

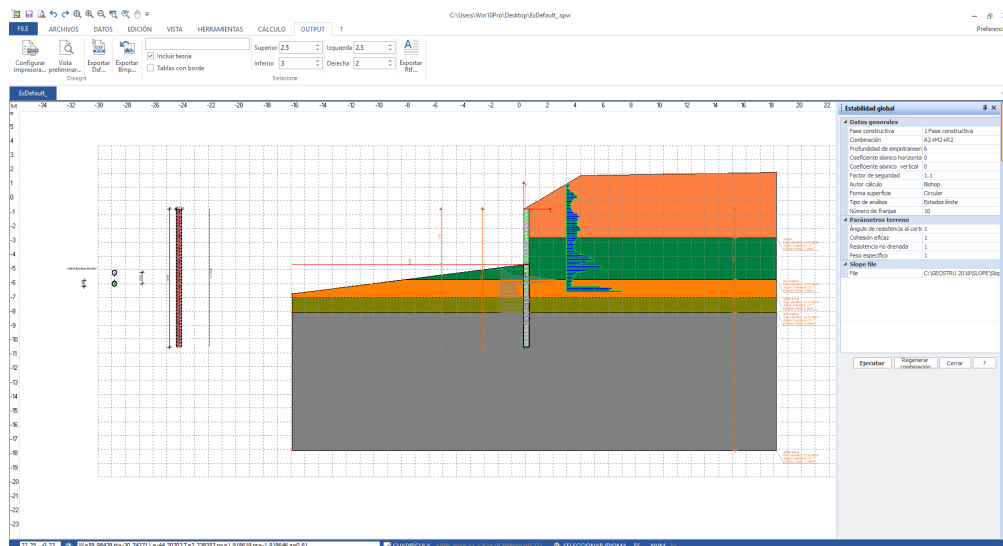
SPW

Part I SPW Pantallas	1
1 Chiarimenti sulle modalità di calcolo del software SPW	3
2 Nuevo modelo de cálculo	5
3 Procedimiento de cálculo	7
4 Archivos	8
Archivo materiales	8
Archivo secciones	10
Vigas de reparto anclaje	15
Archivo anclajes	17
Opciones armaduras	19
5 Datos	22
Datos generales	22
L.E.M. - Método equilibrio límite	24
F.E.M. - Método elementos finitos	26
Geometría terreno	29
Estructura	35
Estratificaciones	37
Nivel Freático	41
Anclajes	44
Soportes	45
Cargas	47
Fuerzas aplicadas	51
Presiones asignadas	52
Módulo de balasto asignado	53
Condiciones de contorno	56
Fases de construcción	58
6 Cálculo	58
Análisis	58
Resultados análisis estructural	62
Diagramas solicitaciones	62
Diagramas de las presiones	63
Zona anclaje	64
Programa de servicio viga continua	65
Cómputo métrico	66
Estabilidad global	67
7 Output	68
Exportar DXF	68
8 Informe...	69
Ejemplo relación de cálculo	70
9 Preferencias	86
10 Referencias teóricas	86
Método LEM	86
Método FEM	89
Carga última anclajes	91
Asientos verticales	93
Filtración	94
Comprobación seguridad frente a sifonamiento	99
11 Contatti	100

Part II Utility	101
1 Tablas de Conversión	101
2 Database Suelos	102
Part III Normativa	104
1 Eurocódigos	104
Combinaciones EUROCÓDIGO 7	104
Parámetros sísmicos EUROCÓDIGO 8	105
Parámetros característicos del terreno EUROCÓDIGO	107
2 LRFD	108
Combinaciones LRFD	108
3 Geoapp	109
Sección Geoapp	110
Part IV Conversión de archivos de . spw a . spwx	110
Part V Bibliografía	112
Part VI Comandos de shortcut	112
Index	0

1 SPW Pantallas

Las pantallas están formadas por una estructura vertical relativamente sutil, empotrada en el terreno a una profundidad por debajo del fondo de la excavación, con el fin de obtener un apoyo suficientemente robusto como para contrastar los empujes del terreno, del agua y de posibles sobrecargas. Este tipo de elemento de contención puede estar formado por tablestacas prefabricadas hincadas, por pilotes perforados con una cierta separación entre ellos y paneles de hormigón ejecutados in situ, o por paneles de hormigón armado (pantallas continuas de hormigón). En la siguiente figura se muestra un ejemplo del esquema de una pantalla en voladizo construida con pilotes en hormigón armado:



Los métodos de cálculo más utilizados son:

- Equilibrio Límite (LEM)
- Elementos finitos (FEM)

Mientras que el método del equilibrio límite se basa en consideraciones de carácter estático única y exclusivamente, con el método de los elementos finitos se hacen consideraciones basadas también en la congruencia de las deformaciones (por lo tanto el método FEM es más racional). Los métodos citados son de una complejidad creciente ya sea desde el punto de vista numérico que desde el punto de vista de las operaciones preliminares al cálculo. De hecho, mientras que con el método LEM es necesario conocer las propiedades clásicas de los materiales del terreno (ángulo de rozamiento interno, etc.), con el método FEM es necesario además estimar el módulo de reacción del terreno y caracterizar su eventual comportamiento no lineal.

El programa SPW permite efectuar el análisis de pantallas en voladizo o con anclajes, según los dos modelos de cálculo citados.

CARACTERÍSTICAS GENERALES (Relativas al input del software)

Los modelos que se pueden analizar con SPW representan en buena parte los problemas que se encuentran en la práctica. Desde el punto de vista general (más adelante se verán los particulares), las características principales de la introducción de datos son las siguientes:

- Materiales que constituyen la pantalla (Archivo materiales).
- Secciones de la estructura vertical (Archivo secciones).
- Vigas de reparto.
- Anclajes (Archivo anclajes).
- Tratamiento de las configuraciones relacionadas con la armadura de la estructura (Opciones armaduras).
- Métodos de cálculo (Equilibrio límite, Elementos Finitos).
- Geometría del modelo del terreno (ya sea en términos de coordenadas de vértices que en términos de ángulos y distancias).
- Propiedades del terreno (es posible definir varias propiedades de terreno y considerar varias estratificaciones).
- Es posible considerar la presencia de nivel freático, inclusive para estudios de filtraciones de agua y comprobaciones de la seguridad frente al sifonamiento.
- Cargas agentes, tratadas ya sea mediante cargas concentradas que mediante cargas repartidas en franjas, líneas o uniformes.
- Fases de análisis. Es posible definir varios escenarios de cimentación de la estructura, refiriéndose a fases de análisis que pueden variar por estratigrafía, características de los materiales, vínculos fijados, cargas, etc.
- El análisis de la pantalla se puede efectuar ya sea en condiciones estáticas que en condiciones sísmicas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES (Relativas a la fase de cálculo)

- El análisis se puede efectuar con el método de equilibrio límite y con el método de los elementos finitos.
- Cálculo de la profundidad de hinca.
- Comprobación de la profundidad de hinca asignada
- El análisis se puede efectuar con varias combinaciones de carga y en diferentes fases de análisis.
- Cálculo de las presiones debidas a la presencia de nivel freático, de cargas externas, etc.
- Programa de servicio para el análisis de las solicitaciones en una viga continua o en la viga de coronación o de anclaje.
- Cómputo métrico.
- Análisis de estabilidad global (con los métodos de: Fellenius, Bishop, Janbu, Bell, Sarma, D.E.M).
- Proyecto de las secciones de la pantalla.
- Determinación retículo de flujo y cálculo de la capacidad de filtración.

CARACTERÍSTICAS GENERALES (Relativas a la fase de output)

- Vista de los diagramas de las presiones horizontales y de los diagramas de las solicitaciones.
- Resultados del análisis estructural de la pantalla, en términos de comprobaciones o de proyecto de la sección.
- Informe técnico (con referencias teóricas) con selección de los argumentos a imprimir (es posible imprimir referencias teóricas, datos de input, output de cálculo).
- Generación de elaborados gráficos completos, en los cuales se definen las medidas, las cantidades y los perfiles de las armaduras resultantes del cálculo.

1.1 Chiarimenti sulle modalità di calcolo del software SPW

El software SPW permite realizar análisis utilizando el método del equilibrio límite (L.E.M) y el método de elementos finitos (F.E.M). El primero se utiliza generalmente para cálculos simplificados, permitiendo un diseño preliminar de la pantalla de contención y definiendo sus principales características (profundidad de embestimiento, diámetro, etc.). Este cálculo considera solo el aspecto estático del problema, descuidando la deformabilidad real del suelo. Por lo tanto, el cálculo es independiente del estado de deformación del complejo suelo-estructura. En contraste, el uso del método F.E.M. permite realizar análisis tanto lineales como no lineales, considerando tanto el aspecto estático como el cinemático. De esta manera, se tiene en cuenta la interacción real entre el suelo y la estructura, lo que resulta en un cálculo más preciso que se alinea con el comportamiento real de las estructuras.

Análisis con el Método de Elementos Finitos (F.E.M.)

El método de elementos finitos, como se destacó anteriormente, permite realizar análisis más realistas al considerar la interacción real entre el suelo y la estructura. En este enfoque, la pantalla de contención se modela como un conjunto de vigas con restricciones de continuidad (elementos viga) conectadas al suelo mediante resortes elásticos, cuya rigidez se evalúa en función de las propiedades elásticas del suelo (Figura 1).

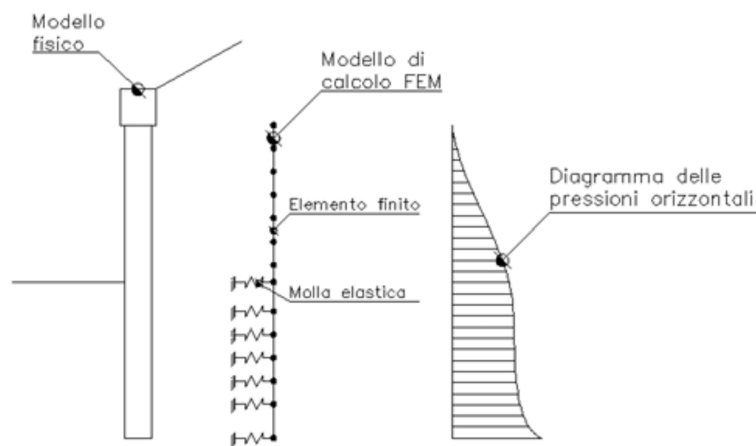


Figura 1: Diagrama de una pantalla de contención utilizando el método de elementos finitos

El cálculo de la rigidez de los resortes elásticos (k_s) se define por la relación entre la resistencia última del suelo y el desplazamiento horizontal:

$$k_s = \frac{q_{ult}}{\delta}$$

Tal relación puede derivarse de pruebas de carga en pilotes, o alternativamente, puede estimarse basándose en formulaciones utilizadas para calcular la capacidad de carga, usando la siguiente ecuación:

$$k_s = A_s + B_s Z^n$$

en la que:

$$A_s = C(cN_c + 0.5\gamma BN_\gamma)$$

$$B_s = C(\gamma N_q)$$

Z = profundidad considerada

$C = 40$ obtenido a partir de la relación $\frac{1}{\delta}$ imponiendo un desplazamiento δ de 0.0254 m

$$n = p \tan \varphi$$

$$N_q = \exp\left(n \left(\tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)\right)\right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\varphi = 1.5(N_q - 1) \tan \varphi$$

Dunque, una vez determinado el valor del módulo de rigidez de la molla k_s , el software aplica una fuerza F en cada nodo del modelo calculada con la siguiente relación:

$$F = k_s \cdot \delta$$

El cálculo utilizando este modelo, como demostró Bowles (1974), puede ser considerado en el cálculo de las tensiones inducidas en la región de la pantalla de contención sujeta al estado de presión pasiva. El modelo ha sido probado en numerosos casos reportados por Tschebotarioff (1949) y Rowe (1952), obteniendo resultados satisfactorios.

Resumiendo, se realiza un análisis lineal donde se controlan los desplazamientos de los nodos en la base de la excavación. Si los desplazamientos superan el límite establecido (0.0254) utilizado para el cálculo de k_s , se procede a realizar un análisis no lineal. De esta manera se asegura el cumplimiento de los Estados Límite Últimos (SLU) de la resistencia del terreno.

Nota (a cargo del usuario: el cambio de análisis lineal a no lineal)

1.2 Nuevo modelo de cálculo

La creación de un nuevo archivo en SPW se hace en forma guiada, en el sentido de que al inicio es posible definir un modelo de cálculo genérico y modificarlo después durante el transcurso de la sección. Al seleccionar el comando "Nuevo", se abre la siguiente ventana de diálogo:

Ambiente de inicio de un nuevo modelo

Para iniciar un nuevo modelo es necesario indicar los siguientes datos:

Proyecto

Descripción sintética del proyecto a efectuar, la ubicación de la obra, el proyectista y la fecha.

Si se desea que la descripción y la localidad aparezcan indicadas en la exportación en formato doc, pdf..., se debe simplemente insertar la marca en el cuadrado ubicado a la derecha de la casilla de texto.

Normativa

Seleccionar la normativa para la comprobaciones geotécnicas (*Normativa GEO*) y para las comprobaciones estructurales (*Normativa STRU*).

Cálculo presiones

En este grupo de datos se definen las teorías que se pueden utilizar para calcular el coeficiente de empuje activo, el coeficiente de empuje pasivo y el coeficiente de estado límite (activo o pasivo) en condiciones dinámicas. Existen las siguientes posibilidades:

Presiones activas: Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel, Jaky, Rankine

Presiones pasivas: Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel

Presiones sísmicas: Mononobe-Okabe, Estructuras que no sufre desplazamientos.

Se define además el punto de aplicación de la acción sísmica: 2/3 H; 1/3 H; 1/2 H.

Modelo de cálculo

Se puede seleccionar a priori el método de cálculo. En particular, existe la posibilidad de seleccionar el método LEM (Método del

Equilibrio Límite) o el método FEM (Método de los Elementos Finitos).

Carga última vertical

Existe la posibilidad de calcular o no la carga última vertical (Sí / No) y de indicar el factor de correlación de las verticales examinadas referido a la capacidad de carga del pilote.

Medida longitudinal

Se puede indicar la medida longitudinal de la pantalla.

Geometría

En este grupo de datos se indican las medidas geométricas con las cuales iniciar el modelo. En detalle:

Altura excavación: expresada en m, representa la parte de la pantalla que queda por fuera de la excavación;

Inclinación del terreno en el intradós y en el trasdós: expresada en grados, incide en el valor de los coeficientes de empuje activo y pasivo.

Sección transversal: seleccionar entre las secciones definidas en el Archivo secciones. En esta primera fase del proyecto, la sección seleccionada se extiende a toda la altura de la excavación, pero sucesivamente es posible diferenciar por tramos, en toda la altura mencionada, diferentes tipologías de sección.

1.3 Procedimiento de cálculo

Una vez que se inicia un nuevo modelo con el comando "Nuevo", el usuario podrá continuar, según desee, asignando o modificando los datos de input.

Como ejemplo presentamos una secuencia de operaciones que permiten cumplir el análisis completo de una pantalla:

1. En Archivo secciones agregar la geometría de la sección de la pantalla que se debe analizar y seleccionar el material.
2. Definir las opciones armaduras.
3. Definir la estructura de la pantalla, la cual puede estar constituida por secciones de diferentes tipos.
4. Asignar los datos de la geometría del terreno;
5. Definir las características de los terrenos y probable presencia de nivel freático.
6. Definir las características de potenciales anclajes o soportes.
7. Definir potenciales cargas sobre el terreno y sobre la estructura.
8. Definir el método de análisis (L.E.M. o F.E.M.);

9. En caso de seleccionar el método F.E.M., definir posibles presiones, módulos de reacción y condiciones de contorno asignadas por el usuario.
10. Definir las combinaciones de cálculo de las fases constructivas que se desea analizar, asignar los parámetros sísmicos de las combinaciones sísmicas, iniciar el análisis de la pantalla.
11. Una vez efectuado el análisis es posible visualizar todos los resultados y las armaduras proyectadas (Resultados análisis estructural, diagramas, despiece de la sección, etc.).
12. Exportar la relación final con el comando "Exportar rtf".
13. Efectuar el análisis de estabilidad global y exportar los resultados.

A continuación se describirán las ventanas de diálogo que permiten efectuar dicho análisis.

1.4 Archivos

1.4.1 Archivo materiales

Todas las secciones de los elementos estructurales contemplados en el programa tienen como punto de referencia este archivo único de materiales. Los datos que aparecen por defecto en las tablas son modificables y no constituyen ningún vínculo para el proyectista en su calidad de responsable por los valores asumidos.

Nota: Para eliminar cualquiera de los tipos de conglomerado que aparecen en la tabla basta eliminar los datos de la casilla correspondiente en la columna Clase Hormigón.

El ambiente donde se administra el archivo de materiales es el siguiente:

Archivo materiales

CONGLOMERADOS											
Nº	Tipo hormigón	fck, cúbicas [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]	Poisson	AlfaT [1/C°]	P.S. [kN/m³]	
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.03	2.21	0.2	.00001	25	
2	C25/30	30	31470	25	14.16	1.19	2.56	0.2	.00001	25	
3	C28/35	35	32300	28	15.86	1.28	2.76	0.2	.00001	25	
4	C40/50	50	35220	40	19.83	1.49	3.2	0.2	.00001	25	
5											
6											
7											

ACEROS PARA BARRAS											
Nº	Tipo Acero	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 inicial	β1*β2 final	
1	B450C	200000	450	391.3	540	391.3	.075	.0675	1	0.5	
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	0.5	
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	0.05	0.04	1	0.5	
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	0.05	0.04	1	0.5	
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	0.05	0.04	1	0.5	
6	C1860	200205	1600	1116	1860	1116	0.05	0.04	1	0.5	
7											

Asumir por defecto Ok Deshacer ?

Ventana de administración de los materiales estructurales

Datos CONGLOMERADO

- Clase hormigón:

Los hormigones se deben tipificar según la instrucción vigente. En cuanto a la resistencia característica, la instrucción EHE-08 recomienda utilizar la serie: 20, 25, 30 35. etc., expresada en MPa.

- f_{ck} , cúbica [MPa]:

Es la resistencia característica a compresión en probeta cúbica, $f_{c,cúbica}$, del proyecto.

- E_c [MPa]:

Es el módulo elástico del hormigón del proyecto $E_c = 220000 [(f_{ck}+8)/10]^{0.3}$ [MPa]

- f_{ck} [MPa]:

Es la resistencia característica a compresión, en probeta cilíndrica, que además es el primer término en la denominación de clase. Por ejemplo C20/25 significa hormigón de 20 MPa en probeta cilíndrica y 25 en cúbica.

- f_{cd} [MPa]:

Es la resistencia de cálculo del hormigón, igual a $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ donde α_{cc} es el factor que tiene en cuenta la fatiga del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración, mientras que γ_c es el coeficiente parcial de seguridad.

- f_{ctd} [MPa]:

Es la resistencia de cálculo a tracción del hormigón, igual a: $f_{ctk} / \gamma_c = 0.7 f_{ctm} / \gamma_c$

- f_{ctm} [MPa]:

Es la resistencia media del hormigón a tracción igual a $0,3f_{ck}^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$; $0,58 f_{ck}^{1/2}$ para $f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$

- Poisson:

El valor del coeficiente de Poisson ν puede variar de 0 (Hormigón fisurado) a 0.2 (Hormigón no fisurado) (punto 11.2.10.4 NTC). El programa utiliza este coeficiente para calcular el módulo elástico tangencial $G = 0.50 \cdot E_{cm} (1+\nu)$

- AlfaT [1/C°]:

Coeficiente de dilatación térmica.

- P.S. [KN/m³]

Peso específico del hormigón armado. El programa lo usa para calcular los pesos propios de los elementos estructurales.

Datos ACERO PARA BARRAS

- Tipo Acero:

Para las estructuras en hormigón armado

- E_s [MPa]:
Módulo de elasticidad del acero.
- f_{yk} [MPa]:
Límite elástico característico de proyecto igual al nominal 450 N/mm² [MPa].
- f_{yd} [MPa]:
Resistencia de cálculo del acero igual a f_{yk} / γ_s donde γ_s es el coeficiente parcial de seguridad del acero.
- f_{tk} [MPa]:
Tensión característica de rotura de proyecto igual a la nominal (540 MPa).
- f_{td} [MPa]:
Resistencia de cálculo en tracción de proyecto. Se puede asumir igual a f_{yd} (endurecimiento nulo) o igual a $f_{yd} \cdot k$ con $k = f_{td} / f_{yk}$.
- $\epsilon_{p,tk}$:
deformación unitaria característica a rotura.
Deformación última de cálculo.
- β_1, β_2 iniz.:
Coef. de adherencia acero-hormigón en la primer aplicación de la carga. En el programa se utiliza en la verificación de la abertura de las fisuras en las combinaciones raras de ejercicio (SLE).
- β_1, β_2 iniz.:
Coef. de adherencia acero-hormigón para cargas de largo plazo. En el programa se utiliza en la verificación de la abertura de las fisuras en las combinaciones frecuentes y casi-permanentes de ejercicio (SLE).

Nota: Por default, todos los datos de los materiales aparecen como previstos en la instrucción italiana, sin embargo se pueden modificar.

1.4.2 Archivo secciones

En este archivo se definen las secciones que constituyen la estructura de la pantalla (continua o de pilotes). El ambiente en el cual se administra el archivo es el siguiente:

Archivo secciones...

✕

Es posible determinar diferentes tipos de secciones utilizables para crear la estructura

Intereses: Para la disposición al tresbolillo asignar el interese Ix

GEOMETRÍA SECCIÓN

Sección: Circular Barras

Material: Hormigón C25/30, Acero B450C

Alineamiento secciones: Interno Externo

Sección: Nombre CIR 0.4/I=0.8, Diámetro 0.4 [m], Disposición Una fila, Intereses Ix: 0, Iy: 0.8 [m], Sec. rect. Bx: 0, Hy: 0 [m], Color [Grayscale]

Armadura: Perfil Base/Diámetro 0 [mm], Altura 0 [mm], Espesor [Sa] 0 [mm], Espesor [Se] 0 [mm], Color [Black]

Área, Inercia, Elasticidad: Área 0.1570796 [m²/m], Momento de inercia 1.570796E-03 [m⁴/m], Módulo elasticidad 30861.5 [MPa]

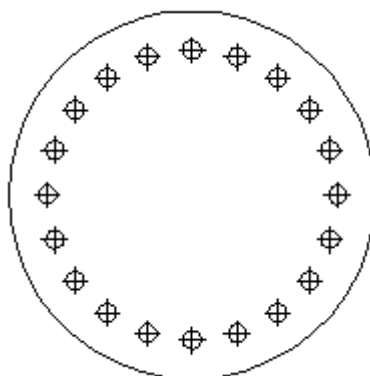
Archivos: Archivo predefinido, Ok, Deshacer, ?

Ambiente para la gestión de las secciones

Con esta ventana es posible realizar múltiples operaciones en las secciones. En primera instancia es posible agregar o eliminar secciones (con los botones que se encuentran en alto al centro de la ventana "+" y "-"). Para definir correctamente una sección es necesario insertar los siguientes datos:

Este dato define el tipo de sección que se debe añadir al archivo. Se puede seleccionar entre las siguientes posibilidades:

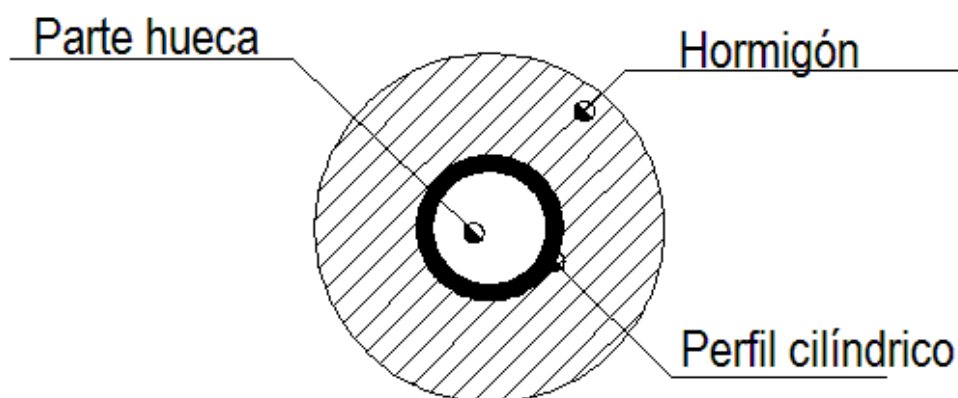
- Circular barras - Se trata de una sección circular con armadura difusa radialmente formada por las clásicas varillas de acero.



Esquema de la sección Circular barras

En esta categoría de secciones, los datos a indicar, además de los relativos a las armaduras de la sección Opciones armaduras, son los siguientes:

- o Nombre: Nombre identificativo de la sección
 - o Hormigón: Seleccionar entre las categorías previstas en el Código Técnico
 - o Acero: Seleccionar entre las categorías previstas en el Código Técnico
 - o Diámetro: expresado en m
 - o Disposición (un fila o al tresbolillo);
 - o Interejes en las 2 direcciones (la segunda dirección se requiere solo con la disposición al tresbolillo) - expresados en m.
- Circular cilíndrica - Se trata de una sección hueca, cuya parte central está constituida por un perfil de acero cilíndrico:

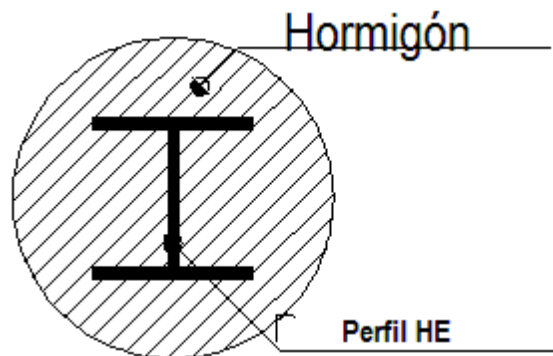


Esquema de la sección Circular cilíndrica

Los datos a indicar para esta categoría de secciones, además de los datos relativos a las armaduras de la sección Opciones armaduras, son los siguientes:

- o Nombre - Nombre identificativo de la sección
- o Hormigón- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción
- o Acero- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción

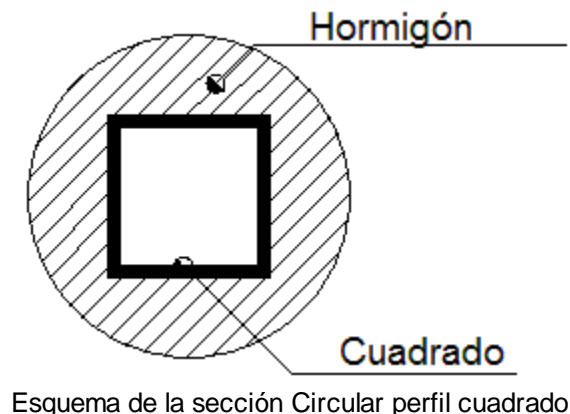
- Diámetro de la sección en hormigón- Expresado en m
 - Diámetro externo de la sección cilíndrica- Expresado en mm
 - Espesor de la chapa que constituye el cilindro- Expresado en mm
 - Disposición (una fila o al tresbolillo)
 - Interejes en las 2 direcciones (la segunda dirección se requiere solo cuando la disposición es al tresbolillo) - Expresado en m
- Circular perfil HE - Se trata de una sección circular dentro de la cual se encuentra un perfil de acero de tipo HE:



Esquema de la sección Circular perfil HE

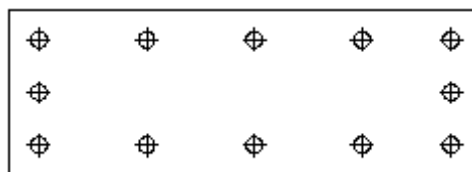
Los datos a indicar para esta categoría de secciones, además de los datos relativos a las armaduras de la sección Opciones armaduras, son los siguientes:

- Nombre - Nombre identificativo de la sección
 - Hormigón- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción
 - Acero- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción
 - Diámetro de la sección en hormigón- Expresado en m
 - Base del perfil- Expresado en mm
 - Altura del perfil- Expresado en mm
 - Espesor de la lámina del alma (S_a)- Expresado en mm
 - Espesor de la lámina del ala (S_e)- Expresado en mm
 - Disposición (una fila o al tresbolillo)
 - Interejes en las 2 direcciones (la segunda dirección se requiere solo cuando la disposición es al tresbolillo) - Expresado en m
- Circular perfil cuadrado - Se trata de una sección hueca, cuya parte central está constituida por un perfil de acero cuadrado:



Los datos a indicar para esta categoría de secciones, además de los datos relativos a las armaduras de la sección Opciones armaduras, son los siguientes:

- Nombre - Nombre identificativo de la sección
 - Hormigón- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción
 - Acero- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción
 - Diámetro de la sección en hormigón- Expresado en m
 - Base del perfil- Expresado en mm
 - Altura del perfil- Expresado en mm
 - Espesor de la lámina- Expresado en mm
 - Disposición (una fila o al tresbolillo)
 - Interejes en las 2 direcciones (la segunda dirección se requiere solo cuando la disposición es al tresbolillo) - Expresado en m
- Rectangular - Se trata de una sección rectangular en cemento armado:



Esquema de la sección Rectangular

Los datos a indicar para esta categoría de secciones, además de los datos relativos a las armaduras de la sección Opciones armaduras, son los siguientes:

- Nombre - Nombre identificativo de la sección
- Hormigón- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción
- Acero- Seleccionar entre las categorías de la Instrucción
- Base de la sección (Bx)
- Altura de la sección (Hz)
- Interejes en las 2 direcciones (la segunda dirección se requiere solo cuando la disposición es al tresbolillo) - Expresado en m

- Input A, E, I, G - Para esta categoría de secciones genéricas los datos a indicar son los siguientes:
 - Descripción
 - Área - expresada en m^2/m ;
 - Momento de inercia- expresado en m^4/m
 - Módulo de elasticidad - expresado en Mpa
 - Módulo de corte- expresado en Mpa
 - Color.

Material

Para las categorías de secciones que requieren la selección del material, es necesario seleccionar el tipo de hormigón y de acero.

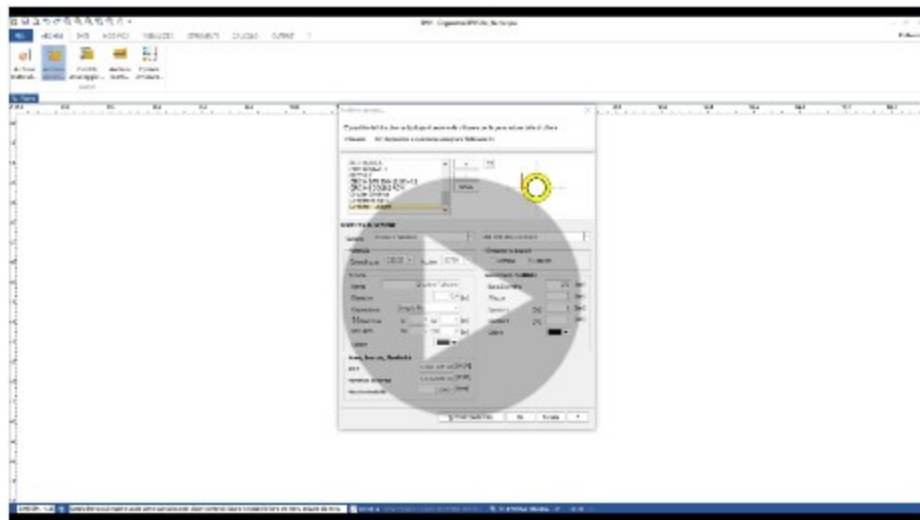
Alineamiento secciones

En todos los tipos de secciones es necesario definir el alineamiento del sistema de referencia. Se trata de identificar la posición que la sección debe asumir en el contexto estructural de la pantalla.

Área, inercia, elasticidad

Para todas las secciones, a excepción de las genéricas, se calcula en automático el área en m^2/m , el momento de inercia en m^4/m y el módulo de elasticidad en Mpa.

Nota: En el sistema de referencia de las coordenadas el eje z coincide con la dirección vertical, el eje x con el eje horizontal del plano del diseño y el eje y ortogonal a ambos. De aquí proviene la denominación Bx y Hz para los datos geométricos de la sección rectangular.

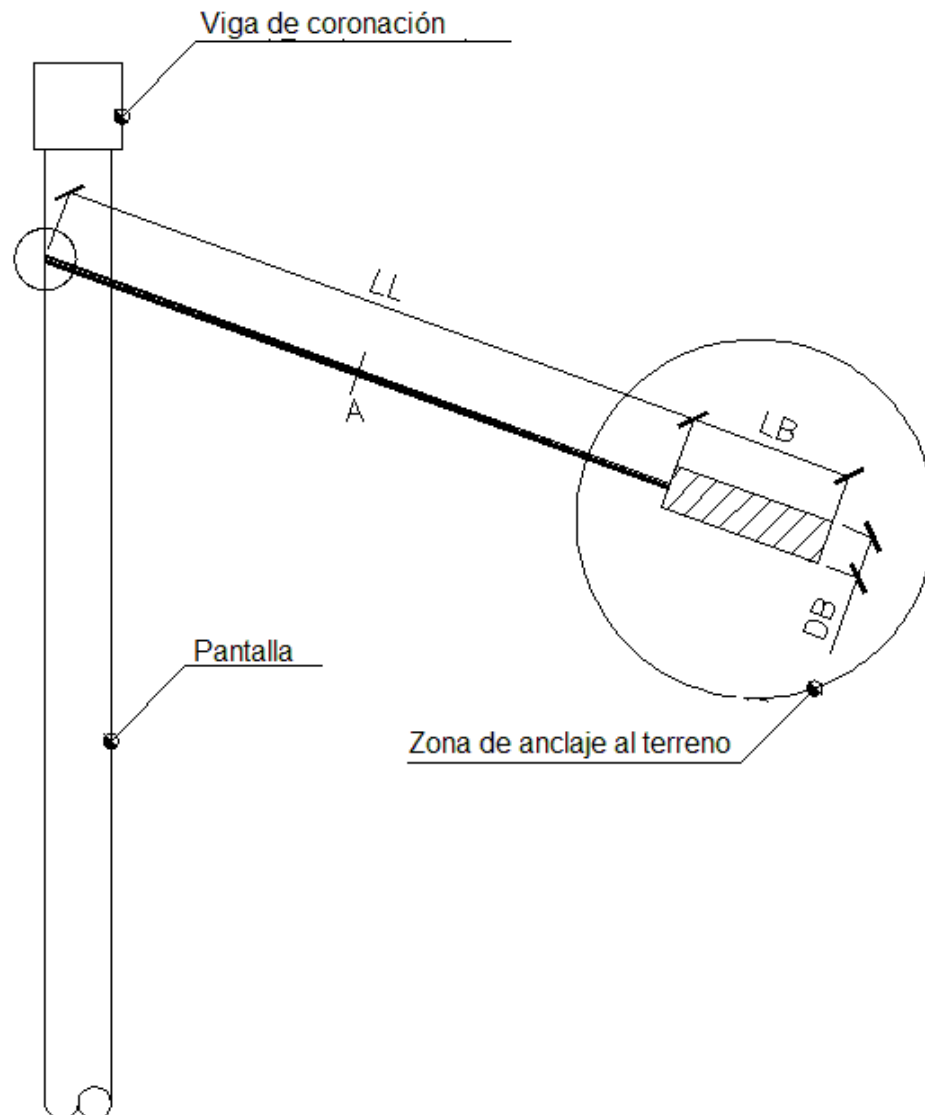


1.4.3 Vigas de reparto anclaje

En este archivo se encuentran los datos relativos a las vigas de reparto que sirven para los anclajes. El ambiente donde se administra el archivo de vigas de reparto es el siguiente:

1.4.4 Archivo anclajes

Los tirantes de anclaje son elementos que complementan las características de resistencia estructural y geotécnica de la pantalla, y SPW permite administrar un vasto archivo de los mismos. La siguiente, si bien esquemática, es una representación significativa de las proporciones características los anclajes.



Esquema de un anclaje

En la figura se representan los siguientes símbolos:

- Longitud libre del anclaje (LL);
- Longitud del bulbo (LB);
- Diámetro del Bulbo (DB);
- Área del sección del anclaje (A);

1.4.5 Opciones armaduras

Las opciones de armaduras tienen que ver con el proyecto estructural de la pantalla. El ambiente para dichas opciones es el siguiente:

Opciones armaduras...

Pilotes Continuas Viga de atado

PILOTES

Diámetro barras longitudinales [mm]

Número mínimo de barras

Longitud ganchos barras longitudinales [cm]

Longitud máxima barras longitudinales [cm]

Recubrimiento [cm]

Diámetro estribos [mm]

Diámetro/N.º Rigidizadores [mm]

Espacio mínimo entre estribos [cm]

[Tubulares] Tramo pilote anclado en coronación [cm]

[Tubulares] Diámetro barras en U [mm]

Ok Deshacer ?

Ambiente de administración de las opciones de armaduras para pilotes

PILOTES

Estos datos se utilizan para proyectar y para hacer la verificación estructural de pantallas de pilotes en hormigón armado:

Diámetro barras longitudinales: Diámetro de las varillas expresado en mm (Orden de tamaño = 12/26 mm)

Número mínimo de barras: Número mínimo de barras a considerar

Longitud ganchos barras longitudinales: Expresada en cm (Orden de tamaño = 50/150 cm)

Longitud máxima barras longitudinales: Expresada en cm (Orden de tamaño = 800/1200 cm)

Recubrimiento: Expresado en cm (Orden de tamaño = 4/6 cm)

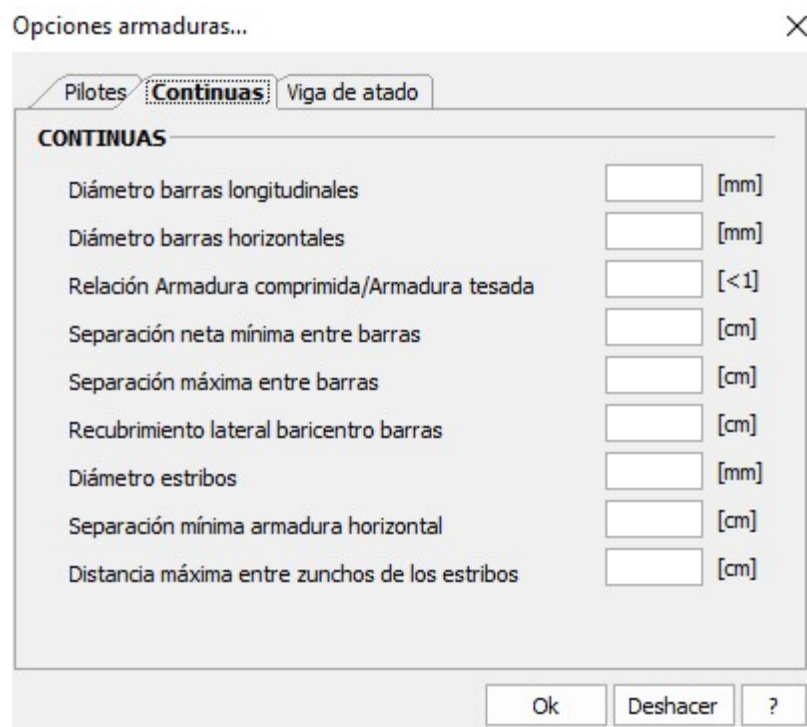
Diámetro estribos: Expresado en mm (Orden de tamaño = 8/10 mm)

Diámetro / N.º rigidizadores: Diámetro expresado en mm y número de rigidizadores

Espacio mínimo entre estribos: Expresado en cm (generalmente establecido en la normativa, en todo caso Orden de tamaño = 15/25 cm)

[Tubulares] - Tramo pilote anclado en la coronación: Es la medida de cuánto del tubular va fijado en coronación, expresada en cm (siempre menor que la altura de la viga de coronación)

[Tubulares] - Diámetro barras en U: Expresado en mm.



Ambiente de administración de las opciones de armaduras para pantallas continuas

CONTINUAS

Estos datos se utilizan para proyectar y para hacer la verificación estructural de pantallas continuas de hormigón armado:

Diámetro barras longitudinales: Expresado en mm (Orden de tamaño = 12/26 mm), representa el diámetro de la armadura vertical.

Diámetro barras horizontales: Expresado en mm (Orden de tamaño = 10/14 mm), representa el diámetro de la armadura horizontal

Relación entre armadura tesada y armadura comprimida: Es un número adimensional (generalmente indicado en la normativa con base en consideraciones sobre la ductilidad de la sección y en todo caso debe ser menor o igual a 1)

Separación neta mínima entre barras: Distancia mínima neta entre las barras expresada en cm (debe ser compatible con la granulometría del material inerte utilizado para el hormigón y en todo caso orden de tamaño = 2.5/5 cm);

Separación máxima entre barras: Expresado en cm (Orden de tamaño = 4/8 cm);

Recubrimiento lateral baricentro barras: Medido desde el baricentro de las barras, expresado en cm (Orden de tamaño = 4/6 cm);

Diámetro armadura horizontal (estribos): Expresado en mm (Orden de tamaño = 8/10 mm), representa el diámetro de la armadura transversal.

Espaciado mínimo armadura horizontal: Expresado en cm (generalmente establecido en la normativa, en todo caso orden de tamaño = 15/25 cm)

Distancia máxima entre zunchos de los estribos: Expresada en cm (Orden de tamaño 14/26 cm);

Opciones armaduras... X

Pilotes Continuas **Viga de atado**

VIGA DE ATADO

Diámetro barras longitudinales	<input type="text"/>	[mm]
Diámetro barras horizontales	<input type="text"/>	[mm]
Relación Armadura comprimida/Armadura tesada	<input type="text"/>	[<1]
Separación neta mínima entre barras	<input type="text"/>	[cm]
Separación máxima entre barras	<input type="text"/>	[cm]
Recubrimiento lateral	<input type="text"/>	[cm]
Diámetro estribos	<input type="text"/>	[mm]
Espacio mínimo entre estribos	<input type="text"/>	[cm]
Separación mínima barras longitudinales	<input type="text"/>	[cm]

Ok Deshacer ?

Ambiente de administración de las opciones de las armaduras de la viga de coronación

VIGA DE ATADO

Estos datos se utilizan para proyectar y para hacer la verificación estructural de la viga de coronación de pantallas de pilotes:

Diámetro barras longitudinales: Expresado en mm (Orden de tamaño = 12/26 mm)

Diámetro barras horizontales: Expresado en mm (Orden de tamaño = 10/14 mm)

Relación entre armadura tesada y armadura comprimida: Es un número adimensional (generalmente indicado en la normativa con base en consideraciones sobre la ductilidad de la sección y en todo caso debe ser menor o igual a 1)

Espaciamiento neto mínimo entre barras: Expresado en cm (debe ser compatible con la granulometría del material inerte utilizado para el hormigón y en todo caso Orden de tamaño = 2.5/5 cm)

Espaciamiento máximo entre barras: Expresado en cm (Orden de tamaño = 4/8 cm)

Recubrimiento lateral: Medido desde el baricentro de las barras, expresado en cm (Orden de tamaño = 4/6 cm)

Diámetro armadura horizontal: Expresado en mm (Orden de tamaño = 8/10 mm);

Separación mínima armadura horizontal: Expresado en cm (generalmente establecido en la normativa, en todo caso orden de tamaño = 15/25 cm)

Separación mínima barras longitudinales: Expresado en cm

1.5 Datos

1.5.1 Datos generales

Los datos generales son los que aparecen al crear un nuevo modelo en el menú "Nuevo". El ambiente para los datos generales es el siguiente:

Modelo de cálculo

Proyecto

Descripción

Localidad

Proyectista

Fecha: venerdì 17 febbraio 2012

Normativa

Normativa GEO: Eurocode: Ec7, Ec8

Normativa STRU: Eurocode: Ec2

Cálculo presiones

Presiones activas: Coulomb (CSN 730037)

Presiones pasivas: Coulomb (CSN 730037)

Presiones sísmicas: Mononobe-Okabe

Punto de aplicación acción sísmica: 1/3H

Modelo de cálculo

L.E.M. F.E.M.

Carga límite vertical

Sí No Factor de seguridad: 1.7

Medida longitudinal

Longitud: 0 [m]

Ok | Deshacer | ?

Ambiente de administración de los datos generales

Recordamos los datos requeridos:

Proyecto:

Descripción sintética del proyecto a efectuar, la ubicación de la obra, el proyectista y la fecha.

Si se desea que la descripción y la localidad aparezcan indicadas en la exportación en formato doc, pdf..., se debe simplemente insertar la marca en el cuadrado ubicado a la derecha de la casilla de texto.

Normativa:

Seleccionar la normativa para las comprobaciones geotécnicas (Normativa GEO) y para las comprobaciones estructurales (Normativa STRU).

Cálculo presiones:

En este grupo de datos se definen las teorías que se pueden utilizar para calcular el coeficiente de empuje activo, el coeficiente de empuje pasivo y el coeficiente de estado límite (activo o pasivo) en condiciones dinámicas.

Existen las siguientes posibilidades: Presiones activas: Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel, Jaky, Rankine

Presiones pasivas: Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel

Presiones sísmicas: Mononobe-Okabe, Estructuras que no sufre desplazamientos.

Se define además el punto de aplicación de la acción sísmica: $2/3 H$; $1/3 H$; $1/2 H$.

Modelo de cálculo:

Se puede seleccionar a priori el método de cálculo. En particular, existe la posibilidad de seleccionar el método LEM (Método del Equilibrio Límite) o el método FEM (Método de los Elementos Finitos).

Carga última vertical:

Existe la posibilidad de calcular o no la carga última vertical (Sí / No) y de indicar el factor de correlación de las verticales examinadas referido a la capacidad de carga del pilote.

Largo longitudinal:

Se puede indicar el largo longitudinal de la pantalla.

Nota: En este nivel del programa no es posible cambiar los datos de la geometría del modelo, ya que los mismos no son parte integrante de los datos generales del problema.

1.5.2 L.E.M. - Método equilibrio límite

Seleccionando el icono L.E.M., se utilizará el método del equilibrio límite en la fase de análisis.

El método del equilibrio límite se usa normalmente para proyectar y se utiliza principalmente para determinar la profundidad última de empotramiento. El L.E.M. se usa en obras donde se puede identificar fácilmente el cinematismo de rotura, como por ejemplo pantallas en voladizo o con un solo anclaje. Para el cálculo se considera que la pantalla está expuesta a empuje activo en el trasdós y pasivo en el intradós. La distribución de las presiones en la estructura es diferente según se trate de pantallas en suelos sin cohesión o de pantallas en suelos cohesivos y además la distribución de los empujes en suelos arcillosos varía con el tiempo.

El cálculo de los empujes se efectúa utilizando valores oportunos del ángulo de resistencia al corte, del peso específico y de la cohesión, haciendo referencia a coeficientes de empuje determinados según las teorías clásicas (Coulomb, Muller-Breslau, Caquot-Kerisel). En el diagrama

de presiones se consideran los incrementos debidos a: sismo, nivel freático, cargas sobre el relleno. En la evaluación del empuje pasivo se introduce un coeficiente de seguridad sobre la resistencia pasiva. Para calcular la profundidad de excavación se procede como a continuación:

- (a) Se calculan los coeficientes de empuje activo y pasivo
- (b) Se supone una profundidad de empotramiento inicial comprendida entre $0.2H$ y $0.7H$
- (c) Se calculan los empujes agentes en la obra
- (d) Equilibrio de los momentos respecto al pie (pantallas en voladizo)

Las fases (a)-(b)-(c)-(d) se repiten incrementando cada vez la profundidad de empotramiento hasta obtener el equilibrio de momentos, que corresponderá a la profundidad de empotramiento de interés. Para remediar la falta de equilibrio de las fuerzas horizontales, se aumenta dicha profundidad en un 20%.

En caso de pantallas con anclaje próximo a coronación se pueden presentar los siguientes cinematismos:

- (I) La base de la pantalla puede girar (método de "base libre")
- (II) La base de la pantalla no puede girar (método de "base empotrada")

Método de base libre (véase Anclajes)

Para efectuar el cálculo se siguen las fases (a) - (b) - (d). La fase (c) se sustituye con el equilibrio de momento respecto al punto de aplicación del anclaje. En este caso no es necesario aumentar la profundidad de empotramiento puesto que se verifica el equilibrio de las fuerzas horizontales.

Método de base empotrada - Método de la viga equivalente (véase Anclajes)

Se asume que la pantalla se deforma con una inversión de curvatura. En este caso el problema es estáticamente indeterminado, a menos que se conozca la posición del punto de inversión.

Si se supone que en el punto de inversión hay una bisagra capaz de transferir solo esfuerzos cortantes (a efectos estáticos un apoyo), es posible partir la pantalla en dos vigas equivalentes. Para fijar la posición del punto de inflexión, Blum sugiere valores en función de: flexibilidad, características geotécnicas, etc.

Una vez que se determina la posición del punto de inflexión se procede como a continuación:

(a) Mediante el equilibrio de momentos en el punto de aplicación del anclaje, considerando la viga superior al centro de rotación, se determina el apoyo más bajo.

(b) Mediante el equilibrio de momentos en el pie, considerando la viga inferior con respecto al centro de rotación, se determina la profundidad de empotramiento.

(c) Tal profundidad se deberá aumentar en un 20%.

1.5.3 F.E.M. - Método elementos finitos

Con el método de elementos Finitos el suelo se modela con resortes cuyas características dependen de los módulos de elasticidad del suelo, diferenciando entre los de compresión y los de tracción.

Bowles sugiere calcular, aproximadamente, el valor de K_s (módulo de balasto, el cual está relacionado con la rigidez del suelo) con base en la capacidad portante de las cimentaciones. El método examinado ofrece directamente, después de haber construido la matriz de rigidez global y el vector de cargas nodales, los deslizamientos generalizados y, a partir de los mismos, los momentos y las reacciones nodales.

Para el cálculo de la pantalla se procede como a continuación:

- (a) Calcular las presiones laterales hasta el fondo de excavación.
- (b) Determinar una primera profundidad de prueba.
- (c) Estimar el valor de K_s por debajo del fondo de excavación.
- (d) Disponer los nodos en los cuales se asignarán las rigideces de los resortes.
- (e) Establecer una sección de prueba y calcular el momento de inercia de la sección.
- (f) Calcular la rigidez de posibles anclajes.
- (g) Crear la matriz de rigidez global.
- (h) Ensamblar el vector de las cargas nodales.
- (i) Calcular los deslizamientos nodales.

El cálculo se lleva a cabo con un procedimiento iterativo. Se continúan las iteraciones hasta que los corrimientos en el fondo de la excavación, entre dos ciclos de cálculo, se encuentren dentro un valor de tolerancia especificado.

El ambiente de administración de algunos de los datos relativos a la implementación del método de los elementos finitos es el siguiente:

Modelo de cálculo

Proyecto

Descripción

Localidad

Projectista

Fecha: venerdì 17 febbraio 2012

Normativa

Normativa GEO: Eurocode: Ec7, Ec8

Normativa STRU: Eurocode: Ec2

Cálculo presiones

Presiones activas: Coulomb (CSN 730037)

Presiones pasivas: Coulomb (CSN 730037)

Presiones sísmicas: Mononobe-Okabe

Punto de aplicación acción sísmica: 1/3H

Modelo de cálculo: L.E.M. F.E.M.

Carga límite vertical: Sí No Factor de seguridad: 1.7

Medida longitudinal

Longitud: 0 [m]

Ok Deshacer ?

Ambiente de administración del cálculo con el método de los elementos finitos

Los datos requeridos son los siguientes:

DATOS GENERALES FEM

Cálculo automático profundidad de empotramiento:

Seleccionar Sí para efectuar el cálculo automático de la profundidad de empotramiento, No para asignar la profundidad de empotramiento seleccionada por el usuario.

Máx. corrimiento lineal terreno:

Expresado en cm. Es el corrimiento máximo que permite considerar un terreno con comportamiento lineal. Si se supera este corrimiento, no se puede considerar el resorte que esquematiza el terreno como en campo elástico-lineal (depende mucho de las características del terreno, en todo caso Orden de tamaño = 1/2 cm)

Factor de tolerancia corrimiento:

Expresado en cm. Es la tolerancia establecida para definir las condiciones de salida de las iteraciones de análisis (depende de algunas condiciones de análisis y de geometría de la estructura,

Orden de tamaño = $1/200$ de la máxima dimensión de la estructura, por ejemplo altura pantalla)

Tipo análisis:

Define si el tipo de análisis efectuado es lineal o no lineal (Se sugiere el análisis no lineal cuando la estática del problema depende preponderantemente del aspecto geotécnico del problema)

Número máximo de iteraciones:

Es el número máximo de iteraciones a realizar para llegar a la solución de los corrimientos. Superado este límite, se considera que no se logró encontrar una solución (en la práctica corriente orden de tamaño = $5/10$ iteraciones)

Factor reducción del resorte fondo de excavación:

Es un factor adimensional que multiplica, reduciéndolo, el módulo de reacción del resorte situado en el fondo de la excavación. Debe asumir un valor menor o por lo menos igual a 1.

Profundidad inicial de empotramiento:

Profundidad de empotramiento al primer intento, expresada en m (Orden de tamaño = $0.1/0.2$ de la altura de la pantalla)

Incremento profundidad de empotramiento:

Es el incremento que se hace en la profundidad corriente de empotramiento para buscar la solución de equilibrio (Orden de tamaño = $0.1/0.2$ de la altura de la pantalla)

Número de elementos:

Debe estar comprendido entre 10 y 50. Es el número de elementos finitos en el que se divide la pantalla (Es oportuno efectuar una división razonable: ni demasiado limitada, para evitar crasos errores en la solución, ni demasiado tupida, para evitar que se agranden excesivamente los tiempos de cálculo)

Número nodo de fondo de excavación:

Se define cuál nodo asociar al fondo de la excavación. Entre más alto es el número, más son los elementos finitos que forman la parte superior de la pantalla.

COEFICIENTE DE BALASTO K_s

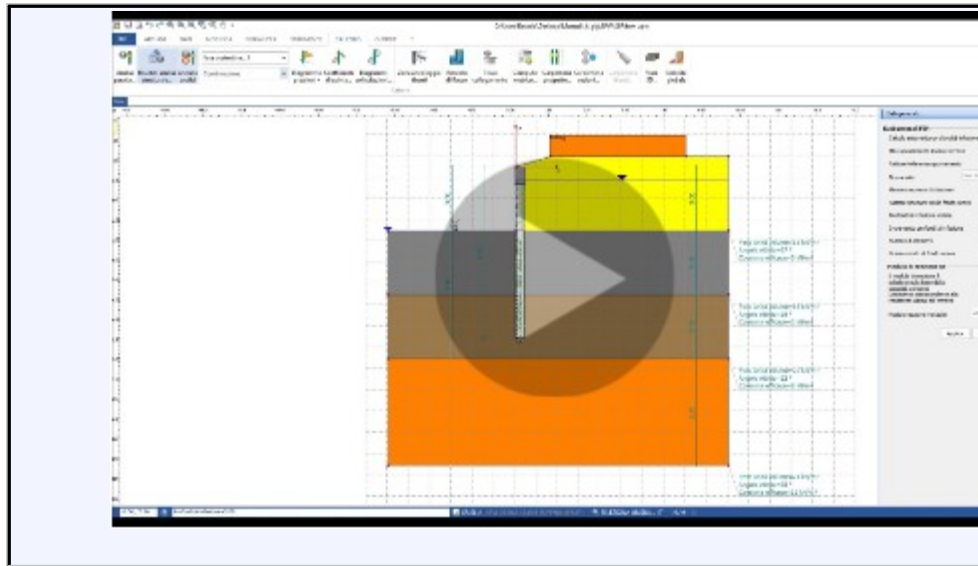
Asiento correspondiente a la resistencia última del terreno: Es el desplazamiento asociado a la carga última, expresado en cm.

Coeficiente de balasto variable:

Es posible tener en cuenta la variabilidad de la rigidez axial de los resortes, que simulan la presencia de terreno, con la profundidad; o también se puede efectuar el análisis con un coeficiente de balasto constante.



Con el método F.E.M es posible comprobar una profundidad de empotramiento asignada por el usuario (por ejemplo para probar pantallas ya existentes). Para esto es necesario seleccionar No en cálculo automático profundidad de empotramiento, asignar 1 al Número máximo de iteraciones (establecido automáticamente) y en Profundidad inicial de empotramiento indicar la deseada.



1.5.4 Geometría terreno

Los datos de la geometría del terreno son necesarios para definir la topografía del terreno. El ambiente de administración del perfil del terreno es el siguiente:

Geometría terreno ⌵ ✕

Ángulos y distancias **Coordenadas**

Nv	X [m]	Z [m]	Cota
1	-6	-3	<input type="checkbox"/>
2	0	-3	<input type="checkbox"/>
3	0	0	<input type="checkbox"/>
4	1.64	0.5	<input type="checkbox"/>
5	10	0.5	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>

Excavación

Altura excavación [m]

Nr. vértice inserción ▾

Pendiente de cálculo perfil

Inclinación trasdós, intradós: °

El ángulo de inclinación del talud no puede ser superior al ángulo de rozamiento del terreno

Numeración vértices

Geometría terreno

Ángulos y distancias

Coordenadas

Altura excavación H: 3 [m]

Longitud tramo intradós Lv: 0 [m]

Inclinación terreno intradós Iv: 0 [°]

Longitud tramo trasdós Lm: 0 [m]

Inclinación terreno trasdós Im: 0 [°]

Generar coordenadas...

Nr. vértice inserción 3

Pendiente de cálculo perfil

Inclinación trasdós, intradós: 0 0 °

El ángulo de inclinación del talud no puede ser superior al ángulo de rozamiento del terreno

Numeración vértices

Aplicar Cerrar ?

Ambiente de administración del perfil del terreno en términos de coordenadas y de ángulos y distancias

Los datos a introducir para definir correctamente el perfil del terreno son los siguientes:

Datos de las coordenadas:

Se trata de indicar las coordenadas de los vértices que definen el perfil con respecto a un sistema de referencia determinado. Los vértices se deben indicar de izquierda derecha en términos de coordenadas x-z. Dichas coordenadas se expresan en m.

- Además se debe indicar la inclinación del perfil del trasdós y del intradós
- Existe la posibilidad de visualizar la numeración de los vértices.

Datos de ángulos y distancias:

- Altura excavación (H):
Expresada en m, representa la parte que quedará por fuera de la excavación
- Longitud tramo intradós (LV):

Expresada en m. Es necesario determinar bien esta medida, en especial para el análisis de la estabilidad global y el análisis del fenómeno de filtración (orden de tamaño = 1/2 veces la altura de la excavación)

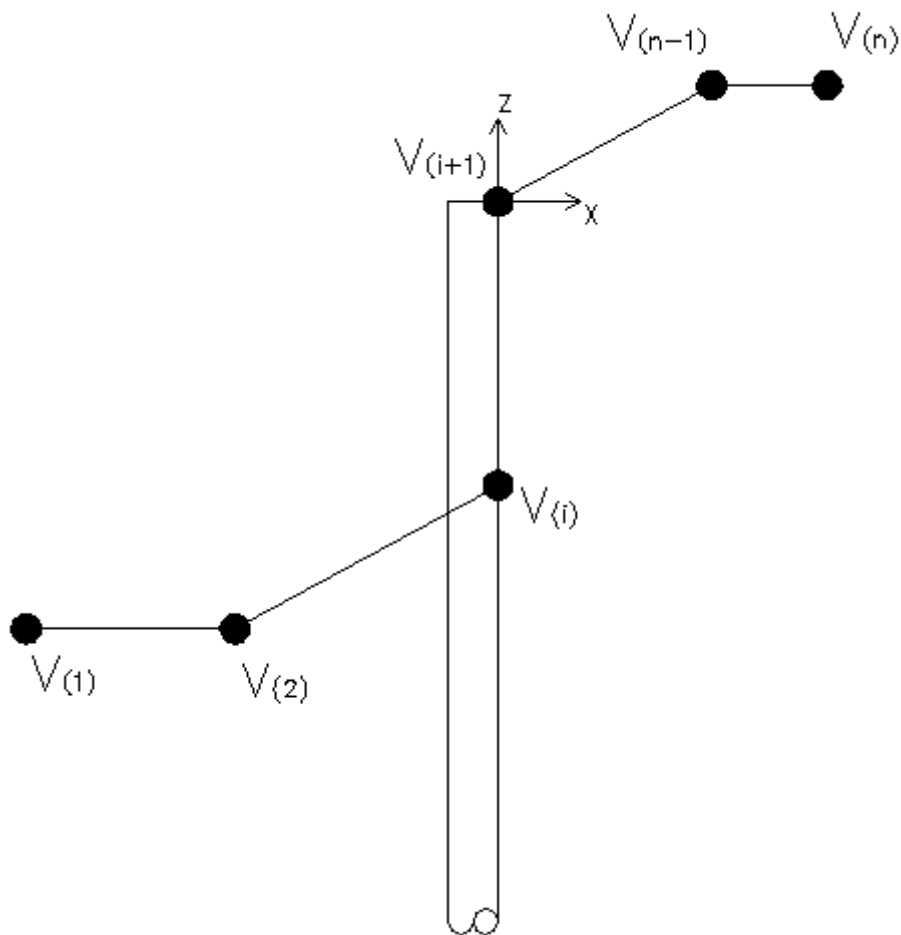
- **Inclinación terreno en el intradós (IV):**
Expresada en grados (depende principalmente de las condiciones topográficas del problema)
- **Longitud tramo trasdós (LM):**
Expresada en m (valen las mismas observaciones de la Longitud tramo intradós)
- **Inclinación terreno en el trasdós (IM):**
Expresada en grados (el valor está en función de la conformación topográfica del caso en examen)
- **Pendientes de cálculo perfil:**
Expresadas en grados, tanto en el trasdós como en el intradós, representan los valores que usa el programa para calcular el empuje con perfil inclinado. Estos valores están en función de la conformación topográfica del caso en examen, pero es necesario señalar que las fórmulas utilizadas para calcular los empujes activos y pasivos, generalmente tiene una validez limitada debida propio a este parámetro.
- Existe la posibilidad de visualizar la numeración de los vértices

Nota: La introducción de los datos en términos de ángulos y distancias es sólo un instrumento adicional y no un sustituto de la introducción de los vértices en términos de coordenadas. De hecho, después de insertar los ángulos y las distancias es necesario pinchar el botón Generar coordenadas, el cual conduce a la ventana de los vértices.

Dada la importancia de introducir los datos en términos de coordenadas de los vértices, es necesario hacer algunas aclaraciones:

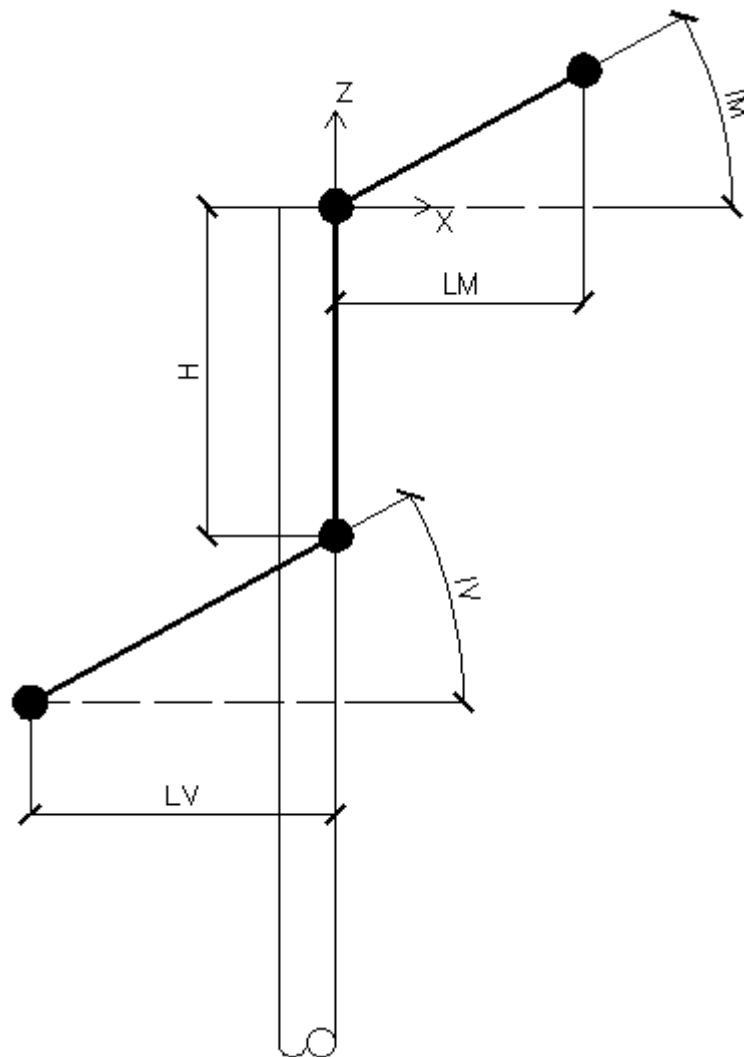
- El sistema de referencia respecto al cual se definen las coordenadas de los vértices tiene siempre origen en la coronación de la pantalla.
- La secuencia de los vértices se debe introducir desde el intradós hacia el trasdós.

Se ilustra con la siguiente figura:

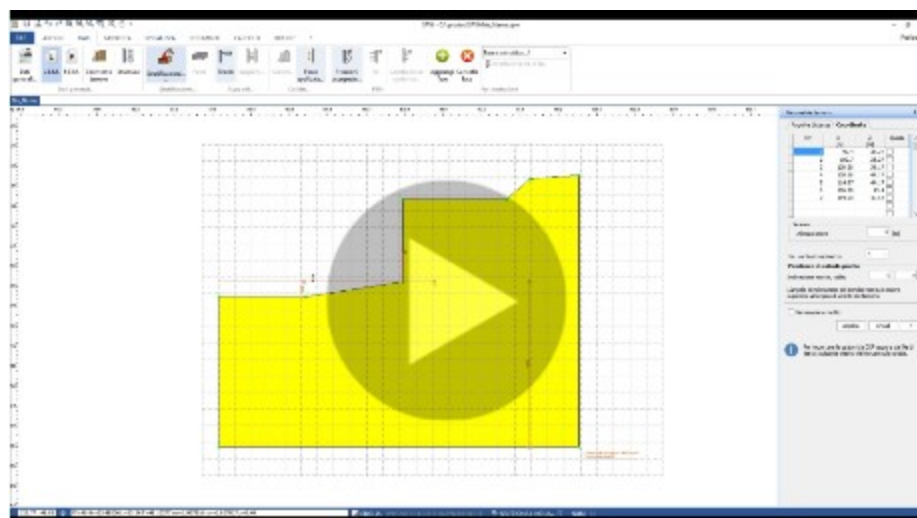


Esquema de referencia para indicar los vértices

Para completar, se presenta una figura como guía para introducir los datos geométricos con ángulos y distancias.

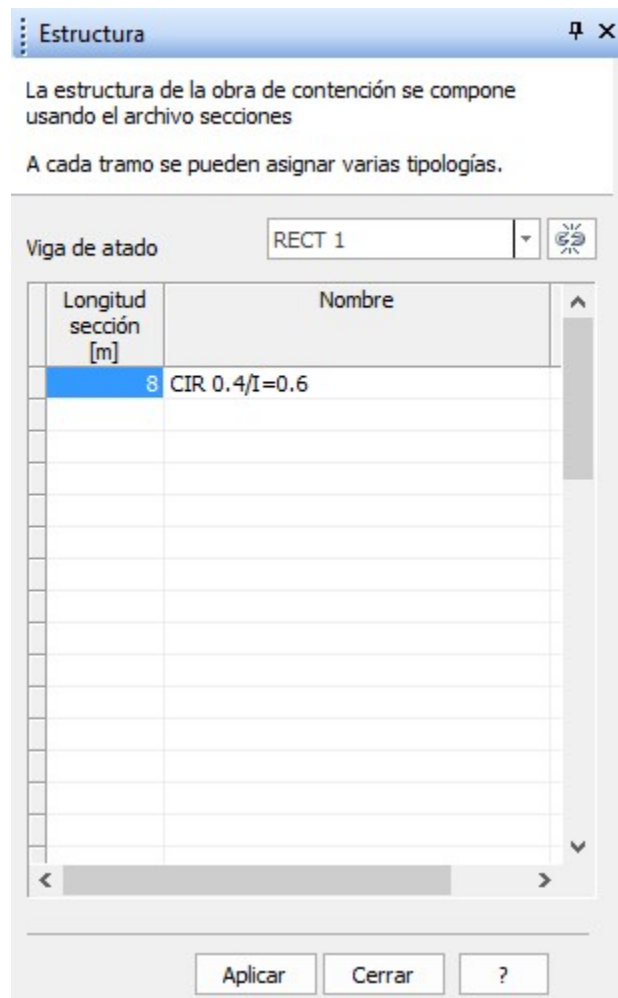


Esquema de referencia para indicar los datos con ángulos y distancias



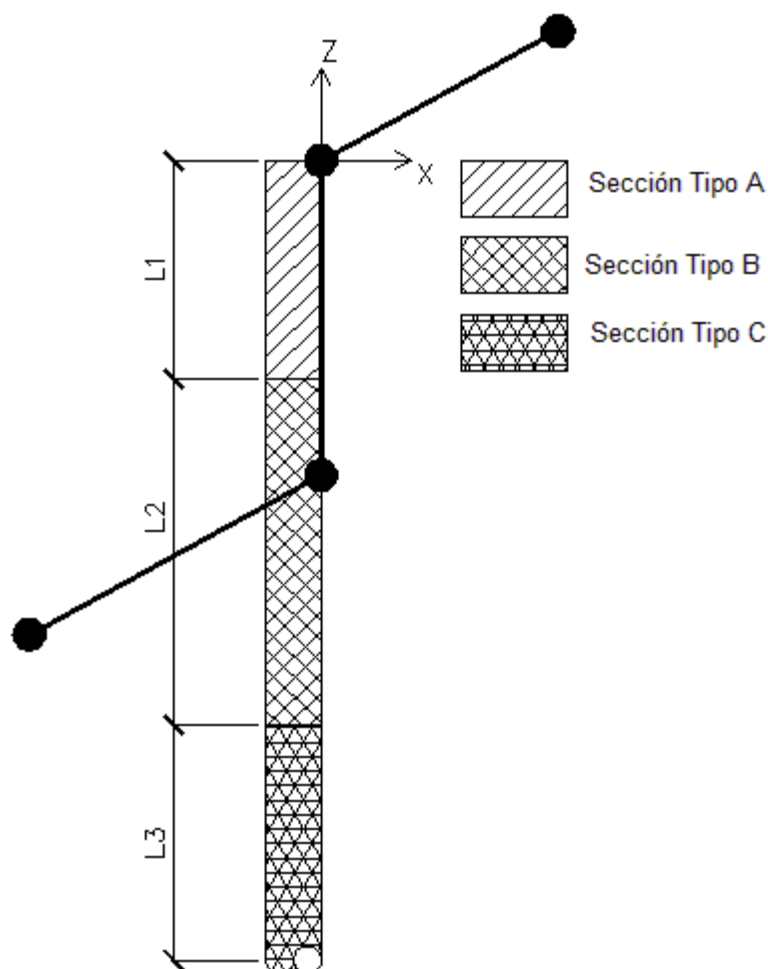
1.5.5 Estructura

Los datos de la estructura tienen que ver con la composición estructural de la pantalla. Con estos datos se define después la sección (o las secciones) de la pantalla, los materiales, etc. El ambiente de administración de los datos de la estructura es el siguiente:



Ambiente de administración de los datos de la estructura

La composición estructural se obtiene ensamblando elementos que pueden tener diferente sección. Así, por ejemplo, se pueden utilizar para la misma pantalla, diferentes secciones resistentes en tramos de excavación. En la siguiente figura se explica el concepto anterior:



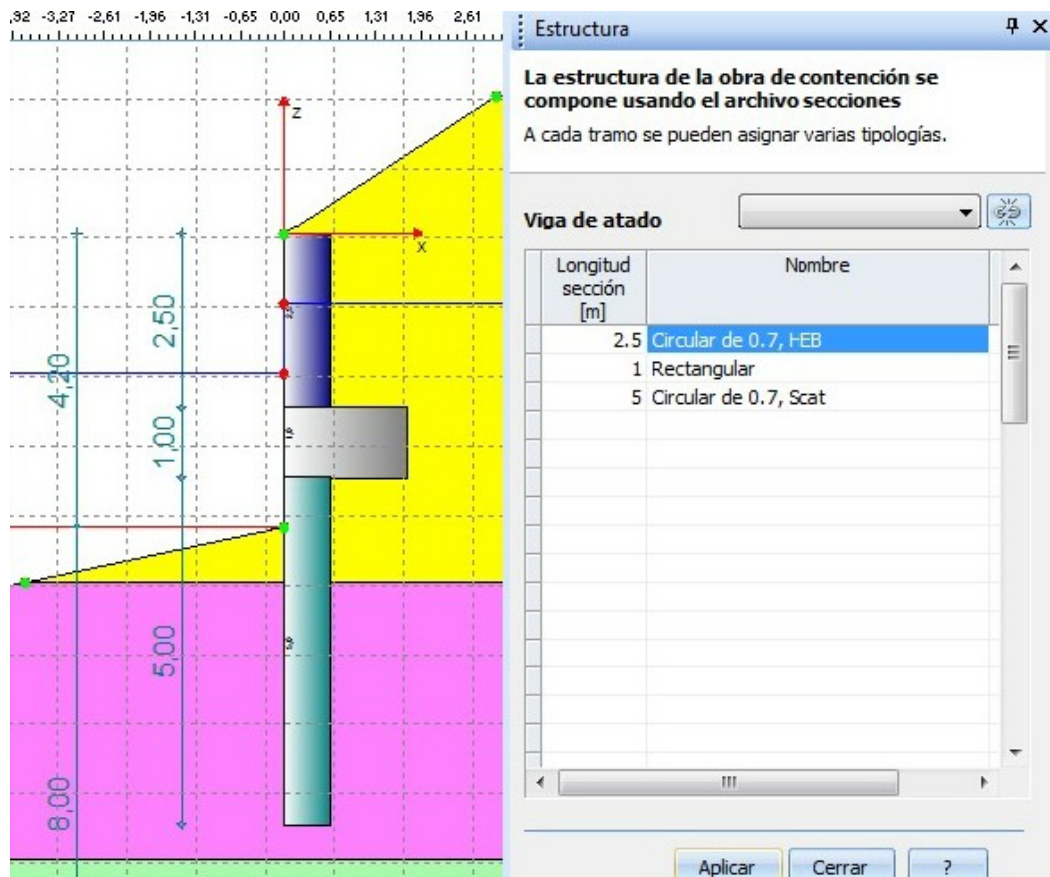
Composición estructura

Los datos a insertar de la estructura tienen que ver con cada tramo en donde la sección puede cambiar. Por lo tanto, para tramo, es necesario definir:

- Longitud del tramo (L_i en la figura):
Expresada en m, representa un tramo con sección constante. Es una buena práctica utilizar secciones con características iguales en toda la pantalla, sin embargo cuando es necesario contar con diferentes tipos de secciones, se deben evitar tramos con longitud demasiado corta.
- Tipo de sección a asociar al tramo considerado:
Se puede elegir entre los diferentes tipos de sección definidos en el Archivo secciones.
Hacer clic en el botón "Aplicar" para hacer los cambios.

Nota: Las longitudes se refieren a cada tramo y se debe respetar la continuidad estructural de la obra (iniciando desde el final del tramo anterior). La longitud del primer tramo se define partiendo desde cero en el sistema de referencia.

En la siguiente figura, tomada del software, se muestra el esquema de una pantalla compuesta por varios tipos de secciones:



Pantalla compuesta por varios tipos de secciones

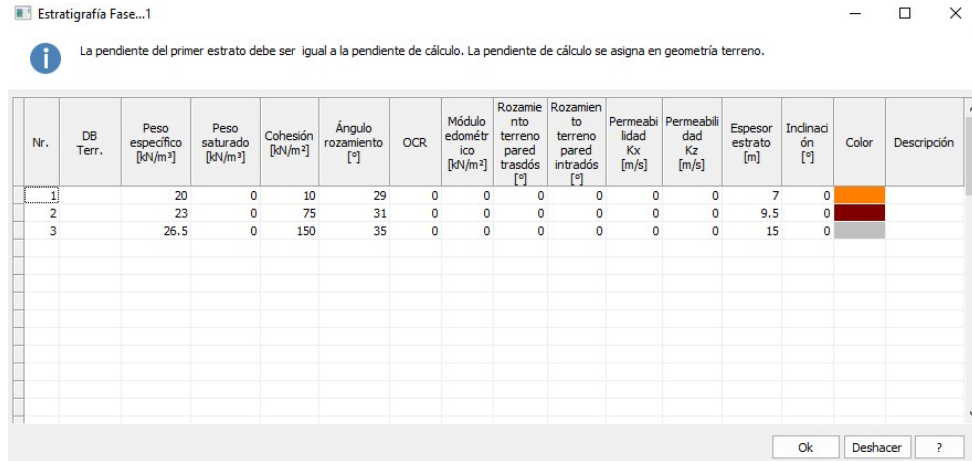
- Viga de coronación

En el menú desplegable Viga de coronación se puede seleccionar la sección que representa la viga de coronación.

Haciendo clic en "Aplicar" se incluye la viga de coronación. Para eliminarla hacer clic en el botón junto al menú desplegable y después pinchar "Aplicar".

1.5.6 Estratificaciones

En cada fase de análisis se pueden definir diferentes estratificaciones. Cada estratigrafía se caracteriza por la presencia de varios materiales (varios suelos). El ambiente de las estratificaciones es el siguiente:



Ambiente de administración de las estratificaciones

En cada estrato se deben especificar los siguientes datos:

N.º: Identifica el estrato con un índice numérico creciente que va desde el más superficial (arriba) al más profundo (por debajo).

DB Terrenos: Permite establecer características iniciales tomadas del database de terrenos del programa. Véase Database características físicas suelos.

Peso específico: Expresado en kN/m³ (orden de tamaño = 17/20 kN/m³), representa el peso específico natural del suelo.

Peso saturado: Expresado en kN/m³ (orden de tamaño = 18/21 kN/m³), representa el peso específico saturado a insertar en caso de estrato bajo nivel freático.

En caso de suelos con agua, para el análisis en condiciones drenadas, el programa calcula las presiones eficaces a partir del peso específico aligerado.

Cohesión: Expresada en kN/m² (orden de tamaño 1/5 kN/m²)

Ángulo de rozamiento interno: Expresado en grados (orden de tamaño = 22/30°)

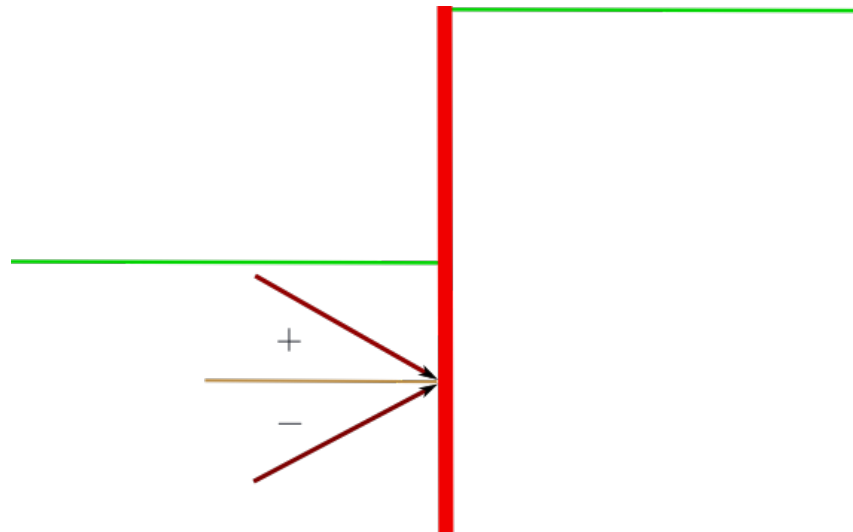
Grado de sobreconsolidación (OCR): Depende de la historia de tensiones del sitio examinado (orden de tamaño = 1/2)

Módulo edométrico: Es el módulo de elasticidad normal del suelo estimado en condiciones edométricas. Expresado en kN/m² (orden de tamaño = 10000 kN/m²);

Ángulo de rozamiento terreno-pared trasdós: Expresado en grados (orden de tamaño = 10/12°, generalmente la normativa establece valores no mayores a 2/3 del ángulo de rozamiento interno del terreno)

Ángulo de rozamiento terreno-pared intradós: Expresado en grados (valen las mismas observaciones del punto anterior).

El valor puede ser con signo positivo o negativo: en caso de signo positivo, el empuje pasivo se da desde arriba hacia abajo; si el signo es negativo el empuje pasivo es desde abajo hacia arriba.



Dirección del empuje pasivo

El ángulo de rozamiento terreno-pared intradós debe ser inferior a $\varphi/2$. En caso contrario es necesario estimar la no coplanariedad de las superficies de deslizamiento.

Permeabilidad K_x : Expresada en m/s

Permeabilidad K_y : Expresada en m/s;

Espesor del estrato: Se calcula partiendo desde el punto inferior del estrato precedente. Expresado en m

Inclinación del estrato: Expresado en grados

Color: Identifica el estrato en el diseño

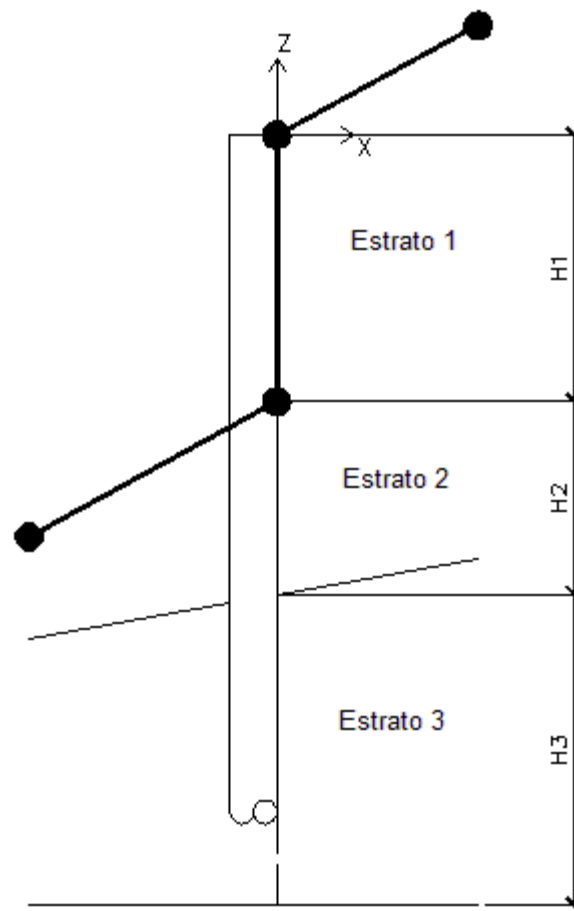
Descripción: Nombre que el usuario da al estrato

Nota: Se debe hacer referencia a los parámetros característicos del terreno.

Con respecto a la definición del espesor del estrato y a su inclinación, es necesario aclarar:

Espesor del estrato:

El espesor del estrato se mide a lo largo de la vertical que pasa por el origen del sistema de referencia fijado (el cual, recordamos, coincide con la coronación de la pantalla). Para más claridad, ver la siguiente figura:



Definición del espesor del estrato

Inclinación del estrato:

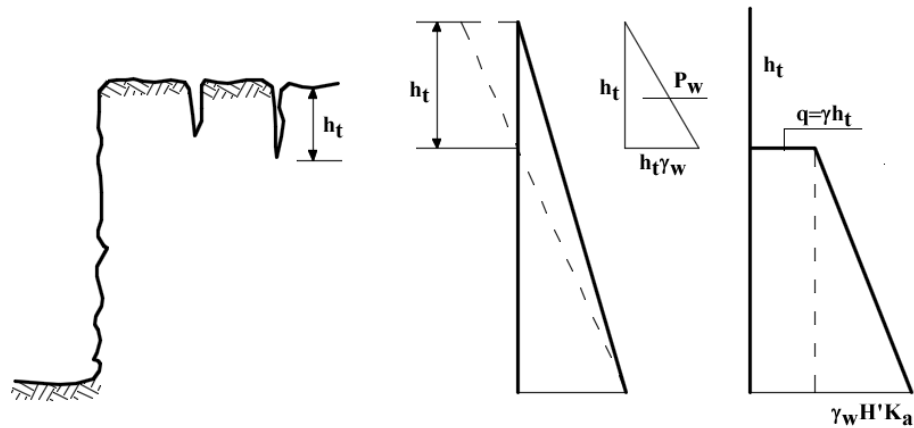
La inclinación del estrato es el ángulo de rotación del fondo del estrato considerado. La rotación del estrato está definida con respecto al polo que se obtiene de la intersección entre la línea vertical que pasa por el origen y la línea horizontal que identifica la parte inferior del estrato a definir.

Cuando el terraplén está constituido por terreno cohesivo, pueden ocurrir zonas de tracción.

No confíe en la zona de tracción para reducir la presión lateral. En cambio, se debe asumir que se puede formar y llenar de agua.

En presencia de una zona de tracción, se sugiere adoptar las dos indicaciones mostradas en la figura, considerar el bloque de tracción como una sobrecarga y considerar la presión (empuje) del agua contenida en las fracturas de tracción.

Se sabe que los suelos cohesivos tienden a perder cohesión cuando están expuestos a una excavación debido a la absorción de humedad y/o a la formación de fracturas de tracción.



Fracturas de tracción y diagrama de presión sugeridos en presencia de suelos cohesivos

1.5.7 Nivel Freático

La presencia de nivel freático condiciona el cálculo, ya sea desde el punto de vista geotécnico que desde el punto de vista estructural; por este motivo el software toma en cuenta el efecto del agua, inclusive en relación con potenciales problemas de filtraciones. El ambiente de administración del nivel freático es el siguiente:

Nivel freático

Nivel freático

Profundidad nivel freático trasdós [m]

Profundidad nivel freático intradós [m]

Seguridad sifonamiento Fs:

Activar presencia niv. freático en esta fase

Retículo de flujo

Espesor estrato impermeable [m]

Espaciado líneas de flujo [m]

Vista mesh Vista líneas de flujo

Color: Mesh, líneas de flujo

Generar retículo de flujo

Ambiente de administración del nivel freático

Los datos a indicar, relacionados con el nivel freático, son los siguientes:

Profundidad nivel freático en el trasdós: Es la profundidad del pelo libre de agua en el trasdós de la pantalla, con respecto al plano horizontal del sistema de referencia general, expresada en m.

Profundidad nivel freático en el intradós: Es la profundidad del pelo libre de agua en el intradós de la pantalla, con respecto al plano horizontal del sistema de referencia general, expresada en m.

Seguridad frente al sifonamiento: Permite efectuar o no la verificación del sifonamiento (obligatoria por ley). Esta comprobación se lleva a cabo en la primera línea de flujo, o sea la más corta.

Activar presencia nivel freático en esta fase: Como se mencionó anteriormente, el software permite definir varias fases de cálculo. Con este dato es posible indicar si se debe considerar el nivel freático en el cálculo de la fase corriente.

Espesor estrato impermeable: Determinar a qué profundidad se ubica el estrato impermeable, expresado en m.

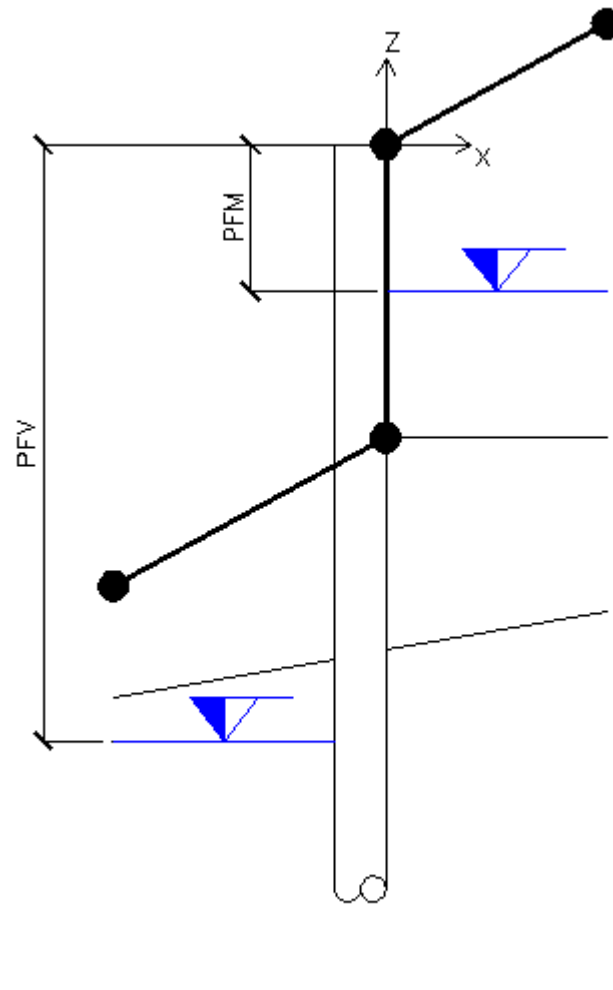
Espaciado líneas de flujo: Define la densidad de visualización de las líneas de flujo, expresado en m.

Vista mesh: Permite ver la rejilla de cálculo utilizada para la solución del problema de la filtración.

Vista líneas de flujo: Permite ver las líneas de flujo. Además se pueden elegir los colores de la rejilla de cálculo y de la línea de flujo.

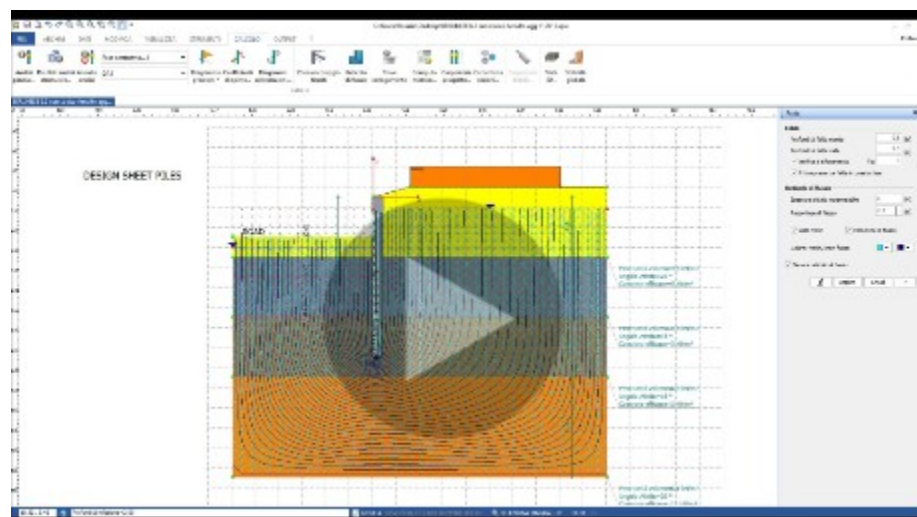
Generar retículo de flujo: Permite realizar el análisis de filtración.

Con respecto a los datos que definen el perfil del nivel freático, es útil hacer referencia a la siguiente figura:



Definición del perfil nivel freático

En la figura, PFM es la que en la ventana de los datos del nivel freático se define como Profundidad nivel freático en el trasdós, mientras que PFV es la que se define como Profundidad nivel freático en el intradós.



1.5.8 Anclajes

Una parte de este argumento se ha discutido ya en la sección Vigas de reparto anclaje. En esta sección se discute de la inserción de los anclajes. El ambiente de inserción de los anclajes es el siguiente:

Anclajes Fase...1 ×

Descripción	x [m]	z [m]	Inclinación [°]	Intereje [m]	Ángulo rozamiento	Adhesión [kN/m ²]	Tipo	Viga	Activo Pasivo	Tesado inicial [kN]	Carga última [kN] [0=Automatic]

Factor de seguridad FS: Método equilibrio límite

Coefficiente reductor Rowe Extremo fijo Extremo libre

Coefficiente empuje (0=Automático) K:

Factor seguridad (Fs) = 1.1 temporales máx 18 meses de vida, 1.2 permanentes con mantenimiento

Ambiente de inserción de los anclajes

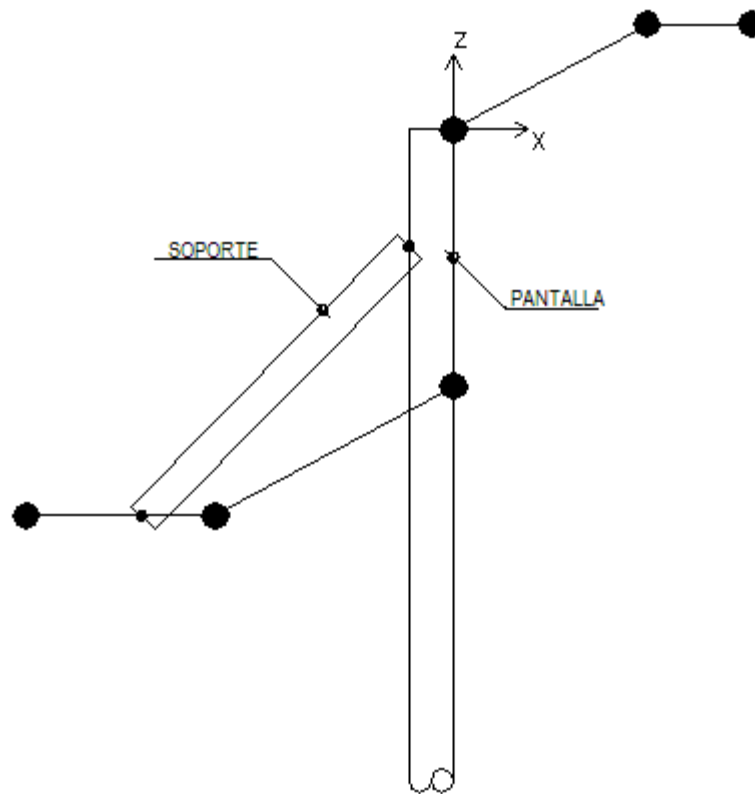
Para definir correctamente los anclajes son necesarios los siguientes datos:

- Descripción: Le permite al usuario identificar, por medio de un nombre, el anclaje insertado.
- x: Es la abscisa, en el sistema de referencia general, donde se inserta el anclaje, expresada en m.
- z: Es la cota, medida a lo largo de la vertical que pasa por el sistema de referencia general, a la cual se inserta el anclaje, expresada en m.
- Inclinación: Es el ángulo de inclinación que el eje del anclaje forma con el eje horizontal del sistema de referencia general, expresado en grados (nota: la inclinación es positiva si va en el sentido de las manecillas del reloj).
- Intereje: Es la distancia, medida perpendicularmente al plano del diseño (dirección general y), que hay entre dos anclajes contiguos, expresada en m.
- Ángulo de rozamiento: Es el ángulo de rozamiento entre el bulbo y el terreno donde está anclado el tirante (orden de tamaño=ángulo de rozamiento interno terreno), expresado en grados

- Adhesión: Es una medida de la cohesión que se mide en la interfaz entre bulbo y terreno (en la zona de anclaje), expresada en kN/m^2 ;
- Tipología: Es el tipo de anclaje. Se selecciona en el Archivo anclajes.
- Viga de reparto: Es la viga por medio de la cual el anclaje está unido a la pantalla. Se selecciona en el Archivo vigas de reparto.
- Activo/Pasivo: Con esta opción se decide si el anclaje es activo (anclaje pretensado) o pasivo.
- Tesado inicial: En caso de anclajes activos, definir el tipo de pretensado, expresado en KN.
- Carga última: Es la carga última del anclaje. Si se pone igual a 0, el programa determina automáticamente dicho valor.
- Factor de seguridad: Factor de seguridad que se ha establecido con respecto al colapso del anclaje.
- Coeficiente reductor de Rowe: Es un coeficiente que depende de la deformabilidad del pilotaje y que reduce el momento máximo calculado en la pantalla.
- Base libre o empotrada (véase L.E.M.): Establece si el anclaje implica un vínculo fijo para la pantalla (Extremo fijo) o por el contrario, si se puede considerar inexistente en términos de vínculos.
- Coeficiente de empuje: véase Cálculo carga última anclajes.

1.5.9 Soportes

Los soportes son elementos que aumentan la resistencia de la pantalla. Estos, a diferencia de los anclajes, están prevalentemente sometidos a compresión; por lo que cambia la naturaleza de las verificaciones a efectuar. En la siguiente figura se muestra esquemáticamente el utilizzo de puntales como soporte:



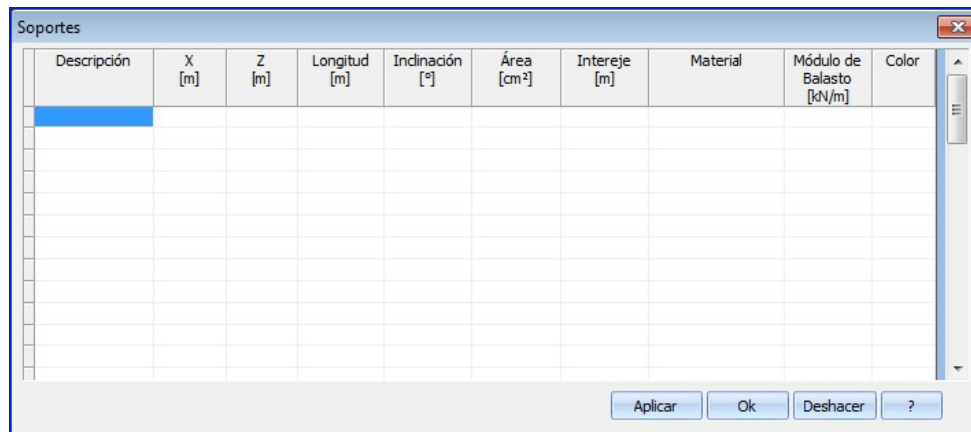
Esquema de soporte con puntales

Las comprobaciones de resistencia de los puntales son las que se efectúan clásicamente en los miembros complejos, por lo tanto:

- Verificación de la resistencia a compresión: Se estima la máxima tensión de compresión y se compara con la tensión de rotura a compresión del elemento comprimido.
- Verificación con respecto al colapso por inestabilidad: Como bien se sabe, los miembros comprimidos presentan el problema de la inestabilidad estructural; por lo tanto se hace necesario comprobar que el esfuerzo normal agente sobre el puntal sea menor o por lo menos igual a la carga crítica del puntal.

El soporte es un elemento que se puede insertar solo cuando se selecciona el método FEM y dicho elemento reacciona solo cuando se dan desplazamientos de la pantalla hacia el intradós.

El ambiente de administración de los soportes es el siguiente:

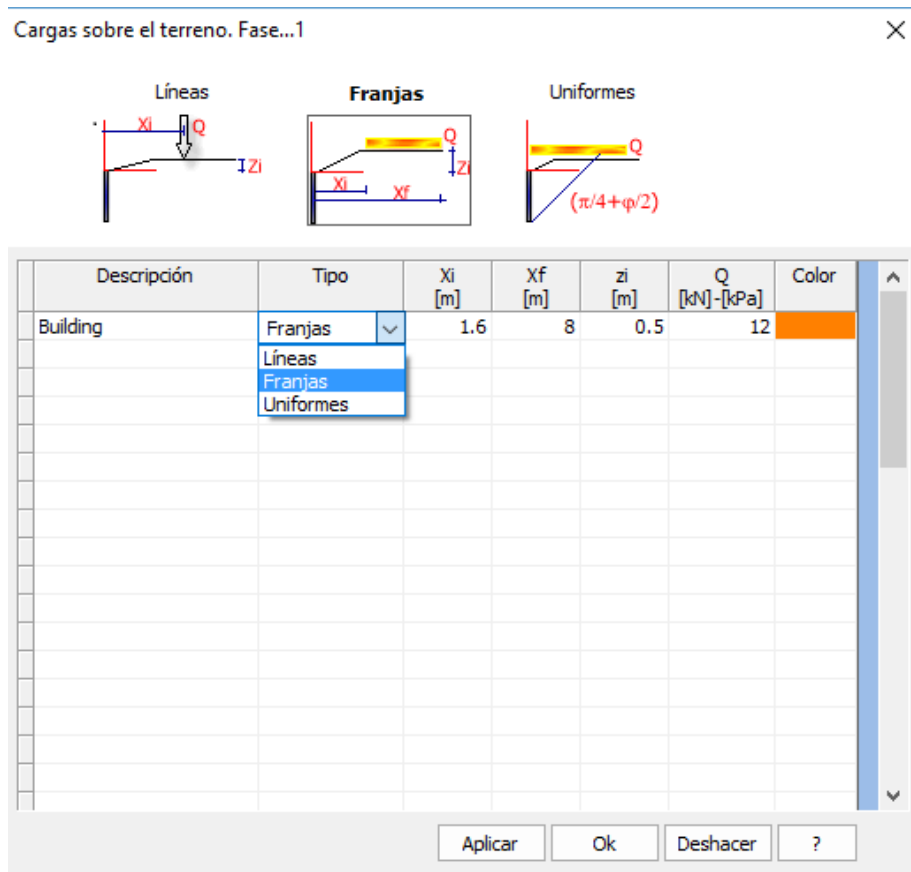


Ambiente de inserción de los soportes

- Descripción: Le permite al usuario identificar, por medio de un nombre, el soporte insertado.
- x: Es la abscisa, en el sistema de referencia general, donde se inserta el soporte, expresada en m.
- z: Es la cota, medida a lo largo de la vertical que pasa por el sistema de referencia general, a la cual se inserta el soporte, expresada en m.
- Longitud: Es la longitud del soporte, expresada en m.
- Inclinación: Es el ángulo de inclinación que el eje del soporte forma con el eje horizontal del sistema de referencia general, expresado en grados (nota: la inclinación es positiva si va en el sentido de las manecillas del reloj).
- Área: Área de la sección del soporte, expresada en cm^2 ;
- Intereje: Es la distancia, medida perpendicularmente al plano del diseño (dirección general y), que hay entre dos soportes contiguos, expresada en m.
- Material: Material a asociar al tipo de soporte, deriva de Archivo Materiales;
- Módulo reacción: Módulo de reacción del soporte, igual a la rigidez axial del elemento, expresado en kN/m
- Color: Se puede además asignar un color que identifique al soporte.

1.5.10 Cargas

En el SPW se puede tener en cuenta la presencia de posibles cargas repartidas sobre el relleno en términos de Líneas, Franjas o Cargas Uniformes. El ambiente de administración de los tipos de carga es el siguiente:



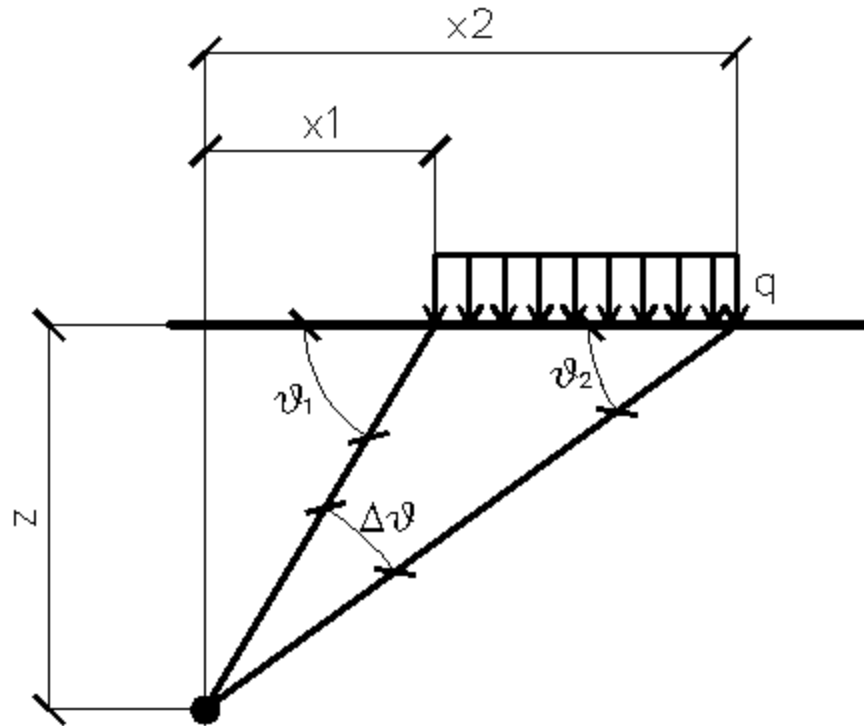
Ambiente de administración de las cargas repartidas

Los datos a insertar para definir correctamente una carga son los siguientes:

- Descripción: Identifica la carga. Este dato es necesario para reconocer la acción en las combinaciones de carga.
- Tipo: Se puede elegir entre líneas de carga, franjas de carga, o cargas uniformemente repartidas.
- x_i : Es la abscisa a partir de la cual la carga comienza a actuar. En caso de líneas de carga, es la abscisa que define la aplicación de la línea de carga. Se expresa en m.
- x_f : Se requiere este dato cuando se definen franjas de carga o cargas uniformes. Es la abscisa final de la carga (por lo tanto establece la extensión de la carga). Se expresa en m.
- z_i : Profundidad expresada en m. Su validez es solo gráfica, por lo tanto el incremento de tensión provocado por la sobrecarga se determina a partir de la coronación de la pantalla.
- Q: Intensidad de la carga, expresada en kN (si se trata de línea de carga) o en kN/m^2 si se trata de de carga y de carga uniforme.
- Color: Se asigna el color con el que se verá la franja de carga.

Nota: Las cargas se distribuyen por metro lineal en dirección longitudinal.

La siguiente figura es útil para interpretar los diferentes tipos de cargas:



Franjas de carga ortogonales

Con las Franjas de carga se estima la distribución de las tensiones en función de la profundidad z .

Una carga repartida en modo parcial con abscisa inicial x_1 y abscisa final x_2 genera un diagrama de presiones en la pared cuyos valores se determinan según la fórmula de TERZAGHI, que exprime la presión en la profundidad genérica z como a continuación:

$$\sigma_q(z) = \frac{Q}{2\pi \times (2\Delta\theta + A)}$$

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2;$$

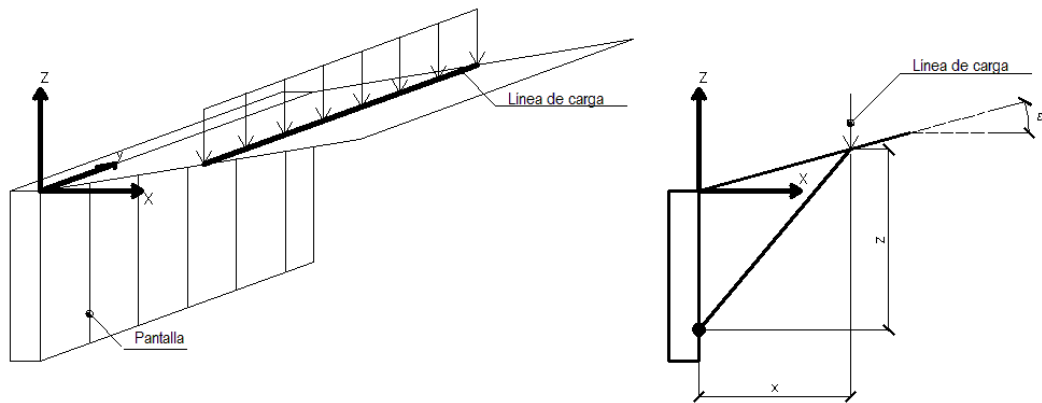
$$A = \text{sen}(2\theta_1) - \text{sen}(2\theta_2)$$

$$B = \text{cos}(2\theta_1) - \text{cos}(2\theta_2)$$

$$\theta_1 = \text{arctg}(z/x_1)$$

$$\theta_2 = \text{arctg}(z/x_2)$$

Por integración se obtiene el resultado y el relativo brazo.



Esquema de las líneas de carga

Con las líneas de carga, como con las franjas de carga, se estima la distribución de las tensiones en función de la profundidad z . Las líneas de carga generan un incremento de presiones en la pared que según BOUSSINESQ, en la profundidad z , se pueden expresar como a continuación:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x^2 \cdot z \cdot (x^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$\tau_{xz}(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x \cdot z^2 \cdot (x^2 + z^2)^{3/2}}$$

Donde los símbolos tienen el siguiente significado:

V = Intensidad de la carga expresada en $[F/L]$;

X = Distancia, en proyección horizontal, del punto de aplicación de la carga de la pared

Si el plano de acción tiene una inclinación de ϵ , el sistema de referencia cambia de (x, z) a (X, Z) , por medio de la siguiente transformación:

$$\begin{cases} X = x \cdot \cos(\epsilon) - z \cdot \sin(\epsilon) \\ Z = z \cdot \cos(\epsilon) + x \cdot \sin(\epsilon) \end{cases}$$

Una carga Q , uniformemente repartida en el plano del terreno provoca presiones constantes iguales a:

Integrando la tensión en la fórmula precedente se obtiene el empuje total debido a la sobrecarga:

$$S_q = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)} \cdot H$$

Con punto de aplicación en $H/2$ (la distribución de las tensiones es constante). Los símbolos de las fórmulas anteriores tienen los siguientes significados:

= Inclination de la pared interna con respecto al plano horizontal pasante por el pie

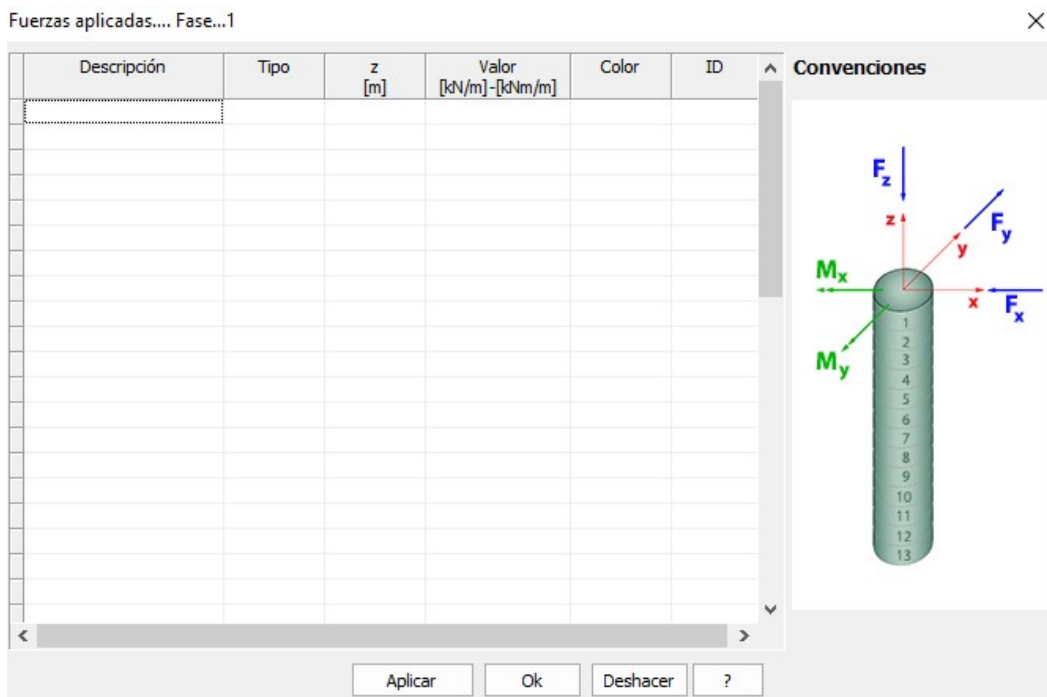
= Inclination del plano del terreno con respecto al plano horizontal. Positiva si va en dirección contraria a las manecillas dl reloj.

K_a = Coeficiente de presión activa calculado en el párrafo anterior.

Nota: La carga uniforme se distribuye automáticamente desde la coronación de la pantalla, en toda la amplitud de la cuña de rotura.

1.5.11 Fuerzas aplicadas

El software permite considerar fuerzas y momentos como cargas concentradas agentes en la pantalla. El ambiente de administración de las fuerzas concentradas es el siguiente:



Ambiente de administración de las fuerzas concentradas y convenciones con respecto a fuerzas y a momentos

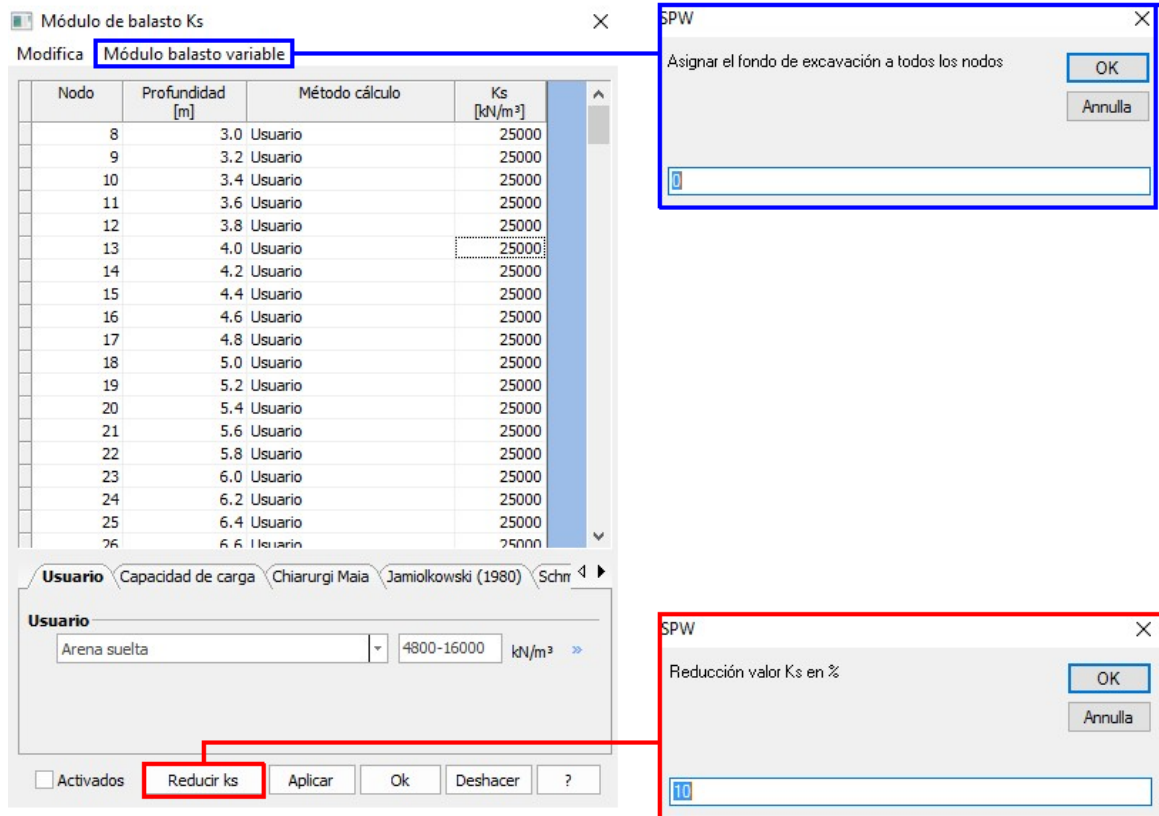
Los datos a insertar para definir correctamente una fuerza concentrada son los siguientes:

- Descripción: Identifica la fuerza con un nombre. Este dato es necesario para reconocer la fuerza en las combinaciones de carga.
- Tipo: Este dato identifica el tipo y la dirección a lo largo de la cual actúa la fuerza. Se puede elegir entre las siguientes tipologías de carga:
 - Fz, expresada en kN/m. Es una fuerza vertical, cuya dirección por lo tanto coincide con el eje vertical de referencia.
 - Fx, expresada en kN/m. Es una fuerza horizontal cuya dirección coincide con el eje de referencia horizontal del plano del diseño.
 - Fy, expresada en kN/m. Es una fuerza horizontal cuya dirección coincide con el eje de referencia ortogonal al plano del diseño.
 - Mx, expresada en kNm/m. Es un momento que tiene como eje vector el eje horizontal de referencia del plano del diseño.
 - My, expresada en kNm/m. Es un momento que tiene como eje vector el eje de referencia ortogonal al plano del diseño.
- z: Expresada en m. Es la cota del punto de aplicación de la fuerza (o del momento).
- Valor: Es el valor de la intensidad de la fuerza. El signo concuerda con el sistema de referencia global, expresado en kN/m (para las fuerzas) o en kNm/m (para los momentos).
- Color: Es el color de la imagen de la fuerza.
- ID: Es un índice identificativo de la fuerza.

1.5.12 Presiones asignadas

La distribución de las presiones en la pantalla (inclusive cuando se calculan las fuerzas nodales con el método FEM) se establece aplicando los métodos clásicos (por ejemplo el cálculo de la presión horizontal con el método Rankine); sin embargo es posible encontrar situaciones en las cuales la distribución de las presiones horizontales, si bien se conoce, no presenta la tendencia que se ha supuesto.

El software permite manejar esta situación, pues se puede manipular la distribución de presiones calculada, integrándola o sustituyéndola con una distribución agregada por el usuario. El ambiente de administración de las presiones asignadas es el siguiente:



Ambiente de administración del módulo de balasto

Los datos para establecer el valor del módulo de balasto son los siguientes:

- **Nodo:** Es el nodo (en el ámbito de la discretización por elementos finitos) en el cual se desea colocar la rigidez asignada.
- **Profundidad:** Es la profundidad a la cual se encuentra el nodo, o eventualmente la profundidad a la cual se desea fijar el módulo de balasto.
- **Método Cálculo:** Es el método de cálculo con el cual se debe determinar el módulo de balasto. El software permite elegir entre las siguientes posibilidades:
 - **Usuario:** Desde el cuadro de texto despegable el usuario puede seleccionar diferentes terrenos, a cada uno de los cuales se asocia un rango de valores del módulo de balasto ks. Se puede insertar directamente el valor numérico del módulo de balasto y hacer clic en la flecha celeste para asignar dicho valor.
 - **Capacidad portante:** Según el método que aplica los conceptos de capacidad portante, el módulo de balasto se calcula con la siguiente fórmula:

El usuario debe indicar los parámetros A_s , B_s y n de manera que el software calcule el módulo de balasto aplicando la fórmula.

- **Método de Chiarurgi Maia:** Este método calcula el módulo de balasto en función del módulo edométrico, del diámetro del pilotaje y del

coeficiente de Poisson. La fórmula aplicada para calcular el módulo de balasto con este método es la siguiente:

$$k_s = \frac{E_{ed}}{d \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{E_{ed} \cdot d^4}{EJ} \right)^{\frac{1}{12}}$$

Donde: E_{ed} es el módulo edométrico del terreno, d es el diámetro del pilote, ν es el coeficiente de Poisson y EJ es la rigidez flexional del pilotaje.

- Método de Jamiolkowski: Este método calcula el módulo de balasto en función de los siguientes parámetros:
 - Módulo de elasticidad secante, expresado en kPa
 - Coeficiente adimensional que depende del modelo de vínculo asumido para el cálculo de la pantalla (vale 1 para pantallas libres)
 - Coeficiente adimensional que depende de la profundidad a la cual calcular el módulo de balasto
 - Profundidad de hincada de la pantalla, expresada en m.

Específicamente, el método de Jamiolkowski se refiere al módulo de elasticidad secante del terreno correspondiente a la movilización del 50% de la presión límite ($E_{s,50}$). Para calcular el módulo de balasto se aplica la siguiente fórmula:

$$k_s = \frac{E_{s,50}}{\rho \cdot t} \cdot C_p$$

Donde: t es igual a la profundidad de hincada, ρ es un coeficiente adimensional igual a 1 en diafragma libre en el pie o la relación entre la posición del punto con deslizamiento nulo por debajo del fondo de excavación y la profundidad de hincada por diafragma con empotramiento parcial en el pie. C_p es un coeficiente adimensional de profundidad, estimado con siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{z}{t} \right)$$

- Método de Schmitt: Este método calcula el módulo de balasto en función del diámetro de la sección, del módulo elástico del terreno y del módulo elástico del material de la estructura. En particular, Schmitt propone hacer referencia al módulo edométrico del terreno E_{ed} y a la rigidez relativa de la obra de contención (expresada con la longitud característica de las vigas de Winkler), obteniendo:

$$k_s = 2.1 \cdot \frac{E_{ed}^{\frac{4}{3}}}{EJ^{\frac{1}{3}}}$$

donde: E_{ed} es el módulo edométrico del terreno, mientras EJ representa la rigidez flexional de la pantalla.

- Método de Menard: Este método calcula el módulo de balasto del terreno en función de los resultados de ensayos efectuados con el presiómetro de Menard. En particular, el módulo de balasto se estima en función de:
 - Módulo presiométrico E_M , expresado en kN/m^2
 - Coeficiente que toma en cuenta el comportamiento viscoso (coeficiente adimensional)
 - Longitud característica, expresada en m

Específicamente, este método se refiere al módulo presiométrico del terreno E_M , obtenido experimentalmente con el ensayo presiométrico, muy utilizado en Francia:

$$k_s = \frac{E_M}{\alpha \cdot \frac{L}{2} + 0.13 \cdot (9 \cdot L)^\alpha}$$

donde: alfa es un coeficiente que toma en cuenta el comportamiento viscoso del terreno y L es una longitud característica que el autor pone igual a $2/3$ de la profundidad de excavación de la pantalla.

Con el botón "Reducir k_s " se activa una ventana de diálogo en donde se introduce el porcentaje en el cual se desea reducir el módulo de balasto.

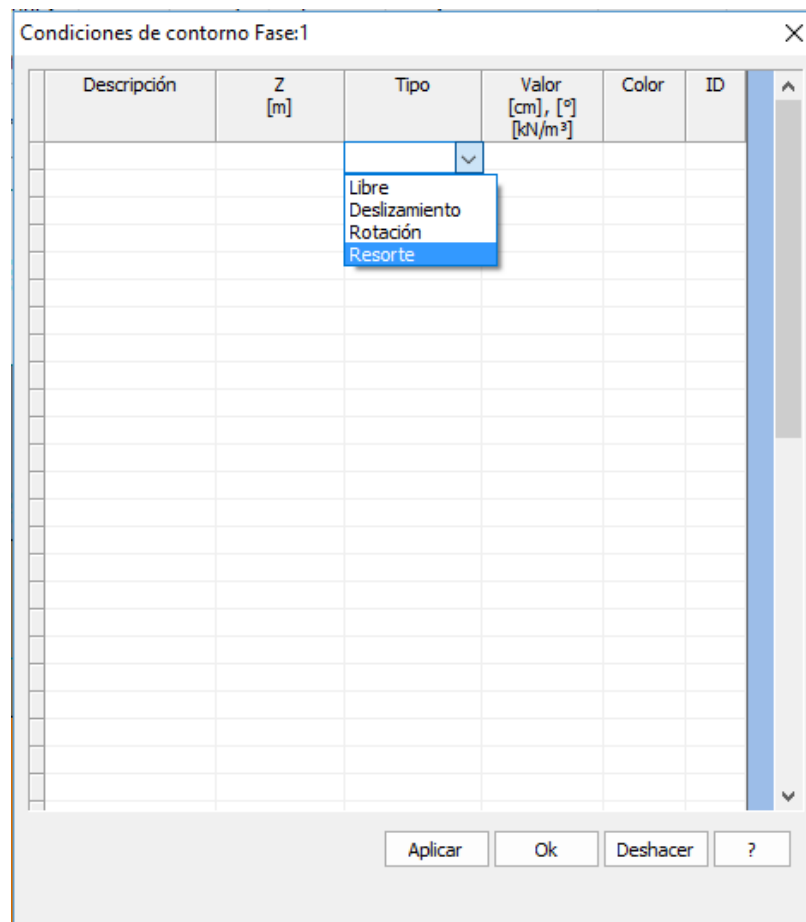
Además, es posible asignar automáticamente un valor al módulo de balasto en todos los nodos por debajo del fondo de excavación: seleccionar Módulo balasto variable/Asignar el fondo de excavación a todos los nodos bajo el fondo de excavación

Seleccionando la opción "Activados" y pinchando "Aplicar", se aplican los módulos de balasto asignados por el usuario.

1.5.14 Condiciones de contorno

En algunas situaciones pueden existir ciertas condiciones (concernientes por ejemplo a los deslizamientos, a la rotación o a los resortes), que deben ser respetadas a priori en el proceso de cálculo: se habla entonces de imposición de condiciones de

contorno. El software SPW permite administrar dichas condiciones de contorno en el siguiente ambiente:



Ambiente de administración de las condiciones de contorno

Los datos a insertar para establecer correctamente una condición de contorno son los siguientes:

- Descripción: Identifica condición de contorno con un nombre.
- Z: Expresada en m. Es la profundidad a la cual imponer la condición de contorno.
- Tipo: Es el tipo de condición que se puede manejar. Con SPW se pueden manejar las siguientes condiciones de contorno:
 - Libre. Con esta condición se establece que el nodo de la cota z sea libre y por lo tanto que no esté vinculado de ninguna manera.
 - Deslizamiento, expresado en m. Es posible imponer que, a una determinada profundidad (z), el deslizamiento sea igual al establecido.
 - Rotación, expresada en grados. Es posible imponer que, a una determinada profundidad (z), la rotación de la línea elástica de la pantalla sea igual a la que se ha establecido.
 - Resorte. Se puede insertar, a profundidad z, un resorte que simula un vínculo que cede elásticamente.
- Valor: Es el valor de la condición de contorno impuesta. La unidad de medida a considerar está en función del tipo de condición establecido

(m con los deslizamientos, grados con las rotaciones, kN/m³ con los resortes).

- Color: Indica el color de visualización de la condición establecida.
- ID: Es el índice que identifica unívocamente la condición de contorno que se ha impuesto.

1.5.15 Fases de construcción

Añadir fase: Permite insertar una fase de análisis a profundidades crecientes

Borrar fase: Permite borrar fase de análisis corriente

Interferencia entre las fases: Permite que haya interferencia entre las fases. Inicia cada fase basándose en la interacción con la fase precedente.

Incluso si no hay anclajes se notará una diferencia tensional entre las fases, debida a la interacción del campo tensional de la fase corriente con respecto a la precedente.

Los diagramas de las presiones se refieren al campo tensional de fase.

Con la activación de este comando se crean automáticamente las condiciones de carga en la fase corriente con base en la anterior.

Si existe entre las fases una diferencia de corrimiento, se activarán los anclajes pasivos.

En el análisis por fases no se puede calcular automáticamente la profundidad de hinca a elementos finitos.

Nota: Si el comando "Interferencia entre las fases" no está activo significa que no hay interferencia entre las fases.

1.6 Cálculo

1.6.1 Análisis

El análisis de la pantalla está organizado en fases de análisis y en combinaciones de carga. En particular, se pueden definir varias fases de análisis, las cuales se diferencian entre sí según los datos de input. Para cada fase de análisis se pueden definir diferentes combinaciones de carga. El ambiente que administra el análisis de la pantalla con las relativas fases de análisis y combinaciones de carga es el siguiente:

Análisis X

Nueva combinación Eliminar **Verificar** Regenerar combinación ?

Fases constructivas
 Fase constructiva 1
 Combinazione

Fase constructiva...1

Estados límite: S.L.U. ▾

Nombre combinación: Combinazione ▾

Coefficientes sísmicos: k_h 0.08 k_v 0.012

Tipo: GEO STR UPL, HYD

Nr.	Acciones	Factores combinaciones [A]
1	Own weight	1
2	Ground thrust	1
3	Groundwater thrust	1
4	x seismic thrust	1
5	y seismic thrust	1
6	Building	1

Nr.	Parámetro	Coef. Parciales [M]
1	Tangente ángulo resist. corte	1
2	Cohesión eficaz	1
3	Resistencia no drenada	1
4	Peso específico	1

Nr.	Capacidad de carga	Coefficientes resistencias [R]
1	Punta	1
2	Lateral compresión	1
3	Total	1
4	Lateral tracción	1
5	Horizontal	1

Síntesis resultados

Profundidad hincia: 5.00 [m]

Presión máxima terreno: 34.50 [kPa]

Momento máximo: 57.39 [kNm/m]

Corte máximo: 33.02 [kN/m]

Deslizamiento máximo H: 1.94 [cm]

Deslizamiento máximo V: 2.46 [cm]

Número de iteraciones efectuadas: 2 < 30

Carga límite vertical: kN, F_s $R_d = - F_v = -$ --

Factor seguridad levantamiento: 3.329


Ambiente de administración del análisis de la pantalla

La ventana de la figura anterior siempre es relativa a la fase de análisis (o fase constructiva) corriente.

Las principales consideraciones con respecto al procedimiento de análisis son:

- Es posible analizar varias fases de construcción y en cada fase constructiva es posible analizar varias combinaciones de carga. Para añadir una nueva combinación es suficiente con hacer clic en "Nueva combinación", para eliminar una combinación pinchar "Eliminar" después de haber seleccionado la combinación de interés. Para volver a las combinaciones que el programa da por defecto, hacer clic en "Regenerar combinación").
- Se puede asociar a cada combinación de carga el tipo de prueba a efectuar y si es verificación de estados límite últimos (ELU) o verificación de estados límites de servicio (ELS) y seleccionar el tipo GEO (geotécnico), STR (estructural) y UPL, HYD (hidráulico).
- Se pueden administrar los factores parciales amplificativos de cada carga, los coeficientes parciales reductores de los parámetros geotécnicos y de las resistencias.
- Los coeficientes sísmicos k_h y k_v asociados a las combinaciones sísmicas se pueden calcular automáticamente o introducirlos manualmente.
- Para efectuar el análisis de la pantalla (todas las fases y todas las combinaciones) es necesario hacer clic en el botón "Calcular".

Nota: Los coeficientes de combinación y la síntesis de los resultados de la ventana de diálogo Análisis se refieren a la combinación que el usuario selecciona en el cuadro marcado en rojo de la figura anterior.

 Con el fin de considerar en la fase de análisis las cargas insertadas, los sistemas de anclaje o de soporte, es necesario que el factor de combinación A sea diferente de 0!

Síntesis resultados

Se puede ver la síntesis de los resultados de cada fase constructiva y de cada combinación, específicamente se muestran los siguientes valores:

Profundidad de hinca

Presión máxima del terreno,

Momento máximo,

Corte máximo,

Deslizamiento máximo horizontal H con base en el cual el usuario establecerá si es un valor admisible para la pantalla en examen (el resultado se obtiene si se ha efectuado un análisis de tipo F.E.M.),

Deslizamiento máximo vertical V (el resultado se obtiene si se ha efectuado un análisis de tipo F.E.M.),

Número de iteraciones efectuadas (el resultado se obtiene si se ha efectuado un análisis de tipo F.E.M.),

Carga última vertical con Factor de seguridad FS (no se determina para secciones genéricas de input A, E, I, G).

Resultados anclajes y puntales

En presencia de anclajes y/o puntales se verán también estos resultados:

Anclajes

Denominación asignada al anclaje en la fase de input,

Q: carga última, expresada en kN,

R: reacción del anclaje, expresada en kN,

FS: factor de seguridad calculado como:

$$FS = Q/R$$

Verificación satisfactoria cuando $FS > 1$.

Nota: El programa calcula la resistencia del anclaje considerando la parte anclada (longitud del bulbo), mientras que el valor de la reacción se determina en función de la longitud de la parte libre.

Puntales

Denominación asignada al soporte en la fase de input,

Reacción del puntal, expresada en kN;

Factor de seguridad calculado como:

$$FS = (\text{Área} * F_{yd}) / \text{Reacción del puntal}$$

Verificación satisfactoria cuando $FS > 1$.

Los resultados son relativos a un metro lineal de pantalla.

Resultados adicionales

Haciendo clic en el botón resaltado en amarillo en la siguiente figura, se dispone de los siguientes resultados adicionales:

Análisis

Nueva combinación Eliminar **Verificar** Regenerar combinación ?

Fases constructivas
 Fase constructiva 1
 Combinazione

Síntesis resultados

Profundidad hinca 5.00 [m]
 Presión máxima terreno 34.50 [kPa]
 Momento máximo 57.39 [kNm/m]
 Corte máximo 33.02 [kN/m]
 Deslizamiento máximo H 1.94 [cm]
 Deslizamiento máximo V 2.46 [cm]
 Número de iteraciones efectuadas 2<30
 Carga límite vertical kN, Fs Rd=-- Fv=-- --
 Factor seguridad levantamiento 3.329

Fase constructiva...1

Estados límite S.L.U.
 Nombre combinación Combinazione
 Coeficientes sísmicos Kh 0.08 Kv 0.012
 Tipo GEO STR UPL, HYD

Nr.	Acciones	Factores combinaciones [A]
1	Own weight	1
2	Ground thrust	1
3	Groundwater thrust	1
4	x seismic thrust	1
5	y seismic thrust	1
6	Building	1

Nr.	Parámetro	Coef. Parciales [M]
1	Tangente ángulo resist. corte	1
2	Cohesión eficaz	1
3	Resistencia no drenada	1
4	Peso específico	1

Nr	Capacidad de carga	Coefficientes resistencias [R]
1	Punta	1
2	Lateral compresión	1
3	Total	1
4	Lateral tracción	1
5	Horizontal	1

Calcular Ok Deshacer ?

z [m]	Presión terreno [kPa]	Presión de poro [kPa]	Presión líneas carga [kPa]	Presión franjas carga [kPa]	Presión Sísmica [kPa]	Esfuerzo normal [kN/m]	Momento [kNm/m]	Corte [kN/m]	Deslizamiento [cm]	Módulo de Balasto [kN/m ²]
--	1.46	--	--	--	1.46	9.81	0.00	0.01	1.94	--
0.43	2.60	--	--	1.31	1.29	12.01	-0.17	-1.71	1.76	--

ID	Descripción	Profundidad promedio bulbo	Coefficiente empuje	Presión promedio bulbo	Carga última terreno	Resistencia adherencia [kN]	Carga última [kN]	Mecanismo rotura

Ventana resultados adicionales

En la primera tabla aparecen los valores de la presión del terreno, de la presión de poro, de la presión debida a la carga, de la presión sísmica (véase Diagramas de las presiones), de las solicitaciones (véase Diagramas de las solicitaciones) y del módulo de balasto de todos los elementos en los cuales se ha discretizado la pantalla. Si el usuario no ha asignado el módulo de balasto, el software lo calcula automáticamente.

La segunda tabla tiene que ver con la comprobación de los anclajes y presenta la profundidad promedio del bulbo, la carga última del terreno, la resistencia a la adherencia, la carga última del anclaje y el mecanismo de rotura.

1.6.2 Resultados análisis estructural

Es posible obtener información inmediata sobre los resultados del cálculo estructural de las secciones de la pantalla, en términos de armadura, deformaciones extremas, resultados de la verificación, etc. El ambiente de los resultados del análisis estructural es el siguiente:

Z [m]	Nombre sección	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	N.º Barras	Diámetro	Nu [kN]	Mu [kNm]	Cond. Verificación Flexión	Verif. Flexión	Def. Máx Horm	Def. Max Fe	Eje Neutro [cm]	Espaciado estribos [cm]	Res. Corte [kN]
0,3	Circular de 0,7, HEB	2,64	-0,10	-1,53	--	--	--	--	6514,50	Verificada	--	--	--	--	6195,98
0,6	Circular de 0,7, HEB	5,28	-0,77	-4,33	--	--	--	--	2170,93	Verificada	--	--	--	--	6195,98
0,8	Circular de 0,7, HEB	8,93	-2,09	-9,64	--	--	--	--	1009,44	Verificada	--	--	--	--	6195,98
1,1	Circular de 0,7, HEB	14,57	-4,64	-16,39	--	--	--	--	512,98	Verificada	--	--	--	--	6195,98
1,4	Circular de 0,7, HEB	18,21	-9,20	-24,68	--	--	--	--	287,93	Verificada	--	--	--	--	6195,98
1,7	Circular de 0,7, HEB	21,85	-16,18	-35,56	--	--	--	--	170,52	Verificada	--	--	--	--	6195,98
2,0	Circular de 0,7, HEB	25,49	-26,21	-48,25	--	--	--	--	106,99	Verificada	--	--	--	--	6195,98
2,2	Circular de 0,7, HEB	29,13	-39,76	-61,55	--	--	--	--	70,86	Verificada	--	--	--	--	6195,98
2,5	Rectangular	120,21	-57,05	-75,98	14016	120,13	-2089,9	36,63	Verificada	3,50E-03	-5,22E-02	10,68	19010	Hormigón=3684,34 Estribos=1207,01	
2,8	Rectangular	133,56	-78,26	-91,20	14016	133,57	-2099,7	26,83	Verificada	3,50E-03	-5,20E-02	10,72	19010	Hormigón=3686,30 Estribos=1207,01	
3,1	Rectangular	146,92	-103,74	-106,97	14016	146,82	-2109,5	20,33	Verificada	3,50E-03	-5,17E-02	10,77	19010	Hormigón=3688,26 Estribos=1207,01	
3,4	Rectangular	160,28	-133,74	-123,28	14016	160,26	-2119,3	15,85	Verificada	3,50E-03	-5,15E-02	10,82	19010	Hormigón=3690,21 Estribos=1207,01	
3,6	Circular de 0,7, Scat	46,34	-168,22	-141,08	--	--	--	18,86	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
3,9	Circular de 0,7, Scat	49,99	-207,81	-156,82	--	--	--	15,25	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
4,2	Circular de 0,7, Scat	53,63	-251,72	-157,99	--	--	--	12,58	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
4,6	Circular de 0,7, Scat	59,22	-311,89	-128,66	--	--	--	10,14	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
5,0	Circular de 0,7, Scat	63,82	-360,88	-100,74	--	--	--	8,76	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
5,3	Circular de 0,7, Scat	70,41	-399,24	-56,27	--	--	--	7,92	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
5,7	Circular de 0,7, Scat	76,00	-420,67	-17,23	--	--	--	7,52	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
6,1	Circular de 0,7, Scat	82,60	-427,25	14,89	--	--	--	7,41	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
6,5	Circular de 0,7, Scat	89,19	-421,57	40,83	--	--	--	7,51	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
6,9	Circular de 0,7, Scat	95,79	-406,01	61,36	--	--	--	7,81	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
7,2	Circular de 0,7, Scat	101,38	-382,63	77,10	--	--	--	8,29	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
7,6	Circular de 0,7, Scat	107,98	-353,27	88,61	--	--	--	8,99	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
8,0	Circular de 0,7, Scat	114,57	-319,51	96,52	--	--	--	9,96	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
8,4	Circular de 0,7, Scat	121,17	-282,74	101,33	--	--	--	11,28	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
8,8	Circular de 0,7, Scat	127,76	-244,14	103,70	--	--	--	13,11	Verificada	--	--	--	--	7966,26	
9,2	Circular de 0,7, Scat	142,35	-204,63	103,53	--	--	--	15,58	Verificada	--	--	--	--	7966,26	

Resultados cálculo estructural

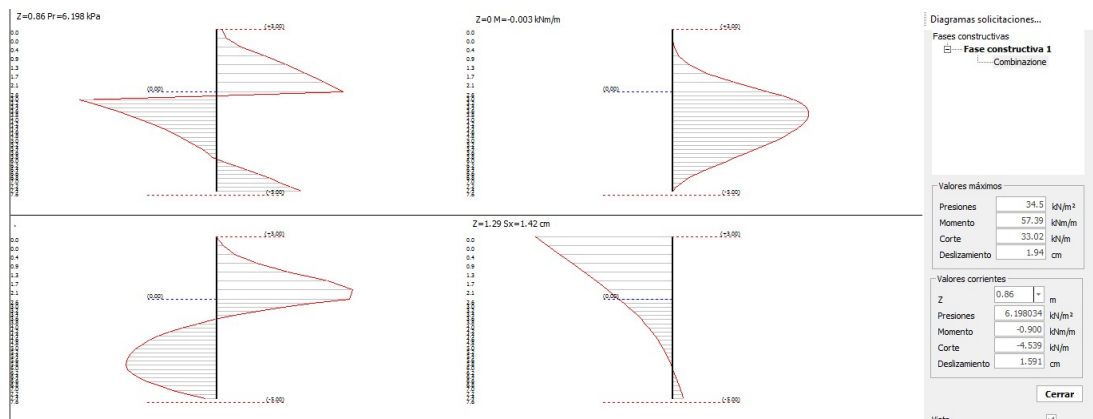
Los resultados que se pueden consultar son los clásicos de un análisis estructural (esfuerzos al estado último, deformaciones máximas, tensiones máximas, posición eje neutro, resultados de las comprobaciones, etc.).

Los colores azul y rojo que resaltan algunos resultados no tienen ningún significado para efectos de la comprobación, sino que indican solamente cuáles son las secciones más cargadas con armadura a flexión y a corte.

Nota: Los resultados son para las combinaciones que se han asociado a la tipología STR en la ventana de Análisis.

1.6.3 Diagramas solicitaciones

Muestra los diagramas resultantes del análisis de las solicitaciones. En particular, muestra los diagramas de las presiones, del momento, del corte y del deslizamiento (*este último solo en caso de análisis FEM*). Se puede elegir ver los diagramas para cualquiera de las fases o para cualquiera de las combinaciones de carga.



Vista de los diagramas de las solicitaciones

Nota: Pinchando el lado derecho del mouse sobre los diagramas, se puede imprimir o copiar la imagen.

1.6.4 Diagramas de las presiones

Se muestran los diagramas de las presiones generadas con el cálculo. Para visualizar dichos diagramas seleccionar el comando "Diagrama presiones" del menú Cálculo:

Presiones terreno: Muestra el diagrama de las presiones del terreno sobre la pantalla.

Presiones sísmicas: Muestra el diagrama de incremento de presiones sísmicas.

Presiones de poro: En caso de presencia de nivel freático, muestra el diagrama de las presiones de poro.

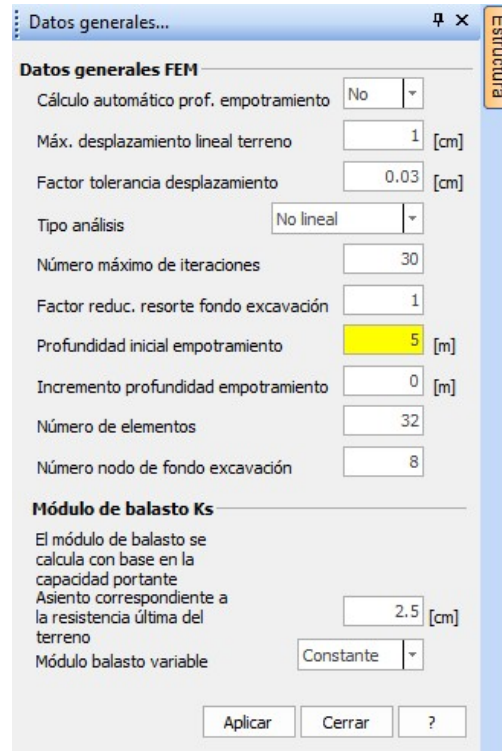
Presiones cargas repartidas: Permite administrar la vista del diagrama de las presiones generadas por las presencia de sobrecargas.

Presiones líneas de carga: Permite administrar la vista del diagrama de las presiones generadas por las presencia de líneas de carga.

Presiones FEM: Muestra el diagrama de las presiones en el ámbito de la utilización del método FEM.

Mostrar valores presiones: Muestra, para todas la categorías de diagrama vistas anteriormente, el valor de las presiones al variar la profundidad.

Propiedades proyecto: Permite definir la configuración general de la grafica del proyecto.



Trazado del diagrama de las presiones

Nota: Los diagramas de las presiones se pueden imprimir haciendo clic en Vista preliminar, en el menú principal del programa.

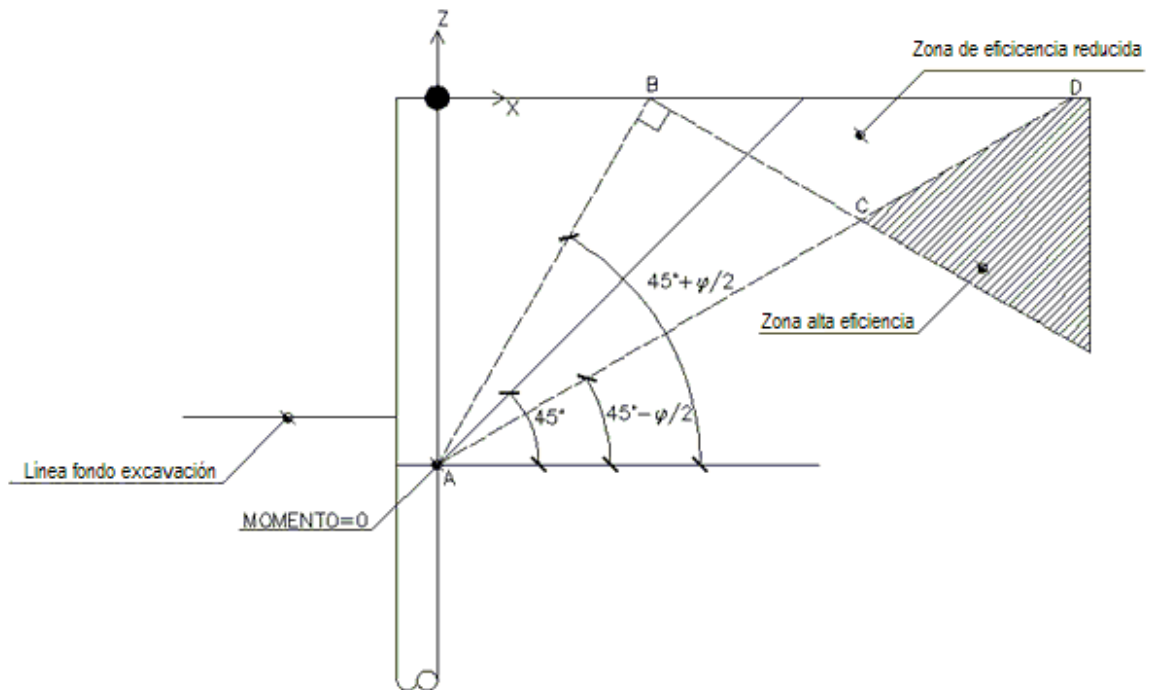
1.6.5 Zona anclaje

Muestra la zona estable de terreno en la cual es aconsejable (y obviamente necesario) colocar los anclajes.

El anclaje, visto como un elemento que mejora la resistencia de la pantalla, tiene sentido solo si está en zonas estables de terreno; por lo tanto es necesario examinar cuidadosamente la zona donde se deberá aplicar el anclaje. Para ello se sigue el principio según el cual se determina la zona de terreno donde la zona activa no se interseca con la zona pasiva (Bowles, Foundation Analysis and Design, pág. 693). El procedimiento usado en el software es el siguiente:

- Determinar a lo largo de la pantalla, en proximidad (o por debajo) de la línea de excavación, la posición del punto en donde se anula el momento flector.
- A partir del punto nulo del momento, trazar dos líneas de $45^\circ - j/2$ y $45^\circ + j/2$ respectivamente (zonas de Rankine).
- Colocar el anclaje de tal manera que su extremo se encuentre en el área punteada y por debajo de la línea AD de la siguiente figura, para así obtener la máxima eficiencia. Si se coloca la extremidad del anclaje (punto fijo) en la zona BCD, la cuña de anclaje se limita a la línea BC pero no se obtiene la máxima eficiencia de anclaje.

Para más claridad observar la siguiente figura:



Determinación de la zona de anclaje

1.6.6 Programa de servicio viga continua

El software cuenta con un programa de servicio para el análisis de las solicitaciones de una viga continua de coronación o de reparto. El ambiente para utilizar el programa de servicio es el siguiente:

Viga continua

Tipo de cálculo: Proyecto

Datos pantalla [m]

Archivo de pilotes: Una

Diámetro pilotes: 0.800

Intereje pilotes x: 1.000

Longitud: 10.000

Intereje pilotes y: 0.000

Desalineado filas: 0.000

Sección viga

Material

Módulo elasticidad: 206000000 [kN/m²]

Coefficiente Poisson: 0.400 [-]

Geometría

Área: 0.640 [m²]

Momento de inercia: 0.034 [m⁴]

Modelo de cálculo

Fuerza de cálculo: -15 [kN]

nº	x [m]	F [kN]	Apoyo	ks [kN/m]
10	4.500	0	<input type="checkbox"/>	0.000
11	5.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000
12	5.500	0	<input type="checkbox"/>	0.000

Output

Mmax: 2.3942 [kN m]

Mmin: -2.9970 [kN m]

Tmax: 9.8942 [kN]

Tmin: -9.0060 [kN]

Wmax: 0.00000099 [cm]

Wmin: -0.00000312 [cm]

Output x

x: 6.473251 [m]

M: 0.0626 [kN m]

T: 0.0527 [kN]

w: 0.00000011 [cm]

— Deformada

— Momento

— Corte

Calcular Cerrar ?

Programa de servicio para calcular vigas continuas

Los principales datos necesarios para el correcto funcionamiento del programa sono:

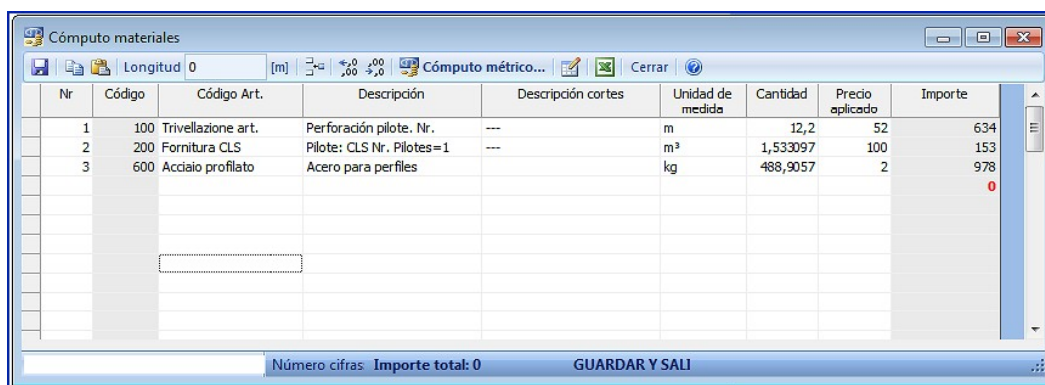
- Geometría del pilotaje, en términos de diámetro de los pilotes, intereje entre los pilotes, etc.
- Características mecánicas (Módulo elasticidad y Coeficiente Poisson) y geométricas (Área y Momento de inercia) de la viga a calcular.
- Se pueden insertar vínculos externos a la viga o fuerzas externas.
- El output resulta en términos de momento, esfuerzo normal y corte (para cada abscisa).
- Se estiman además los valores máximos y mínimos de Momento, Corte, Deslizamiento.

Nota: Luego de haber asignado todos los datos requeridos se debe clicar en Generar modelo, así, el modelo de la viga continua se ve en el área de trabajo y después de pinchar Calcular el programa suministra las solicitudes.

1.6.7 Cómputo métrico

El comando Cómputo métrico permite abrir la ventana donde se estiman las cantidades de materiales.

El cómputo de los materiales se efectúa con base en la longitud indicada. Para actualizar los precios se puede personalizar el archivo: elencoprezzi.csv presente en la carpeta de instalación del programa. Dicho archivo se puede abrir con Excel o con Bloc de notas. Atención: no modificar la columna codice geo. Después de haber asignado la longitud de la pantalla basta con clicar el comando Cómputo métrico. El usuario puede personalizar el cómputo métrico agregando otros conceptos de gasto directamente en la tabla mediante el comando añadir fila.



Nr	Código	Código Art.	Descripción	Descripción cortes	Unidad de medida	Cantidad	Precio aplicado	Importe
1	100	Trivellazione art.	Perforación pilote. Nr.	---	m	12,2	52	634
2	200	Fornitura CLS	Pilote: CLS Nr. Pilotes=1	---	m³	1,533097	100	153
3	600	Acciaio profilato	Acero para perfiles		kg	488,9057	2	978
								0

Número cifras: Importe total: 0 GUARDAR Y SALI

Ambiente cómputo de los materiales

1.6.8 Estabilidad global

Inicia el procedimiento de cálculo de estabilidad global del modelo. El programa lleva a cabo automáticamente la estabilidad global obra terreno para cada fase y combinación.

Para cada cálculo de estabilidad se puede elegir una serie de opciones tales como: Tipo de cálculo estados límite o equilibrio límite, autor, forma de superficie, etc.

The screenshot shows a software window titled 'Estabilidad global'. It contains a table of input parameters organized into three sections: 'Datos generales', 'Parámetros terreno', and 'Slope file'. At the bottom, there are four buttons: 'Ejecutar', 'Regenerar combinación', 'Cerrar', and a help icon '?'.

Datos generales	
Fase constructiva	1 Fase constructiva
Combinación	A2+M2+R2
Profundidad de empotramien	6
Coefficiente sísmico horizontal	0
Coefficiente sísmico vertical	0
Factor de seguridad	1.1
Autor cálculo	Bishop
Forma superficie	Circular
Tipo de análisis	Estados límite
Número de franjas	10

Parámetros terreno	
Ángulo de resistencia al corte	1
Cohesión eficaz	1
Resistencia no drenada	1
Peso específico	1

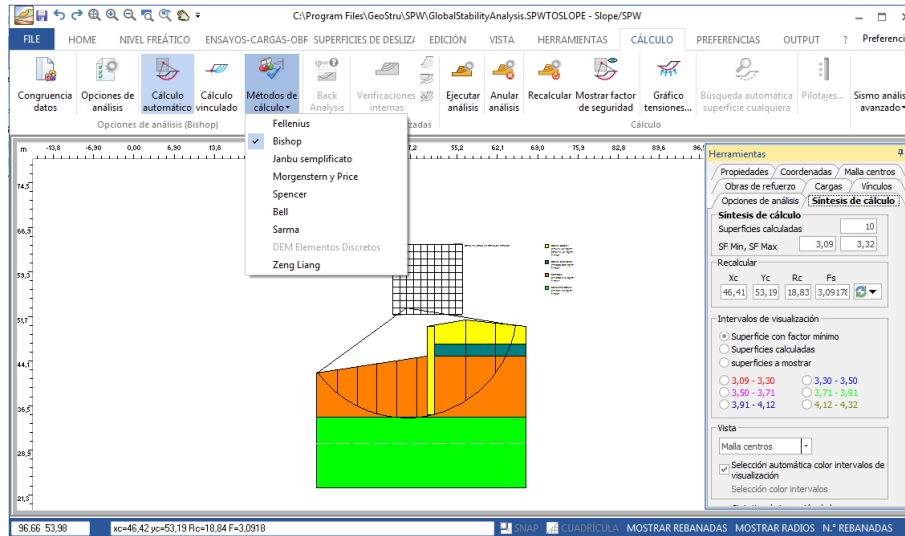
Slope file	
File	C:\GEOSTRU 2018\SLOPE\Slop

Buttons: **Ejecutar**, Regenerar combinación, Cerrar, ?

Ambiente para el análisis de la estabilidad global

Para un perfecto funcionamiento del módulo de estabilidad es necesario instalar el software Slope 2015 y, en la sección File, indicar la ubicación de este último. Clicando en "Ejecutar" se abre el software Slope/SPW:

En el menú Cálculo de Slope/SPW se puede seleccionar el método a utilizar para el análisis de estabilidad global e iniciar el cálculo con el comando "Ejecutar Análisis".



En la ficha de Síntesis de cálculo (a la derecha de la pantalla) aparece el valor mínimo del factor de seguridad que se debe comparar con el grado de seguridad considerado aceptable.

La impresión del informe sobre estabilidad global se hace en Slope, en el menú Output-Informe...

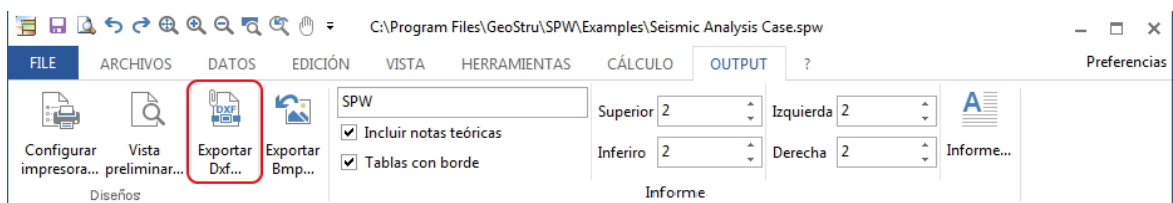
Nota: Para más información sobre el análisis de estabilidad global consultar el manual en línea de Slope.

1.7 Output

1.7.1 Exportar DXF

Con SPW se pueden exportar los resultados en formato dxf (se genera una elaboración gráfica). Para exportar en formato dxf basta con seleccionar el comando Exportar dxf en el menú Output.

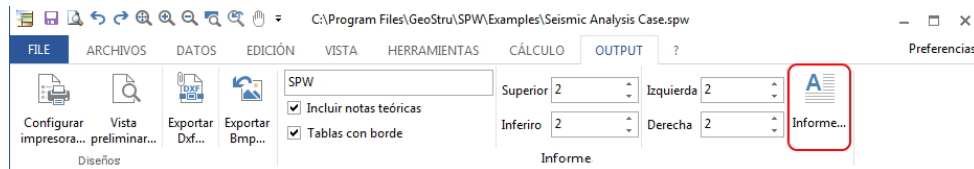
Se abre una ventana que permite seleccionar la ruta para guardar el archivo dxf. En el archivo de exportación se pueden modificar las armaduras y el modelo geométrico del cálculo.



Comando Exportar Dxf

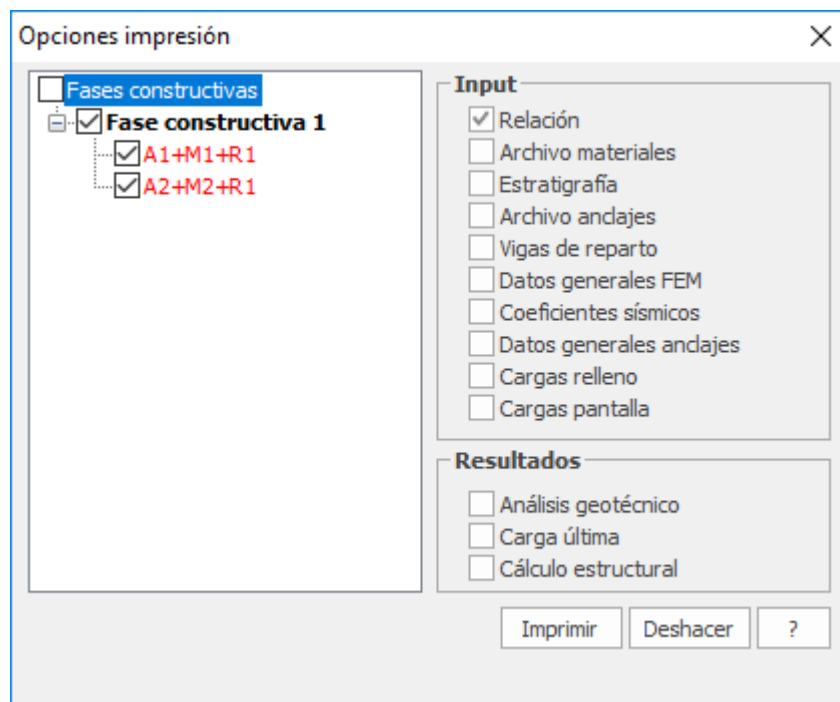
1.8 Informe...

Los resultados se pueden exportar en formato .doc (se trata de la generación de la relación de cálculo). Para exportar en formato .doc basta con clicar en el comando Informe... de la sección Output.



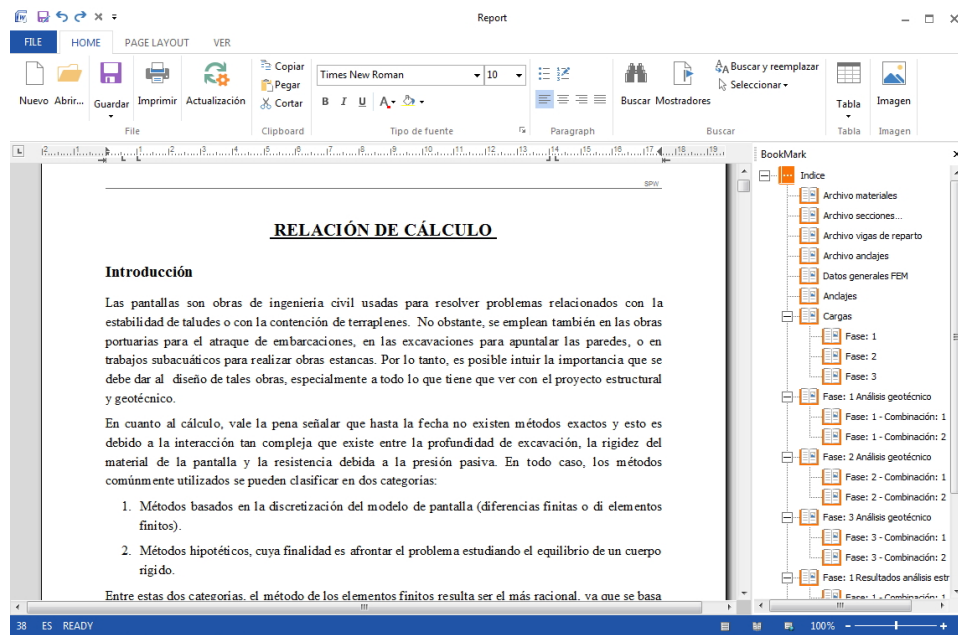
Comando Exportar doc

Se abre una ventana que permite seleccionar las partes del informe a imprimir:



Ambiente de exportación de la relación en formato doc

Como se puede observar, la selección de las partes a imprimir se puede hacer refiriéndose a las fases constructivas o a las combinaciones o refiriéndose a los datos y a los resultados. Resulta así un documento eficiente, menudo y al mismo tiempo significativo del objeto de la relación.



Editor relación de cálculo

1.8.1 Ejemplo relación de cálculo

RELACIÓN DE CÁLCULO

Introducción

Las pantallas son obras de ingeniería civil usadas para resolver problemas relacionados con la estabilidad de taludes o con la contención de terraplenes. No obstante, se emplean también en las obras portuarias para el atraque de embarcaciones, en las excavaciones para apuntalar las paredes, o en trabajos subacuáticos para realizar obras estancas. Por lo tanto, es posible intuir la importancia que se debe dar al diseño de tales obras, especialmente a todo lo que tiene que ver con el proyecto estructural y geotécnico.

En cuanto al cálculo, vale la pena señalar que hasta la fecha no existen métodos exactos y esto es debido a la interacción tan compleja que existe entre la profundidad de excavación, la rigidez del material de la pantalla y la resistencia debida a la presión pasiva. En todo caso, los métodos comúnmente utilizados se pueden clasificar en dos categorías:

1. Métodos basados en la discretización del modelo de pantalla (diferencias finitas o di elementos finitos).
2. Métodos hipotéticos, cuya finalidad es afrontar el problema estudiando el equilibrio de un cuerpo rígido.

Entre estas dos categorías, el método de los elementos finitos resulta ser el más racional, ya que se basa en consideraciones que implican tanto la estática del problema (equilibrio) como la cinemática (congruencia).

Tipos de pantallas.

Los tipos de pantalla más utilizados actualmente se pueden clasificar de la siguiente manera:

3. Pantallas en hormigón armado, de pilotes o continuas
4. Pantallas de madera
5. Pantallas de acero

Análisis de la pantalla

Algunas consideraciones preliminares.

Son varios los elementos a considerar para el cálculo de una pantalla. De hecho, son elementos concernientes a la flexibilidad de los pilotes, al cálculo del empuje del relleno, a la rigidez del terreno, etc.

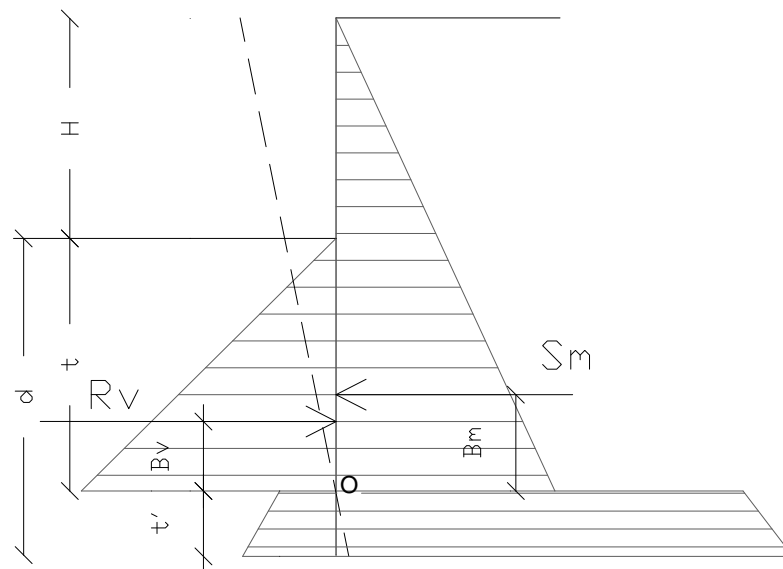


Figura 1: Esquema de las presiones agentes en la pantalla

Como se muestra en la figura anterior, las presiones laterales que participan en el equilibrio son la presión activa que se produce detrás de la pantalla (en el trasdós) y la presión pasiva que se produce en la parte delantera de la pantalla (intradós). El cálculo, ya sea con métodos simplificados que con métodos numéricos, del empuje en el trasdós y en el intradós generalmente se efectúa con el método de Rankine y/o con el de Coulomb. Se observa sin embargo que el método de Coulomb proporciona resultados más precisos visto que, siendo la pantalla una obra por lo general a flexión y por lo tanto con mayores corrimientos, se generan fenómenos de rozamiento en la interfaz pantalla-terreno que solo se pueden tener en cuenta con los coeficientes de empuje de Coulomb.

Con el método de los elementos finitos se debe calcular el coeficiente de balasto, junto con el empuje activo y pasivo del terreno. Si se trata de análisis en condiciones no drenadas, se debe además conocer el valor de la cohesión no drenada. También es importante considerar que si se desea tomar en cuenta el rozamiento terreno-obra, entonces es necesario saber el respectivo ángulo de rozamiento. En resumen, los parámetros (en términos de propiedades del terreno) necesarios para el análisis son los siguientes:

1. Ángulo de rozamiento interno del terreno
2. Cohesión del terreno
3. Peso específico del terreno;
4. Ángulo de rozamiento entre el terreno y el material de la obra.

Cálculo de los empujes

Como se ha indicado anteriormente, en todos los casos se debe calcular el empuje activo y pasivo. Por lo tanto en esta sección se expone el cálculo de los empujes con el método de Coulomb.

Cálculo del empuje activo

El empuje activo se puede calcular con el método de Coulomb o alternativamente utilizando la Teoría de Caquot.

Método de Coulomb

El método de Coulomb toma en cuenta las variables más importantes, sobre todo las que tienen que ver con el fenómeno de rozamiento pantalla-terreno. Con suelo homogéneo y seco el diagrama de las presiones es lineal con distribución (calculada a profundidad z):

$$\sigma_h(z) = k_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

El empuje total, que es la integral de la relación precedente en toda la altura, se aplica a 1/3 de H y se calcula con la siguiente expresión:

$$S_t(z) = \frac{1}{2} k_a \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Indicando con k_a el valor del coeficiente de presión activa, se determina con la siguiente relación:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_a = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta - \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \\ \text{con } \delta < (\beta - \phi - \varepsilon) \text{ secondo Muller - Breslau} \end{array} \right.$$

gt = Peso específico del terreno;

b = Inclinación de la pared interna con respecto al plano horizontal pasante por la base

f = Ángulo de resistencia al corte del terreno;

d = Ángulo de rozamiento terreno-pantalla positivo si es en el sentido de las manecillas del reloj

e = Inclinación del plano del terreno con respecto al plano horizontal positiva si es al contrario de las manecillas del reloj

Metodo di Caquot.

El método de Coulomb es bastante preciso al calcular los coeficientes de presiones al estado límite, aunque se basa en la suposición de una superficie de deslizamiento plana. Esta hipótesis se puede superar aplicando la teoría de Caquot, la cual se basa en la utilización de una superficie de deslizamiento de forma espiral logarítmica. Según esta teoría, el coeficiente de presión activa se determina con la siguiente fórmula:

$$K_a = \rho \cdot K_a^{Coulomb}$$

Donde:

$K_a^{Coulomb}$ es el coeficiente de presión activa calculado con la teoría de Coulomb

ρ es un coeficiente multiplicativo calculado con la siguiente fórmula:

$$\rho = \left[\left(1 - 0.9 \cdot \lambda^2 - 0.1 \cdot \lambda \right) \left(1 - 0.3 \cdot \lambda^3 \right) \right]^n$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\Delta + \beta - \Gamma}{4 \cdot \varphi - 2 \cdot \pi \cdot (\Delta + \beta - \Gamma)}$$

$$\Delta = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{|\cot(\delta)| - \sqrt{\cot^2(\delta) - \cot^2(\varphi)}}{1 + \operatorname{cosec}(\varphi)} \right)$$

Donde (véase también la figura siguiente):

- b es la inclinación del perfil del trasdós medida con respecto a la horizontal
- f es el ángulo de rozamiento interno del terreno que empuja

- d es el ángulo de rozamiento obra-terreno

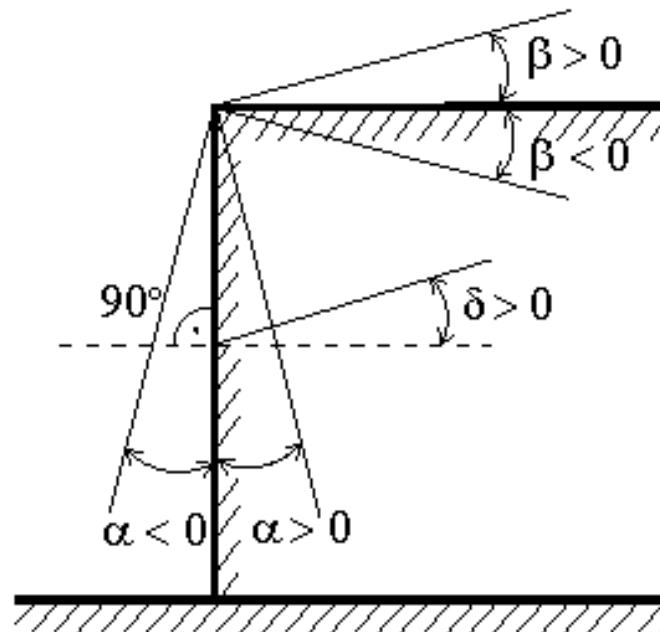


Figura: Convención utilizada en el cálculo del coeficiente de presión según la teoría de Caquot

Carga uniforme sobre el relleno

Una carga Q , uniformemente repartida en el plano del terreno produce presiones constantes iguales a:

$$\sigma_q(z) = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Integrando la tensión de la fórmula se obtiene el empuje total debido a la sobrecarga:

$$S_q = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)} \cdot H$$

Con punto de aplicación en $H/2$ (siendo la distribución de tensiones constante). En las fórmulas anteriores:

b = Inclinación de la pared interna con respecto al plano horizontal pasante por la base

e = Inclinación del plano del terreno con respecto al plano horizontal, positiva si es al contrario de las manecillas del reloj

K_a = Coeficiente de presión activa calculado en el párrafo anterior

Franja de carga en plano terreno inclinado

La carga agente se descompone en una carga ortogonal y una tangencial al relleno, las presiones inducidas en la pared se calculan como se indica a continuación.

Franja de carga ortogonal al plano de acción

Una carga repartida de forma parcial con abscisa inicial x_1 y abscisa final x_2 genera un diagrama de presiones en la pared cuyos valores se determinan según la fórmula de Terzaghi, que expresa la presión en la genérica profundidad z como sigue:

$$\sigma_q(z) = \frac{Q}{2\pi \times (2\Delta\theta + A)}$$

$$\tau_{xz} = -\frac{Q}{2\pi B}$$

Con:

$$Dq = q_1 - q_2;$$

$$A = \text{sen}(2q_1) - \text{sen}(2q_2)$$

$$B = \text{cos}(2q_1) - \text{cos}(2q_2)$$

$$q_1 = \text{arctg}(z/x_1)$$

$$q_2 = \text{arctg}(z/x_2)$$

Por integración se obtiene el resultado y el brazo relativo.

Franja de carga tangencial al plano del terreno

$$\sigma_x = \frac{t}{2\pi \times (D - 2E)}$$

T = Intensidad de la carga [F/L²]

D = $4 \cdot \log[\text{sen}q_1/\text{sen}q_2]$

E = $\text{sen}^2q_1 - \text{sen}^2q_2$

Líneas de carga sobre el relleno

Las líneas de carga generan un incremento de presiones en la pared que, según BOUSSINESQ, en la profundidad z , se puede expresar como:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x^2 \cdot z \cdot (x^2 + z^2)^2}$$

Donde:

V = Intensidad de la carga en [F/L];

X = Distancia, en proyección horizontal, del punto de aplicación de la carga desde la pared

□

Si el plano de acción es inclinado e se rota el sistema de referencia de xz a XZ , con la siguiente transformación:

$$\begin{cases} X = x \cdot \cos(\varepsilon) - z \cdot \sin(\varepsilon) \\ Z = z \cdot \cos(\varepsilon) + x \cdot \sin(\varepsilon) \end{cases}$$

Empuje en presencia de acuífero

El nivel freático con superficie distante H_w de la base de la estructura, induce presiones hidrostáticas normales en la pared que, en profundidad z , se expresan:

$$u(z) = \gamma_w \cdot z$$

El empuje hidrostático total se obtiene por integración a lo largo de toda la altura relación precedente:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

Indicando con H la altura total de empuje y con g_w el peso específico del agua. El empuje del terreno sumergido se obtiene sustituyendo g_t con $g't$ ($g't = g_{\text{saturado}} - g_w$), peso específico del material sumergido en agua. En condiciones sísmicas, el empuje que el agua produce se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta S_w = \frac{7}{12} \gamma_w \cdot H_w^2 \cdot C$$

aplicada a $2/3$ de la altura del nivel freático H_w [Matsuo O'Hara (1960) Geotecnica , R. Lancellotta]

Efecto debido a la presencia de cohesión

La cohesión induce presiones negativas constantes iguales a:

No siendo posible establecer a priori el decremento que produce el empuje por efecto de la cohesión, se calcula la altura crítica Z_c como a continuación:

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma_t \times \sqrt{Ka}} - \left\{ \frac{\left[Q \times \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)} \right]}{\gamma_t} \right\}$$

Donde:

Q = Carga agente sobre el relleno (si existe)

gt = Peso específico del terreno

b = Inclinación de la pared interna con respecto al plano horizontal pasante por la base

e = Inclinación del plano del terreno con respecto al plano horizontal, positiva si es al contrario de las manecillas del reloj

C = Cohesión del material

Ka = Coeficiente de presión activa, calculado en los pasos anteriores

Si se da el caso de que la Zc calculada con la fórmula precedente es menor que cero, es posible sobreponer directamente los efectos de los diagramas, estableciendo un decremento en el diagrama de empuje original calculado como sigue:

$$S_c = P_c \cdot H$$

Donde H es la altura total del empuje.

Sismo

Empuje activo en condiciones sísmicas

En presencia de sismo la fuerza de cálculo que ejerce el relleno sobre la pared está dada por:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) KH^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Donde:

H = altura excavación

Kv = coeficiente sísmico vertical

g = peso específico del terreno

K = coeficientes de empuje activo total (estático + dinámico) (véase Mononobe & Okabe)

Ews = empuje hidrostático del agua

Ewd = empuje hidrodinámico.

En suelos impermeables el empuje hidrodinámico Ewd = 0, pero se lleva a cabo una corrección en el cálculo del ángulo b de la fórmula de Mononobe & Okabe :

En suelos de alta permeabilidad, en condiciones dinámicas vale siempre la corrección anterior, pero el empuje hidrodinámico asume la siguiente expresión:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$$

Con H' altura de nivel freático (de la sección del cálculo del empuje hidrostático).

Resistencia pasiva

También para calcular la resistencia pasiva se pueden utilizar los dos métodos usados en el cálculo de la presión al estado límite activo (método de Coulomb y método de Caquot).

Método de Coulomb

En suelos homogéneos el diagrama de las presiones en condiciones de estado límite pasivo es lineal con el siguiente tipo de ley:

$$\sigma_p(z) = k_p \gamma_t z$$

De nuevo, integrando la relación anterior en la altura de empuje (la cual para las pantallas se debe estimar atentamente) se obtiene el empuje pasivo total:

$$S_t = \frac{1}{2} k_p \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Donde H es la altura de empuje, γ_t el peso específico del terreno y k_p el coeficiente de presión pasiva (en condiciones de estado límite pasivo). Este coeficiente se determina mediante la siguiente fórmula:

$$k_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta + \delta) \times \left[1 - \frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)} \right]^2}$$

con $\delta < \beta - \phi - \varepsilon$ secondo Muller-Breslau

con valores límite a: $d < b - f - e$ (Muller-Breslau).

Método de Caquot

El método de Caquot difiere del método de Coulomb por el cálculo del coeficiente de presión al estado límite pasivo. Con este método, el coeficiente de presión pasiva se calcula interpolando los valores de la siguiente tabla:

Coefficient of passive earth pressure K_p for $\phi = -$		
[°]	[°]	K_p when $\delta =$

		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	10	1,17	1,41	1,53							
	15	1,30	1,70	1,92	2,08						
	20	1,71	2,08	2,42	2,71	2,92					
	25	2,14	2,81	2,98	3,88	4,22	4,43				
-30	30	2,78	3,42	4,18	5,01	5,98	8,94	7,40			
	35	3,75	4,73	5,87	7,21	8,78	10,80	12,50	13,80		
	40	5,31	8,87	8,77	11,00	13,70	17,20	24,80	25,40	28,40	
	45	8,05	10,70	14,20	18,40	23,80	90,60	38,90	49,10	60,70	69,10
	10	1,36	1,58	1,70							
	15	1,68	1,97	2,20	2,38						
	20	2,13	2,52	2,92	3,22	3,51					
	25	2,78	3,34	3,99	4,80	5,29	5,57				
-20	30	3,78	4,81	8,58	8,81	7,84	9,12	9,77			
	35	5,38	8,89	8,28	10,10	12,20	14,80	17,40	19,00		
	40	8,07	10,40	12,00	18,50	20,00	25,50	38,50	37,80	42,20	
	45	13,2	17,50	22,90	29,80	38,30	48,90	82,30	78,80	97,30	111,04
	10	1,52	1,72	1,83							
	15	1,95	2,23	2,57	2,88						
	20	2,57	2,98	3,42	3,75	4,09					
	25	3,50	4,14	4,90	5,82	8,45	8,81				
-10	30	4,98	8,01	7,19	8,51	10,10	11,70	12,80			
	35	7,47	9,24	11,30	13,80	18,70	20,10	23,70	26,00		
	40	12,0	15,40	19,40	24,10	29,80	37,10	53,20	55,10	61,80	
	45	21,2	27,90	38,50	47,20	80,80	77,30	908,20	124,00	153,00	178,00
	10	1,84	1,81	1,93							
	15	2,19	2,46	2,73	2,91						
	20	3,01	3,44	3,91	4,42	4,66					
	25	4,28	5,02	5,81	8,72	7,71	8,16				
0	30	8,42	7,69	9,19	10,80	12,70	14,80	15,90			

	35	10,2	12,60	15,30	18,80	22,30	28,90	31,70	34,90		
	40	17,5	22,30	28,00	34,80	42,90	53,30	78,40	79,10	88,70	
	45	33,5	44,10	57,40	74,10	94,70	120,00	153,00	174,00	240,00	275,00
	10	1,73	1,87	1,98							
	15	2,40	2,65	2,93	3,12						
	20	3,45	3,90	4,40	4,96	5,23					
10	25	5,17	5,99	6,90	7,95	9,11	9,67				
	30	8,17	9,69	11,40	13,50	15,90	18,50	19,90			
	35	13,8	16,90	20,50	24,80	29,80	35,80	42,30	46,60		
	40	25,5	32,20	40,40	49,90	61,70	76,40	110,00	113,00	127,00	
	45	52,9	69,40	90,90	116,00	148,00	188,00	239,00	303,00	375,00	431,00
	10	1,78	1,89	2,01							
	15	2,58	2,82	3,11	3,30						
	20	3,90	4,38	4,92	5,53	5,83					
20	25	6,18	7,12	8,17	9,39	10,70	11,40				
	30	10,4	12,30	14,40	16,90	20,00	23,20	25,00			
	35	18,7	22,80	27,60	33,30	40,00	48,00	56,80	62,50		
	40	37,2	46,90	58,60	72,50	89,30	111,00	158,00	164,00	185,00	
	45	84,0	110,00	143,00	184,00	234,00	297,00	378,00	478,00	592,00	680,00

Tabla: Evaluación del coeficiente de presión pasiva con la teoría de Caquot

Carga uniforme sobre el relleno

La resistencia inducida por una carga uniformemente distribuida S_q vale:

$$S_q = k_p \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\text{sen}\beta}{\text{sen}(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto de aplicación $H/2$ (siendo el diagrama de las tensiones horizontales constante a lo largo de toda la altura). En la fórmula anterior, k_p es el coeficiente de empuje pasivo calculado en el párrafo precedente.

Cohesión

La cohesión determina un incremento de resistencia igual a:

$$Pc = 2c \times \sqrt{k_p}$$

Tal incremento se suma directamente al diagrama principal de empuje.

Método del equilibrio límite (LEM)

El método del equilibrio límite consiste en la búsqueda de soluciones compatibles con el aspecto estático del problema (de comprobación o de proyecto). Básicamente se razona en términos del equilibrio de una estructura rígida, sin tener en cuenta la congruencia cinemática de los desplazamientos. Los principales esquemas de cálculo a los cuales se hará referencia son los siguientes:

1. Pantalla en voladizo
2. Pantalla con un punto de sujeción, método de base libre
3. Pantalla con un punto de sujeción, método de base empotrada

Pantalla en voladizo: cálculo de la profundidad de empotramiento límite

En el caso de las pantallas en voladizo, la estabilidad está dada por la resistencia pasiva del terreno del intradós; del equilibrio de momentos respecto al centro de rotación se obtiene:

$$S_m \cdot B_m - R_v \cdot B_v = 0$$

Donde:

S_m = componente horizontal del empuje activo

B_m = brazo de S_m respecto a O centro de rotación

R_v = componente horizontal de la resistencia pasiva

B_v = brazo de R_v respecto a O centro de rotación

Cada uno de estos términos está función de z , donde z es la profundidad del centro de rotación con respecto al plano del terreno del intradós.

La longitud necesaria para asegurar el equilibrio de traslación horizontal se obtiene aumentando t como a continuación:

$t' = a \cdot t$ $d = t \cdot (1 + a)$ donde $a = 0.2$ (Método de Blum)

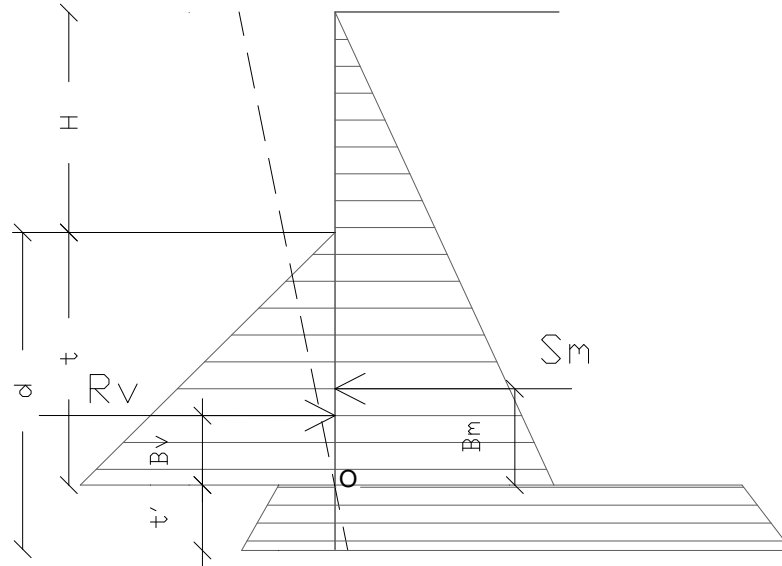


Figura 2: Esquema de referencia para el cálculo del equilibrio de la pantalla

Coefficiente de seguridad resistencia pasiva

La longitud de empotramiento d anterior está relacionada con la condición límite de incipiente colapso, mediante un coeficiente F . Se puede introducir un margen de seguridad en las resistencias pasivas como a continuación:

$$S_m \cdot B_m - \frac{R_v}{F} \cdot B_v = 0$$

Pantalla con un punto de sujeción, método de base libre: Cálculo de la profundidad de empotramiento límite

La estabilidad de la obra está asegurada también con un punto de sujeción próximo a la coronación. Para utilizar el método de cálculo de base libre, la pantalla debe ser suficiente corta y rígida. La longitud de empotramiento se determina estableciendo el equilibrio de rotación al origen del anclaje indicado B1

Donde:

S_m = componente horizontal del empuje activo

H = altura terreno a sostener

T = profundidad de empotramiento calculada

B_m = brazo de S_m respecto a la base de la pantalla

P_m = ordenada del punto de aplicación del anclaje en el trasdós

R_v = componente horizontal de la resistencia pasiva

B_v = brazo de R_v .

Conociendo t , se determinan S_m y R_v y el relativo esfuerzo del anclaje.

Coeficiente de seguridad F resistencias pasivas

La longitud de empotramiento se aumenta para tener más margen de seguridad en condiciones de servicio, usando el coeficiente de seguridad F :

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - \frac{R_v}{F} \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

Pantalla con un punto de sujeción, método de base empotrada:
Cálculo de la profundidad de empotramiento límite

Si la sección más profunda de la pantalla no se mueve y no gira, puede asimilarse a un empotramiento y en tal caso se usa el método de la base empotrada. El procedimiento elaborado por Blum permite establecer la profundidad de empotramiento ($t+t'$), imponiendo condiciones cinemáticas de desplazamiento nulos en la base de la obra y en el origen del anclaje (B1) y las condiciones estáticas de momento y corte nulo en la base de la pantalla. Esto conduce a una ecuación de 5° grado en ($t+t'$) que se puede resolver fácilmente.

Coeficiente de seguridad F resistencias

Para aumentar el factor de seguridad se han introducido valores de las resistencias pasivas reducidas.

Método de elementos finitos (FEM)

El método de elementos finitos (MEF) es el método que cuenta con más bases teóricas sólidas y racionales. De hecho, el método presupone que

el problema se trate teniendo en cuenta ya sea el aspecto estático (y por lo tanto el equilibrio del problema) que el aspecto cinemático (y por lo tanto la congruencia de los desplazamientos y deformaciones). Con el MEF la pantalla se modela como un conjunto de vigas (elementos beam), vinculadas en continuidad al terreno por medio de resortes elásticos cuyas rigidez se estima en función de las propiedades elásticas del terreno. En la siguiente figura se muestra el esquema del modelo utilizado para el análisis con elementos finitos:

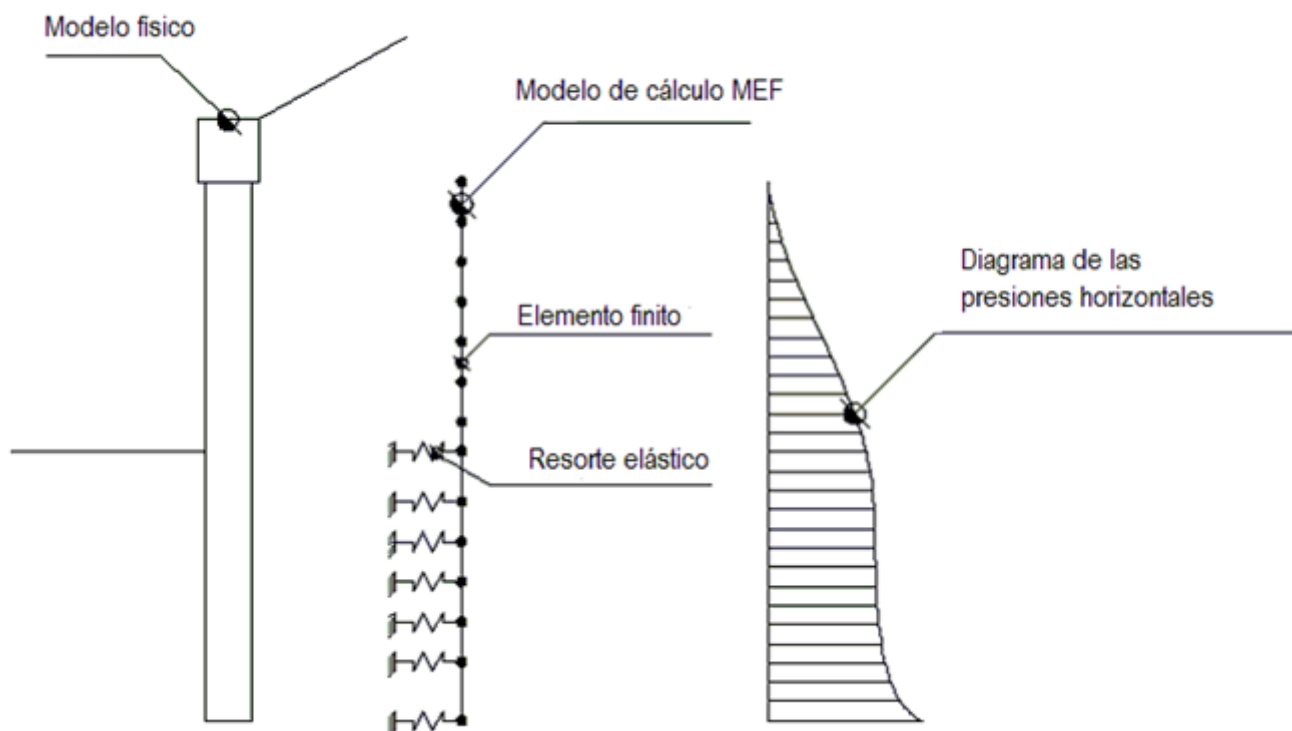


Figura 3: Esquema de la pantalla con elementos finitos

Con este método de cálculo es necesario conocer varios aspectos. Las principales partes que componen la aplicación del método son las siguientes:

Cálculo del módulo de reacción K_s del terreno

Como ya se ha mencionado, el suelo se modela con resortes de rigidez K_s aplicados en los nodos de los segmentos comprendidos entre el nodo de fondo excavación y la extremidad del empotramiento. La rigidez K_s se estima con base en la capacidad portante de las cimentaciones según la siguiente fórmula:

Donde:

- A_s = constante, calculada como: $A_s = C \cdot (c \cdot N_c + 0.5 \cdot G \cdot B \cdot N_g)$
 B_s = coeficiente función de la profundidad $B_s = C \cdot G \cdot N_q$
 Z = Profundidad examinada
 C = 40 en el sistema internacional SI
 n = $p \cdot \tan j$
 N_q = $\exp[n \cdot (\tan^2(45^\circ + j/2))]$
 N_c = $(N_q - 1) \cdot \cot j$
 N_g = $1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan j$

Anclajes

Los anclajes se modelan como elementos elásticos, con sección transversal de área A , módulo de elasticidad E y longitud L . En un tramo de pantalla de anchura unitaria, la acción de los anclajes inclinados de un ángulo β vale:

$$F = \frac{A \cdot E}{S \cdot L} \cdot \cos(\beta)$$

Sifonamiento

El sifonamiento es un fenómeno que en una fase inicial se localiza en la base de la pantalla, y después rápidamente se extiende al entorno del volumen resistente. Se da cuando, por una elevada presión hidrodinámica o de infiltración, se anulan las presiones pasivas eficaces, con la consecuente pérdida de resistencia del terreno. Se asume por norma un factor de seguridad $F_{sif} = 3.5-4$ Indicando con:

i_c = Gradiente hidráulico crítico

i_e = Gradiente hidráulico en condiciones de ejercicio

El margen de seguridad se define como la relación entre i_c y i_e . Si $i_e < i_c$ la pantalla es estable.

Comprobación de las secciones y cálculo de las armaduras

El cálculo de las armaduras y las comprobaciones presio-flexión y corte de la pantalla sometida a las sollicitaciones N, M y T , se efectúan en la sección más sollicitada. Las sollicitaciones de cálculo se obtienen como producto entre las sollicitaciones obtenidas con un cálculo a metro lineal y el intereje entre pilotes (o el ancho de las pantallas continuas):

Donde: M', M', T' representan el momento, el corte y el esfuerzo normal relativos a una franja unitaria de cálculo mientras i es el intereje entre pilotes en caso de pantallas de pilotes o micropilotes (o el ancho de las pantallas continuas).

1.9 Preferencias

Opciones

Muestra la ventana de diálogo donde se establecen los parámetros del área de trabajo y del output.

Seleccionar idioma

Permite seleccionar el idioma de trabajo.

1.10 Referencias teóricas

En la carpeta Report del programa se encuentran los archivos con las dilucidaciones teóricas: método de cálculo de los empujes, soluciones con elementos finitos y equilibrio límite, análisis con presencia de nivel freático, cálculo de los elementos estructurales, etc.

1.10.1 Método LEM

El método del equilibrio límite consiste en la búsqueda de soluciones al problema de comprobación o de proyecto, que sean compatibles con el aspecto estático del mismo. En concreto, se discute en términos de equilibrio de un cuerpo rígido, sin preocuparse de la congruencia cinemática de los deslizamientos. Los principales esquemas de cálculo a los cuales se hará referencia son los siguientes:

- Pantalla en voladizo
- Pantalla con un punto de sujeción, método de "base libre"
- Pantalla con un punto de sujeción, método de "base empotrada"

Pantalla en voladizo

Cálculo de la profundidad de empotramiento límite

En el caso de pantalla sin anclajes, la estabilidad está dada por la resistencia pasiva del terreno del intradós. Del equilibrio de los momentos con respecto al centro de rotación se obtiene:

Donde:

S_m = componente horizontal del empuje activo

B_m = brazo de S_m respecto a O centro de rotación

R_v = componente horizontal de la resistencia pasiva

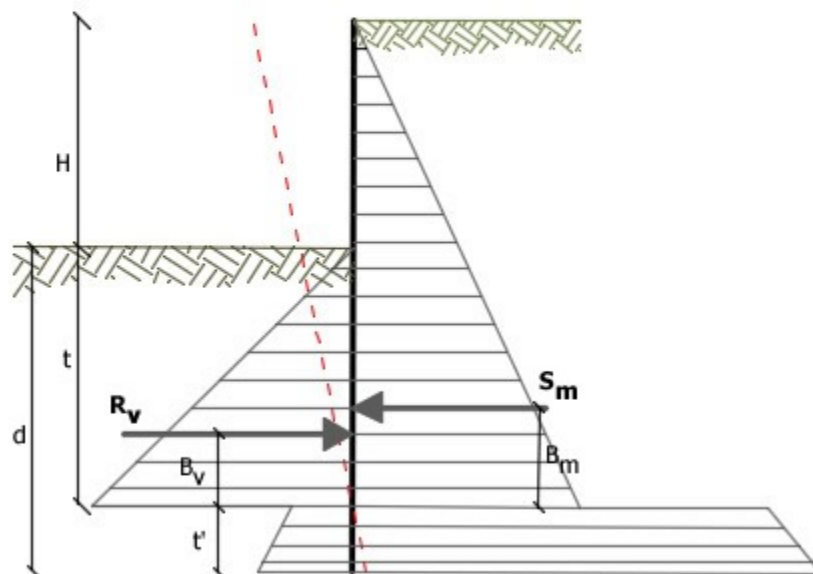
B_v = brazo de R_v respecto a O centro de rotación

Cada uno de los términos está función de t , donde t es la profundidad del centro de rotación con respecto al plano del terreno del intradós. La longitud necesaria para asegurar el equilibrio de traslación horizontal se obtiene aumentando t como a continuación:

$$t' = a \cdot t$$

$$d = t + t' = t \cdot (1 + a)$$

donde $a = 0.2$ (Método de Blum)



Esquema de referencia para el cálculo del equilibrio de la pantalla

Coeficiente de seguridad resistencia pasiva

La longitud de empotramiento d anterior está relacionada con la condición límite de incipiente colapso, mediante un coeficiente F . Se puede introducir un margen de seguridad en las resistencias pasivas como a continuación:

$$S_m \cdot B_m - \frac{R_v}{F} \cdot B_v = 0$$

Pantalla con base libre

Cálculo de la profundidad de empotramiento límite

La estabilidad de la obra está asegurada también con un punto de sujeción próximo a la coronación. Para utilizar el método de cálculo de base libre, la pantalla debe ser suficiente corta y rígida. La longitud de empotramiento se determina estableciendo el equilibrio de rotación al origen del anclaje indicado B1

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - R_v \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

Donde:

S_m = componente horizontal empuje activo

H = altura terreno a sostener

t = profundidad de empotramiento calculada

B_m = brazo de S_m respecto a la base de la pantalla

P_m = ordenada del punto de aplicación del anclaje en el trasdós

R_v = componente horizontal de la resistencia pasiva

B_v = brazo de R_v .

Conociendo t, se determinan S_m y R_v y el relativo esfuerzo del anclaje.

Coeficiente de seguridad F resistencias pasivas

La longitud de empotramiento se aumenta para tener más margen de seguridad en condiciones de servicio, usando el coeficiente de seguridad F:

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - \frac{R_v}{F} \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

Pantalla con base empotrada

Cálculo de la profundidad de empotramiento límite

Si la sección más profunda de la pantalla no se mueve y no gira, puede asimilarse a un empotramiento y en tal caso se usa el método de la base empotrada. El procedimiento elaborado por Blum permite establecer la profundidad de empotramiento (t+t'), imponiendo condiciones cinemáticas de desplazamiento nulos en la base de la obra y en el origen del anclaje (B1), y las condiciones estáticas de momento y corte nulo en la base de la pantalla. Esto

conduce a una ecuación de 5° grado en $(t+t')$ que se puede resolver fácilmente.

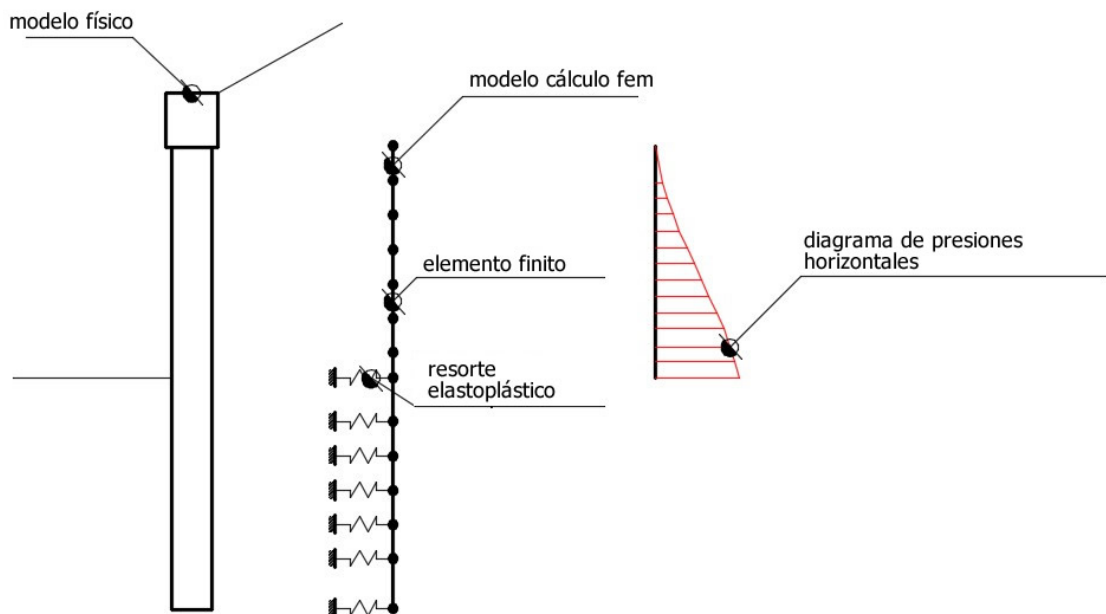
Coeficiente de seguridad F resistencias

Para aumentar el factor de seguridad se han introducido valores de las resistencias pasivas reducidas.

1.10.2 Método FEM

El método de elementos finitos (MEF) es el método que cuenta con más bases teóricas sólidas y racionales. De hecho, el método presupone que el problema se trate teniendo en cuenta ya sea el aspecto estático (y por lo tanto el equilibrio del problema) que el aspecto cinemático (y por lo tanto la congruencia de los desplazamientos y deformaciones).

Con el MEF la pantalla se modela como un conjunto de vigas (elementos beam), vinculadas en continuidad al terreno por medio de resortes elásticos cuyas rigidez se estima en función de las propiedades elásticas del terreno. En la siguiente figura se muestra el esquema del modelo utilizado para el análisis con elementos finitos:

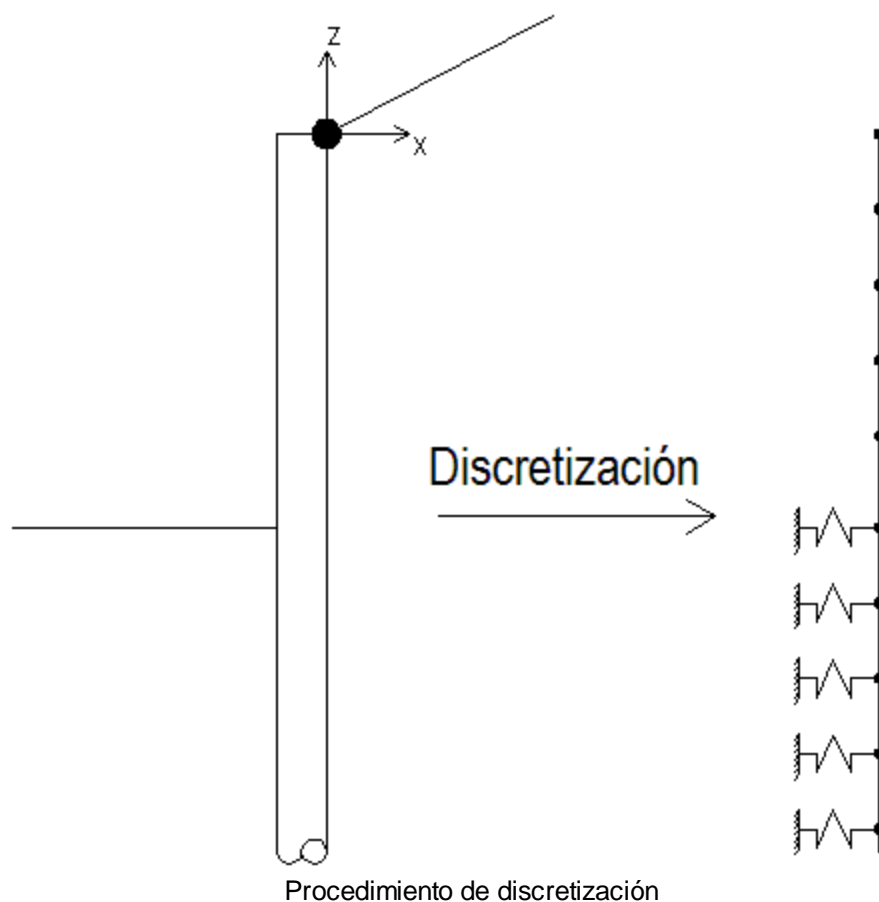


Esquema del complejo pantalla-terreno con elementos finitos

El método de elementos finitos requiere conocer las propiedades del terreno y de la estructura (a diferencia del método LEM, que establece una condición de equilibrio de cuerpo rígido). En particular, es necesario conocer el módulo de reacción del terreno.

Las principales partes que componen la aplicación del método son las siguientes:

- Caracterización de los materiales y de la estructura mediante:
 - el cálculo de coeficientes de empuje activo y pasivo, además del módulo de balasto del terreno
 - el cálculo de la rigidez flexional, cortante y normal de la pantalla
- Discretización de la pantalla en elementos finitos y modelado de los resortes:



- Ensamblaje de las contribuciones de cada elemento finito: En esta fase se indica el problema en su globalidad, ensamblando las contribuciones de rigidez de cada elemento finito.
- Solución del problema: El problema de elementos finitos se plantea en términos de sistema no lineal en las variables de deslizamiento. En esta etapa se establece un procedimiento iterativo que permite solucionar un problema no lineal de tipo:

En la ecuación anterior $K(u)$ es la matriz de rigidez del problema (no lineal), u es el campo de deslizamientos que es la solución del problema y p es el vector de las cargas externas (vector asociado a la distribución de presiones del terreno).

- Ensamblaje e interpretación de la solución:

Una vez determinados los valores de los componentes del vector u se pueden derivar todas las informaciones (relativas al análisis estructural). En particular, se determinan:

- Momento
- Corte
- Esfuerzo normal

1.10.3 Carga última anclajes

Los anclajes tienen la función de contribuir a aumentar la resistencia de la pantalla. El cálculo de la carga última de un anclaje se debe efectuar considerando tres diferentes mecanismos de colapso. De hecho es posible que el colapso se de por desprendimiento del bulbo de anclaje, por desprendimiento de la parte en acero de la lechada de cemento que la contiene o por rotura del anclaje (alcance del límite de resistencia del acero). El procedimiento que usa el software calcula la carga última de los tres mecanismos de colapso y establece como carga última del anclaje la menor de las tres.

Carga última por colapso en adherencia bulbo - terreno

En este caso la carga última se calcula con la siguiente fórmula (Schneebeili):

$$N_u = \sigma'_n \cdot K \cdot A_b + c_a \cdot A_b$$

donde:

- σ'_n es la tensión efectiva agente en el centro del bulbo de anclaje
- K es un coeficiente que representa, mediante y en toda la longitud, la interacción entre bulbo y terreno (ver tabla)
- A_b es la superficie del bulbo a contacto con el terreno, calculada con la siguiente fórmula:

donde D es el diámetro del bulbo y L_b es la longitud del bulbo.

- c_a es la adhesión entre bulbo y terreno. Observar la figura de la sección Anclajes para comprender mejor los símbolos.

φ	K
20°	1,3
30°	5,5
40°	30,0

Valores indicados en el libro del Prof. Carlo Cestelli Guidi "Geotecnica e tecnica delle fondazioni", Vol. 2, Ed. Hoepli, año 1980.

Carga última por colapso en adherencia acero - bulbo

En este caso se examina la tensión tangencial de adherencia última entre acero y hormigón. En este caso la fórmula que expresa la carga de colapso del sistema es la siguiente:

$$N_u = \pi \cdot D_a \cdot L_b \cdot \tau_{ud}$$

donde:

- D_a es el diámetro de la armadura del anclaje
- L_b es la longitud del bulbo de anclaje
- τ_{ud} es la resistencia última de adherencia acero - hormigón

La resistencia tangencial de adherencia de cálculo f_{bd} vale:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

donde:

γ_c es el coeficiente parcial de seguridad del hormigón, igual a 1,5;

f_{bk} es la resistencia tangencial característica de adherencia dada por:

$$f_{bk} = 2,25 \times \eta \times f_{ctk}$$

donde

$\eta = 1,0$ para barras de diámetro $\phi < 32$ mm

$\eta = (132 - \phi)/100$ para barras de diámetro superior.

En caso de armaduras muy compactas o anclajes de hormigón, la resistencia de adherencia se reduce dividiéndola entre, por lo menos, 1.5.

Carga última por rotura de la armadura

Esta comprobación es meramente estructural y se refiere a la circunstancia en la cual la tensión en el acero llega al límite de rotura. En este caso la carga de rotura se calcula con la siguiente fórmula:

donde:

- D_a es el diámetro de la armadura del anclaje
- F_{yd} es la resistencia de cálculo del acero

Una vez calculadas las cargas de rotura de los tres mecanismos, la carga última del anclaje se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$N_u^T = \min(\min(N_u^{at}, N_u^{ac}), N_u^r)$$

donde:

- N_u^T es la carga última del anclaje
- N_u^{at} es la carga última de colapso en la adherencia bulbo - terreno
- N_u^{ac} es la carga última de colapso en la adherencia bulbo - acero
- N_u^r es la carga última de colapso del acero del anclaje

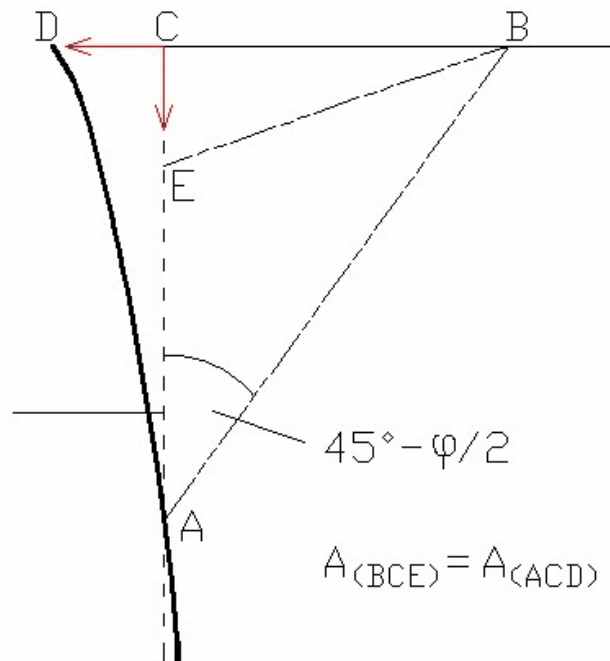
Se calculan los mecanismos de rotura de cada anclaje: rotura terreno, resistencia adherencia, resistencia acero.

1.10.4 Asientos verticales

Para calcular los asientos verticales en el trasdós de la pantalla, se utiliza el método 'Volumen Constante'.

Se supone que la variación total de volumen de terreno implicado en el proceso de deformación sea nula (deformándose, los terrenos tienden a dilatarse). En este caso, una vez definida la cuña de empuje, existe igualdad entre el volumen que ocupa el terreno después del corrimiento de la pantalla y el que deja libre debido a los asientos verticales en el intradós de la pantalla.

Se asume como ángulo de empuje activo respecto a la horizontal $45+\varphi/2$. Respecto a la vertical $45-\varphi/2$.



Esquema de referencia para el cálculo de los asientos verticales

1.10.5 Filtración

Por filtración se entiende el fenómeno físico con el cual se da el pasaje del agua, a través de un medio poroso, de una zona con una determinada energía a otra con energía menor.

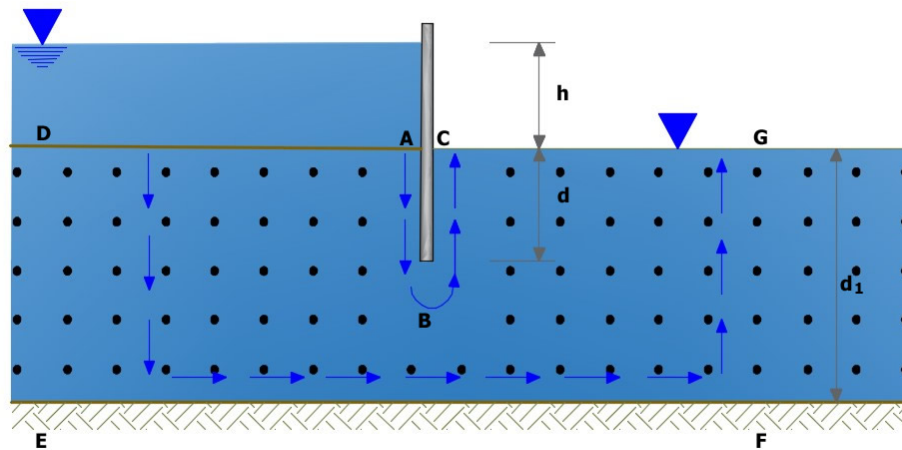
La energía se puede expresar como la suma de la energía cinética ligada a la velocidad del fluido, de la potencial que depende de la posición del punto y de la de presión del líquido en el mismo punto. Puesto que la velocidad de filtración es siempre muy pequeña, se puede obviar el término cinético.

Al estudiar la filtración del agua se pueden presentar ciertos problemas, ya sean de flujo permanente que de flujo variable:

En cuanto a la presión del agua, la cual juega un papel importante en la mayoría de los problemas de estabilidad, se recuerda que cuando el movimiento es permanente la misma es constante en el tiempo; mientras que con movimiento variable la presión del agua está en función del tiempo y por lo tanto puede aumentar o disminuir.

Con referencia a la cantidad de agua que debido al fenómeno de la filtración atraviesa una cierta zona, se recuerda que en régimen permanente la cantidad de agua que entra es igual a la cantidad que sale, mientras que en régimen variable no existe igualdad y la diferencia representa el volumen de agua que acumula o que expulsa el terreno en el intervalo de tiempo considerado.

En el fenómeno de consolidación, la cual es una condición particular del régimen variable, entra también en juego la compresibilidad del terreno. En condiciones permanentes la zona de terreno donde se da la filtración (en el esquema de representación adoptado) tiene dos tipos de confines: uno es el lugar donde se conoce la carga de agua, que se define como confín o condición límite del potencial, mientras que el otro es un contorno de materiales impermeables, como roca impermeable, arcilla, etc. que delimita el estrato donde se da la filtración y se define como confín o condición límite del flujo de agua. Se pueden recordar como ejemplo las condiciones de flujo de agua en el ensayo de permeabilidad con carga constante. En este ensayo evidentemente los confines del potencial son las superficies de entrada y de salida del agua de la muestra de suelo. Debido a que las paredes del contenedor son impermeables, el flujo es paralelo al mismo y la pared constituye el confín del flujo del agua:



Esquema del flujo de agua

Un caso práctico es el tablestacado de la figura anterior que sostiene un nivel constante h de agua y que está hincado en el terreno a profundidad d en un estrato homogéneo de terreno permeable (arena o grava) de espesor d_1 , apoyado en un estrato impermeable (roca o arcilla). En este caso se cuenta con un movimiento confinado, ya que las condiciones de contorno de la región son geoméricamente definidas. El flujo del agua es causado por la carga hidráulica h ; sobre la superficie AD actúa una carga constante y esta superficie constituye el primer confín del potencial de nuestro problema. También en CG la carga es constante y esta superficie constituye el segundo confín. Obviamente, para cumplir con su finalidad, la pantalla debe ser impermeable, por lo que la superficie ABC constituye uno de los confines del flujo, mientras la superficie EF del estrato impermeable forma el otro confín. Evidentemente, si en teoría las características del agua, del suelo y del estrato impermeable en el trasdós y en el intradós de la pantalla se mantienen constantes, se puede considerar que los puntos D , E , F y G sigan al infinito. En la práctica, por lo general se

considera que la longitud interesada esté comprendida en 4-5 veces el espesor del estrato. Para determinar la cantidad de agua que se filtra en el terreno se establecen las hipótesis de que el flujo del agua se rija por la ley de Darcy y que el suelo sea homogéneo, isótropo e incompresible:

$$v = -k \cdot i$$

Se recuerda que la ley de Darcy es válida para flujo laminar, condición que se verifica con ciertos valores del número de Reynolds, R .

El valor de R , que caracteriza el pasaje de movimiento laminar a turbulento, asume valores diferentes a según del autor.

Taylor (1948) indica como criterio de validez de la ley de Darcy $R \leq 1$.

Otros estudiosos han examinado, especialmente con arcillas, la conexión entre las condiciones de movimiento y el gradiente hidráulico. Tavenas y otros (1983) llegaron a la conclusión de que, en cuanto a las arcillas, la ley de Darcy es válida para gradientes comprendidos entre 0,1 y 50.

Para calcular el caudal de filtración a través del suelo es útil determinar la distribución de la presión de poro construyendo una red de flujo, o sea un sistema de líneas de corriente y líneas equipotenciales que representan el flujo del agua en suelo incompresible. Aceptando la hipótesis de suelo incompresible para los movimientos de filtración planos y en régimen permanente, la ecuación de continuidad se puede escribir así:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Los dos componentes de la velocidad del líquido, según la ley de Darcy, se pueden expresar así:

$$v_x = -k \cdot i_x = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$v_z = -k \cdot i_z = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial z}$$

Uniendo estas tres ecuaciones se obtiene:

que es la ecuación de Laplace con movimiento permanente en un plano, suponiendo material homogéneo, isótropo e incompresible. Esta ecuación se expresa con dos funciones conjugadas ϕ y ψ . De hecho, podemos expresar los componentes de velocidad como

derivados parciales con respecto a x y z de la función $\varphi = k h$ por lo tanto:

$$v_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

$$v_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

Entonces podemos escribir:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}$$

La existencia de la función de potencial de velocidad de un fluido en movimiento $\varphi = k h$, implica vorticidad nula y que el movimiento sea irrotacional. Entonces podemos decir que se cuenta con una función de corriente tal que:

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

Y por lo tanto:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

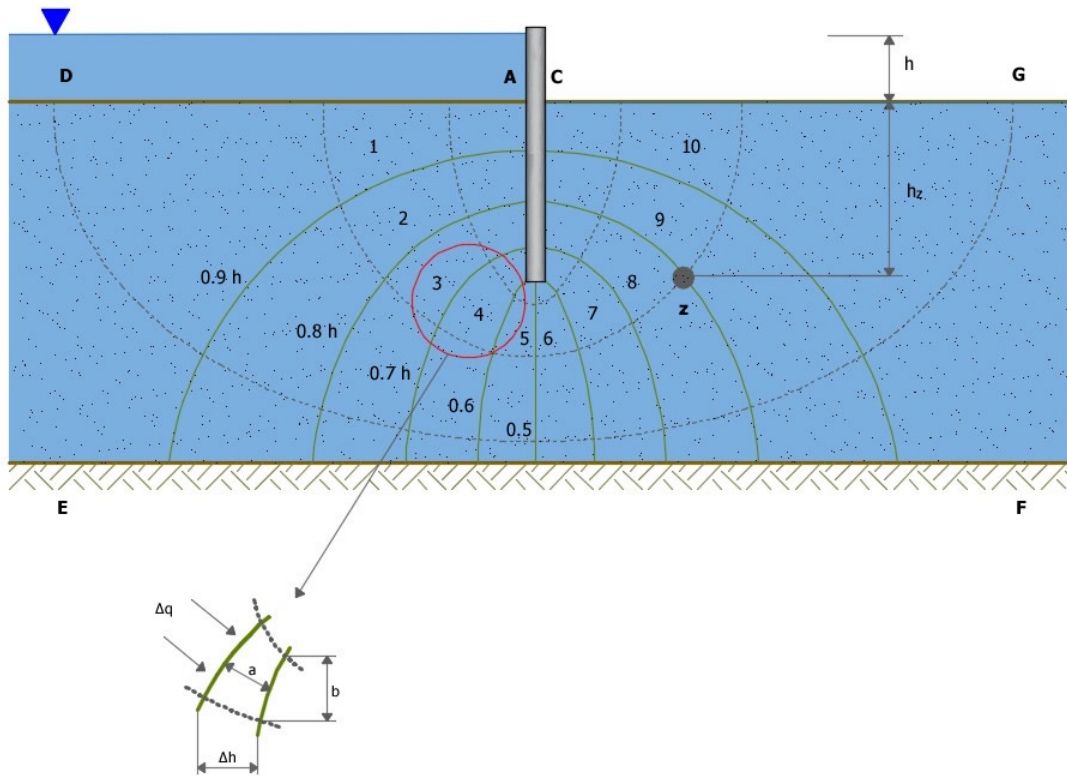
Podemos también decir:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

y se conocen, respectivamente, como función de potencial y función de corriente. Retomando el caso anterior del agua que se filtra a través del terreno por debajo de una pantalla (figura siguiente), tenemos que dos líneas equipotenciales son las superficies del terreno del trasdós y del intradós de la misma y además la superficie del estrato impermeable es una línea de corriente o de flujo. Resolviendo la ecuación de Laplace de acuerdo con estas condiciones límite, podemos construir la red de flujo. Cada franja comprendida entre dos líneas de flujo adyacentes es un canal de flujo y cada parte del canal de flujo comprendida entre dos líneas equipotenciales es un campo. Por lo tanto es conveniente construir las líneas equipotenciales en manera tal que desnivel piezométrico entre dos líneas sucesivas sea constante y las líneas de flujo en manera tal que cada canal de flujo tenga un caudal constante. Si h es la carga hidráulica total y N_a es el número de desniveles piezométricos identificados, la diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales sucesivas es:

$$\Delta h = \frac{h}{N_a}$$

En un punto z como se indica en la figura siguiente, la presión vale:



Esquema de la red de flujo

siendo n el número de desniveles piezométricos atravesados para llegar a z . En el ejemplo anterior tenemos:

$$\frac{n}{N_a} = \frac{8}{10}$$

Si no hubiese flujo de agua, o sea si la superficie del intradós fuese impermeable, la presión hidrostática en este punto sería:

$$p = (h + h_z) \cdot \gamma_w$$

Dado el agua se mueve, tenemos un pérdida de carga que, según la red de filtración dibujada en el punto z , es igual a $8/10h$. La sobrepresión del agua en el punto z es dada por:

Para conocer el caudal de filtración consideramos un campo, o sea un área comprendida entre dos líneas de flujo y dos líneas equipotenciales. La longitud del lado en la dirección de las líneas de flujo es a y por lo tanto el gradiente hidráulico en un campo es:

$$i = \frac{\Delta h}{a}$$

y la velocidad:

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{\Delta h}{a} = \frac{k}{a} \cdot \frac{h}{N_a}$$

Supongamos que el otro lado del campo sea de longitud b , entonces el caudal a través del campo por unidad de longitud de pantalla sería:

$$\Delta q = v \cdot b = \frac{k}{a} \cdot \frac{h}{N_a} \cdot b$$

para cada tubo de flujo; si se indica $b = a$, o sea si los elementos de la red de filtración son cuadrados, se obtiene:

$$\Delta q = k \cdot \frac{h}{N_a}$$

Si N_b es el número total de canales de flujo, el caudal total por unidad de longitud de pantalla es:

$$Q = \sum \Delta q = k \cdot h \cdot \frac{N_b}{N_a}$$

De este modo, una vez construida la red de flujo, se puede calcular fácilmente el caudal. La red de filtración generalmente se construye en laboratorio con métodos experimentales, con modelos analógicos o gráficamente por prueba y error. En situaciones más complejas del subsuelo, con sucesión de estratos y anisotropía de la permeabilidad, se puede obtener la red de filtración mediante métodos numéricos (FEM, BEM, método de las diferencias finitas).

1.10.6 Comprobación seguridad frente a sifonamiento

En presencia de nivel freático y en condiciones de activación de un movimiento de filtración, se genera en el suelo una fuerza de filtración dirigida hacia arriba que puede anular el peso del suelo y si este no es cohesivo, puede arrastrar partículas y producir el colapso del terreno. Este mecanismo de colapso se conoce como sifonamiento y el mismo se manifiesta en el punto de salida de la primera línea de flujo, o sea de la de adherencia a la pantalla. Otro fenómeno que se debe comprobar en condiciones de flujo es el de levantamiento del fondo de la excavación.

- Tensión vertical efectiva en presencia de gradiente hidráulico

En presencia de un gradiente hidráulico i , la tensión vertical efectiva se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma'_v = z \cdot (\gamma' - i \cdot \gamma_w)$$

donde:

- γ' es el peso específico del suelo efectivo
- i es el gradiente hidráulico
- γ_w es el peso específico del agua






La tensión vertical se anula cuando:

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

El factor de seguridad frente al sifonamiento está dado por la relación entre el gradiente crítico i_c y el de flujo i_E

$$F_S = \frac{i_c}{i_E}$$

1.11 Contatti

	 Phone
	+506 83094208 (orario de nuestra sede en Costa Rica) En Europa (+39) 6 90 28 90 85.
	 E-mail
	info@geostru.eu - info.es@geostru.eu
	 Working hours
	de las 9 AM a las 4 PM
	 Customer support
info@geostru.eu	

2 Utility

2.1 Tablas de Conversión

Tabla de conversión de (°) a (%) y viceversa

Inclinación (%)	Ángulo (°)	Inclinación (%)	Ángulo (°)
1	0.5729	26	14.5742
2	1.1458	27	15.1096
3	1.7184	28	15.6422
4	2.2906	29	16.1722
5	2.8624	30	16.6992
6	3.4336	31	17.2234
7	4.0042	32	17.7447
8	4.5739	33	18.2629
9	5.1428	34	18.7780
10	5.7106	35	19.2900
11	6.2773	36	19.7989
12	6.8428	37	20.3045
13	7.4069	38	20.8068
14	7.9696	39	21.3058
15	8.5308	40	21.8014
16	9.0903	41	22.2936
17	9.6480	42	22.7824
18	10.2040	43	23.2677
19	10.7580	44	23.7495
20	11.3099	45	24.2277
21	11.8598	46	24.7024
22	12.4074	47	25.1735
23	12.9528	48	25.6410
24	13.4957	49	26.1049
25	14.0362	50	26.5651

Tabla de conversión de las fuerzas

De	A	Operación	Factor
N	kg	Dividir entre	9.8
kN	kg	Multiplicar por	102
kN	t	Dividir entre	9.8
kg	N	Multiplicar por	9.8
kg	kN	Dividir entre	102
t	kN	Multiplicar por	9.8

Conversión fuerzas:

1 Newton (N) = 1/9.81 Kg = 0.102 Kg ; 1 kN = 1000 N

Tabla de conversión de las presiones

De	A	Operación	Factor
t/m ²	kg/cm ²	Dividir entre	10
kg/m ²	kg/cm ²	Dividir entre	10000
Pa	kg/cm ²	Dividir entre	98000
kPa	kg/cm ²	Dividir entre	98
Mpa	kg/cm ²	Multiplicar por	10.2
kPa	kg/m ²	Multiplicar por	102
Mpa	kg/m ²	Multiplicar por	102000

2.2 Database Suelos

Valores indicativos del peso de volumen en Kg/m³

Suelo	Valor mínimo	Valor máximo
Gravas secas	1800	2000
Gravas húmedas	1900	2100
Arena seca compacta	1700	2000
Arena húmeda compacta	1900	2100
Arena mojada compacta	2000	2200
Arena seca suelta	1500	1800
Arena húmeda suelta	1600	1900
Arena mojada suelta	1900	2100
Arcilla arenosa	1800	2200
Arcilla dura	2000	2100
Arcilla semisólida	1900	1950
Arcilla blanda	1800	1850
Turba	1000	1100

Valores indicativos del ángulo de rozamiento, en grados, en suelos

Suelo	Valor mínimo	Valor máximo
Gravas compactas	35	35
Gravas sueltas	34	35
Arena compacta	35	45
Arena suelta	25	35
Marga Arenosa	22	29
Marga grasa	16	22
Arcilla grasa	0	30
Arcilla arenosa	16	28
Limo	20	27

Valores indicativos de la cohesión en Kg/cm²

Suelo	Valor
Arcilla arenosa	0.20

Suelo	Valor
Arcilla blanda	0.10
Arcilla plástica	0.25
Arcilla semisólida	0.50
Arcilla sólida	1
Arcilla tenaz	2÷10
Limo compacto	0.10

Valores indicativos del módulo elástico, en Kg/cm²

Suelo	Valor máximo de E	Valor mínimo de E
Arcilla muy blanda	153	20.4
Arcilla blanda	255	51
Arcilla media	510	153
Arcilla dura	1020	510
Arcilla arenosa	2550	255
Loess	612	153
Arena limosa	204	51
Arena suelta	255	102
Arena compacta	816	510
Pizarra	51000	1530
Limo	204	20.4
Arena y gravas sueltas	1530	510
Arena y gravas compactas	2040	1020

Valores indicativos del coeficiente de Poisson para suelos

Suelo	Valor máximo de ν	Valor mínimo de ν
Arcilla saturada	0.5	0.4
Arcilla no saturada	0.3	0.1
Arcilla arenosa	0.3	0.2
Limo	0.35	0.3
Arena	1.0	0.1
Arena gravosa comúnmente usada	0.4	0.3

Valores indicativos del peso específico de algunas rocas en Kg/m³

Roca	Valor mínimo	Valor máximo
Granito	45	60
Dolerita	55	60
Basalto	50	55
Arenisca	35	50
Pizarra	15	30
Caliza	35	50
Cuarcita	50	60
Mármol	35	50

Valores indicativos del módulo elástico y del coeficiente de Poisson en rocas

Roca	E		n	
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo
Basalto	1071000	178500	0.32	0.27
Granito	856800	142800	0.30	0.26
Esquisto cristalino	856800	71400	0.22	0.18
Caliza	1071000	214200	0.45	0.24
Caliza porosa	856800	35700	0.45	0.35
Arenisca	428400	35700	0.45	0.20
Pizarra	214200	35700	0.45	0.25
Hormigón	Variable		0.15	

3 Normativa

3.1 Eurocódigos

3.1.1 Combinaciones EUROCÓDIGO 7

Según el EUROCÓDIGO 7, las comprobaciones de las pantallas se deben efectuar considerando las siguientes combinaciones de coeficientes:

ENFOQUE 1

- Combinación 1: (A1+M1+R1)
- Combinación 2: (A2+M2+R1)

ENFOQUE 2

- Combinación 1: (A1+M1+R2)

ENFOQUE 3

- Combinación 1: (A1 o A2*+M2+R3)

* coeficientes A1 para acciones de tipo estructural, A2 para las de tipo geotécnico tomando en cuenta los valores de los coeficientes parciales de las siguientes tablas:

Cargas	Efecto	Coficiente Parcial $F^o(E)$	A1	A2
Permanentes	Desfavorable	G	1,35	1,00
	Favorable	G.fav	1,00	1,00
Variables	Desfavorable	Q	1,50	1,30
	Favorable	Q.fav	0,00	0,00

Tabla EUROCÓDIGO 7 - Coeficientes parciales para las acciones o para el efecto de las acciones

Parámetro	Grandeza a la cual aplicar el coeficiente parcial	Coeficiente Parcial M	M1	M2
Tangente del ángulo de rozamiento interno	$\tan \varphi$	φ	1,00	1,25
Cohesión efectiva	c'	c'	1,00	1,25
Resistencia no drenada	c_u	c_u	1,00	1,40
Resistencia compresión simple	q_u	q_u	1,00	1,40
Peso específico			1,00	1,00

Tabla EUROCÓDIGO 7 - Coeficientes parciales para los parámetros geotécnicos del suelo

Comprobación	Coeficiente Parcial (R1)	Coeficiente Parcial (R2)	Coeficiente Parcial (R3)
Capacidad portante cimentación	$R=1,00$	$R=1,40$	$R=1,00$
Deslizamiento	$R=1,00$	$R=1,10$	$R=1,00$
Resistencia del terreno cuesta abajo	$R=1,00$	$R=1,40$	$R=1,00$

Tabla EUROCÓDIGO 7 - Coeficientes parciales R para las comprobaciones de los estados límite últimos STR y GEO

Cargas	Efecto	Coeficiente Parcial $F_o (E)$	Sifonamiento (HYD)
Permanente	Desfavorable	G_{dst}	1,35
	Favorable	G_{stb}	0,90
Variable	Desfavorable	Q_{dst}	1,50
	Favorable	Q_{stb}	0,00

Tabla EUROCÓDIGO 7 - Coeficientes parciales de las acciones para las comprobaciones con respecto a los estados límite de levantamiento hidráulico (sifonamiento)

3.1.2 Parámetros sísmicos EUROCÓDIGO 8

De acuerdo con el EUROCÓDIGO 8, la aceleración horizontal a_h a la cual está sometida estadísticamente la masa de suelo directamente relacionada con la obra se expresa como:

$$a_h = \pm k_h \cdot g$$

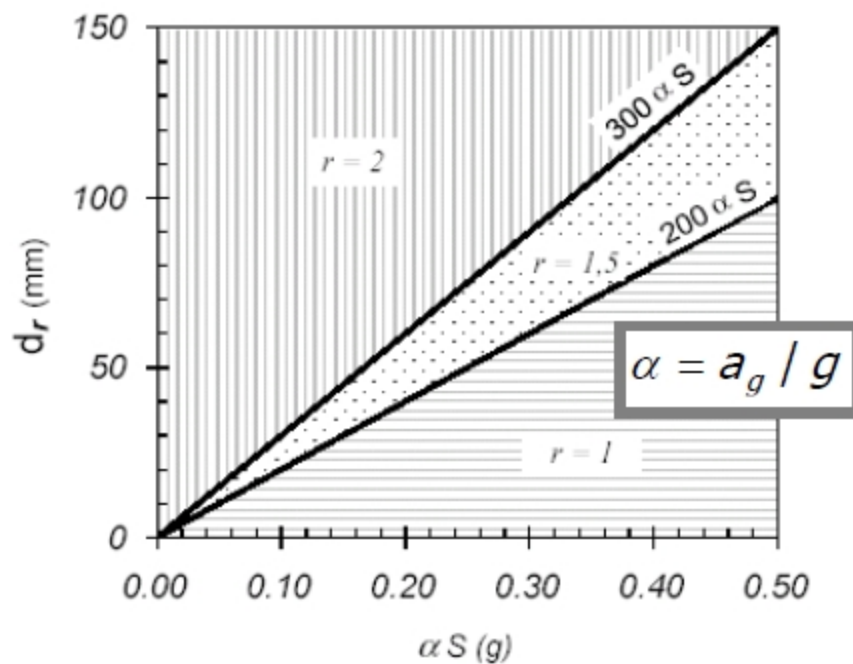
con

o sea

donde a_g es la intensidad sísmica del sitio, S el coeficiente de amplificación, en función de de la estratigrafía local, y r un parámetro que permite escalar la intensidad de la acción sísmica al calcular las acciones de proyecto de la estructura. El coeficiente r puede asumir valores entre 1 y 2, según el tipo de obra y su comportamiento durante el sismo y el daño permanente admisible.

En caso de obras de contención, el EC8 propone algunas correlaciones que permiten relacionar r con la entidad de la deformación aceptable (figura siguiente).

Con suelos incoherentes saturados se debe asumir $r = 1$.



Determinación del coeficiente r y el desplazamiento admisible d_r (mm)

El coeficiente de amplificación local S se determina según la estratigrafía por encima del sustrato:

Terreno	S
A	1,00
B	1,25
C	1,25
D	1,35
E	1,25

Tabla Coeficiente de amplificación local S

En cuanto a las deformaciones admisibles se hace referencia a la destinación de la obra y al ámbito en el que se encuentra.

La componente vertical se calcula como a continuación:

$$a_v = \pm k_v \cdot g$$

con

$$k_v = 0.5 \cdot k_h$$

Las aceleraciones k_h y k_v se deben multiplicar por el factor de importancia I

Clases de importancia	Construcciones	I
I	Poca importancia para la seguridad de personas (edificios agrícolas)	0.8
II	Construcciones ordinarias no pertenecientes a otras clases	1.0
III	Construcciones cuyo colapso en un sismo causa grandes consecuencias	1.2
IV	Construcciones de vital importancia para la protección civil	1.4

Tabla EUROCÓDIGO 8 - Clases de importancia

3.1.3 Parámetros característicos del terreno EUROCÓDIGO

El Eurocódigo 7: "Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules", introduce el concepto de los valores característicos de los parámetros geotécnicos. El valor característico, comprendido como una estimación prudente del valor que produce la aparición del estado límite en consideración, se debe utilizar en todas las comprobaciones geotécnicas, ya sea que se trate de ELU (estados límite últimos o sea posible presencia potencial de una superficie de rotura) o de ELS (estados límite de servicio o sea deformaciones de tipo elástico o de consolidación prescindiendo del estado de rotura).

La única metodología delineada en el EC7 para la definición de los valores característicos es de carácter estadístico.

"If statistical methods are used, the characteristic value should be derived such that the calculated probability of a worse value governing the occurrence of the limit state under consideration is not greater than 5%.

NOTE In this respect, a cautious estimate of the mean value is a selection of the mean value of the limited set of geotechnical parameter values, with a confidence level of 95%; where local failure is concerned, a cautious estimate of the low value is a 5% fractile".

3.2 LRFD

3.2.1 Combinaciones LRFD

El método LRFD (Load Resistance Design Factor) introduce dos tipos de coeficientes de proyecto: los factores de carga y los factores de resistencia.

Este método da importancia al Estado Límite Último de la estructura mientras no toma en cuenta el concepto de de resistencia "característica".

El método se basa en la sulla inecuación:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i < \phi \cdot R_n$$

donde Q es la sumatoria de las cargas nominales de la estructura multiplicadas por los "factores de carga", j es un "factor de resistencia" y R_n es la resistencia nominal.

Load Combination Limit State	DC DD DW EH EV ES EL	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Use One of These at a Time			
										EQ	IC	CT	CV
STRENGTH I (unless noted)	γ_p	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
STRENGTH II	γ_p	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
STRENGTH III	γ_p	—	1.00	1.40	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
STRENGTH IV	γ_p	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—
STRENGTH V	γ_p	1.35	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
EXTREME EVENT I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
EXTREME EVENT II	γ_p	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00
SERVICE I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
SERVICE II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—
SERVICE III	1.00	0.80	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—
SERVICE IV	1.00	—	1.00	0.70	—	1.00	1.00/1.20	—	1.0	—	—	—	—
FATIGUE— LL, IM & CE ONLY	—	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabla 3.4.1-1 LRFD - Combinaciones de carga y factores de carga

Type of Load, Foundation Type, and Method Used to Calculate Downdrag		Load Factor	
		Maximum	Minimum
DC: Component and Attachments		1.25	0.90
DC: Strength IV only		1.50	0.90
DD: Downdrag	Piles, α Tomlinson Method	1.4	0.25
	Piles, λ Method	1.05	0.30
	Drilled shafts, O'Neill and Reese (1999) Method	1.25	0.35
DW: Wearing Surfaces and Utilities		1.50	0.65
EH: Horizontal Earth Pressure			
• Active		1.50	0.90
• At-Rest		1.35	0.90
• AEP for anchored walls		1.35	N/A
EL: Locked-in Erection Stresses		1.00	1.00
EV: Vertical Earth Pressure			
• Overall Stability		1.00	N/A
• Retaining Walls and Abutments		1.35	1.00
• Rigid Buried Structure		1.30	0.90
• Rigid Frames		1.35	0.90
• Flexible Buried Structures other than Metal Box Culverts		1.95	0.90
• Flexible Metal Box Culverts		1.50	0.90
ES: Earth Surcharge		1.50	0.75

Tabla 3.4.1-2 LRFD - Factores de carga para cargas permanentes

WALL-TYPE AND CONDITION		RESISTANCE FACTOR
Nongravity Cantilevered and Anchored Walls		
Axial compressive resistance of vertical elements		Article 10.5 applies
Passive resistance of vertical elements		0.75
Pullout resistance of anchors ⁽¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Cohesionless (granular) soils • Cohesive soils • Rock 	0.65 ⁽¹⁾ 0.70 ⁽¹⁾ 0.50 ⁽¹⁾
Pullout resistance of anchors ⁽²⁾	• Where proof tests are conducted	1.0 ⁽²⁾
Tensile resistance of anchor tendon	<ul style="list-style-type: none"> • Mild steel (e.g., ASTM A 615M bars) • High strength steel (e.g., ASTM A 722M bars) 	0.90 ⁽³⁾ 0.80 ⁽³⁾
Flexural capacity of vertical elements		0.90
Mechanically Stabilized Earth Walls		
Bearing resistance		Article 10.5 applies
Sliding		Article 10.5 applies
Tensile resistance of metallic reinforcement and connectors	Strip reinforcements ⁽⁴⁾	
	• Static loading	0.75
	• Combined static/earthquake loading	1.00
	Grid reinforcements ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	
• Static loading	0.65	
• Combined static/earthquake loading	0.85	
Tensile resistance of geosynthetic reinforcement and connectors	• Static loading	0.90
	• Combined static/earthquake loading	1.20
Pullout resistance of tensile reinforcement	• Static loading	0.90
	• Combined static/earthquake loading	1.20
Prefabricated Modular Walls		
Bearing		Article 10.5 applies
Sliding		Article 10.5 applies
Passive resistance		Article 10.5 applies

Tabla 11.5.6-1 LRFD - Factores de resistencia para obras de contención

3.3 Geoapp

Geoapp: la suite más grande de la web para cálculos en línea

Las aplicaciones que componen Geostru Geoapp han sido diseñadas para brindar soporte profesional en la solución de múltiples casos técnicos. Geoapp comprende más de 40 aplicaciones para: Ingeniería, Geología, Geofísica, Hidrología e Hidráulica.

La mayoría de las aplicaciones son gratuitas, mientras algunas requieren suscripción mensual o anual.

Suscribirse en Geoapp significa:

- usar aplicaciones profesionales en cualquier momento, lugar y dispositivo;
- guardar los archivos en la nube y en el propio PC;
- abrir los archivos para elaboraciones sucesivas;
- servicios de impresión de los informes y las elaboraciones gráficas;
- información sobre nuevas aplicaciones e inclusiones automáticas en la propia cuenta de usuario;
- disponibilidad de versiones siempre actualizadas;
- servicios de asistencia técnica por medio de Tickets.

3.3.1 Sección Geoapp

General e Ingeniería, Geotecnia y Geología

Entre las aplicaciones presentes, se puede utilizar una amplia gama para SPW. Para este propósito, se recomiendan las siguientes aplicaciones:

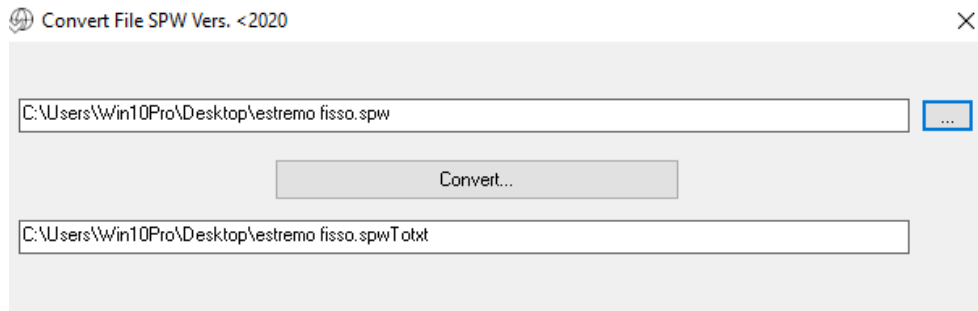
- Newmark
- Clasificación de tierras
- Coeficiente de reacción horizontal
- Prueba GILG-GAVARD
- Prueba HAEFELI

4 Conversión de archivos de . spw a . spwx

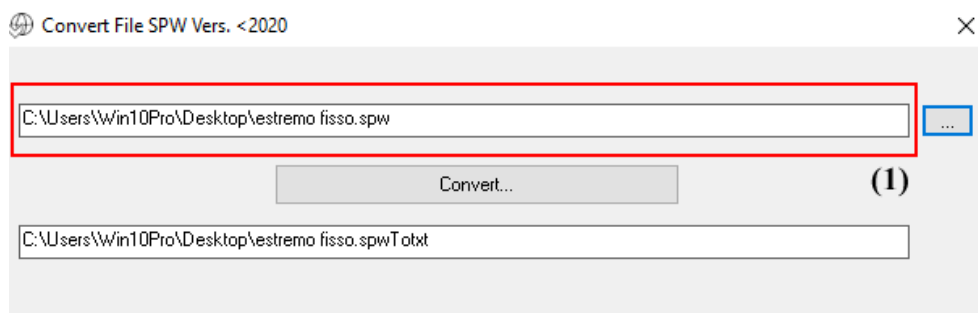
Después de instalar la versión 2022 de SPW, en el directorio C: \GEOSTRU 2022 está presente la carpeta Convert spw to spwTotxt dentro de la cual está contenido el ejecutable Spwtotxt.exe que permite convertir el archivo con la extensión. spw in .spwTotxt.

Procedimiento de conversión de archivos

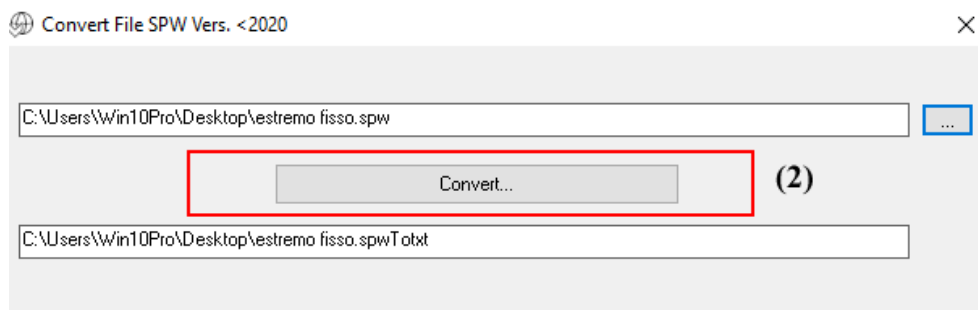
Inicie el ejecutable Spwtotxt.exe, aparecerá la siguiente imagen



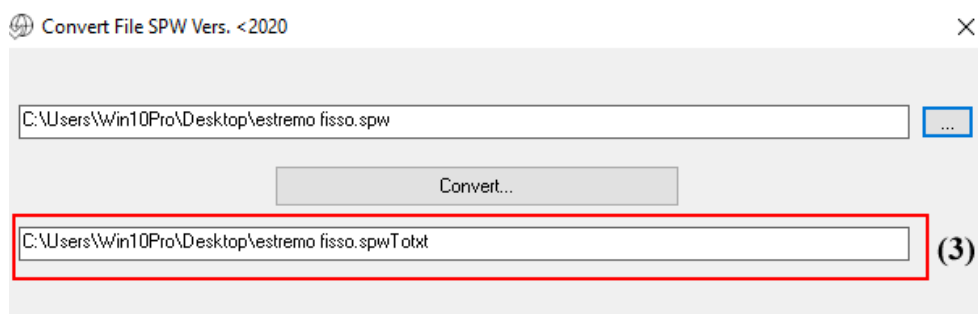
En el campo (1) se indicará la ruta en la que se encuentra el archivo de extensión .spw que necesita convertir, realizar la búsqueda haciendo clic en el botón [...]. Después de seleccionar el archivo se activará el comando Convert.



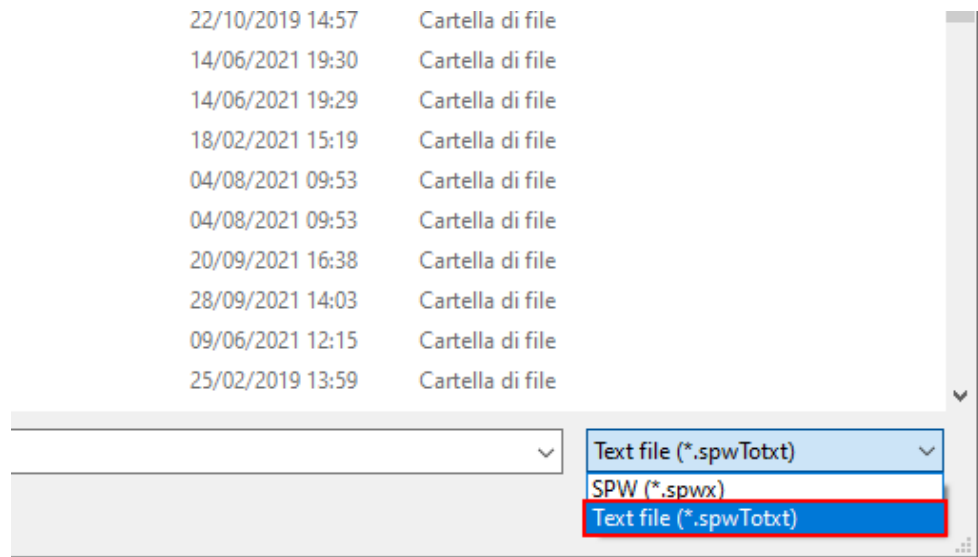
Seleccione el botón Convert (2)



El archivo con la extensión .spwTotxt se guardará en el directorio indicado en el campo (3).



Inicie el software SPW, en el menú Archivo seleccione el comando Abrir y elija la extensión .spwTotxt, seleccione el archivo generado por la aplicación Spwtotxt.exe. Guarde el archivo con la extensión .spwx.



5 Bibliografía

Bowles (1991)

Fondazioni Progetto e Analisi Joseph E. Bowles, Ed. McGraw-Hill.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI -
DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «*Norme tecniche per le costruzioni*»

Nuove norme tecniche per le costruzioni, DM Infrastrutture 14 gennaio 2008.

Bond A., Harris A. (2008)

Decoding Eurocode7, Taylor & Francis Group.

Carlo Cestelli Guidi (1980)

Geotecnica e tecnica delle fondazioni, Vol. 2, Ed. Hoepli.

6 Comandos de shortcut

La barra indicada en la figura puede ser utilizada para distintas funciones:

1) Con las letras de short cut de los distintos menús, confirmando con ENTER se accede rápidamente a los distintos comandos.

Ej.: *N+ENTER* para crear un nuevo archivo.

2) Se puede hacer una pregunta al programa agregando el signo interrogación ? + *ENTER*. En tal caso serán realizadas las búsquedas en el menú Ayuda.

Ej.: *Sismo+?+ENTER* para tener informaciones sobre el análisis sísmico.

3) Activación de un programa en forma rápida.

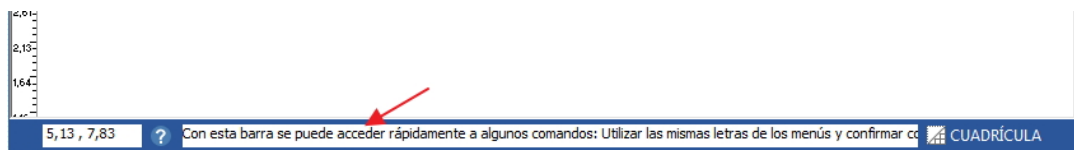
Ej.: *Slope+ENTER* para abrir otro software Geostru.

4) Acceso rápido a los contactos GeoStru.

Ej.: Contactos +?+ *ENTER* para acceder a la lista de contactos GeoStru.

5) Acceso rápido a las funciones del web:

Ej.: *www.geostru.eu+ ENTER*, o bien *info.es@geostru.eu. geostru ps + ENTER* para acceder rápidamente a los parámetros sísmico..



Barra comandos Shortcut