observa en la Figura 20. Se analiza el ejemplo para una superficie de falla no circular.

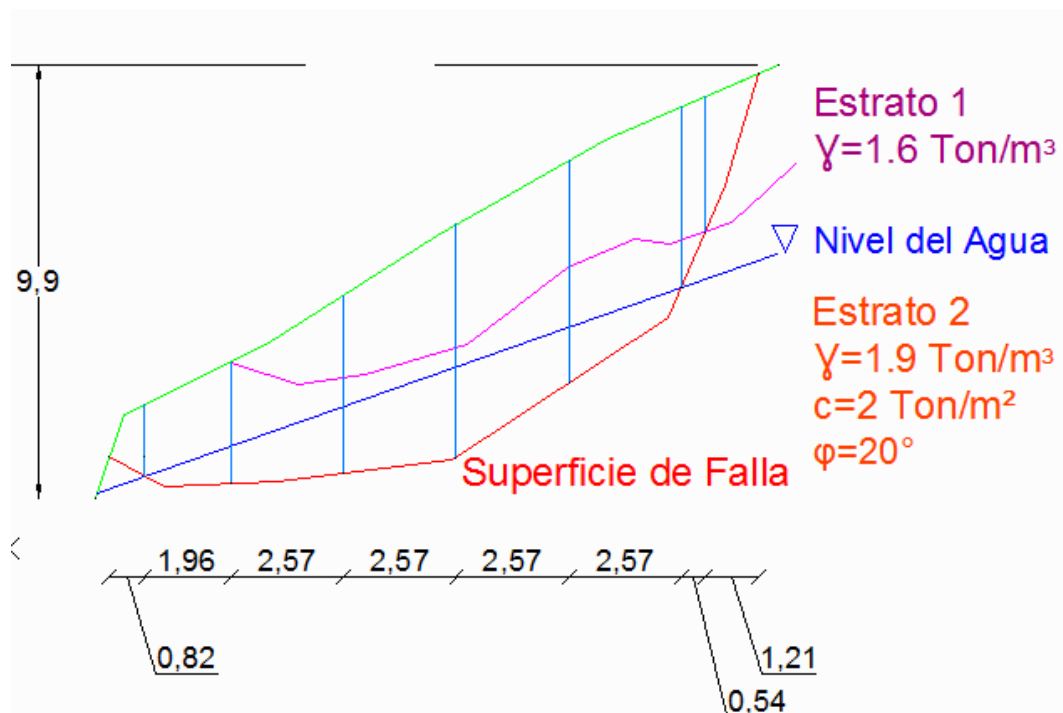


Figura 20. Representación del ejemplo 6

Se calcula el factor de seguridad mediante el método de Janbu Simplificado y el desarrollo General del Método de las Dovelas

Tabla 12. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 6

Método	FS		Variación Porcentual
	Excel	Software	
Janbu Simplificado	1.9730	1.9734	0 %
Método General	1.8718	1.8729	0 %

Ejemplo N.7

Se considera un talud de 8.66 m de altura conformado por 1 estrato con ciertas propiedades y presencia de aguas freáticas tal como se observa en la Figura 21. Se analiza el ejemplo para una superficie de falla no circular.

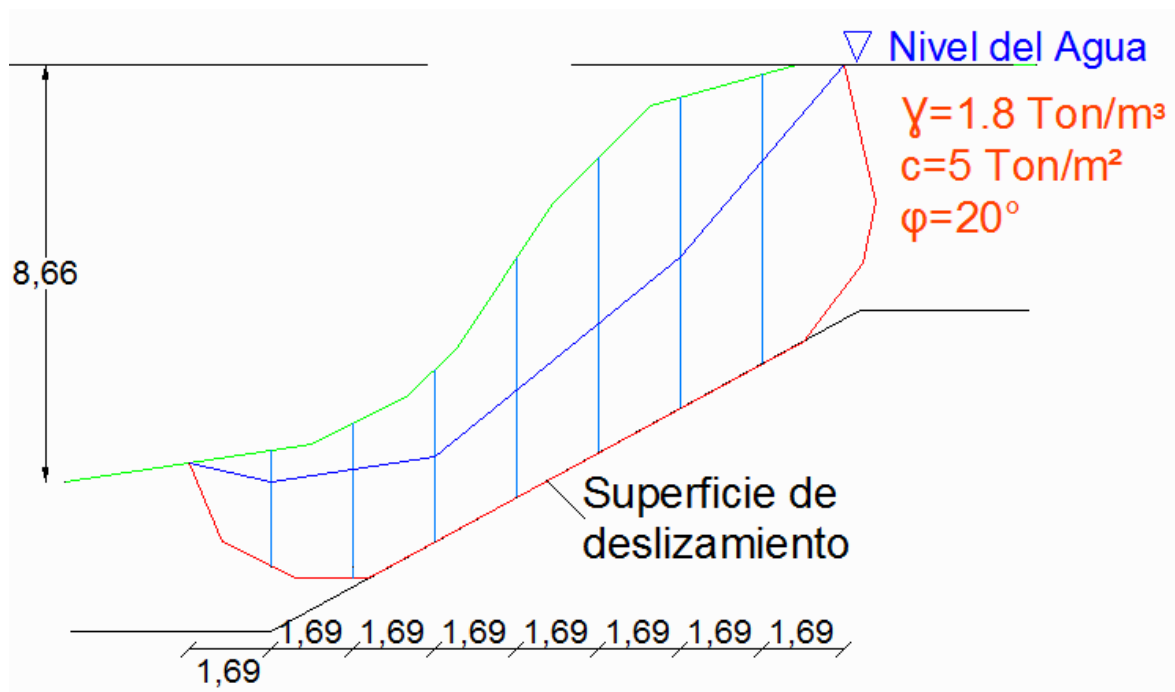


Figura 21. Representación del ejemplo 7

Se calcula el factor de seguridad mediante el método de Janbu Simplificado y el desarrollo General del Método de las Dovelas.

Tabla 13. Valores del factor de seguridad obtenidos para el ejemplo 7

Método	FS		Variación Porcentual
	Excel	Software	
Janbu Simplificado	3.1738	3.174	0 %
Método General	3.32	3.3254	0 %

En los anteriores ejemplos es posible evidenciar que el valor calculado, es decir el valor obtenido por el software varía entre 0 y 1% con respecto al valor real, el obtenido mediante cálculos realizados en el programa Microsoft Excel.

Lo anterior debido a que para el cálculo del área de las dovelas en el software se aplicó la fórmula del método del trapecio, la cual considera ciertos errores, mientras que para los valores reales del factor de seguridad se utilizó el programa Autocad que determinó el área de las dovelas.

Lo anterior se ve reflejado en los resultados ya que para el cálculo del factor de seguridad se considera el peso de cada dovela y este a su vez considera el área de cada dovela.

7. MANUAL DE PROCEDIMIENTO

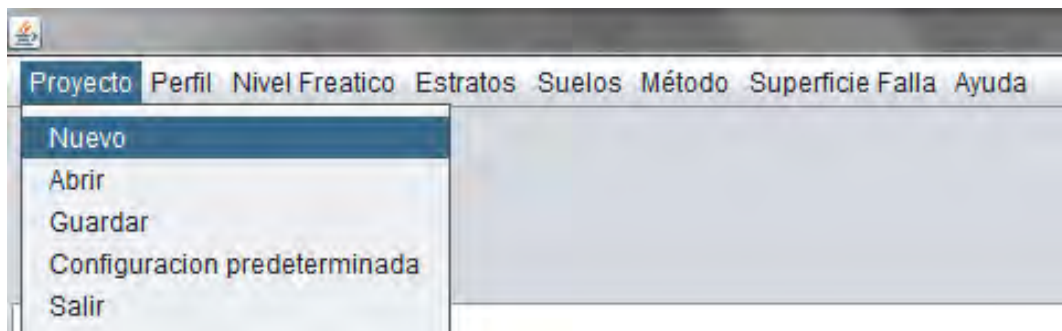
El análisis de estabilidad de un talud por los métodos de las dovelas considera dos tipos de fuerzas que actúan sobre la masa fallada. Aquellas que tienden a producir la falla como la gravedad y el efecto del agua presente en los materiales que conforman el talud y las fuerzas resistentes como el esfuerzo cortante del suelo.

El cálculo de estas fuerzas se realiza en cada porción o dovela de la masa fallada conociendo las condiciones del talud y las propiedades del suelo que lo conforma y aplicando la teoría de cada uno de los métodos, el método de Bishop Simplificado el cual considera superficies de falla circulares, el método de Janbu Simplificado que considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y mediante el desarrollo general del Método de las Dovelas el cual cumple con los dos métodos anteriores para el cálculo del factor de seguridad de un talud suponiendo una superficie de falla.

En el presente manual se da a conocer la forma de crear un proyecto ingresando la información del talud y el proceso que se lleva a cabo para calcular el factor de seguridad. En el manual de Usuario (Anexo 8) se explica el funcionamiento de cada componente del software con el fin de que el usuario cuente con una guía útil que le ayude a entender el manejo de esta herramienta informática. Para revisar la utilidad del manual de usuario algunos estudiantes y profesionales en Ingeniería Civil colocaron a prueba el software basándose en la explicación proporcionada en este manual.

En el manual de procedimiento se crea un nuevo proyecto seleccionando el menú *Proyecto* y el ítem *Nuevo* Figura 22.

Figura 22. Opción para crear un nuevo proyecto

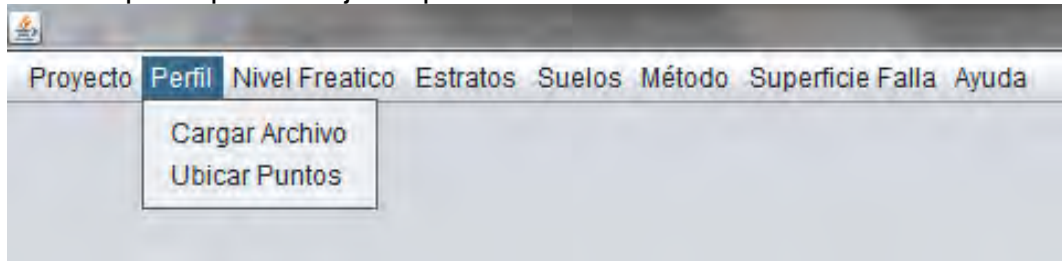


Se dibuja el perfil del talud, para lo cual el software cuenta con dos opciones Figura 23.

La primera es el ítem *Cargar Archivo* del menú *Perfil* que permite ingresar las coordenadas (x, z) del perfil cargando un archivo de texto en formato *txt*.

La segunda es el ítem *Ubicar Puntos* de menú *Perfil* que permite al usuario ubicar manualmente los puntos que hacen parte del perfil dando clic izquierdo sobre la pantalla.

Figura 23. Opción para dibujar el perfil del talud

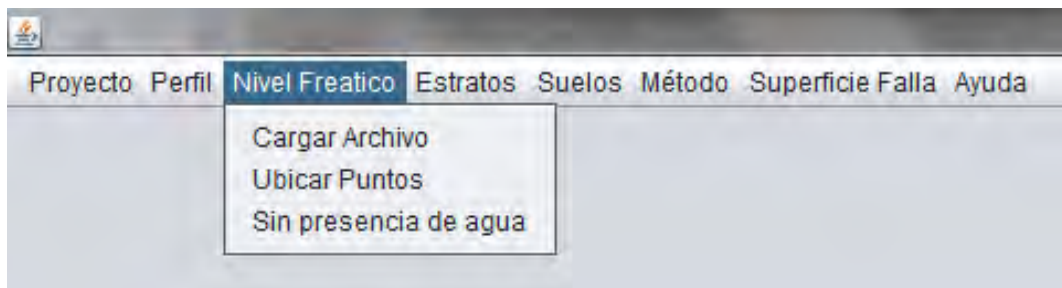


Se debe especificar la presencia de agua en el talud Figura 24.

Si cuenta con aguas freáticas se dispone de dos opciones para graficar el nivel freático. El ítem *Cargar Archivo* el cual permite ingresar las coordenadas (x, z) del nivel freático cargando un archivo de texto en formato *txt* y el ítem *Ubicar Puntos* el cual le permite al usuario ubicar manualmente los puntos del nivel freático dando clic izquierdo sobre la pantalla.

Si no cuenta con aguas freáticas el software tiene la opción *Sin presencia de agua*.

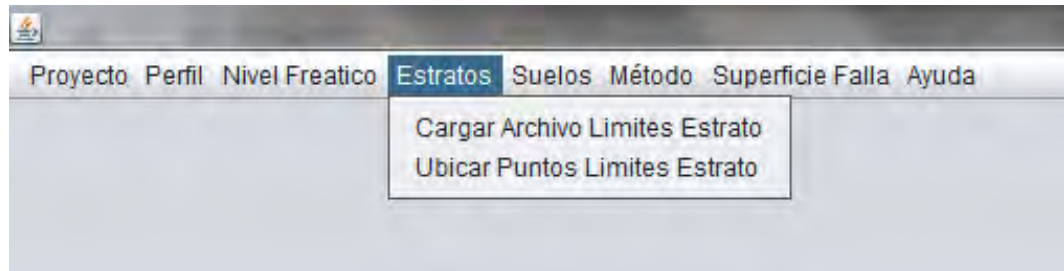
Figura 24. Opción para dibujar el nivel freático



Se dibujan los límites de los estratos del talud seleccionando una de las dos opciones con las que cuenta el software Figura 25. La opción *Cargar Archivo Limites Estrato* la cual permite ingresar las coordenadas (x, z) que limitan los estratos cargando un archivo de texto en formato *txt* o la opción *Ubicar Puntos*

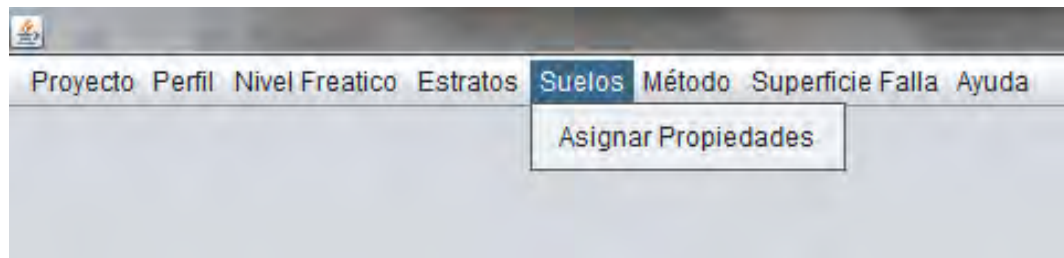
Limites Estrato la cual le permite al usuario ubicar manualmente los puntos que limitan los estratos dando clic izquierdo sobre la pantalla.

Figura 25. Opción para dibujar los límites de los estratos.



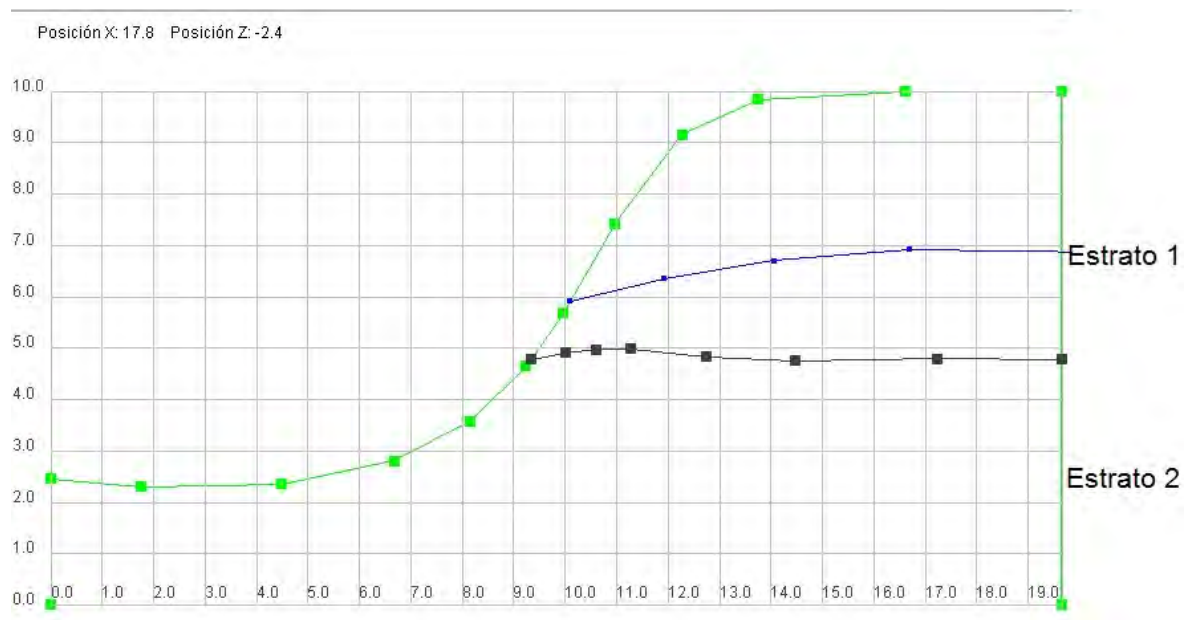
Las propiedades de los materiales tales como cohesión, ángulo de fricción y peso específico son ingresadas al seleccionar el ítem *Asignar Propiedades* del menú *Suelos* Figura 26.

Figura 26. Opción para asignar las propiedades del suelo a cada estrato.



La representación gráfica después de haber ingresado el perfil, el nivel freático y los límites de los estratos es la siguiente:

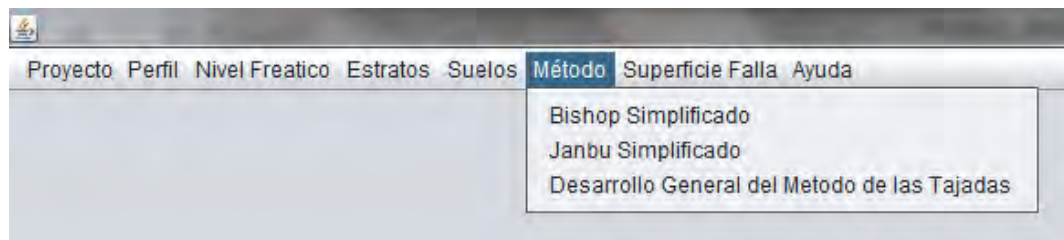
Figura 27. Grafica del talud en el panel del software.



El software permite analizar la estabilidad de un talud mediante la aplicación de la teoría del método de Bishop Simplificado y Janbu Simplificado que considera superficies de falla no circulares.

Adicional a estos métodos el software permite el análisis de la estabilidad de un talud aplicando la teoría General del Método de las Tajadas, el cual considera superficies de falla circular y compuesta Figura 28.

Figura 28. Opción para seleccionar el método de análisis.



Una vez se haya ingresado toda la información necesaria como lo es el perfil, los estratos, las propiedades del suelo de cada estrato, el nivel freático y la superficie de falla, el software identifica la masa fallada como el área entre el perfil del talud y la superficie de falla y la divide en dovelas o tajadas verticales.

Las dovelas son ubicadas en los puntos de intersección entre: la superficie de falla y el perfil, la superficie de falla y los estratos, la superficie de falla y el nivel freático y en los puntos de intersección entre el perfil y los estratos Figura 13.

Si el ancho de dovela es mayor a la tercera parte del ancho de la masa fallada, la dovela se dividirá en la mitad hasta que se cumpla esta condición Figura 29.

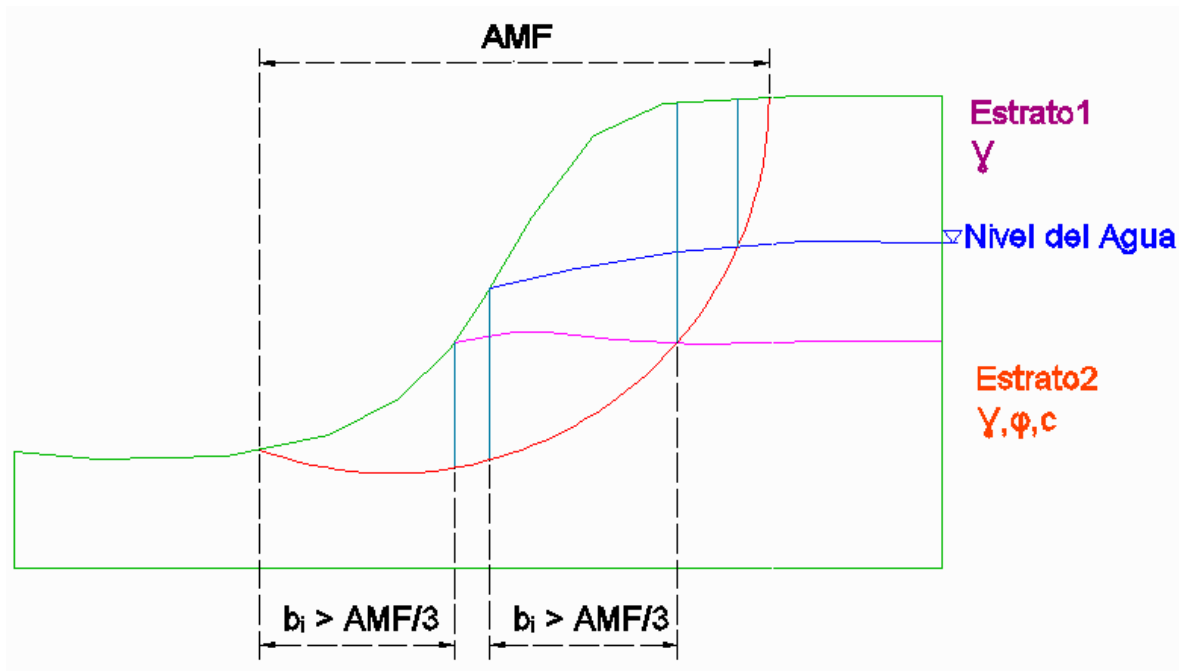
$$\text{si } b_i > \frac{AMF}{3}; b = \frac{b_i}{2}$$

AMF=Ancho masa fallada

b_i = ancho inicial de la dovela

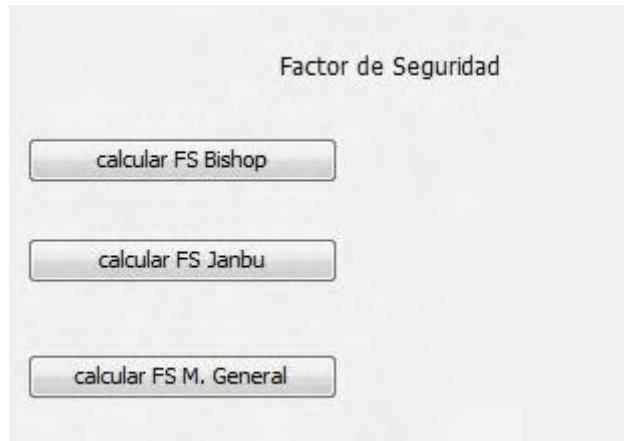
b : ancho de la dovela

Figura 29. Comparación de ancho de dovela y ancho de masa fallada.



Al seleccionar el método a trabajar se activa la opción de cálculo Figura 30 y el software realizara diferentes operaciones para proporcionar al usuario un resultado final como es el Factor de Seguridad y la estabilidad del talud.

Figura 30. Opción para el cálculo del factor de seguridad

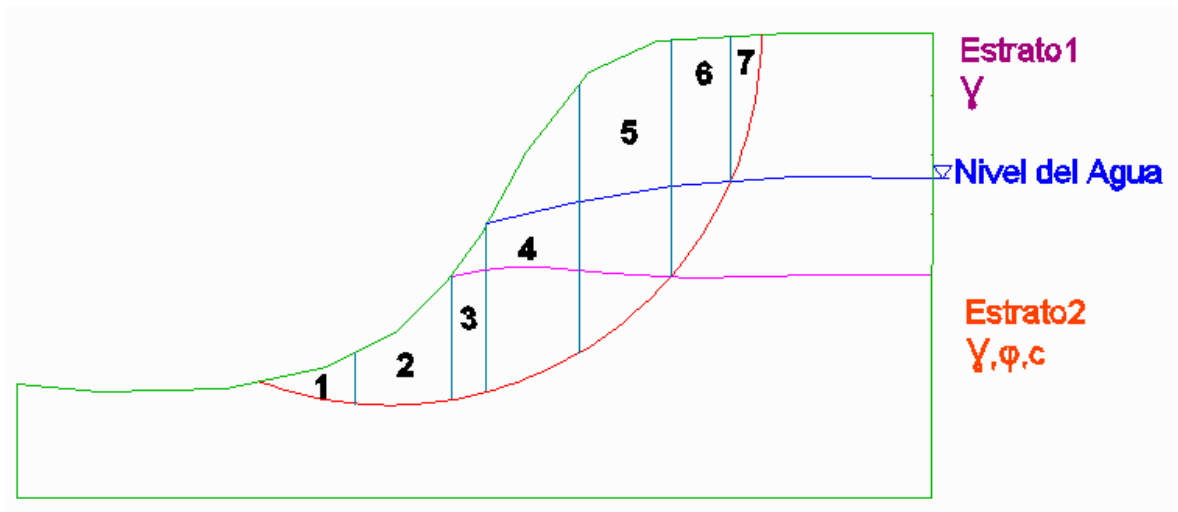


Método de Bishop Simplificado

ND. Numero de Dovela

Se identifica la dovela asignándole un número Figura 31. Este valor es adimensional.

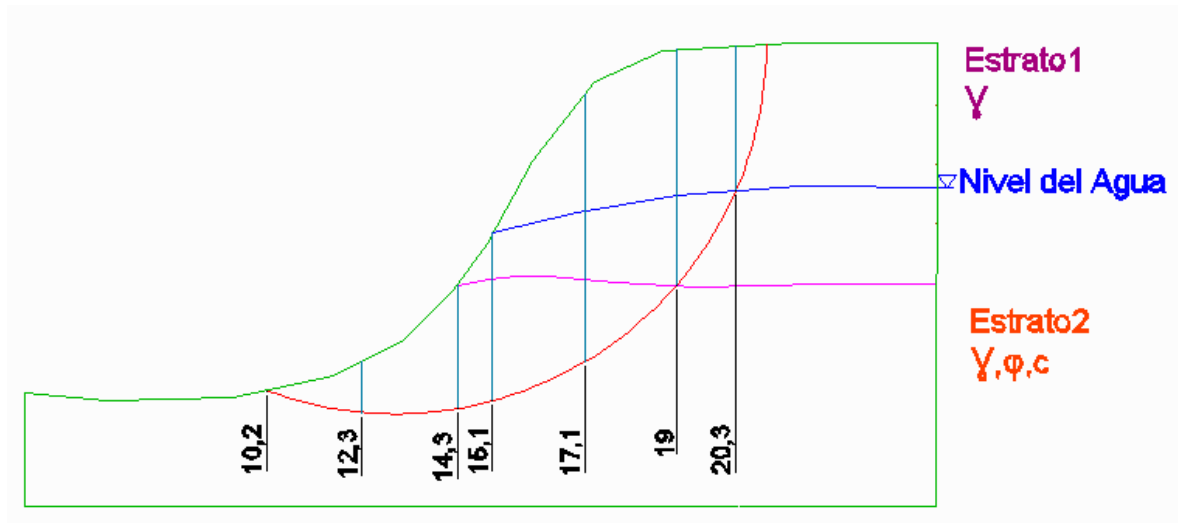
Figura 31. Numero de dovela



Xi. Abscisa inicial de Dovela

Corresponde a la abscisa en la que inicia la dovela Figura 32. Se expresa en metros (m).

Figura 32. Abscisa inicial de la dovela

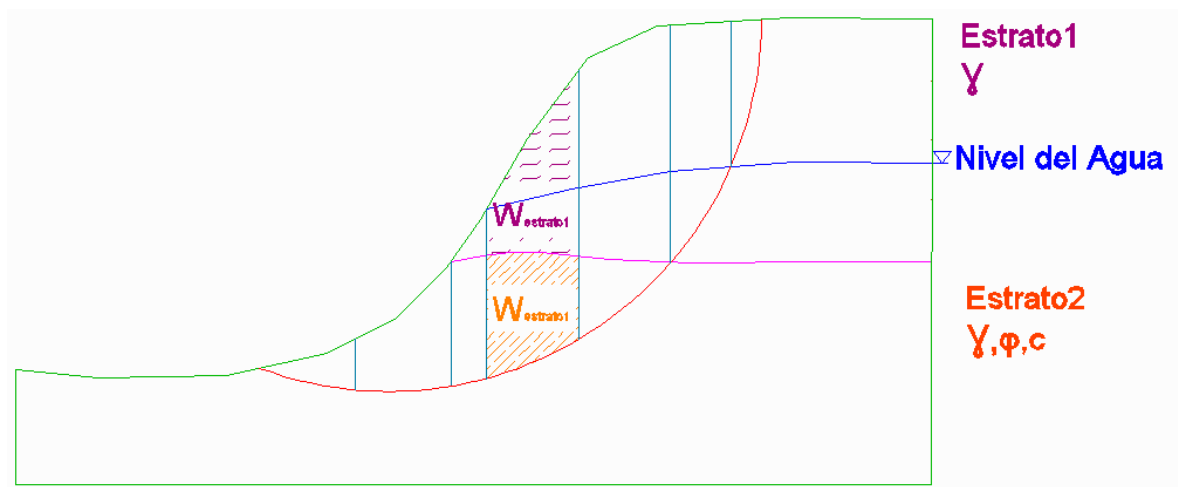


W. Peso Dovela

El peso de cada dovela por unidad de longitud del talud depende del área de la dovela y el peso específico (γ_s) y peso específico sumergido γ (cuando el área se encuentra bajo el nivel freático) del estrato al que pertenecen. Este cálculo se realiza por separado cuando en una dovela se encuentra más de un estrato Figura 33.

Se expresa en Ton/m.

Figura 33. Peso por estrato de la dovela



Fórmula 23: Calculo del peso de la dovela

$$W = A * \gamma$$

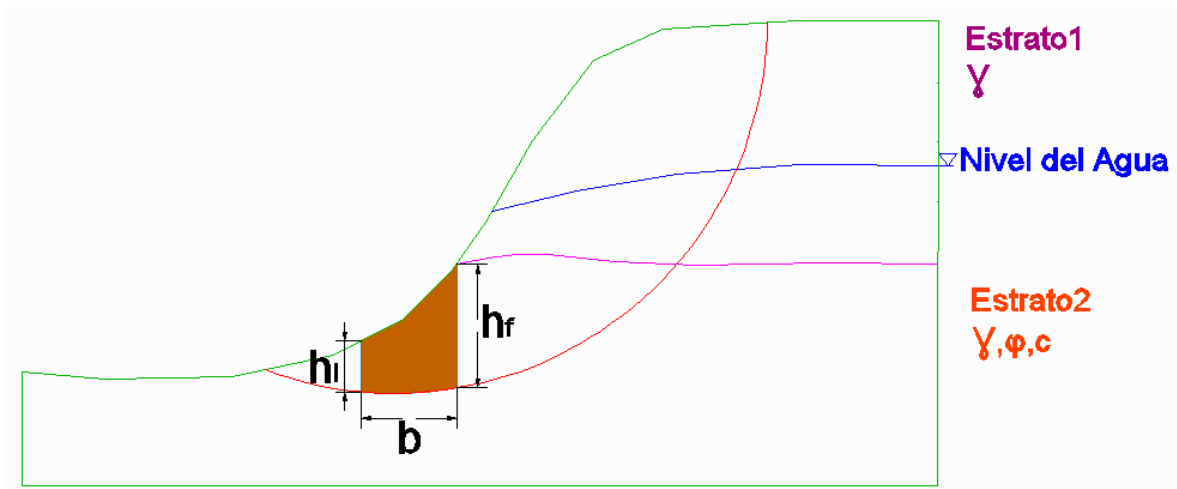
W: Peso de la dovela por unidad de longitud del talud (Ton/m).

γ : Peso específico (γ_s) o peso específico sumergido del suelo (γ) (Ton/m³). Este valor es ingresado por el usuario y será diferente para cada estrato.

A: Área de la dovela (m²).

Para este cálculo se considera que el área de la dovela es aproximada al área del trapecio (Figura 34) y se utiliza la fórmula 24.

Figura 34. Area de la dovela



Fórmula 24: Calculo del área de la dovela

$$A = \frac{(h_i + h_f) * b}{2}$$

hi= Altura de la dovela en la abscisa (i)

hf: Altura de la dovela en la abscisa (i+1)

b: Ancho de dovela

$\tan\phi$. Coeficiente de fricción en la superficie de falla

Este cálculo se realiza para las condiciones totales Φ y efectivas Φ' del ángulo de fricción.

Fórmula 25: Coeficiente de fricción

$$\tan AF = \tan(\Phi)$$

$\tan AF$: Coeficiente de fricción

Φ : Angulo de fricción del suelo.

Φ' : Angulo de fricción efectiva del suelo.

Propiedad del suelo en contacto con la Superficie de Falla. Este valor es ingresado por el usuario y se expresa en grados ($^{\circ}$).

c. Cohesión del suelo

Propiedad del suelo en contacto con la Superficie de Falla. Este valor es ingresado por el usuario, puede encontrarse en condiciones totales o efectivas y se expresa en Tonelada por metro cuadrado Ton/m^2 .

c : Cohesión total

c' : Cohesión efectiva

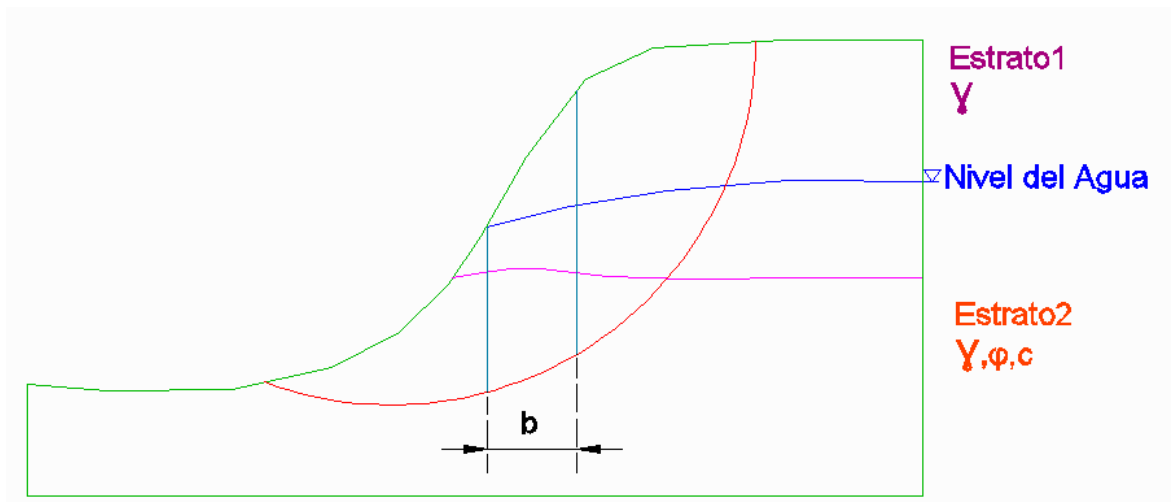
b. Ancho de la dovela

Es la diferencia de abscisas final e inicial de la dovela Figura 35. Se expresa en metros (m).

Fórmula 26: Ancho de dovela

$$b = \text{Abscisa final} - \text{Abscisa inicial}$$

Figura 35. Ancho de dovela



α : Angulo de inclinación la dovela

Es el ángulo de inclinación de la base de la dovela Figura 36 o el ángulo formado entre la fuerza normal a la base de la dovela y la vertical Figura 37. Este ángulo es calculado por trigonometría teniendo en cuenta la abscisa del punto medio de la dovela, coordenada x del centro de la circunferencia y el radio R de la circunferencia. Para expresar el ángulo de inclinación de la dovela en grados ($^{\circ}$) se aplica la siguiente fórmula:

Fórmula 27: Angulo de inclinación de la dovela para superficie de falla circular

$$\alpha = \left(\sin^{-1} \frac{\text{coorXM} - X}{R} \right) * \frac{180^{\circ}}{\pi}$$

α : Angulo de inclinación la dovela ($^{\circ}$)

coorXM: abscisa del punto medio de la dovela (m)

X : coordenada del centro de la circunferencia (m)

R : radio de la circunferencia (m)

Figura 36. Angulo de inclinación de la base de la dovela para superficie de falla circular.

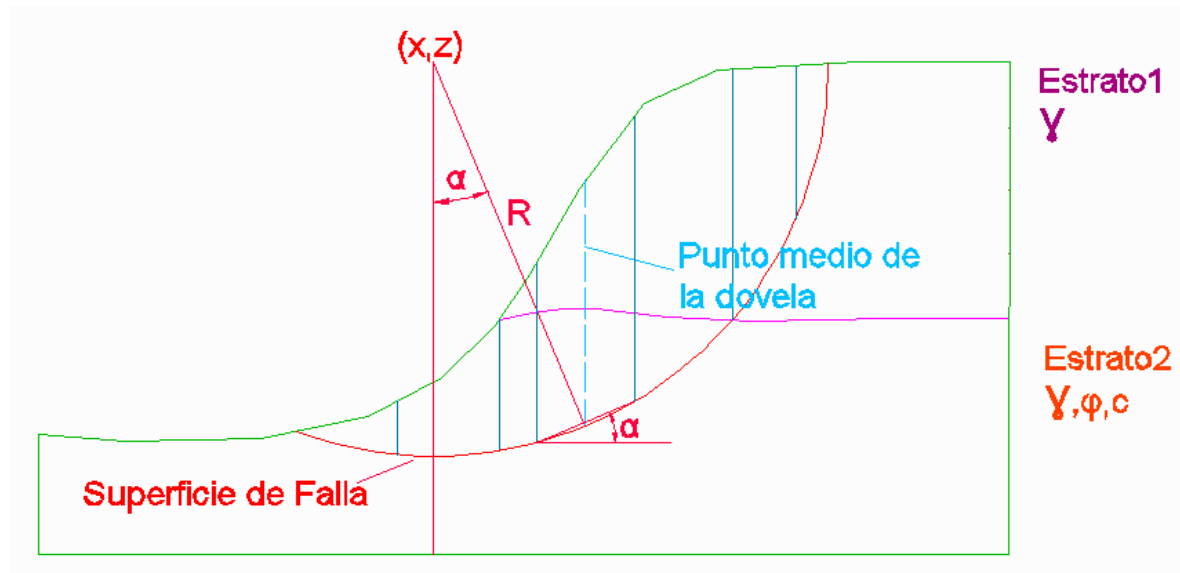
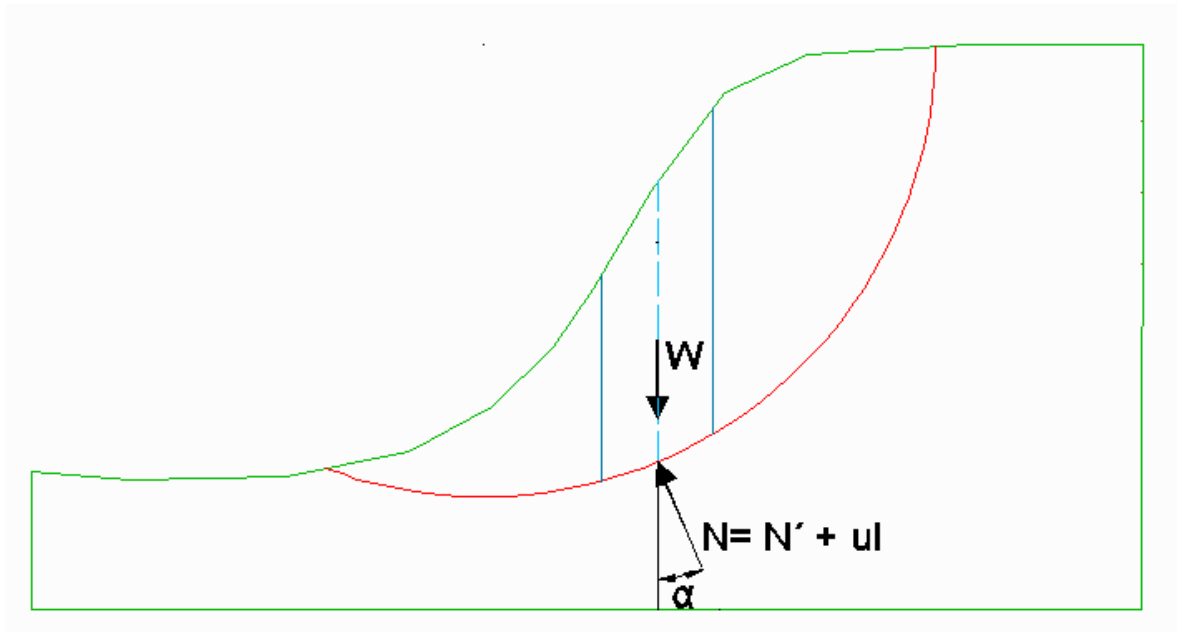


Figura 37. Angulo formado entre la fuerza normal a la base de la dovela y la vertical



senα. Función Seno del Angulo de inclinación de la dovela

Calculo de la función seno del ángulo de inclinación de la dovela.

Fórmula 28: Función seno del ángulo de inclinación de la dovela

$$\text{sen}\alpha = \text{sen}\left(\alpha * \frac{\pi}{180^\circ}\right)$$

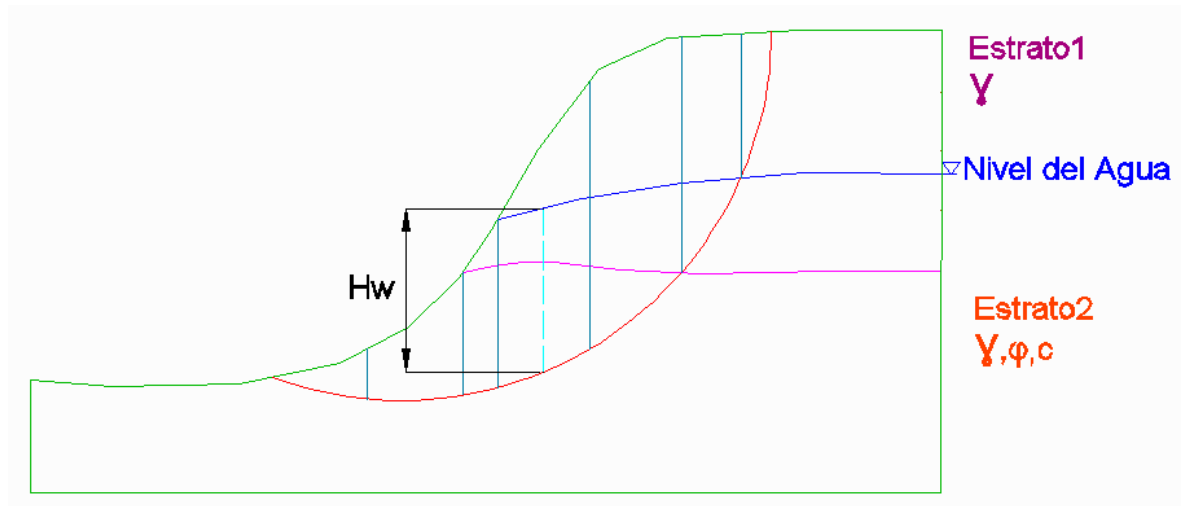
Hw. Altura del agua

Altura del agua en el punto medio de la dovela Figura 38. Se expresa en metros (m).

Fórmula 29: Altura del agua

$$Hw = z_{NFMDovela} - z_{MDovela}$$

Figura 38. Altura del nivel freático en el punto medio de la dovela



u. Presión de poros

Altura del agua multiplicada por su peso específico. Se expresa en Tonelada por metro cuadrado Ton/m².

Fórmula 30: Presión de poros

$$u = Hw * \gamma_w$$

ub. Fuerza del agua

Corresponde a la presión de poros multiplicada por el ancho de dovela. Se expresa en toneladas por metro (ton/m)

Fórmula 31: Fuerza del agua

$$ub = u * b$$

Ma

El valor de Ma se calcula suponiendo un Factor de Seguridad y aplicando la Fórmula 8 y 10. Es un valor adimensional.

FS. Factor de Seguridad

Finalmente se aplican los valores obtenidos anteriormente y se calcula el Factor de Seguridad con la fórmula 7 para esfuerzos efectivos y fórmula 9 para esfuerzos totales. Este valor es adimensional.

Se realizan varias iteraciones hasta que el Factor de Seguridad supuesto para el cálculo del Factor Ma sea aproximadamente igual al Factor de Seguridad Calculado.

Método de Janbu Simplificado

ND. Numero de Dovela

Se identifica la dovela asignándole un número Figura 31. Este valor es adimensional.

Xi. Abscisa Dovela

Corresponde a la abscisa en la que inicia la dovela Figura 32. Se expresa en metros (m).

W. Peso Dovela

El peso de cada dovela por unidad de longitud del talud depende del área de la dovela y el peso específico (γ_s) y peso específico sumergido γ' (cuando el área se encuentra bajo el nivel freático) del estrato al que pertenecen. Este cálculo se realiza por separado cuando en una dovela se encuentra más de un estrato Figura 33. Se aplica la fórmula 17 y se expresa en Ton/m.

tanAF. Coeficiente de fricción en la superficie de falla

Este cálculo se realiza para las condiciones totales y efectivas del ángulo de fricción. Se aplica la fórmula 19.

c. Cohesión del suelo

Propiedad del suelo en contacto con la Superficie de Falla. Este valor es ingresado por el usuario, puede encontrarse en condiciones totales o efectivas y se expresa en Tonelada por metro cuadrado Ton/m².

b. Ancho de la dovela

Es la diferencia de abscisas final e inicial de la dovela Figura 35. Se aplica la fórmula 26 y se expresa en metros (m).

α . Angulo de inclinación la dovela

Angulo de inclinación de la base de la dovela Figura 39. Este ángulo es calculado por trigonometría con base en las abscisas y ordenadas iniciales y finales de cada

uno de los puntos de intersección entre la dovela y la superficie de falla. Se expresa en grados.

Fórmula 32: Angulo de inclinación de la dovela para superficie de falla compuesta

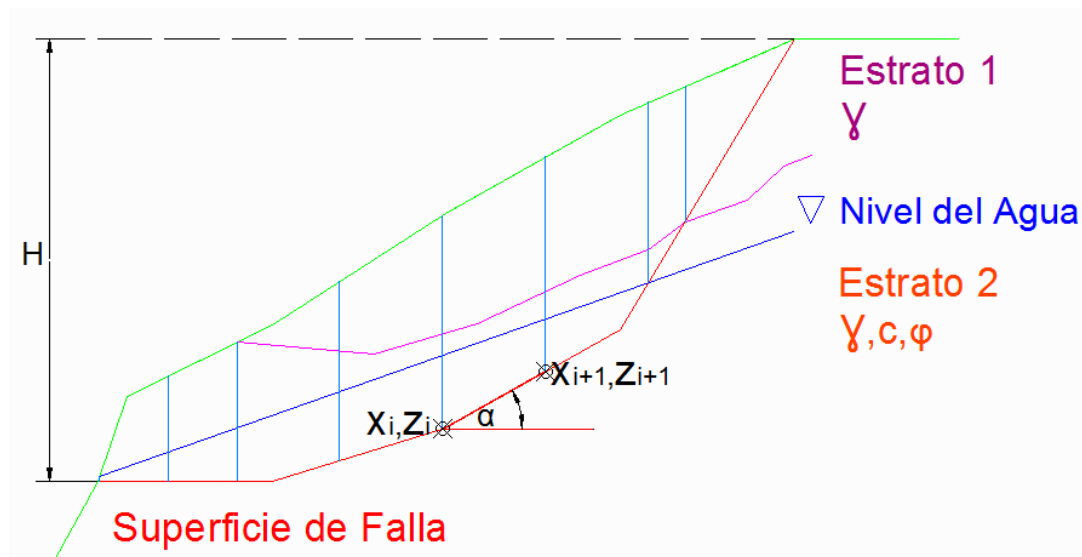
$$\alpha = \left(\tan^{-1} \frac{Z_{i+1} - Z_i}{X_{i+1} - X_i} \right) * \frac{180^\circ}{\pi}$$

α : ángulo de inclinación de la base de la dovela ($^\circ$)

$Z_{i+1}-Z_i$: Diferencia de ordenadas de los puntos de intersección entre la dovela y la superficie de falla (m).

$X_{i+1}-X_i$: Diferencia de abscisas de los puntos de intersección entre la dovela y la superficie de falla (m)

Figura 39. Angulo de inclinación de la base de la dovela para superficie de falla compuesta.



cosA. Función Coseno del ángulo de inclinación de la dovela

Calculo de la función coseno del ángulo de inclinación de la dovela.

Fórmula 33: Función coseno del ángulo de inclinación de la dovela

$$\cos A = \cos\left(\alpha * \frac{\pi}{180^\circ}\right)$$

TanA. Función Tangente del ángulo de inclinación de la dovela

Calculo de la función tangente del ángulo de inclinación de la dovela.

Fórmula 34: Función tangente del ángulo de inclinación de la dovela

$$\tan A = \tan\left(\alpha * \frac{\pi}{180^\circ}\right)$$

Hw. Altura del agua

Altura del nivel freático en el punto medio de la dovela Figura 38. Se aplica la fórmula 29 y se expresa en metros (m).

u. Presión de poros

Altura del agua multiplicada por su peso específico. Se aplica la fórmula 30 y se expresa en Tonelada por metro cuadrado Ton/m².

ub. Fuerza del agua

Corresponde a la presión de poros multiplicada por el ancho de dovela. Se aplica la fórmula 25 y se expresa en Toneladas por metro (Ton/m).

Ma

El valor de Ma se calcula suponiendo un Factor de Seguridad y aplicando la fórmula 8 para condiciones de esfuerzos efectivos y fórmula 10 para condiciones de esfuerzos totales. Es un valor adimensional.

FS. Factor de Seguridad

Finalmente se aplican los valores obtenidos anteriormente y se calcula el Factor de Seguridad con la fórmula 11 para esfuerzos efectivos y fórmula 12 para esfuerzos totales. Este valor es adimensional.

Se realizan varias iteraciones hasta que el Factor de Seguridad supuesto para el cálculo del Factor Ma sea aproximadamente igual al Factor de Seguridad Calculado

Desarrollo General del Método de las Tajadas

ND. Numero de Dovela

Se identifica la dovela asignándole un número Figura 31. Este valor es adimensional.

Xi. Abscisa Dovela

Corresponde a la abscisa en la que inicia la dovela Figura 32. Se expresa en metros (m).

Zi: Ordenada Dovela

Corresponde a la ordenada en la que inicia la dovela. Se expresa en metros (m).

W. Peso Dovela

El peso de cada dovela por unidad de longitud del talud depende del área de la dovela y el peso específico (γ_s) y peso específico sumergido γ' (cuando el área se encuentra bajo el nivel freático) del estrato al que pertenecen. Este cálculo se realiza por separado cuando en una dovela se encuentra más de un estrato Figura 33. Se aplica la fórmula 23 y se expresa en Ton/m.

b. Ancho de la dovela

Es la diferencia de abscisas final e inicial de la dovela Figura 35. Se aplica la fórmula 26 y se expresa en metros (m).

α . Angulo de inclinación la dovela

Angulo de inclinación de la base de la dovela Figura 39. Este ángulo es calculado por trigonometría con base en las abscisas y ordenadas iniciales y finales de cada uno de los puntos de intersección entre la dovela y la superficie de falla. Se aplica la fórmula 32 y se expresa en grados.

$\cos\alpha$. Función Coseno del ángulo de la dovela

Calculo de la función coseno del ángulo de inclinación de la dovela. Se aplica la fórmula 33.

l. longitud de la dovela

Corresponde a la longitud alineada en la base de la dovela Figura 40. Se expresa en metros (m).

Fórmula 35: Longitud de la dovela

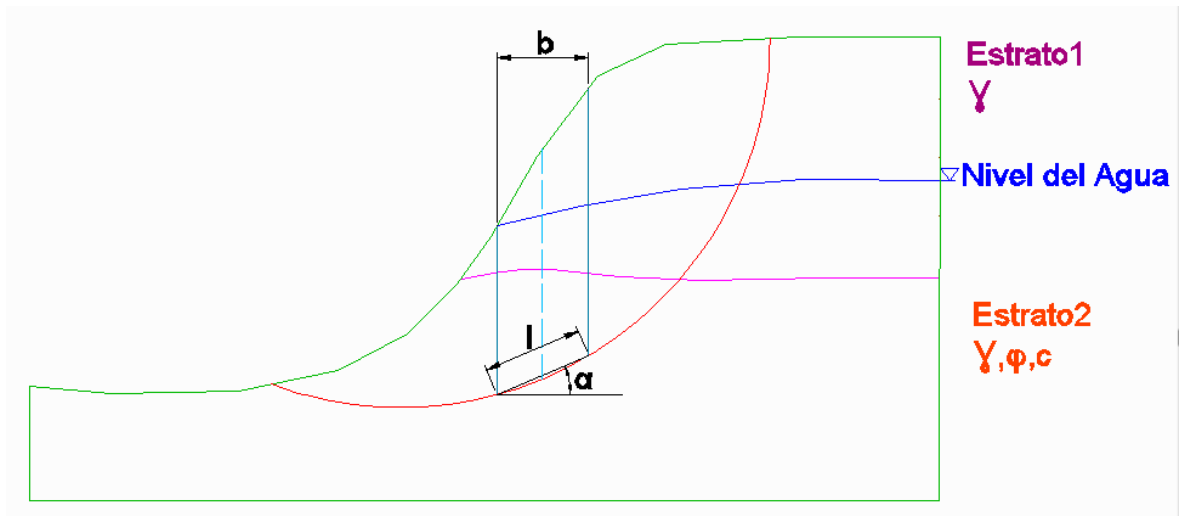
$$l = b * \sec \alpha$$

l: Longitud de la dovela (m)

b: Ancho de dovela (m)

α : Angulo de inclinación de la dovela ($^{\circ}$)

Figura 40. Longitud de la dovela



sen α . Función Seno del ángulo de inclinación de la dovela

Calculo de la función seno del ángulo de inclinación de la dovela. Se aplica la fórmula 28.

Hw. Altura del agua

Altura del agua en el punto medio de la dovela Figura 38. Se aplica la fórmula 29 y se expresa en metros (m).

u. Presión de poros

Altura del agua multiplicada por su peso específico. Se aplica la fórmula 30 y se expresa en Tonelada por metro cuadrado Ton/m².

tan ϕ . Coeficiente de fricción en la superficie de falla

Este cálculo se realiza para las condiciones totales y efectivas del ángulo de fricción. Se aplica la fórmula 25.

FS_f

Factor de Seguridad que considera sumatoria de fuerzas horizontales y verticales. Se utiliza la fórmula 2 para obtener FS_f en términos de esfuerzos efectivos y la fórmula 3 para obtener el FS_f en términos de esfuerzos totales.

R

Distancia perpendicular al punto medio de la base de la dovela respecto al centro de momentos Figura 5. Esta distancia es constante si la superficie de deslizamiento es circular y el centro de momentos está ubicado en el centro de la circunferencia. Se expresa en metros (m).

e

Distancia de aplicación del peso de la masa deslizada respecto al centro de momentos Figura 5. Se expresa en metros (m).

f

Distancia perpendicular a *R* respecto al centro de momentos Figura 5. Se expresa en metros (m).

FS_m

Factor de Seguridad que considera sumatoria de momentos. Se utiliza la fórmula 5 para obtener FS_m en términos de esfuerzos efectivos y la fórmula 6 para obtener el FS_m en términos de esfuerzos totales.

FS_f y FS_m se deben resolver por iteración. La solución se obtiene cuando FS_f=FS_m.

8. CONCLUSIONES

Se elaboró un software en lenguaje de programación Java, que permite obtener una solución gráfica de la superficie de falla de un talud y numérica de su factor de seguridad mediante la aplicación de la teoría de los métodos de análisis de estabilidad de taludes como son el método de Bishop Simplificado, el método de Janbu Simplificado y el desarrollo general del método de las dovelas.

El software elaborado actúa como una herramienta informática importante en la solución de problemas de estabilidad de taludes, puesto que permite obtener un valor del factor de seguridad de un talud en un tiempo significativamente menor al empleado mediante cálculos manuales.

Para ser utilizado a nivel educativo el software cuenta con la opción *Procedimiento* (Interfaz descrita en Anexo 5) que le permite al usuario revisar de forma grafica cada uno de los pasos que se llevaron a cabo en el cálculo del factor de seguridad y dando a conocer las fórmulas utilizadas, desde la entrada de datos hasta la obtención de los resultados.

Se realizaron pruebas al software (Fase de Pruebas) con ejemplos de diferente complejidad y se compararon con los valores obtenidos en los ejemplos de la referencia bibliográfica, con lo cual se obtuvo que la diferencia de estos resultados fue mínima y que el software funciona correctamente.

La diferencia entre los resultados de los ejercicios resueltos en Excel (Anexo 7) y los ejercicios resueltos por medio del software radica en que para determinar el área de las dovelas mediante los cálculos en Excel se utilizó el programa autocad y para el cálculo por medio del software se utilizaron fórmulas del método del trapecio.

El manual de usuario (Anexo 8) realizado fue evaluado por un grupo de personas, entre ellos estudiantes y profesionales en Ingeniería Civil con lo cual se evidenció que este manual de Usuario es de utilidad para entender el funcionamiento del software.

9. RECOMENDACIONES

Analizar detalladamente el tipo de suelo utilizado en los estratos, debido a que no todos los suelos se comportan como cohesivos, granulares o mixtos y esto afectaría en el calculo del factor de corrección por curvatura utilizado en el método de Janbu Simplificado.

Profundizar en la teoría del desarrollo general del método de las dovelas para utilizar fuerzas como las causadas por sismo, carga externa o grietas de tracción y obtener un software mas completo que contemple condiciones estáticas y dinamicas .

Complementar el software elaborado mediante el estudio y la aplicación de la teoría de otros métodos de calculo para el análisis de estabilidad de taludes y permitir que el software cuente con varias opciones para realizar los calculos.

Permitir que el software genere un informe unificado de los calculos realizados, los resultados y las gráficas obtenidas en el desarrollo de un ejercicio.

BIBLIOGRAFIA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: NSR-10. Bogotá: 2010.

BAÑON BLAZQUEZ, Luis y BEVIÁ GARCÍA, José Francisco, Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. Vol. 2.

CALVACHE NARVAEZ, Jorge Arturo y PANTOJA USAMA, Eduar Javier. Implementación de un Software para el diseño y evaluación de resistencia con solicitaciones uniaxiales y biaxiales de elementos de estructuras aporticadas en concreto reforzado. Trabajo de Grado. San Juan de Pasto.: Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2008.

CERQUERA ROJAS, Yamil Armando. Integración Numérica. Método de Simpson. Neiva. Universidad Surcolombiana.

CUENCA PAYA, Artemio. Comentarios para el cálculo de taludes. Laboratorio de carreteras de Alicante, 2001. Citado por: ALE VELIZ, José Daniel. Métodos de estabilización de taludes mediante estructuras de suelo reforzado. Lima.: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil.

EDITORES TECNICOS ASOCIADOS, S.A, Mecánica del suelo. Proyecto de muros y cimentaciones. 2 ed. Barcelona, 1975.

ESPINOZA DURÁN, Carlos Eduardo y TAPIA BERZOZA, Leandro Enrique. Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto Pacalori. Trabajo de Grado. Cuenca, Ecuador.: Universidad de Cuenca. Facultad de Cuenca. Escuela de Ingeniería Civil, 2013

HERRERA RODRIGUEZ, Fernando. Introducción a la estabilidad de taludes. En: VI CURSO DE GEOTECNIA (2003, Zaragoza)

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, Manual de Ingeniería de Taludes. 1 ed. España, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Estabilidad de Taludes. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998.

INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, Manual de Ingeniería Geológica. España.

KERGUELEN ARGUMEDO, Alejandro. Análisis Probabilístico de Estabilidad de Taludes. Bogotá, 2009, 155h. Trabajo de grado (Maestría). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

MONCAYO, Oscar Eduardo. Algoritmos de cálculo para la elaboración de software en el diseño de instalaciones hospitalarias y de gas en edificaciones. Trabajo de Grado. San Juan de Pasto.: Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2010.

NULLVALUE. Tragedia en Quebrada Blanca. En: El Tiempo, Bogotá (22 de Junio de 1999)

ORTUÑO ABAD, Luis. Estabilidad de taludes en suelo. Calculo. Curso de Geotecnia para Infraestructuras. Sevilla, 2004.

PALACIOS BASTIDAS, Amalia Marina. Elaboración de algoritmos de cálculo enfocados a la realización de software para el diseño de plantas de potabilización según las tecnologías establecidas por el SelTec. Trabajo de Grado. San Juan de Pasto.: Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2012.

POPESCU, M.E. "A Suggested Method for reporting Landslides Causes". Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 50, Paris, Francia, 1994. Citado por INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Estabilidad de Taludes. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998.

SANHUEZA PLAZA, C y RODRIGUEZ CIFUENTES,L. Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. En: Revista de la Construcción. Enero, 2013. Volumen 12, No.1. Pág. 19.

SUAREZ DIAZ, Jaime, Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. 1ed, Bucaramanga, 1989.

TAPIA ALFARO, Ana Lizeth. Comparativa de los métodos de cálculo en análisis de estabilidad de taludes. Trabajo de Grado. México: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2009. Pág. 13.

WEBGRAFIA

Anónimo. Programación Orientada a Objetos. Disponible en Internet: https://librosweb.es/libro/python/capitulo_5/programacion_orientada_a_objetos.html
!

www.geo-slope.com sitio de consulta de software, GEOSLOPE INTERNATIONAL. Revisado 19 febrero 2014.

www.java.com sitio de consulta de lenguaje de programación, JAVA. Revisado 10 agosto 2014.

ocw.uis.edu.co sitio web de difusión y publicación libre de material de apoyo de la Universidad Industrial Santander. Revisado 7 de Mayo de 2014.

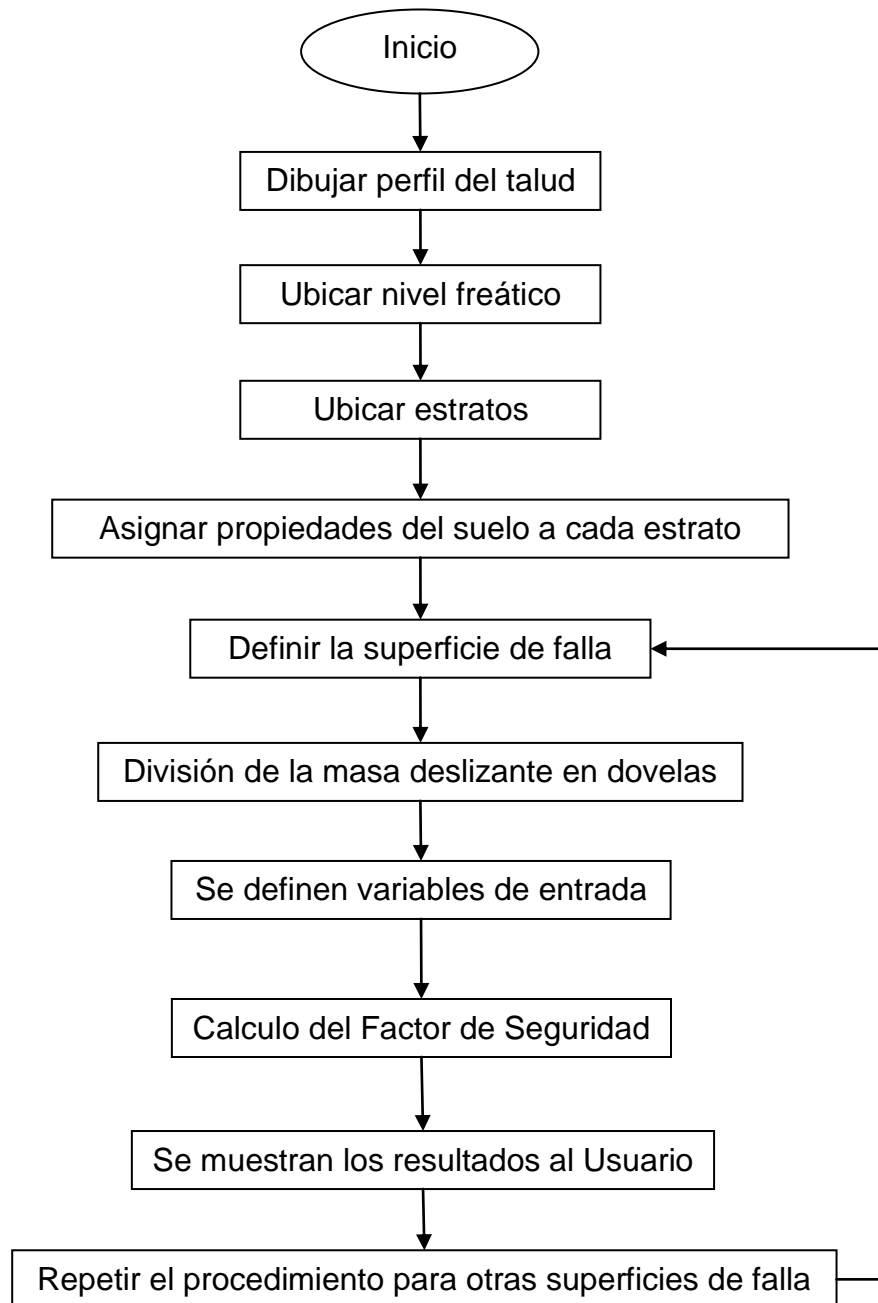
www.unperiodico.unal.edu.co sitio web del periódico de la Universidad Nacional, Colombia. UN PERIODICO. Revisado 19 febrero 2014.

www.umbbga.edu.co/pacademicos/diplomados/ingenieria/desarrollo_java.html sitio de consulta de aplicaciones con el lenguaje de programación Java. Universidad Manuela Beltrán. Revisado 10 agosto 2014.

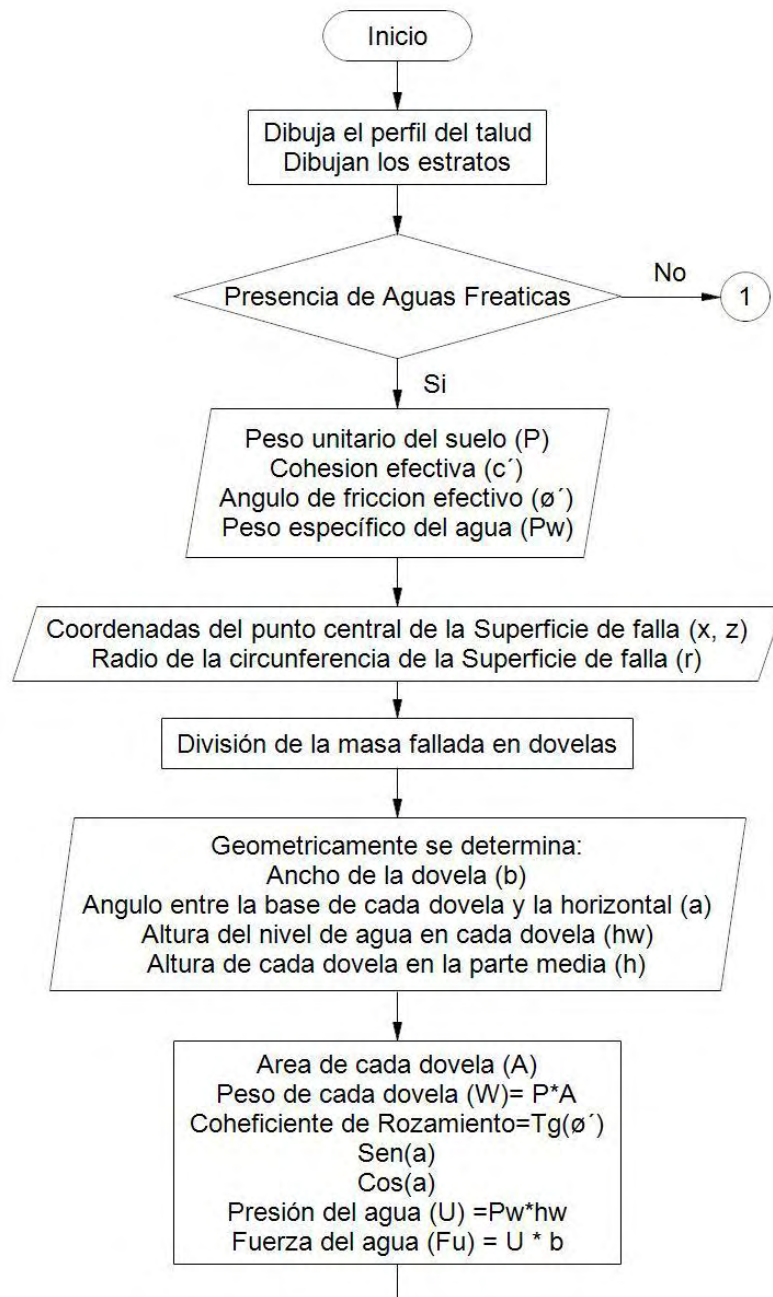
<http://upcommons.upc.edu/> portal de acceso abierto al conocimiento de la Universidad Politécnica de Cataluña. Revisado 1 de noviembre de 2014.

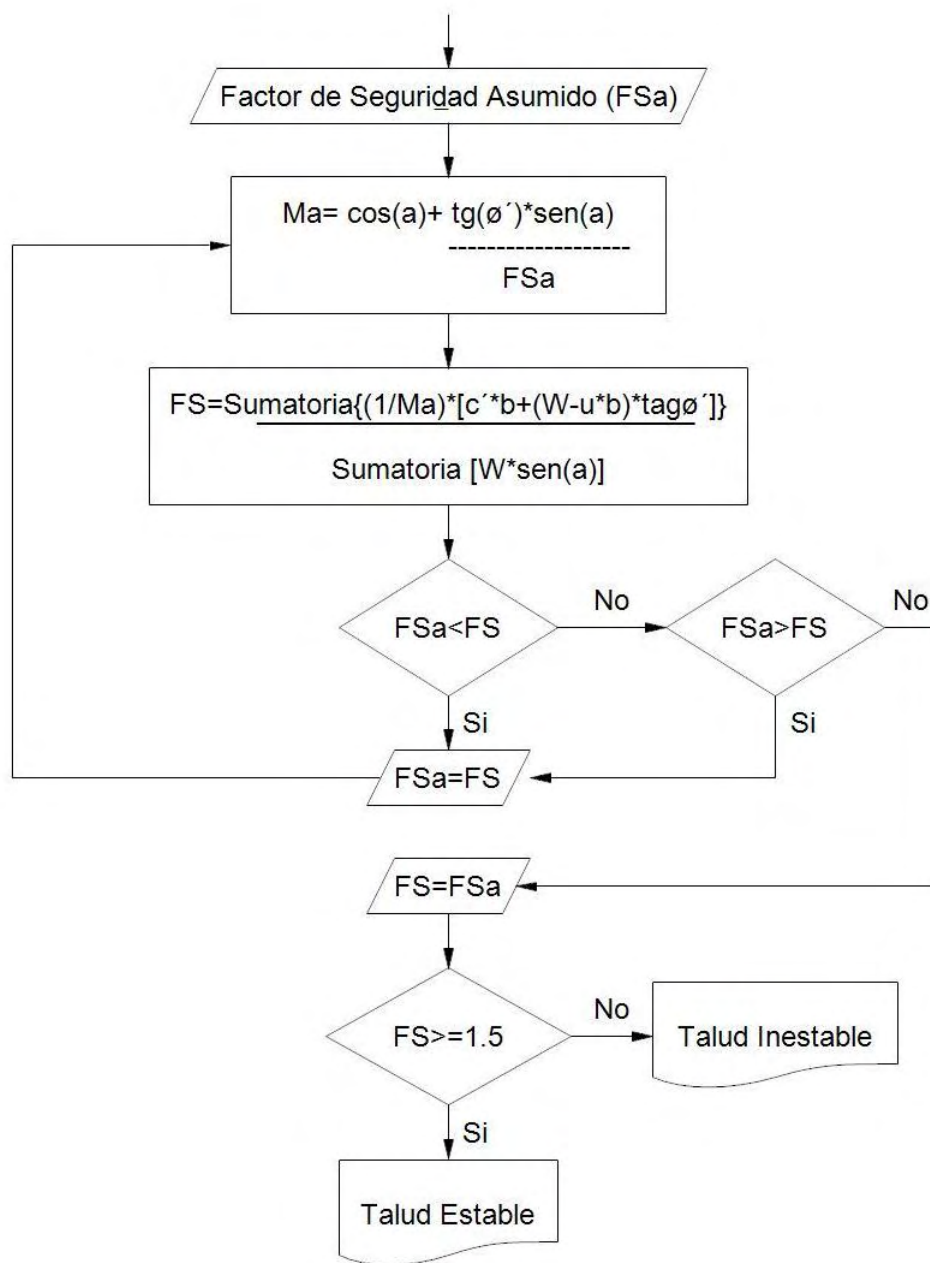
ANEXOS

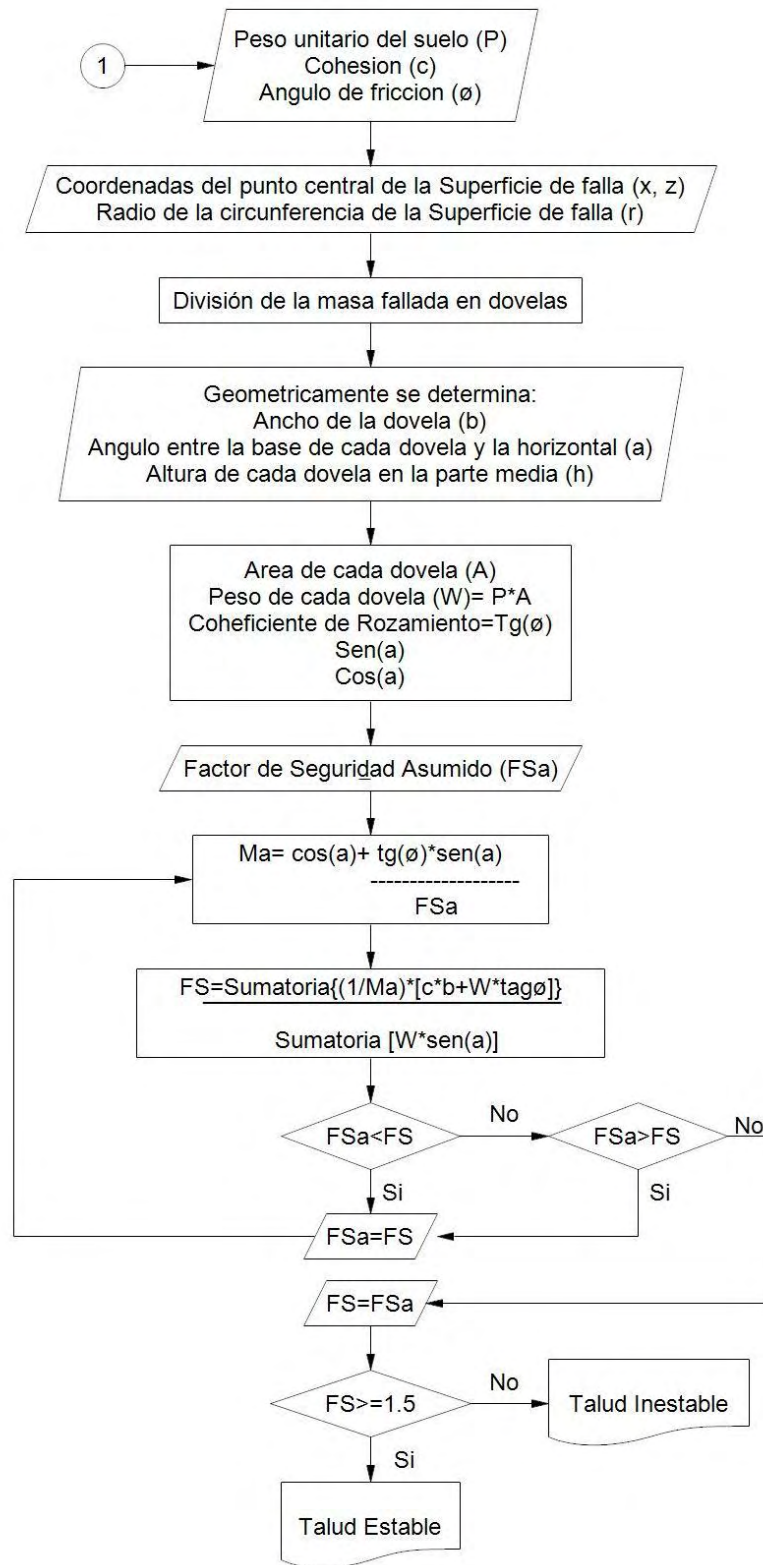
Anexo 1 Diagrama general de programación



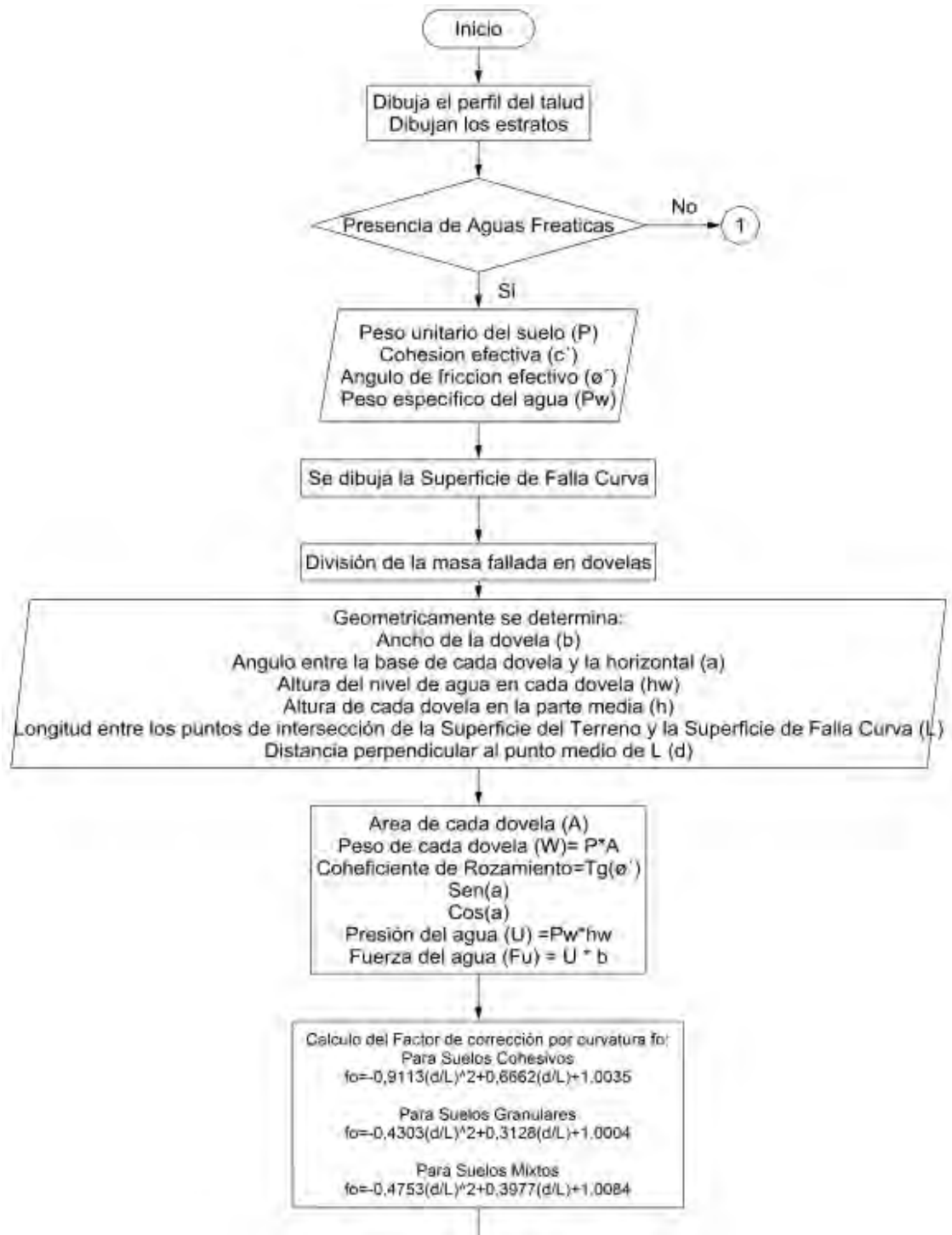
Anexo 2 Diagrama de flujo para el cálculo de FS. método Bishop Simplificado

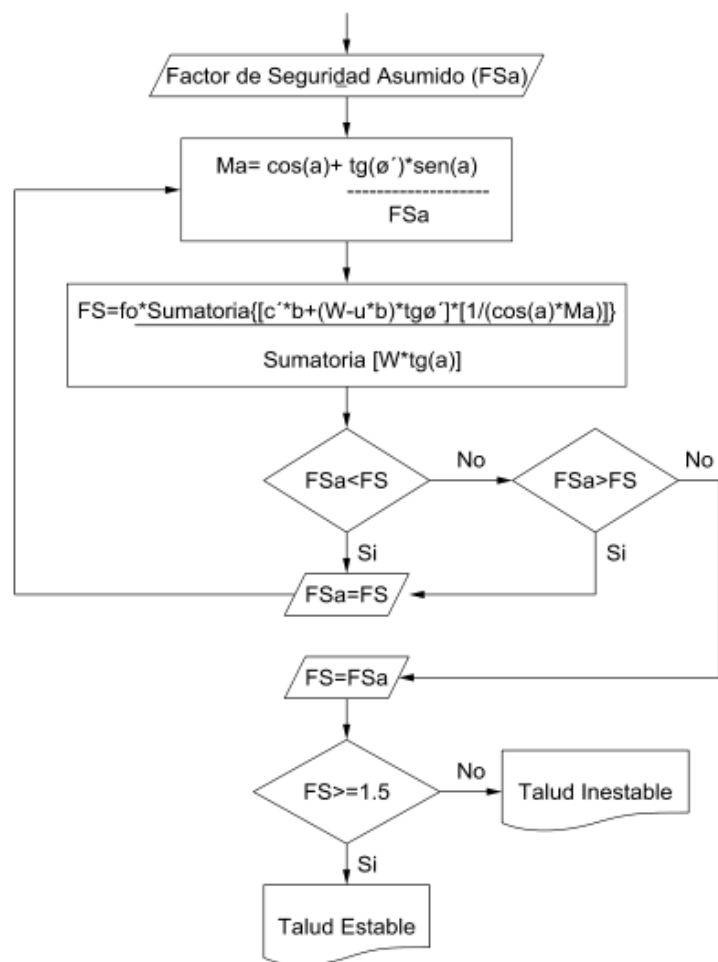


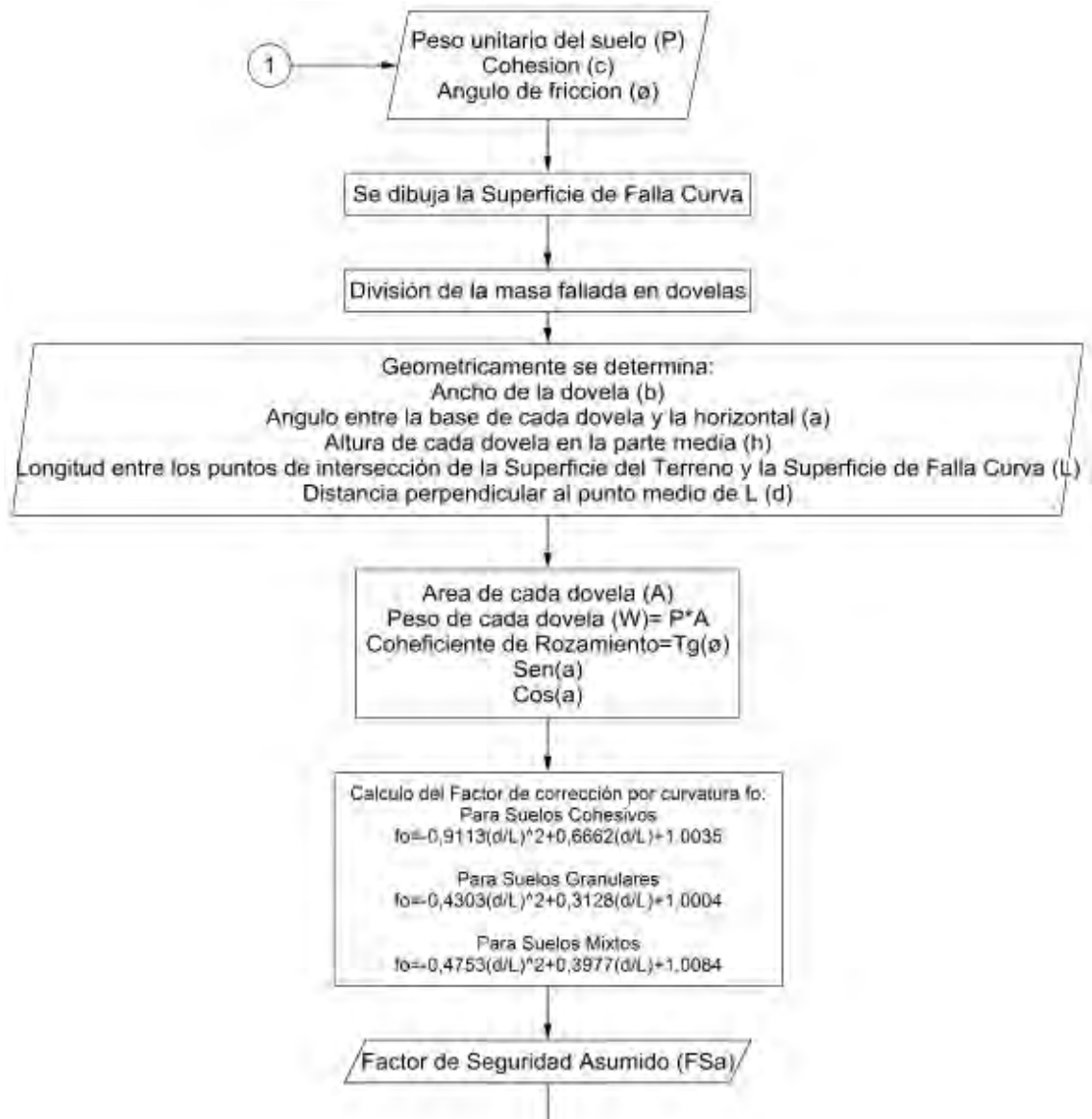


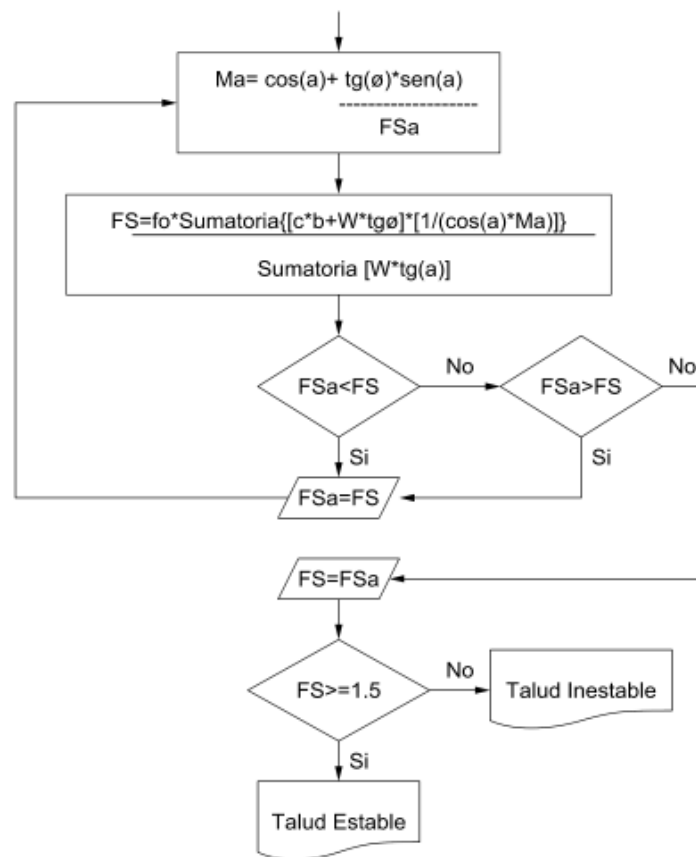


Anexo 3 Diagrama de flujo para el cálculo de FS. método Janbu Simplificado

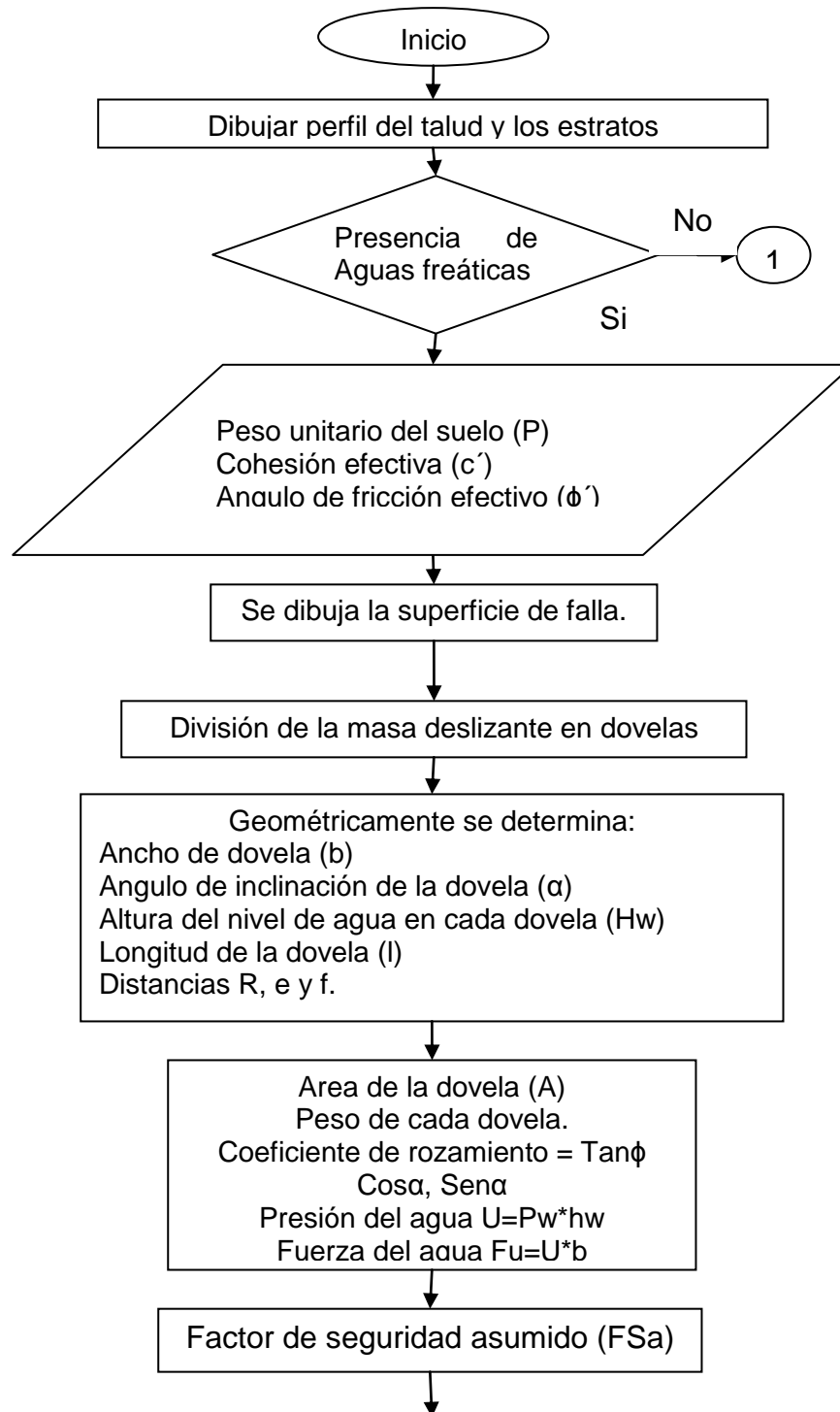


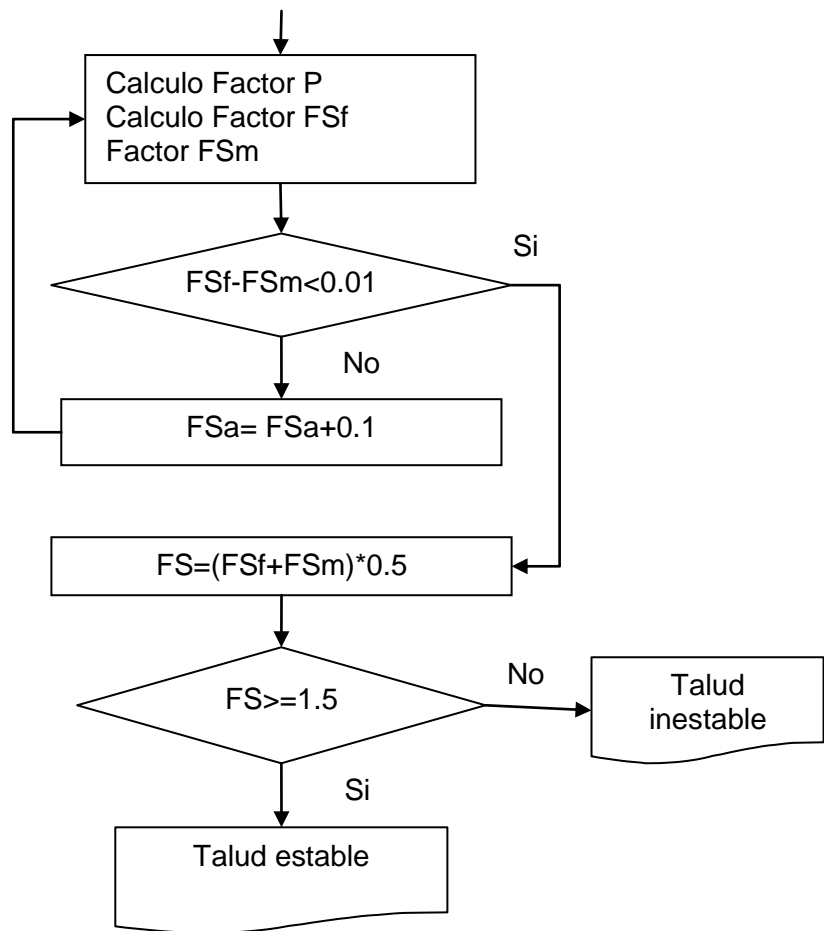


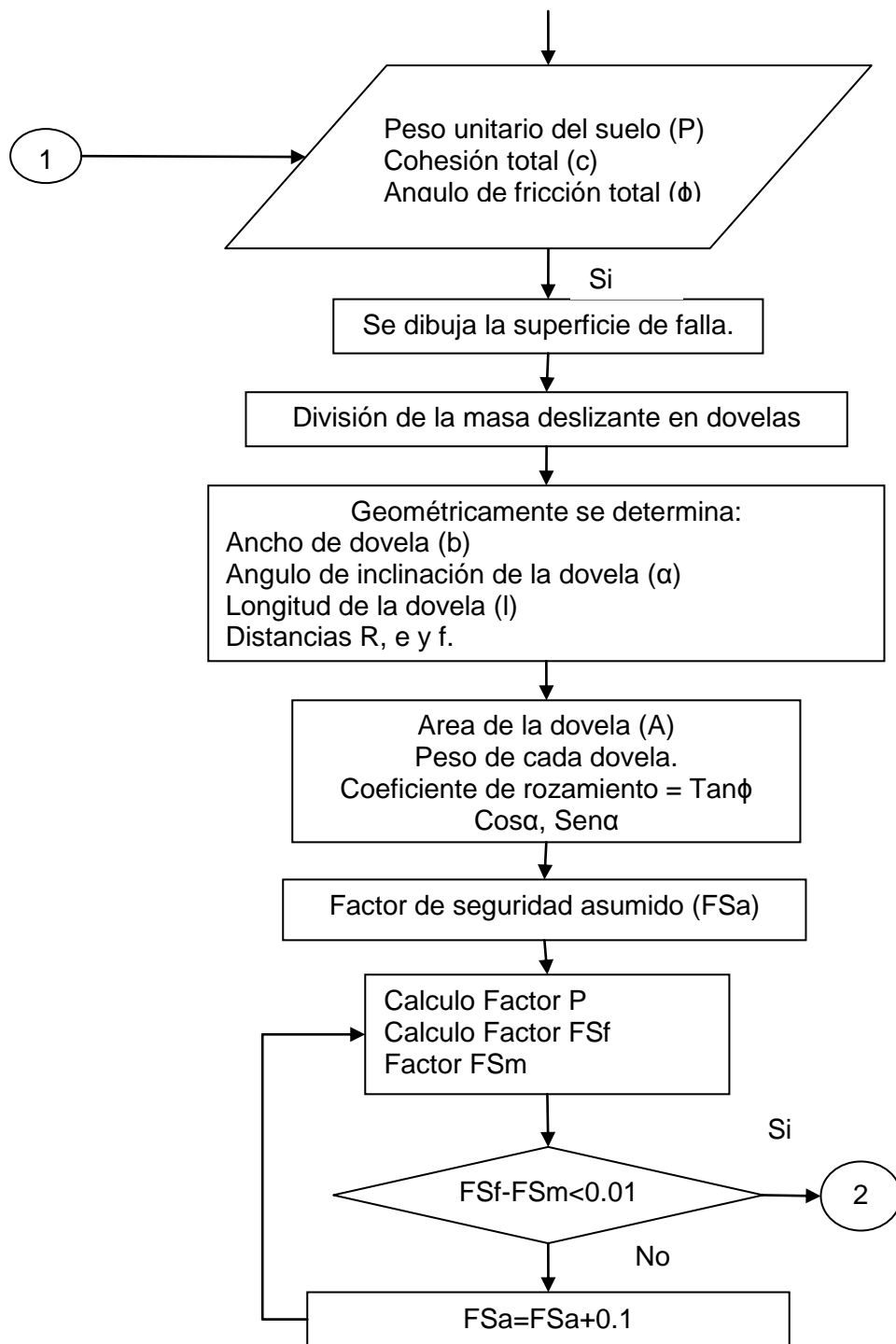


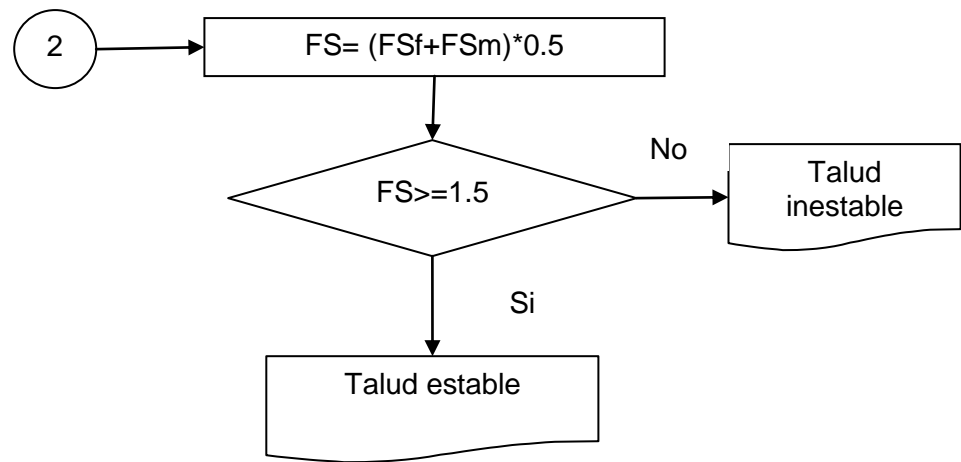


Anexo 4 Diagrama de flujo para el cálculo de FS. por el desarrollo general del método de las tajadas









Anexo 5 Interfaces del software



Nombre de interfaz: Configuración predeterminada

Propósito: Dar a conocer al usuario las condiciones bajo las cuales se elaboró el software.

Resumen: Esta opción se activa al seleccionar el Menú Ítem *Proyecto* de la pantalla de inicio del software (Figura 10).

PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

1. En primer lugar el Usuario grafica:

- * El perfil del talud (Traza color verde)
- * El nivel freatico (Traza color azul)
- * Los límites de los estratos (Trazas de colores gris, naranja o magenta)
- * La superficie de falla
Circular o compuesta (Traza color rojo)

[atras](#)

[Ver Detalle](#)

[Siguiete](#)

[Guardar imagen](#)

[Guardar tabla](#)

Title 1	Title 2	Title 4

FS=

fo=

FS=

FS=

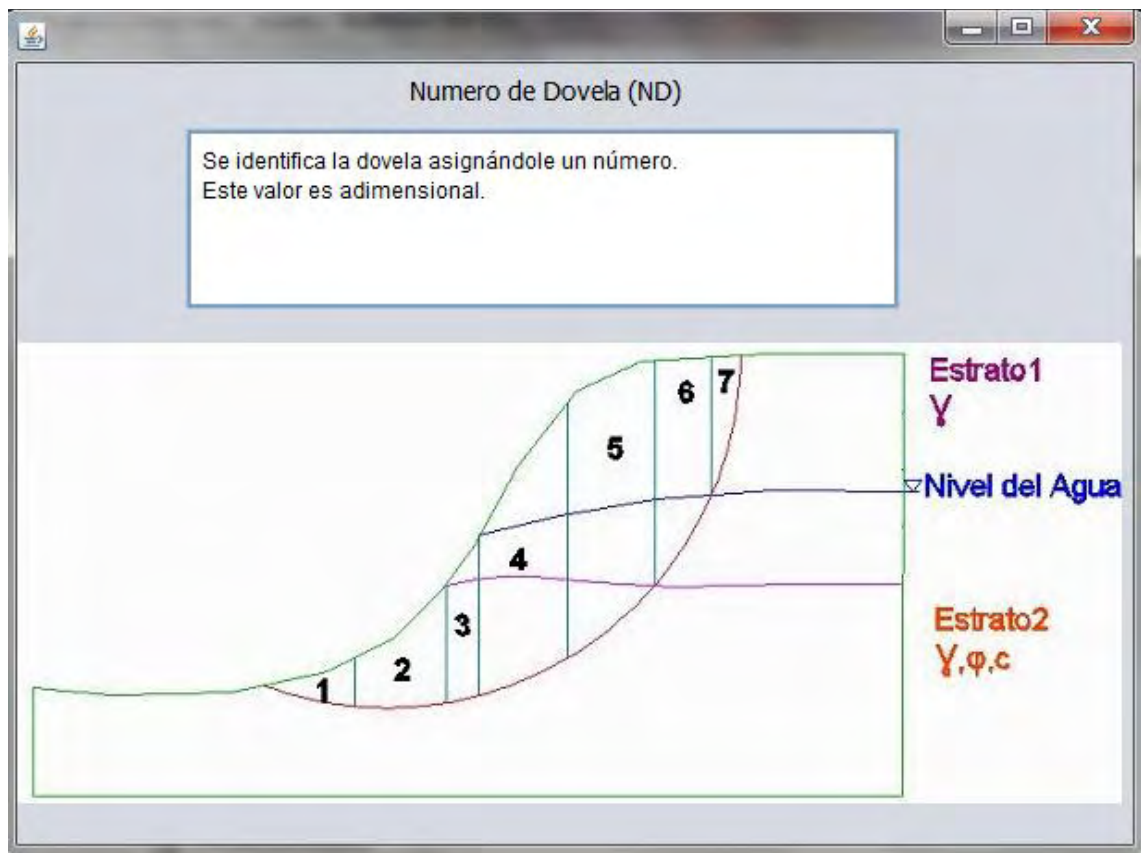
ND	ND	ND
Xi	Xi	Xi
W	W	W
$\tan\phi$	$\tan\phi$	a
c	c	cosa
b	b	l
a	a	sena
sena	cosa	u
uxb	tana	
		$\tan\phi$
Ma	uxb	c
FS	Ma	P
		R
		e
	fo	f
	FS	FS

Nombre de interfaz: Procedimiento

Propósito: Mostrar los pasos a seguir para el cálculo del Factor de Seguridad.

Resumen: Esta opción se activa después de calcular el Factor de Seguridad al dar clic en el botón *Ver Procedimiento* en la interfaz de la pantalla de inicio del software (Figura 10).

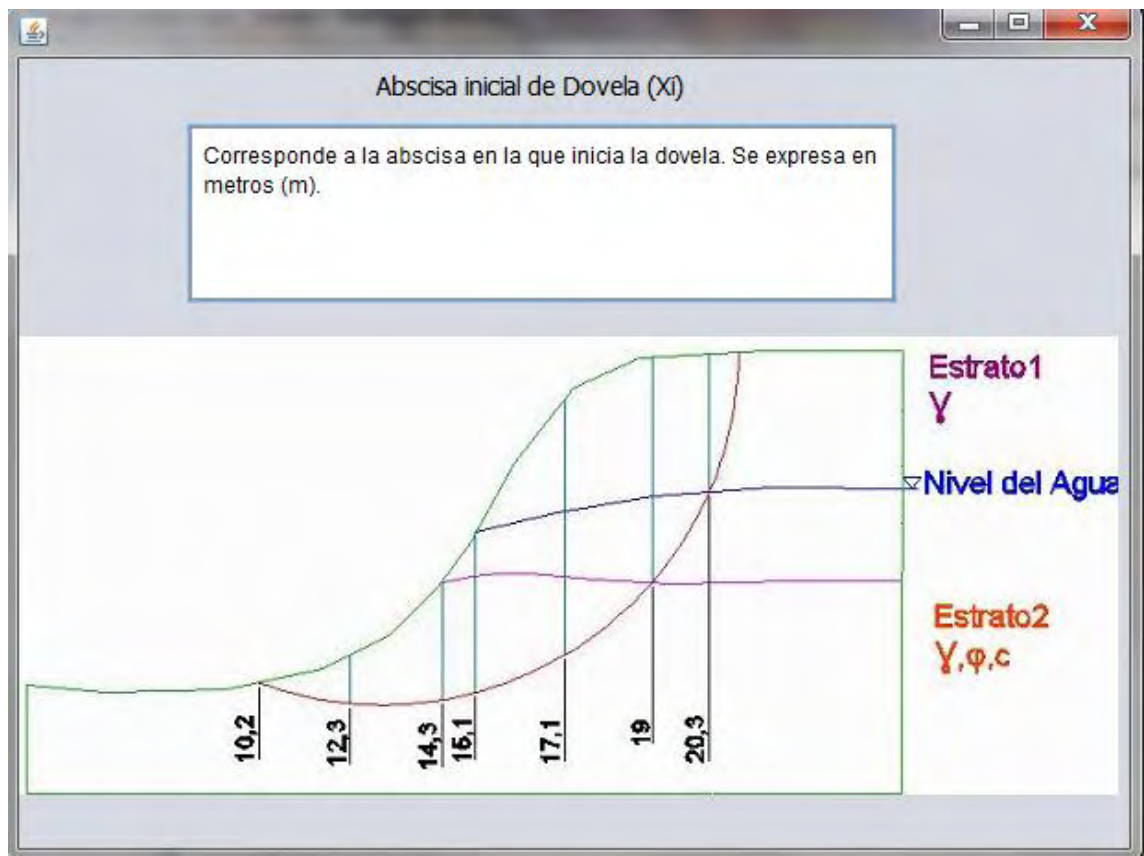
En esta interfaz se encuentran varias componentes que permiten mostrar de forma gráfica, textual y numérica el procedimiento en los cálculos de los tres métodos analizados.



Nombre de interfaz: Número de Dovela

Propósito: Detalla lo correspondiente al número de la dovela.

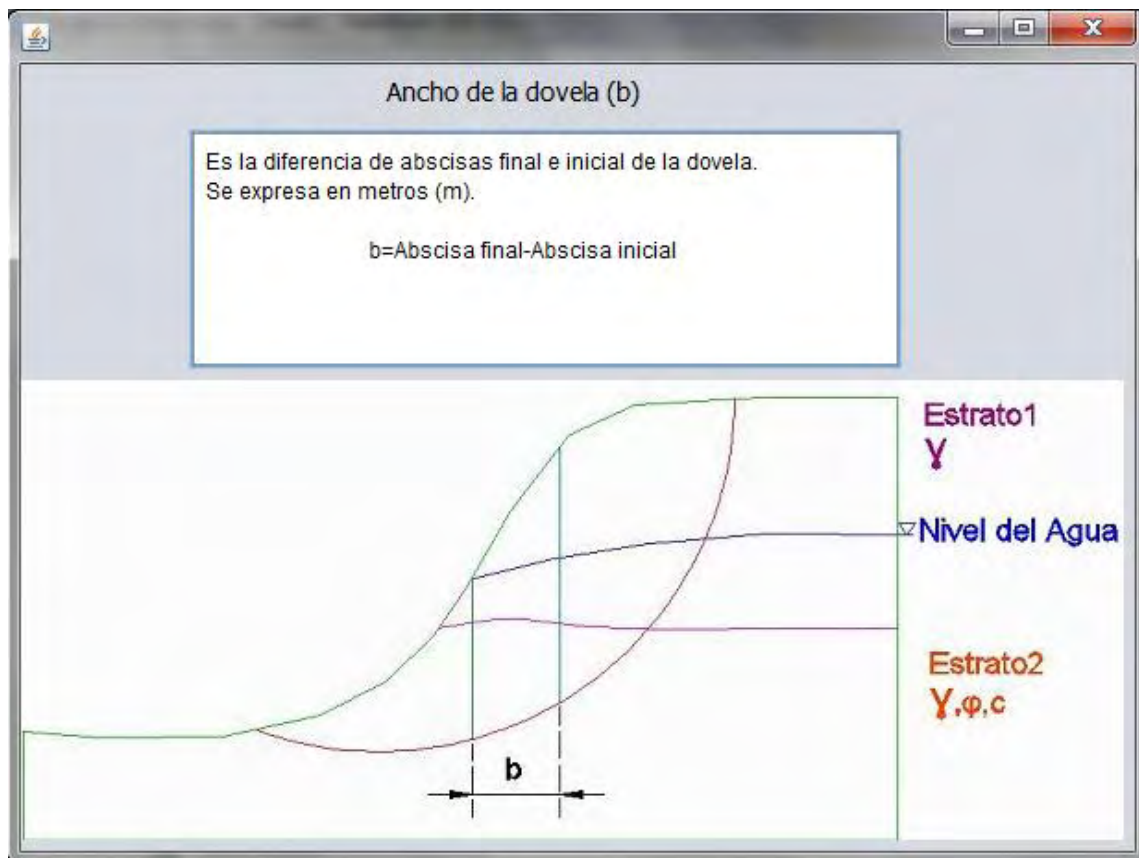
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *ND* para cada uno de los métodos analizados



Nombre de interfaz: Abscisa inicial de Dovela

Propósito: Detalla lo correspondiente a la abscisa inicial de cada dovela.

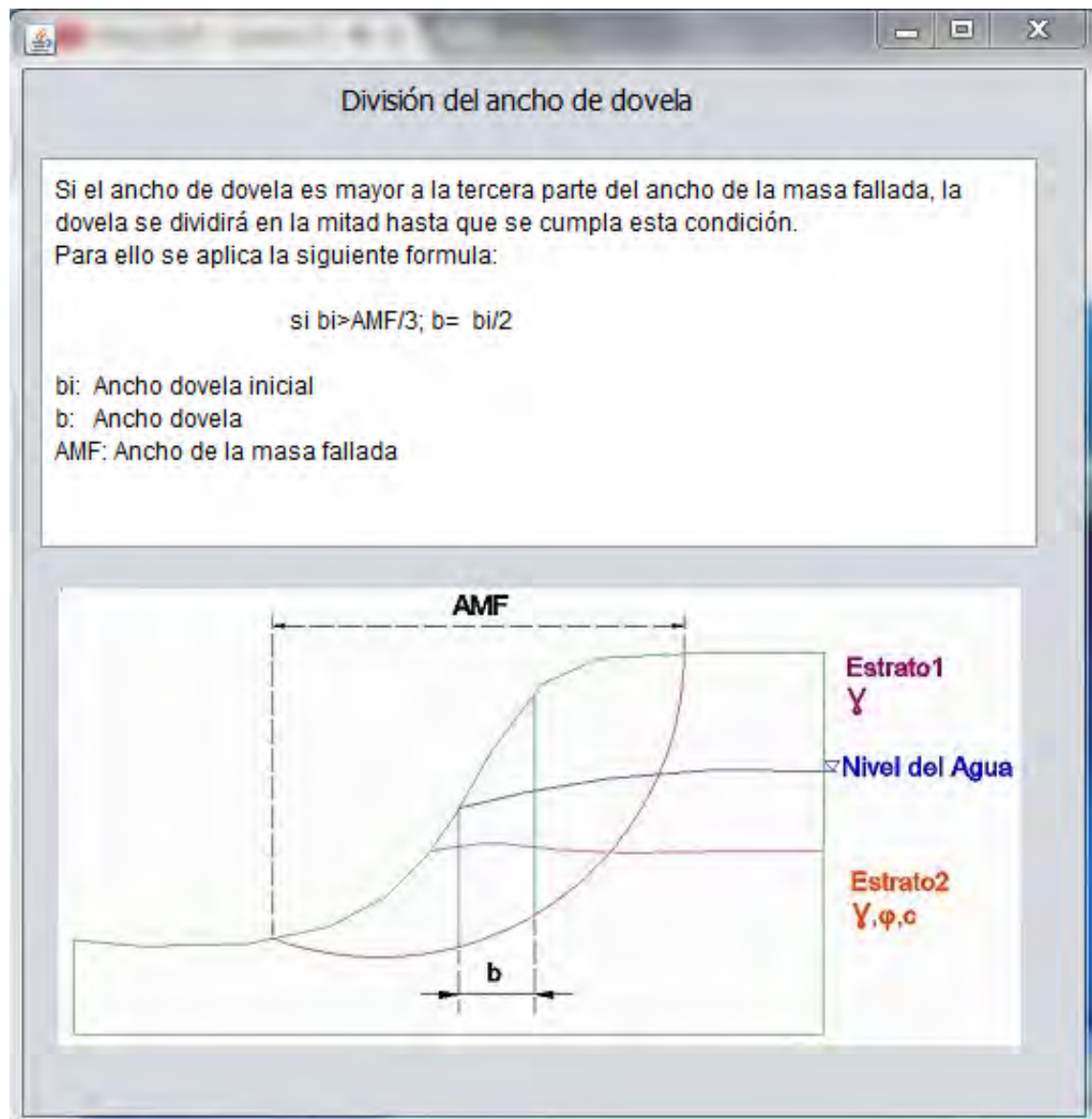
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón X_i para cada uno de los métodos analizados.



Nombre de interfaz: Ancho de la dovela

Propósito: Detalla lo referente al ancho de dovela.

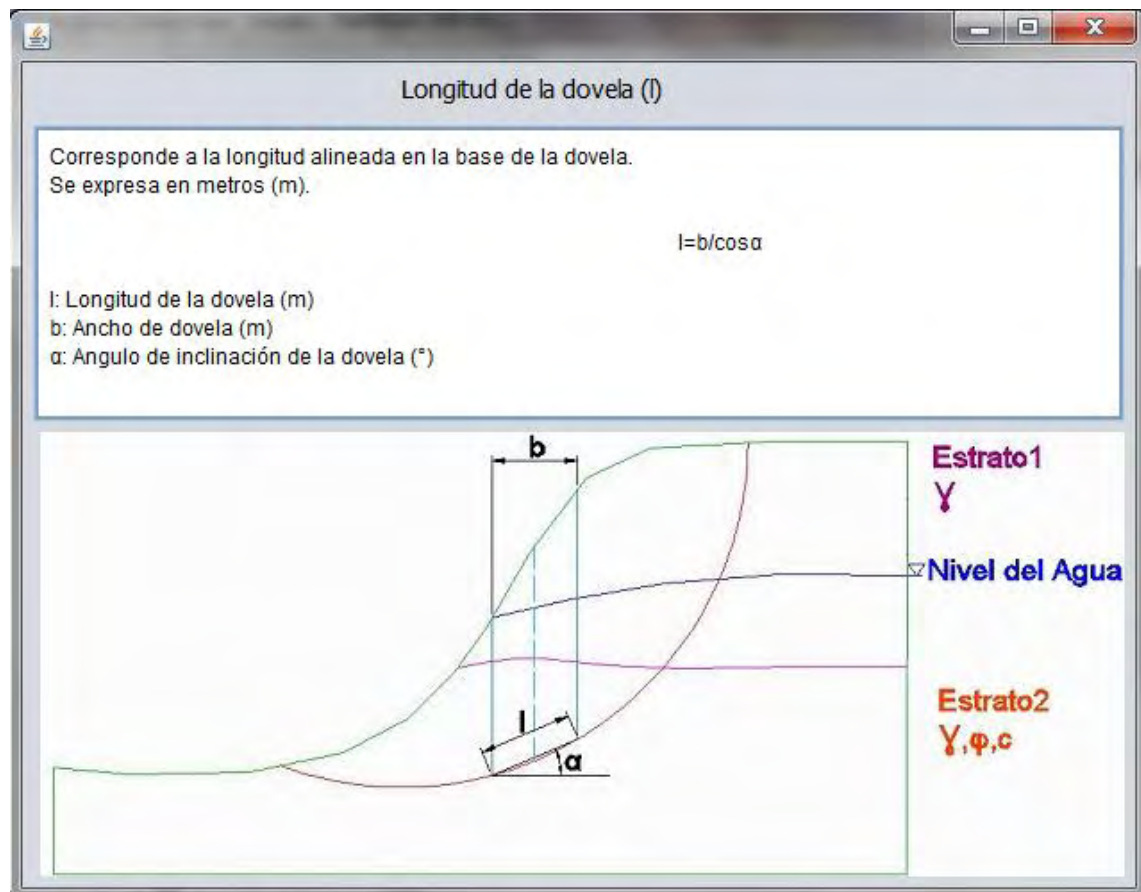
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *b* para el método de Bishop Simplificado y Janbu Simplificado. Esta interfaz da a conocer el concepto del ancho de dovela y muestra una imagen como ejemplo.



Nombre de interfaz: División del ancho de la dovela

Propósito: Detalla lo referente a la división del ancho de dovela.

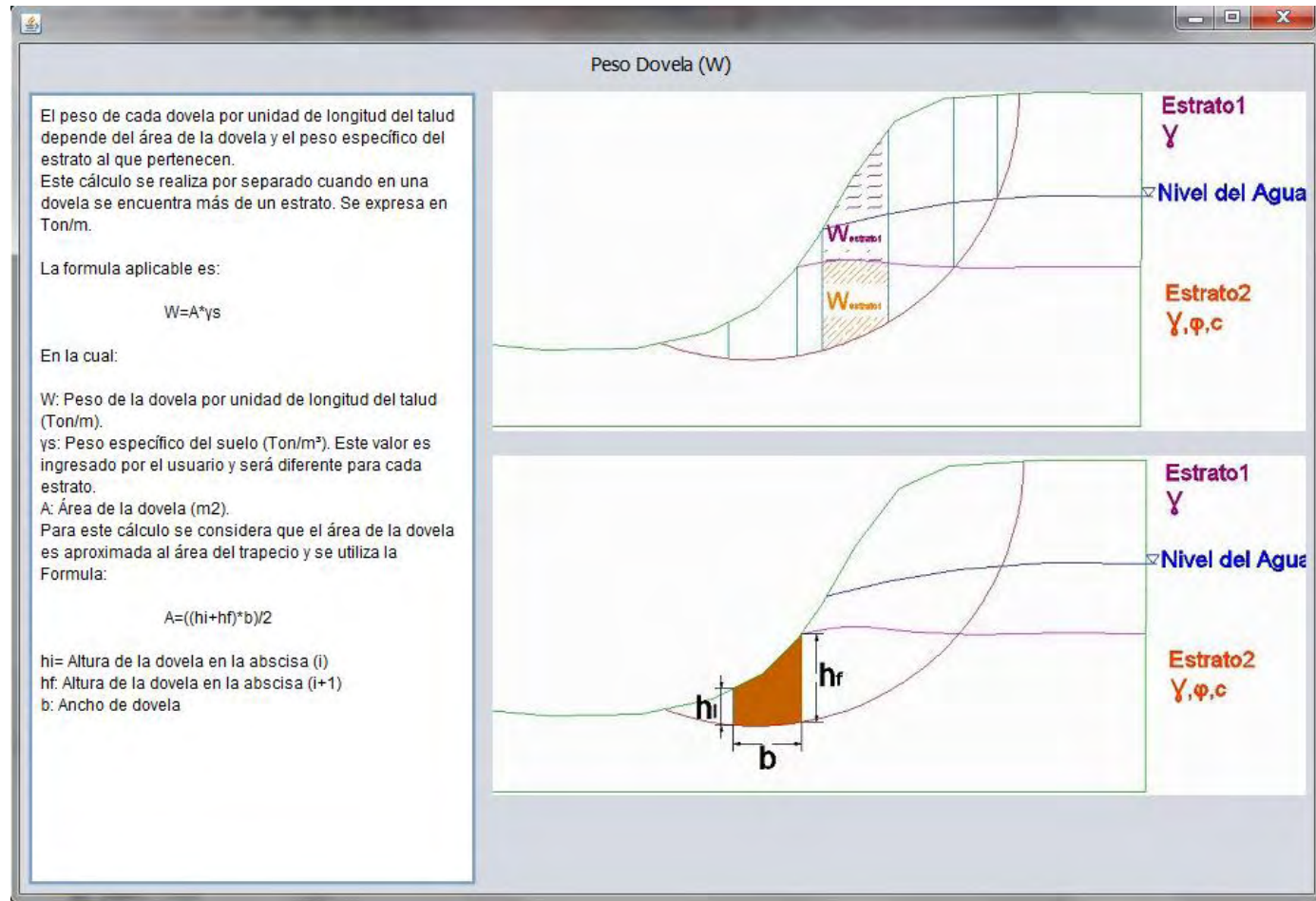
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cuatro (No.4) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *Ver Detalle* para los métodos analizados. Esta interfaz da a conocer como se divide el ancho de dovela mediante fórmula e imagen de ejemplo.



Nombre de interfaz: Longitud de la dovela

Propósito: Detalla lo referente a la longitud de la dovela.

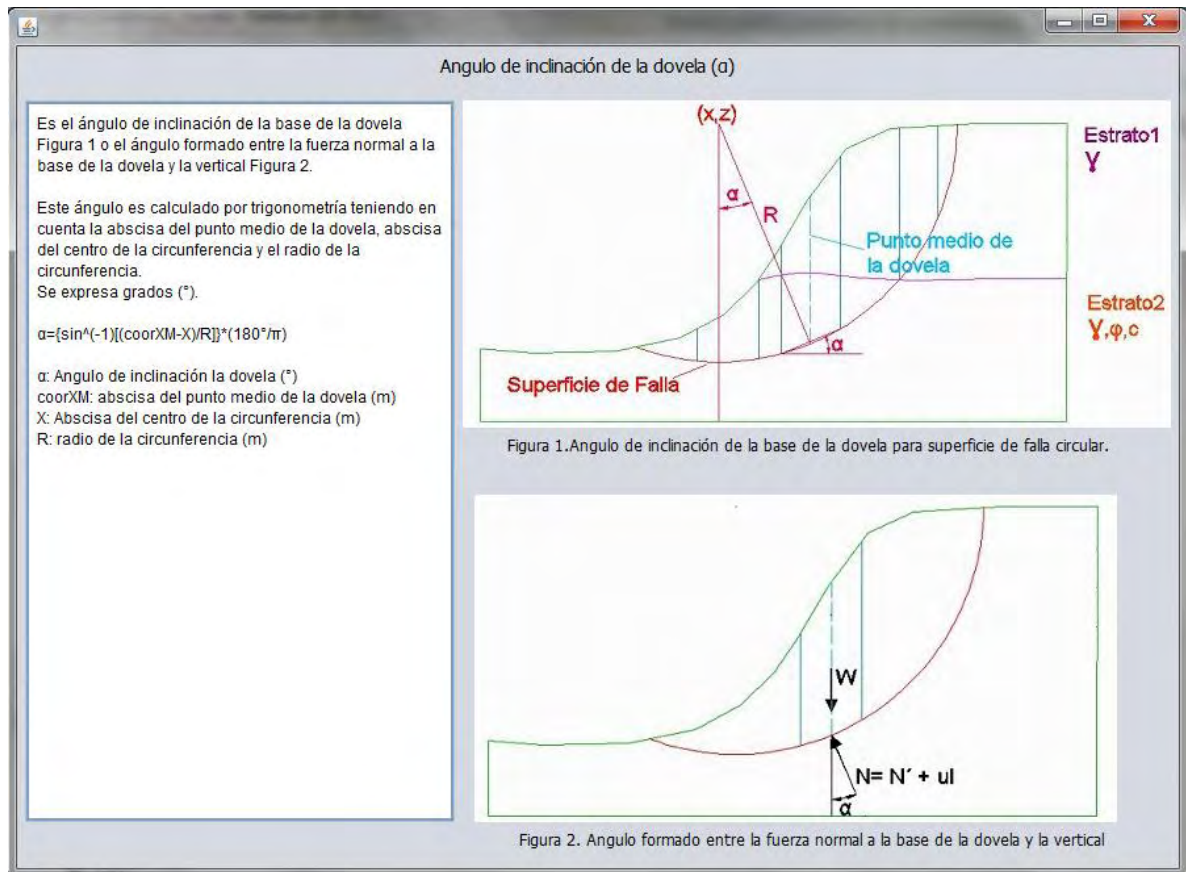
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *l* para el Desarrollo General del Método de las Dovelas. Esta interfaz da a conocer el concepto de la longitud de dovela y muestra una imagen como ejemplo.



Nombre de interfaz: Peso Dovela

Propósito: Mostrar lo referente al Peso de la Dovela.

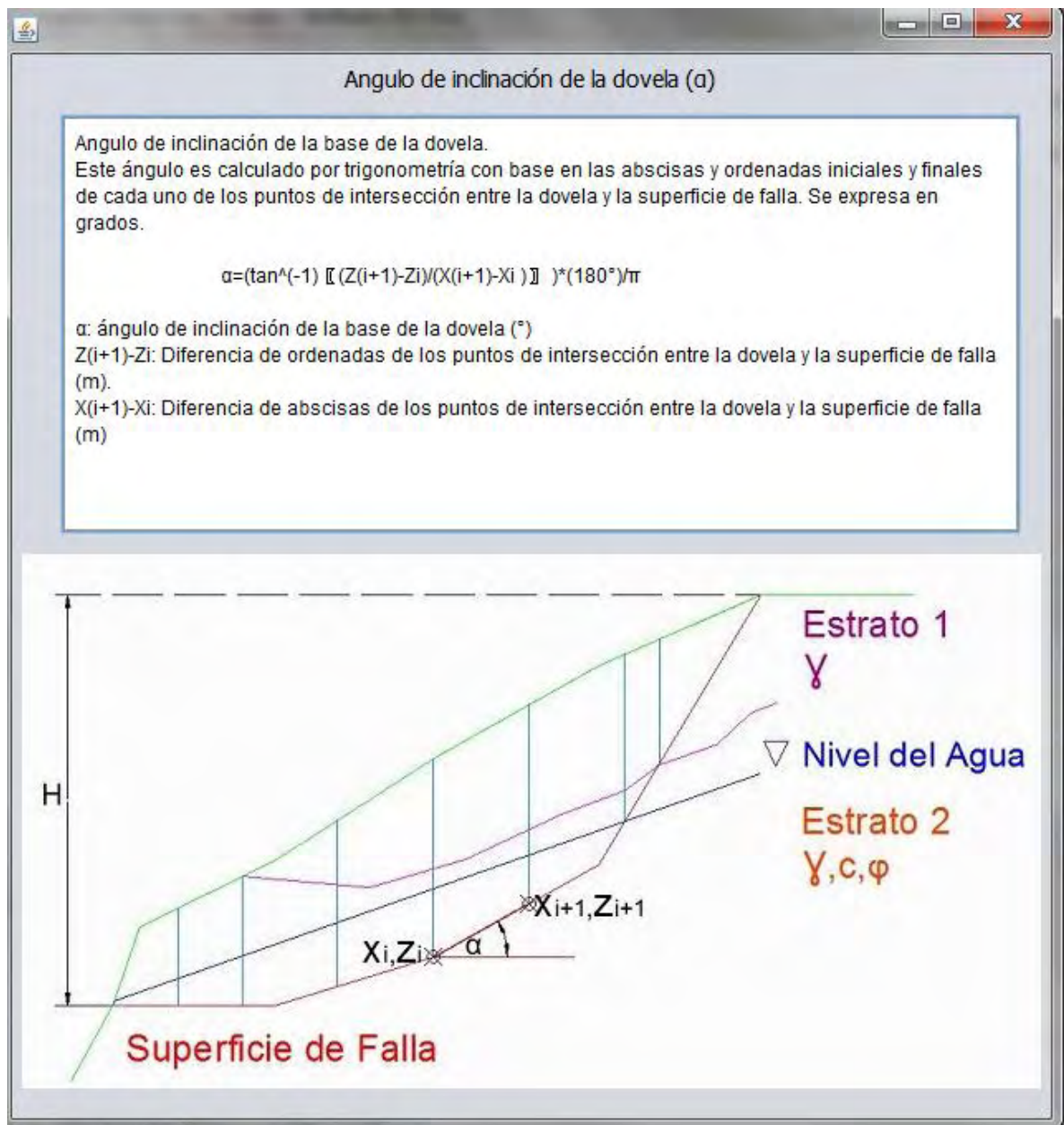
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) en la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón W para los métodos analizados. Esta interfaz da a conocer el concepto del Peso de una dovela y muestra una imagen como ejemplo.



Nombre de interfaz: Angulo de inclinación de la dovela en Superficie de Falla Circular

Propósito: Detalla lo referente al ángulo de inclinación de la dovela en superficie de falla circular.

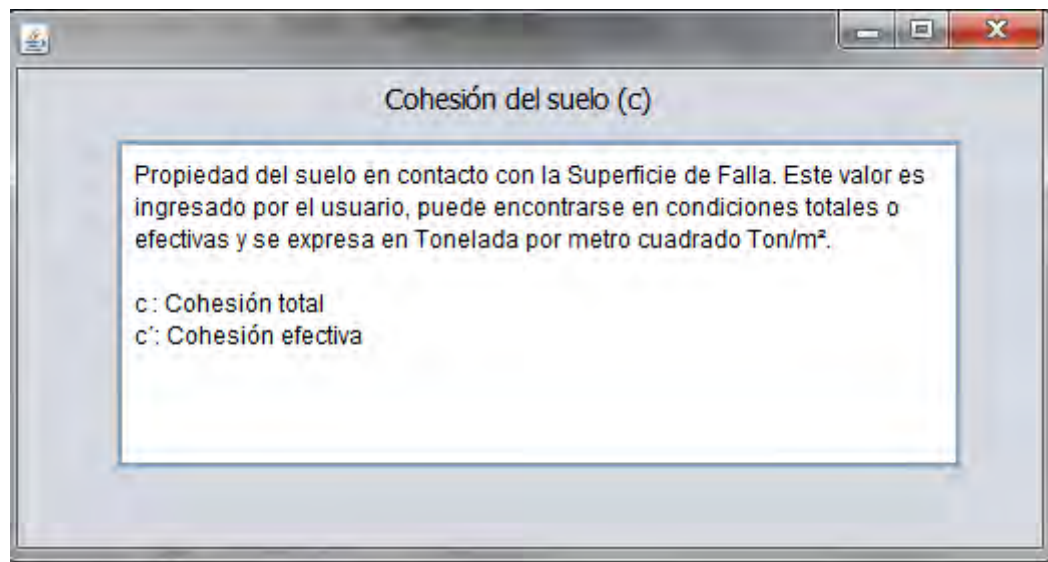
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón α para los métodos analizados. Esta interfaz da a conocer el concepto y la fórmula utilizada para el cálculo del ángulo de inclinación de la dovela y muestra una imagen como ejemplo.



Nombre de interfaz: Angulo de inclinación de la dovela en Superficie de Falla Compuesta

Propósito: Detalla lo referente al ángulo de inclinación de la dovela en superficie de falla compuesta.

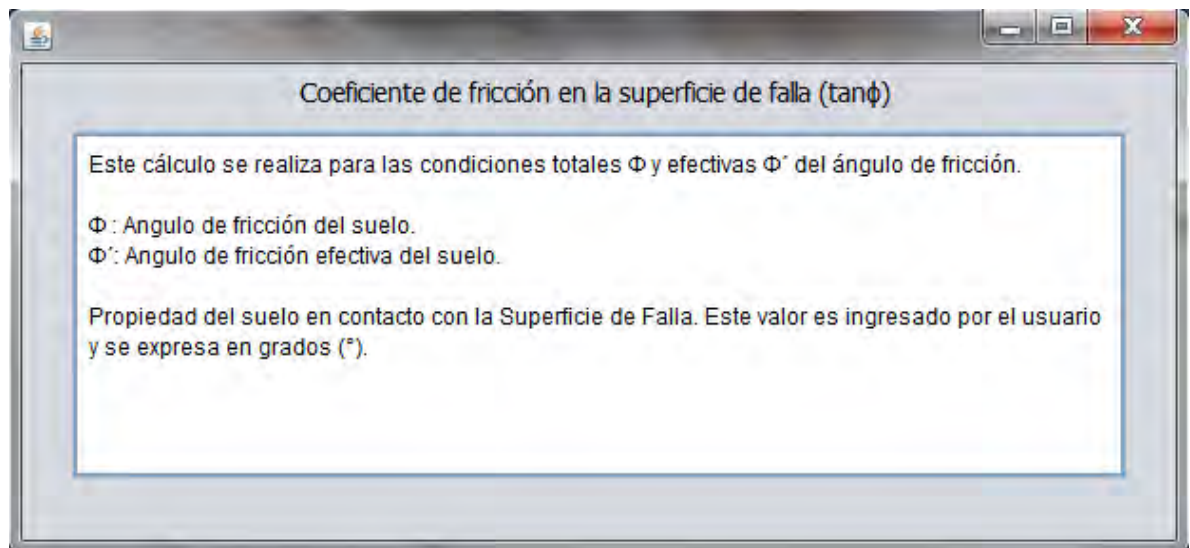
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón α para los métodos analizados. Esta interfaz da a conocer el concepto y la fórmula utilizada para el cálculo del ángulo de inclinación de la dovela y muestra una imagen como ejemplo.

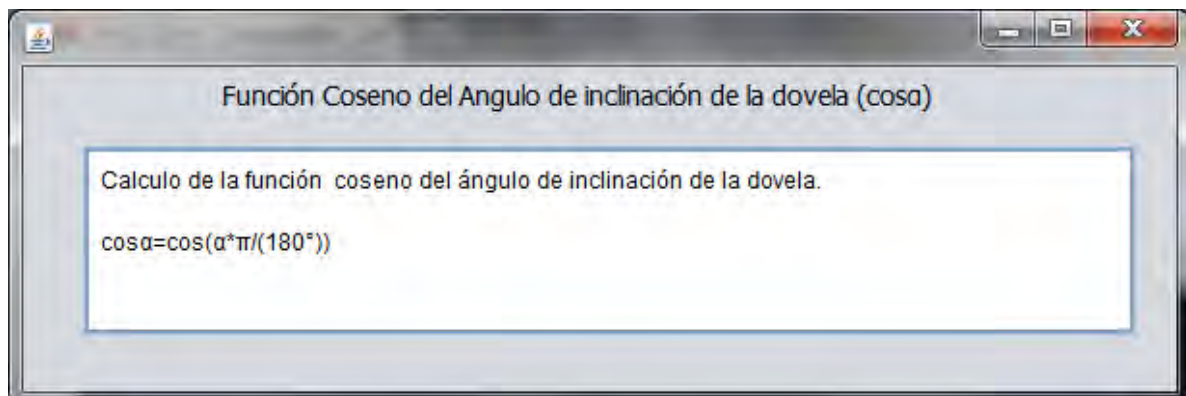


Nombre de interfaz: Cohesión del suelo

Propósito: Detalla lo referente a la Cohesión del suelo.

Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *c* para los métodos analizados. Esta interfaz da a conocer el concepto de la Cohesión del suelo.

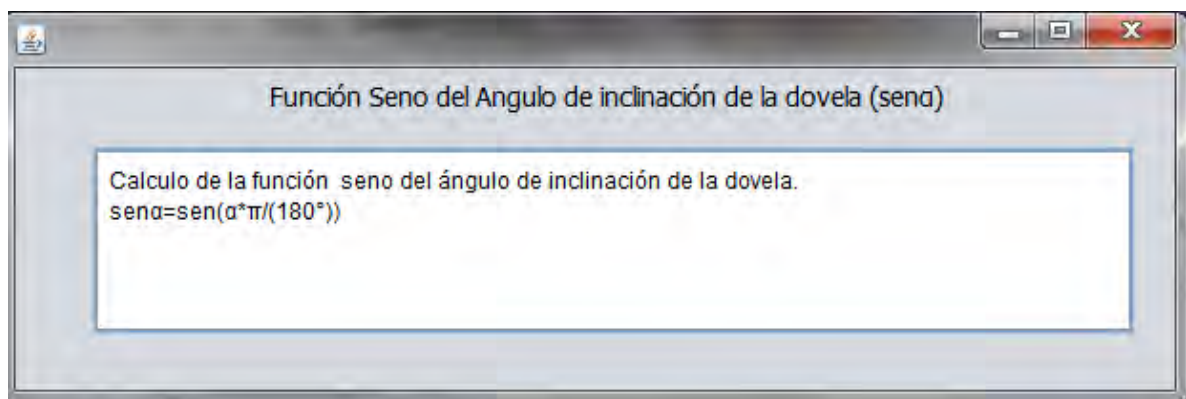




Nombre de interfaz: Función Coseno del ángulo de inclinación de la dovela.

Propósito: Detalla lo referente a las funciones trigonométricas del ángulo de inclinación de la dovela.

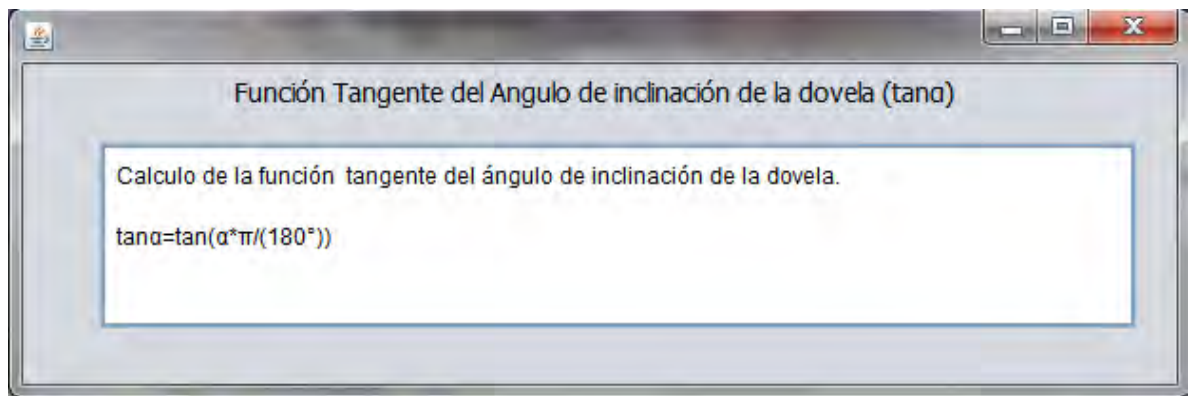
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *cosa* para el método de Janbu Simplificado y Desarrollo General del Método de las Dovelas. Esta interfaz da a conocer el concepto y la fórmula utilizada para el cálculo de esta función.



Nombre de interfaz: Función Seno del ángulo de inclinación de la dovela.

Propósito: Detalla lo referente a las funciones trigonométricas del ángulo de inclinación de la dovela.

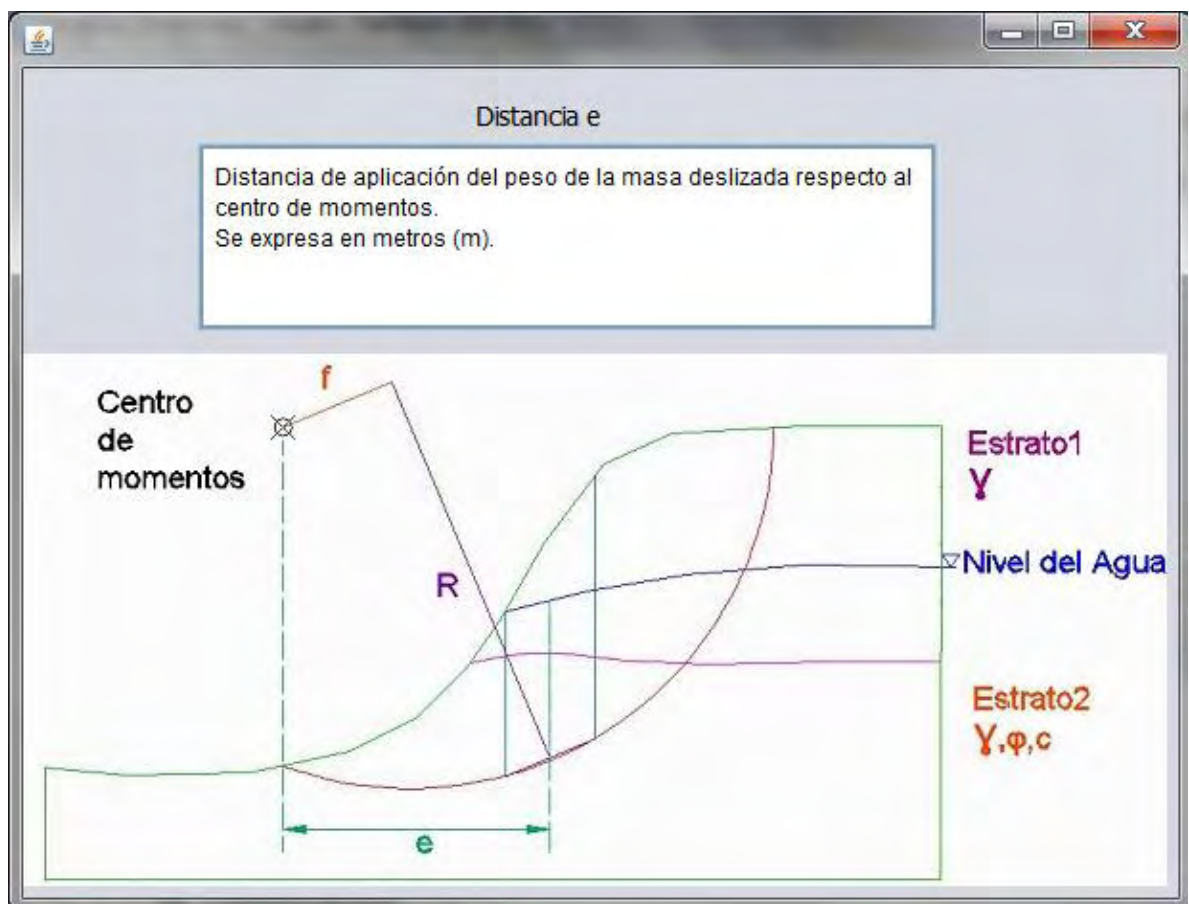
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *sena* para el método de Bishop Simplificado y Desarrollo General del Método de las Dovelas. Esta interfaz da a conocer el concepto y la fórmula utilizada para el cálculo de esta función.



Nombre de interfaz: Función Tangente del ángulo de inclinación de la dovela.

Propósito: Detalla lo referente a las funciones trigonométricas del ángulo de inclinación de la dovela.

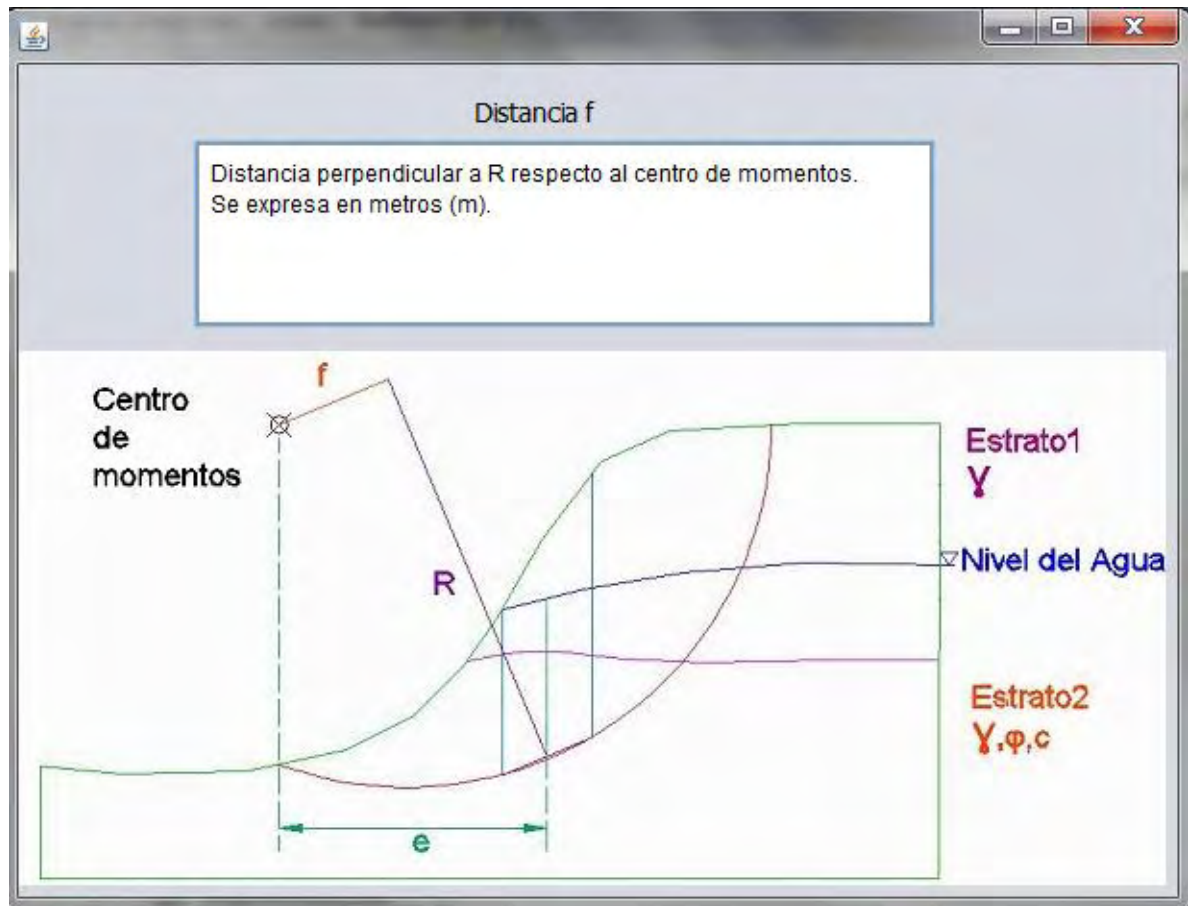
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *tana* para el método de Janbu Simplificado. Esta interfaz da a conocer el concepto y la fórmula utilizada para el cálculo de esta función.



Nombre de interfaz: Distancia e

Propósito: Detalla a las distancias con respecto al centro de momentos.

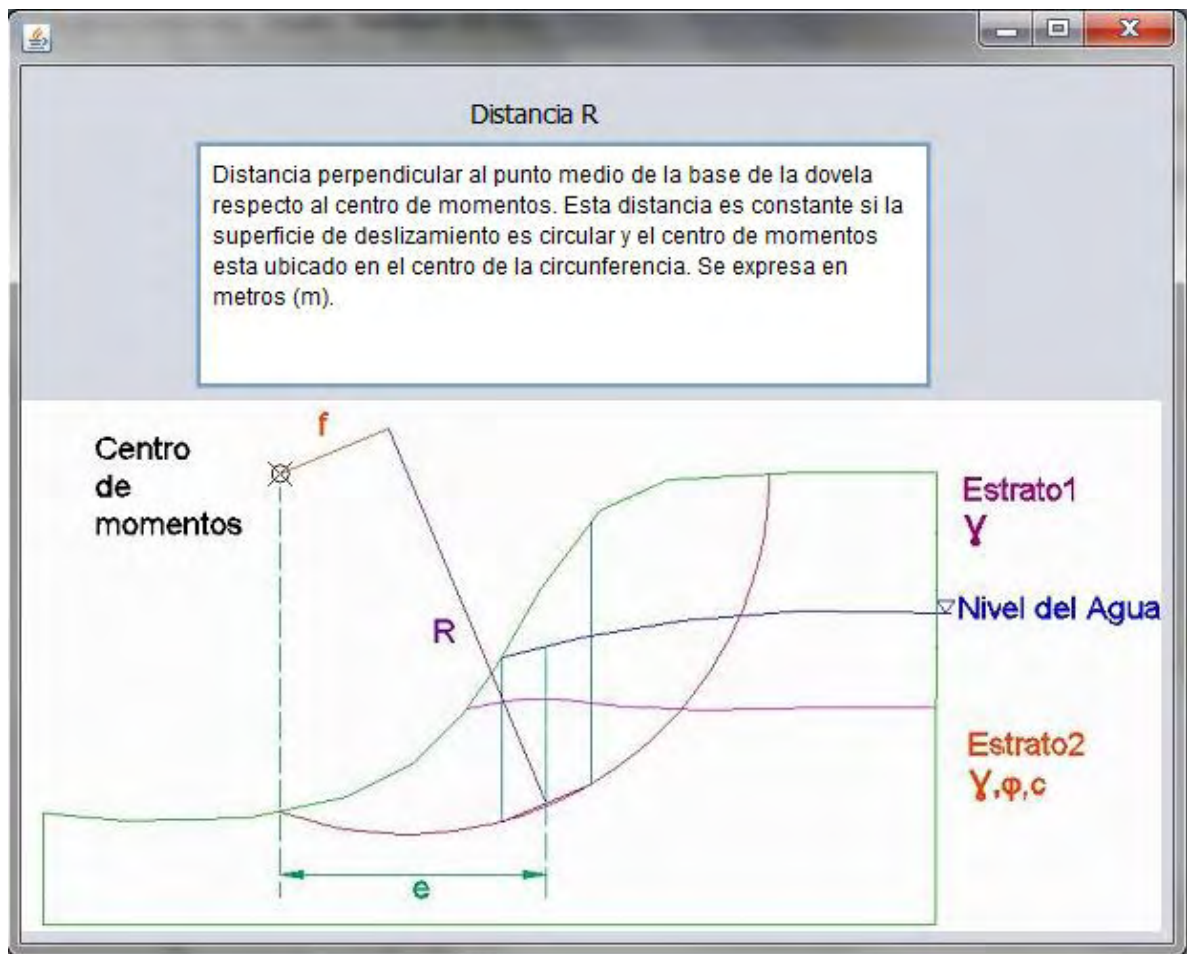
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón e para el Desarrollo General del Método de las Dovelas.



Nombre de interfaz: Distancia f

Propósito: Detalla a las distancias con respecto al centro de momentos.

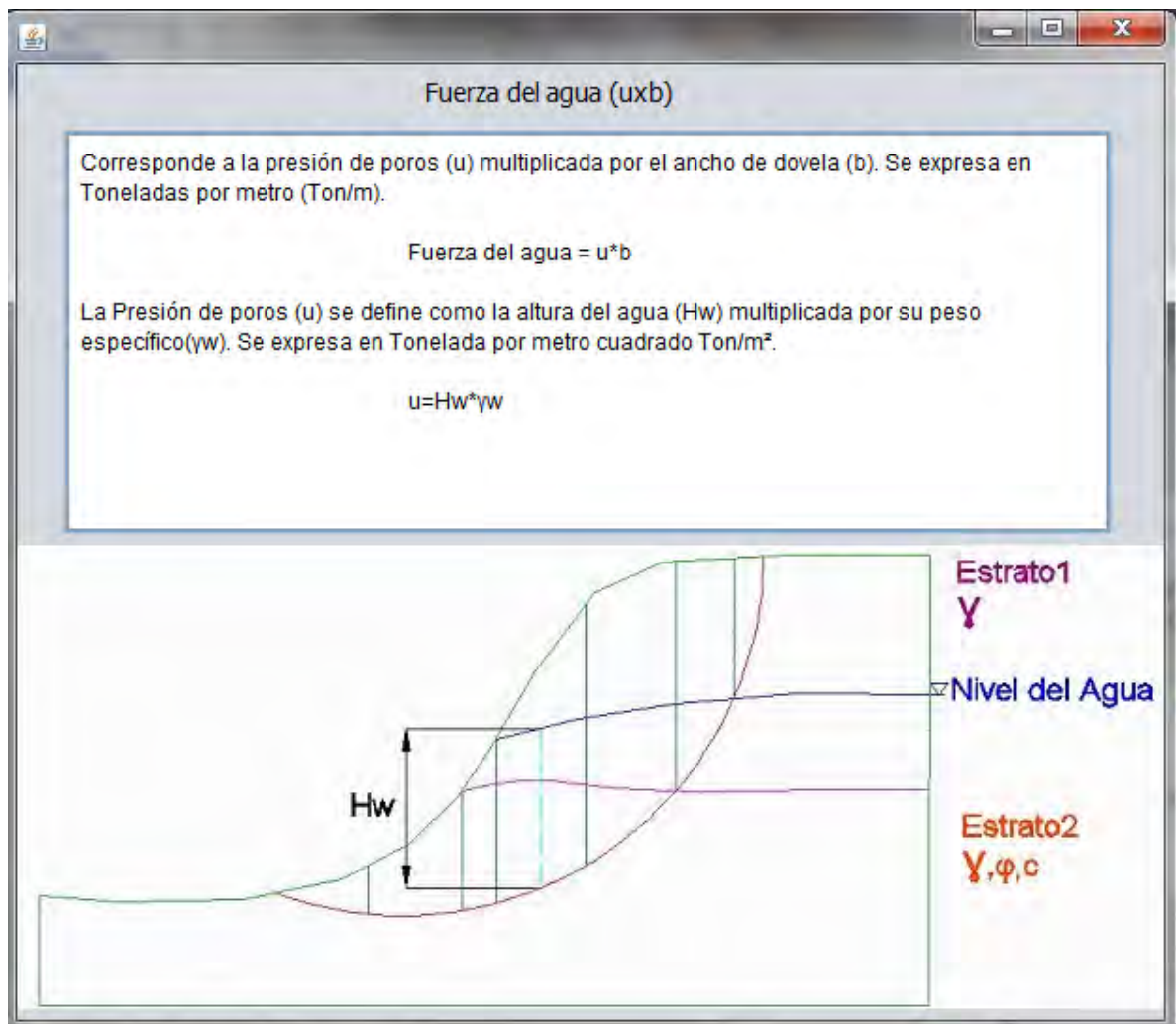
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón f para el Desarrollo General del Método de las Dovelas.



Nombre de interfaz: Distancia R

Propósito: Detalla a las distancias con respecto al centro de momentos.

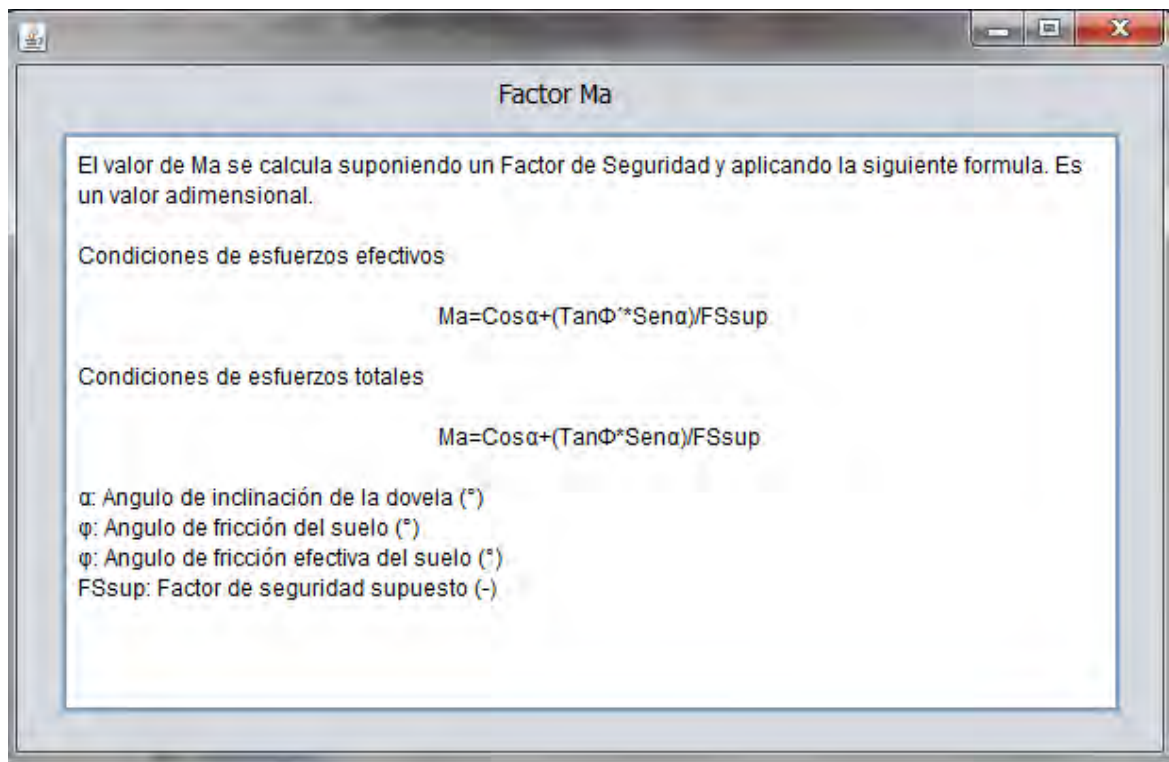
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *R* para el Desarrollo General del Método de las Dovelas.



Nombre de interfaz: Fuerza del agua

Propósito: Dar a conocer conceptos y fórmulas.

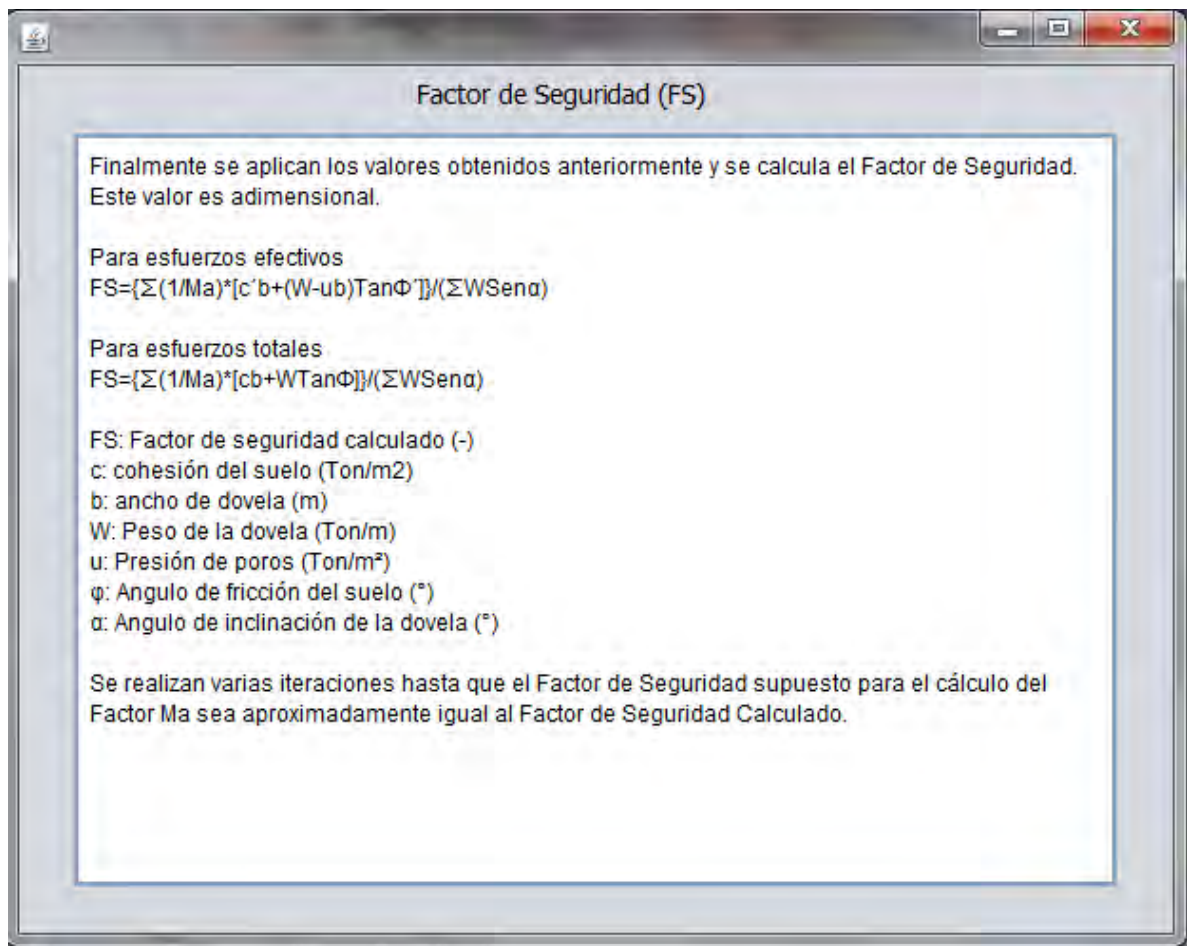
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *uxb* para el método de Bishop Simplificado y Janbu Simplificado. Esta interfaz da a conocer el concepto y la fórmula utilizada para el cálculo de la Presión de Poros y Fuerza del agua y muestra una imagen como ejemplo de la altura del nivel freático en el punto medio de la dovela.



Nombre de interfaz: Factor Ma

Propósito: Dar a conocer conceptos y fórmulas.

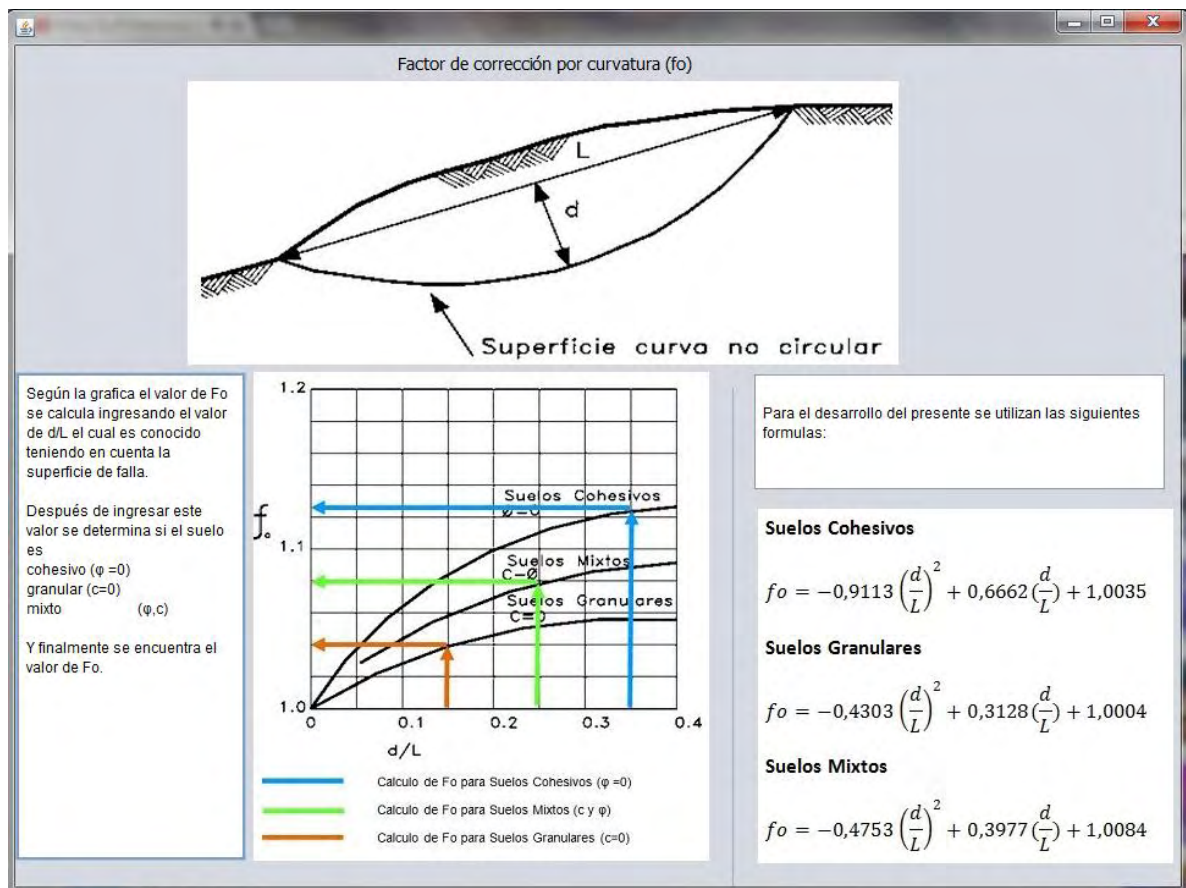
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *Ma* para el método de Bishop Simplificado y Janbu Simplificado.



Nombre de interfaz: Factor de Seguridad Método Bishop

Propósito: Dar a conocer las fórmulas utilizadas en este paso.

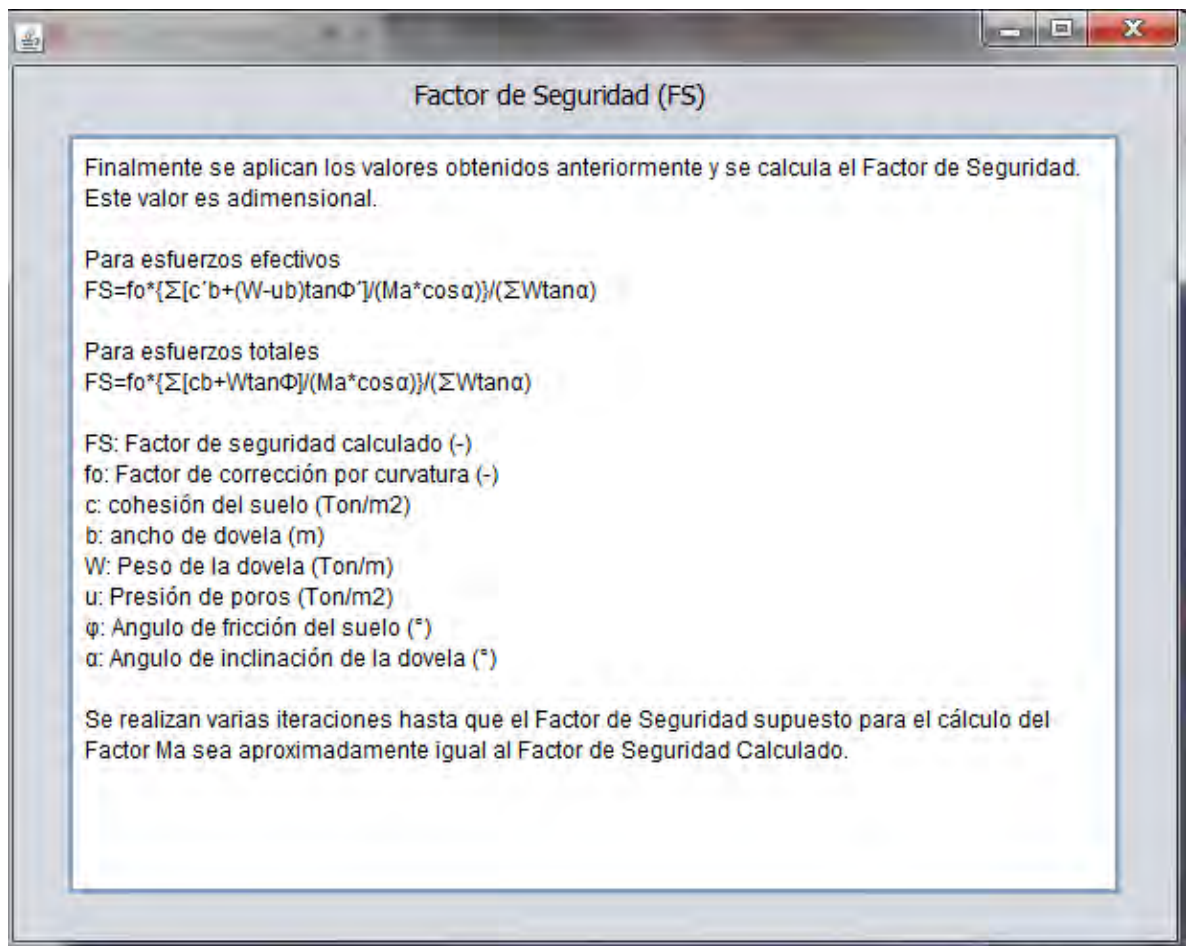
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *FS* para el método de Bishop Simplificado. Esta interfaz da a conocer la descripción y la fórmula utilizada para el cálculo del Factor de Seguridad por el Método de Bishop Simplificado.



Nombre de interfaz: Factor de Corrección por curvatura.

Propósito: Dar a conocer el concepto, fórmulas y gráficas.

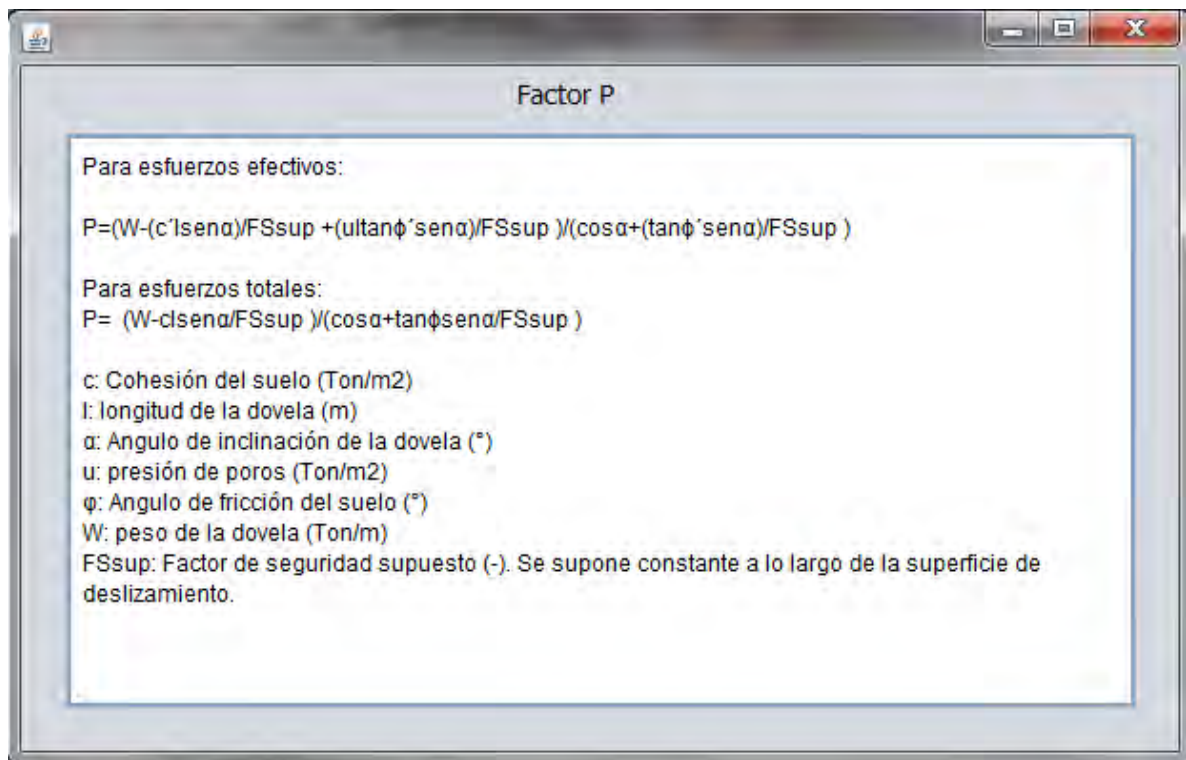
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón f_o para el Método de Janbu Simplificado. Esta interfaz da a conocer el concepto, las fórmulas utilizadas y una gráfica alterna para los respectivos cálculos.



Nombre de interfaz: Factor de Seguridad Método Janbu

Propósito: Dar a conocer las fórmulas utilizadas en este paso.

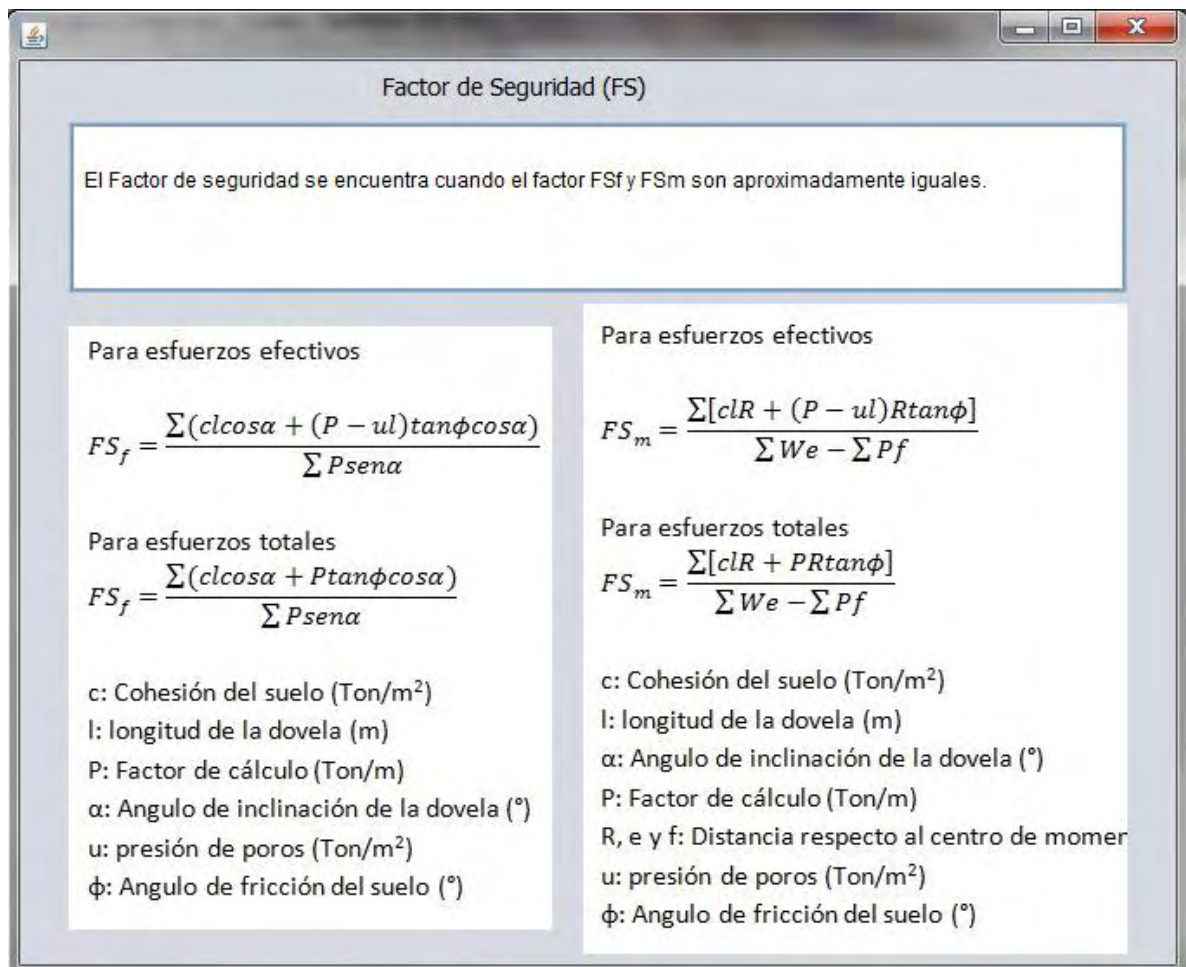
Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *FS* para el método de Janbu Simplificado. Esta interfaz da a conocer la descripción y la fórmula utilizada para el cálculo del Factor de Seguridad por el Método de Janbu Simplificado.



Nombre de interfaz: Factor P

Propósito: Dar a conocer las fórmulas utilizadas.

Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *P* para el Desarrollo General del Método de las Dovelas.



Nombre de interfaz: Factor de Seguridad Desarrollo General del Método de las Dovelas.

Propósito: Dar a conocer las fórmulas utilizadas en este paso.

Resumen: Esta opción se activa en el paso número cinco (No.5) de la interfaz *Procedimiento* al dar clic en el botón *FS* para el Desarrollo General del Método de las Dovelas.

Anexo 6 Diagrama de Clases

Diagrama de clases del paquete *talud*

Coordenadas
x: double z: double listaCoordenadas: Coordenadas [] mensaje: String maxXLC: double maxZLC: double minXLC: double minZLC: double
♦getX(): double ♦getZ(): double ♦setX(): double ♦setZ(): double ♦adicionarCoordenadas(x,z:double): void ♦leerCordenadasArchivo(nombreArchivo: String): boolean ♦mostrarListaCoordenadas(): void ♦getListaCoordenadas(): Coordenadas[] ♦getMensaje(): String ♦getMaxXLC(): double ♦getMaxZLC(): double ♦getMinXLC(): double ♦getMinZLC(): double ♦setMaxXLC(maxXLC:double): void ♦setMaxZLC(maxZLC:double): void ♦setMinXLC(minXLC:double): void ♦setMinZLC(minZLC:double): void ♦setListaCoordenadas(listaCoordenadas:Coordenadas[]): void

Perfil
maxX: double maxZ: double minX: double minZ: double listaCoordenadas:Coordenadas [] pixelesPorMetroX: double pixelesPorMetroZ: double
♦llenarCoordenadaPerfil(x, z:double): void ♦llenarCoordenadasArchivo(nombreArchivo:String): boolean ♦calcularPixelesPorMetro(alto,ancho:int): void ♦dibujarPerfil(g:Graphics,alto,ancho:int): void ♦getListaCoordenadas(): Coordenadas[] ♦getmaxX(): double ♦getmaxZ(): double ♦getminX(): double ♦getminZ(): double ♦setMaxX(maxX:double): void ♦setMaxZ(maxZ: double): void ♦setMinX(minx:double): void ♦setMinZ(minZ:double): void ♦getPixelesPorMetroX(): double ♦setPixelesPorMetroX(pixelesPorMetroX:double): void ♦getPixelesPorMetroZ(): double ♦setPixelesPorMetroZ(pixelesPorMetroZ:double): void

Estrato
-listaCE: Coordenadas[] -maxXCE: double -maxZCE: double -minXCE: double -minZCE: double -listaEstratos: LinkedList -pesoEspecifico: double -anguloFriccion: double -cohesion: double -zFinal: double
♦adicionarEstrato(estratoN:Estrato): void ♦llenarCoordenadasEstratoArchivo(nombreArchivo:String) : boolean ♦dibujarEstrato(g:Graphics,alto,ancho,numeroEstrato:int,maxX,maxZ,minX,minZ,pixelesPorMetroX,pixelesPorMetroZ:double): void ♦dibujarEstrato(g:Graphics,alto,ancho,numeroEstrato:int,maxX,maxZ,minX,minZ:double): void ♦getListCE(): Coordenadas[] ♦getmaxXCE(): double ♦getmaxZCE(): double ♦getminXCE(): double ♦getminZCE(): double ♦getListEstratos():LinkedList ♦getPesoEspecifico(): double ♦setPesoEspecifico(pesoEspecifico:double): void ♦getAnguloFriccion(): double ♦setAnguloFriccion(anguloFriccion:double): void ♦getCohesion(): double ♦setCohesion(cohesion:double): void

NivelFreatico
-listaCNF: Coordenadas[] -maxXCNF: double -maxZCNF: double -minXCNF: double -minZCNF: double
♦llenarCoordenadaNF(x,z:double): void ♦llenarCoordenadasNFArchivo(nombreArchivo:String) : boolean ♦dibujarNF(g:Graphics,alto,ancho:int,maxX,maxZ,minX,minZ,pixelesPorMetroX,pixelesPorMetroZ:double): void ♦dibujarNF(g:Graphics,alto,ancho:int,maxX,maxZ,minX,minZ:double): void ♦getListCNF(): Coordenadas[] ♦getmaxXCNF(): double ♦getmaxZCNF(): double ♦getminXCNF(): double ♦getminZCNF(): double

SuperficieFalla
-listaCSF: Coordenadas[] -maxXCSF: double -maxZCSF: double -minXCSF: double -minZCSF: double
♦llenarCoordenadaSFCompuesta(x,z:double): void ♦llenarCoordenadasSFArchivo(nombreArchivo:String) : boolean ♦dibujarSF(g:Graphics,alto,ancho:int,maxX,maxZ,minX,minZ,pixelesPorMetroX,pixelesPorMetroZ:double): void ♦dibujarNF(g:Graphics,alto,ancho:int,maxX,maxZ,minX,minZ:double): void ♦getListCSF(): Coordenadas[] ♦getmaxXCSF(): double ♦getmaxZCSF(): double ♦getminXCSF(): double ♦getminZCSF(): double

CoordenadasCirculoBishop
-x: int -z: int -radiox: int -radioz: int
♦setValores(x,z,radioX,radioZ:int): void ♦dibujarCirculo(g: Graphics): void ♦dibujarCirculo(g:Graphics,x,z,radioX,radioZ:int): void

Dovela
<ul style="list-style-type: none"> - posicionDovela: double - xIDovela: double - zIDovela: double - xMDovela: double - zMDovela: double - anguloMDovela: double - areaDovela: double - pesoDovela: double - anguloFriccionDovela: double - cohesionDovela: double - zNFMDovela: double - xFDovela: double - columna10: double - columna11: double - columna15: double - columna16: double - columna21: double - columna22: double - columna24: double - FSsupuesto: double - Xo: double - Zo: double - FSsupuestoMGeneral: double - iniciaEstrato: boolean - listaCortesDovela: LinkedList - listaAlturasDovela: LinkedList
<ul style="list-style-type: none"> ◆Dovela() ◆adicionarCorteDovela(obj_corteDovela: CortesDovela): void ◆verificarInicioEstrato(nombresCortes:LinkedList,nombreVerificar: String): void ◆calcularAlturasCortes(): void ◆ordenarCortesDovela(): void ◆quitarRepetidos(): void ◆mostrarDatosDovela(): void ◆mostrarDatosDovelaJanbu(): void ◆mostrarDatosDovelaMGeneral(): void ◆getPosicionDovela(): double ◆setPosicionDovela(posicionDovela: double): void ◆getXIDovela(): double ◆setXIDovela(xIDovela:double): void ◆setXFDovela(xFDovela:double): void ◆setXMDovela(xMDovela:double): void ◆getzMDovela(): double ◆setzMDovela(zMDovela:double): void ◆setAnguloMDovela(AnguloMDovela: double): void ◆getListCortesDovela(): LinkedList

- ◆getListaAlturasDovela():LinkedList
- ◆getzNFMDovela()
- ◆setzNFMDovela(zNFMDovela: double): void
- ◆isIniciaEstrato(): boolean
- ◆setPesoDovela(double pesoDovela): void
- ◆setAnguloFriccionDovela(double anguloFriccionDovela): void
- ◆setCohesionDovela(cohesionDovela: double): void
- ◆getColumna10(): double
- ◆getColumna11(): double
- ◆getFSsupuesto(): double
- ◆setFSsupuesto(FSsupuesto:double): void
- ◆getColumna15(): double
- ◆getColumna16(): double
- ◆setAreaDovela(areaDovela:double): void
- ◆getColumna21(): double
- ◆getColumna22(): double
- ◆getColumna24(): double
- ◆setzIDovela(double zIDovela): void
- ◆getXo(): double
- ◆setXo(Xo:double): void
- ◆getZo(): double
- ◆setXo(Zo:double): void
- ◆setFSsupuestoMGeneral(FSsupuestoMGeneral:double): void

CortesDovela
-corteDZ: double -altura: double -nombre: String
◆getCorteDZ(): double ◆setCorteDZ(corteDZ:double): void ◆getNombre(): String ◆setNombre(nombre:String): void ◆ getAltura(): double ◆ setAltura(altura:double): void

AlturaDovela
-altura: double -corteZ1: double -corteZ2: double
◆getAltura(): double ◆ setAltura(altura:double): void ◆getCorteZ1(): double ◆setCorteZ1(corteZ1:double): void ◆getCorteZ2(): double ◆setCorteZ2(corteZ2:double): void

Talud
<ul style="list-style-type: none"> -perfilTalud: Perfil -listaEstratosTalud: Estrato -estratoFinal: Estrato -nivelFreaticoTalud: NivelFreatico -superficieFallaTalud: SuperficieFalla -Proyecto: Proy -listaDovelas: LinkedList -listaAbscisasBishop: LinkedList -listaAbscisasJanbu: LinkedList -listaPuntosX: LinkedList -listaPuntosZ: LinkedList -listaPuntosXAdicionados: LinkedList -listaPuntosZAdicionados: LinkedList -PISFx1: double -PISFx2: double -PISFz1: double -PISFz2: double -PISFCx1: double -PISFCz1: double -PISFCx2: double -PISFCz2: double -PISFCz2s: double -SFINfx2: double -SFINfx1: double -SFINFz1: double -SFINFz2: double -SFINFJanbux1: double -SFINFJanbux2: double -SFINFJanbuz1: double -SFINFJanbuz2: double -x: double -z: double -r: double -MaxCoorX: double -MaxCoorXJanbu: double -PINFx: double -PINFJanbux: double -FS: double -CE: double -AFE: double -Xo: double -Zo: double -Fo:double -zPerfil:double -Punto1: boolean -Punto2: boolean

-presenciaNFTalud:boolean
metodoSeleccionadoEnTalud:boolean

◆calcularMaxCoorX(): void
◆mostrarListaAbscisasBishop(): void
◆mostrarListaAbscisasSupCompuesta(): void
◆ordenarCortesDovelas(): void
◆calcularAlturasDovelas(): void
◆calcularAlturasDovelasSupCompuesta(): void
◆mostrarAlturaDovelas(): void
◆mostrarCortes(): void
◆calcularPesoDovelas(): void
◆dentroPerfil(x,z:double): boolean
◆identificarEstrato(x,z:double): String
◆crearDovelas(): void
◆crearDovelasSupCompuesta(): void
◆mostrarDovelas(): void
◆mostrarDovelasJanbu(): void
◆mostrarDovelasMGeneral(): void
◆ordenarListaAbscisasBishop(): void
◆ordenarListaAbscisasSupCompuesta(): void
◆adicionarAbscisas(): void
◆adicionarAbscisasSupCompuesta(): void
◆getPerfilTalud(): Perfil
◆getListEstratosTalud(): Estrato
◆getNivelFreaticoTalud(): NivelFreatico
◆setPerfilTalud(perfilTalud1:Perfil): void
◆setEstratosTalud(estratosTalud1:Estrato): void
◆setNivelFreaticoTalud(nivelFreaticoTalud1:NivelFreatico): void
◆recorrerPerfil(): void
◆recorrerEstratos(): void
◆recorrerNF(): void
◆recorrerSuperficieFalla(): void
◆buscarSFINF(): void
◆buscarSFINFSupCompuesta(): void
◆buscarSFIE(): void
◆buscarSFIESupCompuesta(): void
◆buscarPINF(): void
◆buscarPINFSupCompuesta(): void
◆buscarPIE(): void
◆buscarPIESupCompuesta(): void
◆verificacionRadio():void
◆buscarPISFBishop(): void
◆buscarPISupCompuesta(): void
◆getSuperficieFallaTalud(): SuperficieFalla
◆setSuperficieFallaTalud(superficieFallaCompuestaTalud:SuperficieFalla): void

- ◆ getListadoDovelas(): LinkedList
- ◆ getEstratoFinal(): Estrato
- ◆ setEstratoFinal(estratoFinal:Estrato): void
- ◆ getX(): double
- ◆ setX(x:double): void
- ◆ getZ(): double
- ◆ setZ(z:double): void
- ◆ getR(): double
- ◆ setR(r:double): void
- ◆ getFS(): double
- ◆ setFS(FS:double): void
- ◆ getMaxCoorXJanbu(): double
- ◆ getMaxCoorX(): double
- ◆ getListadoPuntosX(): LinkedList
- ◆ getListadoPuntosZ(): LinkedList
- ◆ getListadoPuntosXAdicionados(): LinkedList
- ◆ getListadoPuntosZAdicionados(): LinkedList
- ◆ getFo(): double
- ◆ getzPerfil(): double
- ◆ getSupFallaSel(): double
- ◆ setSupFallaSel(supFallaSel:double): void
- ◆ isPresenciaNFTalud(): boolean
- ◆ setPresenciaNFTalud(presenciaNFTalud:boolean): void
- ◆ getListadoAbciscasBishop(): LinkedList
- ◆ setListadoAbciscasBishop(listadoAbciscasBishop:LinkedList): Void
- ◆ setListadoDovelas(listadoDovelas:LinkedList): Void
- ◆ setPISFx1(PISFx1:double): void
- ◆ setPISFx2(PISFx2:double): void
- ◆ setPISFz1(PISFz1:double): void
- ◆ setPISFz2(PISFz2:double): void
- ◆ setListadoPuntosX(listadoPuntosX: LinkedList): void
- ◆ setListadoPuntosZ(listadoPuntosZ: LinkedList): void
- ◆ getMetodoSeleccionadoEnTalud(): double
- ◆ setMetodoSeleccionadoEnTalud(metodoSeleccionadoEnTalud:double): void

Diagrama de clases del paquete *interfaces*

Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> - var_nombreArchivo:String - obj_perfil: Perfil - obj_estrato: Estrato - obj_listaEstratos: Estrato - obj_estratofinal: Estrato - obj_NF: NivelFreatico - obj_SuperficieFalla: SuperficieFalla - obj_Talud: Talud - obj_coordenadasCirculo: CoordenadasCirculoBishop - panelGraficacion: panelGraficas - numeroEstratos: int - presenciaNF: boolean - NombreProyecto:String - metodoSeleccionado: int - superficieFallaSel: int -numeroProcedimiento: int
<ul style="list-style-type: none"> ◆llenarNombresCamposBishop():void ◆llenarNombresCamposJanbu():void ◆llenarNombresCamposMGeneral():void ◆llenarTabla():void ◆ocultarBotones():void ◆Procedimiento(var_nombreArchivo:String,obj_perfil:Perfil,obj_estrato:Estrato, obj_listaEstratos:Estrato,obj_estratofinal:Estrato,obj_NF,SuperficieFalla:NivelFreatico,obj_SuperficieFalla:SuperficieFalla,obj_Talud:Talud,obj_coordenadasCirculo: CoordenadasCirculo,numeroEstratos:int,NF:boolean,NombreProyecto:String,metodoSeleccionado:int,superficieFallaSel:int):void ◆btnn_SiguienteActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_paso4ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_PMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_NDBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_XiBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_XiJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_XiMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_NDJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_NDMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_WBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_tanAFBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_cBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_bBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_ABishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_senABishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_ubBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_MaBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_WJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void ◆btnn_WMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void

- ◆ btn_tanAFJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_tanAFMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_cJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_cMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_bJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_AJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_AMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_cosAJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_cosAMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_tanAJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_ubJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_MaJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_IMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_senAMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_uMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_RMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_eMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_fMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_FSBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_FSJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_FSMGralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_atrasActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_FoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_guardarImagenActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆ btn_guardarTablaMouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt):void
- ◆ remplazarSeparador(cadena:String): String
- ◆ guardarImagen(rutaImagen:String):void
- ◆ setNumeroProcedimiento(numeroProcedimiento: int):void

Proyecto
<ul style="list-style-type: none"> - var_nombreArchivo:String - obj_perfil: Perfil - obj_estrato: Estrato - obj_listaEstratos: Estrato - obj_estratoFinal: Estrato - obj_NF: NivelFreatico - obj_SuperficieFalla: SuperficieFalla - obj_Talud: Talud - obj_coordenadasCirculo: CoordenadasCirculoBishop - panelGraficacion: panelGraficas - obj_dovela: Dovela - numeroEstratos: int - presenciaNF: boolean - NombreProyecto:String - metodoSeleccionado: int - superficieFallaSel: int

- ◆reemplazarSeparador(cadena:String): String
- ◆btt_n_pruebaBishopMouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt): void
- ◆UbicarPuntosPerfilActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt): void
- ◆CargarArchivoPerfilActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆CargarArchivoEstratoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆CargarArchivoNFActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆menuAsignarPropiedadesActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆btt_n_asignarActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnIBishopActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnIUbicarPuntosSFCoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnISFCActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnIJanbuActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnICargarSFCoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆btt_n_AsignarGraficar_SFCActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnINuevoProyectoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆btt_n_pruebaJanbuMouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt):void
- ◆MnIGeneralActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆btt_n_pruebaMGeneralMouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt):void
- ◆UbicarPuntosEstratosActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆finUbicarPuntos():void
- ◆btt_n_FinUbicarPuntosActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆UbicarPuntosNFActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆btt_n_asignar_coordenadasActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆SinNFActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnIConfiguracionPActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnI_DibujarSFCActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆btt_n_verProcedimientoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆btt_n_verDatosSFCActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnIGuardarProyectoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆MnIAbrirProyectoActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt):void
- ◆setNombreProyecto(NombreProyecto: String):void
- ◆ setMetodoSeleccionado(metodoSeleccionado:int):void
- ◆ setSuperficieFallaSel(superficieFallaSel: int): void
- ◆ isPresenciaNF(): boolean
- ◆setPresenciaNF(presenciaNF: boolean):void
- ◆ setTxt_RCircunferencia(javax.swing.JTextField txt_RCircunferencia):void
- ◆ setTxt_XCircunferencia(javax.swing.JTextField txt_XCircunferencia):void
- ◆ setTxt_ZCircunferencia(javax.swing.JTextField txt_ZCircunferencia):void
- ◆ getSuperficieFallaSel():int

panelGraficas
-graficar: boolean -posicionX: int -posicionY: int -posicionInicial: Boolean -xAnterior: int -yAnterior: int -xActual: int -yActual: int -obj_talud: Talud -dibujarPerfil: boolean -dibujarEstrato: boolean -dibujarNF: boolean -dibujarSFCompuesta: boolean -adicionarPunto: boolean -procedimientoPuntos:boolean -obj_coordenadasCirculo: CoordenadasCirculoBishop -dibujarCircunferencia:boolean -coordenadasCircIngresadas:boolean -procedimientoDovelas:boolean -verificacionCoorZ:boolean -metrosX: double -metrosZ:double -XCircunferencia:double -ZCircunferencia:double -Radio:double
♦setObj_talud(obj_talud:Talud): void ♦dibujarGrilla(g:Graphics,maxX:double,maxZ:double,minX:double,minZ:double,pixelesPorMetroX:double,pixelesPorMetroZ:double) ♦paint(g:Graphics): void ♦formMouseMoved(java.awt.event.MouseEvent evt): void ♦formMouseClicked(java.awt.event.MouseEvent evt): void ♦setObj_coordenadasCirculo(obj_coordenadasCirculo: CoordenadasCirculoBishop): void ♦setDibujarEstrato(dibujarEstrato:boolean): void ♦setDibujarNF(dibujarNF:boolean): void ♦isDibujarSFCompuesta(): boolean ♦setDibujarSFCompuesta(dibujarSFCompuesta:boolean): void ♦setDibujarPerfil(dibujarPerfil:boolean): void ♦getMetrosX():double ♦getMetrosZ():double ♦setDibujarCircunferencia(dibujarCircunferencia:boolean): void ♦getObj_CoordenadasCirculo(): CoordenadasCirculo ♦isProcedimientoPuntos(): boolean ♦setProcedimientoPuntos(procedimientoPuntos:boolean): void ♦setProcedimientoDovelas(procedimientoDovelas:boolean): void ♦isVerificacionCoorZ(): boolean

AnguloBishop
- imagen1 - imagen2 -jScrollPane1private - lbl_anguloInclinacion - lbl_tituloFig1 - lbl_tituloFig2 - txt_descripcionAnguloInclinacion

FactorFo
- jLabel1 - jLabel2 - jLabel3 - jLabel4 -jScrollPane1 -jScrollPane2 -jSeparator1 -jtxtA_paso6 -jtxtA_paso7

FSMGeneral
- jLabel1 - jLabel2 - jLabel3 -jScrollPane1 -jtxtA_paso6

Configuracion
- jLabel1 - jLabel10 - jLabel11 - jLabel12 - jLabel13 - jLabel14 - jLabel15 - jLabel16 - jLabel17 - jLabel18 - jLabel19 - jLabel2 - jLabel3 - jLabel4 - jLabel5 - jLabel6 - jLabel7 - jLabel8 - jLabel9 - jSeparator1;

WPeso
- jLabel1 - jLabel2 - jLabel3 -jScrollPane1 -jtxtA_W

AnchoDovela - imagen - jScrollPane1 - lbl_anchoDovela - txt_descripcionAD	AnguloJanbu - jLabel1 - jLabel3 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	Cohesion - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	CosAngulo - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	DistanciaE - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	DistanciaF - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6
TanAngulo - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	FactorMa - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	FSJanbu - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	FSBishop - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	FactorP - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	SenAngulo - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6
DistanciaR - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	FuerzaAgua - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	LongitudDovela - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	NDovela - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	PresionPoros - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	VerDetallePaso4 - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6
XiAbscisa - jLabel1 - jLabel2 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6	TanAFriccion - jLabel1 - jScrollPane1 - jtxtA_paso6				

Anexo 7 Verificación de Ejemplos

Ejemplo No. 3

Método de Bishop Simplificado

Dovela	W Ton/m	tgφ	C Ton/m ²	b m	α º	Senα	Hw m	u Ton/m ²	ub Ton/m	Ma	$\frac{1}{m_a} [c'b + (W - ub)Tan\phi]$ Ton/m	W*Senα Ton/m
0	0.76	0.36	5	0.73	-44.49	-0.70	0.00	0.00	0.00	0.70	5.63	-0.53
1	0.70	0.36	5	0.31	-31.74	-0.53	0.14	0.14	0.04	0.84	2.15	-0.37
2	2.77	0.36	5	0.94	-18.52	-0.32	0.55	0.55	0.52	0.94	5.84	-0.88
3	8.02	0.36	5	2.39	13.73	0.24	0.96	0.96	2.29	0.98	14.40	1.90
4	1.88	0.36	5	0.70	48.87	0.75	0.43	0.43	0.30	0.67	6.09	1.42
5	0.13	0.36	5	0.06	61.66	0.88	0.00	0.00	0.00	0.49	0.70	0.11
6	0.30	0.36	5	0.29	69.79	0.94	0.00	0.00	0.00	0.36	4.31	0.28
Sumatoria											39.12	1.94

FSsupuesto	20.1735
Fscalculado	20.1735

Método General de las Dovelas

Centro de	x	5.5308
Momentos	z	4.4843

Dov.	xi	W Ton/m	α º	Cos α	l m	Sen α	u T/m ²	tg Φ	P	clcos α +(P- ul)tan ϕ cos α	Psen α	R m	e m	f m	clR+(P-ul)Rtan ϕ	W*e	P*f
0	5.53	0.76	-45.33	0.70	1.04	-0.71	0.00	0.36	1.32	4.01	-0.94	1.54	2.08	2.08	8.77	0.28	2.75
1	6.27	0.70	-31.80	0.85	0.37	-0.53	0.14	0.36	0.88	1.83	-0.46	2.10	2.35	2.35	4.53	0.62	2.07
2	6.58	2.77	-18.77	0.95	0.99	-0.32	0.55	0.36	3.01	5.53	-0.97	2.62	2.49	2.49	15.32	4.21	7.51
3	7.52	8.02	15.09	0.97	2.48	0.26	0.96	0.36	8.14	13.99	2.12	3.84	2.26	2.26	55.68	25.50	18.38
4	9.91	1.88	50.15	0.64	1.10	0.77	0.43	0.36	2.62	4.01	2.01	5.15	1.20	1.20	32.27	8.91	3.16
5	10.61	0.13	62.64	0.46	0.13	0.89	0.00	0.36	0.22	0.33	0.19	5.41	0.66	0.65	3.91	0.65	0.14
6	10.66	0.30	81.02	0.16	1.86	0.99	0.00	0.36	-0.52	1.42	-0.52	5.36	0.10	0.09	48.89	1.60	-0.05
									Σ	31.13	1.44				169.37	41.76	33.95

FSsupuesto	23.45
------------	-------

FSf	21.6926
FSm	21.6843

FS	21.6884
----	---------

Ejemplo No. 4

Método de Bishop Simplificado

Dovela	W Ton/m	tgφ	C Ton/m2	b m	α º	Senα	Hw m	u Ton/m2	ub Ton/m	Ma	Ton/m	W*Senα Ton/m
0	1.20	0.36	5	0.82	-9.17	-0.16	0.00	0.00	0.00	0.97	4.68	-0.19
1	8.27	0.36	5	2.09	-3.22	-0.06	0.47	0.47	0.97	0.99	13.19	-0.46
2	14.64	0.36	5	2.48	6.10	0.11	1.22	1.22	3.02	1.01	16.56	1.56
3	18.53	0.36	5	2.48	16.42	0.28	1.60	1.60	3.97	0.99	17.91	5.24
4	20.53	0.36	5	2.48	27.33	0.46	1.48	1.48	3.67	0.94	19.80	9.42
5	18.78	0.36	5	2.48	39.45	0.64	0.72	0.72	1.78	0.84	22.15	11.93
6	7.36	0.36	5	1.26	50.20	0.77	0.00	0.00	0.00	0.72	12.41	5.65
7	4.92	0.36	5	1.99	62.07	0.88	0.00	0.00	0.00	0.56	20.84	4.34
Sumatoria											127.54	37.49

Fssupuesto	3.4022
Fscalculado	3.4022

Método General de las Dovelas

Centro de	x	4.51
Momentos	z	11.63

Dov.	xi	W Ton/m	α º	Cos α	l m	Sen α	u T/m ²	tg Φ	P	clcos α +(P- ul)tan φ cos α	Psen α	R m	e m	f m	clR+(P-ul)Rtan φ	W*e	P*f
0	4.51	1.21	-8.85	0.99	0.84	-0.15	0.00	0.36	1.45	4.66	-0.22	9.50	0.41	1.90	44.75	0.50	2.78
1	5.34	8.24	-3.06	1.00	2.08	-0.05	0.47	0.36	8.47	13.13	-0.45	9.68	1.87	2.39	127.33	15.40	20.24
2	7.42	14.64	6.03	0.99	2.50	0.11	1.22	0.36	14.20	16.46	1.49	10.10	4.15	3.11	167.29	60.78	44.13
3	9.90	18.53	16.62	0.96	2.59	0.29	1.60	0.36	17.73	17.16	5.07	10.73	6.64	3.72	192.22	122.94	65.97
4	12.39	20.53	27.54	0.89	2.80	0.46	1.48	0.36	20.04	17.56	9.27	11.49	9.12	4.29	227.47	187.21	86.08
5	14.87	18.78	39.72	0.77	3.23	0.64	0.72	0.36	18.86	17.06	12.05	12.43	11.60	4.76	275.67	217.90	89.77
6	17.36	7.14	50.53	0.64	1.94	0.77	0.00	0.36	6.78	7.74	5.24	13.41	13.46	4.90	163.18	103.29	33.22
7	18.59	5.00	63.30	0.45	4.47	0.89	0.00	0.36	-1.84	9.74	-1.64	14.37	15.08	4.99	311.50	75.49	-9.19
Σ										103.50	30.80				1509.41	783.52	333.01

FSsupuesto	3.32
------------	------

FSf	3.3602
FSm	3.3505

FS	3.3553
----	--------

Ejemplo No. 5

Método Janbu Simplificado

Dov.	W Ton/m	tg Φ	C Ton/m ²	b m	α °	Cos α	Tan α	Hw m	u T/m ²	ub Ton/m	Ma	C- Φ Fo	(cb+(w-ub)tan ϕ ma*cos α	W*Tan α Ton/m
1	0.00	0.36	2	0.04	0.00	1.00	0.00	0.05	0.05	0.00	1.00	1.06	0.07	0.00
2	3.03	0.36	2	1.54	0.00	1.00	0.00	0.38	0.38	0.58	1.00	1.06	3.96	0.00
3	6.72	0.36	2	1.54	0.00	1.00	0.00	0.92	0.92	1.42	1.00	1.06	5.00	0.00
4	12.71	0.36	2	2.30	11.43	0.98	0.20	1.49	1.49	3.43	1.02	1.06	8.00	2.57
5	15.16	0.36	2	2.30	17.10	0.96	0.31	1.59	1.59	3.67	1.01	1.06	9.08	4.67
6	16.44	0.36	2	2.30	29.03	0.87	0.56	1.42	1.42	3.28	0.97	1.06	11.11	9.13
7	15.10	0.36	2	2.30	40.83	0.76	0.86	0.93	0.93	2.15	0.88	1.06	13.95	13.05
8	4.16	0.36	2	0.82	59.04	0.51	1.67	0.00	0.00	0.00	0.68	1.06	9.00	6.93
9	5.19	0.36	2	2.45	59.04	0.51	1.67	0.00	0.00	0.00	0.68	1.06	19.42	8.65
										Sumatoria			79.60	44.99

L=	18.4762	m
d=	3.2706	m
d/L=	0.1770	

FS supuesto=	1.8812
FS calculado=	1.8812

Método General de las Dovelas

Centro de	x	4.309
Momentos	z	11.33

Dov.	xi	W Ton/m	α °	Cos α	l m	Sen α	u T/m²	tg Φ	P	clcos α +(P- ul)tan ϕ cos α	Psen α	R m	e m	f m	clR+(P-ul)Rtan ϕ	W*e	P*f
1	4.31	0.00	0.00	1.00	0.04	0.00	0.05	0.36	0.00	0.07	0.00	9.90	0.02	0.02	0.73	0.00	0.00
2	4.35	3.03	0.00	1.00	1.54	0.00	0.38	0.36	3.03	3.96	0.00	9.90	0.81	0.81	39.22	2.44	2.44
3	5.88	6.72	0.00	1.00	1.54	0.00	0.92	0.36	6.72	5.00	0.00	9.90	2.34	2.34	49.52	15.73	15.73
4	7.42	12.71	11.43	0.98	2.35	0.20	1.49	0.36	12.03	7.65	2.38	10.32	4.26	2.26	80.57	54.17	27.21
5	9.72	15.16	17.10	0.96	2.41	0.29	1.59	0.36	14.28	8.24	4.20	10.61	6.57	3.61	91.49	99.56	51.50
6	12	16.44	29.03	0.87	2.64	0.49	1.42	0.36	15.64	8.39	7.59	11.37	8.87	3.83	109.18	145.87	59.92
7	14.3	15.10	40.83	0.76	3.05	0.65	0.93	0.36	14.62	7.85	9.56	12.19	11.18	4.24	126.46	168.74	61.95
8	16.6	4.16	59.04	0.51	1.59	0.86	0.00	0.36	3.62	2.31	3.10	13.38	12.74	2.46	60.18	52.97	8.91
9	17.5	5.19	59.04	0.51	4.77	0.86	0.00	0.36	0.46	4.99	0.39	13.38	14.37	5.64	129.87	74.61	2.58
Σ										48.49	27.23				687.23	614.08	230.24

FSsupuesto	1.68
------------	------

FSf	1.7807
FSm	1.7904

FS	1.7856
----	--------

Ejemplo No. 6

Método Janbu Simplificado

Dov.	W Ton/m	tgΦ	C Ton/m2	b m	α º	Cosα	Tanα	Hw m	u T/m²	ub Ton/m	Ma	C-Φ Fo	(cb+(w-ub)tanφ ma*cosα	W*Tanα Ton/m
1	1.28	0.36	2	0.82	28.83	0.88	-0.55	0	0	0.00	0.79	1.07	3.05	-0.70
2	8.25	0.36	2	1.96	-4.68	1.00	-0.08	0.56	0.56	1.09	0.98	1.07	6.68	-0.67
3	15.91	0.36	2	2.57	5.09	1.00	0.09	1.23	1.23	3.17	1.01	1.07	9.70	1.42
4	21.19	0.36	2	2.57	7.83	0.99	0.14	1.84	1.84	4.72	1.02	1.07	11.07	2.91
5	23.47	0.36	2	2.57	33.42	0.83	0.66	1.69	1.69	4.35	0.94	1.07	15.49	15.48
6	20.40	0.36	2	2.57	40.61	0.76	0.86	0.90	0.90	2.32	0.88	1.07	17.57	17.49
7	3.20	0.36	2	0.54	66.90	0.39	2.34	0	0	0.00	0.56	1.07	10.17	7.49
8	3.00	0.36	2	1.21	71.44	0.32	2.98	0	0	0.00	0.49	1.07	22.43	8.93
										Sumatoria			96.15	52.3506

L	17.2208	m
d	3.9674	m
d/L	0.2304	

FS supuesto	1.9730
FS calculado	1.9730

Método General de las Dovelas

Centro de	x	4.6335
Momentos	z	11.1311

Dov.	xi	W Ton/m	α °	Cos α	l m	Sen α	u T/m ²	tg Φ	P	clcos α +(P- ul)tan ϕ cos α	Psen α	R m	e m	f m	clR+(P-ul)Rtan ϕ	W*e	P*f
1	4.63	1.28	-28.83	0.88	0.94	-0.48	0.00	0.36	2.35	2.39	-1.13	7.67	0.41	4.69	20.91	0.52	11.02
2	5.45	8.25	-4.68	1.00	1.97	-0.08	0.56	0.36	8.60	6.65	-0.70	9.11	1.80	2.55	60.79	14.86	21.95
2	7.42	15.91	5.09	1.00	2.58	0.09	1.23	0.36	15.46	9.60	1.37	9.58	4.07	3.23	92.30	64.76	50.02
3	9.99	21.19	7.83	0.99	2.60	0.14	1.84	0.36	20.50	10.82	2.79	9.78	6.64	5.36	106.82	140.75	109.89
4	12.56	23.47	33.42	0.83	3.08	0.55	1.69	0.36	23.16	10.60	12.75	11.70	9.22	3.32	148.52	216.27	76.93
5	15.14	20.40	40.61	0.76	3.39	0.65	0.90	0.36	20.26	9.90	13.19	12.22	11.79	5.05	159.27	240.49	102.38
6	17.71	3.20	66.90	0.39	1.37	0.92	0.00	0.36	2.88	1.49	2.65	13.94	13.34	1.33	52.95	42.66	3.82
7	18.25	3.00	71.44	0.32	3.82	0.95	0.00	0.36	-2.45	2.14	-2.32	14.06	14.22	2.81	94.73	42.66	-6.89
									Σ	53.5838	28.5914				736.29	762.98	369.13

		FSf	1.8741
FSsupuesto	1.69	FSm	1.8694

FS	1.8718
----	--------

Ejemplo No. 7

Método Janbu Simplificado

Dov.	W Ton/m	tgΦ	C Ton/m2	b m	α º	Cosα	Tanα	Hw m	u T/m²	ub Ton/m	Ma	C-Φ Fo	(cb+(w-ub)tanφ ma*cosα	W*Tanα Ton/m
1	3.66	0.36	5	1.69	51.54	0.62	-1.26	1.51	1.51	2.55	0.53	1.08	26.82	-4.61
2	8.51	0.36	5	1.69	-7.76	0.99	-0.14	2.13	2.13	3.61	0.98	1.08	10.61	-1.16
3	10.27	0.36	5	1.69	23.56	0.92	0.44	2.10	2.10	3.57	0.96	1.08	12.37	4.48
4	12.94	0.36	5	1.69	28.56	0.88	0.54	2.00	2.00	3.39	0.93	1.08	14.58	7.05
5	16.83	0.36	5	1.69	28.56	0.88	0.54	2.45	2.45	4.16	0.93	1.08	15.96	9.16
6	19.11	0.36	5	1.69	28.56	0.88	0.54	2.90	2.90	4.92	0.93	1.08	16.64	10.40
7	18.95	0.36	5	1.69	28.56	0.88	0.54	3.67	3.67	6.21	0.93	1.08	15.99	10.31
8	9.14	0.36	5	1.69	74.72	0.26	3.66	4.74	4.74	8.03	0.37	1.08	89.96	33.44
Sumatoria													202.92	69.06

L	15.8765	m
d	4.2471	m
d/L	0.2675	

FS sup	3.1738
FS calc	3.1738

-
-

Método General de las Dovelas

Centro de	x	2.439
Momentos	z	11.73

Dov.	xi	W Ton/m	α º	Cos α	l m	Sen α	hw m	u T/m²	tg Φ	P	clcos α +(P- ul)tan ϕ cos α	Psen α	R m	e m	f m	clR+(P-ul)Rtan ϕ	W*e	P*f
1	2.44	3.66	-51.54	0.62	2.72	-0.78	1.51	1.51	0.36	14.34	10.79	-11.23	5.14	0.85	7.83	89.16	3.10	112.32
2	4.13	8.51	-7.76	0.99	1.71	-0.13	2.13	2.13	0.36	9.14	10.46	-1.23	10.07	2.54	3.94	106.31	21.63	36.00
3	5.83	10.27	23.56	0.92	1.85	0.40	2.10	2.10	0.36	9.31	10.28	3.72	11.10	4.25	0.22	124.46	43.60	2.03
4	7.52	12.94	28.56	0.88	1.93	0.48	2.00	2.00	0.36	12.08	11.10	5.77	11.12	5.93	0.70	140.46	76.77	8.48
5	9.22	16.83	28.56	0.88	1.93	0.48	2.45	2.45	0.36	16.24	12.15	7.76	11.12	7.63	2.63	153.80	128.30	42.74
6	10.91	19.11	28.56	0.88	1.93	0.48	2.90	2.90	0.36	18.72	12.66	8.95	11.12	9.32	4.56	160.29	178.08	85.36
7	12.61	18.95	28.56	0.88	1.93	0.48	3.67	3.67	0.36	18.65	12.17	8.92	11.12	11.01	6.49	154.08	208.69	121.04
8	14.30	9.14	74.72	0.26	6.43	0.96	4.74	4.74	0.36	3.20	5.86	3.08	13.08	12.71	0.36	290.45	116.13	1.15
Σ											85.47	25.74				1219.01	776.30	409.11

FSsupuesto	2.583	FSf	3.3201
		FSm	3.3199

FS	3.3200
----	--------

Anexo 8 Manual de Usuario

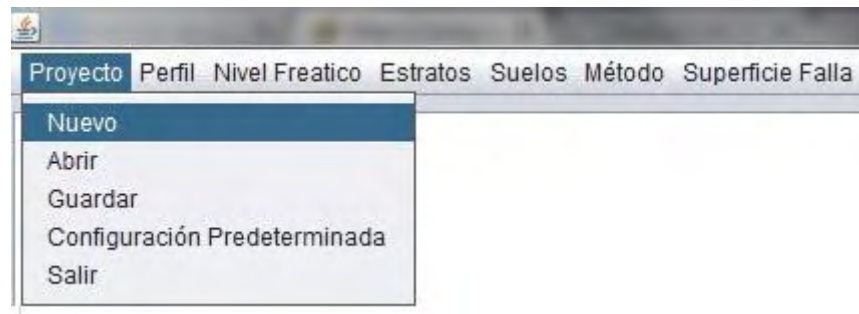
La Figura 10 muestra la *Interfaz de la pantalla de inicio del Software*, en esta interfaz se maneja la información de entrada, los botones que permiten ejecutar los cálculos y la información de salida.

En el menú *Proyecto*

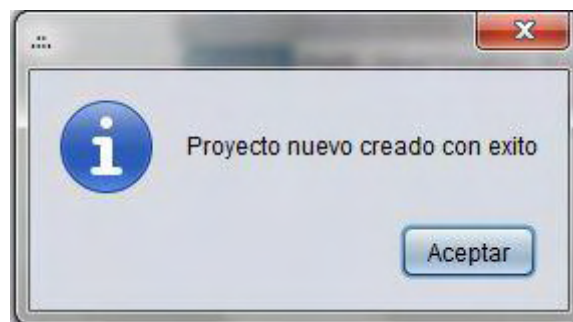
Nuevo: Permite crear un proyecto.

En caso de que ya se haya ejecutado el programa con ciertos valores, esta opción permite ingresar nueva información para realizar los cálculos.

Ingresa al menú *Proyecto* y seleccione la opción *Nuevo*.

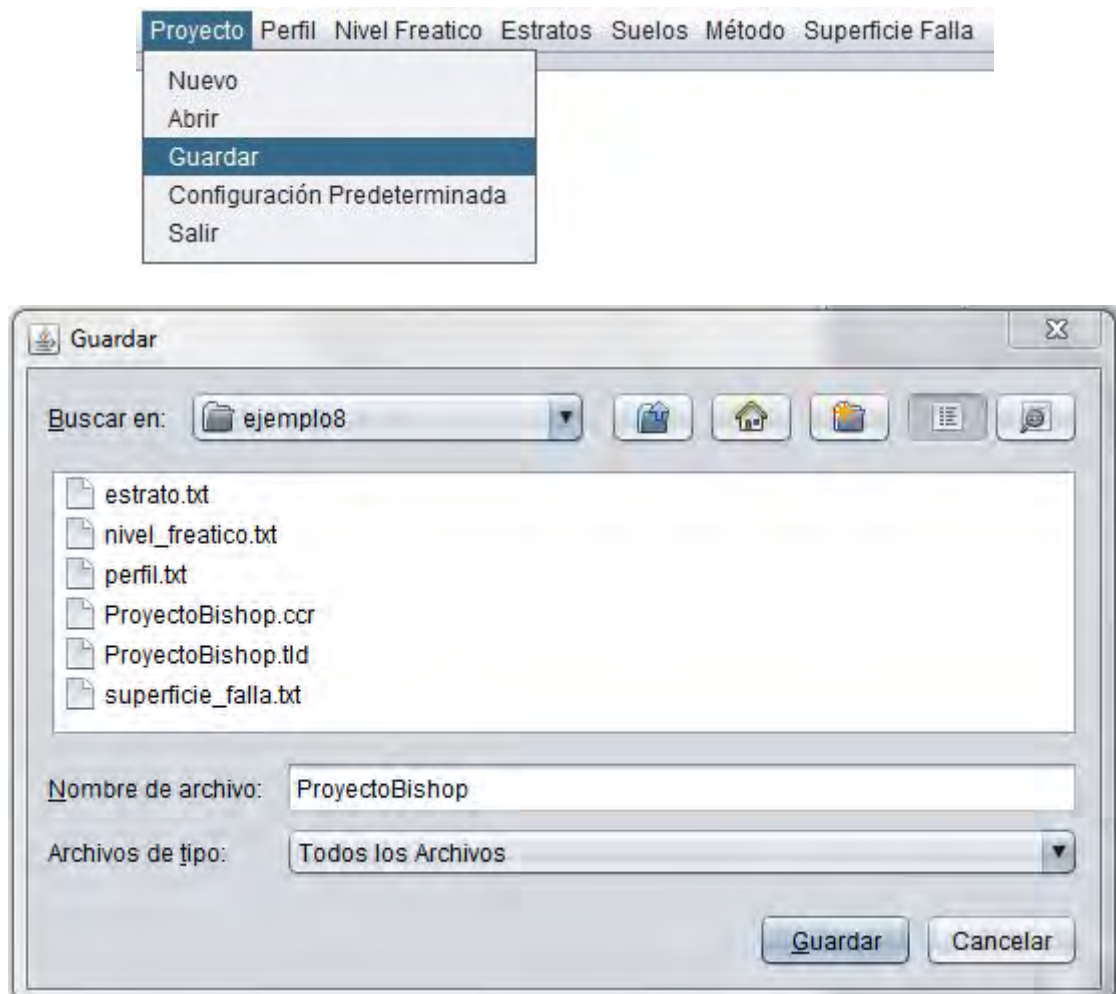


Una vez creado el proyecto, aparecerá un mensaje como el siguiente, dar clic en “Aceptar” para continuar.



Guardar: Permite guardar la información del proyecto actual en una de las unidades del PC o en dispositivos extraíbles.

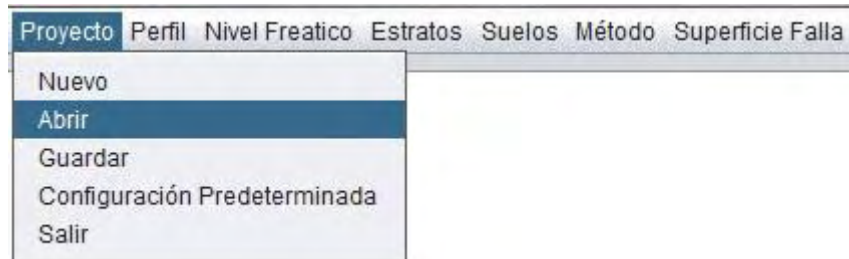
Ingresa al menú *Proyecto* y seleccione la opción *Guardar*.



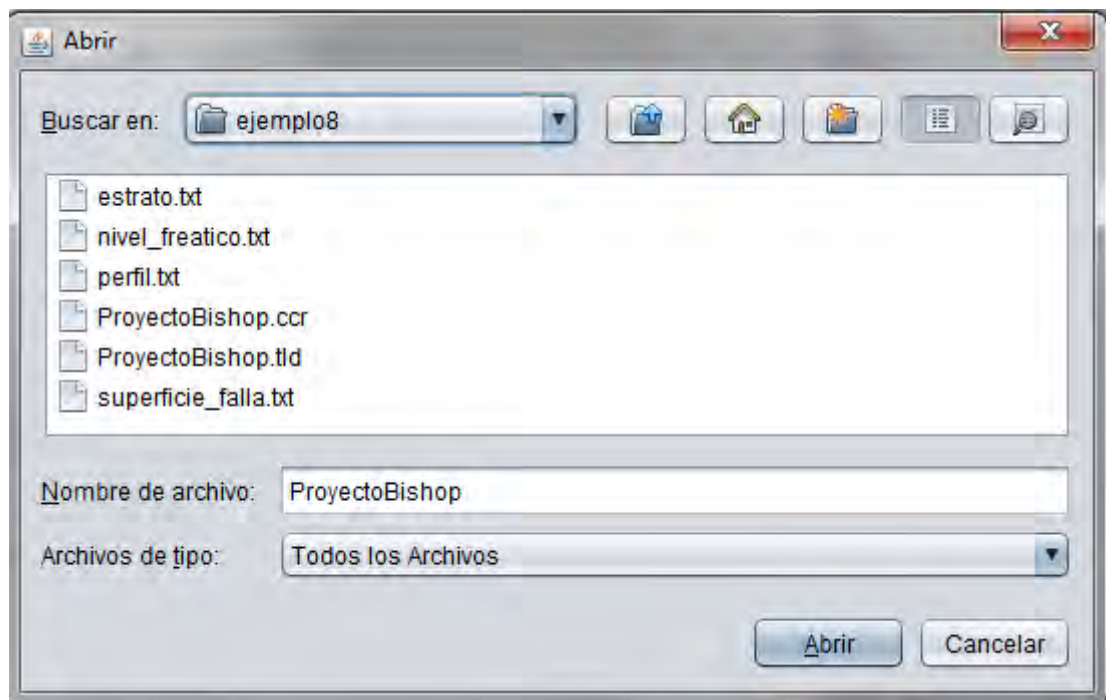
Después de asignarle un nombre y presionar la opción “Guardar” el proyecto se guardara en formato .ccr y .tld.

Abrir: En esta opción se puede abrir un proyecto que ha sido guardado anteriormente mediante la búsqueda del archivo en las unidades del PC o en dispositivos extraíbles.

Ingresa al menú *Proyecto* y seleccione la opción *Abrir*.

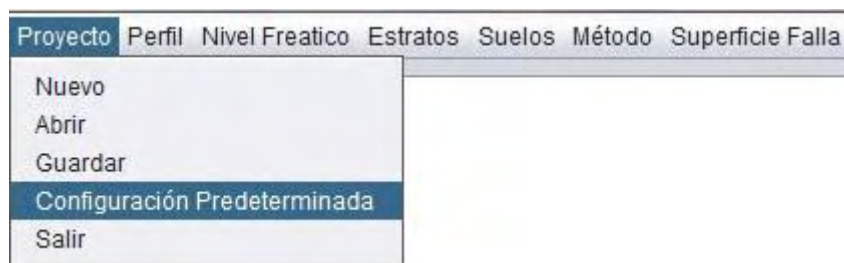


Para abrir el archivo se debe escribir o seleccionar únicamente el nombre del proyecto, es decir sin la extensión (.ccr) o (.tld).



Configuración Predeterminada: Dar a conocer al usuario las condiciones bajo las cuales se elaboró el software (Anexo 5). En esta ventana se especifica que las abscisas y ordenadas del Perfil, Estratos, Nivel Freático y Superficie de Falla deben estar expresadas en metros (m), los valores de Peso específico y Peso específico sumergido deben estar expresados en Ton/m³, los valores de cohesión en Ton/m², los valores de Angulo de Fricción en grados (°) y todos los números deben tener como separador decimal el punto (.)

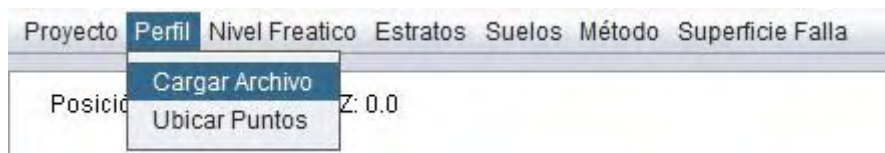
Ingresa al menú *Proyecto* y seleccione la opción *Configuración Predeterminada*.



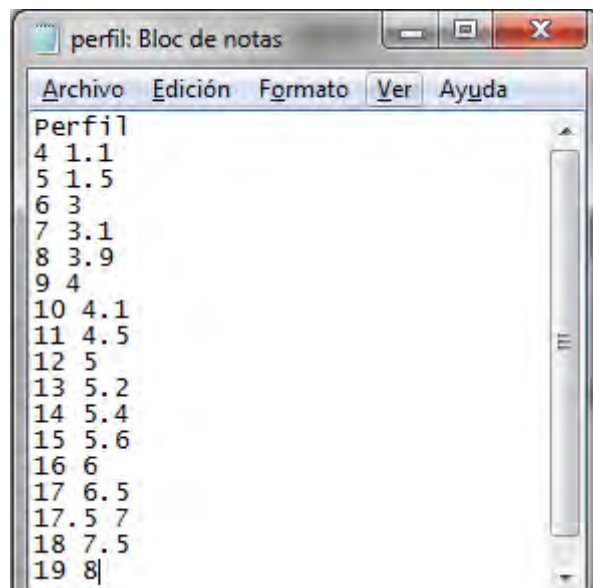
En el menú *Perfil*

Cargar Archivo: Permite ingresar las coordenadas (x, z) del Perfil cargando un archivo de texto en formato *txt* que se encuentre en una de las unidades del PC o en dispositivos extraíbles

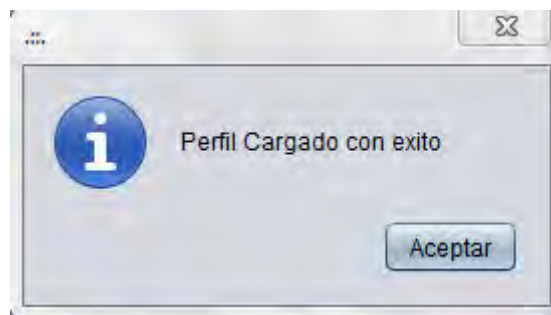
Ingresa al menú *Perfil* y seleccione la opción *Cargar Archivo*.



Para que se puedan graficar las coordenadas a ingresar, estas deben estar separadas con espacio, tal como lo indica la siguiente figura:

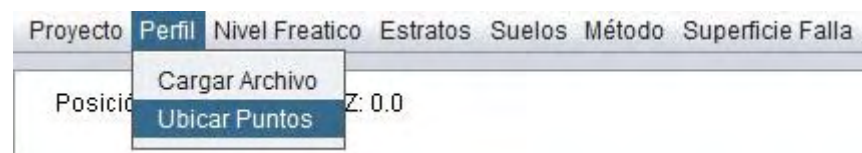


Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Perfil Cargado con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.



Ubicar Puntos: Le permite al usuario ubicar manualmente los puntos que hacen parte del Perfil.

Ingresa al menú *Perfil* y seleccione la opción *Ubicar Puntos*.



En primer lugar y con el fin de definir un área de dibujo el usuario debe ingresar los valores mínimos y máximos en el eje de las abscisas y ordenadas, al presionar el botón “Asignar” se dibujara una grilla de acuerdo a los valores ingresados.

Area de dibujo

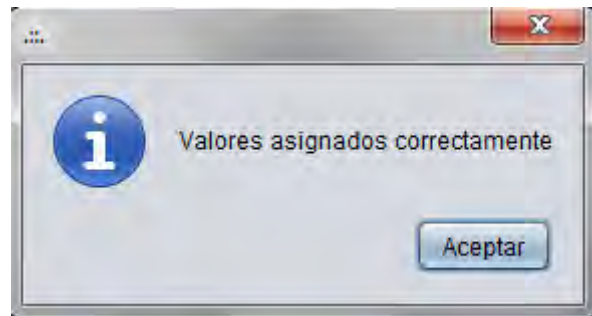
min X:

min Z:

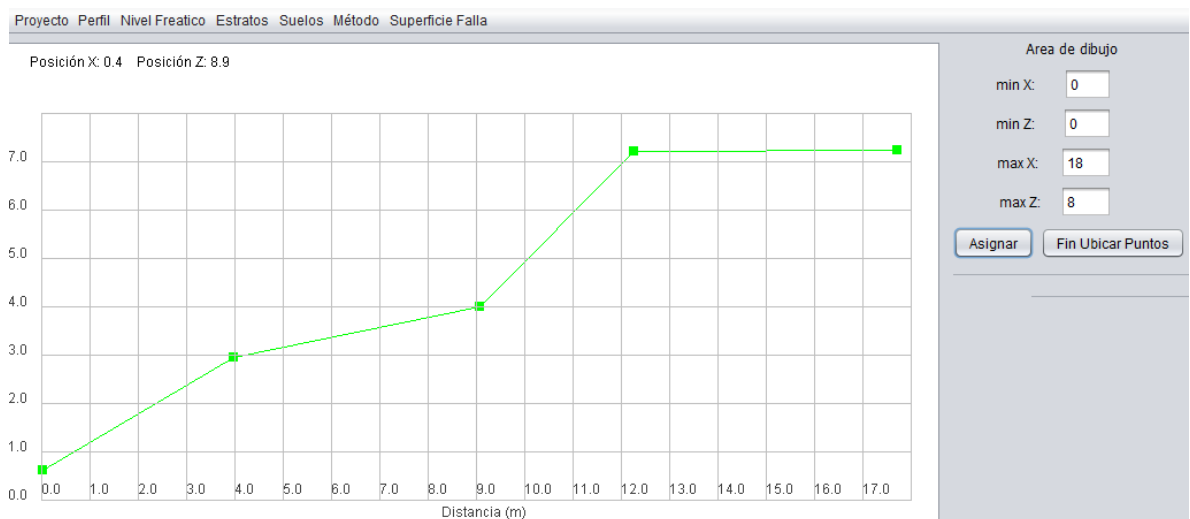
max X:

max Z:

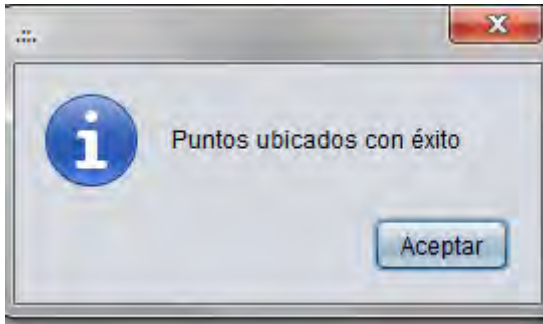
Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Valores asignados correctamente”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.



En el área de dibujo el Usuario puede ubicar los puntos que hacen parte del perfil dando clic izquierdo sobre el área de dibujo, una vez ubicado el último punto se deberá presionar el botón “Fin Ubicar Puntos”.



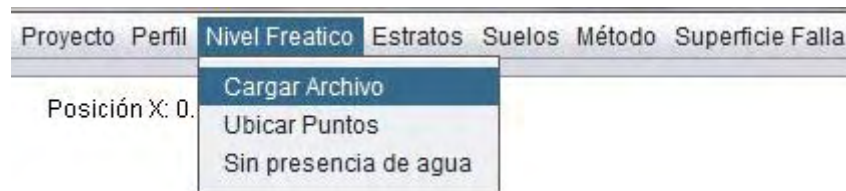
Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Puntos ubicados con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.



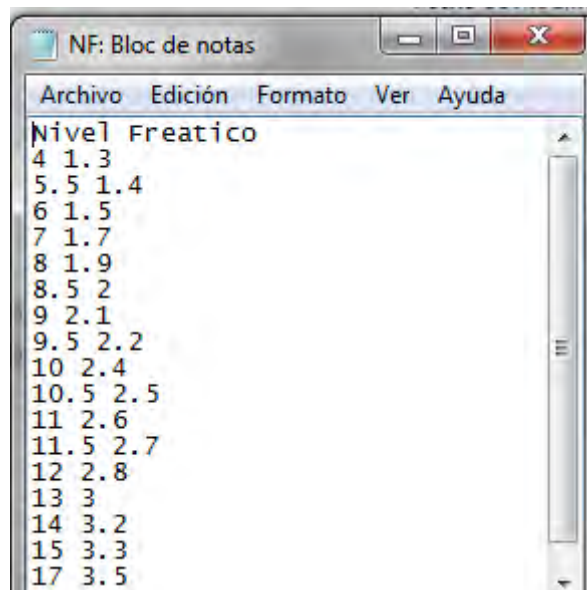
En el menú *Nivel Freático*

Cargar Archivo: Permite ingresar las coordenadas (x, z) del Nivel Freático cargando un archivo de texto en formato *txt* que se encuentre en una de las unidades del PC o en dispositivos extraíbles

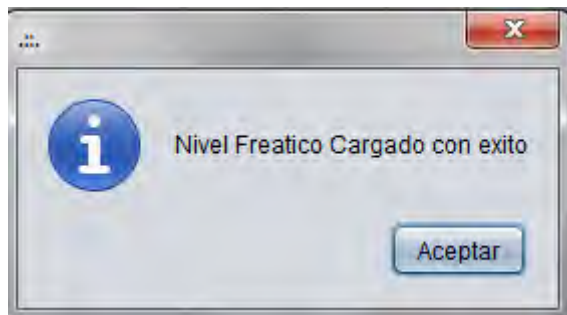
Ingresa al menú *Nivel Freático* y seleccione la opción *Cargar Archivo*.



Para que se puedan graficar las coordenadas a ingresar, estas deben estar separadas con espacio, tal como lo indica la siguiente figura:

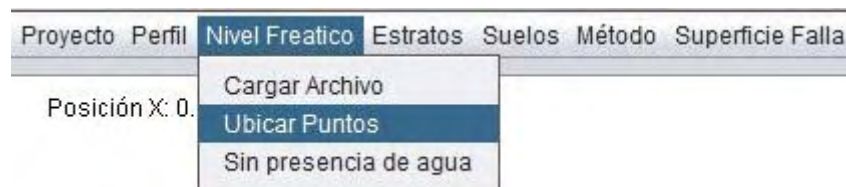


Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Nivel Freático Cargado con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.

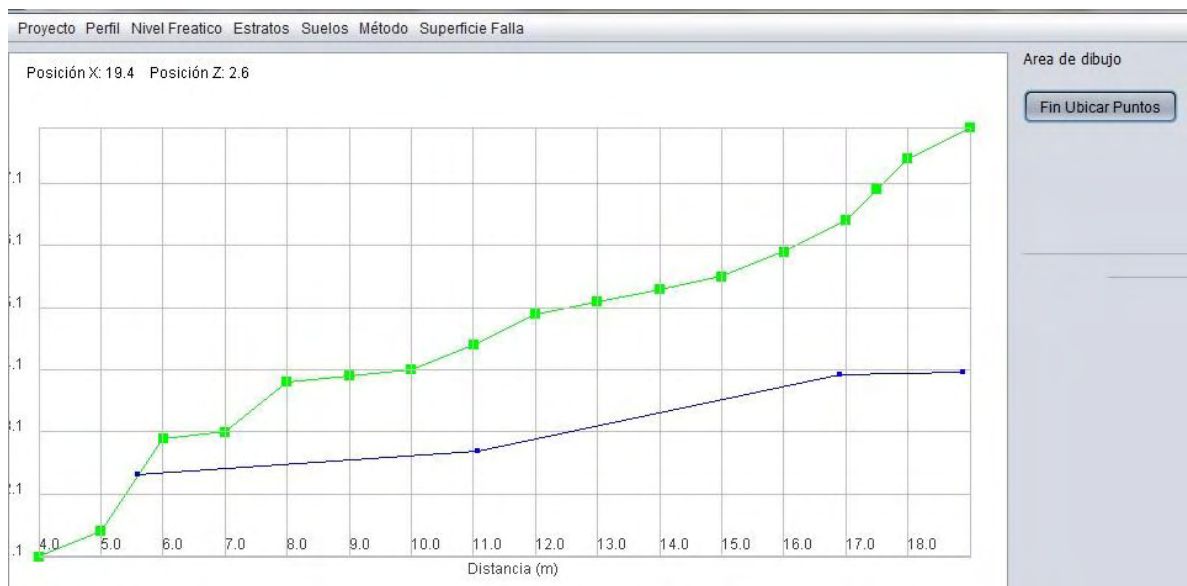


Ubicar Puntos: Le permite al usuario ubicar manualmente los puntos que hacen parte del Nivel Freático.

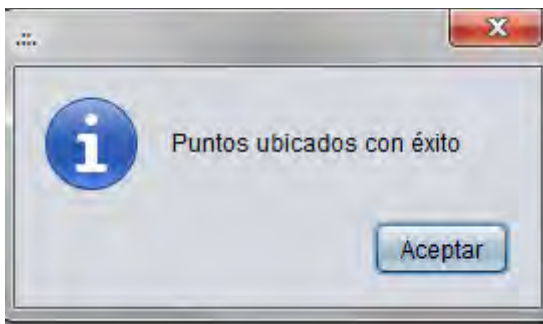
Ingresa al menú *Nivel Freático* y seleccione la opción *Ubicar Puntos*.



En el área de dibujo el Usuario puede ubicar los puntos que hacen parte del Nivel Freático dando clic izquierdo sobre el área de dibujo, una vez ubicado el último punto se deberá presionar el botón “Fin Ubicar Puntos”.

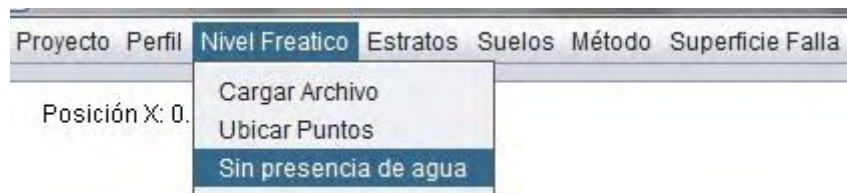


Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Puntos ubicados con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.



Sin presencia de agua: No tiene en cuenta el nivel freático.

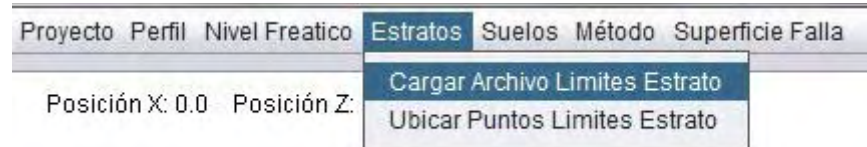
Ingresa al menú *Nivel Freático* y seleccione la opción *Sin presencia de agua*.



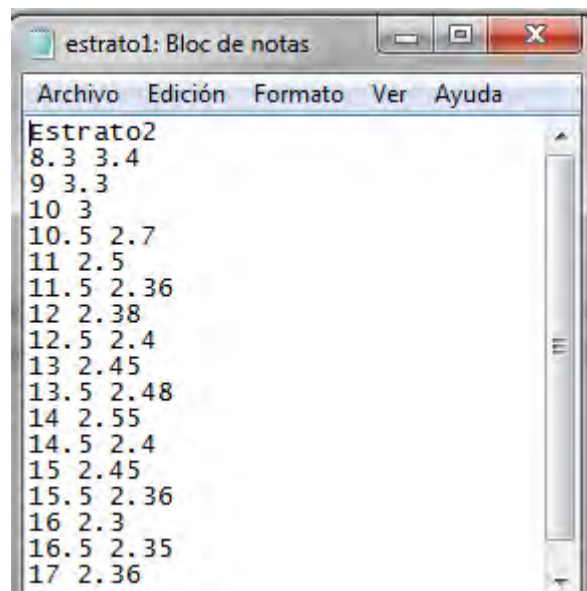
En el menú *Estratos*

Cargar Archivo: Permite ingresar las coordenadas (x, z) del límite entre un estrato y otro cargando un archivo de texto en formato *txt* que se encuentre en una de las unidades del PC o en dispositivos extraíbles

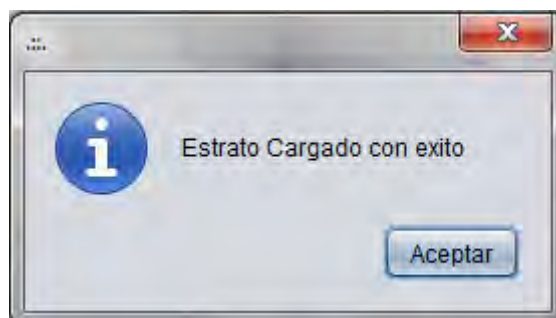
Ingresa al menú *Estratos* y seleccione la opción *Cargar Archivo Limites Estrato*.



Para que se puedan graficar las coordenadas a ingresar, estas deben estar separadas con espacio, tal como lo indica la siguiente figura:

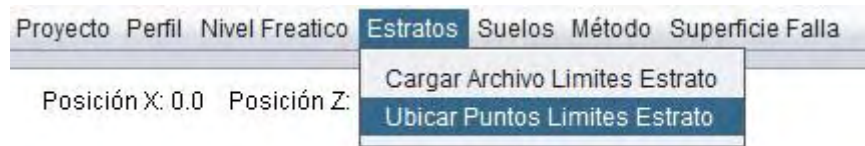


Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Estrato Cargado con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.

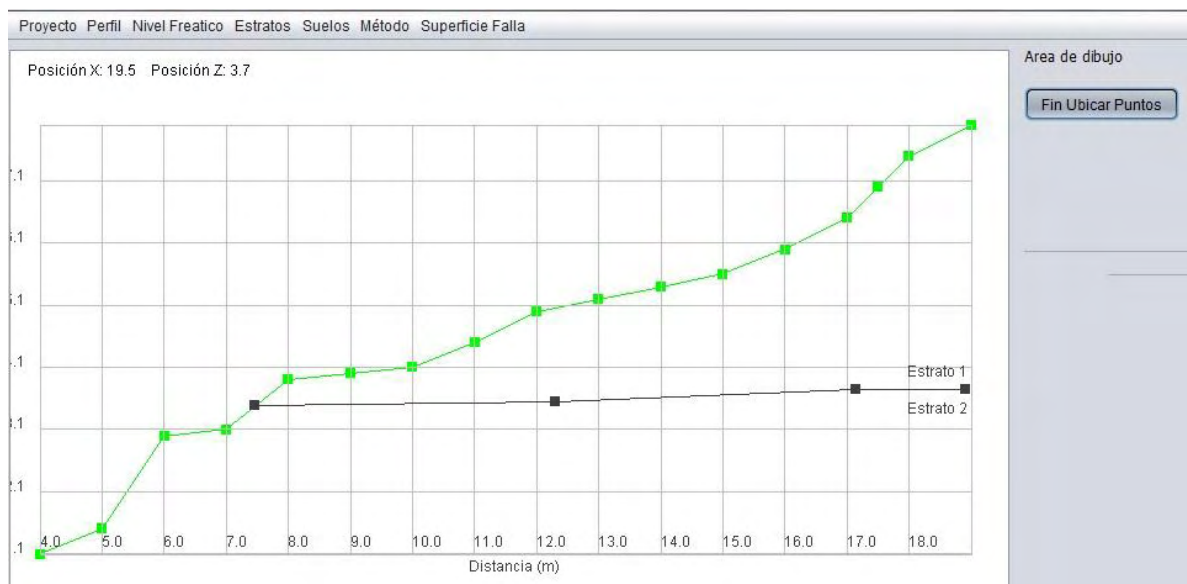


Ubicar Puntos: Le permite al usuario ubicar manualmente los puntos que hacen parte de los límites de los Estratos.

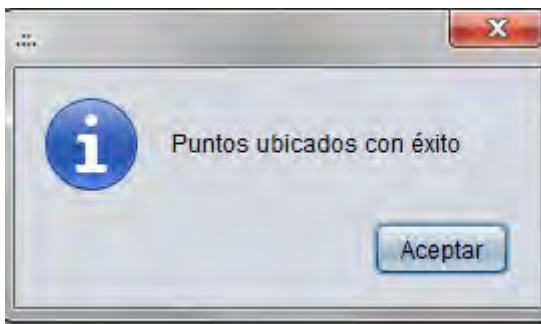
Ingresa al menú *Estratos* y seleccione la opción *Ubicar Puntos Limites Estrato*.



En el área de dibujo el Usuario puede ubicar los puntos que hacen parte de los límites del o los Estratos dando clic izquierdo sobre el área de dibujo, una vez ubicado el último punto se deberá presionar el botón “Fin Ubicar Puntos”.



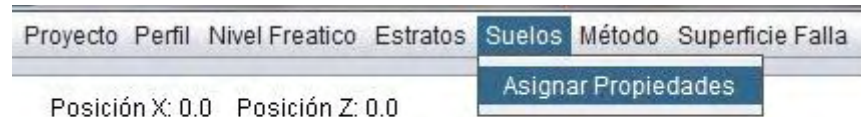
Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Puntos ubicados con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.



En el menú *Suelos*

Asignar Propiedades: Permite ingresar las propiedades del suelo de cada uno de los estratos.

Ingresa al menú *Suelos* y seleccione la opción *Asignar Propiedades*.



Si en el menú *Nivel Freático* se cargó un archivo en formato txt o si se ubicaron puntos del Nivel Freático, se podrán observar las siguientes componentes para ingresar información, al presionar el botón “Asignar” se guardaran estos datos para cada uno de los estratos

A screenshot of a dialog box titled 'Propiedades del Suelo'. On the left, there is a dropdown menu showing 'Estrato 1' and a button labeled 'Asignar'. To the right of the button, there are four input fields with the following labels: 'Peso específico (Ton/m3)', 'Peso específico Sumergido (Ton/m3)', 'Cohesión (Ton/m2)', and 'Angulo Fricción (°)'. All input fields are currently empty.

Si en el menú *Nivel Freático* se seleccionó la opción *Sin presencia de agua* se podrán observar las siguientes componentes para ingresar información, Al presionar el botón “Asignar” se guardaran estos datos para cada uno de los estratos

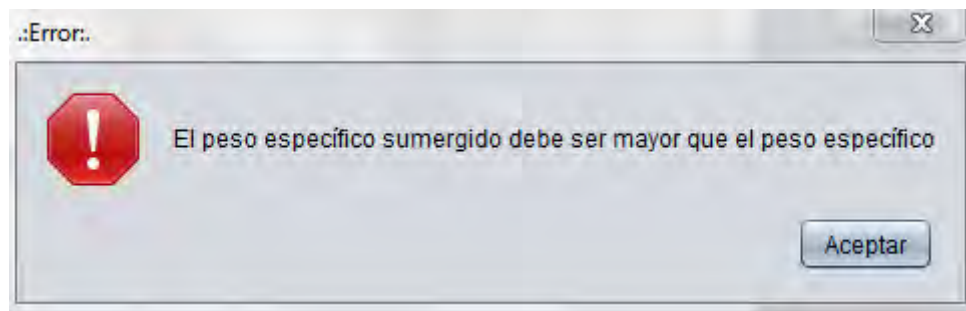
A screenshot of a dialog box titled 'Propiedades del Suelo'. On the left, there is a dropdown menu showing 'Estrato 1' and a button labeled 'Asignar'. To the right of the button, there are three input fields with the following labels: 'Peso específico (Ton/m3)', 'Cohesión (Ton/m2)', and 'Angulo Fricción (°)'. All input fields are currently empty.

Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Propiedades asignadas al estrato”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.

Si se desea ingresar información para otro estrato se deberá seleccionar de la lista de estratos ingresados.

Propiedades del Suelo	
Estrato 1	Peso específico (Ton/m3)
Estrato 1	Cohesión (Ton/m2)
Estrato 2	Angulo Fricción (°)
Estrato 3	

En esta sección se verificara que el Peso específico sumergido sea mayor o igual que el peso específico del suelo, de lo contrario se mostrara un mensaje como el siguiente:



En el menú *Método*

Bishop Simplificado: Corresponde al uno de los métodos que maneja el software, para seleccionar el método es necesario haber ingresado la geometría del talud, propiedades de los suelos y definir la presencia de Nivel Freático en el talud.

Al seleccionar este método el Usuario puede suponer una superficie de falla circular.

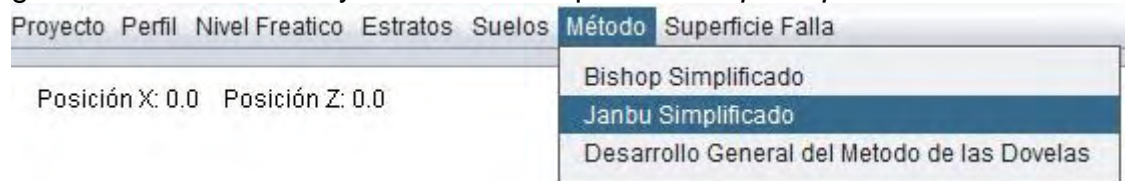
Ingresa al menú *Método* y seleccione la opción *Bishop Simplificado*

Proyecto	Perfil	Nivel Freatico	Estratos	Suelos	Método	Superficie Falla
Posición X: 0.0 Posición Z: 0.0					Bishop Simplificado	
					Janbu Simplificado	
					Desarrollo General del Metodo de las Dovelas	

Janbu Simplificado: Corresponde al uno de los métodos que maneja el software, para seleccionar el método es necesario haber ingresado la geometría del talud, propiedades de los suelos y definir la presencia de Nivel Freático en el talud.

Al seleccionar este método el Usuario puede suponer una superficie de falla compuesta (no circular).

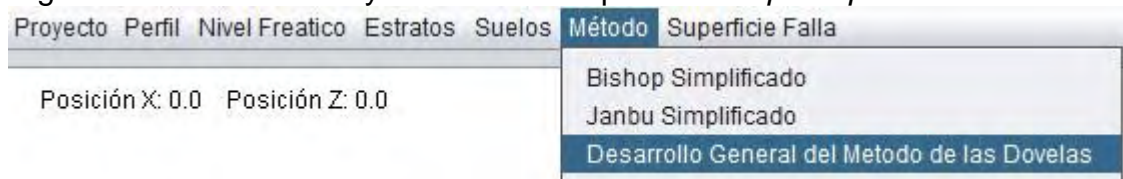
Ingresa al menú *Método* y seleccione la opción *Bishop Simplificado*



Desarrollo General del Método de las Dovelas: Corresponde al uno de los métodos que maneja el software, para seleccionar el método es necesario haber ingresado la geometría del talud, propiedades de los suelos y definir la presencia de Nivel Freático en el talud.

Al seleccionar este método el Usuario puede suponer una superficie de falla circular o compuesta.

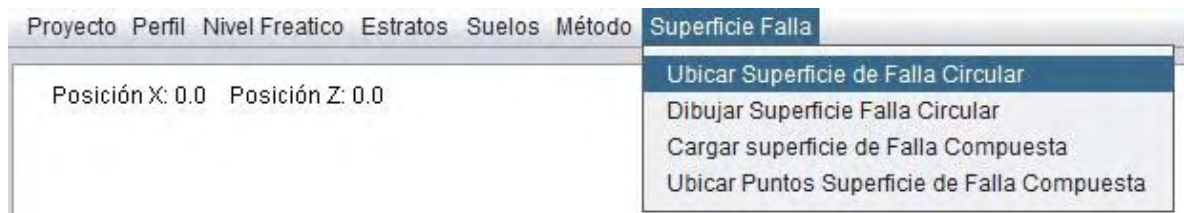
Ingresa al menú *Método* y seleccione la opción *Bishop Simplificado*



En el menú *Método*

Ubicar Superficie de Falla Circular: Permite ingresar la información de la circunferencia. Esta opción se activa si se ha seleccionado previamente el Método de Bishop Simplificado o el Desarrollo General del Método de las Dovelas.

Ingresa al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Ubicar Superficie de Falla Circular*.



Después de seleccionar la opción *Ubicar Superficie de Falla Circular*, aparecerán una serie de componentes que permiten ingresar información de la circunferencia, como es la coordenada en X expresada en metros (m), la coordenada en Z expresada en metros (m) y el valor del radio (r) expresado en metros (m). Al

presionar el botón Graficar y ubicar el cursor sobre el área de dibujo es posible observar la circunferencia.

Datos de circunferencia

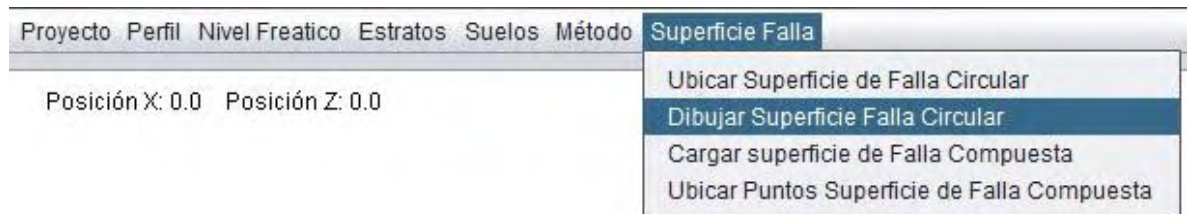
x(m)

z(m)

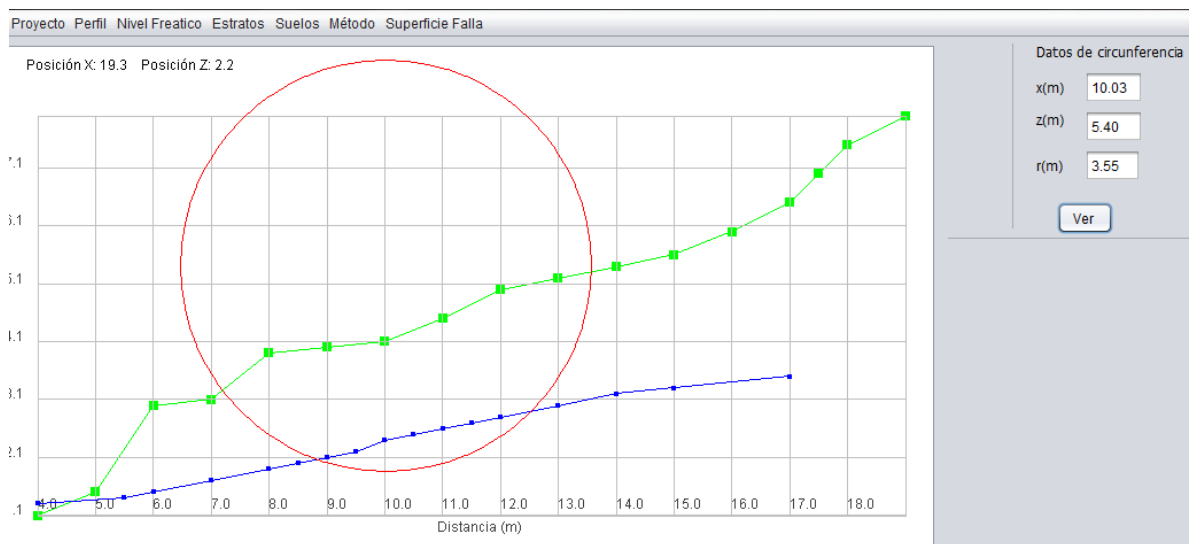
r(m)

Dibujar Superficie de Falla Circular: Permite graficar la circunferencia directamente en el área de dibujo dando clic izquierdo sobre esta área para ubicar el centro y hasta qué punto se extiende el radio. Esta opción se activa si se ha seleccionado previamente el Método de Bishop Simplificado o el Desarrollo General del Método de las Dovelas.

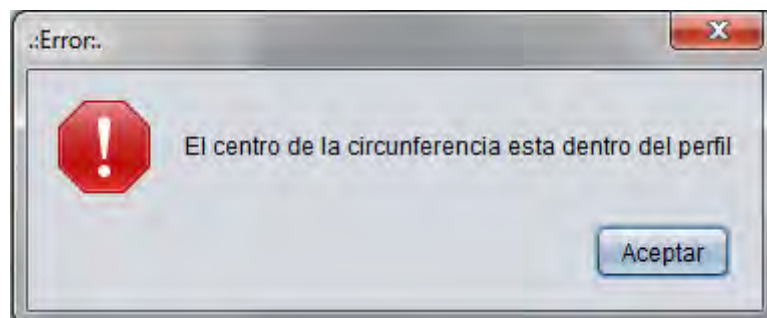
Ingresa al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Dibujar Superficie de Falla Circular*.



Una vez el Usuario haya definido la circunferencia podrá obtener los valores del centro y radio de la circunferencia presionando el botón “Ver”.

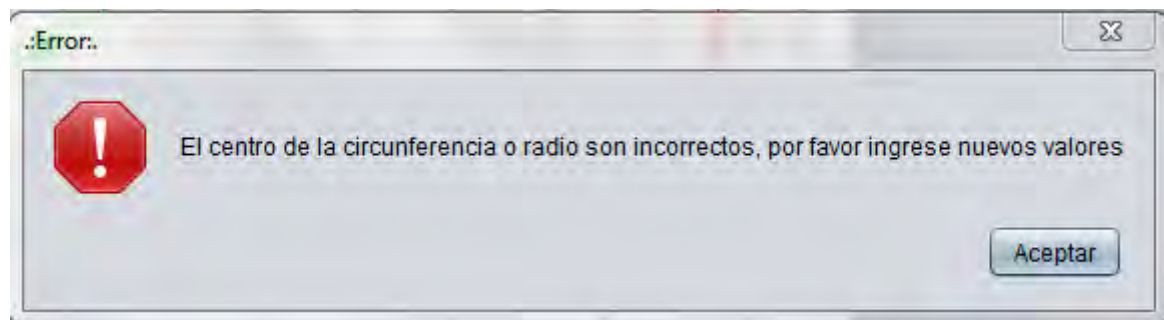


El mensaje de error “El centro de la circunferencia está dentro del perfil” le indicara al Usuario que debe cambiar la ubicación del centro de la circunferencia de tal manera que este punto se ubique sobre la ordenada del perfil. Al cerrar el mensaje o presionar el botón “Aceptar” se puede ingresar valores diferentes para la circunferencia ingresando al menú *Superficie Falla* y seleccionando la opción *Ubicar Superficie de Falla Circular* o *Dibujar Superficie de Falla Circular*.

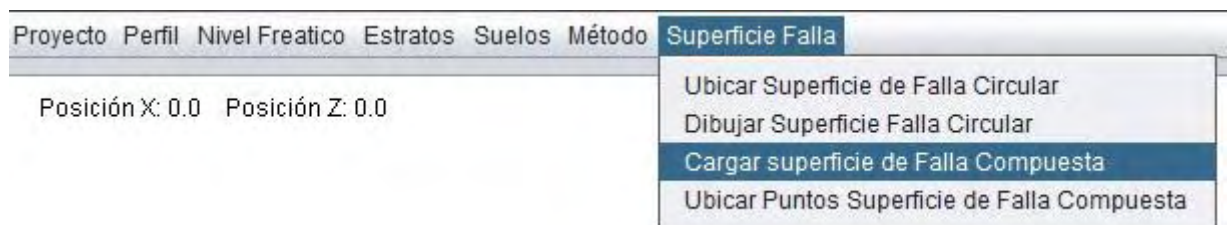


El mensaje de error “El centro de la circunferencia o radio son incorrectos, por favor ingrese nuevos valores” puede indicarle al usuario que la superficie de falla circular no intercepta al perfil en los dos que definen la masa fallada o que el valor del radio excede los límites del área de dibujo, por lo cual el Usuario deberá cambiar la ubicación del centro de la circunferencia y/o radio.

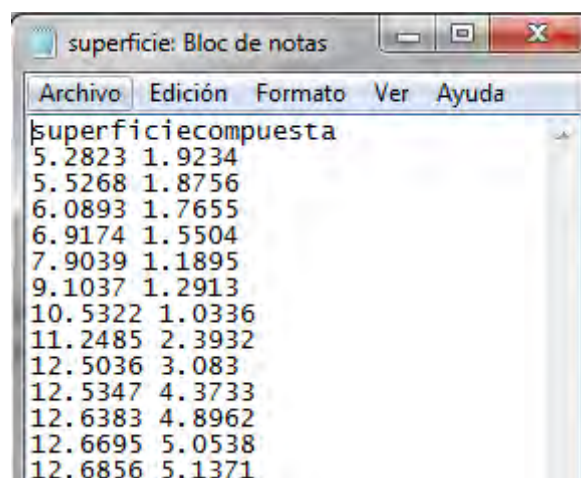
Al cerrar el mensaje o presionar el botón “Aceptar” se puede ingresar valores diferentes para la circunferencia ingresando al menú *Superficie Falla* y seleccionando la opción *Ubicar Superficie de Falla Circular* o *Dibujar Superficie de Falla Circular*.



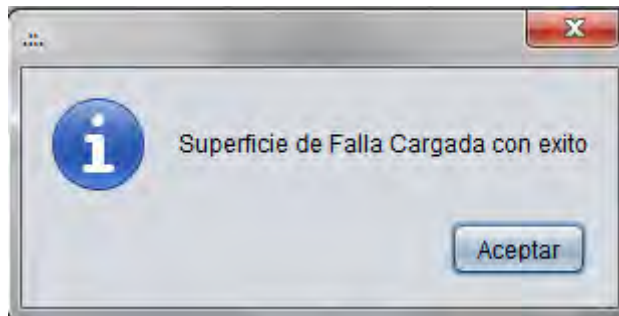
Cargar Superficie de Falla Compuesta: Permite ingresar las coordenadas (x, z) de la Superficie de Falla cargando un archivo de texto en formato *txt* que se encuentre en una de las unidades del PC o en dispositivos extraíbles. Esta opción se activa si se ha seleccionado previamente el Método de Janbu Simplificado o el Desarrollo General del Método de las Dovelas. Ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Cargar Superficie de Falla Compuesta*.



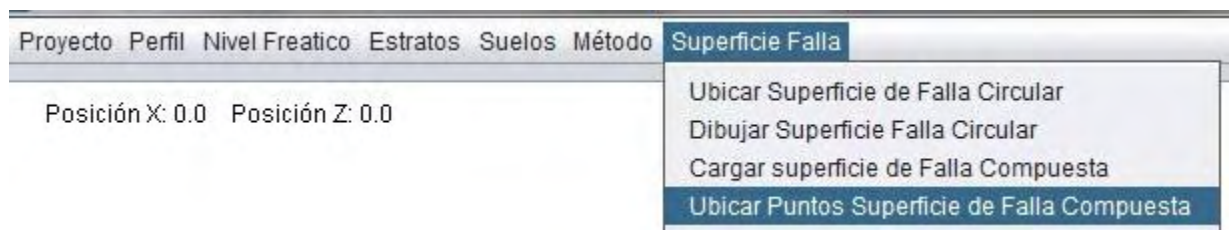
Para que se puedan graficar las coordenadas a ingresar, estas deben estar separadas con espacio, tal como lo indica la siguiente figura:



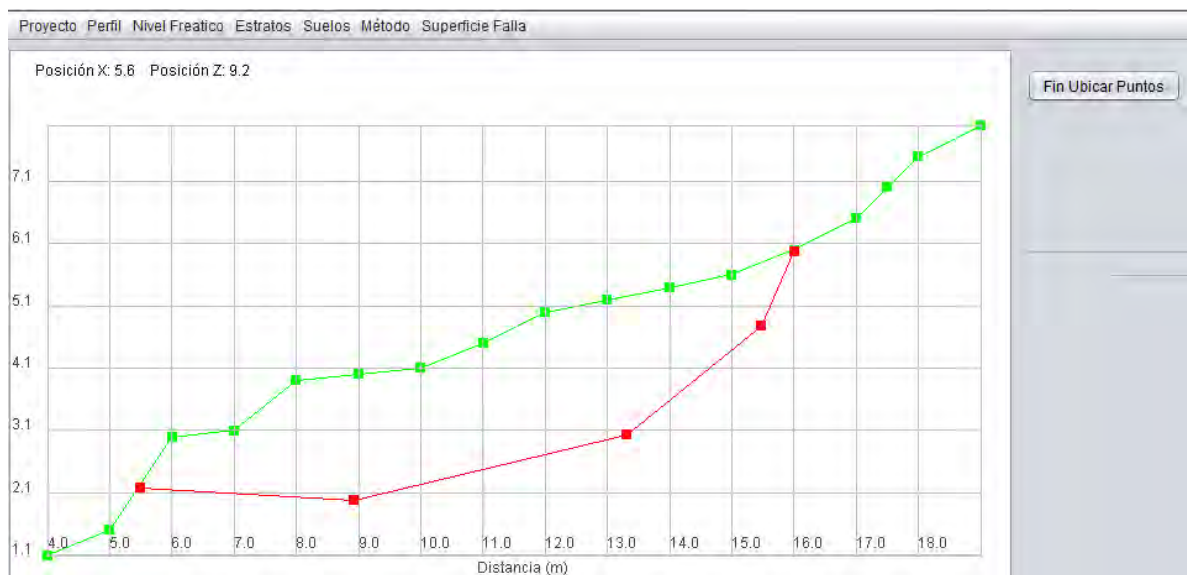
Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Superficie de Falla Cargada con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.



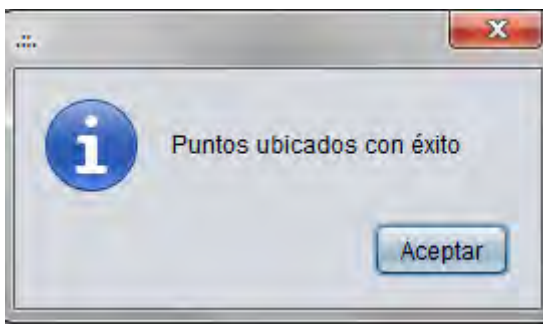
Ubicar Puntos Superficie de Falla Compuesta: Le permite al usuario ubicar manualmente los puntos que hacen parte de la Superficie de Falla. Esta opción se activa si se ha seleccionado previamente el Método de Janbu Simplificado o el Desarrollo General del Método de las Dovelas. Ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Ubicar Puntos Superficie de Falla Compuesta*.



En el área de dibujo el Usuario puede ubicar los puntos que hacen parte de la Superficie de Falla dando clic izquierdo sobre el área de dibujo, una vez ubicado el último punto se deberá presionar el botón “Fin Ubicar Puntos”.



Una vez cumplidas las anteriores condiciones aparecerá el mensaje “Puntos ubicados con éxito”, para continuar se debe cerrar el mensaje o dar clic en “Aceptar”.



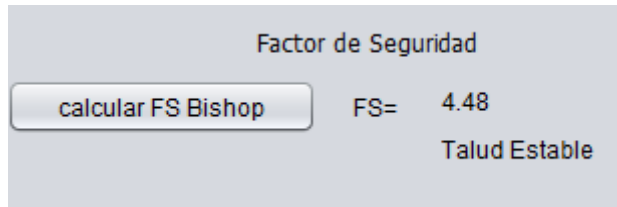
Opción **calcular FS Bishop**: Permite calcular el factor de seguridad por el Método de Bishop Simplificado. A continuación se dan a conocer las dos formas en las que se habilita este botón.

Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Bishop Simplificado*, luego ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Ubicar Superficie de Falla Circular* asigne los valores de la superficie y presione el botón “Graficar”.

Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Bishop Simplificado*, luego ingrese

al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Dibujar Superficie Falla Circular* dibuje la circunferencia y presione el botón “Ver”.

El usuario puede presionar el botón “calcular FS Bishop”, al activar este botón el Software dará a conocer el valor del Factor de Seguridad calculado y la estabilidad del talud.

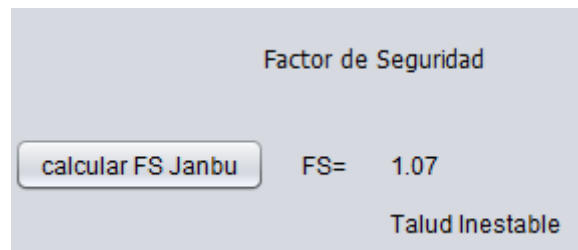


Opción **calcular FS Janbu**: Permite calcular el factor de seguridad por el Método de Janbu Simplificado. A continuación se dan a conocer las dos formas en las que se habilita este botón.

Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Janbu Simplificado*, luego ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Cargar Superficie de Falla Compuesta*, una vez graficada la superficie de falla con éxito se habilita esta opción.

Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Janbu Simplificado*, luego ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Ubicar Puntos Superficie Falla Compuesta* dibuje la superficie de falla y presione el botón “Fin Ubicar Puntos”.

El usuario puede presionar el botón “calcular FS Janbu”, al activar este botón el Software dará a conocer el valor del Factor de Seguridad calculado y la estabilidad del talud.



Opción **calcular FS M. General**: Permite calcular el factor de seguridad mediante el Desarrollo del Método General de las Dovelas. A continuación se dan a conocer las cuatro formas en las que se habilita este botón.

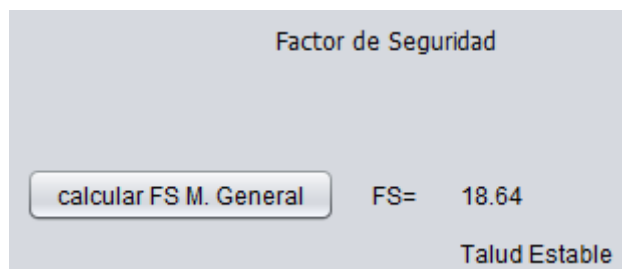
Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Desarrollo General del Método de las Dovelas*, luego ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Ubicar Superficie de Falla Circular* asigne los valores de la superficie y presione el botón “Graficar”.

Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Desarrollo General del Método de las Dovelas*, luego ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Dibujar Superficie Falla Circular* dibuje la circunferencia y presione el botón “Ver”.

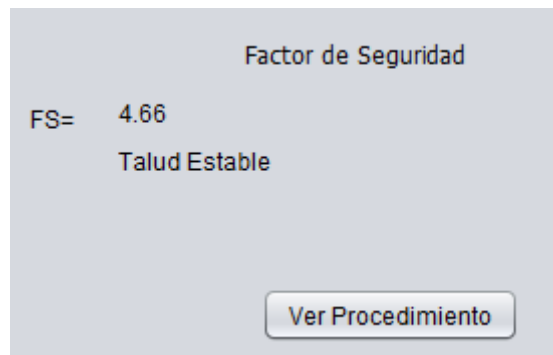
Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Desarrollo General del Método de las Dovelas*, luego ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Cargar Superficie de Falla Compuesta*, una vez graficada la superficie de falla con éxito se habilita esta opción.

Después de ingresada la geometría del Perfil, delimitar los estratos, asignar propiedades del suelo de cada estrato y definir la presencia de agua en el talud ingrese al menú *Método* y seleccione la opción *Desarrollo General del Método de las Dovelas*, luego ingrese al menú *Superficie Falla* y seleccione la opción *Ubicar Puntos Superficie Falla Compuesta* dibuje la superficie de falla y presione el botón “Fin Ubicar Puntos”.

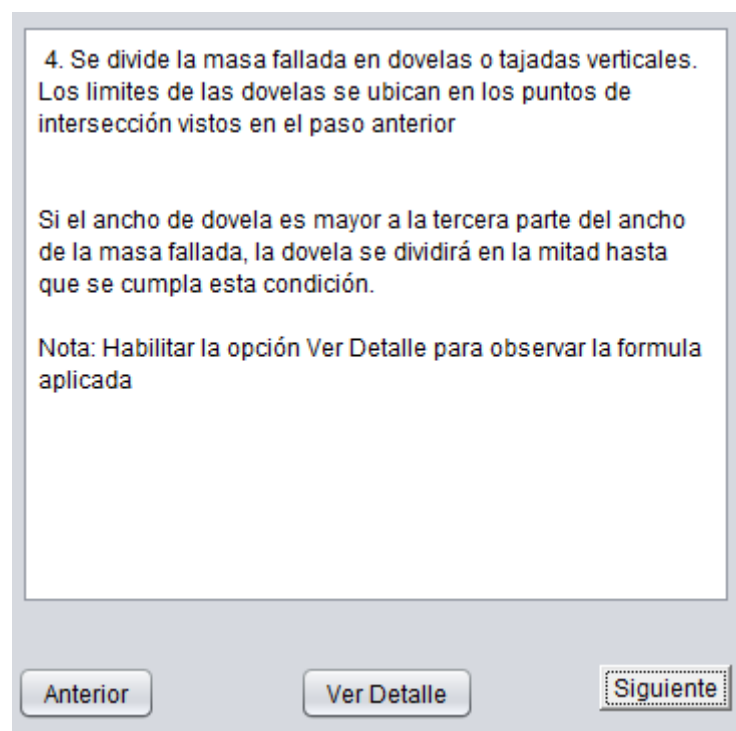
El usuario puede presionar el botón “calcular FS M. General”, al activar este botón el Software dará a conocer el valor del Factor de Seguridad calculado y la estabilidad del talud.



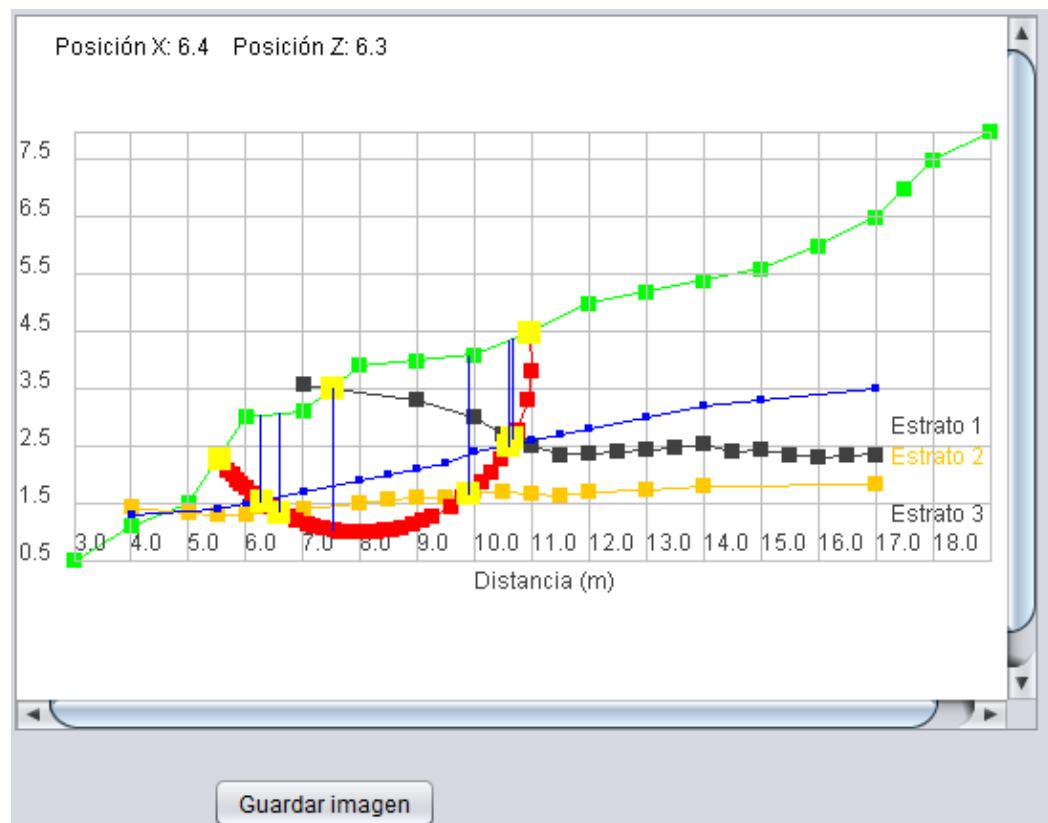
Opción **Ver Procedimiento**: El botón “Ver Procedimiento” se activa después de calcular el Factor de Seguridad.



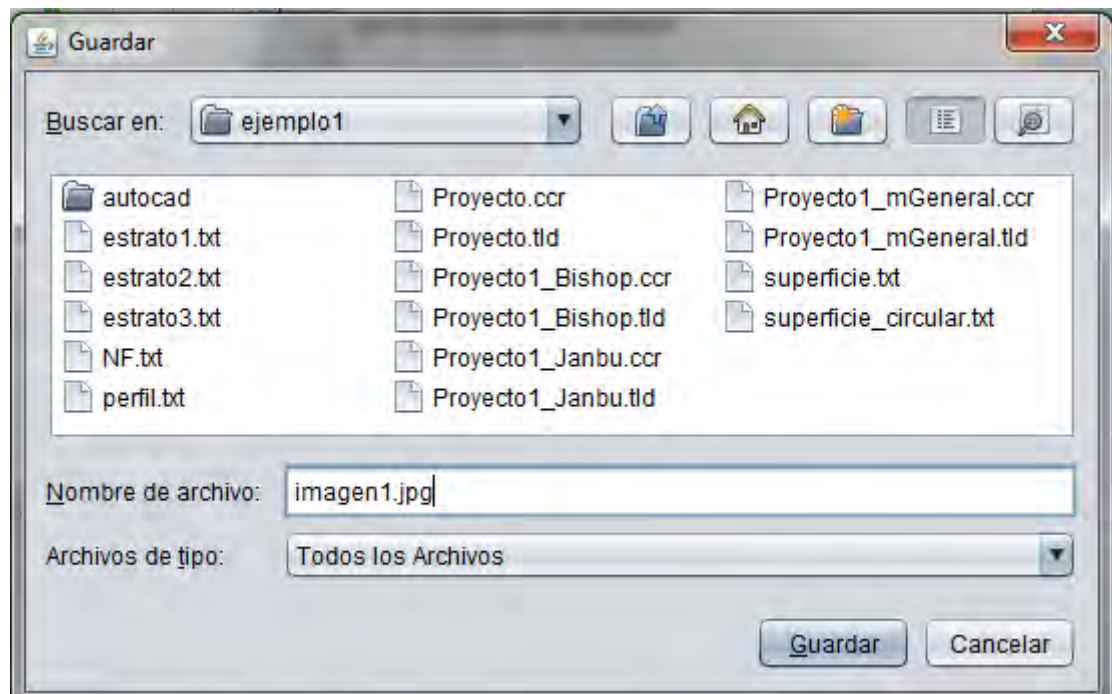
Al presionar el botón “Ver Procedimiento” se dan a conocer los pasos a seguir para el cálculo del Factor de Seguridad por el método seleccionado. El botón “Siguiente” le permite al Usuario acceder al siguiente paso, el botón “Anterior” le permite regresar al paso anterior y el botón “Ver Detalle” le da a conocer las fórmulas utilizadas en este paso.



Opción **Guardar imagen**: Se habilita en el paso 4 y permite guardar la imagen generada en el área de dibujo en una de las unidades del PC o en dispositivos extraíbles.



Para guardar la imagen es necesario ubicar la dirección que se desee y asignar un nombre al archivo seguido del formato (.jpg)



Opción **Guardar tabla**: Se habilita en el paso 5 y permite guardar los cálculos resultantes del método seleccionado en una de las unidades del PC o en dispositivos extraíbles.

Guardar imagen		Guardar tabla									
ND	Xi	W	$\tan\phi$	c	b	α	$\cos\alpha$	$\tan\alpha$	Hw	ub	
1.0	5.53	0.76	0.36	5.0	0.73	-45.33	0.70	-1.01	0.00	0.00	
2.0	6.27	0.61	0.36	5.0	0.31	-31.80	0.85	-0.62	0.14	0.04	
3.0	6.58	2.47	0.36	5.0	0.94	-18.77	0.95	-0.34	0.55	0.52	
4.0	7.52	7.44	0.36	5.0	2.39	15.10	0.97	0.27	0.96	2.29	
5.0	9.91	1.82	0.36	5.0	0.70	50.04	0.64	1.19	0.43	0.30	
6.0	10.61	0.13	0.36	5.0	0.06	62.63	0.46	1.93	0.00	0.00	
7.0	10.66	0.31	0.36	5.0	0.30	80.91	0.16	6.25	0.00	0.00	

Para guardar la tabla es necesario ubicar la dirección que se desee y asignar un nombre al archivo seguido del formato (.xls).

