
MANUAL DE USUARIO APLICACIÓN MUROS DE RETENCIÓN

Desarrollado por:

Juan David Solarte Chamorro

Eimar Andrés Sandoval

Santiago de Cali, Agosto 2023

1. Tabla de contenidos

1. Descripción del programa.....	4
2. Requisitos	4
3. Instalación de la aplicación.....	4
4. Instrucciones paso a paso para el análisis	4
5. Inicio del programa	5
6. Muros de retención	8
6.1 Muro de gravedad.....	8
6.2 Muro en voladizo	10
6.3 Muro tablestaca	13
7. Características del suelo.	14
7.1 Ángulo de fricción interna ϕ	14
7.2 Ángulo de fricción suelo-muro δ'	15
7.3 Peso específico γ	15
7.4 Adhesión suelo-base C_a	16
7.5 Aceleraciones sísmicas.....	17
7.6 Coeficiente de presión sísmica de la tierra	21
7.7 Coeficiente de aceleración sísmica horizontal y vertical	22
8. Datos de entrada	23
8.1 Sistema de unidades	23
8.2 Datos del muro.....	24
8.3 Datos del suelo de relleno.....	24
8.4 Datos del Sismo.....	28
9. Ayudas del programa.....	29
10. Datos de salida	31

11. Factores de seguridad indirectos	33
12. Ejemplos para casos estáticos.....	34
12.1 Ejemplo Muro de gravedad.....	34
12.2 Ejemplo Muro en voladizo	42
12.3 Ejemplo Muro tablestaca	51
13. Ejemplo para casos pseudo-estáticos	56

1. Descripción del programa

La aplicación de muros de retención tiene como objetivo principal realizar los cálculos y análisis geotécnicos de geometrías y datos de muros y suelo especificados por el usuario para hallar y mostrar los factores de seguridad. Estos factores son necesarios para la toma de decisiones antes de realizar el diseño estructural y construcción de un muro de retención. La aplicación cuenta con una interfaz gráfica de fácil comprensión que no satura la pantalla con muchos botones y se puede seguir en orden. Además, la aplicación brinda la opción de crear reportes en los cuales se muestran de manera resumida las teorías y el procedimiento para obtener los resultados.

2. Requisitos

2.1 Requisitos hardware

- Procesador: 64 bits
- Memoria RAM: 4Gb o superior
- Espacio en el disco duro: 2 Gb o superior

2.2 Requisitos software

- Sistema operativo Windows 10 o posteriores
- Lector de archivos PDF (necesario para abrir el manual y generar reportes)
- No es necesario tener instalado MATLAB

3. Instalación de la aplicación

- Descargar el instalador del enlace
https://github.com/juandavidsolarte/muros_univalle/tree/main
- Descomprimir la aplicación y MCRInstaler
- Instalar MCRInstaler
- Abrir la carpeta Muros
- Ejecutar el archivo "Muros.exe"
- Instalar la aplicación Muros

4. Instrucciones paso a paso para el análisis

- Escoger el tipo de análisis a realizar

- En el caso del análisis estático, escoger entre los muros mostrados en pantalla
- Si el análisis escogido es el pseudo-estático, se abrirá la interfaz de este análisis. En esta interfaz se podrá escoger el tipo de teoría y muro para analizar
- Insertar datos del muro a partir de las geometrías definidas
- Oprimir el botón “Suelo”, el cual abre una ventana para proceder con el ingreso de datos del terreno
- Oprimir el botón “Calcular” para hallar los valores de los factores de seguridad

En el caso de necesitar realizar otro tipo de análisis se pueden borrar o restablecer valores con el botón “Restablecer”. Un aspecto para tener en cuenta es que el botón restablecer solo elimina los valores ingresados en las casillas de datos del muro de retención, por lo que botones como el de unidades y geometría del muro deberán elegirse u oprimirse de nuevo. Por lo anterior, en caso de que se desee, se recomienda regresar a la pantalla inicial y elegir de nuevo el tipo de análisis a realizar o en su defecto cerrar la ventana y abrir de nuevo la aplicación.

5. Inicio del programa

Una vez instalado el software para abrir el programa se tiene que ejecutar el archivo Muros, el cual es un archivo tipo aplicación. Una vez abierto el programa, se desplegará una imagen en pantalla que nos indica que el programa ya ha sido abierto ([Ver Figura 1](#)). La interfaz se tardará unos segundos después de iniciarse.



Fig.1. Logo de inicio de la aplicación Muros.

Después de la imagen de inicio, el usuario se encontrará con la interfaz principal, donde se encuentran los dos análisis evaluados:

1. Análisis Estático.
2. Análisis Pseudo-estático.

Cabe resaltar que para seleccionar el análisis requerido basta con hacer un clic en cualquiera de los botones que contiene el nombre del análisis, como se muestra en la [Figura 2](#).



Fig.2 Interfaz principal de la aplicación Muros.

Si el caso escogido es el pseudo-estático, se abrirá la interfaz de este método. Por el contrario, si el caso escogido es el estático, se abrirá otra ventana en la que se podrá escoger entre los siguientes tipos de muros:

1. Muro cantiléver o en voladizo.
2. Muro de gravedad.
3. Muro tablestaca.

Para seleccionar el tipo de muro basta con hacer un clic en el botón que muestre su geometría, como se aprecia en la [Figura 3](#).

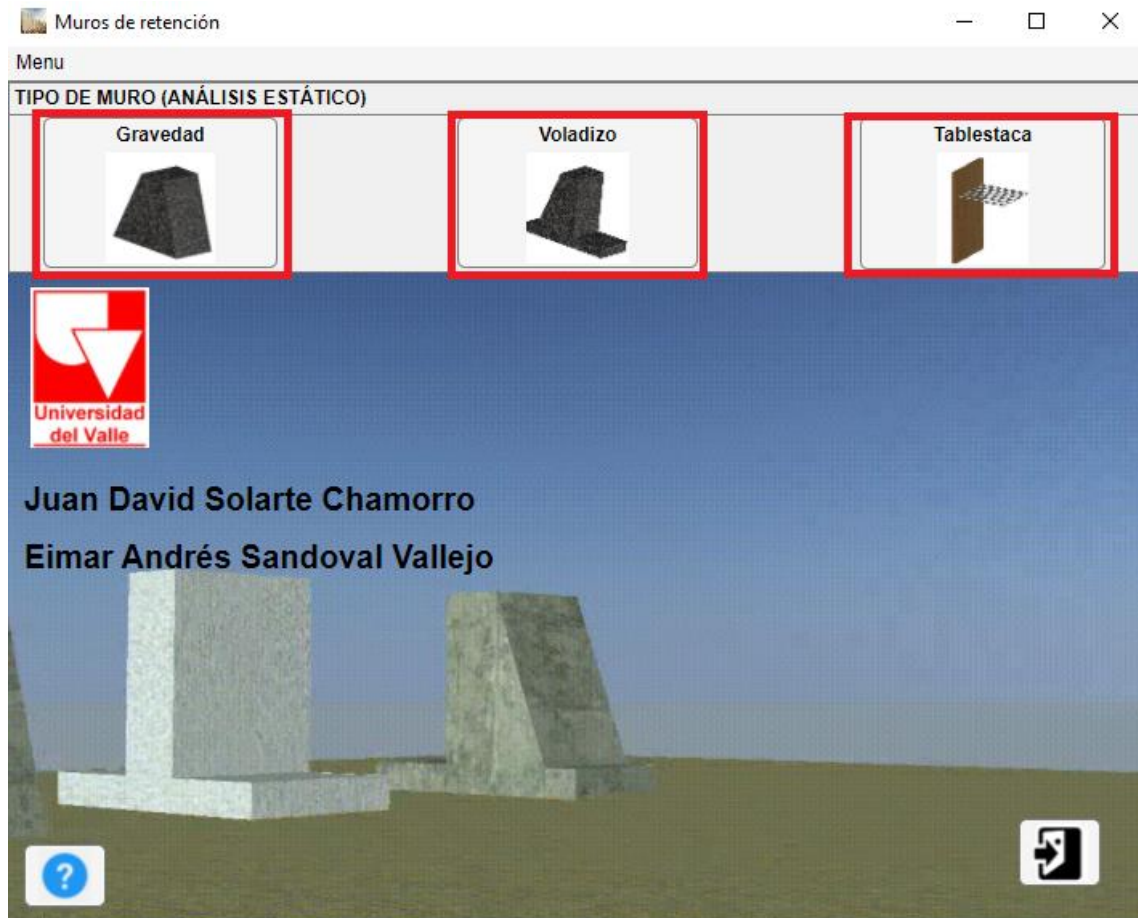


Fig.3. Ventana del análisis estático de la aplicación Muros.

6. Muros de retención

Para diseñar apropiadamente los muros de retención, un ingeniero debe conocer ciertos parámetros básicos como la geometría del muro y sus dimensiones ya que inicialmente en el diseño debe suponer algunas de ellas. Los muros de retención que se han tenido en cuenta para la aplicación son los muros de retención de gravedad y los muros de retención cantiléver o en voladizo.

6.1 Muro de gravedad

Son muros de hormigón en masa en los que la resistencia se consigue por su propio peso. Normalmente carecen de cimiento diferenciado, aunque pueden tenerlo (Calavera, 1989). Estos muros suelen ser económicos para alturas moderadas, menores de 5 m. Son muros con dimensiones generosas, que no requieren de refuerzo. Los muros de gravedad pueden ser de concreto ciclópeo, mampostería, piedra o gaviones. Debido a que la estabilidad se logra con su peso propio, se requiere grandes dimensiones, dependiendo del empuje. La dimensión de la base de estos muros oscila alrededor de 0,4 a 0,7 de la altura. Por economía, la base debe ser lo más angosta posible, pero debe ser lo suficientemente ancha para proporcionar estabilidad contra el volcamiento y deslizamiento, y para originar presiones de contacto no mayores que las máximas permisibles (Torres, 2008).

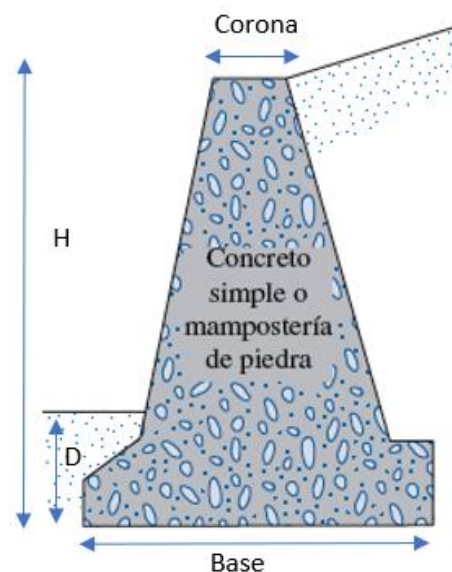


Fig. 4. Muro de gravedad. (Braja Das, 7ma edición)

Se presentan las dimensiones y valores recomendados para las geometrías analizadas, las cuales son trapezoidal isósceles (Ver Figura 5) y trapezoidal rectangular (Ver Figura 6).

- Altura H : valores menores de 5 m o 16 ft.
- Base del muro: 0.5 a 0.7 H .
- Corona: 0.3 m o 1 ft como valor mínimo.
- Profundidad D (Relleno Posterior): Valores menores de $\frac{1}{3}H$
- Si se supone además que el terreno natural en superficie tiene una inclinación tal que forma un ángulo α con la horizontal este valor no podrá superar el valor del ángulo de fricción interna Φ del material.

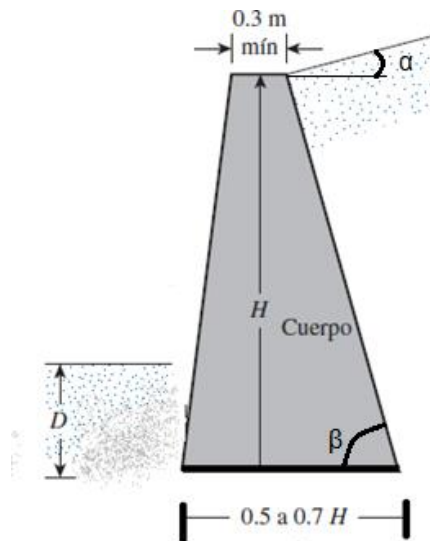


Fig. 5. Muro de gravedad trapezoidal isósceles. (Braja Das, 7ma edición)

En el caso que se tenga el muro triangular se aplican las mismas condiciones que para el trapezoidal teniendo en cuenta el cambio del ángulo beta.

- Usar $\beta=90^\circ$ debido a que la parte rectangular del muro esta perpendicular a la horizontal de la base.

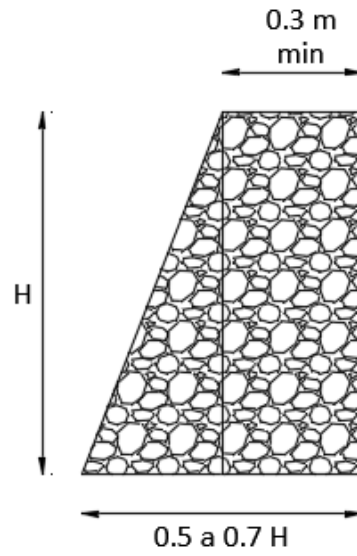


Fig. 6. Muro de Gravedad trapezoidal rectangular

6.2 Muro en voladizo

Los muros de retención en voladizo están hechos principalmente de concreto reforzado y consisten en un cuerpo o alzado delgado y una losa de base ([Figura 7](#)). Este tipo de muro es recomendable hasta una altura de 8 m aproximadamente. En este trabajo de grado se tiene en cuenta 2 geometrías de muros en voladizo: muro en voladizo con pendiente en la cara posterior ([Figura 8](#)) y muro sin pendiente. Para diferenciar estas geometrías, al muro sin pendiente se le ha nombrado muro sección T ([Figura 9](#)). Adicionalmente, este tipo de muros tienen un tallo delgado y están sometidos a mayores esfuerzos de tensión.

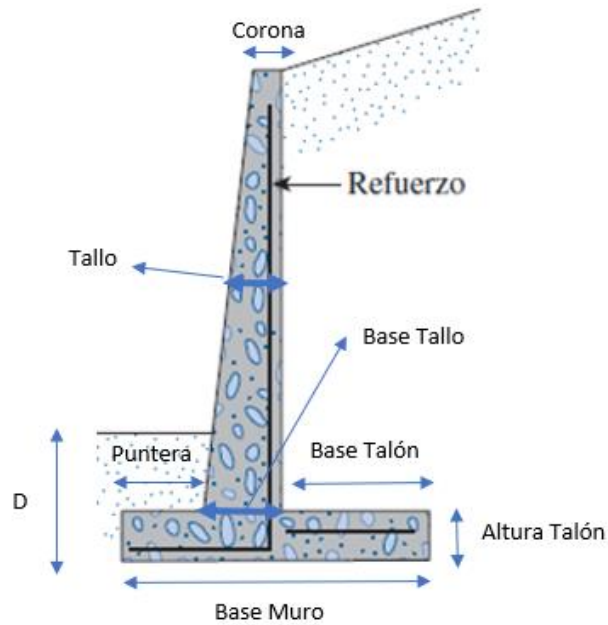


Fig. 7. Muro en Voladizo. (Braja Das, 7ma edición)

Dimensiones recomendadas para muro en voladizo ([Figura 8](#)).

- Valores de altura (H): menores de 8 m
- Base del muro: 0.5 a 0.7 H
- Corona: 0.3 m valor mínimo
- Base del Talón: 0.3 a 0.5 H
- Altura del Talón: 0.1 H
- Base del tallo y puntera: 0.1 H
- Profundidad D (Relleno Posterior): Valores menores de $\frac{1}{3}H$
- Si se supone además que el terreno natural en superficie tiene una inclinación tal que forma un ángulo α con la horizontal este valor no podrá superar el valor del ángulo de fricción interna del material

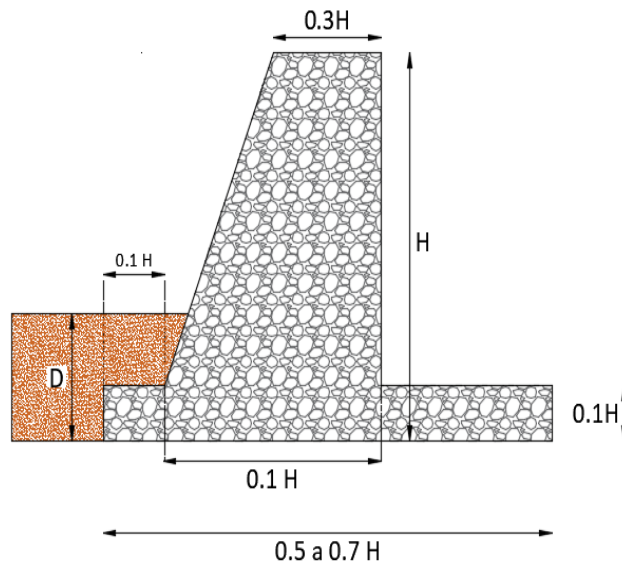


Fig. 8. Dimensiones recomendadas muro en Voladizo.

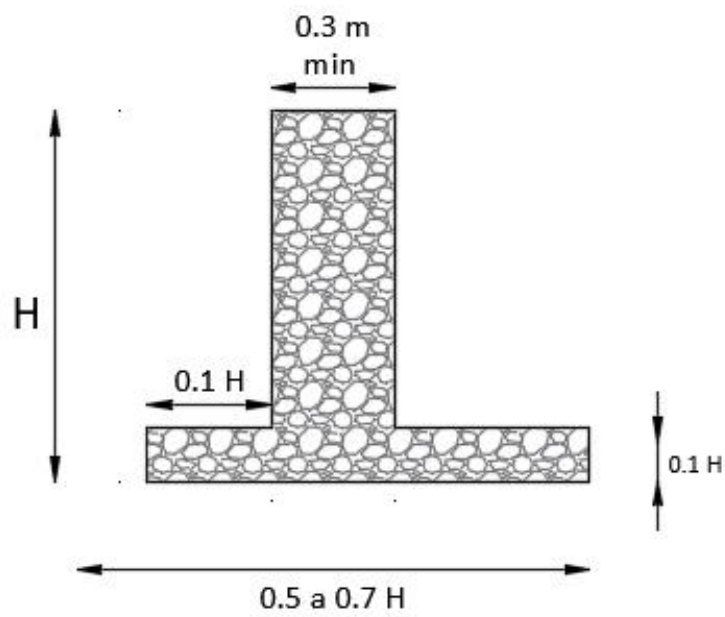


Fig. 9. Muro en voladizo sección T.

6.3 Muro tablestaca

Para el caso de esta aplicación solo se tendrán en cuenta tablestacas que penetran suelos arenosos. Los muros tablestacas se dividen en dos categorías básicas.

1. Tablestacas en voladizo

Los muros de tablestacas en voladizo suelen recomendarse para muros de altura moderada de aproximadamente 6 metros o menor, medida arriba de la línea de dragado. En esos muros, las tablestacas actúan como una viga ancha en voladizo arriba de la línea de dragado (Braja Das, 7ma edición).

2. Tablestacas ancladas

Cuando la altura del material de relleno detrás de un muro de tablestacas en voladizo excede aproximadamente 6 metros, resulta más económico anclar el muro cerca de su parte superior a placas de anclaje, muros de anclaje o pilotes de anclaje. A este tipo de construcción se le refiere como muro de tablestacas ancladas, o muro anclado. Los anclajes minimizan la profundidad de penetración requerida por las tablestacas y también reducen su área de la sección transversal y el peso de las tablestacas necesarias para la construcción del muro. Sin embargo, los tirantes y anclajes se deben diseñar cuidadosamente (Braja Das, 7ma edición).

Las tablestacas pueden estar hechas de diferentes materiales, en el caso de que las tablestacas sean fabricadas de acero, la Bethlehem Steel Corporation indica propiedades para diferentes secciones, ver **Tabla 6.1**.

Tabla 6.1. Esfuerzo de flexión permisible. (B. M. Das y León, 2012)

Tipo de acero	Esfuerzo permisible (MN/m ²)
ASTM A-328	170
ASTM A-572	210
ASTM A-690	210

7. Características del suelo.

Existen varios tipos de suelos con distintas características. A continuación, se recomiendan algunos valores típicos.

7.1 Ángulo de fricción interna ϕ

El valor del ángulo de fricción interna del suelo debe ser determinado a partir de ensayos de resistencia al corte de laboratorio tales como corte directo, compresión triaxial, o correlaciones con ensayos de campo. En la **Tabla 7.1** y **Tabla 7.2** se recomiendan algunos valores típicos para el ángulo de fricción interna del suelo.

Tabla 7.1. Ángulo de fricción para suelos no cohesivos. (Ocampo, 2014)

Tipo de suelo	Ángulo de fricción Φ (grados°)
Arena angular suelta	32 - 36
Arena angular compacta	35 - 45
Arena subangular suelta	30 - 34
Arena subangular compacta	34 - 40
Arena redondeada suelta	28 - 32
Arena redondeada compacta	32 - 38
Arena limosa suelta	25 - 35
Arena limosa compacta	30 - 36
Limo	25 - 35

Tabla 7.2. Ángulo de fricción para rocas. (Braja Das, 7ma edición)

Tipo de roca	Ángulo de fricción Φ (grados°)
Arenisca	27-45
Caliza	30-40
Esquisto	10-20
Granito	40-50
Mármol	25-30

7.2 Ángulo de fricción suelo-muro δ'

En la teoría de Coulomb, se considera el ángulo de fricción entre el suelo de relleno y el muro, este valor se denota con δ' . En el caso de la teoría de Rankine esta denotación se refiere al ángulo de la interacción del suelo de cimentación y la losa del muro. La tabla **Tabla 7.3** muestra algunos intervalos del ángulo de fricción del muro de mampostería o del muro de concreto. (Braja Das, 7ma edición).

Tabla 7.3. Intervalos de valores para ángulo delta (Braja Das, 7ma edición).

Material de relleno	Intervalo de δ' (grados°)
Grava	27-30
Arena gruesa	20-28
Arena fina	15-25
Arcilla firme	15-20
Arcilla limosa	12-16

7.3 Peso específico γ

En la **Tabla 7.4** y la **Tabla 7.5** se recomiendan algunos valores para la característica del peso específico.

Tabla 7.4. Ángulo de fricción para suelos no cohesivos. (Ocampo, 2014).

Tipo de suelo	Peso Específico [kN/m^3]
Arena angular suelta	17
Arena angular compacta	20
Arena limosa suelta	18
Arena limosa compacta	19
Limo	17 - 19
Limo arcilloso	16 - 18
Arcilla inorgánica	15 - 17
Arcilla orgánica	13 - 16

Tabla 7.5. Pesos específicos de algunos materiales.

Tipo de suelo	Peso específico (kN/m ³)	Peso específico (lb/ft ³)
Arcilla	19	122
Arcilla difícil de amasar, dura	21	135
Arcilla fácil de amasar, blanda	18	116
Marga arenosa, rígida	23	148
Arcilla arenosa, dureza media	18	116
Arcilla arenosa, blanda	17	109
Limo	18	116
Fango orgánico blando	14	90

7.4 Cohesión

La cohesión es la cualidad de unión entre las partículas de un suelo debido a su fuerza interna. El valor de su magnitud depende de su naturaleza y estructura. El valor de la cohesión se puede determinar a partir de pruebas de compresión triaxial sin drenaje o no confinada en laboratorio y ensayos de veleta de campo. En la **Tabla 7.6** se pueden observar algunos valores típicos de cohesión.

Tabla 7.6. Adhesión entre el suelo y la superficie del pilote o la superficie de algunos otros materiales de base. (Elaboración propia de acuerdo con manual Naval Facilities Engineering Command)

Material	Cohesión(psf)	Cohesión(kPa)
Suelo cohesivo muy blando	0 - 250	0 - 11,970
Suelo cohesivo suave	250 - 500	11,970 - 23.94
Suelo cohesivo medio rígido	500 - 750	23.94 - 35.91
Suelo cohesivo rígido	750 - 950	35.91 - 45.486
Suelo cohesivo muy rígido.	950 - 1,300	45.486 - 62.244

7.5 Aceleraciones sísmicas

No todos los muros necesitan ser analizados para cargas sísmicas. Las recomendaciones del Proyecto NCHRP 12-70 indican que la aceleración máxima del suelo ajustada al sitio $F_{PGA}PGA$, sí es inferior a 0,3 g y el relleno detrás de la pared es plana, no es necesario un análisis sísmico, a menos que la cimentación sea susceptible a la licuación. De manera similar, no es necesario ningún análisis si el PGA ajustado al sitio es menor a 0.2 g y la pendiente del relleno es más plano que 3H:1V o si el PGA ajustado al sitio es inferior a 0,1 g y la pendiente del relleno es más plana que 2H:1V y no se prevé licuación (*U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2011*). La **Tabla 7.7** resume las condiciones bajo las cuales no es necesario un análisis sísmico para las estructuras de retención de tierra independientes, a partir de lo mostrado en la NCHRP del 2008.

Tabla 7.7. Condiciones bajo las cuales no se requiere el análisis sísmico para un muro de contención de tierra autoportante. (NCHRP, 2008)

Slope Angle Above	$F_{PGA}PGA$
Flat	0,3 g
3H:1V	0,2 g
2H:1V	0,1g

En la NSR-10 se consideran 3 zonas de amenaza sísmica, amenaza baja para la cual se consideran valores de aceleraciones horizontales o verticales menores de 0.10 g, intermedia cuyos valores están entre 0.10 y 0.20 g, y alta para valores mayores a 0.20. El siguiente mapa (**Figura 10**) puede usarse de guía para saber que valores de aceleración se presenta según la zona en la que se encuentre, de igual manera con la **Tabla 7.8**, se pueden hallar los valores de aceleración para algunas ciudades.

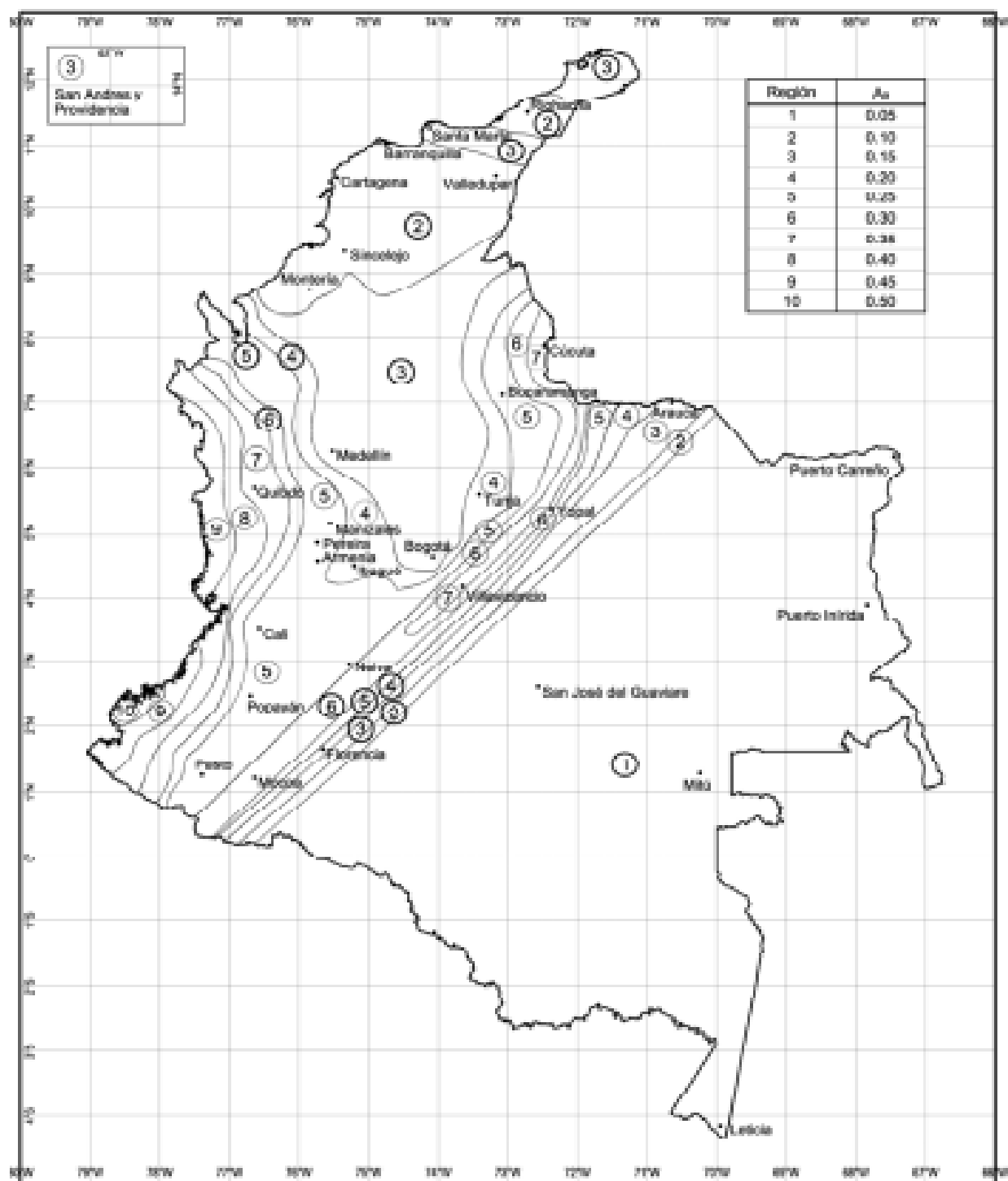


Fig.10. Mapa de Colombia zonificado por aceleraciones sísmicas. (NSR-10, 2010)

Tabla 7.8. Aceleraciones zonificado por coeficientes de aceleración (NSR-10, 2010)

Ciudad	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

7.6 Coeficiente de presión sísmica de la tierra

El coeficiente sísmico máximo (k_{max}) para el cálculo de la presión sísmica de la tierra se determina con base en la aceleración máxima ajustada de clase de sitio en la superficie del suelo $F_{PGA}PGA$.

$$k_{max} = F_{PGA} * PGA$$

Donde F_{PGA} , es el factor de sitio para PGA

Y PGA es la aceleración pico efectiva o A_a en NSR-10.

Para hallar el coeficiente de amplificación se necesita saber el suelo tipo, para esto se puede usar la descripción de la Tabla A.2.4-1 de la NSR10. Una vez sea conocido el tipo de suelo y la aceleración pico se puede utilizar la [Figura 11](#) para hallar el coeficiente o factor de amplificación F_a .

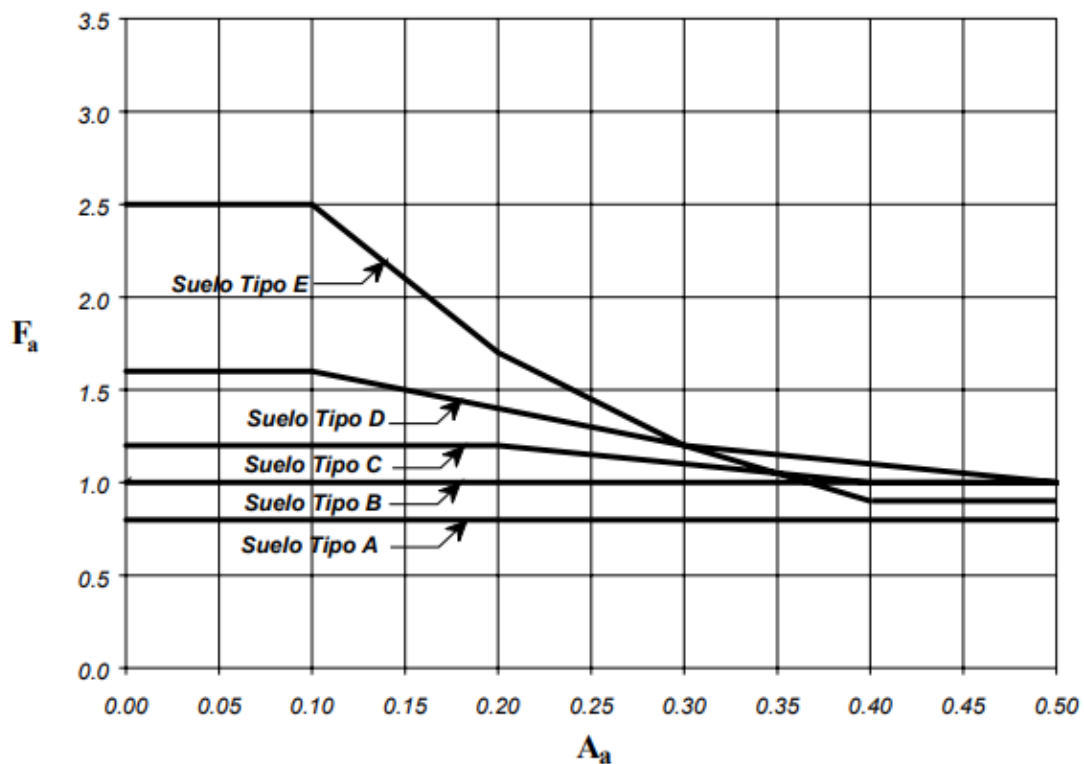


Fig. 11. Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.
(NSR-10, 2010)

7.7 Coeficiente de aceleración sísmica horizontal y vertical

Para el coeficiente de aceleración sísmica horizontal puede usar.

$$k_h = k_{max}$$

$$k_h = a_s, \text{ donde } a_s \text{ es la aceleración máxima del terreno}$$

En la ingeniería práctica se ha estimado el valor del coeficiente sísmico como una fracción constante de la aceleración máxima del terreno para los eventos de diseño y usualmente se aplican valores entre 0,33 y 0,67 dependiendo de la zona sísmica. (Martínez et al., 2011). Los autores también mencionan que en la práctica chilena el coeficiente sísmico horizontal k_h puede ser calculado por dos métodos.

1. Expresión de Saragoni (1993)

- $k_h = \left(0,3 * \frac{a_{max}}{g}\right); a_{max} < 0,67$
- $k_h = \left(0,2 * \frac{a_{max}}{g}\right)^{0,2}; a_{max} > 0,67$

Donde a_{max} es la aceleración pico efectiva.

2. Manual Chileno de Carreteras (2002)

- $k_h = 0.5 * A'_o$

Donde A'_o representa el coeficiente máximo efectivo de aceleración, el cual depende de la zona, ver **Tabla 7.9.**

Tabla 7.9. Coeficiente máximo efectivo de aceleración. (Martínez et al., 2011)

Zona Sísmica	A'_o
1	0,2
2	0,3
3	0,4

8. Datos de entrada

8.1 Sistema de unidades

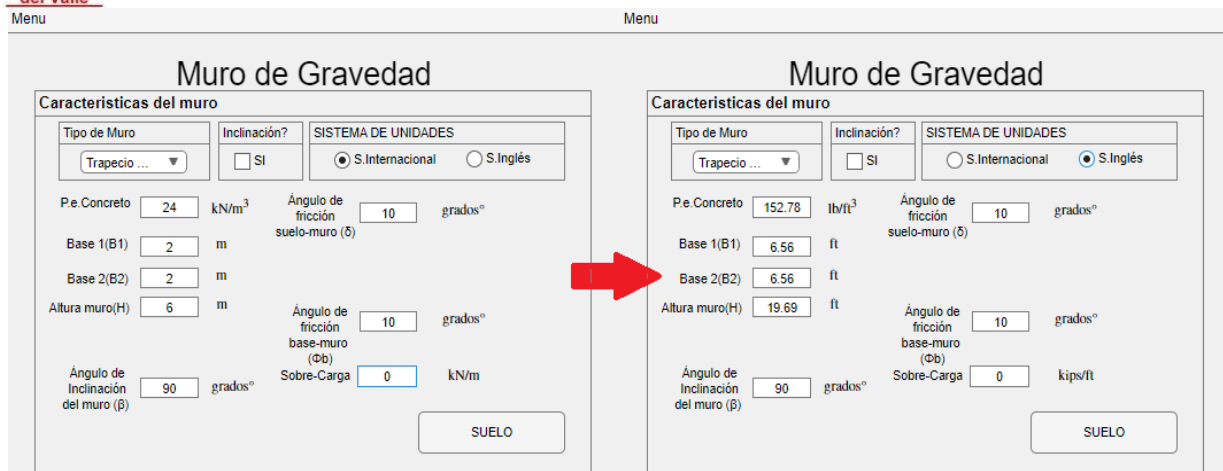
El panel “Sistema de unidades” tiene dos interruptores para seleccionar el tipo de unidades que se desea utilizar. Se puede seleccionar el Sistema Internacional de Unidades y el Sistema Inglés, como se muestra en la [Figura 12](#).



The image shows a software interface for calculating gravity wall stability. The main title is "Muro de Gravedad". Below it, there's a section titled "DATOS DEL MURO". This section contains several input fields and a unit system selector. The "SISTEMA DE UNIDADES" section is highlighted with a red box, showing two radio buttons: "S. Internacional" (selected) and "S. Inglés". Other fields include "Tipo de Muro" (a dropdown menu), "Inclinación?" (a checkbox), "P.e. Concreto" (a text input field), and "Sobre-Carga" (a text input field). There are also units specified: "kN/m3" for concrete weight and "kN/m" for surcharge. A button labeled "Estratigrafia" is located below the surcharge field. At the bottom, there's a section titled "Analisis de Estabilidad" which includes a "Calcular" button and a list of revision types: "Revision por Deslizamiento", "Revision por Volcamiento (+Resistente)", and "Revision por Volcamiento (-Actuante)".

Fig.12. Panel de unidades.

Si el usuario ingresa valores en las casillas ya habiendo definido qué unidades desea usar y después oprime el interruptor del sistema de unidades de nuevo, el programa convertirá el valor que está dentro de la casilla al valor correspondiente en el otro sistema de unidades, ver [Figura 13](#).



Muro de Gravedad

Características del muro

Tipo de Muro: Trapecio ...

Inclinación? ☐ SI

SISTEMA DE UNIDADES: ☒ S. Internacional ☐ S. Inglés

P.e. Concreto: 24 kN/m³

Ángulo de fricción suelo-muro (δ): 10 grados°

Base 1(B1): 2 m

Base 2(B2): 2 m

Altura muro(H): 6 m

Ángulo de fricción base-muro (ϕ_b): 10 grados°

Ángulo de inclinación del muro (β): 90 grados°

Sobre-Carga: 0 kN/m

SUELO

Muro de Gravedad

Características del muro

Tipo de Muro: Trapecio ...

Inclinación? ☐ SI

SISTEMA DE UNIDADES: ☐ S. Internacional ☒ S. Inglés

P.e. Concreto: 152.78 lb/ft³

Ángulo de fricción suelo-muro (δ): 10 grados°

Base 1(B1): 6.56 ft

Base 2(B2): 6.56 ft

Altura muro(H): 19.69 ft

Ángulo de fricción base-muro (ϕ_b): 10 grados°

Ángulo de inclinación del muro (β): 90 grados°

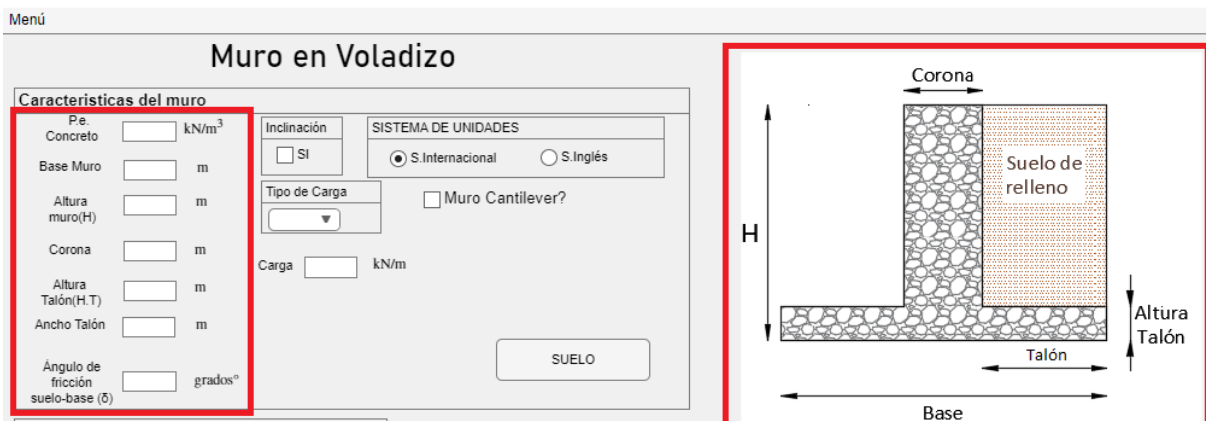
Sobre-Carga: 0 kips/ft

SUELO

Fig.13. Panel de unidades en Sistema inglés.

8.2 Datos del muro

Una vez seleccionado el tipo de muro, se muestra la interfaz donde se podrán ingresar los valores de las características del muro de retención. Para facilitar la comprensión de los datos a ingresar, se tiene una imagen que muestra las características del muro, como se observa en la [Figura 14](#).



Muro en Voladizo

Características del muro

P.e. Concreto: kN/m³

Base Muro: m

Altura muro(H): m

Corona: m

Altura Talón(H.T): m

Ancho Talón: m

Ángulo de fricción suelo-base (δ): grados°

Inclinación: ☐ SI

SISTEMA DE UNIDADES: ☒ S. Internacional ☐ S. Inglés

Tipo de Carga: ☐ Muro Cantilever?

Carga: kN/m

SUELO

Diagrama de la sección T del muro en voladizo:

Corona

H

Talón

Base

Altura Talón

Suelo de relleno

Fig.14. Datos del muro de retención sección T.

8.3 Datos del suelo de relleno

Para ingresar los valores del suelo se cuenta con otra interfaz de usuario, la cual se abrirá al oprimir el botón Suelo. Este botón se encuentra en el panel de las características del muro, ver [Figura 15](#) y [Figura 16](#)

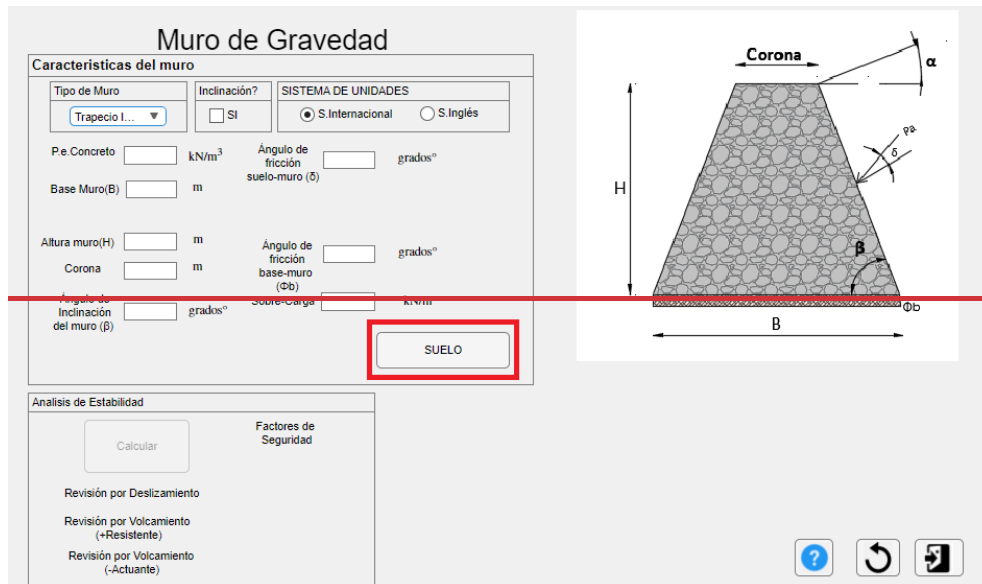


Fig.15. Botón en la interfaz para ingresar los datos del suelo de relleno.

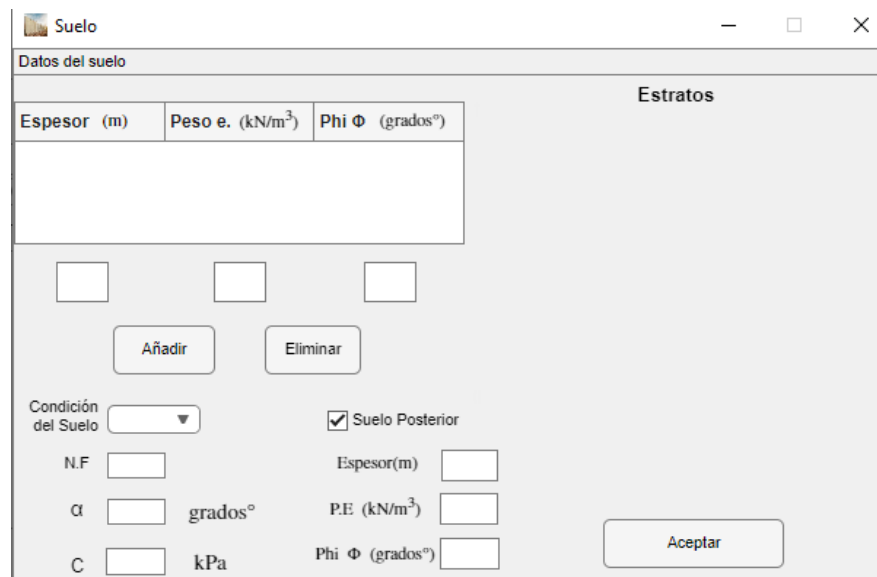
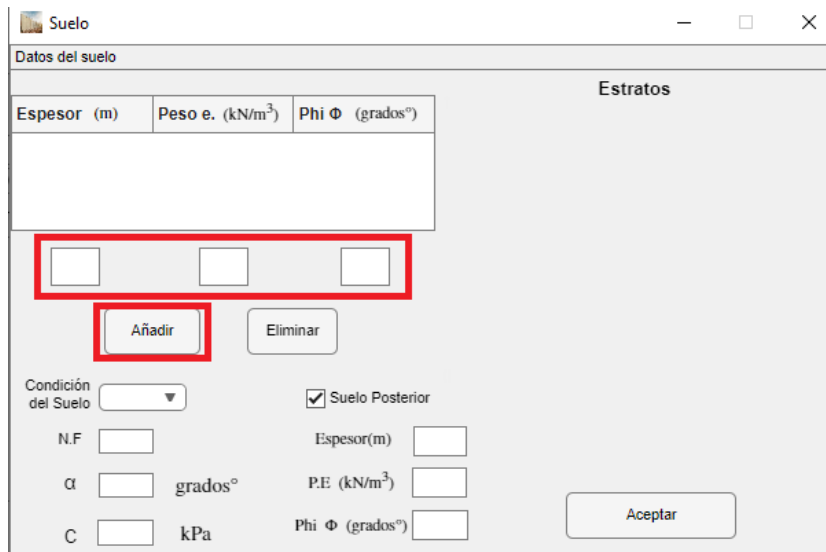


Fig.16. Interfaz para los datos de suelo.

Para todos los casos, excepto para el muro Cantilever analizado estáticamente, solo se podrá ingresar un estrato de suelo. Este estrato cuenta con 3 características principales: altura de estrato, peso específico y ángulo de fricción interna. Los valores se ingresan haciendo uso del

botón “añadir” que se muestran en la [Figura 17](#). Finalmente, el usuario podrá completar la información del suelo llenando las demás propiedades ([Ver Figura 18](#)), entre las cuales se encuentran:

- La condición del suelo, que se refiere a el tipo de presión a la que está sometida el suelo, esta se describe por los coeficientes de presión
- El estrato donde se ubica el nivel freático, donde se elige un valor entre la cantidad de estratos ingresada para hacer referencia en que capa de suelo se encuentra el nivel freático
- La inclinación (α) del terreno, este valor hace referencia al ángulo que presenta la pendiente del suelo respecto a la horizontal de la parte superior del muro
- La cohesión (C) del suelo en la base del muro
- Los datos de espesor, peso específico y ángulo de fricción interna (ϕ) del suelo posterior el cual hace referencia a la capa de suelo que se coloca en la parte contraria al muro donde está ubicado el suelo de relleno a contener, esto se observa mejor en la [Figura 17](#).



The screenshot shows a software window titled 'Suelo'. Inside, there's a section 'Datos del suelo' with a table for 'Estratos'. The table has columns for 'Espesor (m)', 'Peso e. (kN/m³)', and 'Phi Φ (grados°)'. Below the table, there are three empty input boxes for these values, a red box around the 'Añadir' button, and an 'Eliminar' button. Further down, there are input fields for 'Condición del Suelo' (a dropdown), 'N.F.', 'α' (in degrees), 'C' (in kPa), 'Espesor(m)', 'P.E. (kN/m³)', and 'Phi Φ (grados°)'. There's also a checkbox for 'Suelo Posterior' which is checked, and an 'Aceptar' button at the bottom right.

Fig.17. Datos del suelo de relleno.

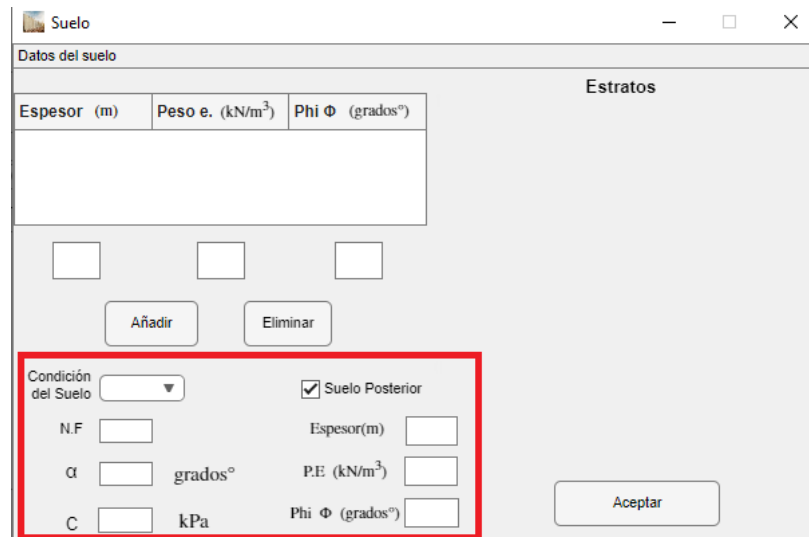


Fig.18. Datos del suelo de relleno.

Después de ingresar estos valores, el usuario deberá oprimir el botón “Aceptar” iniciando la revisión de los datos. La interfaz graficará automáticamente el estrato de suelo con sus características, y aparecerá un mensaje emergente confirmando que los datos han sido ingresados correctamente, ver [Figura 19](#).

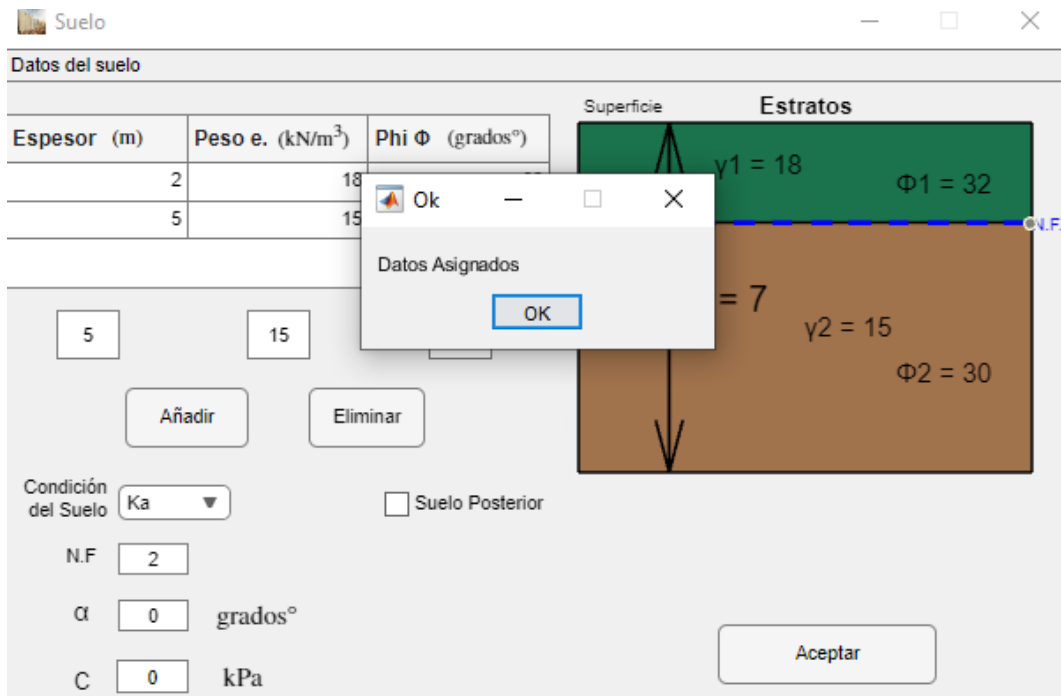
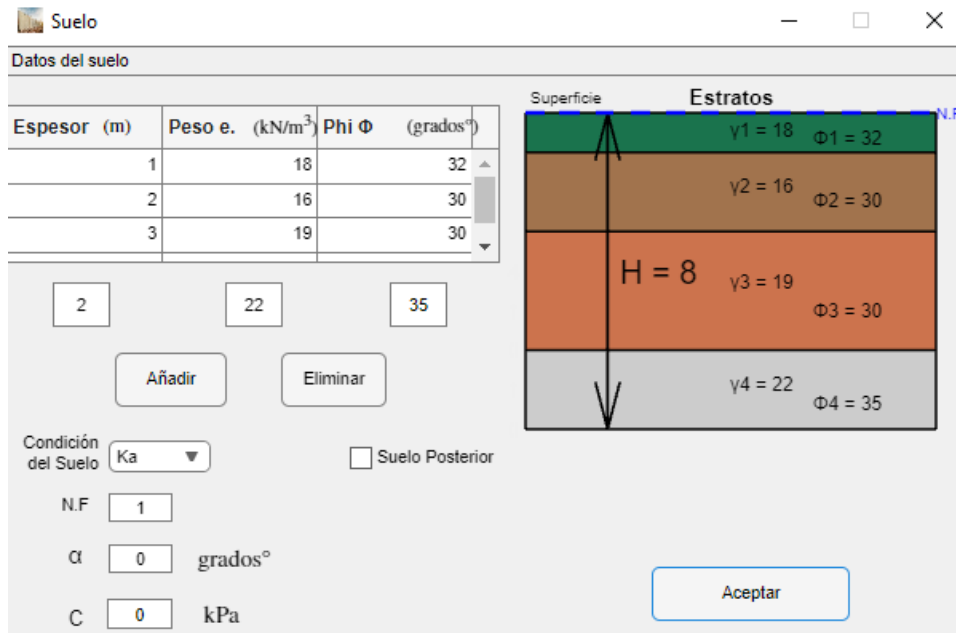


Fig.19. Datos del suelo de relleno asignados correctamente.

Para el caso del muro de retención Cantilever analizado estáticamente, se podrán ingresar hasta 4 estratos de suelo, los cuales pueden ser adicionados con el botón “Añadir”. En caso de que se cometa algún error en el ingreso de los datos de la tabla se cuenta con el botón “Eliminar” el cual borrará los datos de la tabla para ingresar nuevos valores, ver [Figura 20](#).



The screenshot shows a software window titled 'Suelo' with a 'Datos del suelo' section. It contains a table for soil layers, input fields for soil properties, and a visual diagram of the soil stratification.

Espesor (m)	Peso e. (kN/m ³)	Phi Φ (grados°)
1	18	32
2	16	30
3	19	30

Below the table are input fields for:

- 2 (Espesor)
- 22 (Peso e.)
- 35 (Phi Φ)

 Buttons: 'Añadir', 'Eliminar'.

Other parameters:

- Condición del Suelo: Ka
- ☐ Suelo Posterior
- N.F: 1
- α: 0 grados°
- C: 0 kPa

 Button: 'Aceptar'

The diagram on the right shows a vertical cross-section of the soil with four layers:

- Superficie (Top)
- Estratos (Layers):
 - γ1 = 18, Φ1 = 32
 - γ2 = 16, Φ2 = 30
 - H = 8, γ3 = 19, Φ3 = 30
 - γ4 = 22, Φ4 = 35
- N.F. (Bottom)

Fig.20. Cuatro estratos del suelo de relleno.

8.4 Datos del Sismo

Para el caso pseudo-estático se cuenta con la posibilidad de seleccionar 3 teorías de análisis. Las teorías que se tienen en cuenta son:

- Monobe-Okabe.
- Análisis simplificado por INPRES-CIRSOC 103.
- Richard y Elms, desplazamientos controlados.

Cada teoría se puede seleccionar con un clic encima del interruptor. La interfaz tiene por defecto la teoría de Monobe-Okabe, al elegirse alguna de las otras teorías, el interruptor rellenará con el marcador negro como se muestra en la [Figura 21](#). Los datos para incluir en la

interfaz pseudo-estática son los mismos que en el análisis estático, los valores adicionales a tener en cuenta son los coeficientes de presión sísmica k_h y k_v .

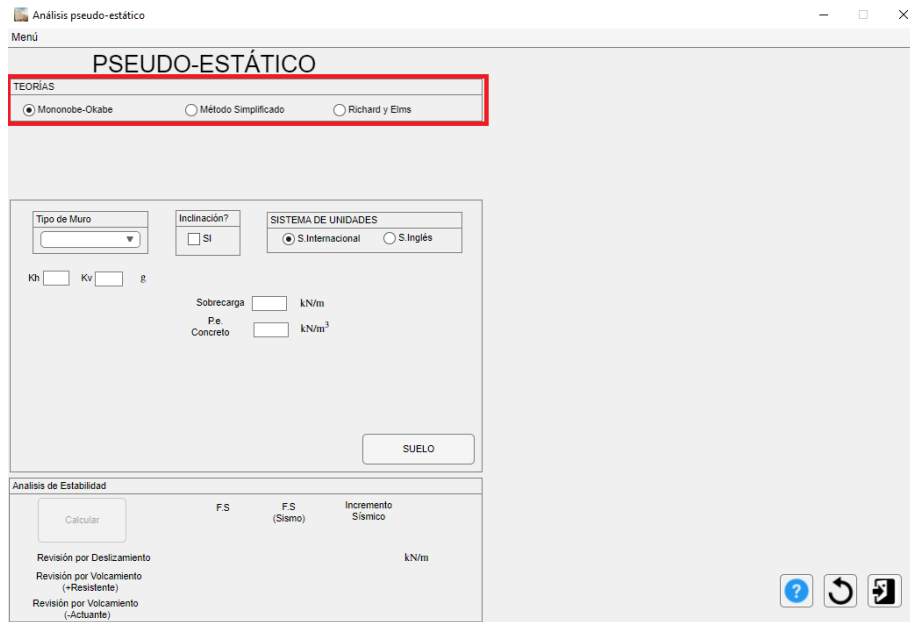
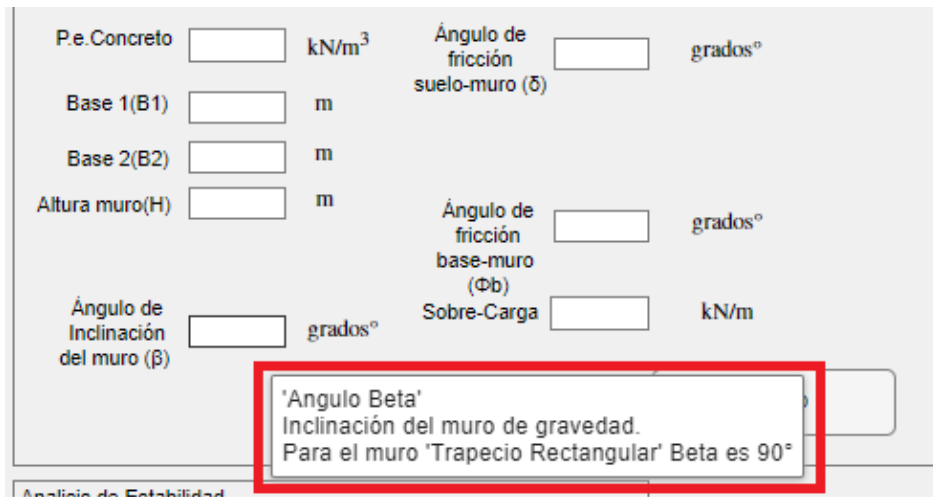


Fig.21. Panel teorías de análisis.

9. Ayudas del programa

Para asegurar que el usuario ingrese los valores correctamente y no haya errores en los cálculos, se han adicionado algunas ayudas dentro del programa. En la mayoría de las casillas o botones donde se ingresan o se seleccionan datos, se han adicionado recomendaciones para que el usuario tenga claro qué datos debe ingresar. Estas recomendaciones aparecen cuando el usuario coloca el cursor encima de dicha casilla o botón, ver [Figura 22](#).

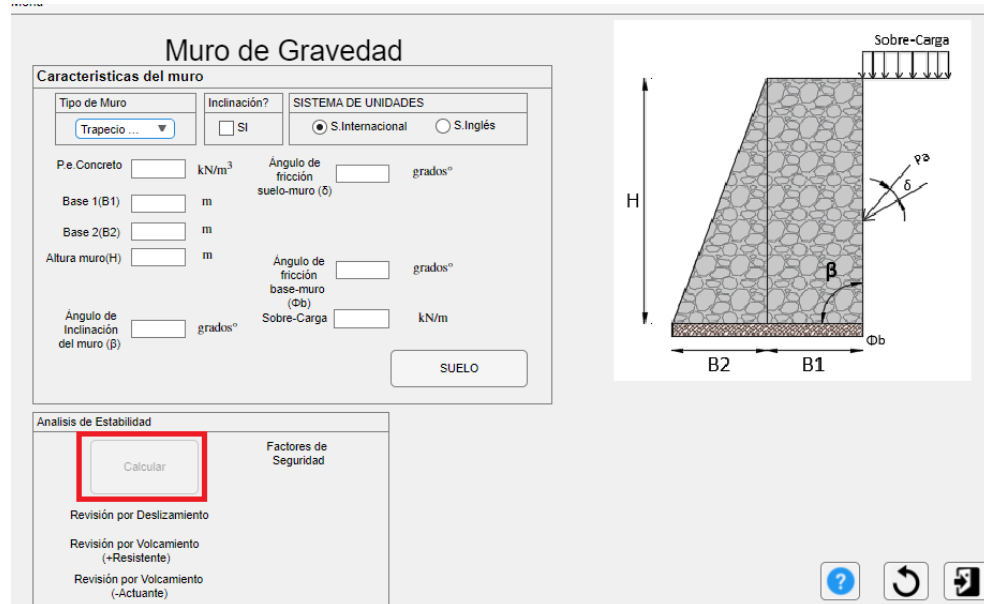


P.e.Concreto kN/m³ Ángulo de fricción suelo-muro (δ) grados°
 Base 1(B1) m
 Base 2(B2) m
 Altura muro(H) m Ángulo de fricción base-muro (Φ_b) grados°
 Ángulo de Inclínación del muro (β) grados° Sobre-Carga kN/m

'Angulo Beta'
 Inclínación del muro de gravedad.
 Para el muro 'Trapezio Rectangular' Beta es 90°

Fig.22. Recomendaciones del programa.

Otra ayuda es que inicialmente se bloquea el botón de calcular para evitar cálculos previos, este botón se desbloquea cuando el usuario oprime el botón “Suelo”, ver [Figura 23](#).



Muro de Gravedad
 Características del muro
 Tipo de Muro: Trapecio ...
 Inclínación? ☐ SI
 SISTEMA DE UNIDADES: ☒ S. Internacional ☐ S. Inglés
 P.e.Concreto kN/m³ Ángulo de fricción suelo-muro (δ) grados°
 Base 1(B1) m
 Base 2(B2) m
 Altura muro(H) m Ángulo de fricción base-muro (Φ_b) grados°
 Ángulo de Inclínación del muro (β) grados° Sobre-Carga kN/m

SUELO

Analisis de Estabilidad
 Calcular
 Factores de Seguridad
 Revisión por Deslizamiento
 Revisión por Volcamiento (+Resistente)
 Revisión por Volcamiento (-Actuante)

Diagrama de Muro de Gravedad: Muestra un muro con altura H, bases B1 y B2, ángulo de inclinación β , ángulo de fricción base-muro Φ_b , y ángulo de fricción suelo-muro δ . Se indica la presencia de una Sobre-Carga.

Fig.23. Botón calcular bloqueado.

En el caso de que el usuario cometa un error al ingresar alguno de los datos, por ejemplo, que ingrese una letra en vez de un número, o un número menor que cero, el programa mostrará un mensaje emergente aclarando que el valor de esa casilla no corresponde con un valor numérico o que no se encuentra dentro del rango de valores adecuados, ver [Figura 24](#).

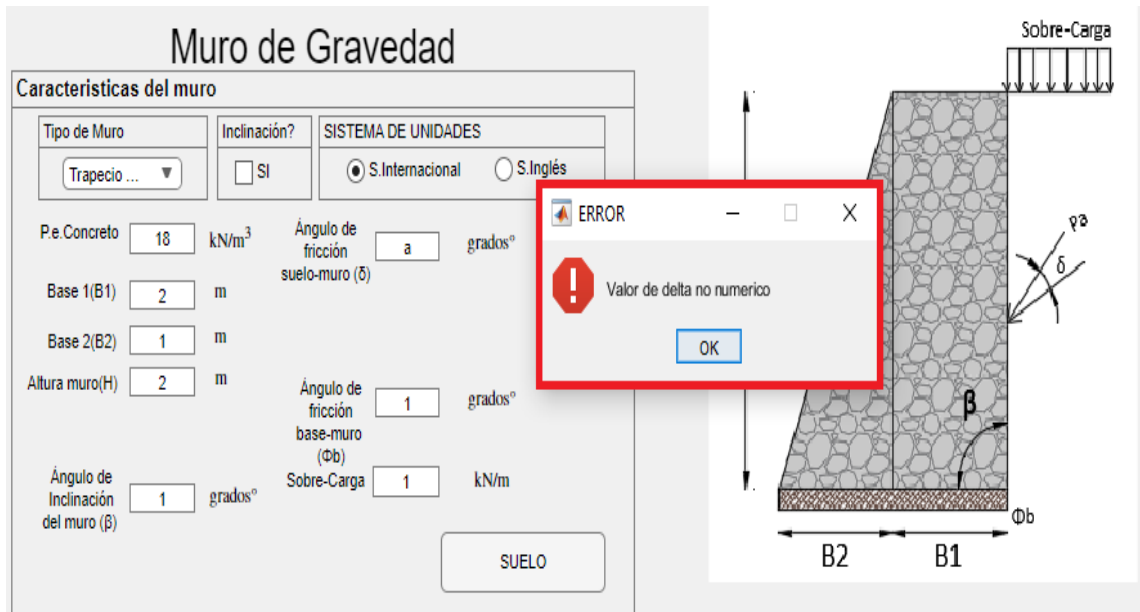


Fig.24. Error al ingresar datos.

10. Datos de salida

Una vez se han ingresado todos los datos, el usuario deberá oprimir el botón calcular, el cual mostrará una ventana emergente al usuario preguntando si desea generar un reporte de las fórmulas y cálculos realizados para obtener los factores de seguridad, ver [Figura 25](#). Si el usuario no desea realizar un reporte podrá oprimir el botón “no” o el botón “cancelar” que cerrará la ventana emergente y presentará finalmente los resultados en los textos de factor de seguridad ubicados en la interfaz, ver [Figura 26](#).

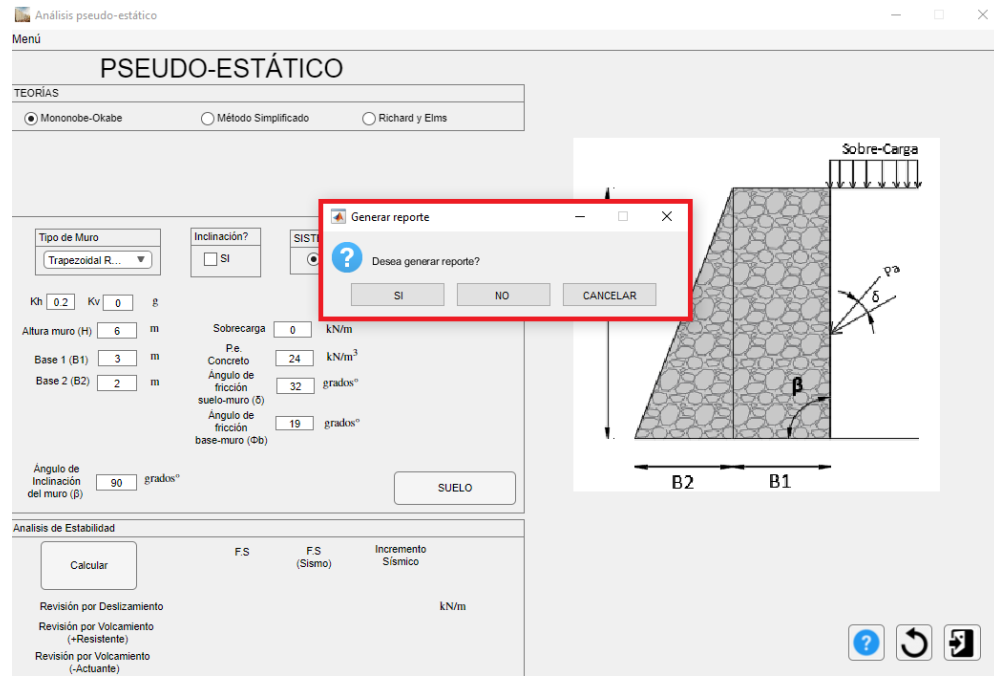


Fig.25. Ventana para generar un reporte.

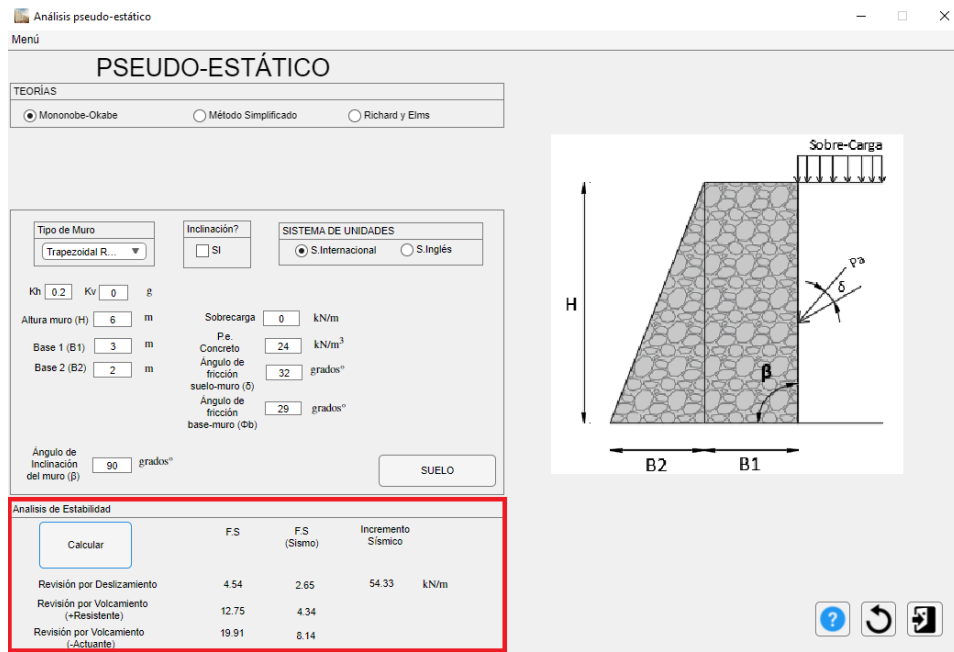


Fig.26. Datos de salida.

11. Factores de seguridad indirectos

En Ingeniería Civil, en general el Factor de Seguridad FS se define como la relación entre fuerzas resistentes FR y actuantes FA y se usa para evaluar el Estado Límite de Falla. (NSR-10,2010)

$$FS = \frac{F_R}{F_A}$$

La NSR-10 afirma que se deben cumplir con unos factores de seguridad mínimos, como se muestra en la **Tabla 11.1**.

Tabla 11.1. Factores de seguridad indirectos mínimos. (NSR-10,2010)

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Pseudo-estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante	≥ 3.00	≥ 3.00	Diseño	≥ 2.00
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	$\leq 1/6$	$\leq 1/6$	Diseño	$\leq 1/4$
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos reforzados o no	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	1.20	1.50	Diseño	1.05
Estabilidad general del sistema: Permanente o de Larga duración (<6 meses) Temporal o de Corta duración (>6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00
Laderas adyacentes (Zona de Influencia >2 SH)	1.20	1.50	Diseño	1.05

12.Ejemplos para casos estáticos.

12.1 Ejemplo Muro de gravedad

Suelo Saturado:

El primer ejemplo incluye un muro con sección trapezoidal rectangular, el cual será analizado estáticamente. Las propiedades del suelo y del muro se observan a continuación.

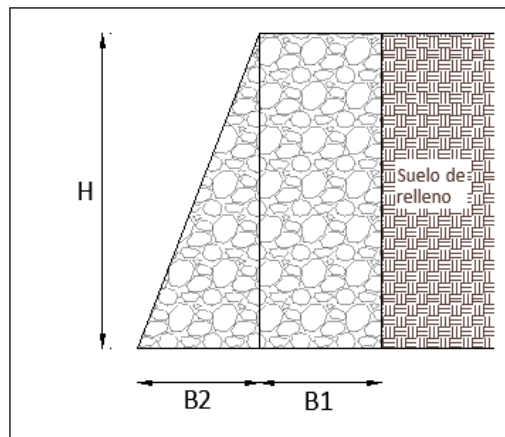


Fig.27. Muro de gravedad sección trapezoidal rectangular.

Tabla 12.1. Datos Muro a gravedad (Sección trapezoidal rectangular)

Altura del muro(H)	6 m
Base 1 del muro	2 m
Base 2 del muro	2 m
Peso específico (<i>concreto</i>)	24 kN/m ³
Ángulo de inclinación del muro(β)	90°

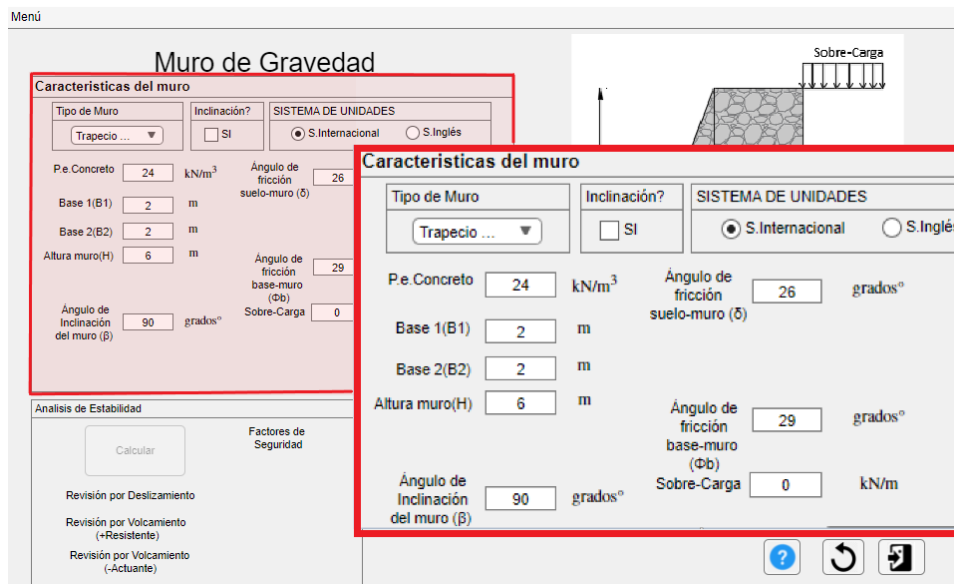
Tabla 12.2 Datos Suelo Relleno (Nivel freático Saturado)

SUELO DE RELLENO (Nivel freático Saturado)	
Peso específico ($\gamma_{saturado}$)	20,81 kN/m ³
Ángulo de fricción (ϕ_1)	32°
Ángulo de fricción base (ϕ_2)	29°
Inclinación del relleno (α)	0°
Adhesión	0 kPa
Sobre-carga	0 kN/m

Tabla 12.3. Datos Suelo de cimentación

Ángulo de fricción entre el suelo y el muro (δ)	26°
Peso específico ($\gamma_{saturado}$)	20,81 kN/m ³
Cohesión suelo-base	0 kPa

Se ingresan los datos del muro ([figura 28](#)) , los datos del suelo, se ingresan en su respectiva interfaz para esto se oprime el botón de suelo, ver [figura 29](#).



Menú

Muro de Gravedad

Características del muro

Tipo de Muro: Trapecio ...

Inclinación? ☐ SI ☒ S. Internacional ☐ S. Inglés

P.e. Concreto: 24 kN/m³

Base 1(B1): 2 m

Base 2(B2): 2 m

Altura muro(H): 6 m

Ángulo de inclinación del muro (β): 90 grados°

Ángulo de fricción suelo-muro (δ): 26

Ángulo de fricción base-muro (Φb): 29

Sobre-Carga: 0

Características del muro

Tipo de Muro: Trapecio ...

Inclinación? ☐ SI ☒ S. Internacional ☐ S. Inglés

P.e. Concreto: 24 kN/m³

Base 1(B1): 2 m

Base 2(B2): 2 m

Altura muro(H): 6 m

Ángulo de inclinación del muro (β): 90 grados°

Ángulo de fricción suelo-muro (δ): 26 grados°

Ángulo de fricción base-muro (Φb): 29 grados°

Sobre-Carga: 0 kN/m

Analisis de Estabilidad

Calcular

Factores de Seguridad

Revisión por Deslizamiento

Revisión por Volcamiento (+Resistente)

Revisión por Volcamiento (-Actuante)

Fig.28. Datos del muro de gravedad con sección trapezoidal rectangular en la interfaz.

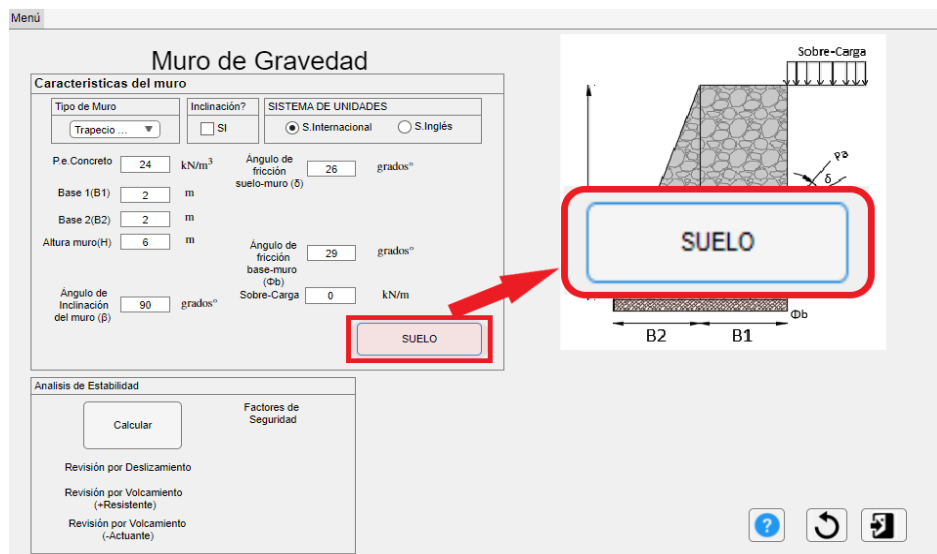


Fig.29. Botón Suelo en la interfaz de muro de gravedad.

Al oprimir el botón “Suelo”, se abre una ventana donde se ingresan los datos del suelo, ver [Figura 30](#). Una vez ingresados los datos del suelo, se oprime el botón “Aceptar” para guardar y exportar los datos del suelo. Para confirmar que los datos del suelo han sido guardados correctamente aparecerá una ventana emergente la cual confirmará que los datos han sido asignados, ver [Figura 31](#).

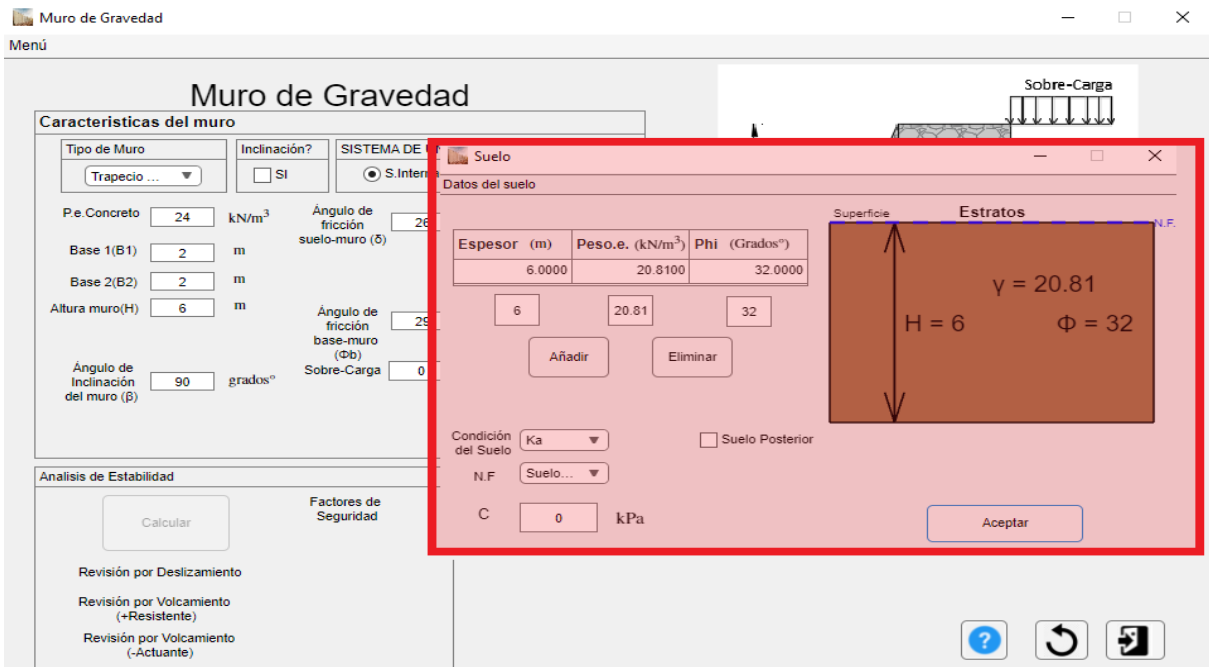


Fig.30. Asignación datos del suelo.

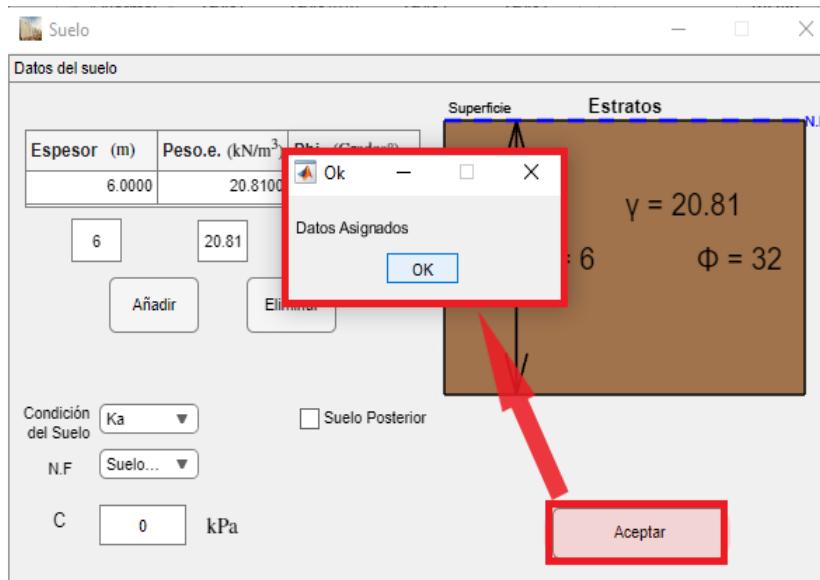


Fig.31. Datos asignados correctamente.

Una vez se han ingresado los datos del suelo se oprime el botón calcular mostrado en la [Figura 32](#) para obtener los valores de factores de seguridad.

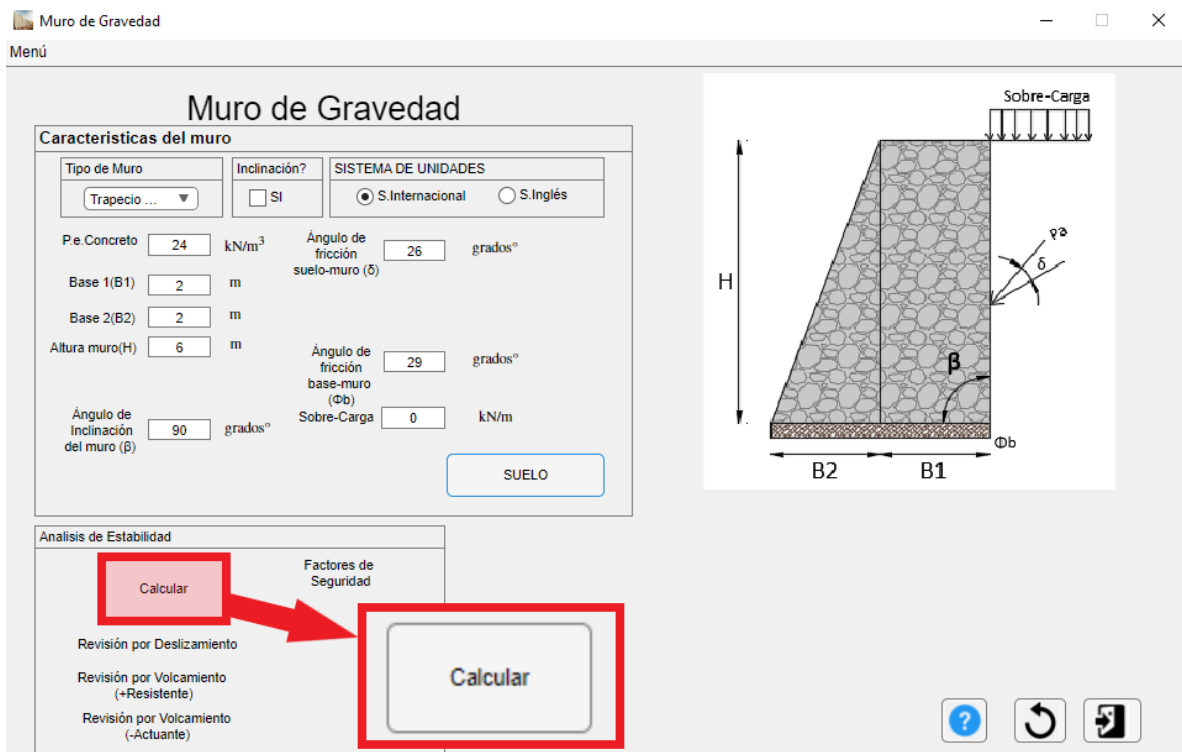


Fig.32. Datos asignados correctamente.

A continuación, se muestran los cálculos resumidos que la aplicación realiza internamente para obtener los valores de los factores de seguridad.

Al realizar ejercicios de muros de retención usualmente se comienza hallando las fuerzas resistentes. Para hallar las fuerzas resistentes se utilizan las propiedades del muro. Inicialmente se necesita el volumen del muro, para hallar más fácilmente este valor se separa el muro en dos secciones como se muestra en la [Figura 33](#).

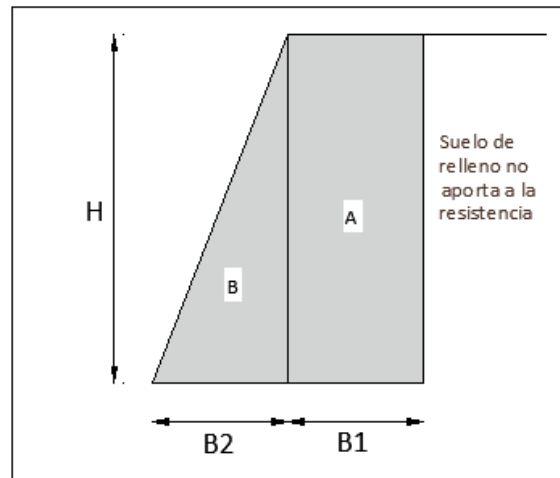


Fig.33. Partes del muro de gravedad con sección trapezoidal rectangular.

Una vez obtenido el volumen del muro para un metro lineal, se obtienen las demás propiedades, como el peso, el brazo y el momento de cada sección, estos valores se ven en la siguiente tabla.

Tabla 12.4 Cálculos para la parte resistente del muro

Sección	Volumen (m^3)	Peso/longitud unitaria (kN/m)	Brazo (m)	Momento ($\frac{kN \cdot m}{m}$)
A	12	288	3	864
B	6	144	1,333	192
TOTAL		432		1056

Para hallar las fuerzas actuantes, inicialmente se halla el valor del coeficiente de empuje activo del suelo, para esto se utiliza la teoría de Coulomb.

Condición	32°
Ka	0,275

Posteriormente se hallan las fuerzas, brazos y momentos.

	$Fuerzas \left(\frac{kN}{m} \right)$	$Momento \left(\frac{kN \cdot m}{m} \right)$
1	54,45	
agua	176,58	353,16

	$Fuerzas \left(\frac{kN}{m} \right)$	$Fuerzas \left(\frac{kN}{m} \right)$	Brazos(m)	$Momento \left(\frac{kN \cdot m}{m} \right)$
$Pav(\text{resistente})$	$54,45 * \sin 26$	23,869	4	95,476
$Pah(\text{actuante})$	$54,45 * \cos 26$	48,939	$\frac{6}{3}$	97,878

Finalmente, se hallan los factores de seguridad.

$$F.S_{Des} = \frac{(432 + 23,869) * \tan 29}{48,939 + 176,58}$$

$$F.S_{Des} = 1,12$$

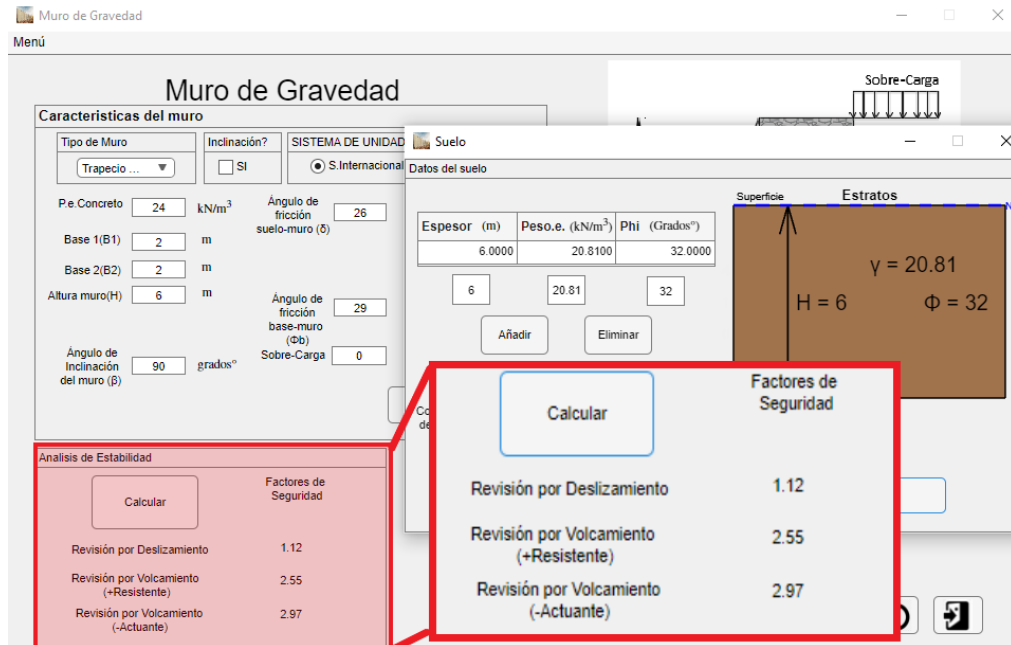
$$\text{Caso1. } F.S_{Volc} = \frac{1056 + 95,476}{97,878 + 353,16}$$

$$\text{Caso1. } F.S_{Volc} = 2,55$$

$$\text{Caso2. } F.S_{Volc} = \frac{1056}{97,878 + 353,16 - 95,476}$$

$$\text{Caso2. } F.S_{Volc} = 2,97$$

En la [Figura 34](#) se muestran los factores de seguridad obtenido por la aplicación.



The screenshot shows the 'Muro de Gravedad' software interface. The 'Características del muro' section includes input fields for 'Tipo de Muro' (Trapezio), 'Inclinación?' (SI), 'SISTEMA DE UNIDAD' (S. Internacional), 'P.e. Concreto' (24 kN/m³), 'Ángulo de fricción suelo-muro (δ)' (26), 'Base 1 (B1)' (2 m), 'Base 2 (B2)' (2 m), 'Altura muro (H)' (6 m), 'Ángulo de fricción base-muro (ϕ_b)' (29), 'Ángulo de inclinación del muro (β)' (90), and 'Sobre-Carga' (0). The 'Datos del suelo' section includes 'Espesor (m)' (6.0000), 'Peso.e. (γ)' (20.8100), and 'Phi (Grados)' (32.0000). The 'Factores de Seguridad' section shows the following results:

Revisión	Factores de Seguridad
Revisión por Deslizamiento	1.12
Revisión por Volcamiento (+Resistente)	2.55
Revisión por Volcamiento (-Actuante)	2.97

Fig.34. Factores de seguridad obtenidos por la aplicación.

12.2 Ejemplo Muro de gravedad en condición drenada

El siguiente ejemplo es para el mismo muro con las mismas dimensiones y características del suelo, pero considerando que el suelo está drenado o seco.

Tabla 12.5. Datos del suelo en condición drenada

SUELO DE RELLENO (Sin Nivel freático)	
Peso específico (γ_{seco})	20,81 kN/m ³
Ángulo de fricción (ϕ_1)	32°
Ángulo de fricción base (ϕ_2)	29°
Inclinación del relleno (α)	0°
Cohesión	0 Kpa
Sobre-carga	0 kN/m

Tabla 12.6. Datos suelo de cimentación en condición drenada

SUELO DE CIMENTACIÓN	
Ángulo de fricción entre el suelo y el muro (δ)	26°
Peso específico (γ_{seco})	20,81 kN/m ³
Adhesión	0 Kpa

Una vez ya se reconocen los datos del ejercicio, de igual manera que en el ejemplo anterior, se ingresan los datos a la aplicación. A continuación, se muestran los cálculos internos que la aplicación realiza.

Factores Actuantes

Condición	32°
Ka	0,275

Sección	Fuerzas $\left(\frac{kN}{m}\right)$	Momento $\left(\frac{kN \cdot m}{m}\right)$
1	103,01	

	Fuerzas $\left(\frac{kN}{m}\right)$	Fuerzas $\left(\frac{kN}{m}\right)$	Brazos(m)	Momento $\left(\frac{kN \cdot m}{m}\right)$
Pav (resistente)	$103,01 * \sin 26$	45,156	4	180,624
Pah (actuante)	$103,01 * \cos 26$	92,58	$\frac{6}{3}$	185,16

$$F.S_{Des} = \frac{(432 + 23,869) * \tan 29}{48,939 + 176,58}$$

$$F.S_{Des} = 1,12$$

$$Caso1. F.S_{Volc} = \frac{1056 + 180,624}{185,16}$$

$$Caso1. F.S_{Volc} = 6,68$$

$$Caso2. F.S_{Volc} = \frac{1056}{185,16 - 180,624}$$

$$Caso2. F.S_{Volc} = 232,8$$

En la [Figura 35](#) se muestran los factores de seguridad obtenidos por la aplicación.

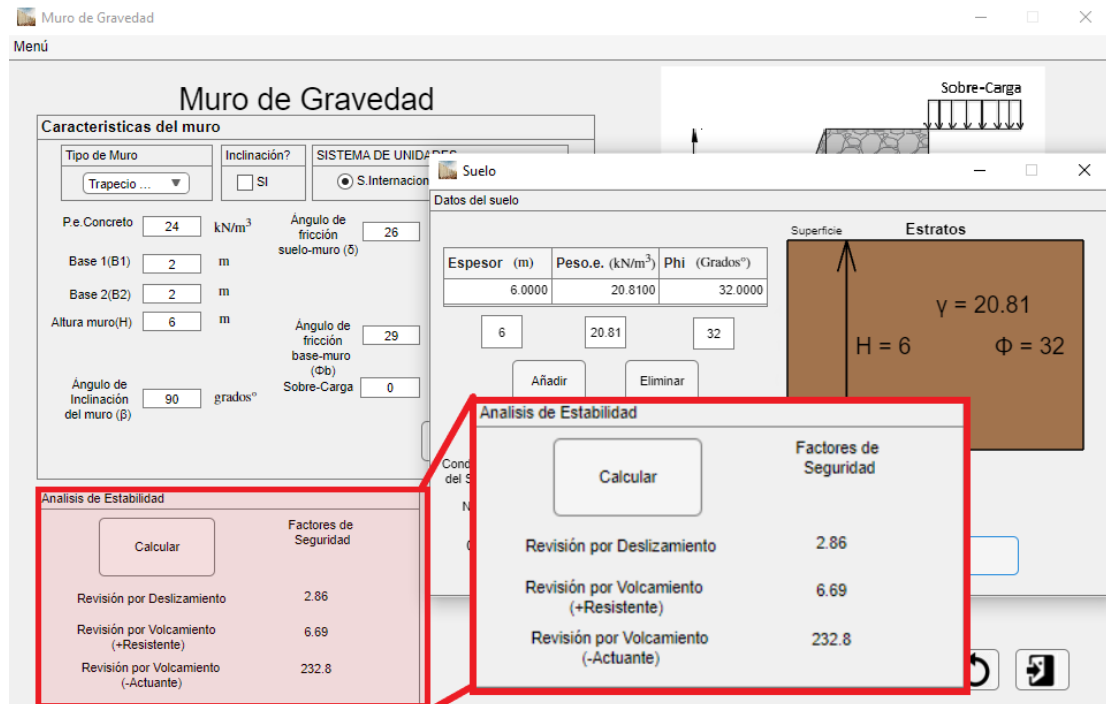


Fig.35. Factores de seguridad obtenidos por la aplicación.

12.3 Ejemplo Muro en voladizo

En el siguiente ejemplo se muestran los cálculos para un muro con sección T el cual será analizado estáticamente. Las propiedades del suelo y del muro se observan a continuación.

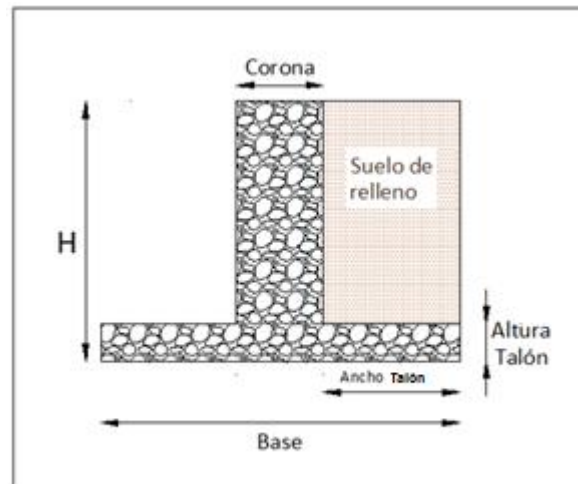


Fig.36. Muro en voladizo sección T.

Tabla 12.7. Datos Muro Cantilever (Sección T)

Altura del muro (H)	6 m
Base del muro	5 m
Corona	0,5 m
Altura del talón	0,5 m
Ancho de la talón	3 m
Peso específico (<i>concreto</i>)	24 kN/m ³

Tabla 12.8. Datos del suelo con nivel freático

Peso específico (γ)	18 kN/m ³
Peso específico (γ_{mojado})	19,81 kN/m ³
Ángulo de fricción (ϕ_1)	32°
Ángulo de fricción (ϕ_2)	30°
Inclinación del relleno (α)	0°
Adhesión	0 Kpa
Sobre-carga	0 kN/m

Tabla 12.9. Datos del suelo de cimentación con nivel freático

Ángulo de cimentación (δ)	28°
Peso específico (γ_{mojado})	19,81 kN/m ³
Adhesión	0 Kpa

A continuación, se muestran los cálculos resumidos que la aplicación realiza internamente para obtener los valores de los factores de seguridad.

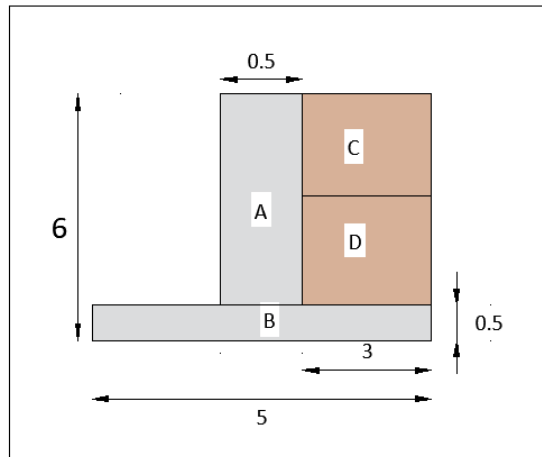


Fig.37. Partes muro en voladizo sección T.

Tabla 12.10. Cálculos para la parte resistente del muro

Sección	Volumen (m^3)	Peso/longitud unitaria (kN/m)	Brazo	Momento ($\frac{kN-m}{m}$)
A	2,75	66	1,75	115,5
B	2,5	60	2,5	150
C	7,5	135	3,5	472,5
D	9	178,3	3,5	624,0
TOTAL		439,3		1362,0

Cálculo del empuje

Método Rankine

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi}$$

Condición	32°	30°
K_a	0,307	0,333

Fuerzas Actuantes

Sección	Fuerzas $\left(\frac{kN}{m}\right)$
1	17,275
2	48,37
3	4,13
4	20,422
5 (agua)	60,1
Total	150,3

Sección	Brazos	Brazos	Momentos $\left(\frac{kN-m}{m}\right)$
1	$3,5 + \frac{2,5}{3}$	4,333	74,85
2	$\frac{3,5}{2}$	1,75	84,65
3	$\frac{3,5}{2}$	1,75	7,22
4	$\frac{3,5}{3}$	1,167	23,832
5 (agua)	$\frac{3,5}{2}$	1,167	70,137
Total			260,689

$$F.S_{Des} = \frac{\sum F_{Resistentes} * \tan\delta + C * \beta}{F_{Actuantes} + P_{agua}}$$

$$F.S_{Des} = \frac{439,9 * \tan 28 + 0 * \beta}{90,18 + 60,1}$$

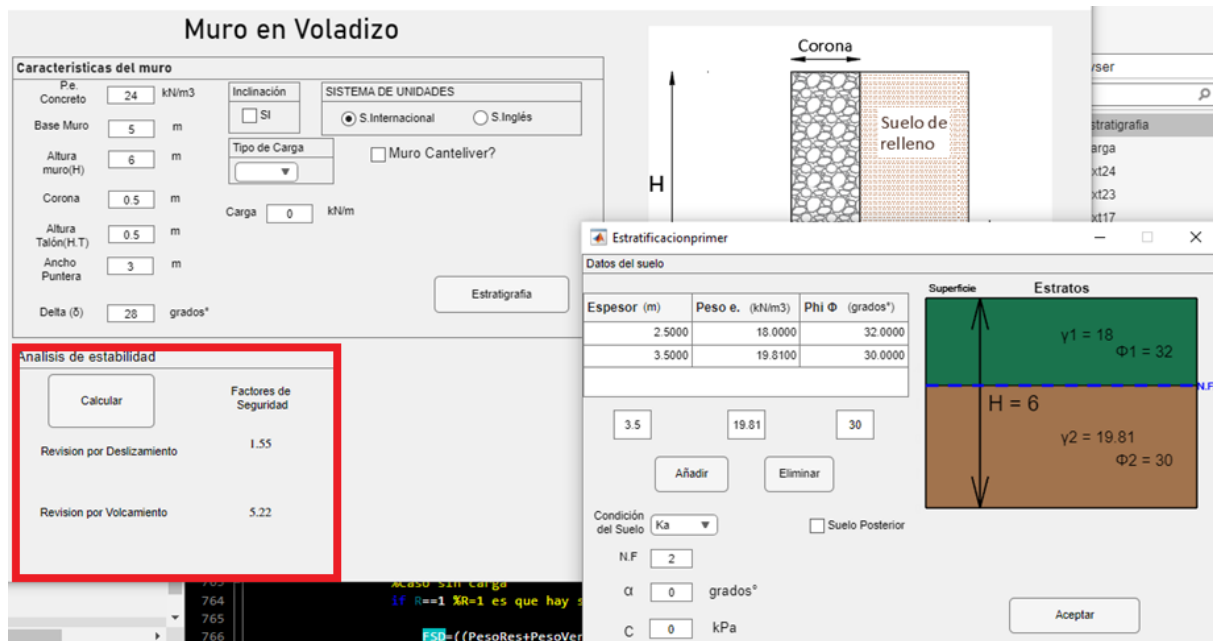
$$F.S_{Des} = 1,55$$

$$F.S_{Volc} = \frac{\sum M_{Resistentes}}{\sum M_{Actuantes}}$$

$$F.S_{Volc} = \frac{1362,02}{260,689}$$

$$F.S_{Volc} = 5,22$$

Siguiendo el mismo procedimiento de ingreso de datos del muro y del suelo, para este ejemplo se obtienen los factores de seguridad mostrados en la fig.



Muro en Voladizo

Características del muro

P.e. Concreto: 24 kN/m³
 Base Muro: 5 m
 Altura muro(H): 6 m
 Corona: 0.5 m
 Altura Talón(H.T): 0.5 m
 Ancho Puntera: 3 m
 Delta (δ): 28 grados°

Inclinación: ☐ SI ☒ NO
 Tipo de Carga:
 Carga: 0 kN/m

SISTEMA DE UNIDADES: ☒ S. Internacional ☐ S. Inglés
☐ Muro Canteliver?

Estratigrafía

Análisis de estabilidad

Calcular

Factores de Seguridad

Revision por Deslizamiento: 1.55
 Revision por Volcamiento: 5.22

Estratificaciónprimer

Datos del suelo

Espesor (m)	Peso e. (kN/m ³)	Phi Φ (grados°)
2.5000	18.0000	32.0000
3.5000	19.8100	30.0000

Superficie Estratos

γ1 = 18 Φ1 = 32
 H = 6
 γ2 = 19.81 Φ2 = 30

Condición del Suelo: Ka
 N.F.: 2
 α: 0 grados°
 C: 0 kPa

Añadir Eliminar

☐ Suelo Posterior

Aceptar

Fig.38. Partes muro en voladizo sección T.

12.4 Ejemplo Muro en voladizo con sobrecarga

- Si se presenta una sobrecarga se consideran 3 tipos de posibilidades.
1. Sobre el talón
 2. Por fuera del talón
 3. Sobre y por fuera del talón

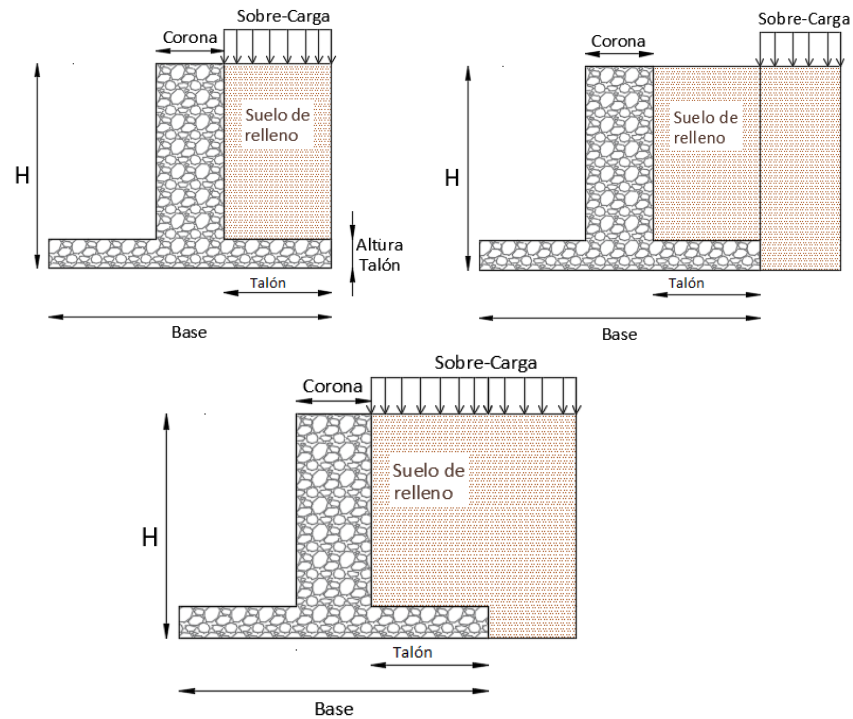


Fig.39. Muro sección T con sobrecarga.

Se considera una *Sobrecarga* = 30 kN/m

Tabla 12.11. Datos del suelo de relleno.

Peso específico (γ)	18 kN/m ³
Peso específico (γ_{mojado})	19,81 kN/m ³
Ángulo de fricción (ϕ_1)	32°
Ángulo de fricción (ϕ_2)	30°
Inclinación del relleno (α)	0°
Adhesión	0 Kpa
Sobre-carga	30kN/m

Esfuerzos producidos por la sobrecarga

$$K_a * Carga = Esfuerzo$$

estrato1:

$$0,307 * 30 = 9,21$$

$$Pcarga1 = 23,03$$

$$Brazo1 = 4,75$$

$$M1 = 109,393$$

estrato2:

$$0,333 * 30 = 9,999$$

$$Pcarga2 = 35$$

$$Brazo2 = 1,75$$

$$M2 = 61,25$$

$$Pcarga = 58,03$$

$$Mcarga = 170,643$$

Caso 1. Antes de la Talón.

$$F.S_{Des} = \frac{\sum F_{Resistentes} + F_{Sobre-carga} * \tan\delta + C * \beta}{F_{Actuantes} + P_{agua}}$$

$$F.S_{Volc} = \frac{\sum M_{Resistentes} + M_{Sobre-carga}}{\sum M_{Aactuantes}}$$

$$F.S_{Des} = \frac{(439,29 + 58,03) * \tan 28 + 0 * \beta}{90,18 + 60,1}$$

$$F.S_{Des} = 1,759$$

$$F.S_{Volc} = \frac{1362,02 + 170,643}{260,689}$$

$$F.S_{Volc} = 5,879$$

Muro en Voladizo

Características del muro

Peso Concreto: 24 kN/m³

Base Muro: 5 m

Altura muro: 6 m

Corona: 0.5 m

Altura Talón: 0.5 m

Ancho Puntera: 3 m

Delta (δ): 28 grados°

Inclinación: ☐ SI

Tipo de Carga: Qp

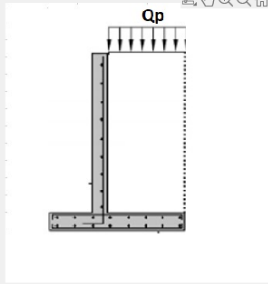
Carga: 30 kN/m

☐ Muro Canteliver?

Estratigrafía

SISTEMA DE UNIDADES

☒ S. Internacional ☐ S. Inglés



Análisis de estabilidad

Calcular

Factores de Seguridad	
Revisión por Deslizamiento	1.76
Revisión por Volcamiento	6.11

Restablecer Salir

Fig.40. Factores de seguridad dados por la aplicación.

Caso 2. Por fuera del talón.

$$F.S_{Des} = \frac{\sum F_{Resistentes} * \tan \delta + C * \beta}{F_{Actuantes} + P_{agua} + F_{Sobre-carga}}$$

$$F.S_{Volc} = \frac{\sum M_{Resistentes}}{\sum M_{Aactuantes} + M_{Sobre-carga}}$$

$$F.S_{Des} = \frac{(439,29 + 58,03) * \tan 28 + 0 * \beta}{90,18 + 60,1 + 58,03}$$

$$F.S_{Des} = 1,269$$

$$F.S_{Volc} = \frac{1362,02 + 170,643}{260,689 + 170,643}$$

$$F.S_{Volc} = 3,16$$

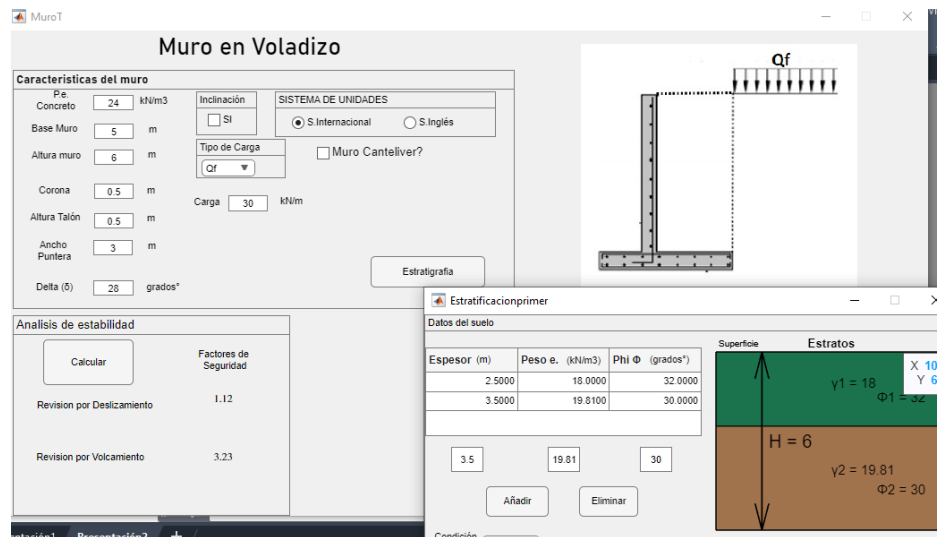


Fig.41. Factores de seguridad dados por la aplicación.

Caso 3. Sobre y por fuera de la talón.

$$F.S_{Des} = \frac{\sum F_{Resistentes} + F_{Sobre-carga} * \tan \delta + C * \beta}{F_{Actuantes} + P_{agua} + F_{Sobre-carga}}$$

$$F.S_{Volc} = \frac{\sum M_{Resistentes} + M_{Sobre-carga}}{\sum M_{Actuantes} + M_{Sobre-carga}}$$

$$F.S_{Des} = \frac{58,03 * \tan 28 + 0 * \beta}{90,18 + 60,1 + 58,03}$$

$$F.S_{Des} = 1,27$$

$$F.S_{Volc} = \frac{1362,02 + 170,643}{260,689 + 170,643}$$

$$F.S_{Volc} = 3,55$$

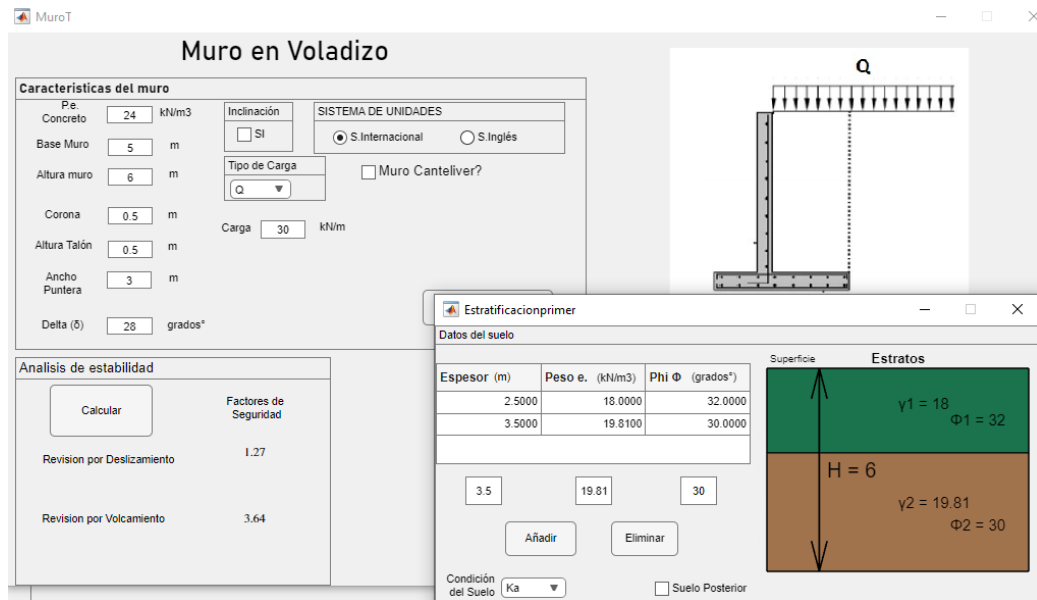


Fig.42. Factores de seguridad dados por la aplicación.

12.5 Ejemplo Muro tablestaca

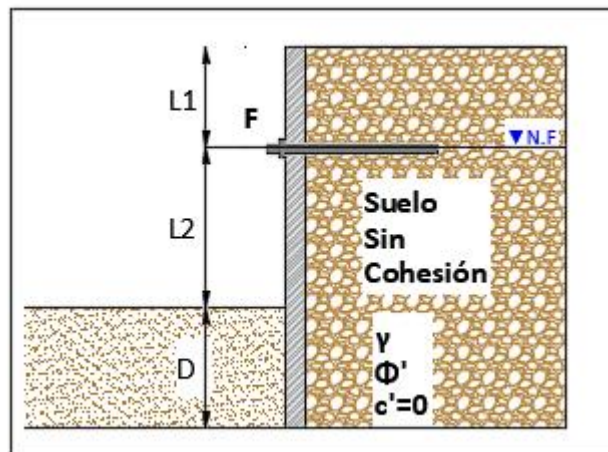


Fig.43. Muro tablestaca.

Tabla 12.12. Datos del muro tablestaca.

Altura del anclaje(l_1)	1,53 m
Longitud del anclaje(l_2)	1,52 m
Ángulo del anclaje	0°

Tabla 12.13. Datos del suelo de relleno con nivel freático en Segundo estrato

Peso específico (γ)	16 kN/m^3
Altura estrato ($L1$)	$3,05 \text{ m}$
Altura estrato ($L2$)	$6,1 \text{ m}$
Peso específico (γ_{mojado})	$19,5 \text{ kN/m}^3$
Ángulo de fricción (ϕ_1)	30°
Ángulo de fricción (ϕ_2)	30°
Adhesión	0 Kpa

Factores Actuantes

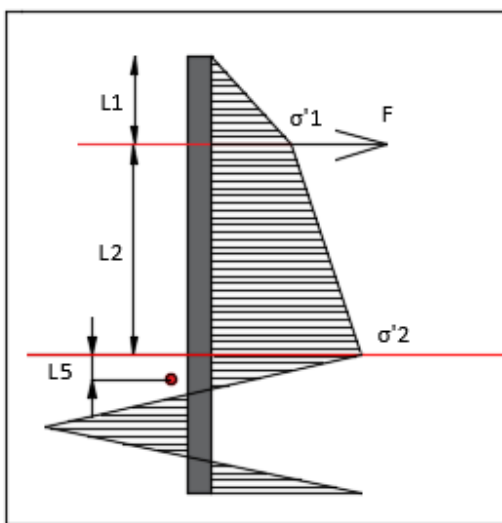


Fig.44. Diagrama de Muro tablestaca.

Condición		30°
Ka	$\tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$	$0,333$
Kp	$\tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$	3

Se determina $L5$, que es una función del ángulo de fricción ϕ del suelo debajo de la línea de dragado, con la tabla siguiente:

$\phi'(\text{grados}^\circ)$	$\frac{L5}{L1 + L2}$
30°	0,08
35°	0,03
40°	0

$$L5 = 0,08 * (3,05 + 6,1)$$

$$L5 = 0,73$$

$$\gamma' = 19,5 - 9,81$$

$$\gamma' = 9,69 \text{ kN/m}^3$$

ESFUERZO	kN/m^2
$\sigma'1$	16,27
$\sigma'2$	35,97

La presión activa neta a una profundidad $L5$ debajo de la línea de dragado se puede calcular como

$$PEF = \sigma'2 - \gamma' * (Kp - Ka) * L5$$

$$PEF = 35,97 - 9,69 * (3 - 0,333) * 0,73$$

$$PEF = 17,1 \text{ kN/m}^3$$

$$L' = l2 + L2 + L5$$

$$L' = 8,35$$

Momento máximo

$$W = 0,5 * (s1 + s2) * l2 + 0,5 * L2 * (s2 + \sigma'2) + 0,5 * L5 * (\sigma'2 + PEF)$$

$$W = 0,5 * (8,16 + 16,27) * 1,52 + 0,5 * 6,1 * (16,27 + 35,27) + 0,5 * 0,73 * (35,97 + 17,1)$$

$$W = 197,2 \text{ kN/m}$$

$$M_{MAX} = \frac{W * L'}{8}$$

$$M_{MAX} = 205,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \text{m}$$

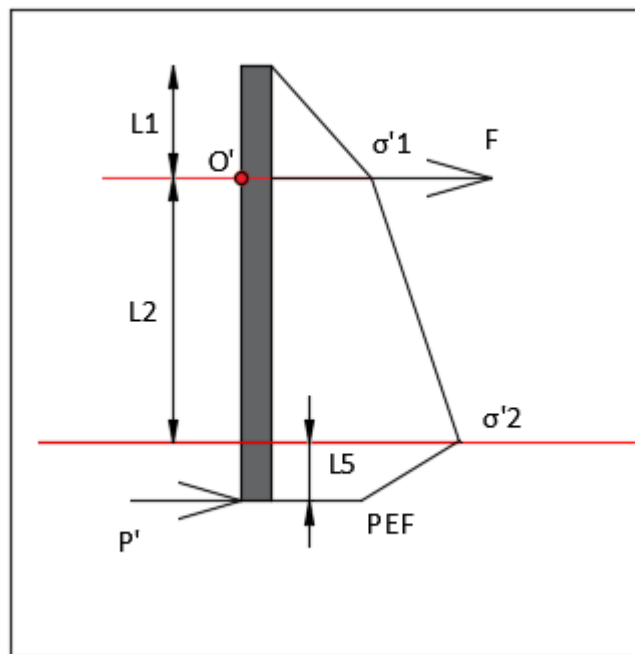


Fig.44. Diagrama de presión neta

$$P' = \frac{1}{L'} * \text{Momento respecto a } O'$$

$$\text{Brazo1} = \left(\frac{2}{3} * 3,05 - 1,53 \right) = 0,503$$

$$\text{Brazo2} = \left(1,52 + \frac{6,1}{2} \right) = 4,57$$

$$\text{Brazo3} = \left(1,52 + \frac{2}{3} * 6,1 \right) = 5,587$$

$$\text{Brazo4} = 0,73 * \left(1,52 + 6,1 + \frac{0,73}{2} \right) = 5,829$$

Momento1respectoaO'

$$= [(0,5 * 16,27 * 3,05 * 0,503) + (16,27 * 6,1 * 4,57) + (0,5 * 6,1 * (35,97 - 16,27) * 5,587) + (0,5 * (35,97 + 17,1) * 5,829)]$$

$$\text{Momento 1 respecto a } O' = 956,736 \frac{kN}{m} * m$$

$$P' = \frac{1}{8,35} * 956,736$$

$$P' = 114,938 \text{ kN/m}$$

$$D = L5 + 1,2 \sqrt{\frac{6P'}{(Kp - Ka) * Y'}}$$

$$D = 0,73 + 1,2 \sqrt{\frac{6 * 114,938}{(3 - 0,333) * 9,69}}$$

$$D = 6,929 \text{ m}$$

Tomando el momento respecto al punto de aplicación de P' se obtiene la fuerza del anclaje F

$$F = \frac{1}{L'} * \text{Momento respecto a } I$$

$$F = 88,95 \text{ kN/m}$$

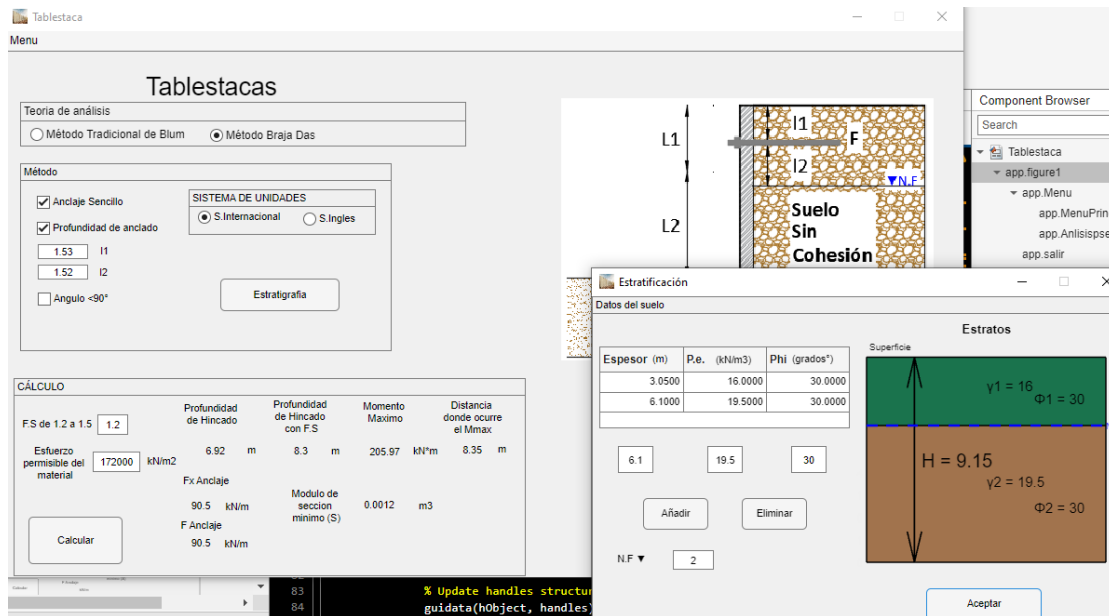


Fig.44. Factores de seguridad dados por la aplicación.

13. Ejemplo para casos pseudo-estáticos

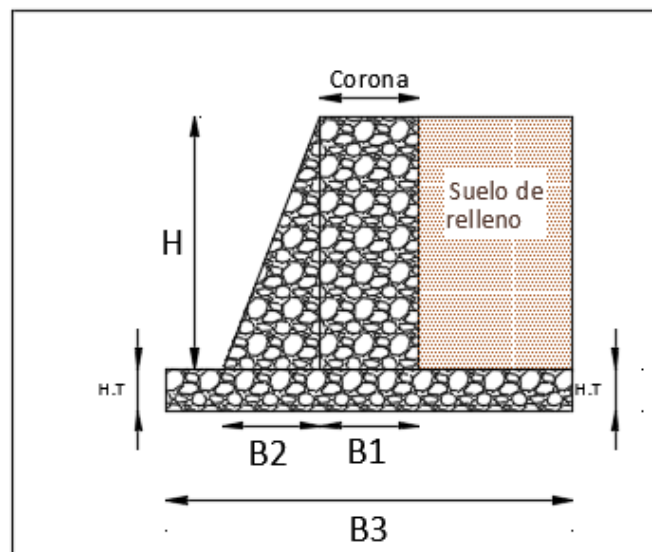


Fig.45. Muro de retención en voladizo.

Tabla 13.1 Datos del muro en Voladizo

Altura del muro(H)	6 m
Altura del muro($H + H.T$)	6,07 m
Base del muro ($B3$)	4 m
Base del muro($B1$)	0,5 m
Base del muro($B2$)	0,2 m
Altura del talón($H.T$)	0,7 m
Talón	2,6 m
Corona	0,5 m
Peso específico (<i>concreto</i>)	23,58 kN/m ³
Ángulo de inclinación del muro(β)	90°

Tabla 13.2 Datos del suelo de relleno sin nivel freático

Peso específico (γ_{seco})	18 kN/m ³
Ángulo de fricción (ϕ_1)	30°
Ángulo de fricción base (ϕ_2)	20°
Inclinación del relleno (α)	10°
Adhesión	0 Kpa
Altura del estarto($H + H.T + H.C$)	7,158m
Sobre-carga	0 kN/m
COEFICIENTE HORIZONTAL DE ACERLERACIÓN(Kh)	0,25 g
Coeficiente vertical de aceleración(Kv)	0 g

Tabla 13.3. Datos del suelo de Cimentación con nivel freático

Ángulo de fricción entre el suelo y el muro (δ)	10°
Peso específico (γ_{mojado})	20,81 kN/m ³
Adhesión	0 Kpa

$$\tan(10^\circ) = hc/2,6$$

$$hc = 0,458$$

$$D2 = 0,458 * 2,6 * 1$$

$$D2 = 0,595 \text{ m}^3$$

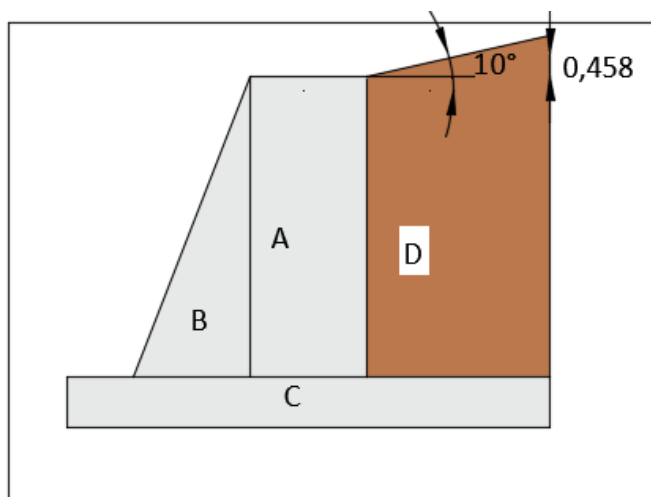


Fig.46. Secciones muro de retención en voladizo.

Tabla 13.4. Datos de los calculos para la parte resistente

Sección	Volumen (m^3)	Peso/longitud unitaria (kN/m)	Brazo (m)	Momento ($\frac{\text{kN-m}}{\text{m}}$)
A	3	70,74	1,15	81,35
B	0,6	14,15	0,833	11,79
C	2,8	66,02	2	132,04
D1	15,6	280,80	2,7	758,16
D2	0,595	10,71	3,13	33,52
TOTAL		442,42		1016,76

Factores Actuales

Condición	30°
Ka	0,353

Sección	Fuerzas $\left(\frac{kN}{m}\right)$	Momento $\left(\frac{kN-m}{m}\right)$
<i>Pa</i>	162,9	
Agua	0	0

	Fuerzas(kN/m)	Fuerzas(kN/m)	Brazos (m)	Momento $\left(\frac{kN-m}{m}\right)$
<i>Pav</i>	$162,9 * \sin(10^\circ)$	28,287	4	113,148
<i>Pah</i>	$162,9 * \cos(10^\circ)$	160,425	$\frac{7,158}{3}$	382,774

Factores de sismo para $A_a = A_v = 0,2$ y un desplazamiento $\Delta = 50mm$

$$Kh = A_a * \left[\frac{0,2 * A_v^2}{A_a * \Delta} \right]^{0,25}$$

$$Kh = 0,0336g$$

$$\theta' = \arctg\left(\frac{Kh}{1 - Kv}\right)$$

$$\theta' = 1,92^\circ$$

$$Kae \text{ o } Kad = \frac{\sin^2(\phi - \theta + \beta)}{\cos(\theta) * \sin^2(\beta) * \sin(\beta - \theta - \delta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \theta - \alpha)}{\sin(\beta - \delta - \theta) * \sin(\alpha + \beta)}}\right]^2}$$

$$= \frac{\sin^2(30^\circ - 6,39^\circ + 90^\circ)}{\cos(6,39^\circ) * \sin^2(90^\circ) * \sin(90^\circ - 6,39^\circ - 10^\circ) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30^\circ + 10^\circ) * \sin(30 - 6,39^\circ - 10^\circ)}{\sin(90^\circ - 10^\circ - 6,39^\circ) * \sin(10^\circ + 90^\circ)}}\right]^2}$$

$$Kae \text{ o } Kad \approx 0,376$$

$$Pae = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * (1 - Kv) * Kae$$

$$Pae = \frac{1}{2} * 18 * 7,158^2 * (1 - 0) * 0,376$$

$$Pae = 173,386$$

$$\Delta Pae = Pae - Pa$$

$$\Delta Pae = 173,386 - 162,9$$

$$\Delta Pae = 10,489 kN/m$$

$$\bar{Z} = 2,50$$

$$Mea = \bar{Z} * Pae * \cos(10^\circ)$$

$$Mea = 426,88 kN * m$$

FACTORES DE SEGURIDAD DINAMICOS

$$F.S_{Des} = \frac{(442,42 + 28,287) * \tan 20}{160,425 + 10,489}$$

$$F.S_{Des} = 1,002$$

$$Caso1. F.S_{Volc} = \frac{1016,76 + 113,148}{382,774 + 426,88}$$

$$Caso1. F.S_{Volc} = 1,396$$

$$Caso2. F.S_{Volc} = \frac{1016,76}{382,774 + 426,88 - 113,148}$$

$$Caso2. F.S_{Volc} = 1,459$$

Peso del muro para el desplazamiento tolerable que puede tener lugar durante un sismo

$$C_{IE} = \frac{\sin(\beta - \delta) - \cos(\beta - \delta) * \tan(\phi)}{(1 - K_v) * (\tan(\phi_2) - \tan(\theta'))}$$

$$C_{IE} = \frac{\sin(90 - 10) - \cos(90 - 10) * \tan(30)}{(1 - 0) * (\tan(20) - \tan(1,92))}$$

$$C_{IE} = 2,677$$

$$W_w = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * (1 - K_v) * K_{ae} * C_{IE}$$

$$W_w = \frac{1}{2} * 18 * 7,158^2 * (1 - 0) * 0,376 * 2,677$$

$$W_w = 464,154 \text{ kN/m}$$

$$W_w * F.S = 464,154 * 1,002$$

$$W_w = 465,082 \text{ kN/m}$$

Para un factor de seguridad recomendado de 1,5

$$W_w * F.S = 464,154 * 1,5$$

$$W_w = 696,227 \text{ kN/m} \quad W_w = 696,227 \text{ kN/m}$$

PSEUDO-ESTATICO

TEORIAS

☐ Mononobe-Okabe ☐ Metodo Simplificado ☒ Richard y Elms

Metodo Richards y Elms

Desp. Restringido (Dr) m Coeficiente de aceleración efectiva (Aa) g Coeficiente de velocidad pico efectiva (Av) g

Tipo de Muro Inclínación? ☒ SI SISTEMA DE UNIDADES ☒ S. Internacional ☐ S. Ing.

Kv g

Altura muro m

Base 1 m

Base 2 m

Base 3 m

Altura Talón m

Talón m

Angulo de Inclínación del muro β grados*

Angulo de Inclínación α grados*

Sobrecarga kN/m

P.e. Concreto kN/m3

Angulo de fricción suelo-muro δ grados*

Angulo de fricción base-muro ϕ grados*

Estratigrafía

Estratigrafíadpe

Datos del suelo

Espeor (m)	Peso.e. (kN/m3)	Phi (grados*)
7.1580	18.0000	30.0000

7.158 18 30

Añadir Eliminar

Condición del Suelo N.F. C kPa

Suelo Posterior ☐

Aceptar

Superficie

$\gamma = 18$

$H = 7.158$ $\Phi = 30$

B3

Analisis de Estabilidad

Calcular

	F.S	F.S (Sismo)	Incremento Sismico
Revision por Deslizamiento	1.08	1.01	12.26 kN/m
Revision por Volcamiento (+Resistente)	2.99	1.41	
Revision por Volcamiento (-Actuante)	3.83	1.48	

Peso del muro para D.r

Para el valor obtenido 467.71 kN/m

Para un F.s recomendado de 1.5 696.63 kN/m

Restablecer Salir

Fig.47. Factores de seguridad dados por la aplicación.