

## **ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

MURO DE PROTECCION Y TAPIAL PERIMETRAL EN HOSPITAL NACIONAL  
GENERAL DE NEUMOLOGIA Y MEDICINA FAMILAR "DR. JOSE ANTONIO  
SALDAÑA"

### **ZONAS DE PROYECTO DE MUROS**

ZONA 2 CONTIGUO A EDIFICIO DE GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA  
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUD

FECHA: 26 de marzo del 2021

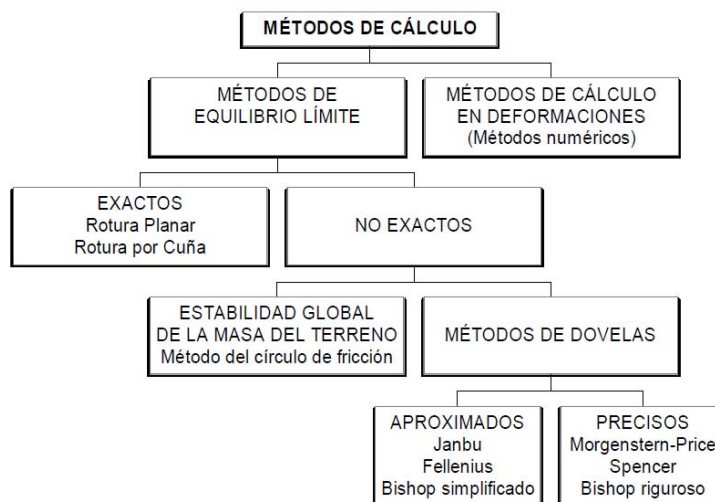
## Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	2
3. GEOLOGIA.....	3
3.1 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	3
3.2 FORMACIONES GEOLÓGICAS .....	3
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES .....	4
3.3.1 Formación Cuscatlán.....	4
3.3.2 Formación del Bálsamo.....	4
4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	6
5. ANALISIS DE ESTABILIDAD.....	7
6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS .....	13
7. CONCLUSIONES.....	18
8. BIBLIOGRAFÍA.....	19

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el objeto de evaluar la estabilidad de los taludes del proyecto **ZONAS DE PROYECTO DE MUROS**, ZONA 2 CONTIGUO A EDIFICIO DE GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA Hospital DR. JOSE ANTONIO SALDAÑA se utiliza la campaña geotécnica realizada por el Laboratorio de suelos y materiales Roberto Salazar y Asociados, fecha marzo 2021.

Una vez conocidas las propiedades de los suelos, se procedió a evaluar la estabilidad de los taludes, realizando un corte a lo largo del lote; utilizando el software GEO5, de la casa FINE SOFT con el método de Bishop, Morgenstern-Price y Janbu para fallas circulares y un modelo con falla no circular utilizando Janbu, con utilizando los factores sísmicos recomendados en el Reglamento para la seguridad estructural de las edificaciones de 1994, para la condición más crítica, sismo y suelo saturado.



## 2. METODOLOGÍA

La metodología seguida se describe a continuación mediante los pasos siguientes:

- a) Revisión del mapa geológico.
- b) Utilización de la geotecnia presentada por la empresa Laboratorio de suelos y materiales Roberto Salazar y Asociados.
- c) Se procedió a evaluar la estabilidad del talud con mayor altura, para ello se utilizó en método de Bishop, Janbu, por ser de uso común en nuestro país, realizando también el método de Morgenstern y Price.
- d) Para la condición de Estática y dinámica.

El Reglamento para la seguridad estructural de las edificaciones de 1994 establece en la tabla 6.2 los factores de seguridad de la manera siguiente:

**TABLA 6.2**  
**Factor de seguridad.**

Condición	Combinación de Fuerzas	FS
1	$F_g$	1.4
2	$F_g + F_f + F_s$	1.1

Como puede verse la condición 2 incluye la condición 1, por lo que no se realizó la condición estática.

### 3. GEOLOGIA

#### 3.1 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Los estudios efectuados por la Misión Geológica Alemana en nuestro país, en colaboración del Centro de Estudios e Geotécnicas del Ministerio de Obras Públicas, constituye la base para diferenciar las unidades geológicas-tectónicas existentes en el país, clasificación efectuada por Williams y Meyer Abich 1953, 1954 Dürr 1960 en lo Geomorfológico y en lo Geográfico por Gierloff - Enden 1956.

#### 3.2 FORMACIONES GEOLÓGICAS

En el mapa geológico mostrado en la Ilustración 1 puede verse que las formaciones geológicas presentes son: La formación Cuscatlán con el miembro c1 y la formación Bálsamo con el miembro b1.

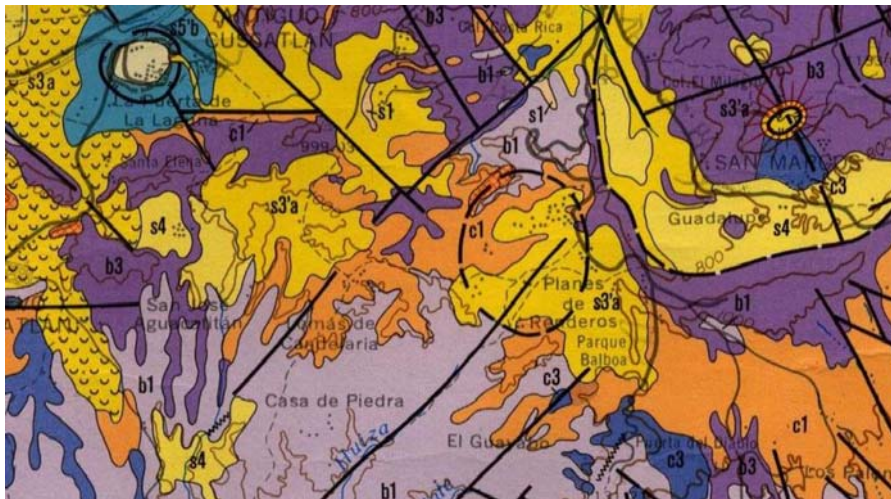


Ilustración 3-1 - Mapa geológico.

### **3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES**

#### **3.3.1 Formación Cuscatlán**

Wiesemann (1975) introduce el término y lo describe (1978) como una secuencia volcano-sedimentaria del plio-pleistoceno, el cual divide en tres miembros: C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>.

La sección volcánica está constituida por tobas ácidas en la base, seguido por lavas ácidas intermedias y andesitas-basaltos en la parte superior.

(nota cuando se refiere a rocas ácidas significa que contienen un alto porcentaje de sílice).

La secuencia sedimentaria está limitada a cuencas intramontanas, las cuales incluyen horizontes de diatomita, epiclástitas y areniscas, intercaladas localmente por capas carbonosas, tobas y una localidad con calizas de agua dulce en el Valle del río Torola.

Los miembros de la formación Cuscatlán se encuentran ubicados en su mayor parte, a lo largo de una depresión de rumbo Oeste-Noroeste (Wiesemann 1975). Limita al norte con estructuras de rumbo Este-Oeste que pone en contacto con unidades más viejas.

#### **3.3.2 Formación del Bálsamo**

Dürr (1969, 9-13) introduce el término Estratos de Bálsamo y posteriormente Wiesemann (1975, 561-564) lo

eleva a formación el cual divide en tres miembros:  $b_1$ ,  $b_2$  y  $b_3$ .

La Formación Bálsamo, es más joven que las ignimbritas ácidas de la formación Chalatenango, pero anteriores a las de la formación Cuscatlán, la cual al sur de El Salvador parece dividir las (Wiesemann 1975). Stirton y Gealey (1949) como Dürr (1960) le asignan una edad de Plioceno-Pleistoceno, Wiesemann (1978) Mioceno-Plioceno. En Nicaragua, lavas correlacionadas con esta unidad han sido datadas (anónimo, 1972) en 6.65 - 74.1 M.A.

En el área de Ahuachapán (El Salvador) la parte media de esta formación es de edad 1.8 - 2.80 MA (anónimo 1982, 1984).

Los afloramientos están en gran parte bordeando el océano Pacífico, exceptuando la llanura costera del río Lempa, y las rocas tienden a ser de tipo ácido en las partes bajas e intermedias a básicas en la parte superior. Dürr (1960) estima el espesor de la sección en 500 metros.

#### 4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Utilizando los resultados del estudio realizado con fecha marzo 2021, se establecen para los materiales de cada estrato los valores siguientes:

Suelo	Peso unitario seco KN/m <sup>3</sup>	Angulo de fricción interna °	Cohesión de suelo kpa	Peso unitario saturado KN/m <sup>3</sup>
Arena Limosa SM	1500	25	17	1650
Limo arenoso ML	1450	25	15	1600
Arcillas arenosas CL	1500	25	16	1675
Arenas Arcillosas SC	1475	13	15	1625



## 5. ANALISIS DE ESTABILIDAD

Los taludes fueron analizados según el comportamiento de Mohr-Coulomb y mediante el análisis de dovelas de Bishop, Morgenstem-Price, y Janbu como modelos circulares y un modelo Janbu no circular.

Dado que el Reglamento para la seguridad de las edificaciones para El Salvador de 1994, establece en la Norma técnica para el diseño de cimentaciones y estabilidad de taludes que:

**5.3.3** El coeficiente sísmico horizontal,  $k_h$ , se tomará igual 0.16 para la zona I y 0.12 para la Zona II.

El coeficiente sísmico vertical,  $k_v$ , se tomará igual a cero para ambas zonas.

### 6.2 CONSIDERACIONES GENERALES.

**6.2.1** Previamente al diseño de un talud se debe contar con un estudio geotécnico, el que deberá considerar todas las superficies de falla probables así como la localización del nivel freático.

**6.2.2** La extensión de la zona a ser considerada en el estudio, será definida por el especialista de suelos de acuerdo a la importancia del talud y las condiciones del lugar.

### 6.3 EFECTO ESTATICO Y DINAMICO.

El análisis deberá tomar en cuenta las fuerzas estáticas y las fuerzas sísmicas aplicadas.

**6.3.1** La fuerza sísmica,  $F_s$ , se determinará multiplicando el peso de cada cuña deslizante por el coeficiente sísmico correspondiente que se indica en 5.3.3.

**6.3.2** Los factores de seguridad se indican en la Tabla 6.2.

**TABLA 6.2**  
**Factor de seguridad.**

Condición	Combinación de Fuerzas	FS
1	$F_g$	1.4
2	$F_g + F_f + F_s$	1.1

Mientras el Reglamento siga vigente, para la condición de análisis de sismo se utilizará un coeficiente de  $k_h = 0.16$ ; los factores de seguridad necesarios son los siguientes:

Factor de Seguridad para cargas gravitacionales = 1.4

Factor de Seguridad en caso de sismo = 1.1

Todo de acuerdo al Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de El Salvador, 1994.

### **Definición**

Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciones artificiales relevantes con respecto a la estabilidad. Por derrumbe se entiende una situación de inestabilidad que concierne vertientes naturales y comprende considerables espacios de terreno.

### **Introducción al análisis de estabilidad**

Para resolver un problema se deben tomar en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras son de equilibrio, las segundas describen el comportamiento del terreno. Tales ecuaciones son particularmente complejas en cuanto los terrenos son sistemas multifase, que se pueden convertir en sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco, o de análisis en condiciones drenadas.

En la mayor parte de los casos nos encontramos con material que si bien es saturado, es también por lo menos bifase, lo que hace el uso de la ecuación de equilibrio notoriamente complicado. Además, es prácticamente imposible definir una ley constitutiva de validez general, en cuanto los terrenos presentan un comportamiento no-lineal aún en el caso de pequeñas deformaciones. A causa de dichas dificultades se introducen hipótesis simplificadoras:

- a. Se usan leyes constitutivas simplificadas modelo rígido perfectamente plástico. Se asume que la resistencia del material se expresa únicamente con los parámetros cohesión ( $c$ ) y ángulo de rozamiento ( $\phi$ ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico, por lo tanto, se supone válido el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- b. En algunos casos se satisfacen solo en parte las ecuaciones de equilibrio.

### **Método de JANBU (Falla Circular)**

En la solución no se satisface el equilibrio de momento para la última tajada ( $M_n \neq 0$ ). Además, introduce error al despreciar durante el análisis un término con diferencial de primer orden.

Similar a la solución de Bishop, la solución simplificada es muy conocida y se puede escribir:

$$FS = \frac{\sum [c'_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi'_i] \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \frac{\tan \alpha_i \tan \phi'_i}{FS}}}{\sum W_i \tan \alpha_i}$$

Asume	<table><tr><td><math>L_i</math> conocida</td><td><math>= n</math></td></tr><tr><td><math>Z_i</math> conocida</td><td><math>= n - 1</math></td></tr><tr><td>Suposiciones totales</td><td><math>= 2n - 2 (&gt; 2n - 2)</math></td></tr></table>	$L_i$ conocida	$= n$	$Z_i$ conocida	$= n - 1$	Suposiciones totales	$= 2n - 2 (> 2n - 2)$
$L_i$ conocida	$= n$						
$Z_i$ conocida	$= n - 1$						
Suposiciones totales	$= 2n - 2 (> 2n - 2)$						

### **Método de MORGENSTERN y PRICE (Falla Circular)**

Se establece una relación entre los componentes de las fuerzas de interconexión ( $E$ ) de tipo  $X = \lambda f(x)E$ , donde  $\lambda$  es un factor de escala y  $f(x)$ , función de la posición de  $E$  y de  $X$ , define una relación entre las variaciones de la fuerza  $X$  y de la fuerza  $E$  al interno de la masa deslizante. La función  $f(x)$  se escoge arbitrariamente (constante, senoide, semisenoide, trapecio, fraccionada...) e influye poco sobre el resultado, pero se debe verificar que los obtenidos para las incógnitas sean físicamente aceptables.

La particularidad del método es que la masa se subdivide en franjas infinitésimas, a las cuales se imponen las ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical y de rotura en la base de las franjas mismas.

Se llega a una primera ecuación diferencial que une las fuerzas de conexión incógnitas  $E$ ,  $X$ , el coeficiente de seguridad  $F_s$ , el peso de la franja infinitésima  $dW$  y el resultado de las presiones neutras en la base  $dU$ .

Se obtiene la llamada "ecuación de las fuerzas":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - tg \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una segunda ecuación, llamada "ecuación de los momentos", se escribe imponiendo la condición de equilibrio a la rotación respecto a la base:

$$X = \frac{d(E_r)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

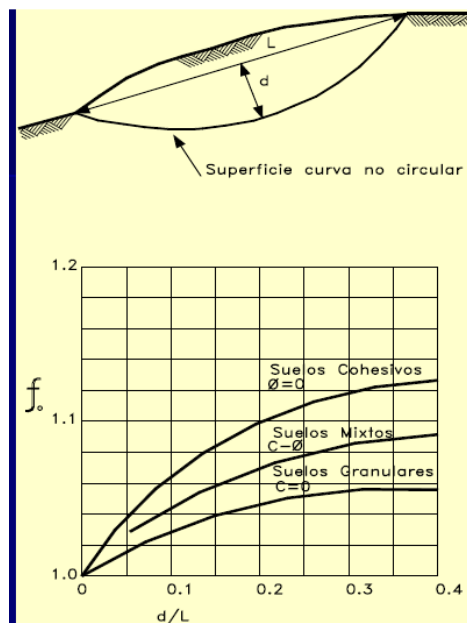
estas dos ecuaciones se extienden por integración a toda la masa interesada en el deslizamiento.

El método de cálculo satisface todas las ecuaciones de equilibrio y se aplica a superficies de cualquier forma, pero implica necesariamente el uso de una computadora.

### **Método de JANBU (Falla Janbu no circular)**

El método simplificado de Janbu se basa en la suposición que las fuerzas entre las dovelas son horizontales y no tiene en cuenta las fuerzas de cortantes.

Janbu considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección  $F_0$ , este factor depende de la curvatura de la superficie de falla.

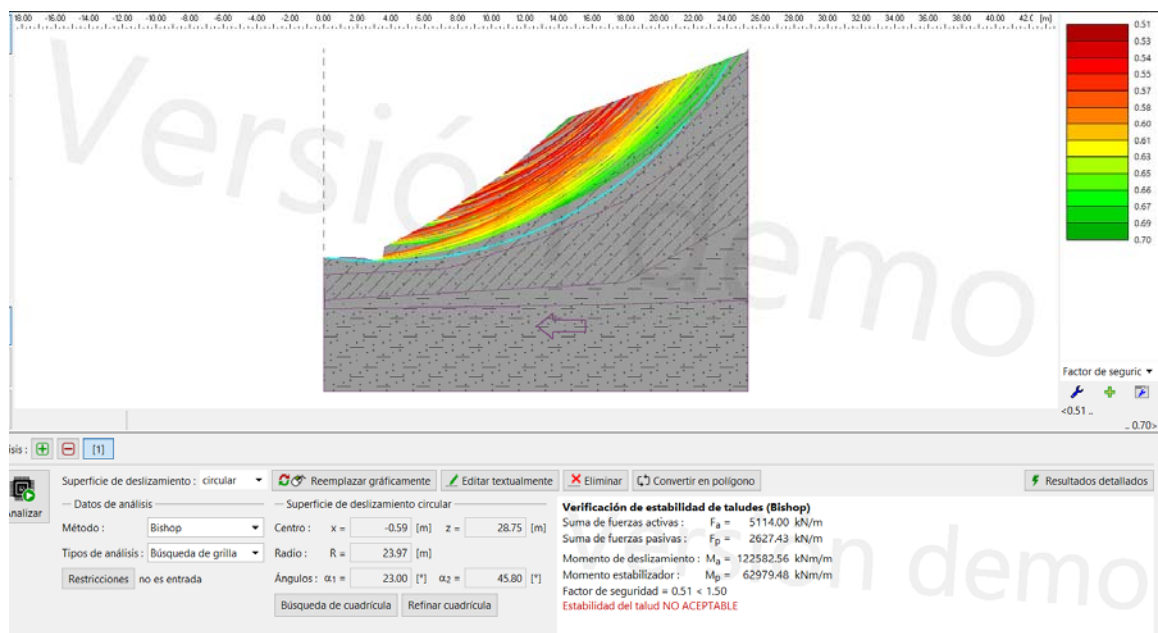


$$FS = \frac{f_0 \sum \left\{ [c' + (W - ub) \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha} \right\}}{\sum (W \tan \alpha)}$$

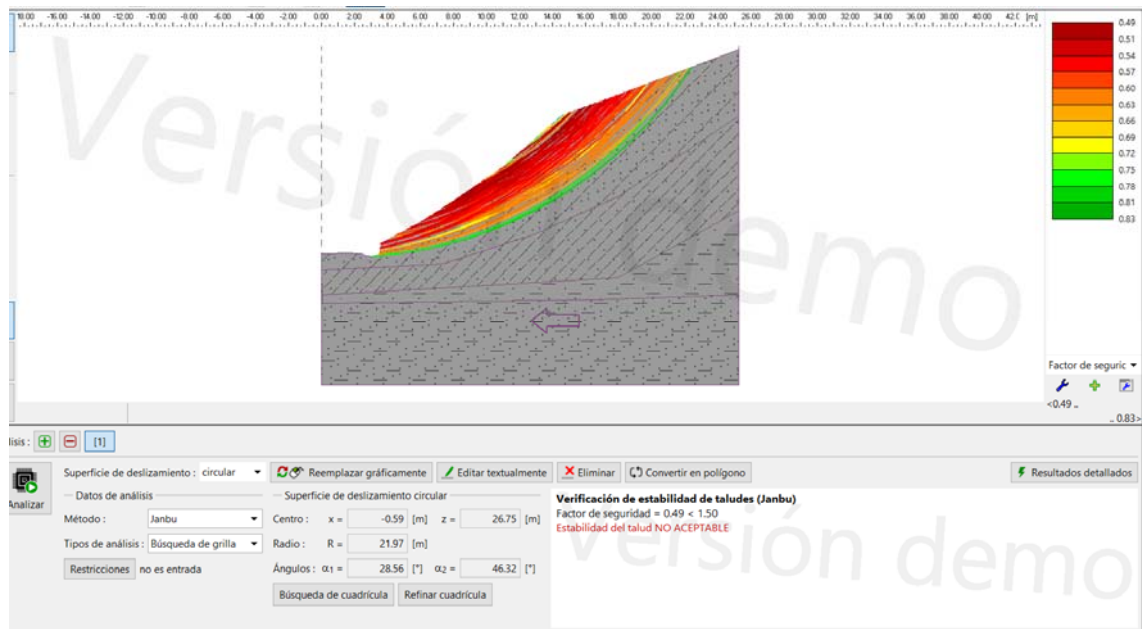
## 6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Dado el tipo de materiales encontrados no se considera que exista peligro de una inestabilidad global, los taludes naturales y una vez trabajados son y seguirán siendo estables, aunque en presencia de sismo no son estables. Se han hecho el análisis para el talud con muro y en su estado natural para la altura más desfavorable encontrándose los resultados a continuación mostrados.

Bishop gravedad + sismo



Janbu gravedad + sismo



Morgenstern-Price gravedad + sismo

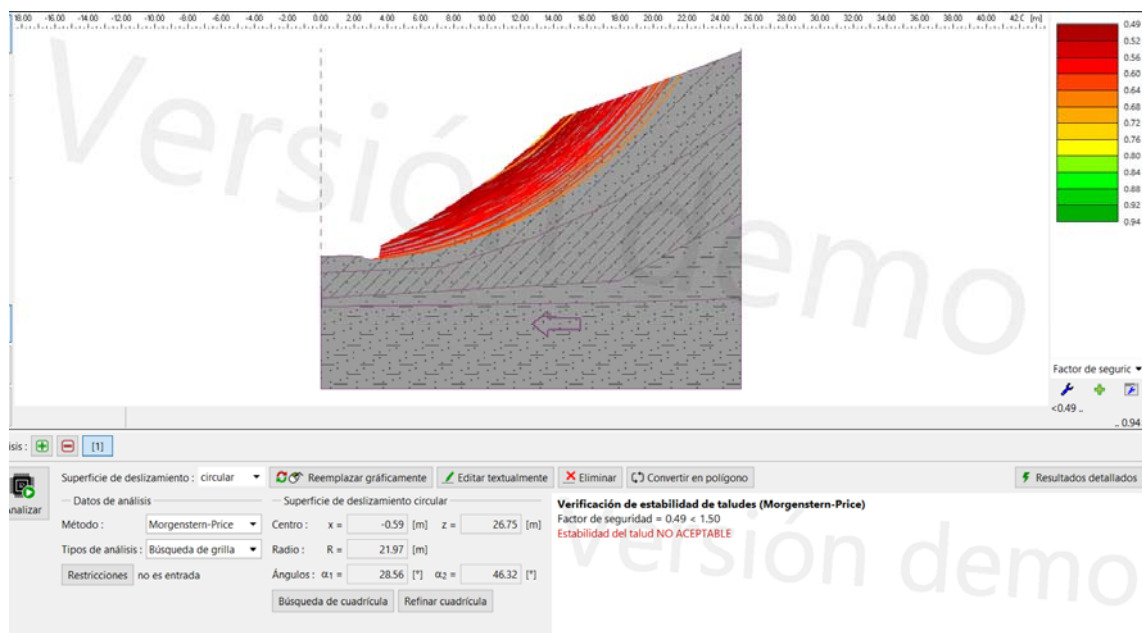
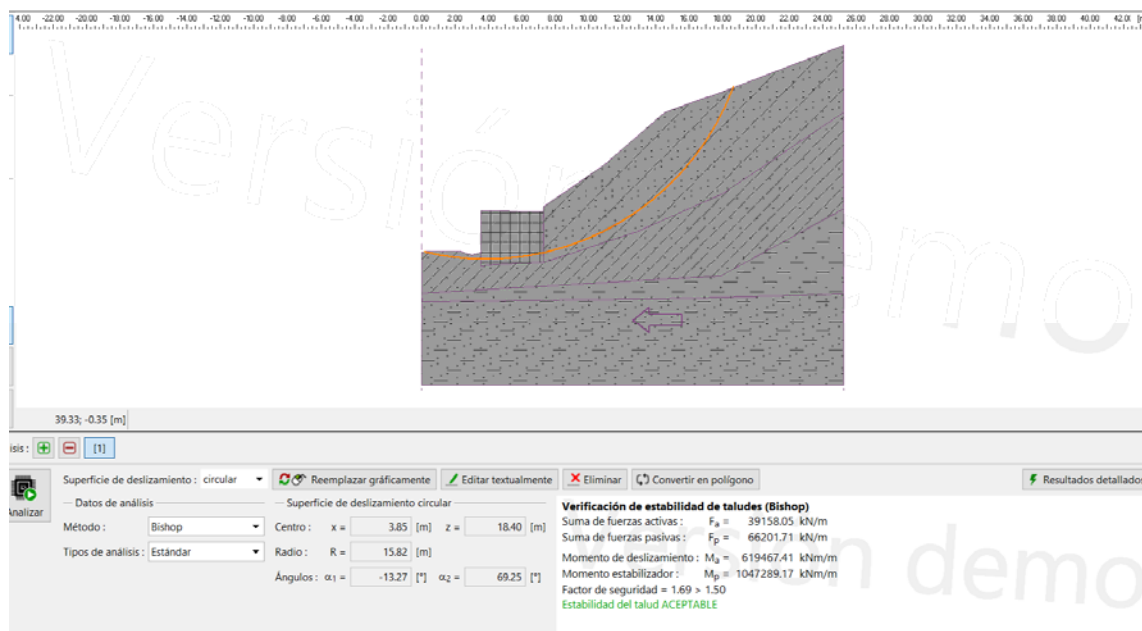




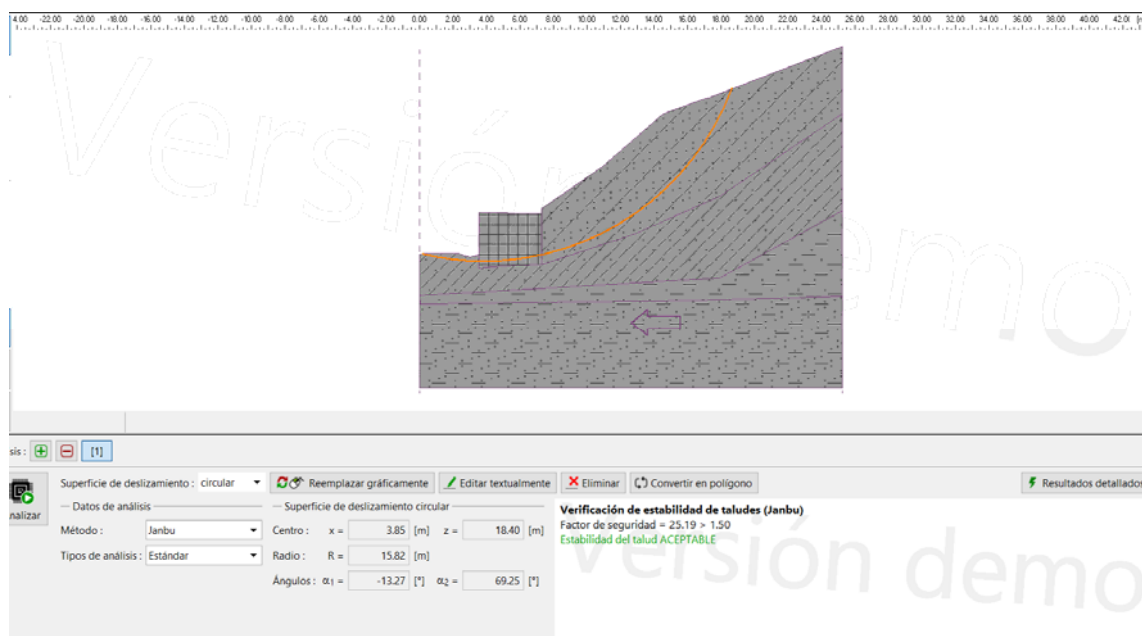
Tabla 1 Análisis de Estabilidad de los taludes en condición de Gravedad + sismo.

Descripción Talud	METODO			valor reglamento
	MORGENSTERN	Bishop	Janbu	
Talud Pabellón Obstetricia	0.49	0.51	0.49	1.4

## Bishop gravedad + sismo con muro



## Janbu gravedad + sismo con muro



## Morgenstern-Price gravedad + sismo con muro

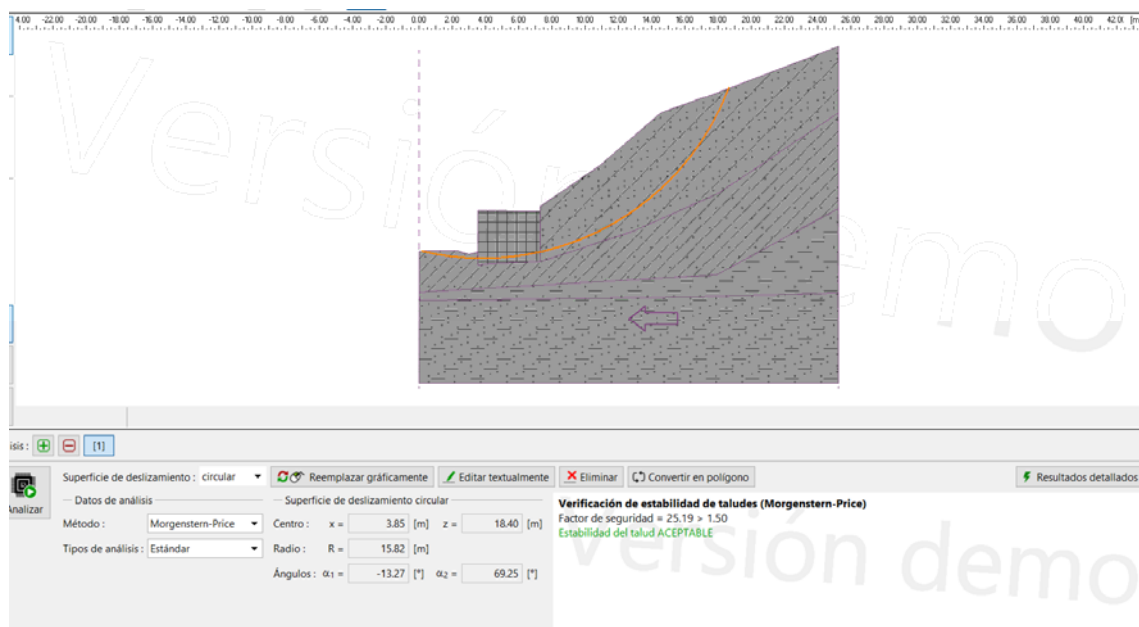


Tabla 2 Análisis de Estabilidad de los taludes en condición de Gravedad + sismo, con muro y estabilizacion.

Descripción Talud	METODO			valor reglamento
	MORGENSTERN	Bishop	Janbu	
Talud Pabellón Obstetricia	25.19	1.69	25.19	1.4

## 7. CONCLUSIONES

- a. Han sido evaluados el talud más crítico con los métodos como Janbu, Bishop y MORGENSTERN-PRICE, incluyendo los análisis por Gravedad + Sismo, este escenario generado por la geometría del talud y las características propias de los materiales en estudio, determinadas por los análisis de laboratorio más las obras de protección (muros).
- b. Los resultados obtenidos ante las metodologías de análisis muestran factores de seguridad arriba del sugerido por la normativa nacional.
- c. Los taludes analizados presentan estabilidad una vez realizada la construcción del muro de contención con una altura mínima de 2.00 m.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- 1) Manual Seismic Refraction Interpretation Programs, Rimrock Geophysics, 1995
- 2) Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigation, American Society of Civil Engineering, 1998
- 3) Principles and Applications of Microearthquakes Networks, Willy H. K. Lee and S. W. Stuart, 1981.
- 4) Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, Prentice Hall, Madrid, 2002.
- 5) Mapa Geológico Oficial de la República de El Salvador, Misión Geológica Alemana-CIG-MOP, escala 1:100,000, IGN-CNR.1974.
- 6) Estudio de suelos elaborado por Laboratorio de suelos y materiales Roberto Salazar y Asociados, fecha marzo 2021.