

Capítulo 22

Muros de Sótano y de Contención

Tricalc.6

Introducción

Tricalc.6 permite calcular los muros de sótano y de contención (en ménsula) de forma conjunta con el resto de elementos de la estructura. De las diferentes tipologías de muros que existen, muros de contención en ménsula, muros de gravedad, pantallas y muros de sótano, el módulo *Tricalc.6* calcula muros de sótano y muros de contención en ménsula.

El programa está relacionado con los demás módulos de *Tricalc*, realizando el cálculo de forma integrada con el resto de la estructura. Toda la información relativa a los elementos de la estructura que tienen relación con los muros de sótano, tales como vigas, pilares, forjados, zapatas y vigas de cimentación, es utilizada por el programa para el dimensionamiento de los muros. Igualmente, para el cálculo y dimensionamiento de los elementos de la estructura se considera la relación de cada uno de ellos con los muros de sótano. Tal es el caso de vigas y pilares contenidos dentro de un muro de sótano, forjados apoyados en muros... Para el cálculo de los muros de contención o ménsula, no puede existir contacto con ningún otro elemento de la estructura.

Tipologías de Muros

Existen varias tipologías de elementos estructurales denominados de forma genérica como muros y que se utilizan para la contención de tierras. Existen tres tipologías básicas:

- Muros ménsula.
- Muros de gravedad.
- Muros de sótano.

Muros ménsula

Son muros de hormigón armado que realizan la contención del terreno para salvar una diferencia de cotas. Se trata de un elemento estructural aislado, cuyo cálculo no tiene relación con ningún otro elemento estructural. La forma de trabajo de un muro ménsula es similar a la de un voladizo, trabajando a flexión para resistir el empuje del terreno. Esta solución resulta económica hasta alturas de 10 ó 12 metros.

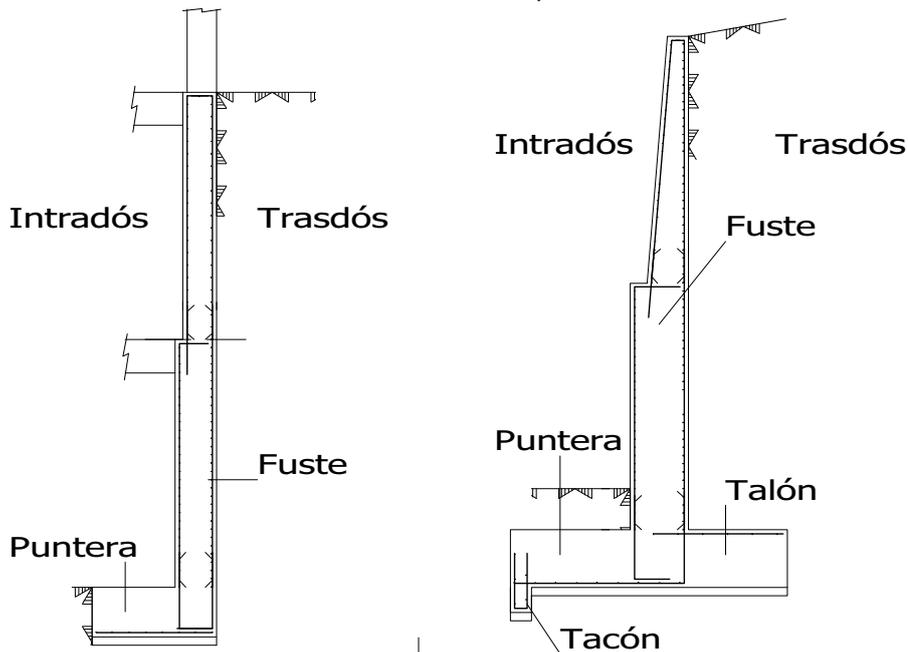
Cuando en el programa o en este manual se hace referencia a **muros de contención**, se refiere a esta tipología.

Muros de gravedad

Se utiliza para las mismas soluciones que el muro ménsula, construyéndose exclusivamente de hormigón en masa, ya que la contención se consigue por su peso propio. El criterio económico hacer recomendable este tipo de muro para alturas más pequeñas que en los muros ménsula.

Muros de sótano

Son elementos estructurales sobre los que se apoyan pilares o forjados de una estructura. Soportan las cargas verticales de los pilares y de los forjados que apoyan sobre ellos, y los empujes horizontales del terreno y del nivel freático. Esta solución resulta económica para un número de alturas entre 2 y 3.



Muro de Sótano y Muro de Contención o en ménsula

Muros de sótano y muros de contención en ménsula en el programa

El módulo **Tricalc.6** del programa permite introducir y calcular muros de contención (del tipo muros en ménsula) y muros de sótano. En muchos aspectos ambos tipos de muro son similares, pero en muchos otros no lo son. Las principales diferencias en **Tricalc** entre muros de contención o ménsula y muros de sótano son:

- Los muros de contención son totalmente autoportantes: no necesitan de la colaboración de ningún otro elemento estructural para resistir los esfuerzos a los que están sometidos y transmitirlos adecuadamente a su propia cimentación. Estos esfuerzos son exclusivamente los del terreno situado en su trasdós (con inclusión o no de nivel freático) y su propio peso.
- Los muros de sótano trabajan fundamentalmente transmitiendo a la cimentación y al resto de la estructura las acciones (principalmente verticales) de los pilares situados en su coronación y forjados apoyados en él y las acciones (principalmente horizontales) originadas por el empuje del terreno. Necesitan por tanto de los forjados para evitar su desplazamiento horizontal y vuelco. Los forjados a su vez transmiten las acciones así recibidas al resto de la estructura.
- En **Tricalc**, los muros de sótano son siempre de caras verticales. Pueden ser escalonados, pero los cambios de sección deben coincidir con vigas o forjados. Por el contrario, los muros de contención pueden tener una o ambas caras inclinadas; y pueden sufrir cambios de sección a cualquier cota.
- En **Tricalc**, los muros de sótano no pueden tener talón ni tacón. Si apoyan en una losa de cimentación, carecen también de puntera. Por el contrario, los muros de contención no pueden apoyar en losas de cimentación, pero pueden tener puntera y/o talón. También pueden tener tacón.
- En **Tricalc**, los muros de sótano deben tener barras (pilares y vigas o zunchos) en su perímetro. Sin embargo, los muros de contención no deben estar unidos a ningún elemento (barra, forjado,...).

Modelización de los Muros: Geometría, Ejes y Crecimientos

El elemento **muro** considerado en **Tricalc.6** está definido por un rectángulo, con los siguientes lados:

Lado inferior	Es la cota inferior de la cimentación. El programa supone que el muro tiene un apoyo horizontal en esta cota y además es la cota inferior de cimentación.
Lado superior	En el caso de muros de sótano debe coincidir con algún nudo o viga de la estructura; el programa supone que el muro tiene un apoyo horizontal en esta cota. En el caso de muros de contención no puede existir contacto con ningún otro elemento (viga, pilar, forjado...) de la estructura.
Lados laterales	Definen la extensión del muro, debiendo coincidir con nudos ó barras de la estructura en el caso de muros de sótano, o con puntos de la trama en el caso de muros de contención.

Si una estructura tiene diferentes planos en los que definir muros, es preciso introducir un muro para cada plano.

Cada muro tiene un sistema de ejes locales constituido por los ejes X, Y y Z, definidos de la siguiente manera:

Eje X Se define según el sentido del empuje del terreno, de forma que las fuerzas de empuje del terreno, de la sobrecarga en coronación y del nivel freático actúan según la dirección del eje X y sentido positivo.

Eje Y Siempre es vertical, y por tanto paralelo al eje Y general.

Eje Z Tiene como dirección el sentido longitudinal del muro, formando un sistema de ejes dextrógiro con los ejes X e Y del muro.

Un muro puede tener tres tipos distintos de crecimiento, definidos según la posición de su cara exterior e interior, respecto al plano definido por los ejes X e Y del muro. Es posible indicar un crecimiento a una distancia, en cm., de dichas posiciones.

Puede modificarse el sentido de actuación de los empujes girando el muro un ángulo de 180 grados. Solamente se permiten empujes según una dirección del eje X del muro.

Integración de los Muros de Sótano con la Estructura

Los muros de sótano están relacionados con el resto de elementos del programa: vigas, pilares, forjados, zapatas y vigas de cimentación. La introducción de un muro afecta al cálculo del resto de elementos estructurales, por lo que es necesario definirlos en la fase de introducción de la geometría.

Conexión con la geometría

La posición de los muros de sótano se realiza a partir de la geometría de la estructura definida. El programa define automáticamente el muro como situado en una medianería, aunque es posible cambiar esta posición inicial.

Transmisión de cargas de la estructura al muro. Vigas y Pilares

Las **cargas de las vigas** incluidas en un muro, que tienen pilares en sus nudos inicial y final, se consideran transmitidas al muro y al terreno por los pilares. En el caso de vigas embutidas en el muro que no transmitan la carga a los pilares, es decir, vigas a cuyos nudos inicial y final no tengan pilares, se consideran sus cargas a fin de evaluar las cargas por metro lineal sobre el muro y sobre el terreno.

Las **cargas de los nudos** incluidos en un muro se consideran en el cálculo del muro en las siguientes condiciones:

- El nudo tiene introducido una condición de sustentación en el eje vertical (apoyo vertical) ó un resorte. Si no se considera así, y el nudo dentro del muro es libre, el programa considera que no tiene impedido su desplazamiento vertical, produciéndose desplazamientos verticales importantes, y es un error en la modelización.
- El nudo no pertenece a ninguna viga o pilar contenidos en el muro. se supone que la carga introducida por el nudo ya está considerada al evaluar las cargas de los pilares y muros contenidos en el muro.

Las cargas verticales de los pilares se consideran a fin de evaluar el valor máximo de carga por metro lineal de muro. Los momentos flectores en la base de los pilares que acometen al muro en su cota superior, se consideran en el cálculo del muro como viga continua, aplicados en el nudo superior.

Es conveniente que los pilares tengan continuidad dentro del muro, hasta llegar a cimentación, sobre todo si el muro salva varias plantas de estructura y tiene unas dimensiones que se salen del espesor del muro. Los esfuerzos de los pilares embutidos dentro del muro se consideran soportados por el muro, por lo cual, estos pilares no se consideran en el cálculo del armado. El armado propuesto por el programa para estos pilares es el correspondiente al pilar superior fuera del muro, es decir, es el armado correspondiente a la prolongación de la armadura del pilar superior hasta la cota de cimentación.

Si los pilares embutidos dentro de un muro se hacen **barras ficticias**, no aparecerán en el cuadro de pilares, ya que dichas barras no se representan. Esta solución de hacer **barras ficticias** ciertos pilares es utilizable para los pilares que tienen igual ancho que el espesor del muro, y por tanto, no van a prolongarse sus armaduras hasta la cimentación. Será preciso dejar en este caso una armadura de espera dentro del muro para recoger las armaduras del pilar que parte del muro.

Si los pilares no se continúan hasta la cota de cimentación el cálculo de solicitaciones no tiene en cuenta el aumento de rigidez de los pilares embutidos dentro de un muro, efecto que es importante de considerar por los desplazamientos y solicitaciones que produce en la estructura.

Transmisión de las cargas del muro de sótano a la estructura: empujes

En función de las opciones relativas al terreno y al nivel freático seleccionadas en la caja de diálogo **Cálculo>Muro de Sótano–Contención>Opciones>Generales...**, se calculan los empujes del terreno, considerado en reposo, y los transmite a los nudos de la estructura, como cargas horizontales en nudo y con su valor correspondiente. Por tanto, los empujes del terreno se consideran en el cálculo global de solicitaciones de la estructura. El cálculo de empujes se realiza con los valores de opciones que tienen asignadas cada muro en el momento de realizar el cálculo de solicitaciones. El cálculo de los empujes se hace determinando las fuerzas puntuales sobre los nudos incluidos en el muro, que pertenezcan a vigas de la estructura.

Si dentro de un muro sólo existen nudos en la cota de cimentación y en la de coronación, el empuje del terreno asimilado a fuerzas puntuales se considera evidentemente solamente en estas dos cotas, y no en ninguna cota intermedia.

Vigas embutidas en el muro. Barras ficticias

En la etapa de cálculo de esfuerzos, de cálculo de armado y de comprobación de secciones, el programa convierte automáticamente en barras ficticias las vigas que están embutidas en el muro. De esta forma, el programa no trata de calcular su armado, ni su estado de tensiones si son de acero.

Pilares

Se considera que los pilares que tienen continuidad dentro de un muro, experimentan un aumento de rigidez correspondiente a una sección equivalente de dimensiones:

- Ancho igual al espesor del muro.
- Canto igual a la base de un triángulo equilátero calculado a partir de la intersección del pilar con el nivel superior del forjado. Para un muro de espesor 30 cm. y altura 3 metros, un pilar tendría una rigidez adicional correspondiente a una sección de ancho 30cm. y canto $2 \times 300 / \sqrt{3}$.

Si un pilar pertenece a dos muros, como es el caso de pilares de esquina, se considera simultáneamente el aumento de rigidez producido por pertenecer a dos muros.

Este aumento de rigidez se considera en el cálculo de solicitaciones de la estructura. Por tanto, es necesario introducir el muro antes de calcular. Si el muro no está calculado ni predimensionado, y por tanto, no se conocen sus dimensiones, el programa realiza un predimensionado automático en el momento del cálculo. Los criterios del predimensionado automático del muro se definen en el apartado correspondiente de este capítulo. Si se quiere utilizar unos espesores de muro distintos de los propuestos de forma automática por el programa, deberá ser predimensionado el muro mediante la función **Secciones>Muros de Sótano–Contención> Predimensionar**.

A este apartado es aplicable todo lo referido en el apartado **Transmisión de cargas de la estructura al muro. Vigas y Pilares** referente al armado de pilares.

Forjados apoyados en muros de sótano

En el cálculo de los forjados unidireccionales, se considera de forma automática un grado de empotramiento en los lados del polígono del forjado unidireccional que están en contacto con un muro de sótano. El empotramiento por defecto es del 100%, aunque el usuario puede definir un grado de empotramiento diferente al anterior, mediante las funciones del menú **Geometría>Unidireccional> Empotramientos....** En un lado de un polígono de forjado tiene prioridad el valor de empotramiento definido por el usuario que el propuesto de forma automática por el programa.

En el cálculo de los forjados reticulares y losas, en versiones anteriores a la versión 3.5, se consideraba de forma automática un empotramiento perfecto en los nudos del forjado reticular o losa incluidos dentro del muro de sótano; el empotramiento considerado automáticamente era equivalente asignar la condición de apoyo **DY, GX y GZ**, es decir, impedir totalmente el desplazamiento en eje vertical y el giro en los ejes Xg y Zg. Desde la versión 3.5 la opción por defecto es considerar exclusivamente un apoyo vertical, equivalente a asignar la condición de apoyo **DY**. Mediante las funciones del menú **Geometría>Reticular> Empotramientos....** se pueden asignar constantes de resorte a los lados del forjado reticular para considerar grados de empotramientos distintos del empotramiento perfecto o del apoyo simple. En un lado de un polígono de forjado tiene prioridad el valor de empotramiento definido por el usuario que el propuesto por defecto por el programa. Téngase en cuenta que asignar un grado de empotramiento en la unión muro de sótano-forjado aumenta los momentos negativos y disminuye los positivos, debiendo el usuario comprobar que el anclaje de la armadura superior del forjado necesaria se realiza correctamente.

Para considerar correctamente el empotramiento de un forjado en un muro es necesario que el lado del polígono del forjado esté totalmente incluido en el muro, es decir, que los dos vértices del lado del polígono del forjado estén dentro del muro. Si no es así, puede utilizar la función **Geometría>Forjado>Operaciones>Dividir Lado**, para dividir el lado del polígono, a fin de que quede completamente incluido dentro del muro.

La función **Resultados>Gráficas>Nudos en muro** representa los nudos de la estructura que están incluidos dentro de los muros definidos. Si la función se solicita antes del cálculo, sólo se representan los nudos de la estructura. Si se solicita después del cálculo, se representan además los nudos pertenecientes a los forjados reticulares o losas. Es importante utilizar esta función para verificar las condiciones de empotramiento que está utilizando el programa.

Cimentación. Vigas centradoras

Para resolver el armado de las vigas centradoras que tienen un punto de cimentación contenido en un muro de sótano, se supone en la zapata del muro una zapata ficticia cuyo ancho es el ancho de la zapata del muro y cuyo largo es el doble de esa magnitud en el sentido longitudinal de muro. A partir de ese momento, el cálculo del conjunto zapata-viga-zapata se realiza como en el resto de casos. Se supone

que no existe excentricidad en la reacción del punto de la cimentación del muro de sótano. Por tanto, se considera que la viga centradora solamente centra la carga de la zapata.

Al eliminar un muro de sótano ligado a otras zapatas de la cimentación con vigas-zapata, éstas se eliminan automáticamente.

Modelización de la solera

El cálculo estructural del muro parte de una hipótesis que lo considera apoyado en las distintas plantas de estructura. El punto de arranque de la cimentación se considera indesplazable en sentido horizontal.

La modelización de la solera debe realizarse con arreglo a estas premisas, que suponen que la cimentación del muro no se mueve, a lo que contribuye además el rozamiento entre el terreno y la cimentación. Las vigas de cimentación no se calculan para resistir la reacción horizontal necesaria para considerar la hipótesis de indesplazabilidad horizontal anterior.

Cálculo de los Muros de Contención o en Ménsula

En el cálculo de los muros de Contención o en Ménsula se realizan los siguientes pasos:

- Cálculo de los empujes producidos por el terreno.
- Dimensionado de la zapata para que la tensión sobre el terreno sea menor de la admisible.
- Comprobación a vuelco, redimensionando la zapata si es necesario.
- Comprobación a deslizamiento, redimensionando la zapata si es necesario.
- Armado del muro y su zapata, redimensionando el muro y su zapata si es necesario.

Empuje del terreno en muros de sótano (NBE's)

Nota



Para otras normativas consultar el anexo correspondiente del manual de normativas.

El empuje del terreno en el trasdós de muros de sótano se considera que es siempre un empuje en reposo ya que el movimiento horizontal del muro está impedido por el resto de la estructura. En el programa se obtiene mediante la teoría de Rankine (que coincide con la de Coulomb para muros de trasdós vertical y no consideración del ángulo de rozamiento muro / terreno):

En un punto cualquiera del trasdós del muro a una profundidad z desde su coronación existe un empuje de componentes horizontal (p_h) y vertical (p_v) de valor

$$p_h = \left(\gamma \cdot z + q \cdot \frac{1}{\cos(\beta)} \right) \cdot \lambda_n$$

$$p_v = 0$$

donde

$$\lambda_h = 1 - \text{sen}(\varphi)$$

siendo

- β Inclinación del terreno respecto a la horizontal.
- φ Ángulo de rozamiento interno del terreno.
- γ Densidad aparente (húmeda) del terreno.
- q Carga uniformemente repartida sobre el terreno.

Se debe cumplir siempre que:

$$0 \leq \beta \leq \varphi;$$

Si existe definido un nivel freático a la profundidad z_0 , el empuje en un punto cualquiera del trasdós del muro a una profundidad $z > z_0$ desde su coronación será

$$p_h = \left(\gamma' \cdot (z - z_0) + \gamma \cdot z + q \cdot \frac{1}{\cos(\beta)} \right) \cdot \lambda_h + \gamma_w \cdot (z - z_0)$$

$$p_v = 0$$

siendo

- γ' Densidad sumergida del terreno.
- γ_w Densidad del agua.

En el caso de terrenos cohesivos podría tenerse en cuenta el efecto favorable de la cohesión, pero dado que ésta depende de la humedad del terreno, no se puede garantizar que a lo largo de la vida del muro el terreno no pierda su cohesión. Por tanto, en el programa no se tiene en cuenta la cohesión del terreno en el cálculo de los empujes.

El cálculo del empuje producido por la acción sísmica se debe realizar afectando de un factor de mayoración al valor del coeficiente de empuje del terreno, función de la zona sísmica. Los empujes sobre muros por efecto de la acción sísmica contemplada en la NCSE-94 se calculan con un valor del coeficiente sísmico horizontal igual a la aceleración sísmica de cálculo.

Empuje del terreno en muros de contención (NBE's)

Nota



Para otras normativas consultar el anexo correspondiente del manual de normativas.

El empuje del terreno en el trasdós de muros de contención (en ménsula) se considera que es siempre un empuje de tipo activo ya que siempre se produce un cierto movimiento del muro por su causa. En el programa se obtiene mediante la teoría de Coulomb:

En un punto cualquiera del trasdós del muro a una profundidad z desde su coronación existe un empuje de componentes horizontal (p_h) y vertical (p_v) de valor

$$p_h = \left(\gamma \cdot z + q \cdot \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen}(\alpha + \beta)} \right) \cdot \lambda_h$$

$$p_v = \left(\gamma \cdot z + q \cdot \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen}(\alpha + \beta)} \right) \cdot \lambda_v$$

donde

$$\lambda_h = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \varphi)}{\text{sen}^2 \alpha \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\lambda_v = \lambda_h \cdot \text{cotg}(\alpha - \delta)$$

siendo

α Inclinação del trasdós del muro ($\alpha = 90^\circ$ si el trasdós es vertical). En **Tricalc** siempre es $\alpha \leq 90^\circ$.

β Inclinação del terreno respecto a la horizontal.

δ Ángulo de rozamiento entre muro y terreno.

φ Ángulo de rozamiento interno del terreno.

γ Densidad aparente (húmeda) del terreno.

q Carga uniformemente repartida sobre el terreno.

Se debe cumplir siempre que:

$$0 \leq \beta \leq \varphi;$$

$$0 \leq \delta \leq \varphi$$

Si existe definido un nivel freático a la profundidad z_0 , el empuje en un punto cualquiera del trasdós del muro a una profundidad $z > z_0$ desde su coronación será

$$p_h = \left(\gamma' \cdot (z - z_0) + \gamma \cdot z + q \cdot \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen}(\alpha + \beta)} \right) \cdot \lambda_h + \gamma_w \cdot (z - z_0) \cdot \text{sen } \alpha$$

$$p_v = \left(\gamma' \cdot (z - z_0) + \gamma \cdot z + q \cdot \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen}(\alpha + \beta)} \right) \cdot \lambda_v + \gamma_w \cdot (z - z_0) \cdot \text{cos } \alpha$$

siendo

γ' Densidad sumergida del terreno.

γ_w Densidad del agua.

En el caso de terrenos cohesivos podría tenerse en cuenta el efecto favorable de la cohesión, pero dado que ésta depende de la humedad del terreno, no se puede garantizar que a lo largo de la vida del muro el terreno no pierda su cohesión. Por tanto, en el programa no se tiene en cuenta la cohesión del terreno en el cálculo de los empujes.

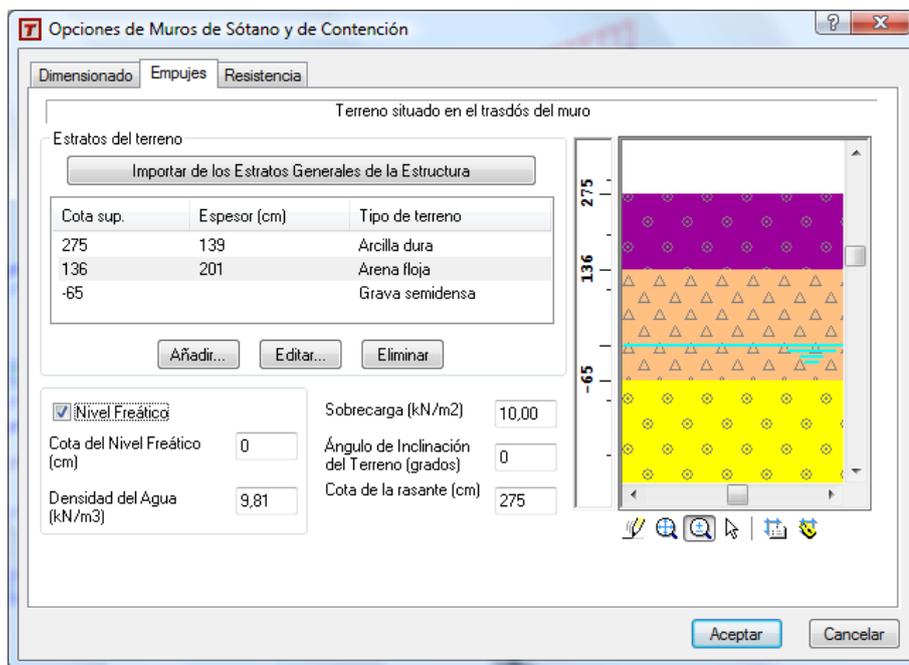
El cálculo del empuje producido por la acción sísmica, según la NCSE-94, se debe realizar afectando de un factor de mayoración al valor del coeficiente de empuje del terreno, función de la zona sísmica. Los

empujes sobre muros por efecto de la acción sísmica contemplada en la NCSE-94 se calculan con un valor del coeficiente sísmico horizontal igual a la aceleración sísmica de cálculo.

Es posible definir sobre muros de sótano y contención empuje de tierras con varios estratos diferentes, mediante la solapa Empujes de la función **Cálculo > Muros de Sótano – Contención > Opciones**. También es posible indicar que la rasante del terreno no coincide con la cota superior del muro de sótano o contención.

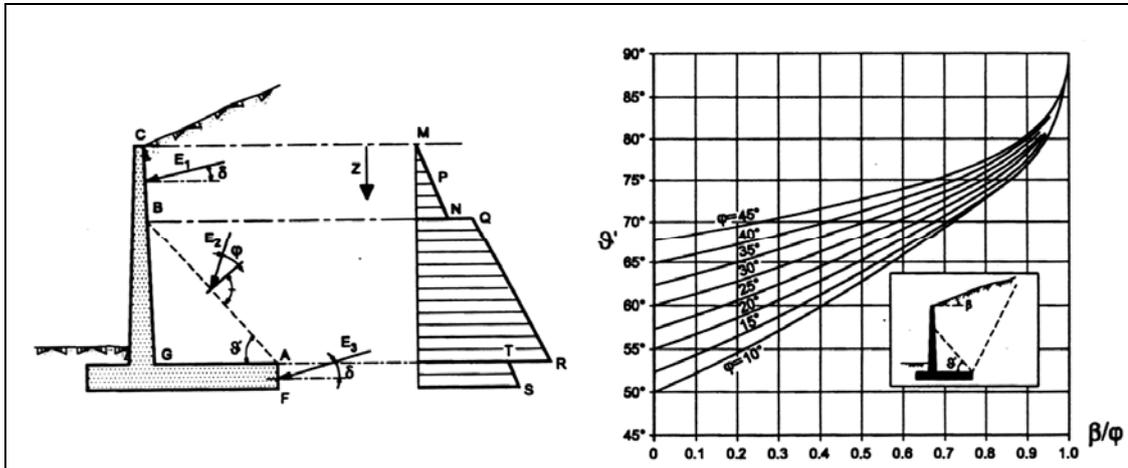
El funcionamiento y significado de esta caja es idéntico al indicado en el apartado de **Cargas de Terreno en planos**, con las siguientes salvedades:

- El empuje se considera siempre en reposo si la carga actúa sobre un muro de sótano, y activo si actúa sobre un muro de contención.
- No es posible desactivar el empuje del terreno.
- El terreno se sitúa siempre en la cara de trasdós del muro de sótano o contención.
- La carga se considera en la hipótesis correspondiente a las cargas permanentes (hipótesis 0, en general).



Muros con talón

En el caso de muros con talón no existe un procedimiento comúnmente aceptado de cómo calcular los empujes del terreno. En *Tricalc* se utiliza el procedimiento expuesto por J. Calavera en su libro **Muros de contención y muros de sótano**, Intemac, 2001; que a su vez lo extrae del libro **Murs de Soutenement**, Verlag. Zurich, 1966.



Dado un muro con talón como el de la figura adjunta, se considera que el triángulo ABG de terreno se moviliza solidariamente con el muro. Para la obtención del punto B, se parte del gráfico de la derecha, en el que se obtiene el ángulo ϑ a partir de φ y β .

El empuje tiene entonces tres zonas diferentes:

- En el tramo BC el empuje se calcula mediante el procedimiento normal.
- En el tramo BA los empujes se calculan como si el trasdós fuera esa línea (es decir, haciendo $\alpha = \vartheta$) y considerando un ángulo de rozamiento terreno / muro $\delta = \varphi$ (ya que el rozamiento se produce realmente entre terreno / terreno).
- En el tramo AF el empuje se calcula mediante el procedimiento normal, teniendo en cuenta que el trasdós del talón es siempre vertical ($\alpha = 90^\circ$).

Con este método, no se tendrá en cuenta el peso propio del terreno situado sobre el talón, sino sólo el correspondiente al triángulo ABG.

Tensión sobre el terreno (NBE's)

Nota

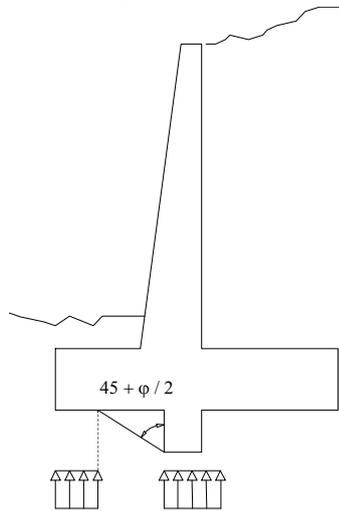


Para otras normativas consultar el anexo correspondiente del manual de normativas.

Para el cálculo de la tensión en el terreno se tendrán en cuenta los empujes del terreno (tal como se ha indicado anteriormente) y el peso propio del muro. Todas ellas se consideran cargas permanentes. Salvo si se utiliza la norma Mexicana del Distrito Federal, tanto las acciones como la resistencia del terreno se consideran sin mayorar.

De acuerdo con las actuales tendencias de la geotecnia (refrendada por los Eurocódigos), la reacción del terreno se considera siempre uniforme, aunque restringida a una determinada parte de la zapata.

Si existe tacón, se considera que una parte de la zapata situada por delante del mismo no transmite tensiones al terreno, tal como indica la figura adjunta, siendo φ el ángulo de rozamiento interno del terreno situado bajo la zapata.



Comprobación a Vuelco (NBE's)

Nota



Para otras normativas consultar el anexo correspondiente del manual de normativas.

La comprobación a vuelco se realiza calculando el coeficiente de seguridad a vuelco, C_{sv} , y comparándolo con el establecido en las opciones fijadas. Este coeficiente se calcula como el cociente entre el momento estabilizante, M_e y momento volcador, M_v ; tomados ambos respecto a la arista inferior del extremo de la puntera.

El momento estabilizante es el producido por el peso propio del muro y del triángulo de terreno situado sobre el talón indicado en el apartado **Muros con talón**.

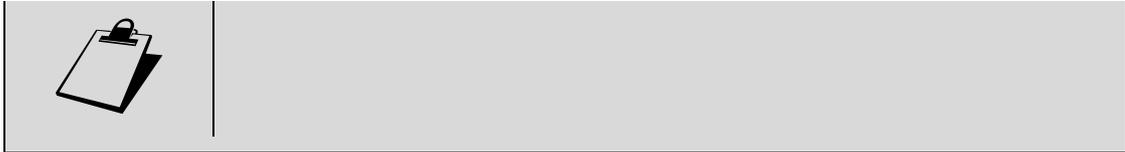
El momento volcador es el producido por el empuje del terreno (tanto la componente horizontal, que aumenta el momento volcador, como la vertical, que lo disminuye).

Ambos momentos se consideran sin mayorar, ya que son concomitantes.

Comprobación a Deslizamiento (NBE's)

Nota

Para otras normativas consultar el anexo correspondiente del manual de normativas.



La comprobación a deslizamiento se realiza calculando el coeficiente de seguridad a deslizamiento, C_{sd} , y comparándolo con el establecido en las opciones fijadas. Este coeficiente se calcula como el cociente entre la fuerza que se opone al deslizamiento (fuerza de rozamiento bajo la zapata más empuje pasivo –si está habilitado en las opciones– sobre el frente de la puntera y el tacón) y la componente horizontal del empuje.

También se comprueba que este coeficiente sea mayor de 1,00 sin tener en cuenta el empuje pasivo. Esto es así porque para movilizar el empuje pasivo el muro debe sufrir un desplazamiento apreciable; lo que equivale a considerar el empuje pasivo en estado límite último pero no en estado límite de servicio.

La fuerza de rozamiento se calcula mediante la expresión

$$(P + E_v) \cdot \mu$$

siendo

P El peso propio del muro más el triángulo de terreno situado sobre el talón indicado en el apartado **Muros con talón**.

E_v La componente vertical del empuje del terreno.

μ El coeficiente de rozamiento entre el muro y el terreno situado bajo la zapata.

El empuje pasivo se calcula mediante la expresión

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (h_f^2 - h_m^2) \cdot \frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{1 - \operatorname{sen} \varphi}$$

siendo

γ la densidad aparente (húmeda) del terreno bajo la zapata

φ ángulo de rozamiento interno del terreno situado bajo la zapata

h_f profundidad de la zapata (o del tacón, si existe) respecto a la parte superior del terreno situado en el intradós

h_m profundidad de terreno que no produce empuje pasivo: 50 cm ó el máximo entre 50 cm y la profundidad de la parte superior de la zapata si existe puntera.

Armado del muro de contención

El armado de los muros de contención es similar al de los muros de sótano, con algunas salvedades:

- Si el muro tiene puntera, el armado de la zapata se dobla hacia el fuste y se utiliza también como esperas del armado vertical del trasdós.
- Si existe talón, su armado se sitúa en la cara superior. Si en su extremo necesita patilla para el anclaje, ésta se prolonga siempre hasta la parte inferior para facilitar su sujeción durante el hormigonado.

Comprobación de fisuración

En **Tricalc.6** se realiza la comprobación de fisuración en los muros de sótano y en los muros de contención. Para ello, en las opciones de armado de muros se indica, para la mayoría de las normativas, el ancho máximo de fisura permitido.

Si es preciso, el programa aumentará el armado necesario por resistencia para que las fisuras no superen este valor máximo.

Secuencia de Trabajo

Para que el programa tenga en cuenta correctamente los efectos producidos por los muros de sótano en el resto de la estructura, es conveniente seguir una secuencia de trabajo.

Definición de geometría, cargas y secciones de estructura

En primer lugar, se define la geometría de la estructura, incluidos los forjados. En las plantas bajo rasante, es necesario introducir vigas y pilares para que sea posible introducir las cargas superficiales en las plantas de sótano. De este modo se considera el aumento de rigidez de los pilares incluidos dentro del muro.

En este momento se introducen las cargas que interese considerar en el cálculo sobre barras y nudos. A continuación se procede a predimensionar la estructura.

Definición de geometría, cargas y predimensionado del muro

Antes de calcular las solicitaciones de la estructura, es necesario introducir los muros de sótano. Al introducir los muros, también se les dota de un predimensionado. Los muros se definen sobre nudos de la estructura.

Una vez definidos los muros, es necesario acceder a la caja de diálogo **Cálculo>Muros de Sótano-Contención>Opciones...**, para definir las características del terreno, cota del nivel freático...etc., que determinan las cargas debidas al empuje.

El chequeo de geometría detecta si existe algún muro sin predimensionar. Si el espesor final del muro es mayor del considerado en la fase de cálculo de solicitaciones, debería realizarse un nuevo cálculo.

Cálculo, armado y comprobación de elementos

Una vez introducida, predimensionada y cargada la estructura con sus muros, y seleccionadas las opciones de cálculo de muro, se realiza el cálculo de solicitaciones y el armado de las barras de hormigón y la comprobación de las secciones de acero.

A continuación se procede a calcular los muros de sótano y de contención, desde el menú **Calculo>Muros de Sótano-Contención>Calcular**.

Sólo resta introducir y calcular las zapatas y vigas de cimentación, así como los forjados de la estructura.

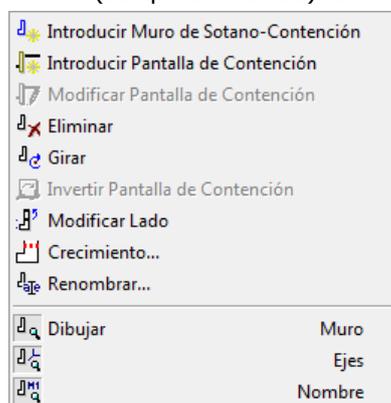
En resumen:

- Definición de la geometría, incluidos los forjados, las cargas y el predimensionado de la estructura y muros.

- Opciones de cálculo de muros.
- Cálculo de solicitaciones.
- Armado de barras de hormigón.
- Comprobación de secciones.
- Cálculo de muros de sótano y de contención.
- Cálculo de la cimentación.
- Cálculo del armado de los forjados unidireccionales, reticulares y losas.

Muros de Sótano y de Contención. Geometría

El menú **Geometría>Muro Sótano-Contención-Pantallas** permite introducir muros de sótano y de contención (de tipo en ménsula) sobre una estructura.



Opción	Descripción
Introducir...	Permite acceder al cuadro de diálogo donde se introducen distintas variables para la definición del muro
Eliminar	Permite eliminar un muro previamente introducido, para lo que es necesario seleccionar el mismo haciendo clic en cualquiera de sus lados.
Girar	Permite girar un muro cambiando trasdós por intradós
Modificar Lado	Permite variar la posición de cualquier lado del muro. Es necesario seleccionar el lado a modificar haciendo clic sobre el mismo y posteriormente indicar un vector de desplazamiento mediante la selección de 2 puntos.
Crecimiento...	Permite variar la posición de la sección transversal del muro respecto al plano de definición del mismo.
Renombrar...	Permite modificar el nombre de muros ya introducidos.
Dibujar Muro	Permite representar en pantalla las líneas de borde de muro y zapata de muro.
Dibujar Ejes	Permite representar en pantalla los ejes del muro.
Dibujar Nombre	Permite representar un cafetín con el nombre del muro.

Introducción de muros de sótano y contención

Para introducir un muro, tanto de Sótano como de Contención, se necesitan tres puntos que definan un rectángulo situado en un plano vertical. Para ello se pueden utilizar nudos existentes o puntos de la trama. También se pueden definir dos únicos puntos en un plano horizontal, definiendo en la etapa siguiente la altura del muro.

Una vez introducidos los puntos, aparece una caja de diálogo como la de la figura, que permite definir y predimensionar el muro.

Introducir Muro de Sótano / Muro de Contención

Alturas y Espesores Mínimos				Muros de sótano sobre losas		
Tramo	Cotas (cm)		Espesor (cm)		Posición	Dimensiones vigas
	Altura (cm)	Superior	Inferior	en cota sup.	en c.	Cota (cm) Ancho (cm) Canto (cm)
	300	300	0	25		
	250	0	-250	70		

Fijar base
 Fijar coronación
 Ancho según espesor del muro

Nombre:
Crecimiento:

Tipo de Muro:
 Muro de Sótano
 Muro de Contención (en Ménsula)

Zapata:
Canto mínimo: cm
 Con Puntera Longitud mínima: cm
 Con Talón Longitud mínima: cm
 Con Tacón Longitud mínima: cm
Canto mínimo: cm
Crecimiento:

Los valores a definir en la parte inferior de la caja de diálogo son los siguientes:

Opción	Descripción
Tipo de muro	Se define aquí la tipología a la que pertenece el muro a definir: muro de sótano ó muro de contención de tipo en ménsula. En el caso de que se seleccione muro de sótano , si el muro apoya en una losa de cimentación aparecerá aquí el texto " sobre losa de cimentación ". En función del tipo de muro (de sótano, de sótano apoyado en losa de cimentación o de contención), el funcionamiento del resto de la caja será diferente.
Nombre	Debe definirse un nombre para el muro, de hasta cuatro caracteres.
Crecimiento	El crecimiento inicial del muro puede ser interior, centrado o exterior. Esta opción puede modificarse posteriormente con la función Geometría> Muros de sótano-contención>Crecimiento...
Canto mínimo	Fija el mínimo canto que debe tener la zapata. En todo caso, el canto de la zapata respetará también los mínimos definidos por la normativa seleccionada y las opciones de cálculo de muros fijadas, en donde es posible definir un canto constante o una relación vuelo/canto determinada.
Con Puntera	La existencia de puntera es obligatoria en los muros de sótano; no debe existir en los muros de sótano sobre losas de cimentación y es opcional en el caso de muros de con-

	tención. Si se selecciona esta opción, es posible fijar el vuelo mínimo que ésta debe tener.
Con talón	El talón sólo puede existir en los muros de contención. Si se selecciona esta opción, es posible fijar el vuelo mínimo que éste debe tener.
Con tacón	El tacón sólo puede existir en los muros de contención. Si se selecciona esta opción, es posible fijar la longitud y canto mínimos que éste debe tener. También es posible definir su crecimiento o posición: en el extremo de la puntera, bajo el fuste o en el extremo del talón.

En el grupo de **Alturas y Espesores Mínimos**, se define el predimensionado del fuste (parte vertical) del muro, con los siguientes datos:

Opción	Descripción
Tramo – altura	Se define la altura en centímetros de cada tramo. En el caso de muros de sótano, las alturas de los diversos tramos deben coincidir con vigas: el programa calcula automáticamente los tramos, por lo que no es posible modificarlos. Se pueden eliminar tramos con la tecla [Supr] y se pueden añadir tramos con la tecla [Ins] ó bajando con la tecla de cursor hasta una nueva fila.
Cotas	En estas columnas, que no son modificables, se muestra la cota de cada uno de los tramos.
Espesores	En estas columnas se define el espesor superior e inferior de cada tramo. En el caso de los muros de sótano (apoyados o no en losas de cimentación) cada tramo debe tener espesor constante, por lo que sólo es modificable una de las columnas. Los espesores no deben crecer con la altura.
Fijar base	Si se fija la base, al modificar la altura de los tramos o eliminar e insertar tramos nuevos, el programa recalcula las cotas de los diversos tramos sin modificar la de la base del muro.
Fijar coronación	Si por el contrario se fija la coronación, al modificar la altura de los tramos o eliminar e insertar tramos nuevos, el programa recalcula las cotas de los diversos tramos sin modificar la de la coronación del muro.

En el grupo **Muros de sótano sobre losas** se definen las dimensiones de las vigas y/o zunchos que se encuentren en el interior de muros de sótano apoyados en losas de cimentación, a efectos del cálculo de esfuerzos. Véase en el capítulo 24 el apartado **Predimensionado de muros de sótano apoyados en losas de cimentación**.

En el caso de muros de sótano, deben tenerse en cuenta las hipótesis consideradas para su cálculo estructural, apoyos en parte superior y cada planta, a fin de que se modelice correctamente.

Se fija en 32 el número de alturas o cotas en las se puede dividir un muro de sótano o contención. Si se supera el límite existente aparece el mensaje "**Excesivo número de vanos**".

Sistema de Ejes de Muro. Crecimiento y Giro. Dirección del Empuje

El programa visualiza los ejes de cada muro, siempre que esté activa la opción **Dibujar Ejes** del menú **Geometría>Muro Sótano-Contención**. El eje **X** del muro define la dirección y sentido del empuje, perpendicular al plano del muro. Se presenta por defecto el eje X hacia el interior de la estructura, en la dirección y sentido del empuje de tierras. Con la función **Girar**, es posible girar 180 grados el eje X, y considerar que el empuje de tierras lleva sentido contrario.

La función **Crecimiento** permite modificar la posición de las caras del muro respecto al eje del muro. Es posible definir situaciones intermedias, desplazando una determinada distancia el eje de crecimiento de una cara o del eje del muro.



Ajuste gráfico del crecimiento

La función de crecimiento de muros de sótano y contención permite también el ajuste del crecimiento de forma gráfica. Véase lo indicado al respecto en crecimiento de barras.

Muros de Sótano y Contención. Acciones

Las acciones a considerar en el cálculo de muros se definen en la caja de diálogo **Cálculo > Muros Sótano-Contención > Opciones**, en su solapa **Empujes** y han de definirse antes de calcular la estructura. El muro soporta el empuje del terreno, y en el caso de muros de sótano lo transmite al resto de la estructura. El muro de sótano también recibe las cargas de las barras de la estructura.

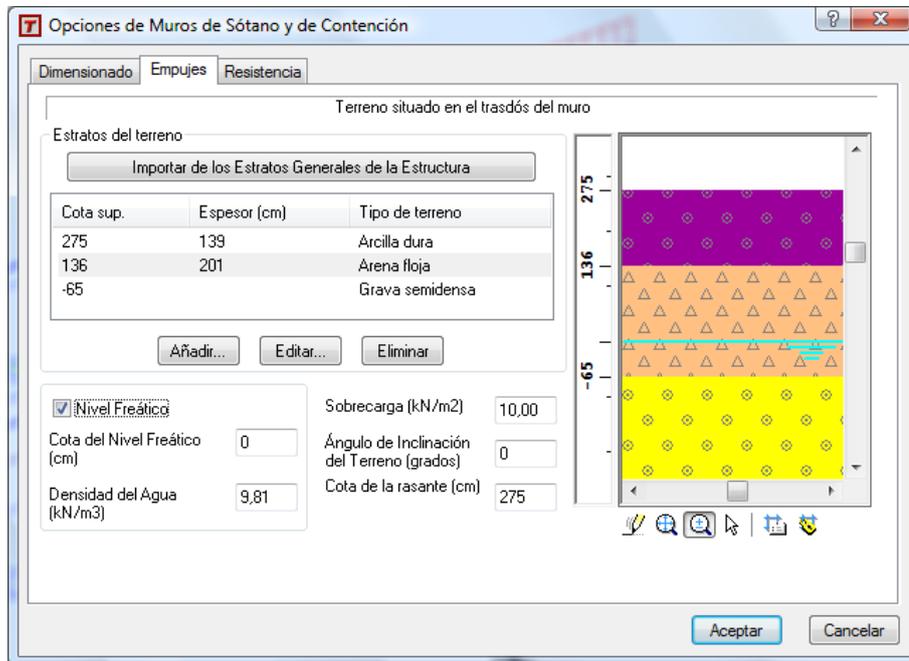
Es posible definir conjuntos de opciones particulares para cada uno de los muros de una estructura. Un muro sin opciones de cálculo particulares se calculará de acuerdo con las opciones de cálculo generales. La función **Cálculo > Muros Sótano-Contención > Opciones > Asignar...** asigna opciones de cálculo particulares a un conjunto de muros. La función **... > Desasignar** elimina las opciones particulares asignadas

Los valores a definir en esta solapa de la caja de diálogo son las siguientes:

Opción	Descripción
Tipo de terreno	Es posible acceder a la base de datos de terrenos, para seleccionar el tipo de terreno actuante. Se permite, no obstante, modificar individualmente cada uno de los valores relativos a fin de adaptarlos a las características del terreno. Al seleccionar cualquiera de ellos, el programa modifica automáticamente los valores siguientes:
Densidad Seca (t/m³ ó kN/m³)	Densidad seca del terreno colindante al muro. Corresponde al terreno sin humedad alguna.
Densidad Húmeda (t/m³ ó kN/m³)	Densidad del terreno con un cierto contenido de agua en sus huecos. Corresponde al terreno en estado natural.

Densidad Sumergida (t/m^3 ó kN/m^3)	Densidad del terreno por encima de la saturación, en el momento en el que comienza a intervenir la presión debida al agua. El programa considera esta densidad del terreno en la zona por debajo del nivel freático cuya cota se indique.
Ángulo de rozamiento interno φ	Valor en grados sexagesimales del ángulo de rozamiento interno del terreno.
Cohesión aparente	Permite indicar si el terreno es cohesivo, y en caso de serlo, su cohesión aparente efectiva, c' .
Resistencia a la compresión simple	Permite indicar el valor de resistencia a compresión simple del terreno.
Ángulo de rozamiento terreno- cimiento δ'	Esta opción fija el ángulo de rozamiento entre el muro y el terreno de trasdós o entre el cimiento y el terreno inferior en grados sexagesimales. Se utiliza para evaluar los empujes del terreno.
Coefficiente de rozamiento cimiento-terreno μ	Esta opción fija el coeficiente μ de rozamiento entre el cimiento y el terreno inferior. Se utiliza la resistencia a deslizamiento.
Coefficiente de balasto vertical placa 30x30	Permite introducir el valor del coeficiente de balasto vertical del terreno (K_{30}) en MPa/m ó Kgf/cm ³ obtenido tras un ensayo de carga con placa de 30x30cm.
Densidad del agua (t/m^3 ó kN/m^3)	Normalmente de valor $1.0 t/m^3 = 9,81 kN/m^3$.
Cota Nivel Freático (N.F.)	Si se activa la opción de consideración del nivel freático, se puede definir la cota en la que se encuentra. La cota del nivel freático se mide en ejes generales. Se admiten valores positivos y negativos.
Sobrecarga (kg/m^2 ó kN/m^2)	Es posible definir una sobrecarga en el terreno colindante al muro, a efectos de incrementar el empuje horizontal, debido a la existencia, por ejemplo, de una superficie cargada en la zona exterior de la edificación que se desea calcular, o una sobrecarga estática de tráfico.
Ángulo de inclinación del terreno	Fija la inclinación del terreno respecto a la horizontal en grados sexagesimales.

El terreno por encima de la cota de nivel freático se considera siempre húmedo. El empuje por debajo de la cota de nivel freático es la suma del empuje producido por la presión hidrostática del agua y del empuje producido por el terreno considerando su densidad sumergida.



Muros de Sótano y Contención. Dimensionado

Dimensiones mínimas frente a dimensiones iniciales

Hasta la versión 5.1, tras introducir un muro de sótano y antes del cálculo de esfuerzos, era necesario predimensionar el muro (**Secciones>Muros de Sótano-Contención>Predimensionar...**) para dotarle de unas dimensiones iniciales, por ejemplo un espesor de 30 cm. Cualquier cálculo posterior de su armado, podía aumentar estas dimensiones si era necesario, convirtiéndose entonces en las nuevas dimensiones iniciales (por ejemplo, aumentando el espesor a 40 cm). Si se modificaba posteriormente algún dato que influía en el cálculo de los muros de forma favorable (reducción de cargas, empujes, mejora del hormigón, ...), y se volvía a calcular su armado, el espesor ya no podía disminuirse automáticamente de 40 cm; si se quería utilizar un espesor de 30 cm, era necesario volver a dimensionar el muro con las funciones de predimensionado.

Desde la versión 5.2, las dimensiones dadas al introducir el muro son dimensiones **mínimas** (incluso pueden llegar a tener valores nulos), de forma que en cada cálculo del armado del muro, aunque se modifiquen cargas, empujes, materiales, etc., se parte siempre de las dimensiones mínimas definidas, no de las resultantes del último cálculo. Esto es así porque cada muro tiene siempre unas dimensiones **mínimas** y otras dimensiones **actuales** que pueden ser diferentes.

Modificar el dimensionado de un muro de sótano ó contención

Una vez calculado y armado un muro de sótano o un muro de contención en ménsula, éste tiene unas dimensiones **mínimas** (que se definieron al introducirlo) y unas dimensiones **actuales** resultantes del cálculo que pueden ser diferentes.

- La función **Secciones>Muros de Sótano–Contención>Predimensionar**, que puede utilizarse en cualquier momento, permite modificar las dimensiones **mínimas** del muro. Su modificación implica que se pierda el cálculo y el armado del muro.
- La función **Secciones>Muros de Sótano–Contención>Desasignar**, que sólo puede utilizarse sobre muros calculados y armados, hace que se pierda el dimensionado y el cálculo del muro.
- La función **Secciones>Muros de Sótano–Contención>Modificar...**, que sólo puede utilizarse sobre muros calculados y armados, modifica las dimensiones **actuales** del muro, sin perderse el cálculo ni el armado, y sin afectar a las dimensiones **mínimas** del muro. Para ello, aparece una caja de diálogo muy similar a la de introducción de muros: la diferencia estriba en que no aparece la palabra **mínimas** en las dimensiones, y no es posible modificar el nombre del muro.

Muros de Sótano. Hipótesis de Cálculo

El cálculo del muro de sótano se realiza suponiendo que existen apoyos en los elementos horizontales unidos al muro, por lo que hay que tenerlo en cuenta el proceso constructivo. Tales elementos horizontales (vigas y forjados) deben de estar contruidos previamente al muro para que puedan transmitir las acciones horizontales producidas al rellenar la cara exterior del muro. Si el muro se construye hormigonando contra el terreno, es indispensable colocar los apeos convenientes hasta que los forjados o vigas puedan estabilizar el muro a vuelco y deslizamiento, a la vez que soportan las cargas provocadas por el empuje del terreno.

Si el muro se construye encofrado por las dos caras, y por lo tanto no existe empuje de las tierras durante su construcción, hay que cuidar de no efectuar el relleno de tierras hasta que se hayan construido los elementos horizontales de apoyo; si hubiera que rellenarlo antes de construir estos elementos, hay que colocar un sistema resistente adecuado.

Combinaciones de carga consideradas

A los efectos de determinar la carga vertical actuante sobre el muro, el programa determina la carga media por metro lineal de muro transmitida por los pilares apoyados y contenidos, así como la carga de las vigas contenidas en el muro, que no transmiten su carga a ningún pilar.

Las hipótesis consideradas en el cálculo de la armadura vertical del muro son:

- **Hipótesis 1.** Actuación de las acciones del terreno.
- **Hipótesis 2.** Actuación de las acciones del terreno y de la carga vertical.

Se consideran dos situaciones en la unión entre el muro y la zapata: apoyo simple o empotramiento del muro en la zapata. Se considera la excentricidad producida por la reacción en la zapata respecto al eje del muro.

Cálculo de la armadura transversal (vertical)

La armadura transversal en cada cara del muro y para cada altura del muro se dimensiona para la combinación más desfavorable de esfuerzos, compresión y flexión, de las hipótesis anteriores, y para un ancho de muro de un metro.

Se consideran las cuantías mínimas a retracción y temperatura de las diferentes normativas (ver anexos). También se comprueba la fisuración del muro, de acuerdo con la normativa seleccionada.

Cálculo de la zapata del muro

La zapata del muro se calcula utilizando las mismas hipótesis consideradas en el programa *Tricalc.4*.

El programa no comprueba que las esperas del armado vertical de los muros cuenten con suficiente canto de zapata para desarrollar en ella la longitud de anclaje en prolongación recta. El caso más habitual es que en el arranque del muro exista una cara comprimida (el intradós) y otra traccionada (el extradós); las esperas de los redondos de la cara traccionada pueden contar con anclaje en patilla y los redondos de la cara comprimida no suelen considerarse como armadura de compresión, por lo que no es necesario realizar esta comprobación del canto de la zapata. Sólo sería necesario realizarla en el extraño caso de que, en la sección de arranque del muro, todos los redondos verticales existentes en ambas caras del muro estuvieran comprimidos.

Cálculo de la armadura longitudinal (horizontal). Viga pared

Se considera la viga en su sentido longitudinal como una viga continua recibiendo como carga la tensión del terreno. Para los momentos positivos y negativos que tiene que resistir se comprueba la respuesta de la sección del muro con las armaduras horizontales debidas a las cuantías mínimas.

Se consideran las cuantías mínimas a retracción y temperatura de las diferentes normativas (ver Manual de Normativas).

Se comprueba la armadura frente a la aparición de tracciones horizontales, teniendo que resistir la armadura longitudinal una fuerza de valor:

$$T = 0,3 \cdot N_u \cdot \left(1 - \frac{d}{L}\right)$$

donde,

- L** es la mayor luz entre pilares.
- N_u** axial máximo de los pilares.
- d** es la dimensión del pilar, tomando como valor medio 30cm.

distribuida en la altura del muro o en una altura menor si la menor luz entre pilares es menor que la altura del muro.

También se comprueba la fisuración del muro, de acuerdo con la normativa seleccionada.

Cálculo del acero necesario: barras sueltas y mallas electrosoldadas

Para el cálculo de las áreas de acero necesarias en el muro, en horizontal y en vertical, y de la zapata del muro, se determinan la separación y el diámetro de las barras de acero. Si se solicita un armado mediante mallas electrosoldadas, las áreas necesarias se redondean previamente a valores que cumplan relaciones A_l/A_t iguales a **1**, **1/2** y **1/4**, dado que generalmente las mallas electrosoldadas se suministran para dichas proporciones entre áreas longitudinal y transversal.

Opciones de Cálculo de muros de sótano y de contención

La caja de opciones de cálculo de muros de sótano y de contención se organiza en las siguientes solapas:

Opciones de dimensionado

La solapa de dimensionado tiene las siguientes opciones:

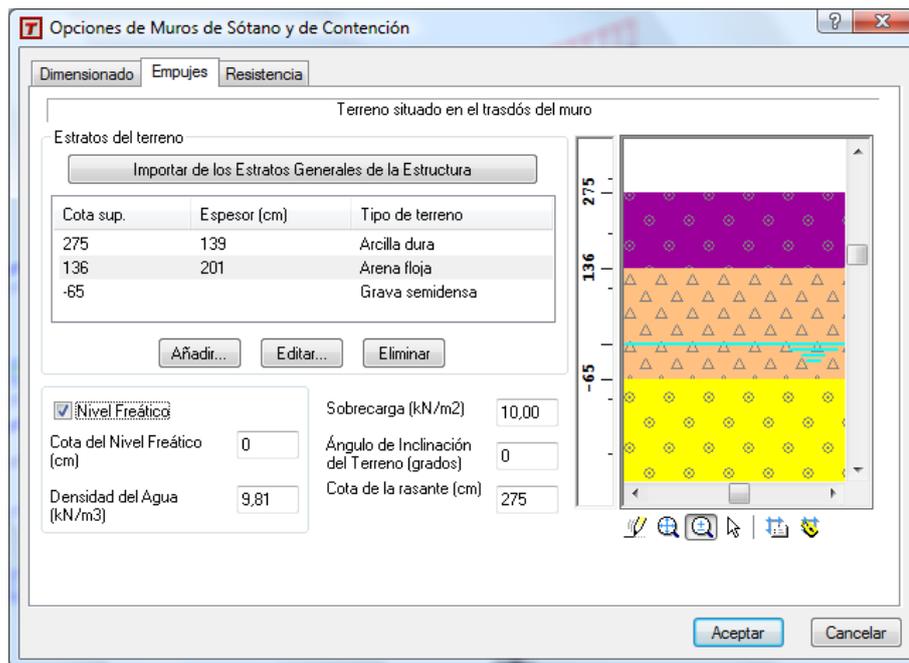
Opción	Descripción
Coeficiente de Seguridad Estructural	Permite definir un coeficiente de seguridad que será considerado para el cálculo de las armaduras de muros.

Tipo de armado	Se permite armar los muros con barras de acero corrugado o con mallas electrosoldadas. Se selecciona el diámetro mínimo y máximo de las armaduras, así como su separación mínima el módulo de separaciones permitido.
Fisuración	Esta opción permite activar o desactivar la comprobación del estado límite de servicio de fisuración. Si se comprueba la fisuración, es opcional el que el programa proponga un armado mayor para su solución en el caso de que el máximo ancho de fisuras supere el admisible fijado en las opciones. En el caso de que se solicite la comprobación de la fisuración y ésta diera un valor mayor que el máximo admisible, pero no se solicite que se aumente el armado para solucionarlo, el muro tendrá asignado un error de fisuración, pero no se impide la obtención de su armado.
Vuelco	Para los muros de contención (muros ménsula), es posible indicar si se desea realizar la comprobación a vuelco o no, y definir coeficientes de seguridad diferentes para las acciones estabilizadoras y desestabilizadoras.
Deslizamiento	Para los muros de contención (muros ménsula), es posible indicar si se desea realizar la comprobación a deslizamiento, si se desea utilizar para ello el empuje pasivo sobre la zapata y el posible tacón, y con qué coeficiente de seguridad.
Resistencia del terreno	En normativa Mexicana del Distrito Federal, aparece una opción denominada Calcular resistencia del terreno . Cuando se activa, el programa evalúa la resistencia del terreno en función del valor de Presión terreno (pv) y del tipo de terreno existente bajo la zapata. Si se desactiva, se utilizará la resistencia del terreno que se fije directamente en la opción Resistencia del Terreno .
Recubrimientos (mm)	Fija la distancia entre la cara del redondo y la cara del muro o zapata.
Canto constante (cm)	Permite fijar un canto para la zapata.
Profundidad	La opción Profundidad de la parte superior de la zapata permite fijar el espesor del terreno sobre la zapata. Este dato se utiliza en muros de contención para evaluar el empuje pasivo en la comprobación a deslizamiento.
Tipo de zapata	Si no se ha fijado un canto constante a la zapata, éste se calcula en función de la relación canto/vuelo fijada con el tipo de zapata. Los tipos permitidos son, para la norma española EHE, Rígida , Flexible y En Masa . Para el resto de normas, son Tipo I (semirrígida), Tipo II (rígida), Tipo III (flexible) y En Masa . Los muros de contención en ménsula no pueden tener zapatas en masa, por lo que si se les asigna este tipo, el programa las considera rígidas.
Resistencia del Terreno	Es posible introducir la resistencia del terreno de forma directa como se hacía en versiones anteriores o indicar que el programa la calcule de forma automática según indicaciones de CTE (ó de Normativa de México D.F.), para lo cual será necesario indicar la presión vertical efectiva del terreno.
Factor de resistencia al hundimiento del terreno	Permite introducir el factor de resistencia al hundimiento del terreno.
Presión vertical efectiva del terreno	Permite indicar el valor de la presión vertical efectiva del terreno en MPa o Kgf/cm ² existente en la parte superior de la zapata del muro. Sólo se activa cuando se solicita el cálculo de la resistencia del terreno de forma automática.

Opciones de empujes

La solapa de empujes fija el empuje ejercido por el terreno situado en el trasdós del muro. Es posible acceder a la base de datos de terrenos existente en el programa para seleccionar las características del terreno que producen el empuje o indicar los datos del mismo de forma directa.

El significado de las diferentes variables ya se ha indicado en el apartado **Muros de Sótano y Contención. Acciones.**



Opciones de resistencia

La solapa de resistencia fija las características del terreno situado bajo la cimentación del muro. Su contenido se utiliza fundamentalmente para evaluar la resistencia del terreno en el caso de la normativa mexicana del Distrito Federal y CTE. Es posible acceder a la base de datos de terrenos existente en el programa para seleccionar las características del terreno que producen el empuje o indicar los datos del mismo de forma directa.

El significado de las diferentes variables ya se ha indicado en el apartado **Muros de Sótano y Contención. Acciones.**

Opciones de Muros de Sótano y de Contención

Dimensionado | Empujes | Resistencia

Terreno situado bajo el cimiento

Descripción Copiar de...

Características del terreno

Naturaleza

Terreno Roca

γ_d	Densidad seca (kN/m ³)	14,50
γ_n	Densidad aparente (kN/m ³)	18,50
γ_{sum}	Densidad sumergida (kN/m ³)	9,00
c'	Cohesión aparente (kN/m ²)	0,00
q_u	Resistencia a la compresión simple (kN/m ²)	110,00
ϕ'	Ángulo de rozamiento interno (grados)	33,00
δ'	Ángulo de rozamiento terreno-cimiento (grados)	2/3 · ϕ' 22,00
	Coefficiente de rozamiento cimiento-terreno	2/3 · tg 0,43
	Coefficiente de balasto vertical placa 30x30 (MPa/m)	60,00

Nivel Freático

Cota del Nivel Freático (cm)

Densidad del Agua (kN/m³)

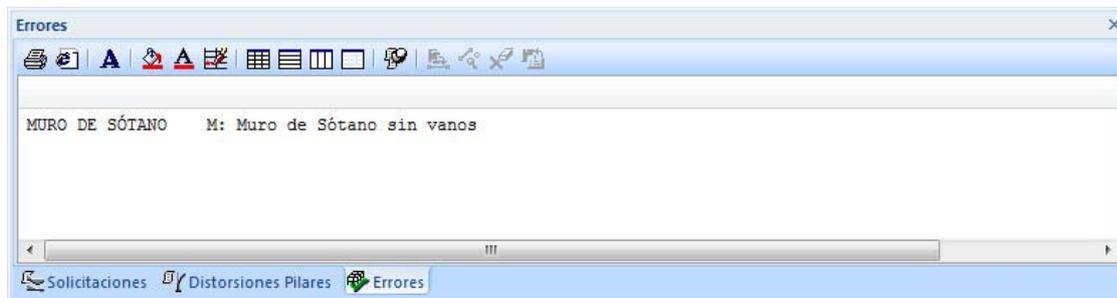
Sobrecarga (kN/m²)

Ángulo de Inclinación del Terreno (grados)

Aceptar Cancelar

Mensajes de error de muros de sótano

La función **Cálculo>Muros de Sótano-Contención>Listado de errores** permite tras el cálculo obtener información sobre los errores encontrados en el proceso de armado de los diferentes muros de la estructura.



Los posibles mensajes de error son los siguientes:

Mensaje	Excesivo número de alturas.
Descripción	Se ha superado el número máximo de alturas permitido (que actualmente son ocho). Es necesario reducir este número, que puede provenir por ejemplo por la existencia de vigas o zunchos inclinados dentro del muro.
Mensaje	Excesivo número de vanos.
Descripción	Se ha superado el número máximo de vanos permitido. Es necesario dividir el muro en dos o más para así reducir este número.
Mensaje	Muro en Ménsula sobre Losa de Cimentación.

Descripción	No está permitida en Tricalc esta tipología.
Mensaje	Muro sin alturas.
Descripción	Es necesario verificar la geometría.
Mensaje	Muro en Ménsula con vigas y/o pilares
Descripción	No está permitida en Tricalc esta tipología. No pueden existir barras que acometan o se incluyan en muros ménsula.
Mensaje	Muro de sótano sin vanos.
Descripción	Debe existir al menos un pilar en cada extremo del muro, es decir, debe haber al menos 2 pilares en cada muro .
Mensaje	Excentricidad excesiva en la zapata.
Descripción	Puede aparecer en muros ménsula. Una posible solución pasa por colocar o aumentar el talón de la misma.
Mensaje	Resistencia del terreno insuficiente.
Descripción	Se ha superado la resistencia del terreno indicada en las opciones de cálculo. Es conveniente comprobar las cargas y la resistencia definida.
Mensaje	Máximo ancho de zapata alcanzado.
Descripción	Se ha alcanzado el máximo ancho de zapata permitido en las opciones. Si es un muro ménsula es recomendable colocar talón y/o puntera. Puede tratar de aumentarse el canto mínimo de la zapata, o si se ha seleccionado canto constante, aumentar el valor de canto constante.
Mensaje	Máximo canto de zapata alcanzado.
Descripción	Se ha alcanzado el máximo canto de zapata permitido. Verifique la existencia de tracciones en la base del muro.
Mensaje	No cumple a vuelco.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas a vuelco. En muro ménsula una posible solución pasa por colocar o aumentar el talón.
Mensaje	No cumple a deslizamiento.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas a deslizamiento. En muro ménsula una posible solución pasa por colocar tacón o permitir la contribución del empuje pasivo.
Mensaje	Espesor del muro insuficiente.
Descripción	Geoméricamente el espesor del muro no puede disponerse. Es necesario comprobar que el espesor es mayor que 3 veces el recubrimiento.
Mensaje	Flexión vertical del trasdós excesiva.
Descripción	El momento supera $0,45 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2$. Es necesario aumentar el espesor del muro o elegir una resistencia mayor del hormigón.
Mensaje	Resistencia a cortante insuficiente.
Descripción	Se supera la resistencia a cortante del hormigón. La solución pasa por aumentar el espesor, aumentar el canto, o aumentar la resistencia característica del hormigón.
Mensaje	Armado vertical del trasdós insuficiente.
Descripción	No ha sido posible disponer armado vertical en el trasdós con las opciones de armado impuestas. Aumente el diámetro máximo o reduzca la separación mínima.
Mensaje	Armado vertical del intradós insuficiente.

Descripción	No ha sido posible disponer armado vertical en el intradós con las opciones de armado impuestas. Aumente el diámetro máximo o reduzca la separación mínima.
Mensaje	Fisuración excesiva del trasdós vertical.
Descripción	No se ha podido solucionar el límite de fisuración impuesto con las opciones de armado existentes. Reduzca la separación mínima y el diámetro mínimo de armado.
Mensaje	Cuantía excesiva de la armadura vertical.
Descripción	Este mensaje puede aparecer en normativa Portuguesa. La posible solución pasa por aumentar la resistencia característica del hormigón y/o el acero.
Mensaje	Imposible armar la coronación del muro.
Descripción	Es necesario aumentar el espesor del muro.
Mensaje	Máximo espesor del muro alcanzado.
Descripción	Se ha alcanzado el máximo espesor posible del muro. Aumente el armado máximo posible o la resistencia de los materiales.
Mensaje	Flexión en la puntera excesiva.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas . Una posible solución pasa por aumentar canto de la zapata.
Mensaje	Resistencia a cortante de la puntera insuficiente.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas . Una posible solución pasa por aumentar canto de la zapata, aumentar resistencia del hormigón.
Mensaje	Armado longitudinal de la puntera insuficiente.
Descripción	No se ha podido disponer el armado necesario. Una posible solución pasa por aumentar armado máximo posible.
Mensaje	Flexión en el talón excesiva.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas . Una posible solución pasa por aumentar el canto de la zapata.
Mensaje	Resistencia a cortante del talón insuficiente.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas . Una posible solución pasa por aumentar el canto de la zapata.
Mensaje	Armado longitudinal del talón insuficiente.
Descripción	No se ha podido disponer el armado necesario. Una posible solución pasa por aumentar armado máximo posible.
Mensaje	Flexión en el tacón excesiva.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas . Una posible solución pasa por aumentar el espesor del tacón.
Mensaje	Resistencia a cortante del tacón insuficiente.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas . Una posible solución pasa por aumentar el espesor del tacón.
Mensaje	Armado longitudinal del tacón insuficiente.
Descripción	No se ha podido disponer el armado necesario. Una posible solución pasa por aumentar armado máximo posible.
Mensaje	Tracción excesiva sobre la cimentación del muro.

Descripción	Es necesario modificar el comportamiento global de la estructura para evitar o reducir estas tracciones, que suelen provenir de acciones horizontales importantes (viento o sismo) que tienden a volcar el muro en la dirección del plano del muro.
Mensaje	Flexión vertical del intradós excesiva.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas. Es necesario aumentar el espesor del muro, o la resistencia del hormigón.
Mensaje	Flexión en el encuentro muro / pilar.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas. Es conveniente aumentar la dimensión del pilar.
Mensaje	Fisuración excesiva del intradós vertical.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas. Es conveniente reducir la distancia mínima entre redondos y el diámetro mínimo.
Mensaje	Flexión horizontal del muro excesiva.
Descripción	El muro no cumple las comprobaciones realizadas. Es conveniente aumentar el número de pilares.
Mensaje	Armado horizontal insuficiente.
Descripción	No se ha podido disponer el armado necesario. Es conveniente aumentar el número de pilares.

Salida de Resultados. Retoque de Planos

Croquis de plano

Las zapatas de los muros de sótano y contención calculados aparecen en los planos de cimentación, como los croquis de plano, que se visualizan con la función **Resultados>Croquis >Ver Plano....** Para ello es preciso calcular el plano con la opción **Resultados>Croquis> Calcular Plano**. Después de realizar cualquier modificación en los muros, es necesario volver a calcularlos para que el croquis recoja los cambios.

En los croquis obtenidos a alturas en las que exista muro de sótano o contención, se representa la sección del muro, en verdadera magnitud.

Planos de armado de muros de sótano y contención

Tricalc.6 elabora los planos de armado de los muros de sótano y contención, dibujando una sección acotada de cada muro con el dibujo de las armaduras. El plano se acompaña de un cuadro en el que se especifica el armado longitudinal y transversal del muro, en la cara exterior, la interior, la zapata del muro y el atado de coronación del muro. La tabla recoge el armado tanto con redondos de acero corrugado como con mallas.

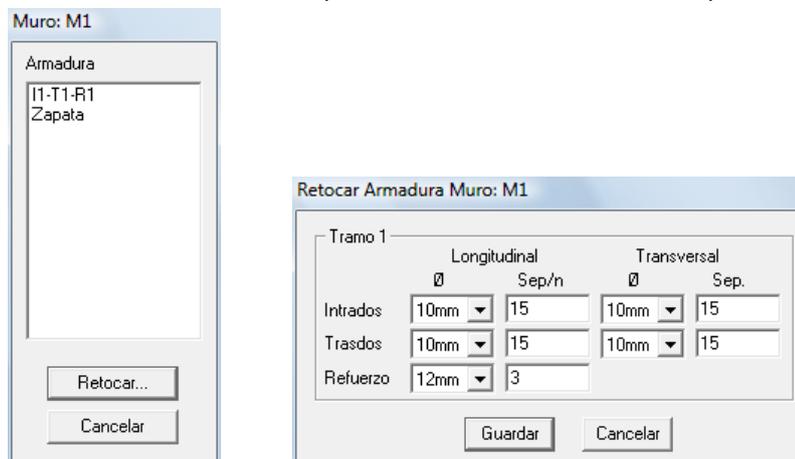
La organización de las capas para la salida a formato DWG/DXF del armado de muros se ha modificado para darle más claridad y sencillez, quedando de la siguiente manera:

Capa	Descripción
Capa 0	Dibujo de elementos
Capa 1	Líneas cotas
Capa 2	Textos cotas

- Capa 3** Armaduras muros
 - Capa 4** Etiquetas muros
 - Capa 5** Textos etiquetas muros
 - Capa 6** Textos armaduras muros
-

Retoque de armaduras

Desde el menú **Resultados>Armaduras>Retocar>Muros de Sótano–Contención** se puede retocar el armado de los muros de sótano y contención. El retoque se realiza desde la caja de diálogo en la que figuran, para cada tramo de muro, los valores y separaciones de armaduras longitudinal, transversal y de refuerzo del muro seleccionado. También es posible modificar el armado de la zapata del muro.



Listado

El listado de armaduras de muro de la función **Resultados>Listados>Muros de Sótano–Contención**, recoge las opciones de listado de la caja de diálogo **Resultados>Listados>Opciones**.

Listado de Muros de Sótano y Contención

Este listado para los muros de sótano incluye:

- Las reacciones horizontales (positivas y negativas) en cada altura del muro, al calcular éste como viga continua apoyada en los forjados y apoyada o empotrada en la zapata.
- El empuje (carga puntual) que el terreno transmite a la estructura en todos los nudos contenidos en el muro.
- Los espesores y armados de cada tramo de muro.
- Las dimensiones y armado de la zapata.
- La tensión de trabajo máxima del terreno.

- La resistencia del terreno fijada en las opciones (o calculada en el caso de la normativa de México D. F. cuando en las opciones de cálculo de la cimentación se fija que la resistencia debe ser calculada por el programa).
- El ancho de la reacción del terreno, que normalmente coincidirá con el ancho de la zapata.
- Se indica el máximo ancho de fisura obtenido en el cálculo, así como su máximo valor admisible de acuerdo a las opciones fijadas.

En el caso de Muros de Contención (en Ménsula), el listado es similar al caso de muros de sótano, pero con las siguientes diferencias:

- No aparecen las reacciones por cotas, porque aquí el muro no apoya en la estructura.
- El listado de empujes no se realiza por cotas, sino que la altura total del muro (incluyendo la zapata) se divide en tramos de acuerdo con las opciones de listados. Además, se indica también la abcisa del empuje (distancia al plano de definición del muro), para lo que se tiene en cuenta lo indicado en el apartado **Muros con talón**.
- El ancho de la reacción del terreno no suele coincidir con el ancho de la zapata. Además se tiene en cuenta la zona inútil de zapata situada por delante del tacón.
- Se indica el coeficiente de seguridad a vuelco, y el coeficiente de seguridad frente a deslizamiento (tanto teniendo en cuenta el empuje pasivo como sin tenerlo en cuenta) obtenidos por el cálculo.

Medición

Se realiza la medición de los metros cuadrados de superficie vertical de muro de sótano y contención, medición utilizada para su precio y para el del encofrado; del acero corrugado necesario en el muro; del volumen de hormigón de la zapata del muro, y del acero necesario en la zapata del muro.

Las opciones para la medición de muros de sótano y contención se seleccionan en el menú **Resultados>Mediciones>Opciones**.

Si se selecciona la opción **Pantalla, Impresora o Archivo**, el programa realiza las mediciones de los materiales que se utilizan para los muros de sótano y contención, para elaborar su propio listado de medición.

Si se elige la opción **Gest 6, Gest 7, Gest 8, FIE-1 o FIEBDC-3/95**, la medición de los muros de sótano y contención se relaciona con la partida y con la unidad de obra asociada cuyos códigos se definen en la caja de diálogo **...>Códigos**. Con la opción **Gest 6, Gest 7 y Gest 8**, la medición se elabora en el formato del programa de Presupuestos y Mediciones **Gest** de **Arktec**.

La medición del hormigón y acero de la zapata del muro se introduce en la partida relativa a zapatas, no a la de muros.

Materiales: Hormigón y Acero Corrugado

La función **Cálculo>Materiales** unifica, mediante solapas, todas las opciones de materiales. Quedan reflejados los materiales que deben ser iguales pudiendo modificarse conjuntamente (todos los hormigones, aceros, ...).



Los materiales a utilizar en el armado de barras pueden seleccionarse dentro de la solapa **Hormigón Armado**.

Es necesario seleccionar primeramente en la lista **Aplicar a** la línea "**Muros de sótano-contención**"

Posteriormente es posible indicar el tipo de hormigón y acero corrugado a emplear en el armado de todos los elementos indicados .

Al seleccionar un tipo de hormigón o acero (HA25, por ejemplo), a su derecha aparece su resistencia característica en el sistema de unidades fijado en **Archivo>Preferencias...** (para HA25, 25 MPa)

Además de los tipos de hormigón y acero recogidos en las distintas normativas, es posible indicar un tipo de hormigón o acero de resistencia característica cualquiera. Para ello, seleccionar como tipo de hormigón o acero **OTROS** e indicar la resistencia característica deseada.

Para aquellos valores que las normas tabulan exclusivamente para los tipos de hormigones y aceros recogidos en ella (longitudes de anclaje, por ejemplo), el programa adopta el del hormigón o acero más próximo que posea un valor del lado de la seguridad (por ejemplo, para un hormigón de 265 kg/cm², se adopta la longitud de anclaje fijada para el hormigón HA30, que es mayor que la fijada para el HA25).

Esta caja también permite fijar los coeficientes de minoración a aplicar al hormigón y acero corrugado mediante la selección del nivel de control (intenso, normal o reducido), así como el tipo de acero corrugado (de dureza natural o estirado en frío).