

CivilCAD2000

MANUAL DEL USUARIO

MÓDULO DE CIMENTACIONES

Versión 2.0

El presente documento es propiedad intelectual de CivilCAD Consultores, S.L. Queda totalmente prohibida su reproducción total o parcial, su tratamiento informático o la transmisión del mismo por cualquier medio electrónico, mecánico u otros métodos sin el permiso previo y por escrito de CivilCAD Consultores, S.L.

Barcelona, abril de 2015

MÓDULO CIMENTACIONES

El objetivo de este Manual es exponer el funcionamiento del módulo que permite proyectar cimentaciones superficiales y profundas.

A lo largo de este Manual se abordan las temáticas siguientes:

- 1 ALCANCE DEL MODULO
- 2 ESTRUCTURA DEL MODULO
- 3 ENTRADA DE DATOS
- 4 CONFIGURACIÓN DEL CÁLCULO
- 5 SALIDA DE RESULTADOS

ÍNDICE

- 1.- ALCANCE DEL MÓDULO
- 2.- ESTRUCTURA DEL MÓDULO
 - 2.1.- Ordenes de Proyecto
 - 2.2.- Ordenes de Entrada de datos
 - 2.3.- Ordenes de Configuración de cálculo
 - 2.4.- Ordenes de Salida
- 3.- ENTRADA DE DATOS
 - 3.1.- Zapata/Encepado
 - 3.1.1.- Tipo de cimentación
 - 3.1.2.- Normativa utilizada en el cálculo
 - 3.1.3.- Tipo de Zapata/Encepado
 - 3.1.4.- Dimensiones
 - 3.2.- Pilotes
 - 3.2.1.- Disposición en planta
 - 3.2.2.- Forma de los pilotes
 - 3.2.3.- Otros parámetros de los pilotes
 - 3.3.- Terreno
 - 3.3.1.- Parámetros a introducir en el diálogo Terreno
 - 3.3.1.1.- Rozamiento zapata-terreno
 - 3.3.1.2.- Parámetros geotécnicos
 - 3.3.1.3.- Parámetros elásticos
 - 3.3.1.4.- Ensayo SPT
 - 3.3.1.5.- Ensayo de Penetración Estática
 - 3.3.1.6.- Ensayo Presiométrico
 - 3.3.1.7.- Ensayo Edométrico
 - 3.3.1.8.- Parámetros geomecánicos del estrato rocoso
 - 3.3.2.- Valores característicos
 - 3.4.- Materiales
 - 3.5.- Acciones
 - 3.6.- Seguridad
 - 3.6.1.- Coeficientes de seguridad de la Guía de Cimentaciones/ IAP
 - 3.6.2.- Coeficientes de seguridad del Código Técnico de la Edificación CTE DB-C
 - 3.6.3.- Coeficientes de seguridad del Código Técnico de la Edificación DB-C y del CTE DB-SE para mayoración de las acciones en los estados límite estructurales
 - 3.7.- Coeficientes de verificación
 - 3.7.1.- Coeficientes de verificación en la Guía de cimentaciones / IAP
 - 3.7.2.- Coeficientes de verificación en el Código Técnico de la Edificación
 - 3.8.- Armaduras zapata / Armaduras encepado
 - 3.9.- Armaduras pilotes
- 4.- CONFIGURACIÓN DEL CÁLCULO
 - 4.1.- Discretización
 - 4.1.1.- Discretización de cimentaciones superficiales
 - 4.1.2.- Discretización de cimentaciones profundas
 - 4.2.- Cimentaciones superficiales
 - 4.2.1.- Coeficiente de balasto

- 4.2.2.- Metodología para el cálculo de asientos
- 4.2.3.- Valor representativo del ángulo de rozamiento en profundidad
- 4.2.4.- Rigidez de la cimentación
 - 4.2.4.1.- Rigidez relativa terreno-zapata
 - 4.2.4.2.- Rigidez estructural zapata
- 4.2.5.- Metodología para el cálculo de la resistencia del terreno
- 4.2.6.- Criterio para la obtención del factor de seguridad en el ELU de hundimiento
- 4.3.- Cimentaciones profundas
 - 4.3.1.- Metodología para el cálculo de la carga de hundimiento de pilotes
 - 4.3.2.- Resistencia frente a esfuerzos horizontales
 - 4.3.3.- Rigidez horizontal del pilote aislado
 - 4.3.4.- Rigidez horizontal del pilote aislado
 - 4.3.5.- Cálculo de armaduras del pilote
- 4.4.- Guardar emparrillado
- 5.- SALIDA DE RESULTADOS
 - 5.1.- Esquema de discretización
 - 5.2.- Gráfica de carga admisible/profundidad
 - 5.3.- Consulta de resultados. ELU Geotécnico
 - 5.4.- Consulta de esfuerzos
 - 5.5.- Gráfica de esfuerzos
 - 5.6.- Listados
 - 5.6.1.- Combinación de acciones
 - 5.6.2.- Memoria de cálculo
 - 5.7.- Planos

1.- ALCANCE DEL MÓDULO

CivilCAD2000, en el presente módulo, ofrece al usuario la posibilidad de proyectar cimentaciones superficiales y profundas. En la versión actual del programa, *CivilCAD2000* permite calcular cimentaciones superficiales rectangulares con un solo fuste (circular o rectangular) y cimentaciones profundas de encepado rectangular y con un solo fuste sobre pilotes dispuestos en cuadrícula. Los pilotes pueden ser circulares o cuadrados y ejecutados in situ o hincados.

El terreno puede estar constituido por diversas capas horizontales.

CivilCAD2000 verifica tanto los estados límites estructurales (rotura y fisuración) como los geotécnicos (hundimiento, deslizamiento, vuelco, arranque de pilotes, pandeo de pilotes, resistencia a esfuerzos horizontales y asentos). *CivilCAD2000* no analiza el estado límite geotécnico de estabilidad global.

Así mismo, el usuario puede elegir entre distintas normativas; en concreto se puede optar por seguir los criterios de la Guía de Cimentaciones y la Instrucción de Acciones en Puentes de Carretera o bien utilizar el Código Técnico de la Edificación (CTE).

El programa genera la memoria de cálculo así como los planos de geometría de la cimentación.

2.- ESTRUCTURA DEL MODULO

Al módulo de Cimentaciones se accede al seleccionar la orden " *Proyecto - Cimentaciones*" del menú principal del programa o bien pinchando el botón correspondiente de la Barra de Proyectos. Al hacerlo, se abre la ventana de proyecto que permite activar las órdenes de dicho módulo. Estas órdenes están estructuradas según el siguiente esquema:

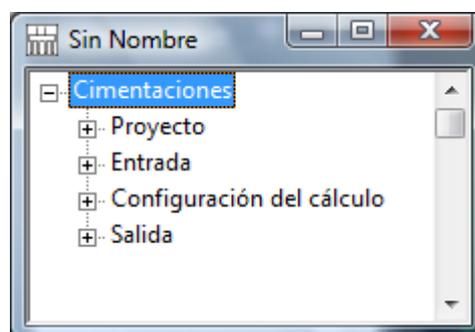


Figura 2-1: Diálogo inicial

2.1.- Ordenes de *Proyecto*.

Permiten abrir o guardar un proyecto o crear uno nuevo. La extensión de los archivos será del tipo “*.cim”

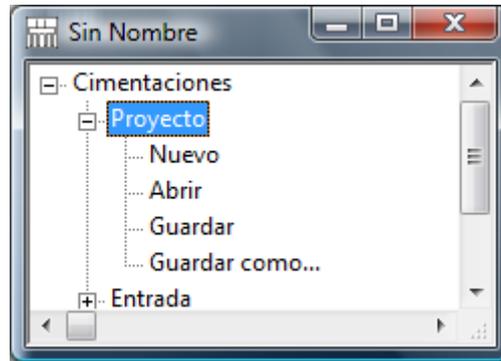


Figura 2.1-1: Diálogo Proyecto

2.2.- Ordenes de *Entrada de datos*.

Se trata de la Entrada de datos para la definición de la cimentación. Se deberá definir la geometría de la cimentación, las capas que constituyen el terreno, los materiales, las acciones que actúan y los coeficientes de seguridad. En el apartado 3 se detalla el contenido de este diálogo.

2.3.- Ordenes de *Configuración del cálculo*.

En este diálogo se definen los criterios de configuración del cálculo. En él se puede seleccionar el método de cálculo que se utilizará para obtener los coeficientes de balasto, la carga de hundimiento, la obtención de los asentamientos, etc.. así como definir las variables de los modelos de cálculo (criterios de discretización de la estructura). También permite guardar los modelos de cálculo (modelos de barras 3D) en archivos de extensión *.bar* que pueden abrirse con el Módulo Barras.

2.4.- Ordenes de *Salida*.

Se utilizan para consultar los resultados y obtener los listados de cálculo, las figuras de definición geométrica de la cimentación y gráficas de resultados.

3.- ENTRADA DE DATOS

Cuando se inicia un nuevo caso y seleccionar la opción ‘Entrada’ aparece el siguiente diálogo:

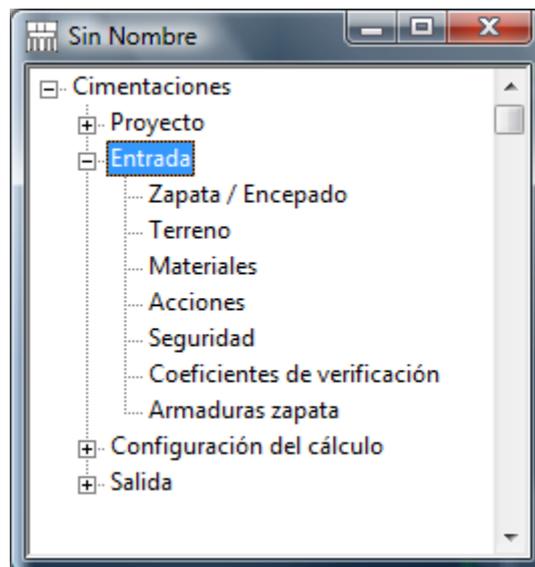


Figura 3-1: Diálogo de entrada de datos

Al aparecer este diálogo se debe acceder en primer lugar al diálogo ‘Zapata/Encepado’ en el cual el usuario debe definir si la cimentación a calcular es superficial o profunda.

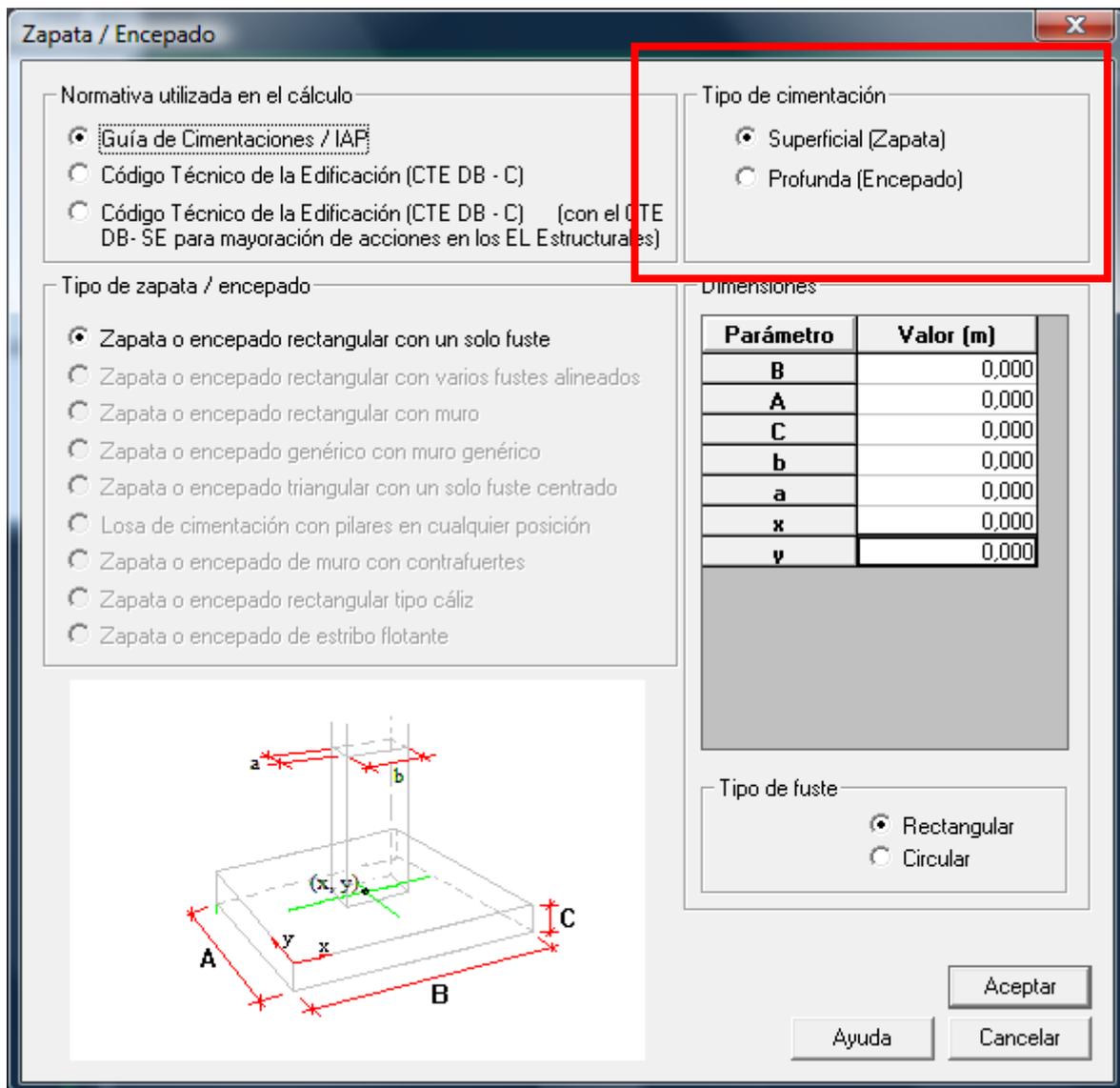


Figura 3-2: Definición de cimentación superficial o profunda

En el caso de seleccionar la opción de cimentación superficial, el diálogo de entrada se mantendrá igual al inicial (ver Figura 3-1). En caso de seleccionar la opción de cimentación profunda el diálogo de Entrada se modificará, pasando a ser el indicado en la Figura 3-3.

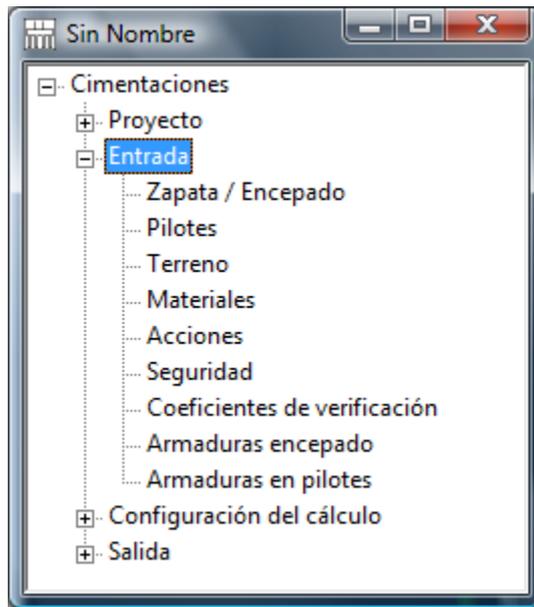


Figura 3-3: Diálogo de Entrada para cimentaciones profundas

En los siguientes apartados se explican los distintos diálogos de entradas de datos de la opción 'Entrada'.

3.1.- Zapata / Encepado

El diálogo 'Zapata/Encepado' se organiza en cuatro subdiálogos:

- *Tipo de cimentación*
- *Normativa utilizada en el cálculo*
- *Tipo de zapata/encepado*
- *Dimensiones*

3.1.1.- Tipo de cimentación

Al seleccionar la opción Zapata/Encepado aparecerá el diálogo de la Figura 3-2.

Este diálogo es común para el caso de cimentaciones superficiales y profundas. Es decir, si se trata de una cimentación superficial, en este apartado se define la geometría de la zapata y el fuste, mientras que si la cimentación es profunda se define la geometría del encepado y del fuste.

Cómo ya se ha comentado en el apartado anterior, la selección entre zapata superficial y profunda se realiza en el subdiálogo '*Tipo de cimentación*' que aparece en la esquina superior derecha.

3.1.2.- Normativa utilizada en el cálculo

El usuario debe seleccionar el tipo de normativa que se utilizará en los cálculos. *CivilCAD2000* permite considerar tres posibles normativas:

- “***Guía de Cimentaciones / IAP***”. Si se selecciona esta opción, *CivilCAD2000* considerará la metodología de cálculo de la *Guía de Cimentaciones*, comprobando los Estados Límite Geotécnicos a partir de un coeficiente de seguridad global; por el contrario, los estados límite estructurales se verificarán de acuerdo con la Instrucción de Acciones de Puentes de Carretera (IAP) mayorando las acciones y minorando la resistencia de los materiales.
- “***Código Técnico de la Edificación. Cimientos (CTE DB-C)***”. Si se selecciona esta opción, *CivilCAD2000* adoptará la metodología del Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-C). Los estados límite (estructurales y geotécnicos) se comprobarán verificando que el efecto producido por las acciones mayoradas es inferior al efecto resistente obtenido minorando las resistencias. Se consideran las acciones del CTE DB-SE, mayorando las acciones por los coeficientes definidos en el CTE DB-C.
- “***Código Técnico de la Edificación. Cimientos (CTE DB-C) y CTE DB-SE para la mayoración de acciones en los estados límite estructurales***”. Si se selecciona esta opción, *CivilCAD2000* adoptará la metodología del Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-C). Los estados límite (estructurales y geotécnicos) se comprobarán verificando que el efecto producido por las acciones mayoradas es inferior al efecto resistente obtenido minorando las resistencias. Se consideran las acciones del CTE DB-SE; para los estados límite estructurales las acciones se mayoran por los coeficientes definidos en el CTE DB-SE.

La normativa se selecciona en el subdiálogo ‘*Normativa utilizada en el cálculo*’ que aparece en la esquina superior izquierda del diálogo *Zapata/Encepado*.

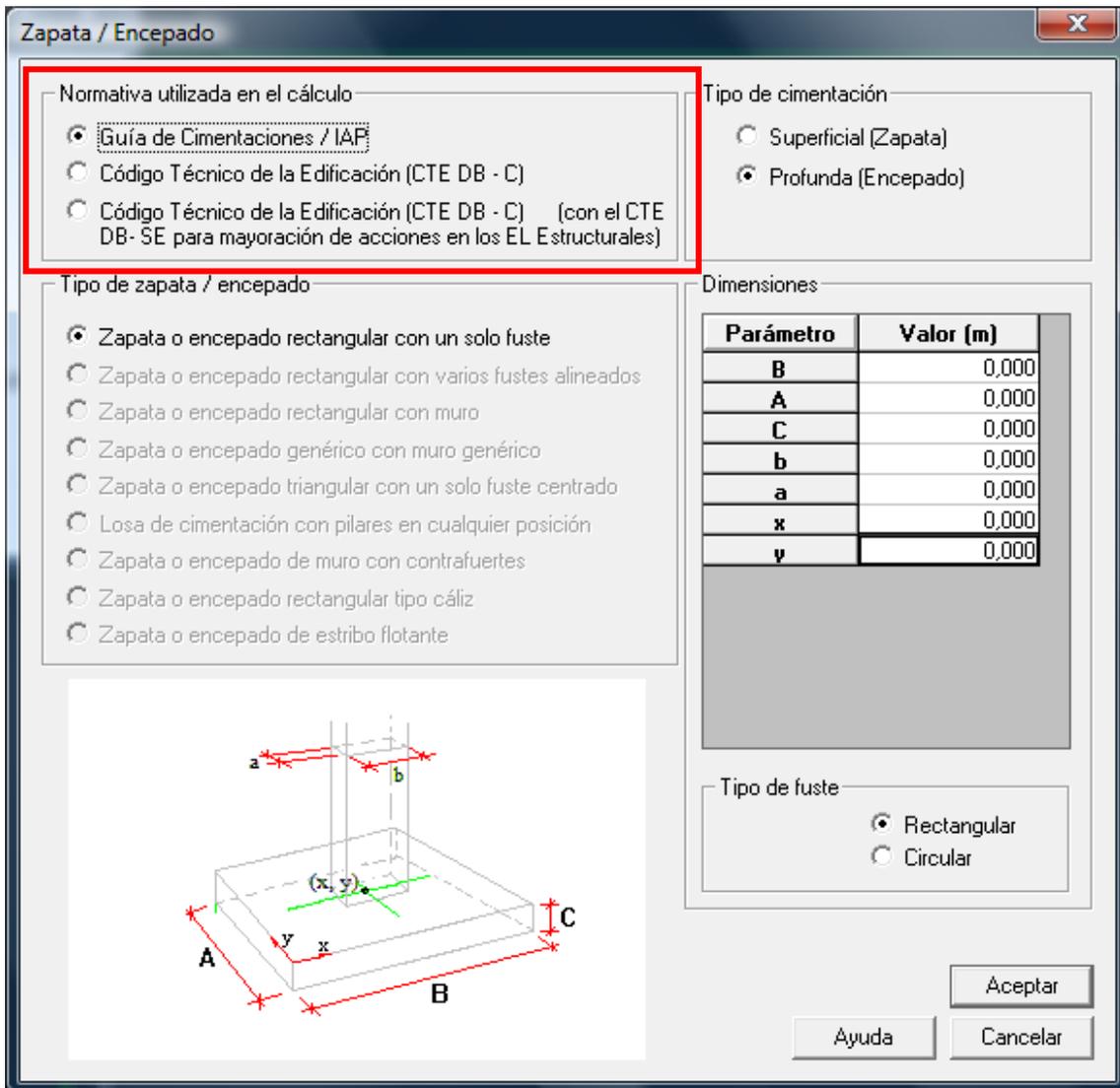


Figura 3.1.2-1: Diálogo en el que se determina la normativa a utilizar

Para el cálculo de los elementos estructurales de la cimentación se aplica la Instrucción EHE.

3.1.3.- Tipo de Zapata/Encepado

El usuario debe seleccionar el 'Tipo de zapata/encepado' que se desea calcular. En la versión actual de *CivilCAD2000* únicamente está disponible la opción de zapata rectangular con un solo fuste.

3.1.4.- Dimensiones

En el subdiálogo '*Dimensiones*', el usuario debe introducir las dimensiones geométricas de la zapata o encepado. Dichas dimensiones deben introducirse en metros.

Zapata o encepado rectangular con un solo fuste

En primer lugar el usuario debe definir si el fuste es de sección circular o rectangular, y a continuación introducir las dimensiones de la zapata y del fuste.

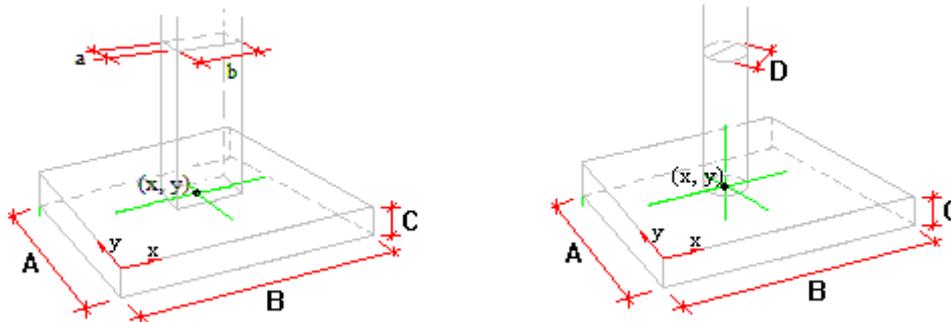


Figura 3.1.4-1: Dimensiones a introducir para el caso de zapata con un solo fuste rectangular o circular

- B: Dimensión de la zapata/encepado en dirección 'X'.
- A: Dimensión de la zapata/encepado en dirección 'Y'.
- C: Canto de la zapata/encepado.
- x: Coordenada X del centro de gravedad geométrico del fuste.
- y: Coordenada Y del centro de gravedad geométrico del fuste.
- b: Dimensión del fuste paralela al eje 'X' en el caso de fuste rectangular.
- a: Dimensión del fuste paralela al eje 'Y' en el caso de fuste rectangular.
- D: Diámetro del fuste en el caso de fuste circular.

El fuste puede disponerse en cualquier posición de la zapata o del encepado. Su posición queda definida por las coordenadas de su centro de gravedad. El origen de los ejes de coordenadas se sitúan en la esquina inferior izquierda de la cimentación (ver Figura 3.1.4-1).

3.2.- Pilotes

El diálogo 'Pilotes' únicamente aparecerá si se ha seleccionado previamente en el diálogo 'Zapata/Encepado' la opción de cimentación profunda (ver apartado 3.1).

Al seleccionar la opción 'Pilotes' del menú de 'Entrada' aparecerá el siguiente diálogo en pantalla.

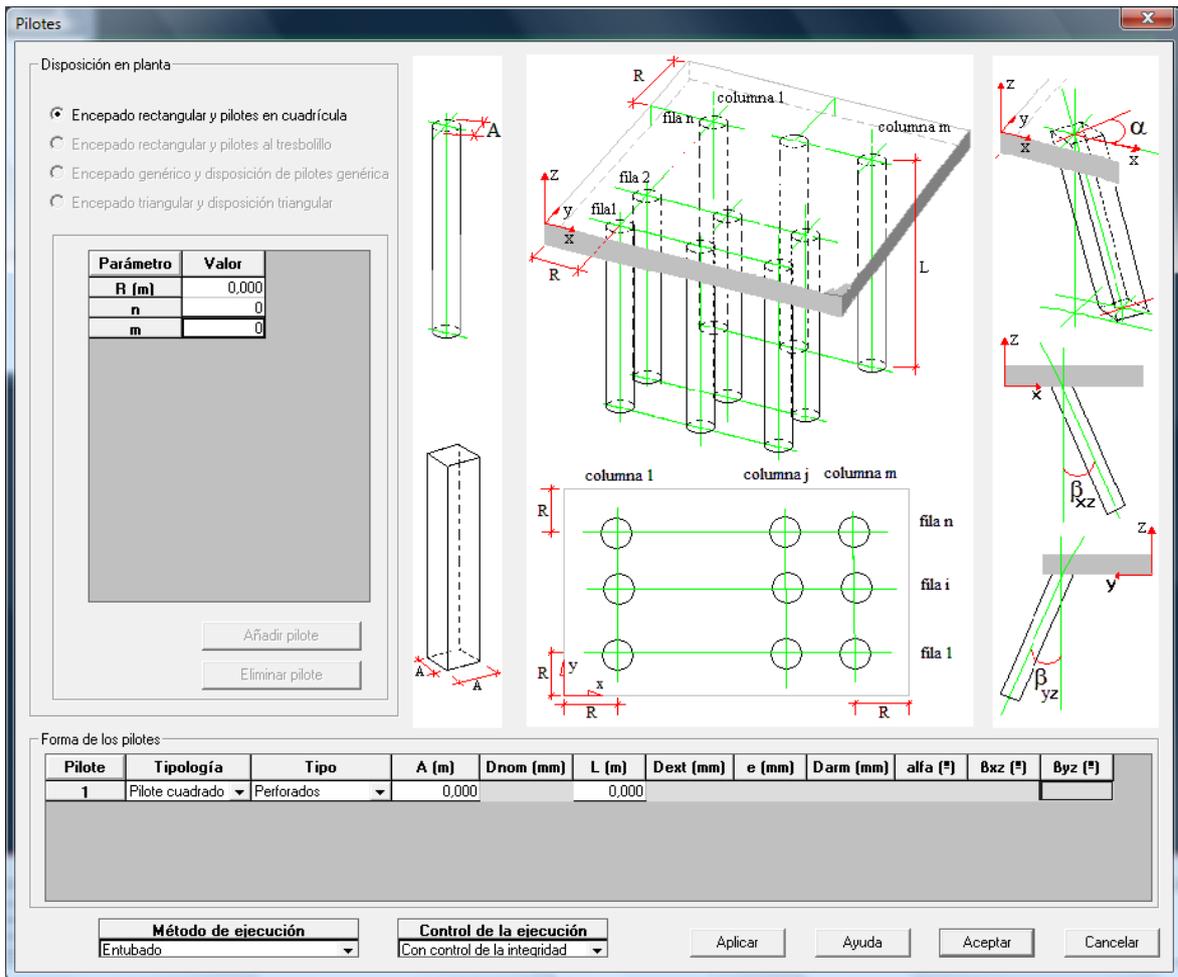


Figura 3.2-1: Diálogo Pilotes

Este diálogo se organiza en dos subdiálogos:

- Disposición en planta
- Forma de los pilotes

3.2.1.- Disposición en planta

En este diálogo se define la forma en que los pilotes se distribuyen en planta. En la versión actual del programa, *CivilCAD2000* solo permite la disposición en cuadrícula de los pilotes, según se define en la Figura 3.2.1-1.

Encepado rectangular y pilotes en cuadrícula

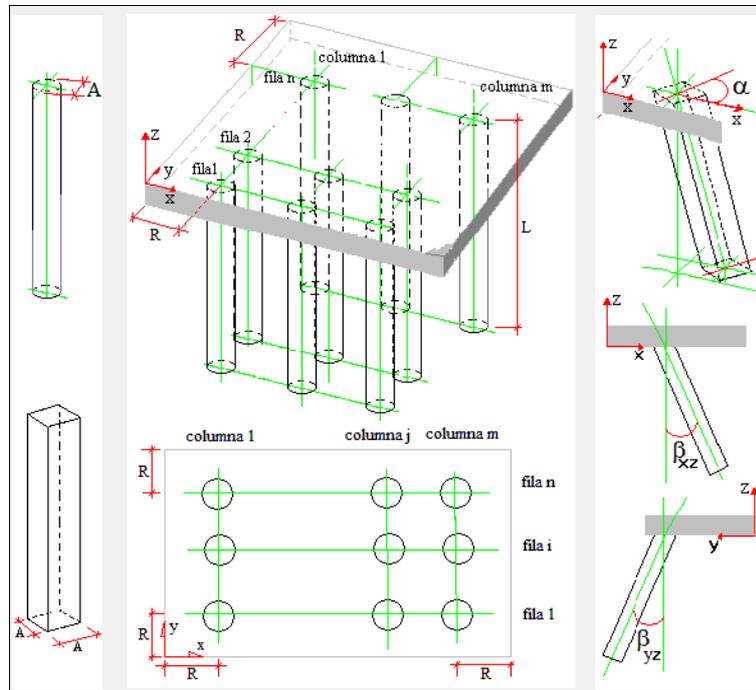


Figura 3.2.1-1: Disposición de los pilotes en cuadrícula

El usuario deberá definir la distancia R en metros del centro de los pilotes más exteriores al contorno del encepado, y el número de pilotes en cada fila (valor 'm'), así como el número de filas (valor 'n').

En la opción de pilotes en cuadrícula, se considera que todos los pilotes son iguales entre sí en cuanto a su geometría y sus características constructivas. Por ello, en el subdiálogo 'Forma de pilotes' únicamente se introducirán las características de un solo pilote.

Además se asume que:

- Los pilotes son verticales
- Todos los pilotes tienen la misma longitud.
- α = Ángulo que forma el eje local '1' del pilote con el eje global 'x' de la zapata = 0 (ver Figura 3.2.1-1)

El criterio de numeración de los pilotes es el siguiente:

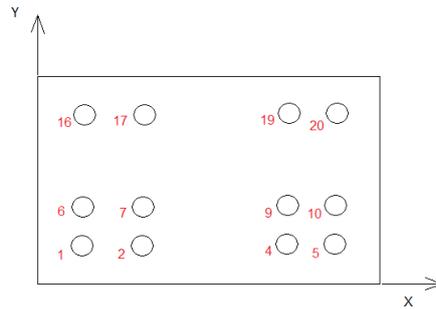


Figura 3.2.1-2: Numeración de los pilotes

3.2.2.- Forma de los pilotes

En este subdiálogo se define la geometría y la tipología de los pilotes. Para ello se debe definir para cada pilote:

Tipología: Seleccionar entre pilote circular o pilote cuadrado

Tipo: Seleccionar entre perforados e hincados

A (m): Lado del pilote en metros en el caso de haber seleccionado pilotes cuadrados, o diámetro del pilote en metros en el caso de haber seleccionado pilotes circulares.

L (m): Longitud en metros del pilote. Es decir distancia entre la punta del pilote y la cara inferior del encepado.

3.2.3.- Otros parámetros de los pilotes

Además de la información introducida en los subdiálogos ‘Disposición en planta’ y ‘Forma de los pilotes’, el usuario debe definir el procedimiento constructivo de los pilotes (método de ejecución) y el nivel de control de la ejecución de los mismos.

Método de ejecución

Se debe seleccionar una de las siguientes opciones:

- Entubado
- Con lodos
- En seco
- Barrenado sin control de parámetros
- Barrenado con control de parámetros

Control de la ejecución

Se debe seleccionar una de las siguientes opciones:

- Con control de la integridad
- Sin control de la integridad

3.3.- Terreno

Al seleccionar la opción ‘Terreno’ del menú de ‘Entrada’ aparecerá el siguiente diálogo en pantalla.

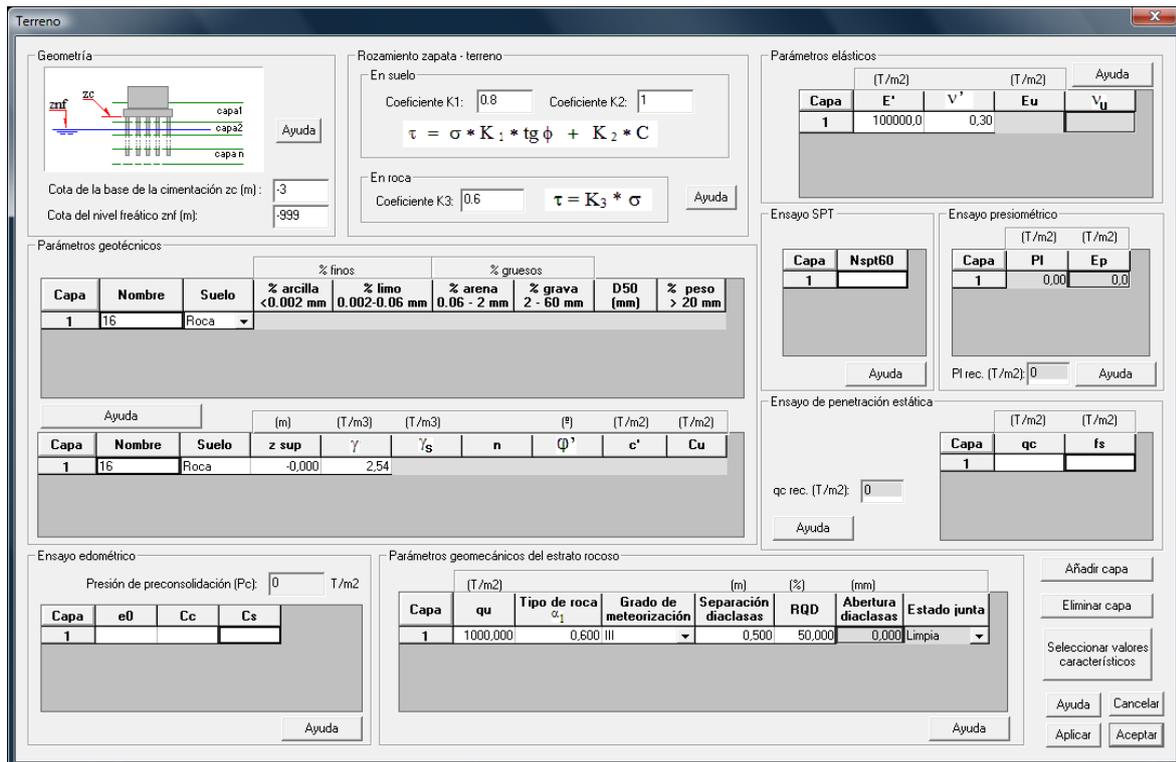


Figura 3.3-1: Diálogo Terreno

En este diálogo se define por un lado la posición de la cimentación y del nivel freático y por otro, los parámetros geotécnicos de las distintas capas del terreno.

En el subdiálogo ‘Geometría’ el usuario debe introducir la **cota de la base de la cimentación** (en metros), así como la **cota del nivel freático** (también en metros). En caso de no existir nivel freático se deberá introducir una cota suficientemente alejada de la base de cimentación para que no influya en el dimensionamiento de ésta.

CivilCAD2000 permite considerar distintas capas de terreno horizontales. Con la opción ‘Añadir capa’ el usuario puede definir tantas capas como desee. Mediante la opción ‘Eliminar capa’ se puede eliminar la capa seleccionada.

Para cada capa el usuario debe introducir los parámetros geotécnicos necesarios para su caracterización, los cuales dependerán de la metodología de cálculo seleccionada en la opción ‘Configuración del cálculo’.

Cada capa del terreno se identifica con un nombre (el usuario debe introducir una cadena alfanumérica). Para cada capa el usuario debe definir su comportamiento geotécnico como:

- Suelo cohesivo
- Suelo granular
- Roca

En el caso de seleccionarse la opción de suelo cohesivo, *CivilCAD2000* considerará comportamiento no drenado en la situación a corto plazo (situación transitoria) y comportamiento drenado en las situaciones persistentes y accidentales.

De acuerdo con el CTE:

El suelo cohesivo es aquel que tiene un porcentaje de finos superior al 35 %.

El suelo granular es aquel que tiene un porcentaje de finos inferior al 35 %

Los finos están constituidos por las arcillas y los limos.

Si (%arcilla + % limo) > 35% → tipo cohesivo

Si (%arena + % grava) > 65% → tipo granular

A continuación se clasifica el suelo en función del diámetro del tamaño de las partículas:

Clasificación suelos (CTE)		Tamaño (mm)	
Suelos gruesos	Bolos	>60	
	Gravas	Gruesas	20 – 60
		Medias	6 – 20
		Finas	2 – 6
	Arenas	Gruesas	0,6 - 2
		Medias	0,2 – 0,6
Finas		0,06 – 0,2	
Suelos finos	Limos	Gruesos	0,02 – 0,06
		Medios	0,006 – 0,02
		Finos	0,002 – 0,006
	Arcillas	< 0,002	

Tabla 3.3-1: Clasificación de los suelos en función de su granulometría.

(Fuente: Tabla D.1 del CTE DB-C)

En el caso de cimentaciones superficiales, se pueden definir capas intercaladas de suelo cohesivo y suelo granular, pero no de capas de roca. Si se define una capa de roca *CivilCAD2000* solo permite considerar una única capa.

En el caso de cimentaciones profundas, *CivilCAD2000* permite considerar los pilotes empotrados en un nivel de roca y definir distintas capas arcillosas o granulares por encima del nivel rocoso. No permite considerar niveles de roca intercalados en niveles arenosos o arcillosos.

3.3.1.- Parámetros a introducir en el diálogo Terreno

Los parámetros a introducir dependerán del método de cálculo seleccionado en la opción 'Configuración de Cálculo'. Por ello, *CivilCAD2000* señala en gris aquellas casillas que **no** son necesarias rellenar en función de la metodología de cálculo seleccionada.

3.3.1.1.- Rozamiento zapata-terreno

Se distingue entre el rozamiento zapata-suelo y zapata-roca.

En suelos:

CivilCAD2000 permite definir los parámetros de rozamiento y adherencia terreno-zapata para el caso de cimentaciones superficiales en condiciones drenadas, que intervendrán en el cálculo a deslizamiento.

La tensión de adherencia entre la superficie de la zapata y el terreno se define como:

$$\tau = \sigma \times \text{tg}\phi_c + c_c$$

donde σ es la tensión normal transmitida por la zapata al terreno, ϕ_c el ángulo de rozamiento zapata-terreno y c_c la adherencia.

El ángulo de rozamiento y la adherencia se definen a partir de las siguientes expresiones:

A) Para condiciones drenadas:

$$\text{tg}\phi_c = k1 \text{tg}\phi$$

$$c_c = k2 \times c$$

donde

k1 coeficiente introducido por el usuario

k2 coeficiente introducido por el usuario

c, ϕ cohesión y ángulo de rozamiento de la capa de contacto zapata-terreno

El usuario deberá introducir los parámetros K1 y K2 en el subdiálogo '*Rozamiento zapata-terreno*'.

Para cimentaciones convencionales de hormigón ejecutadas in situ contra el terreno suele tomarse

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 1,0$$

B) Para condiciones no drenadas:

$$tg\phi_c = 0$$

$$c_c = C_u$$

La tensión de adherencia así calculada se utiliza para el cálculo de la estabilidad al deslizamiento de las zapatas superficiales.

En rocas:

Si la zapata apoya en roca, la fuerza horizontal resistente se obtiene como el producto de un factor (k_3) por la fuerza vertical, que puesto en tensiones, se escribe como:

$$\tau = \sigma \times k_3$$

k_3 Coeficiente de rozamiento roca-zapata

En el caso de rocas, al no definirse un ángulo de rozamiento y una cohesión, el rozamiento se introduce directamente.

3.3.1.2.- Parámetros geotécnicos

Para cada una de las capas se deben introducir los siguientes parámetros geotécnicos:

Nombre: Nombre que identifica la capa (cadena alfanumérica).

Suelo: Define el tipo de comportamiento del terreno que constituye la capa. El usuario debe identificar el comportamiento de la capa como Cohesivo, Granular o Roca. Según el tipo de terreno *CivilCAD2000* permitirá aplicar una u otra metodología en el cálculo de las presiones admisibles y de los asientos. En el caso de arcillas (comportamiento cohesivo) se distinguirá entre el comportamiento a corto plazo (que se asocia a la situación transitoria) y a largo plazo (situaciones persistentes y accidentales).

A continuación debe introducirse la composición granulométrica de la capa a partir de los siguientes valores:

%arcilla: Porcentaje en peso de las partículas arcillosas (< 0,002 mm)

%limo: Porcentaje en peso de las partículas comprendidas entre 0,002 y 0,06 mm.

Para que una capa se considere que tendrá un comportamiento arcilloso, el porcentaje de finos (arcilla más limo) debe ser superior al 35%.

%arena: Porcentaje en peso de las partículas comprendidas entre 0,02 y 2 mm.

%grava: Porcentaje en peso de las partículas comprendidas entre 2 y 60 mm.

D50: Diámetro en milímetros del tamiz por el cual pasan el 50 % en peso de las partículas.

% peso > 20 mm: Porcentaje en peso de las partículas de tamaño superior a los 20 mm

z_{sup} (**Cota superior**): Define la cota superior (en metros) de la capa. La última capa se considera ilimitada en profundidad. La cota superior de la primera capa constituye la superficie del terreno.

γ (**Densidad natural**): Peso específico aparente del suelo, correspondiente a la humedad media del terreno. Se debe introducir en t/m^3 .

γ_s (**Densidad seca**): Peso específico del terreno seco en t/m^3 . Se utiliza para la obtención de la densidad saturada y sumergida (ver porosidad).

n (**Porosidad**): Parte del volumen unitario de un suelo que no está ocupada por partículas de materia sólida. Es pues, la relación entre el volumen de huecos de una muestra de suelo y el volumen aparente de dicha muestra. Se debe introducir en tanto por uno.

La densidad saturada (γ_{sat}) se calcula a partir de la densidad seca y la porosidad a partir de la siguiente expresión:

$$\gamma_{sat} = \gamma_s + n \gamma_w \quad \text{siendo } \gamma_w \text{ la densidad del agua } (\gamma_w = 1 t/m^3)$$

La densidad sumergida (γ') se calcula a partir de la densidad saturada con la siguiente expresión:

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

Se debe verificar que:

$$n \geq (\gamma' - \gamma_s) / \gamma_w$$

Se designa por 'e' el índice de huecos que se define como la relación del volumen de huecos con el volumen que ocupan las partículas sólidas. La relación entre 'n' y 'e' es:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

ϕ' (**Ángulo de rozamiento interno**): Ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno en grados sexagesimales ($^\circ$).

c' (Cohesión): Cohesión del terreno en t/m^2 . En el caso de arcillas esta cohesión corresponde a la cohesión en condiciones drenadas (cohesión efectiva).

C_u (Resistencia al corte sin drenaje): Resistencia al corte sin drenaje en t/m^2 .

En la tabla siguiente se exponen los parámetros resistentes y deformacionales que *CivilCAD2000* adopta en cada situación de proyecto en función de si el suelo es arenoso o arcilloso.

Situación de proyecto	Plazo	Tipo de suelo	Comportamiento del terreno	ϕ	c	E	ν
Persistente y Accidental	Largo plazo	Arena	Drenado	ϕ'	c'	E'	ν'
	Largo plazo	Arcilla	Drenado	ϕ'	c'	E'	ν'
Transitoria	Corto plazo	Arena	Drenado	ϕ'	c'	E'	ν'
	Corto plazo	Arcilla	No Drenado	$\phi=0$	C_u	E_u	ν_u

Tabla 3.3.1.2-1: Parámetros asociados a la situación de corto y largo plazo
Esta consideración se hace independientemente de la presencia de nivel freático.

3.3.1.3.- Parámetros elásticos

El usuario debe introducir los parámetros elásticos que caracterizan cada una de las capas:

E' (Módulo elástico): Módulo de elasticidad de la capa en condiciones drenadas (t/m^2).

ν' (Coeficiente de Poisson): Coeficiente de Poisson de la capa en condiciones drenadas.

E_u (Módulo elástico): Módulo de elasticidad de la capa en condiciones no drenadas (t/m^2).

ν_u (Coeficiente de Poisson): Coeficiente de Poisson de la capa en condiciones no drenadas.

Los valores de E' y ν' corresponden a condiciones drenadas. Los valores de E_u y ν_u corresponden a condiciones no drenadas. *CivilCAD2000* aplica los valores E' y ν' en los suelos arenosos en cualquiera de las situaciones de proyecto (persistentes, transitorias y accidentales). Por el contrario en el caso de suelos arcillosos, *CivilCAD2000* adopta los valores de E' y ν' para las situaciones persistentes y accidentales, y los valores E_u y ν_u en las situaciones transitorias. Por tanto en las capas definidas como arenosas o roca *CivilCAD2000* no permite introducir los valores de E_u y ν_u . Esta consideración se hace independientemente de la presencia de nivel freático. Ver Tabla 3.3.1.2-1.

3.3.1.4.- Ensayo SPT

El usuario puede caracterizar la capacidad resistente del estrato mediante el Ensayo de Penetración Estándar (SPT). Para ello debe introducir, para cada capa, el índice N del ensayo SPT correspondiente a una eficacia de hincas del 60 %, (que es la más frecuente en los ensayos realizados según UNE 103800). Si se dispone de resultados de ensayo en el

que el porcentaje de energía total de golpeo transmitida al tomamuestras es distinta del 60%, el valor N a introducir debe ser:

$$N = N_{\text{ensayo}} \times P / 60$$

siendo P el porcentaje de energía total de golpeo transmitida al tomamuestras.

Los valores del ensayo SPT se utilizaran en el caso de que el usuario defina en la opción '*Configuración del cálculo*' como métodos de cálculo de la capacidad portante o de cálculo de asientos, métodos basados en este ensayo.

3.3.1.5.- Ensayo de Penetración Estática

El usuario puede caracterizar la capacidad resistente del estrato mediante el Ensayo de Penetración Estática. El usuario debe introducir para cada estrato el parámetro q_c y f_s :

q_c : Resistencia por la punta del ensayo de penetración estática en t/m^2

f_s : Resistencia por fuste del ensayo de penetración estática en t/m^2

Asimismo se deberá introducir el valor representativo de la resistencia por punta del ensayo de penetración estática en los niveles superficiales ($q_{c,rec}$) situados por encima del nivel de cimentación y hasta la superficie. Este valor se debe de introducir igualmente en t/m^2 .

Los valores del ensayo de penetración estática se utilizaran en el caso de que el usuario defina en la opción '*Configuración del cálculo*' como método de cálculo de la capacidad portante el método basado en este ensayo.

3.3.1.6.- Ensayo Presiométrico

El usuario puede caracterizar la capacidad resistente del estrato mediante el Ensayo Presiométrico, a través de la presión límite y el módulo presiométrico. El usuario debe introducir para cada estrato el parámetro p_l y E_p :

p_l : Presión límite del ensayo presiométrico en t/m^2

E_p : Módulo presiométrico en t/m^2

Así mismo, en el caso de cimentaciones superficiales, se deberá introducir el valor representativo de la presión límite obtenida en los niveles superficiales ($p_{l,rec}$) situados por encima del nivel de cimentación y hasta la superficie. Este valor se debe de introducir igualmente en t/m^2 .

Los valores del ensayo presiométrico se utilizaran en el caso de que el usuario defina en la opción '*Configuración del cálculo*' como método de cálculo de la capacidad portante, el método basado en el ensayo presiométrico, tanto para cimentaciones superficiales como profundas. El módulo presiométrico se utiliza únicamente para la obtención de la rigidez horizontal del pilote.

3.3.1.7.- Ensayo Edométrico

Para el cálculo de asientos a largo plazo en arcillas, *CivilCAD2000* permite utilizar el método edométrico, para lo cual se deben introducir los siguientes parámetros para cada una de las capas arcillosas.

e_0 : Índice de poros del terreno en la situación inicial (antes de aplicar la carga). Se define como la relación del volumen de huecos con el volumen que ocupan las partículas sólidas. Está relacionado con la porosidad 'n' mediante la siguiente expresión

$$n = \frac{e_0}{1 + e_0}$$

Si el usuario ha introducido el valor de la porosidad, *CivilCAD2000* calcula automáticamente el valor del índice de poros y viceversa.

P_c : Presión de preconsolidación en t/m^2

C_c : Índice de compresión

C_s : Índice de hinchamiento o entumecimiento

3.3.1.8.- Parámetros geomecánicos del estrato rocoso

En el caso de que el terreno esté constituido por un estrato rocoso, el usuario deberá introducir los siguientes parámetros en función del método de cálculo seleccionado para la obtención de la presión de hundimiento:

	Método de la Guía de Cimentaciones	Método del CTE
q_u	X	X
α_1	X	
Grado de meteorización	X	X
Separación diaclasas	X	X
RQD	X	X
Abertura de fisuras		X
Estado de la junta		X

Tabla 3.3.1.8-1: Parámetros geotécnicos necesarios para el cálculo de la carga de hundimiento en estratos rocosos

El significado de estos parámetros se expone a continuación.

q_u : Resistencia a compresión simple de la roca sana en t/m^2 .

α_1 : Parámetro que define la relación entre la resistencia a tracción simple q_t y la resistencia a compresión simple q_u :

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{10 \cdot q_t}{q_u}}$$

A falta de información específica, la tabla 4.3 de la Guía de Cimentaciones proporciona los siguientes valores:

Valores de α_1 según el tipo de roca			
Grupo	Nombre genérico	Ejemplos	α_1
1	Rocas carbonatadas con estructura bien desarrollada	<ul style="list-style-type: none"> • Calizas, dolomías y mármoles puros • Calcarenitas de baja porosidad 	1,0
2	Rocas ígneas y rocas metamórficas a excepción de las indicadas en los grupos 1 y 3	<ul style="list-style-type: none"> • Granitos, cuarcitas • Andesitas, riolitas • Pizarras, esquistos y gneises (esquistosidad subhorizontal) 	0,8
3	Rocas sedimentarias a excepción de las indicadas en los grupos 1 y 4, y algunas metamórficas	<ul style="list-style-type: none"> • Calizas margosas, argilitas, limolitas, areniscas y conglomerados • Pizarras y esquistos (esquistosidad verticalizada) • Yesos 	0,6
4	Rocas poco soldadas	<ul style="list-style-type: none"> • Areniscas, limolitas y conglomerados poco cementados • Margas 	0,4

Tabla 3.3.1.8-1: Valores de α_1 según el tipo de roca

Grado de Meteorización: Grado de meteorización de la roca según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). El usuario debe seleccionar entre I, II, III, IV, V o VI. El valor a introducir debe corresponder al mayor grado de alteración que pueda existir en una profundidad de $1,5B^*$ a partir del plano de apoyo de la cimentación (donde B^* es la dimensión menor de la zapata equivalente).

Grado de meteorización de las rocas (ISRM)		
Grado	Denominación	Criterio de reconocimiento
I	Roca sana o fresca	La roca no presenta signos visibles de meteorización, pueden existir ligeras pérdidas de color o pequeñas manchas de óxidos en los planos de discontinuidad.
II	Roca ligeramente meteorizada	La roca y los planos de discontinuidad presentan signos de decoloración. La roca puede estar decolorada en la pared de las juntas pero no es notorio que la pared sea más débil que la roca sana.
III	Roca moderadamente meteorizada	La roca está decolorada en la pared. La meteorización empieza a penetrar hacia el interior de la roca desde las discontinuidades. El material es notablemente más débil en la pared que en la roca sana. Material débil < 50% del total.
IV	Roca meteorizada o muy meteorizada	Más de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma discontinua.
V	Roca completamente meteorizada	Todo el material está descompuesto a un suelo. La estructura original de la roca se mantiene intacta.
VI	Suelo residual	La roca está totalmente descompuesta en un suelo y no puede reconocerse ni la textura ni la estructura original. El material permanece "in situ" y existe un cambio de volumen importante.

Tabla 3.3.1.8-2: Grado de meteorización de las rocas

Separación diaclasas: Espaciamiento entre las litoclasas expresado en metros, correspondiente a la familia de diaclasas que conduzca a un menor valor.

RQD: Valor del parámetro “Rock Quality Designation” expresado en tanto por ciento (%). Este parámetro mide, para cada tramo de 1 m de longitud de avance de sondeo, el porcentaje que supone la suma de longitudes de aquellos testigos cuya longitud individual supera los 10 cm.

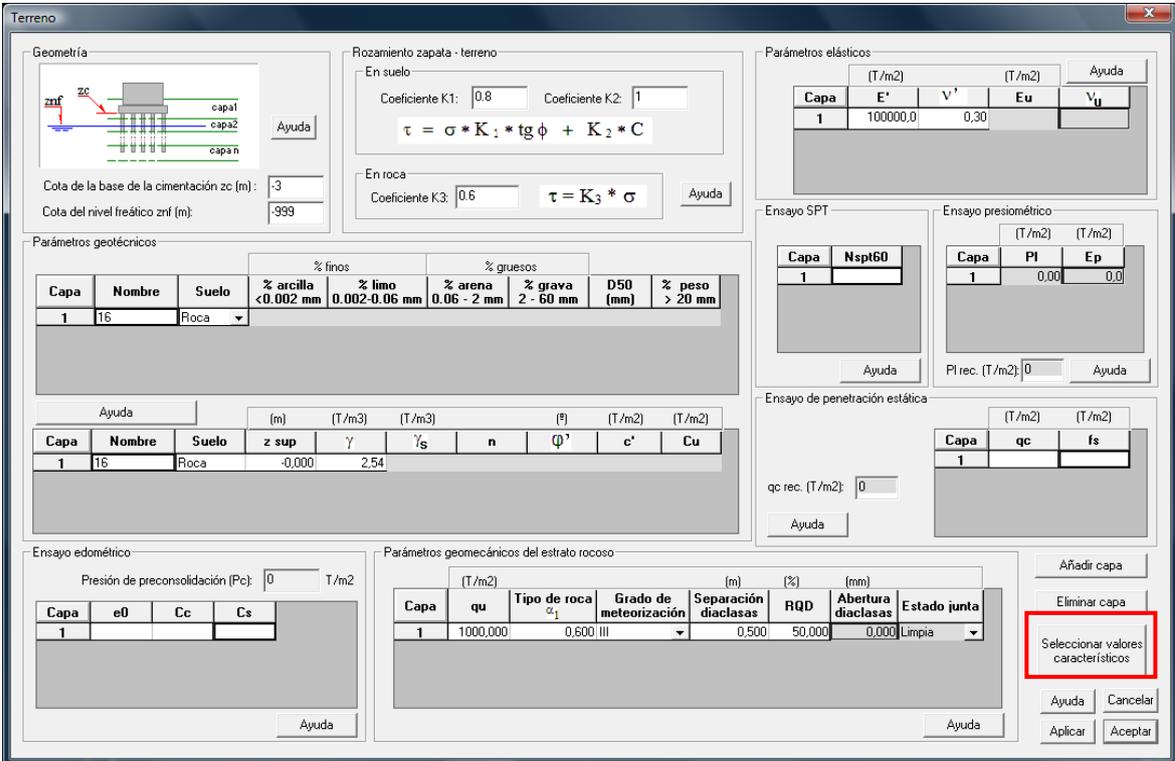
Abertura diaclasas: Abertura de las discontinuidades en milímetros (mm).

Estado Junta: Estado de la junta. Puede ser *Limpia* (sin material en la junta) o *Rellena* de suelo o roca alterada.

Todos estos parámetros deben ser los valores representativos del volumen de roca situado bajo la cimentación en una profundidad de $1,5 B^*$ (donde B^* es la dimensión menor de la zapata equivalente).

3.2.- Valores característicos

En el diálogo Terreno existe la opción de adoptar valores característicos para distintos tipos de terreno para hacer tanteos preliminares. Para ello debe seleccionarse la opción ‘Seleccionar valores característicos’ (ver figura 3.2-1)



Geometría

Cota de la base de la cimentación zc (m): -3
Cota del nivel freático znf (m): -999

Rozamiento zapata-terreno

En suelo: Coeficiente K1: 0.8 Coeficiente K2: 1
 $\tau = \sigma * K_1 * \text{tg } \phi + K_2 * C$

En roca: Coeficiente K3: 0.6
 $\tau = K_3 * \sigma$

Parámetros elásticos

Capa	E'	v'	Eu	Vu
1	100000.0	0.30		

Parámetros geotécnicos

Capa	Nombre	Suelo	% finos		% gruesos		D50 (mm)	% peso > 20 mm
			% arcilla <0.002 mm	% limo 0.002-0.06 mm	% arena 0.06 - 2 mm	% grava 2 - 60 mm		
1	16	Roca						

Ensayo edométrico

Presión de preconsolidación (Pc): 0 T/m2

Capa	e0	Cc	Cs
1			

Parámetros geomecánicos del estrato rocoso

Capa	qu (T/m2)	Tipo de roca (%)	Grado de meteorización	Separación diaclasas (m)	RQD (%)	Abertura diaclasas (mm)	Estado junta
1	1000.000	0.600 III		0.500	50.000	0.000	Limpia

Ensayo de penetración estática

Capa	qc (T/m2)	fs (T/m2)
1		

Ensayo SPT

Capa	Nspt60
1	

Ensayo presiométrico

Capa	PI (T/m2)	Ep (T/m2)
1	0.00	0.0

Botones: Añadir capa, Eliminar capa, Seleccionar valores característicos, Ayuda, Cancelar, Aplicar, Aceptar

Figura 3.2-1: Opción de seleccionar valores característicos

Al seleccionar esta opción aparecerá en pantalla el diálogo de la figura 3.2-2 que permite seleccionar el tipo de terreno y la capa a la que asignar los valores. *CivilCAD2000* adoptará los parámetros característicos del tipo de terreno seleccionado. Los valores correspondientes a cada tipo de terreno pueden consultarse en el Manual Técnico del módulo de cimentaciones de *CivilCAD2000*.

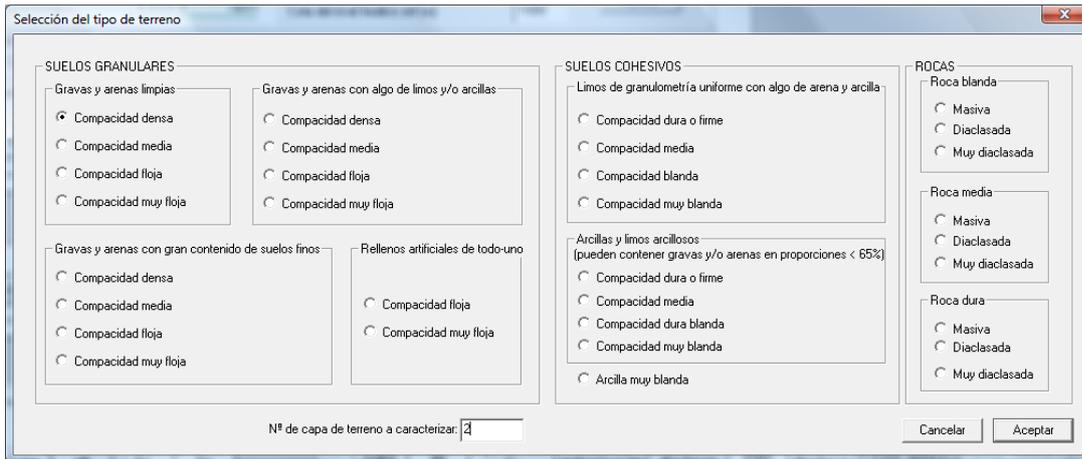


Figura 3.2-2: Selección del tipo de terreno

3.4.- Materiales

Al seleccionar la opción ‘Materiales’ del menú de ‘Entrada’ aparecerá el siguiente diálogo en pantalla.

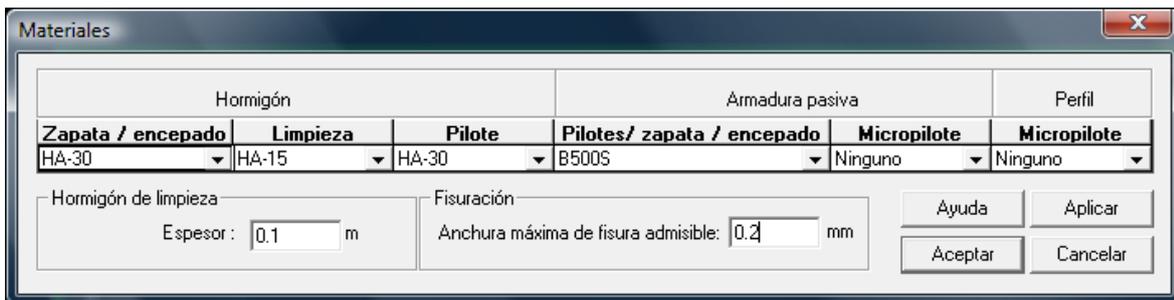


Figura 3.4-1: Diálogo Materiales

Este diálogo permite escoger los materiales para el hormigón de la zapata o encepado, el hormigón de los pilotes y la armadura pasiva de las armaduras de entre los materiales definidos en la biblioteca del programa. En la versión actual de *CivilCAD2000* no es posible definir micropilotes.

Los parámetros resistentes y deformacionales de los materiales de la biblioteca se pueden consultar, modificar, o eliminar a través de la opción ‘Ver/Configuración/Bibliotecas’ del menú principal del programa. Igualmente pueden eliminarse o añadirse nuevos materiales. Hay que recordar que el diálogo para operar con las bibliotecas obliga a cerrar todos los proyectos que están abiertos. El usuario puede modificar los parámetros que configuran las

leyes tensión-deformación de los materiales elegidos, seleccionando la biblioteca de “Materiales” y la opción ‘Modificar biblioteca’.

En el diálogo ‘Materiales’ el usuario debe definir también el *espesor del hormigón de limpieza* (en metros). Este valor se utiliza únicamente a efectos de dibujo de los planos de geometría de la cimentación.

Así mismo se debe introducir la *abertura máxima de fisura admisible* en milímetros. Este valor se utilizará para calcular la armadura necesaria para que la abertura de fisura se mantenga por debajo del valor definido.

3.5.- Acciones

Al seleccionar la opción ‘Acciones’ del menú de ‘Entrada’ aparecerá el siguiente diálogo en pantalla.

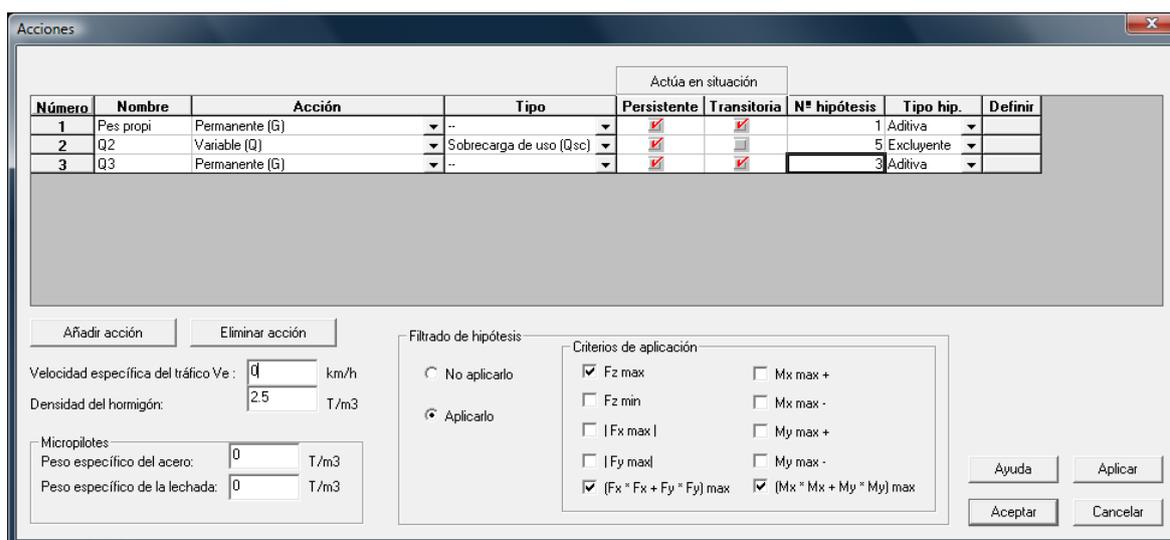


Figura 3.5-1: Diálogo Acciones

El diálogo *Acciones* permite definir las acciones que actúan sobre la cimentación. A partir de las acciones introducidas y de los coeficientes de seguridad y combinación, *CivilCAD2000* calcula automáticamente todas las hipótesis de cálculo correspondientes a todas las situaciones y combinaciones para los distintos estados límites considerados.

CivilCAD2000 permite introducir las acciones mediante el botón ‘Añadir acción’ o bien eliminar una acción mediante el botón ‘Eliminar acción’.

Una acción queda definida por:

Nombre: Se debe introducir el nombre que identificará la acción (caracteres alfanuméricos)

Acción: El usuario debe seleccionar la naturaleza de la acción de entre las categorías que define la normativa que se ha seleccionado con anterioridad (permanente, variable o accidental)

Tipo: Se debe seleccionar el tipo de acción, el cual depende de la naturaleza de la acción seleccionada en la casilla anterior.

En función de la normativa seleccionada, las acciones se agrupan y combinan de forma distinta.

Normativa seleccionada	Instrucción para la definición de acciones y coeficientes de combinación
Guía de cimentaciones / IAP	IAP
CTE DB-C	CTE DB-SE
CTE DB-C y CTE DB-SE para ELU estructurales	CTE DB-SE

Tabla 3.5-1: Instrucciones que definen el tipo de acciones

La *Acción* y *Tipo* de acción dependen pues de la normativa seleccionada. En las tablas 3.5-1 y 3.5-2 se detallan las categorías y tipo de acción para cada normativa.

Normativa : IAP / Guía de cimentaciones	
Acción	Tipo
Permanentes (G)	---
Permanentes de valor no constante (G*)	Pretensado (G _p [*])
	Reológica (G _r [*])
	Acción del terreno (G _t [*])
	Otras (G _o [*])
Variables (Q)	Sobrecargas superficiales de uso (Q _{sc})
	Frenado (Q _f)
	Fuerza centrífuga (Q _{fc})
	Viento con sobrecarga (Q _{vsc})
	Viento sin sobrecarga (Q _v)
	Temperatura (Q _t)
	Otras (Q _o)
Accidentales (A)	Sísmica (A _s)
	No sísmica (A _d)

Tabla 3.5-2: Tipos de acciones consideradas en la normativa IAP

Normativa : Código Técnico de la Edificación	
Acción	Tipo
Permanentes (G).	Peso propio (G_{PP})
	Empuje del terreno (G_{ET})
	Presión del agua (G_W)
	Pretensado (P)
Acciones Variables (Q)	Sobrecargas superficiales de uso (Q_{SC})
	Nieve (Q_N)
	Viento (Q_V)
	Temperatura (Q_T)
	Acciones variables del terreno (Q_{TER})
	Otras (Q_O)
Accidentales (A) (también llamadas Extraordinarias)	Sísmica (A_S)
	No sísmica (A_D)

Tabla 3.5-3: Tipos de acciones consideradas en el CTE

Así mismo el usuario debe definir para cada acción si ésta actúa en situación transitoria o persistente o en ambas situaciones. Para ello deberá seleccionar para cada acción las casillas correspondientes a la situación en que actúa la acción.

- Situación Persistente (incluye las situaciones accidentales)
- Situación Transitoria

CivilCAD2000 asocia la situación persistente a situaciones a largo plazo, y las situaciones transitorias a situaciones a corto plazo.

	Situación	Condiciones drenaje
Situación Persistente	Largo Plazo	Condiciones Drenadas
Situación Transitoria	Corto Plazo	Condiciones No Drenadas

Tabla 3.5-4: Definición de las situaciones a corto y largo plazo.

En las comprobaciones correspondientes a las situaciones accidentales se consideraran aquellas cargas definidas por el usuario como persistentes. En las situaciones accidentales se consideran comportamiento a largo plazo (condiciones drenadas).

Para cada acción se debe introducir el número de hipótesis de carga que conforman dicha acción definiendo si se trata de hipótesis excluyentes o aditivas:

Hipótesis aditivas: CivilCAD2000 considerará que las hipótesis introducidas son aditivas, por lo que se combinarán entre ellas de forma aditiva.

Hipótesis excluyentes: CivilCAD2000 considerará que cada hipótesis es independiente de las demás y por tanto no son aditivas; considera por tanto la acción de cada una de ellas de forma independiente.

Los esfuerzos correspondientes a las hipótesis de cada acción se introducen en el diálogo 'Hipótesis' al cual se accede al seleccionar el botón 'Definir' de cada una de las acciones.

Hipótesis

Al seleccionar el botón *Definir* de una determinada acción en el diálogo *Acciones* se accede al diálogo *Hipótesis* que permite introducir las acciones correspondientes a todas las hipótesis de la acción seleccionada.

Peso Propio			Permanente (G)			-
Hipótesis	F _x (T)	F _y (T)	F _z (T)	M _x (mT)	M _y (mT)	M _z (mT)
1	0,000	0,000	600,000	20,000	-30,000	0,000
2	0,000	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	-20,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	40,000	0,000
5	-100,000	0,000	0,000	30,000	0,000	0,000

Esquema Aceptar Cancelar

Figura 3.5-2: Diálogo Hipótesis

En función del tipo de cimentación, *CivilCAD2000* solicita los esfuerzos actuantes:

Zapata rectangular de un solo fuste

Se deben introducir las acciones actuantes en la base del fuste referidos al centro de gravedad de éste.

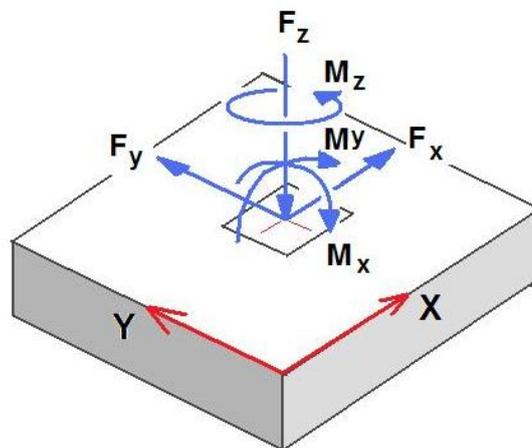


Figura 3.5-3: Esfuerzos actuantes en la zapata o encepado de un solo fuste

F_x = Fuerza actuante en el centro de gravedad (c.d.g.) del fuste en dirección 'x' en toneladas.

F_y = Fuerza actuante en el c.d.g del fuste en dirección 'y' en toneladas.

F_z = Fuerza vertical actuante en el c.d.g del fuste (positiva si comprime la zapata o encepado contra el terreno) en toneladas.

M_x = Momento de eje 'x' en mt.

M_y = Momento de eje 'y' en mt.

M_z = Momento de eje 'z' en mt.

Los esfuerzos positivos son los representados en la figura 3.5-2. El criterio de signos se muestra al seleccionar el botón 'Esquema'.

CivilCAD2000 considera el peso propio de la zapata y de las tierras situadas sobre ella de forma automática, por lo que no se deben introducir.

Finalmente se deberán introducir los siguientes parámetros:

Velocidad específica del tráfico (ve): Este parámetro se utiliza para obtener el coeficiente de ponderación en el caso de que se hayan definido fuerzas centrífugas debidas al tráfico (normativa IAP). Debe introducirse en Km/h.

Densidad del hormigón: Densidad del hormigón en t/m³.

Filtrado de hipótesis

Como ya se ha comentado anteriormente, *CivilCAD2000* realiza las comprobaciones de cada estado límite para cada una de las combinaciones de acciones, lo cual en el caso de un número importante de acciones e hipótesis conlleva un considerable coste en tiempo de cálculo. Por ejemplo en el caso del ELU estructural de rotura, *CivilCAD2000* calcula las armaduras en cada una de las secciones de cálculo de los pilotes para cada una de las combinaciones de acciones e hipótesis y a partir de ellas obtiene la armadura máxima. Por ello *CivilCAD2000* permite filtrar de entre todas las combinaciones de cálculo, una serie de combinaciones según determinados criterios.

Para ello el usuario debe seleccionar en el subdiálogo 'Filtrado de hipótesis' del diálogo *Acciones* la opción *Aplicarlo* y a continuación seleccionar las opciones que desea considerar en el filtrado de las hipótesis.

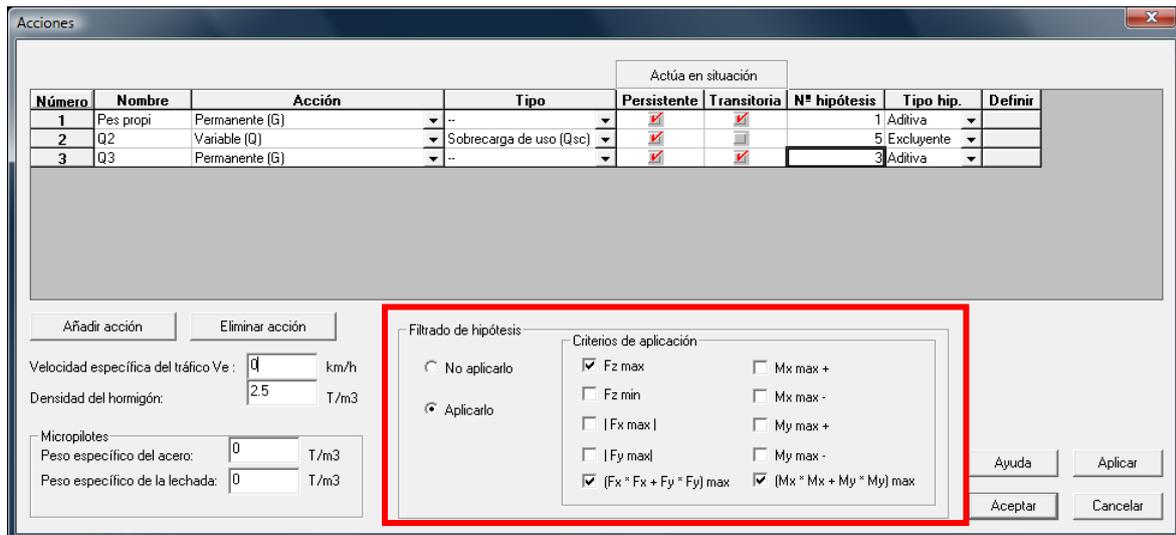


Figura 3.5-4: Subdiálogo ‘Filtrado de hipótesis’

En el caso de la cimentación rectangular con un solo fuste, el programa permite seleccionar aquellas combinaciones que producen esfuerzos extremos (máximos o mínimos) en la base del fuste de la pila. Concretamente permite seleccionar las siguientes combinaciones:

- La combinación que proporciona el axil máximo en el fuste ($F_{z, \text{máx}}$)
- La combinación que proporciona el axil mínimo en el fuste ($F_{z, \text{mín}}$)
- La combinación que proporciona el cortante F_x máximo (en valor absoluto) en el fuste ($|F_x| \text{ máx.}$)
- La combinación que proporciona el cortante F_y máximo (en valor absoluto) en el fuste ($|F_y| \text{ máx.}$)
- La combinación que proporciona el cortante Q máximo obtenido como:

$$Q = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

- La combinación que proporciona el flector M_x máximo en el fuste ($M_{x, \text{máx}}$)
- La combinación que proporciona el flector M_x mínimo en el fuste ($M_{x, \text{mín}}$)
- La combinación que proporciona el flector M_y máximo en el fuste ($M_{y, \text{máx}}$)
- La combinación que proporciona el flector M_y mínimo en el fuste ($M_{y, \text{mín}}$)
- La combinación que proporciona el flector M máximo obtenido como:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Esta opción permite encajar rápidamente la cimentación, para después realizar la comprobación final con todas las combinaciones.

3.6.- Seguridad

Al seleccionar la opción ‘Seguridad’ del menú de ‘Entrada’ aparecerá un diálogo en pantalla que permitirá introducir los coeficientes de seguridad. Este diálogo será distinto según la normativa que se haya seleccionado en la opción ‘Normativa’ del diálogo ‘Entada/ Zapata/Encepado’.

Seguridad

Coefficientes de seguridad para los Estados Límite Geotécnicos

Acción	ESTADO LIMITE SERVICIO Situación persistente y transitoria		ESTADO LIMITE ULTIMO			
	Efecto favorable	Efecto desfavor.	Situación persistente y transitoria		Situación accidental	
			Efecto favorable	Efecto desfavor.	Efecto favorable	Efecto desfavor.
Permanentes (G y G*)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Variables (Q)	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Accidentales (A)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000

Coefficientes de seguridad para los Estados Límite Estructurales

Acción	ESTADO LIMITE SERVICIO Situación persistente y transitoria		ESTADO LIMITE ULTIMO			
	Efecto favorable	Efecto desfavor.	Situación persistente y transitoria		Situación accidental	
			Efecto favorable	Efecto desfavor.	Efecto favorable	Efecto desfavor.
Permanentes (G)	1,000	1,000	1,000	1,350	1,000	1,000
Pretensado (G*p)	0,900	1,100	1,000	1,000	1,000	1,000
Reológica (G*r)	1,000	1,000	1,000	1,350	1,000	1,000
Acc. Terreno (G*t)	1,000	1,000	1,000	1,500	1,000	1,000
Otras (G*o)	1,000	1,000	0,950	1,050	1,000	1,000
Variables (Q)	0,000	1,000	0,000	1,500	0,000	1,000
Accidentales (A)	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000

Perm. Valor no constante (G*)

Coefficientes de combinación

ψ_0	ψ_1	ψ_2
0,600	0,500	0,200

Recuperar valores Guía / IAP

Ayuda Aplicar Aceptar Cancelar

Figura 3.6-1: Diálogo ‘Seguridad’ en el caso de que se haya seleccionado la normativa ‘Guía de cimentaciones / IAP’

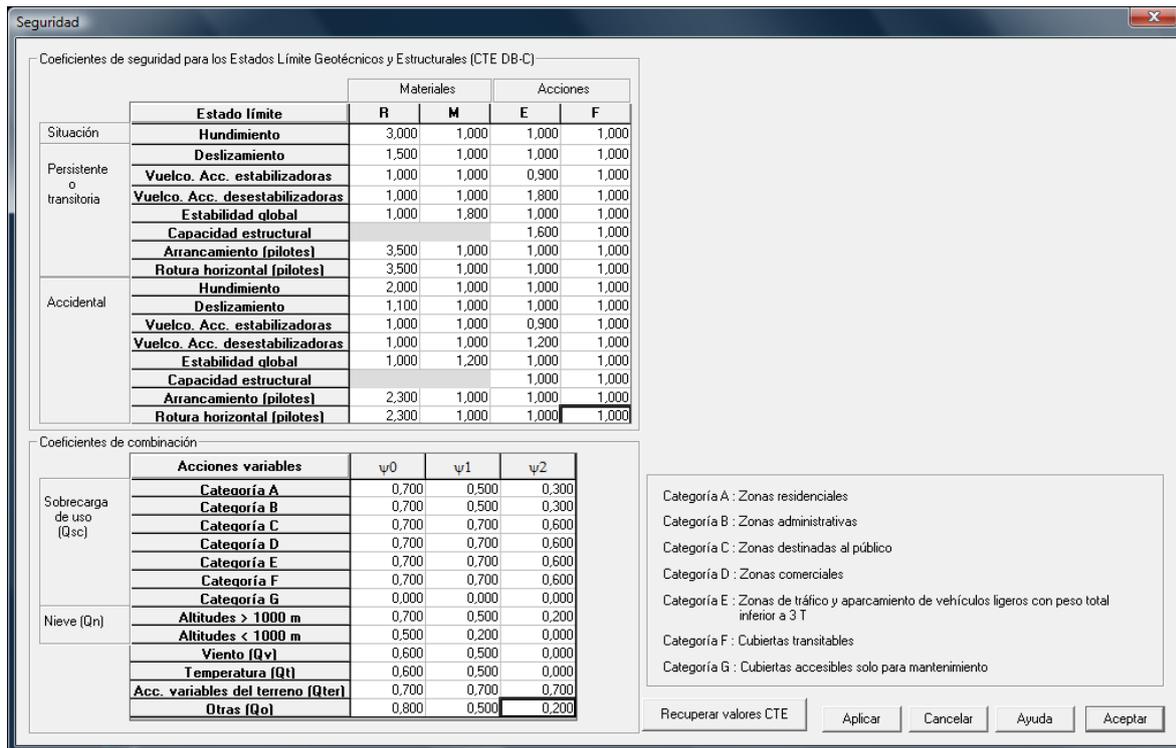


Figura 3.6-2: Diálogo ‘Seguridad’ en el caso de que se haya seleccionado la normativa ‘CTE DB-C’

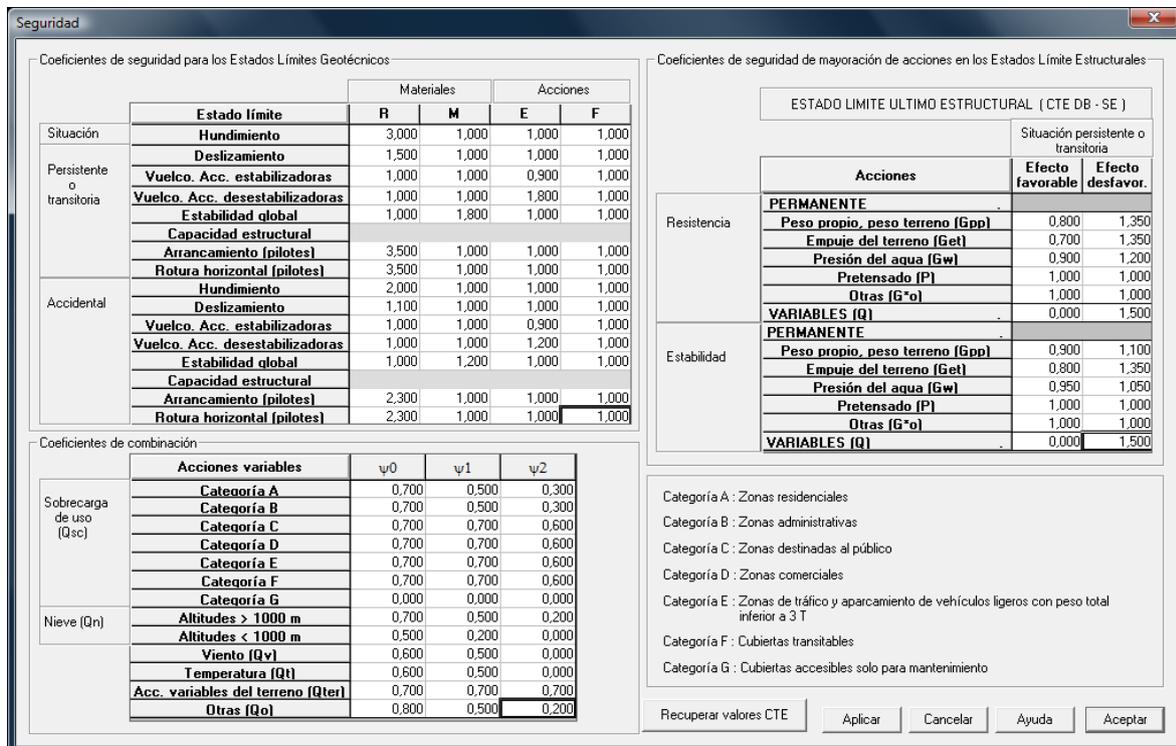


Figura 3.6-3: Diálogo ‘Seguridad’ en el caso de que se haya seleccionado la normativa ‘CTE DB-C junto con el CTE DB-SE para la mayoración de acciones en los estados límite estructurales’

3.6.1.- Coeficientes de seguridad de la Guía de Cimentaciones/ IAP

En el caso de la normativa Guía de cimentaciones/IAP, los coeficientes de seguridad y combinación a introducir son los siguientes:

Coeficientes de seguridad para los estados límite geotécnicos

El usuario debe introducir los coeficientes de seguridad de las acciones (para los efectos favorables y los desfavorables) con los que se mayorarán las acciones para obtener las combinaciones de cálculo para cada situación de proyecto para los estados límite de servicio y los estados límites últimos geotécnicos. De acuerdo con la Guía de cimentaciones, estos valores deben ser valores unitarios, aunque *CivilCAD2000* ofrece al usuario la posibilidad de modificarlos.

Coeficientes de seguridad para los estados límite estructurales

El usuario debe introducir los coeficientes de seguridad de las acciones (para los efectos favorables y los desfavorables) con los que se mayorarán las acciones para obtener las combinaciones de cálculo para cada situación de proyecto para los estados límite de servicio y últimos estructurales. Estos coeficientes de seguridad se corresponden con los definidos en la IAP.

Coeficientes de combinación

El usuario debe introducir los coeficientes de combinación. Estos coeficientes multiplicarán a las acciones variables para obtener los valores representativos de las acciones para cada una de las combinaciones de acuerdo con la IAP.

Si se aprieta el botón 'Recuperar valores Guía/IAP', *CivilCAD2000* recupera los valores de todos los coeficientes de seguridad según los valores definidos en la Guía de cimentaciones y la IAP.

3.6.2.- Coeficientes de seguridad del Código Técnico de la Edificación DB-C

En el caso de que la normativa seleccionada sea el CTE DB-Cimientos, los coeficientes de seguridad y combinación a introducir son los siguientes:

Coeficientes de seguridad para los estados límites geotécnicos y estructurales

El usuario debe introducir para cada situación de proyecto y para cada estado límite cuatro coeficientes de seguridad (coeficientes M, R, E y F) que se corresponden con los definidos en la Tabla 2.1 del CTE DB-C:

M: Coeficiente de seguridad para las propiedades de los materiales. Este coeficiente minora las características de los materiales.

R: Coeficiente de seguridad para la resistencia. Este coeficiente minora las resistencias de los materiales.

E: Coeficiente de seguridad para el efecto de las acciones. Este coeficiente mayorará el efecto del conjunto de las acciones.

F: Coeficiente de seguridad para las acciones. Este coeficiente mayorará cada una de las acciones desfavorables para el estado límite correspondiente.

Con estos coeficientes se obtienen los efectos de las acciones (E_d) y los esfuerzos resistentes (R_d). En el Manual Técnico se exponen detalladamente las expresiones para obtener ambos valores.

Coeficientes de combinación

El usuario debe introducir los coeficientes de combinación. Estos coeficientes multiplicarán a las acciones variables para obtener los valores representativos de las acciones para cada una de las combinaciones. Estos coeficientes se corresponden con los definidos en la Tabla 4.2 ‘*Coeficientes de simultaneidad*’ del CTE DB-SE.

3.6.3.- Coeficientes de seguridad del Código Técnico de la Edificación DB-C y del CTE DB-SE para mayoración de las acciones en los estados límite estructurales

En el caso de haberse seleccionado la normativa CTE DB-C y la CTE DB-SE para la mayoración de las acciones en los estados límite estructurales, *CivilCAD2000* adoptará los coeficientes de seguridad definidos en el CTE DB-C (ver Tabla 2.1 de este DB) para los estados límite no estructurales y los coeficientes de seguridad de acciones definidos en el CTE-DB-SE (ver Tabla 4.1 de éste DB) para los estados límite estructurales.

Así pues, en el caso de que la normativa seleccionada sea el CTE DB-Cimientos y el CTE DBSE para los estados límite estructurales, los coeficientes de seguridad y combinación a introducir son los siguientes:

Coeficientes de seguridad para los estados límite geotécnicos

El usuario debe introducir para cada situación de proyecto y para cada estado límite geotécnico cuatro coeficientes de seguridad (coeficientes M, R, E y F) que se corresponden con los definidos en la Tabla 2.1 del CTE DB-C.

M: Coeficiente de seguridad para las propiedades de los materiales. Este coeficiente minorará las características de los materiales.

R: Coeficiente de seguridad para la resistencia. Este coeficiente minorará las resistencias de los materiales.

E: Coeficiente de seguridad para el efecto de las acciones. Este coeficiente mayorará el efecto del conjunto de las acciones.

F: Coeficiente de seguridad para las acciones. Este coeficiente mayorará cada una de las acciones desfavorables para el estado límite correspondiente.

Con estos coeficientes se obtienen los efectos de las acciones (E_d) y los esfuerzos resistentes (R_d). En el Manual Técnico se exponen detalladamente las expresiones para obtener ambos valores.

Coefficientes de seguridad de las acciones para los estados límite estructurales

El usuario debe introducir los coeficientes de seguridad de las acciones (para los efectos favorables y los desfavorables) con los que se mayorarán las acciones para obtener las combinaciones de cálculo para cada situación de proyecto para los estados límite de servicio y últimos estructurales. Estos coeficientes se corresponden con los definidos en la Tabla 4.1 del CTE DB-SE.

Coefficientes de combinación

El usuario debe introducir los coeficientes de combinación. Estos coeficientes multiplicarán a las acciones variables para obtener los valores representativos de las acciones para cada una de las combinaciones. Estos valores se corresponden con los definidos en la Tabla 4.2 del CTE DB-SE ‘Coeficientes de simultaneidad’.

3.7.- Coeficientes de verificación

La verificación o cumplimiento de los estados límite se realiza mediante los coeficientes de verificación (también llamados factores de seguridad).

El usuario debe introducir los coeficientes de verificación para cada estado límite y para cada situación o combinación de cálculo. Estos coeficientes dependen de la normativa seleccionada.

La verificación o cumplimiento de los estados límite geotécnicos en la Guía de cimentaciones y en el Código Técnico presentan ciertas diferencias en su planteamiento, aun manteniendo la misma filosofía de fondo. La verificación de los estados límite estructurales de la EHE también presenta ciertas diferencias con respecto a éstos. En el Manual Técnico del módulo de cimentaciones se exponen detalladamente las expresiones de verificación de los estados límite y la definición de los factores de seguridad.

3.7.1.- Coeficientes de verificación en la Guía de cimentaciones / IAP

Al seleccionar la opción ‘*Coeficientes de verificación*’ del menú de ‘*Entrada*’ aparecerán los diálogos de la figura 3.7.1-1 o 3.7.1-2 en función de si la cimentación es superficial o profunda:

Coeficientes de verificación

E.L.	Modo de fallo	Situación de proyecto	Combinación de acciones	Coeficiente
E.L.U.	Hundimiento	Persistente	Casi permanente	3,000
			Característica	2,600
		Transitoria	Casi permanente	2,600
			Característica	2,600
		Accidental	Accidental sin sismo	2,200
			Accidental con sismo	2,200
	Deslizamiento	Persistente	Casi permanente	1,500
			Característica	1,300
		Transitoria	Casi permanente	1,300
			Característica	1,300
		Accidental	Accidental sin sismo	1,100
			Accidental con sismo	1,100
	Vuelco rígido	Persistente	Casi permanente	2,000
			Característica	1,800
		Transitoria	Casi permanente	1,800
			Característica	1,800
		Accidental	Accidental sin sismo	1,500
			Accidental con sismo	1,500
Vuelco plástico	Persistente	Casi permanente	2,000	
		Característica	1,800	
	Transitoria	Casi permanente	1,800	
		Característica	1,800	
	Accidental	Accidental sin sismo	1,500	
		Accidental con sismo	1,500	
Fallo estructural	Persistente	Persistente o transitoria	1,000	
		Persistente o transitoria	1,000	
	Transitoria	Accidental sin sismo	1,000	
		Accidental con sismo	1,000	
	Accidental	Accidental sin sismo	1,000	
		Accidental con sismo	1,000	
E.L.S.	Asientos	Persistente	Casi permanente	1,000
			Característica	1,000
		Transitoria	Casi permanente	1,000
			Característica	1,000
	Fisuración	Persistente y transitoria	Característica	1,000
			Frecuente	1,000
Casi permanente	1,000			

Asiento máximo admisible: mm

Recuperar valores por defecto

Ayuda Aplicar Aceptar Cancelar

Figura 3.7.1-1: Diálogo de Coeficientes de verificación para cimentaciones superficiales para la Guía de cimentaciones / IAP

Coeficientes de verificación

E.L.	Modo de fallo	Situación de proyecto	Combinación de acciones	Coeficiente
E.L.U.	Hundimiento	Persistente	Casi permanente	3,000
			Característica	2,600
		Transitoria	Casi permanente	3,000
			Característica	2,600
		Accidental	Accidental sin sismo	2,200
			Accidental con sismo	2,200
	Arranque	Persistente	Casi permanente	3,000
			Característica	2,600
		Transitoria	Casi permanente	3,000
			Característica	2,600
		Accidental	Accidental sin sismo	2,200
			Accidental con sismo	2,200
	Rotura por esfuerzos horizontales	Persistente	Casi permanente	3,000
			Característica	2,600
		Transitoria	Casi permanente	2,600
			Característica	2,600
Accidental		Accidental sin sismo	2,200	
		Accidental con sismo	2,200	
Pandeo	Persistente	Casi permanente	3,000	
		Característica	2,600	
	Transitoria	Casi permanente	2,600	
		Característica	2,600	
	Accidental	Accidental sin sismo	2,200	
		Accidental con sismo	2,200	
Fallo estructural	Persistente	Persistente o transitoria	1,000	
		Transitoria	1,000	
	Transitoria	Persistente o transitoria	1,000	
		Transitoria	1,000	
	Accidental	Accidental sin sismo	1,000	
		Accidental con sismo	1,000	
E.L.S.	Asientos	Persistente	Casi permanente	1,000
			Característica	1,000
		Transitoria	Casi permanente	1,000
	Característica		1,000	
	Fisuración	Persistente y transitoria	Característica	1,000
			Frecuente	1,000
Casi permanente			1,000	

Asiento máximo admisible: mm

Recuperar valores por defecto

Ayuda Aplicar Aceptar Cancelar

Figura 3.7.1-2: Diálogo de Coeficientes de verificación para cimentaciones profundas para la Guía de cimentaciones / IAP

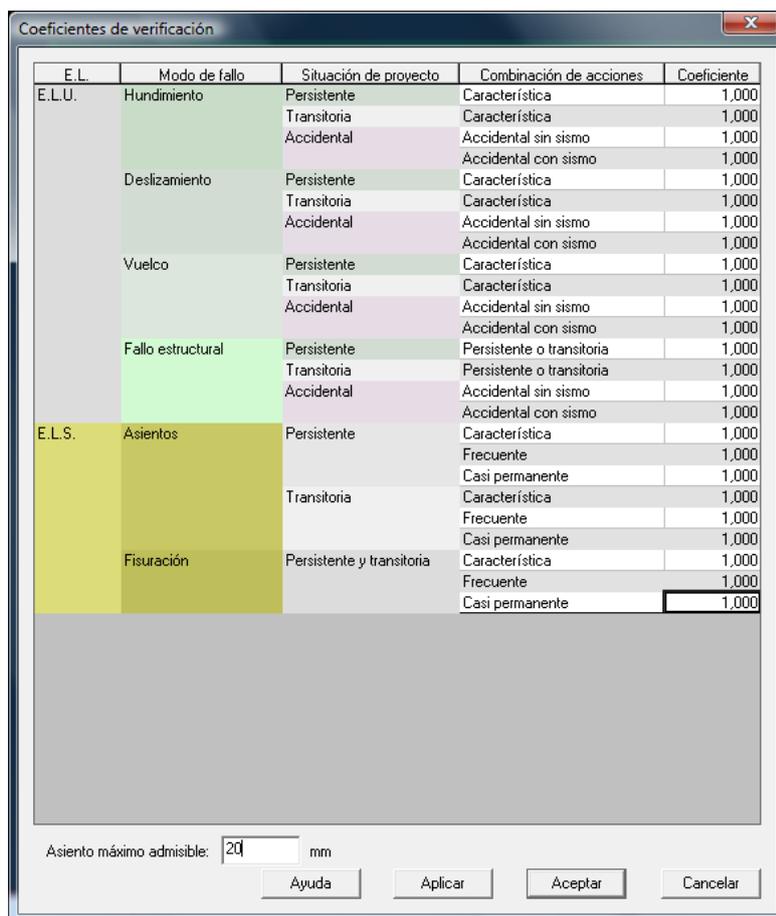
La comprobación del estado límite de carácter geotécnico se realiza mediante la obtención de un coeficiente de seguridad que debe ser superior a un valor preestablecido que es diferente en función del mecanismo de fallo que se considere, de la situación de proyecto y de la combinación de acciones considerada. Este coeficiente de seguridad admisible es el que debe introducir el usuario en el diálogo.

El usuario puede recuperar los valores por defecto de la Guía de cimentaciones con la opción ‘Recuperar valores por defecto’.

CivilCAD2000 no permite modificar los coeficientes de verificación asociados a los estados límites estructurales (rotura y fisuración), a los cuales asocia el valor unidad, de acuerdo con el planteamiento de la EHE.

3.7.2.- Coeficientes de verificación en el Código Técnico de la Edificación

Al seleccionar la opción *Coeficientes de verificación* del menú de *Entrada* aparecerán los diálogos de la figura 3.7.2-1 o 3.7.2-2 en función de si la cimentación es superficial o profunda:



E.L.	Modo de fallo	Situación de proyecto	Combinación de acciones	Coeficiente	
E.L.U.	Hundimiento	Persistente	Característica	1,000	
		Transitoria	Característica	1,000	
		Accidental	Accidental sin sismo	1,000	
	Deslizamiento	Persistente	Característica	1,000	
			Accidental con sismo	1,000	
		Transitoria	Característica	1,000	
			Accidental con sismo	1,000	
	Vuelco	Persistente	Característica	1,000	
		Transitoria	Característica	1,000	
		Accidental	Accidental sin sismo	1,000	
	E.L.S.	Asientos	Persistente	Accidental con sismo	1,000
				Persistente o transitoria	1,000
Transitoria			Persistente o transitoria	1,000	
Fisuración		Persistente	Accidental sin sismo	1,000	
			Accidental con sismo	1,000	
		Transitoria	Característica	1,000	

Asiento máximo admisible: mm

Ayuda Aplicar Aceptar Cancelar

Figura 3.7.2-1: Diálogo de Coeficientes de verificación para cimentaciones superficiales para el CTE

E.L.	Modo de fallo	Situación de proyecto	Combinación de acciones	Coeficiente
E.L.U.	Hundimiento	Persistente	Característica	1,000
		Transitoria	Característica	1,000
		Accidental	Accidental sin sismo	1,000
	Arranque	Persistente	Característica	1,000
			Accidental con sismo	1,000
		Transitoria	Característica	1,000
			Accidental con sismo	1,000
	Rotura por esfuerzos horizontales	Persistente	Característica	1,000
		Transitoria	Característica	1,000
		Accidental	Accidental sin sismo	1,000
	Pandeo	Persistente	Característica	1,000
		Transitoria	Característica	1,000
Accidental		Accidental sin sismo	1,000	
Fallo estructural	Persistente	Persistente o transitoria	1,000	
		Accidental con sismo	1,000	
	Transitoria	Persistente o transitoria	1,000	
		Accidental con sismo	1,000	
E.L.S.	Asientos	Persistente	Característica	1,000
		Frecuente	1,000	
		Casi permanente	1,000	
	Fisuración	Persistente y transitoria	Característica	1,000
			Frecuente	1,000
			Casi permanente	1,000

Asiento máximo admisible: mm

Ayuda Aplicar Aceptar Cancelar

Figura 3.7.2-2: Diálogo de Coeficientes de verificación para cimentaciones profundas para el CTE

El Código Técnico de la Edificación plantea la verificación de los estados límites por comparación entre el efecto de las acciones y los esfuerzos resistentes. Los efectos de las acciones están mayoradas y los resistentes minorados. Por tanto equivale a considerar un Factor de seguridad unidad.

CivilCAD2000 muestra los FS considerados sin permitir modificarlos.

3.8.- Armaduras zapata / Armaduras encepado

Al seleccionar la opción ‘Armaduras zapata’ (o ‘Armaduras encepado’ en el caso de cimentación profunda) del menú de ‘Entrada’ aparecerá el siguiente diálogo:

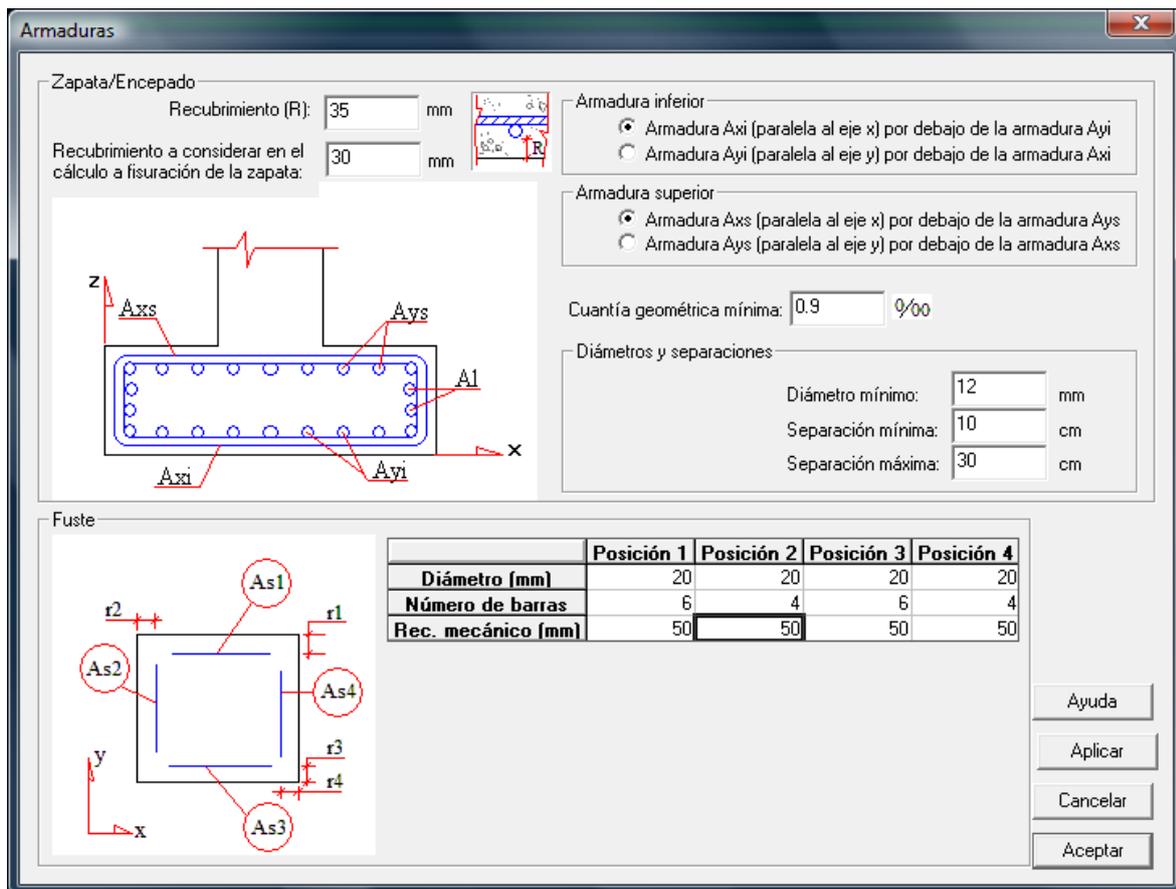


Figura 3.8-1: Diálogo ‘Armadura zapata’ y ‘Armadura encepado’

En este diálogo el usuario define la configuración de la armadura pasiva de la zapata o encepado.

Recubrimientos

En primer lugar debe definir el recubrimiento geométrico de la armadura (Recubrimiento R) que debe introducirse en milímetros.

Además debe introducir el recubrimiento en milímetros que se utilizará únicamente para el cálculo de la fisuración (recubrimiento ‘c’ definido en el artículo 49.2.4 de la EHE-08). La instrucción EHE permite adoptar a efectos de cálculo de la fisuración el recubrimiento derivado de la agresividad del ambiente aunque éste sea inferior al valor mínimo requerido para cimentaciones hormigonadas contra el terreno (70 mm).

Armaduras

El usuario debe definir la posición relativa de las armaduras longitudinales y transversales de la zapata o encepado, el diámetro mínimo, la cuantía geométrica mínima y las separaciones máximas y mínimas.

Armadura inferior: El usuario debe definir mediante la selección de una de las dos opciones posibles si la armadura inferior en dirección ‘X’ está por encima o por debajo de la armadura en la dirección ‘Y’.

Armadura superior: El usuario debe definir mediante la selección de una de las dos opciones posibles si la armadura superior en dirección ‘X’ está por encima o por debajo de la armadura en la dirección ‘Y’.

Cuantía geométrica mínima: El usuario debe definir la cuantía geométrica mínima en tanto por mil de cada una de las armaduras. La cuantía geométrica se define como el cociente entre la sección de armadura y la sección de zapata o encepado.

Diámetros y separaciones: El usuario debe introducir el diámetro mínimo de las armaduras a considerar en la zapata o encepado en milímetros, así como la separación (en centímetros) mínima y máxima entre dos barras.

Fuste

Finalmente, en el subdiálogo *Fuste* el usuario debe definir las armaduras del fuste del pilar. Esta información solo es estrictamente necesaria en el caso de que la zapata sea rígida, ya que en este caso se utiliza el método de las bielas y tirantes.

En este caso se debe definir el número de barras, el diámetro de las barras (en milímetros) y el recubrimiento mecánico (distancia del centro de gravedad de la barra al paramento de la pila).

3.9.- Armaduras pilotes

Al seleccionar la opción ‘*Armaduras pilotes*’ del menú de ‘Entrada’ aparecerá el siguiente diálogo:

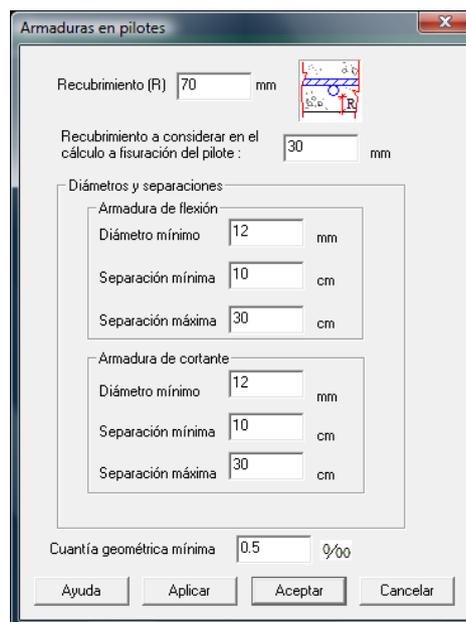


Figura 3.9-1: Diálogo ‘Armaduras pilotes’

En este diálogo, el usuario debe definir las características de la armadura del pilote en cuanto a recubrimientos, diámetros y separaciones y cuantías mínimas.

Recubrimiento (R): Recubrimiento geométrico de la armadura de los pilotes, es decir, la distancia entre la generatriz exterior de las barras de los cercos del pilote a la superficie del mismo. Debe introducirse en milímetros.

Recubrimiento a considerar en el cálculo a fisuración de los pilotes: Este recubrimiento es el que se utilizará únicamente a efectos de cálculo de la abertura de fisura, ya que de acuerdo con la EHE-08, éste puede ser distinto al recubrimiento físico geométrico.

A continuación deben introducirse para la armadura de flexión y para la armadura de cortante (cercos) el diámetro mínimo a considerar (en milímetros) así como las separaciones mínimas y máximas entre las barras en centímetros.

Finalmente debe introducirse la cuantía geométrica mínima de la armadura de flexión en tanto por mil.

4.- CONFIGURACIÓN DEL CÁLCULO

Al seleccionar la opción '*Configuración del cálculo*' se desplegará el diálogo con tres opciones.

- *Discretización*
- *Cimentaciones superficiales o profundas*
- *Guardar emparrillado*

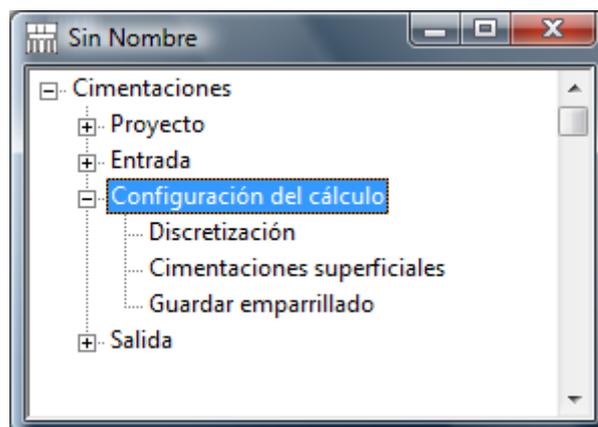


Figura 4-1: Diálogo de Configuración del cálculo para cimentaciones superficiales

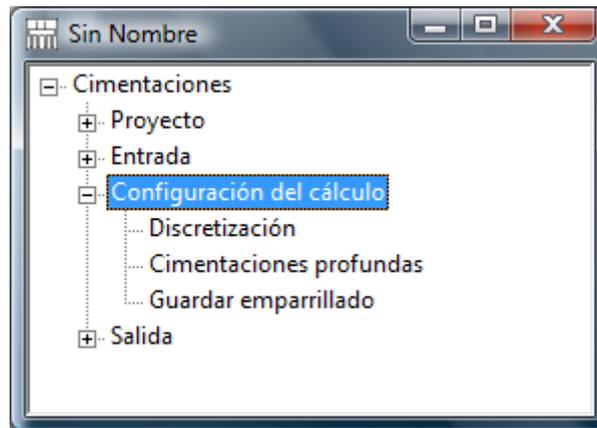


Figura 4-2: Diálogo de Configuración del cálculo para cimentaciones superficiales

4.1.- Discretización

Esta opción permite configurar los parámetros de discretización del modelo de barras de la cimentación que se utilizará para la obtención de los esfuerzos en la comprobación de los estados límite que así lo requieran. Permite en definitiva definir por parte del usuario la densidad de las barras y nodos con las que se discretiza la cimentación.

Para cimentaciones superficiales, la zapata se modeliza mediante un emparrillado plano sobre muelles.

En cimentaciones profundas se modeliza la estructura mediante un modelo de barras 3D discretizando el encepado mediante un conjunto de barras ortogonales en el plano medio del mismo, y los pilotes mediante barras verticales situadas en el eje del pilote. La interacción entre el terreno y los pilotes se modeliza mediante muelles horizontales a lo largo del pilote y mediante un muelle vertical en la punta del mismo.

4.1.1.- Discretización de cimentaciones superficiales

En el caso de que la cimentación sea superficial aparecerá en pantalla el siguiente diálogo:

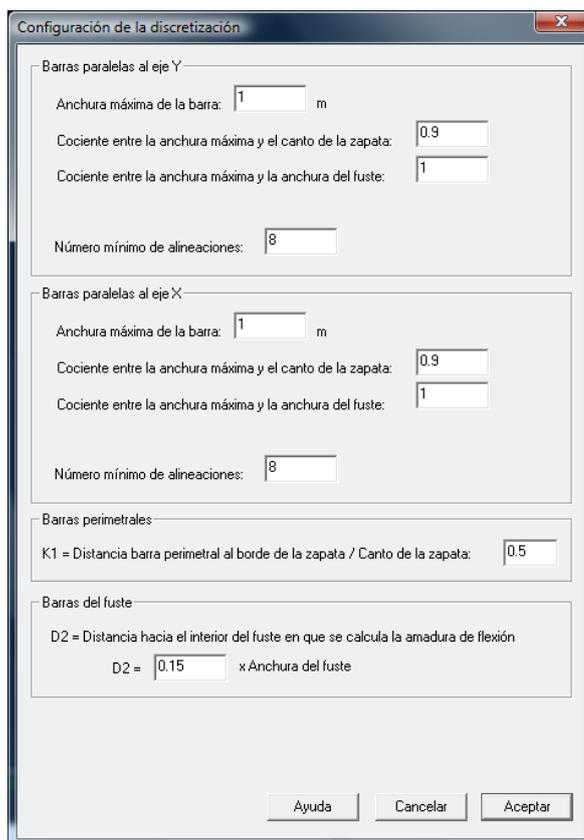


Figura 4.1.1.-1: Diálogo de configuración de la discretización para cimentaciones superficiales

En este diálogo se permite definir distintos criterios para fijar las distancias máximas y mínimas entre las barras en dirección Y y en dirección X de la zapata (subdiálogos *Barras paralelas a la dirección Y* y *Barras paralelas a la dirección X* respectivamente). Concretamente se puede fijar la anchura máxima ya sea fijando directamente un valor (entrado en metros), o bien relacionando la anchura máxima en relación al canto de la zapata y al ancho del fuste. También se permite fijar el número mínimo de alineaciones de barras a disponer.

Así mismo, en el subdiálogo *Barras perimetrales* se permite fijar la distancia a la que se colocarán las barras perimetrales respecto al borde de la zapata. Este valor se introduce como relación entre esta distancia y el canto de la zapata.

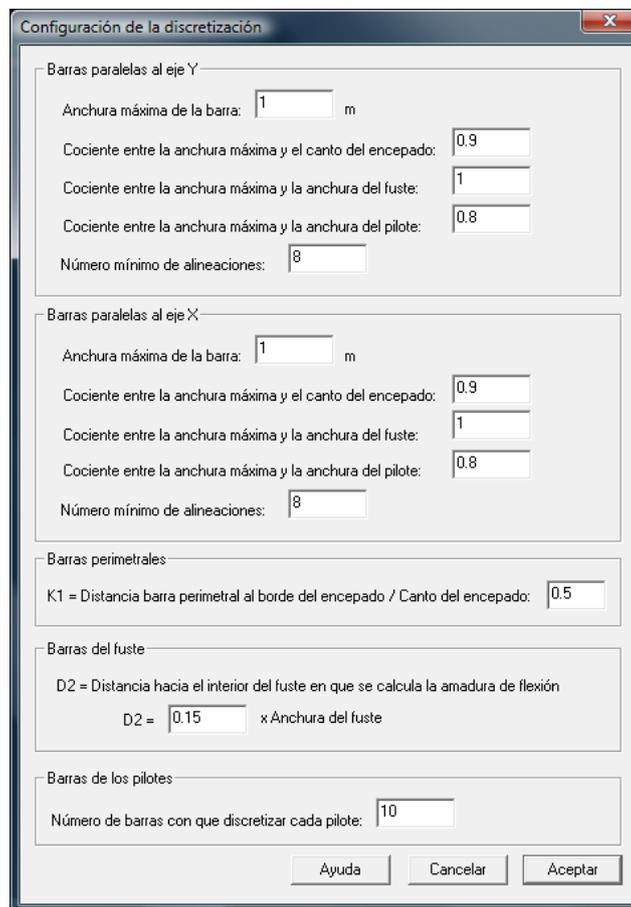
Finalmente en el subdiálogo *Barras del fuste* se permite fijar en que sección se calculará la armadura de flexión en relación a la anchura del fuste (medida hacia el interior del fuste). El valor a introducir por tanto es el cociente entre dicha distancia y el canto del fuste en la dirección considerada.

Dado que CivilCAD2000 proporciona los resultados de esfuerzos y de armadura en cada uno de los nodos de la estructura, cuanto mayor sea la discretización mayor serán el tiempo de cálculo que se requerirá para la obtención de los resultados. Se aconseja realizar los tanteos de encaje de la solución con una discretización poco densa y en su caso aumentarla para la obtención final de resultados.

La modelización de la zapata mediante un emparrillado plano sobre muelles se utiliza únicamente en el caso de considerar la zapata como flexible o bien en el caso de calcular los asientos mediante el método del coeficiente de balasto.

4.1.2.- Discretización de cimentaciones profundas

En el caso de que la cimentación sea profunda aparecerá en pantalla el siguiente diálogo:



Configuración de la discretización

Barras paralelas al eje Y

Anchura máxima de la barra: 1 m

Cociente entre la anchura máxima y el canto del encepado: 0.9

Cociente entre la anchura máxima y la anchura del fuste: 1

Cociente entre la anchura máxima y la anchura del pilote: 0.8

Número mínimo de alineaciones: 8

Barras paralelas al eje X

Anchura máxima de la barra: 1 m

Cociente entre la anchura máxima y el canto del encepado: 0.9

Cociente entre la anchura máxima y la anchura del fuste: 1

Cociente entre la anchura máxima y la anchura del pilote: 0.8

Número mínimo de alineaciones: 8

Barras perimetrales

K1 = Distancia barra perimetral al borde del encepado / Canto del encepado: 0.5

Barras del fuste

D2 = Distancia hacia el interior del fuste en que se calcula la amadura de flexión

D2 = 0.15 x Anchura del fuste

Barras de los pilotes

Número de barras con que discretizar cada pilote: 10

Ayuda Cancelar Aceptar

Figura 4.1.2.-1: Diálogo de configuración de la discretización para cimentaciones profundas

En este diálogo se permite definir distintos criterios para fijar las distancias máximas y mínimas entre las barras en dirección Y y en dirección X del encepado (subdiálogos *Barras paralelas a la dirección Y* y *Barras paralelas a la dirección X* respectivamente). Concretamente se puede fijar la anchura máxima ya sea fijando directamente un valor (entrado en metros), o bien relacionando la anchura máxima en relación al canto del encepado, a la anchura del fuste y a la anchura/diámetro del pilote. También se permite fijar el número mínimo de alineaciones de barras a disponer.

Así mismo, en el subdiálogo *Barras perimetrales* se permite fijar la distancia a la que se colocaran las barras perimetrales respecto al borde del encepado. Este valor se introduce como relación entre esta distancia y el canto del encepado.

A continuación en el subdiálogo *Barras del fuste* se permite fijar en que sección se calculará la armadura de flexión en relación a la anchura del fuste (medida hacia el interior del fuste). El valor a introducir por tanto es el cociente entre dicha distancia y el canto del fuste en la dirección considerada.

Finalmente, en el subdiálogo *Barras de los pilotes* el usuario puede fijar el número de barras (todas de igual longitud) en las que se discretizará cada uno de los pilotes.

Dado que *CivilCAD2000* proporciona los resultados de esfuerzos y de armadura en cada uno de los nodos de la estructura, cuanto mayor sea la discretización mayor serán el tiempo de cálculo que se requerirá para la obtención de los resultados. Se aconseja realizar los tanteos de encaje de la solución con una discretización poco densa y en su caso aumentarla para la obtención final de resultados.

4.2.- Cimentaciones superficiales

Al seleccionar la opción '*Cimentaciones superficiales*' aparece en pantalla el siguiente diálogo:

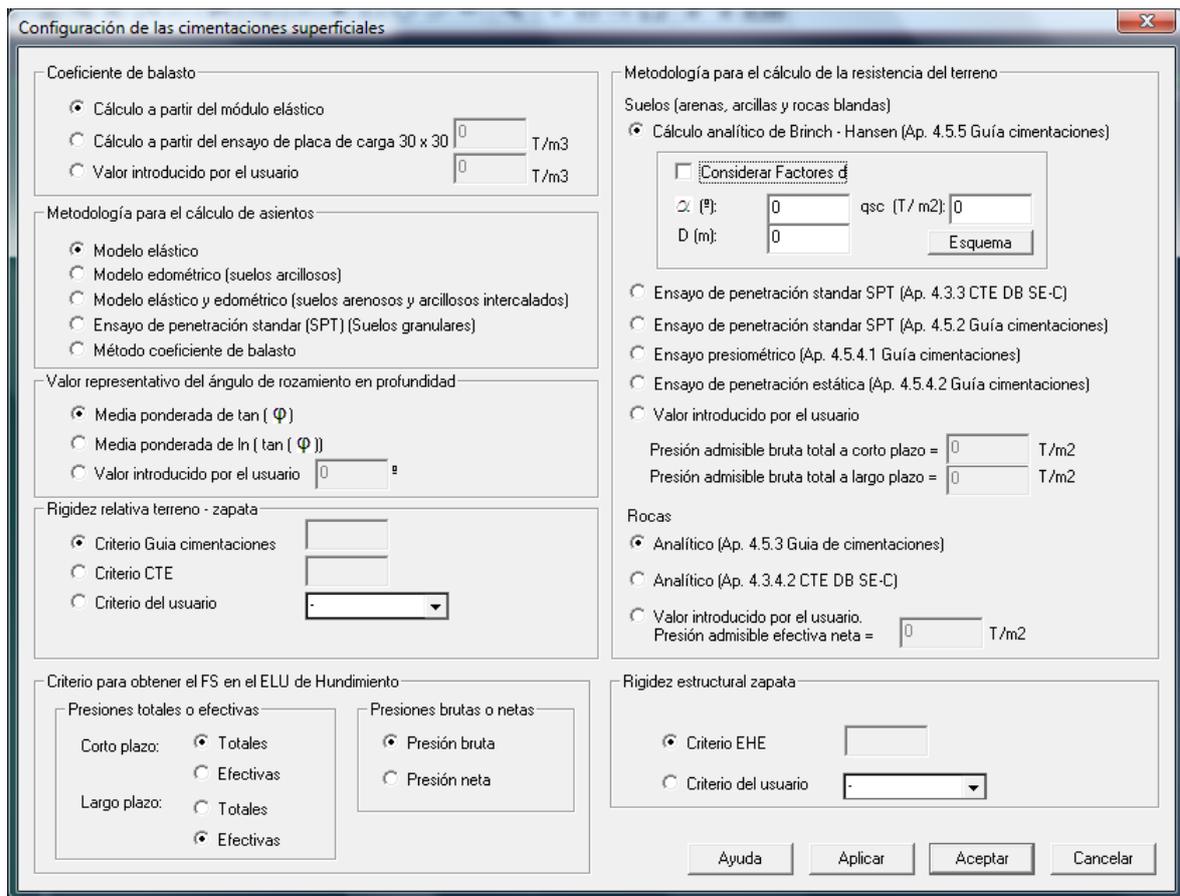


Figura 4.2-1: Diálogo ‘Cimentaciones superficiales’

En este diálogo el usuario puede configurar las opciones de cálculo. En concreto puede definir:

- El método de cálculo para obtener el coeficiente de balasto
- El método de cálculo para la obtención de los asentos
- El método de cálculo para obtener el ángulo de rozamiento representativo del terreno
- El criterio para definir la rigidez relativa terreno-zapata
- El criterio para obtener los factores de seguridad para el estado límite último de hundimiento
- El método de cálculo para obtener la capacidad portante del terreno
- El criterio para determinar la rigidez de la zapata a efectos estructurales

4.2.1.- Coeficiente de balasto

Para el cálculo de asentos y para el cálculo de cimentaciones flexibles, *CivilCAD2000* modeliza la cimentación mediante un emparrillado sobre apoyos elásticos, cuya constante de elasticidad corresponde al coeficiente de balasto. El usuario debe definir en el subdiálogo ‘*Coeficiente de balasto*’ el método de cálculo para su obtención.

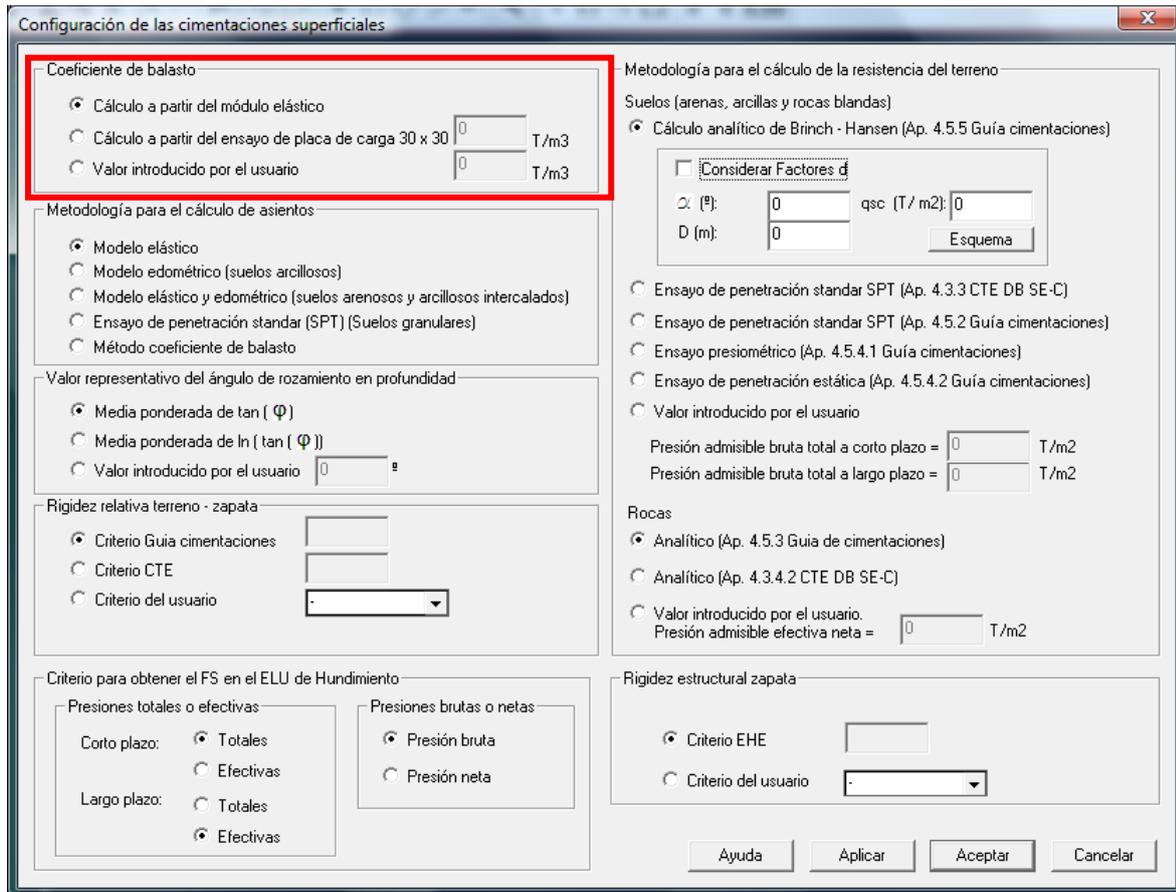


Figura 4.2.1-1: Selección del método de cálculo para obtener el coeficiente de balasto

CivilCAD2000 ofrece tres posibilidades para el cálculo de dicho coeficiente de balasto:

- **Cálculo a partir del módulo elástico:** CivilCAD2000 calculará el coeficiente de balasto a partir del módulo elástico y el coeficiente de Poisson del terreno y de la geometría de la zapata, aplicando las expresiones de la elasticidad (para mayor detalle consultar el Manual Técnico).
- **Cálculo a partir del ensayo de placa de carga:** CivilCAD2000 calculará el coeficiente de balasto a partir del valor del ensayo de placa de carga de 30x30 cm, de la naturaleza del terreno (arcillosa, arenosa o roca) y de la geometría de la zapata. El valor del ensayo de placa de carga se debe introducir en t/m^3 . Las expresiones utilizadas son las definidas en el CTE DB-C. Para mayor detalle consultar el Manual Técnico. Esta metodología es aplicable en el caso de que el bulbo de presiones de la cimentación afecte una única capa en la cual se ha obtenido el ensayo de placa de carga.
- **Valor introducido por el usuario:** El usuario introduce directamente el coeficiente de balasto en t/m^3 a considerar en los cálculos.

4.2.2.- Metodología para el cálculo de asientos

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘Metodología para el cálculo de asientos’ el método de cálculo que *CivilCAD2000* utilizará para la obtención de los asientos de la cimentación.

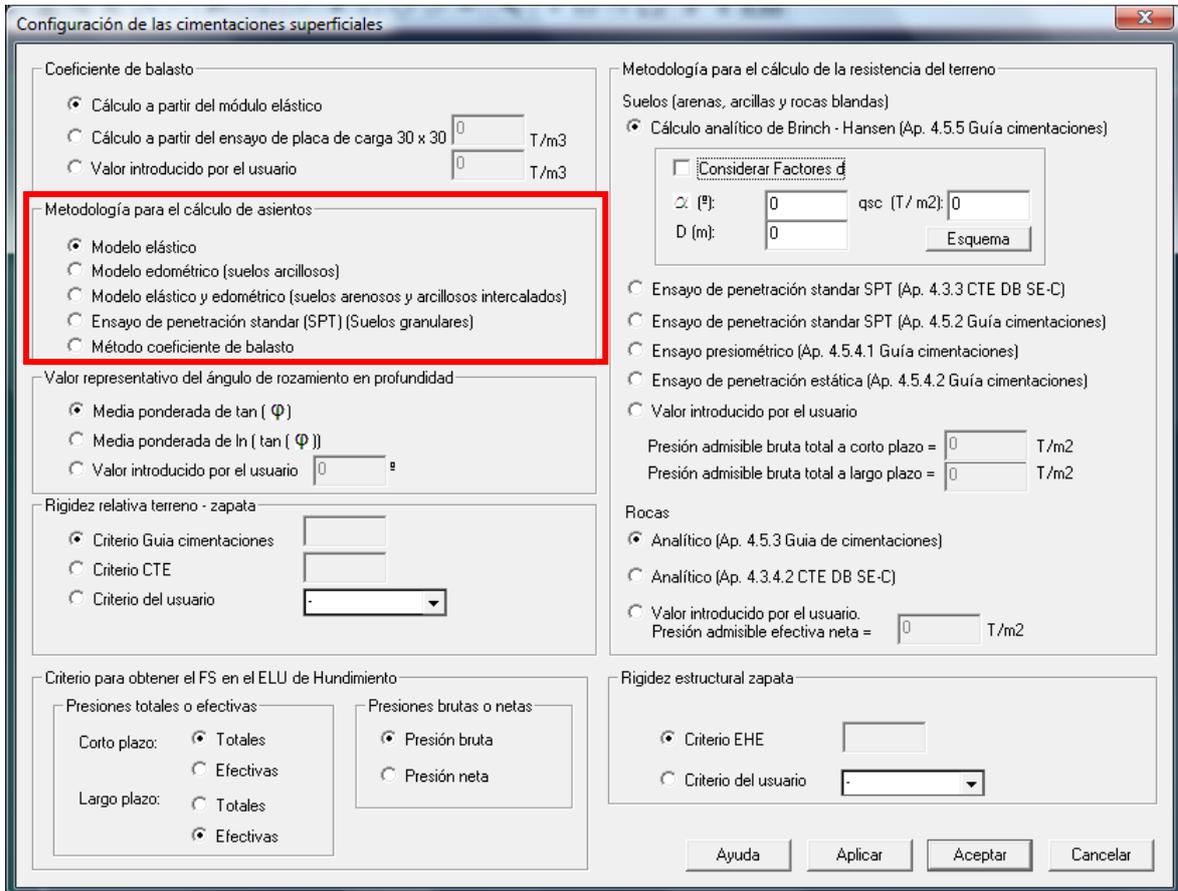


Figura 4.2.2-1: Selección del método de cálculo para el cálculo de asientos

CivilCAD2000 permite calcular los asientos con diversas metodologías. El usuario debe seleccionar una de las cinco opciones disponibles:

- **Método elástico:** El asiento se calcula con las expresiones de la solución elástica en un medio homogéneo que figuran en la Guía de cimentaciones para cimentaciones rectangulares rígidas y flexibles.
- **Método edométrico:** Esta opción permite calcular el asiento a largo plazo en arcillas mediante el método edométrico. El asiento a corto plazo se calcula mediante el método elástico. Este método es de aplicación si las capas de terreno que contribuyen al asiento son arcillosas.
- **Método elástico y edométrico:** Este método aplica el método elástico con la salvedad de que para el cálculo a largo plazo se obtiene el módulo elástico de las capas arcillosas a partir del cálculo edométrico. El asiento a corto plazo se calcula mediante el método elástico.

- **Ensayo de penetración estándar (SPT) (Suelos granulares):** Se aplica el método del apartado 4.8.4 de la Guía de Cimentaciones. Este método es de aplicación en el caso de que todos los niveles afectados por el asiento sean arenosos (a estos efectos se considera una profundidad de 2B, siendo B la dimensión menor de la zapata equivalente).
- **Método del coeficiente de balasto:** Con este método se obtienen los asientos calculados con un modelo de emparrillado sobre apoyos elásticos cuya constante de proporcionalidad se obtiene a partir del coeficiente de balasto.

En el Manual Técnico se exponen con detalle cada uno de estos métodos.

4.2.3.- Valor representativo del ángulo de rozamiento en profundidad

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘Valor representativo del ángulo de rozamiento en profundidad’ el método de cálculo que CivilCAD2000 utilizará para la obtención del ángulo de rozamiento equivalente en una determinada profundidad por debajo del plano de apoyo de la cimentación.

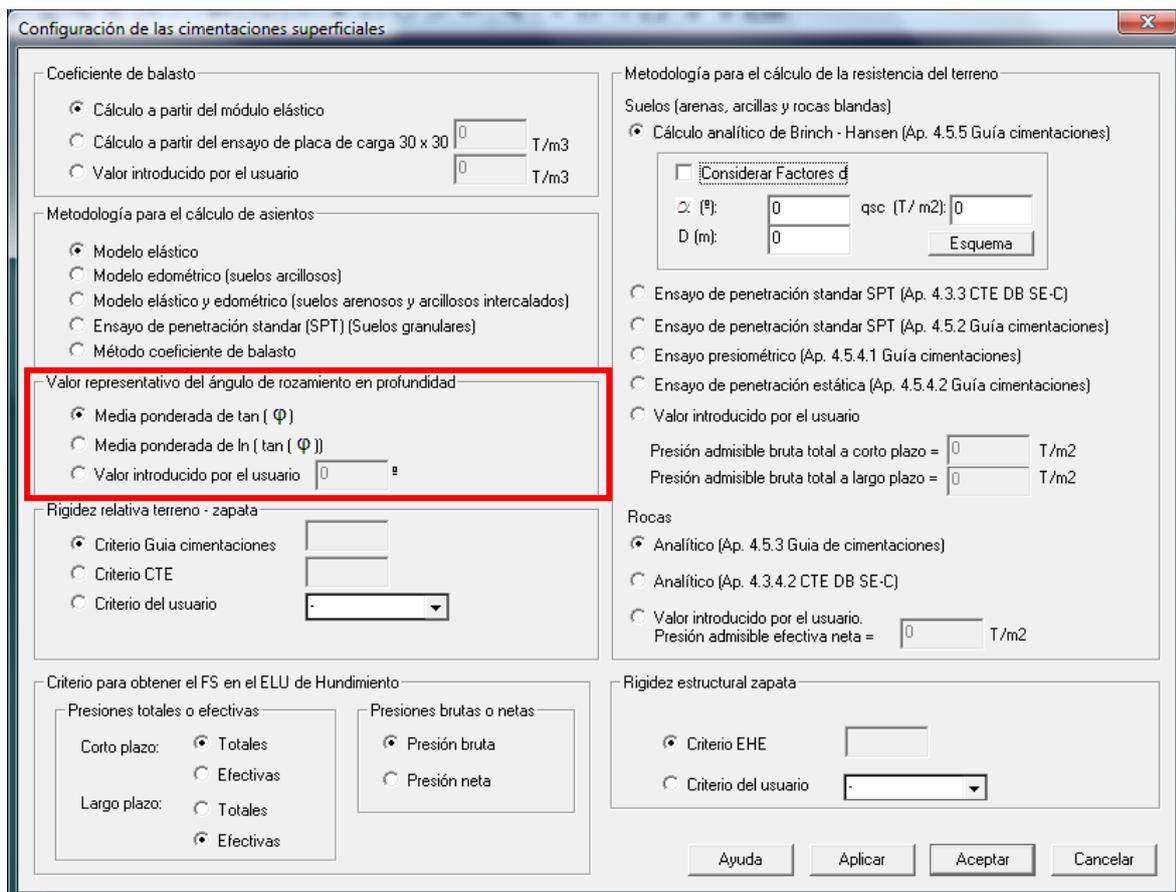


Figura 4.2.3-1: Selección del método de cálculo para la obtención del valor representativo del ángulo de rozamiento

El valor representativo del ángulo de rozamiento en profundidad que se utiliza en determinados cálculos (por ejemplo en la obtención de la capacidad portante mediante el método analítico) se puede obtener con distintos criterios. *CivilCAD2000* permite obtenerlo de tres formas distintas. Para ello el usuario deberá seleccionar una de las tres opciones disponibles:

Opción 1: Como media ponderada de $\tan(\phi)$

$$\tan(\phi_{eq}) = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \tan(\phi_i)}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

Opción 2: Como media ponderada de $\ln(\tan(\phi))$

$$\ln(\tan(\phi_{eq})) = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \ln(\tan(\phi_i))}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

Esta expresión es la que figura en la Guía de Cimentaciones en su apartado 4.5.5.7.

Presenta el problema de que si existe una capa con ángulo de rozamiento nulo, el ángulo equivalente no se puede obtener.

Opción 3: Valor introducido por el usuario

El usuario introduce el ángulo que considera representativo de los estratos situados bajo la zapata en una profundidad iguala a la zona de influencia del bulbo de presiones.

4.2.4.- Rigidez de la cimentación

En cimentaciones superficiales, *CivilCAD2000* permite distinguir entre la rigidez relativa terreno-zapata a efectos de los estados límite geotécnicos de la rigidez estructural de la zapata a efectos de los estados límite estructurales.

Así se distingue entre la ‘*Rigidez relativa terreno-zapata*’ y la ‘*Rigidez estructural*’.

La rigidez relativa terreno-estructura determina el tipo de respuesta del terreno en cuanto a distribución de presiones en profundidad y en cuanto a asentos en el caso de haber seleccionado el Método Elástico.

La rigidez estructural determina la metodología a utilizar para el cálculo de los estados límite estructurales (rotura y fisuración). Si la zapata es rígida se utilizará el método de las bielas y tirantes para determinar las armaduras necesarias, mientras que si se considera flexible se realizará un cálculo mediante un emparillado plano sobre apoyos elásticos.

4.2.4.1.- Rigidez relativa terreno-zapata

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘Rigidez relativa zapata-terreno’ el criterio que CivilCAD2000 utilizará para la determinar si la cimentación es flexible o rígida.

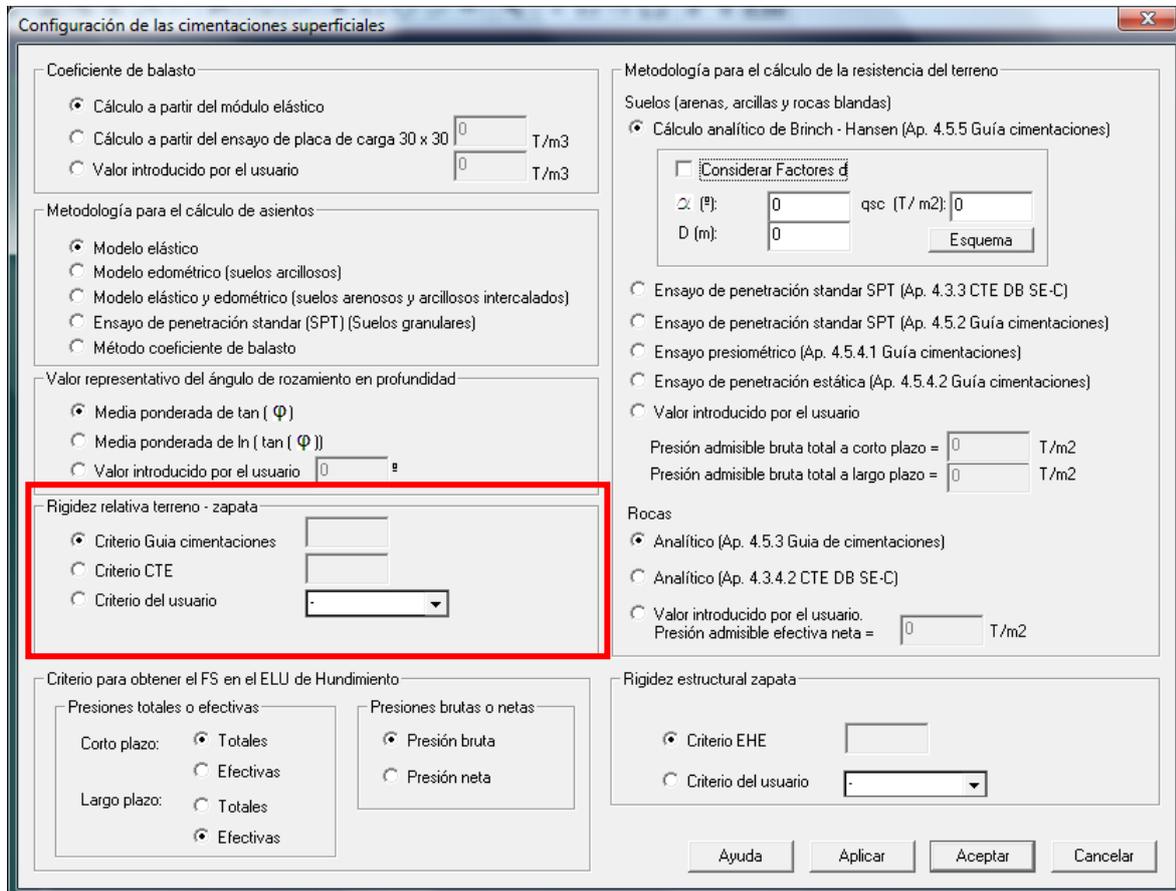


Figura 4.2.4.1-1: Selección del criterio para definir la rigidez relativa terreno-zapata

En función de la rigidez relativa zapata-terreno, CivilCAD2000 realiza el cálculo de los estados límites geotécnicos como zapata flexible o zapata rígida:

- **Cálculo como zapata flexible:** En el caso de que los asentamientos se calculen con el método elástico, CivilCAD2000 calculará los asentamientos a partir de las expresiones analíticas correspondientes a cimentaciones flexibles.
- **Cálculo como zapata rígida:** En el caso de que los asentamientos se calculen con el método elástico, CivilCAD2000 calculará los asentamientos a partir de las expresiones analíticas correspondientes a cimentaciones rígidas.

CivilCAD2000 determina la rigidez relativa de la cimentación en situación persistente, es decir, utilizando los parámetros elásticos del terreno correspondientes a largo plazo.

En el diálogo configuración CivilCAD2000 ofrece al usuario la posibilidad de seleccionar el criterio con el que se define si la zapata se considera rígida o flexible. Se ofrecen tres opciones:

- **Criterio de la Guía de Cimentaciones:** Se aplica el criterio del apartado 4.1 de la Guía de Cimentaciones.
- **Criterio del CTE:** Se aplica el criterio del Anejo E (apartado E.3) del CTE DB SE-C.
- **Criterio definido por el usuario:** El usuario determina como desea considerar la rigidez de la cimentación. Debe por tanto marcar esta opción y seleccionar entre ‘Rígida’ o ‘Flexible’.

En el Manual Técnico se expone detalladamente los criterios definidos en la Guía de cimentaciones y en el CTE.

4.2.4.2.- Rigidez estructural zapata

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘*Rigidez estructural zapata*’ el criterio que *CivilCAD2000* utilizará para la determinar si la cimentación es flexible o rígida a efectos de los estados límite estructurales.

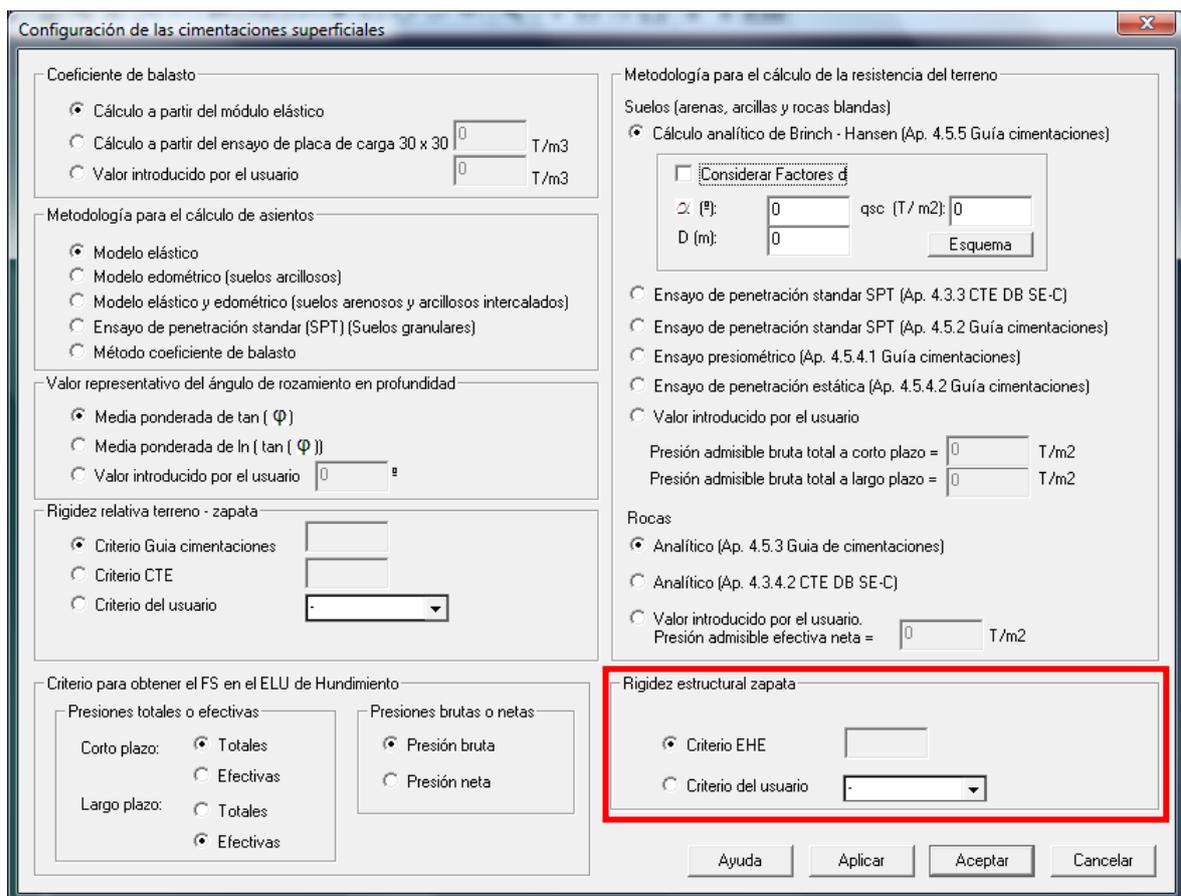


Figura 4.2.4.2-1: Selección del criterio para definir la rigidez estructural de la zapata

En función de la rigidez estructural de la zapata, *CivilCAD2000* realiza el cálculo estructural de la cimentación como zapata flexible o zapata rígida:

- ***Cálculo como zapata flexible:*** *CivilCAD2000* modeliza la zapata mediante un emparrillado plano sobre apoyos elásticos. Con este modelo estructural se obtienen los esfuerzos para la obtención del armado en ELU (rotura) y en ELS (fisuración).
- ***Cálculo como zapata rígida:*** En este caso *CivilCAD2000* realiza el cálculo de las armaduras mediante el método de bielas y tirantes.

En el diálogo configuración *CivilCAD2000* ofrece al usuario la posibilidad de seleccionar el criterio con el que se define si la zapata se considera rígida o flexible. Se ofrecen dos opciones:

- ***Criterio de la EHE:*** la zapata se considera rígida si el vuelo máximo es inferior a dos veces el canto de la zapata.
- ***Criterio definido por el usuario:*** El usuario determina como desea considerar la rigidez de la cimentación. Debe por tanto marcar esta opción y seleccionar entre 'Rígida' o 'Flexible'.

En el Manual Técnico se expone detalladamente el criterio definido en la EHE.

4.2.5.- Metodología para el cálculo de la resistencia del terreno

El usuario debe definir en el subdiálogo '*Metodología para el cálculo de la resistencia del terreno*' el criterio que *CivilCAD2000* utilizará para calcular la capacidad portante del terreno.

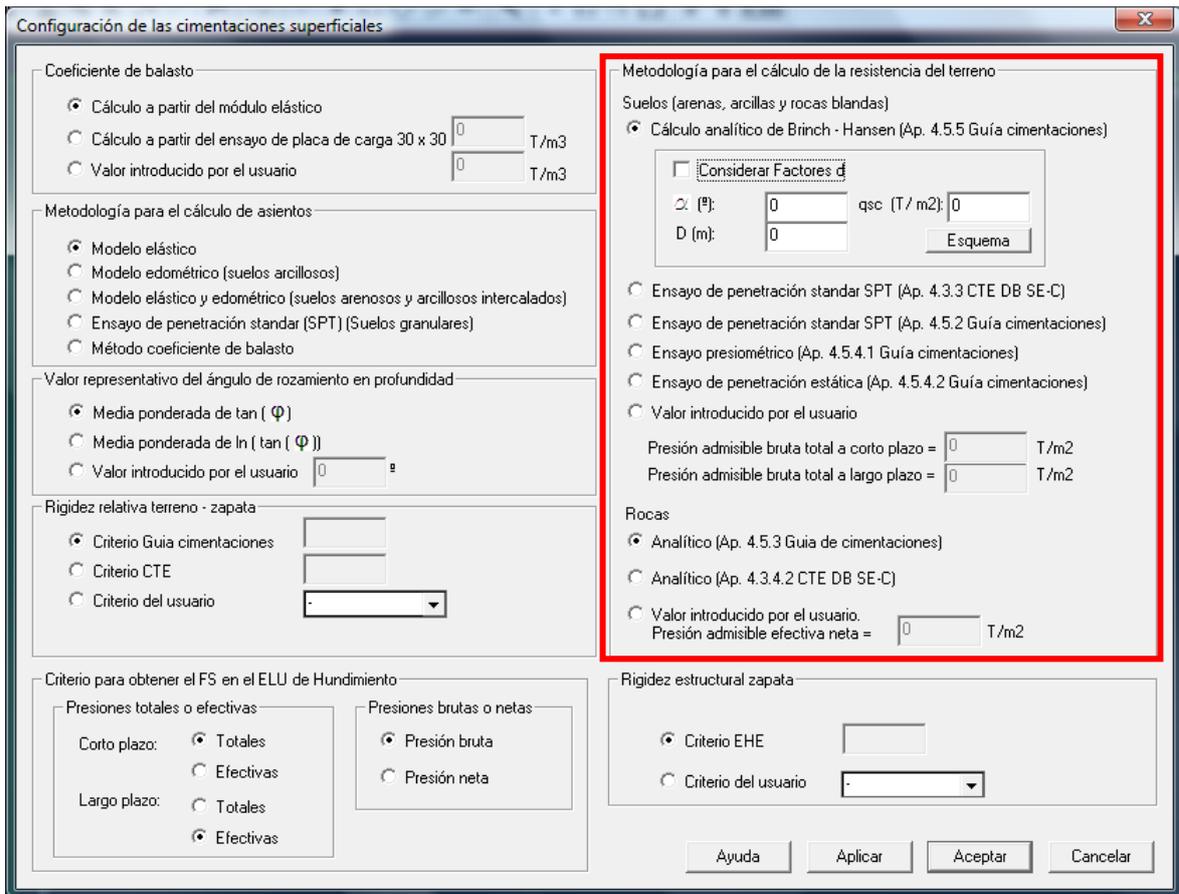


Figura 4.2.5-1: Selección del criterio para el cálculo de la capacidad portante del terreno

En este subdiálogo el usuario debe definir el método a utilizar para el caso de que la zapata apoye sobre suelo (cohesivo o granular) o sobre roca.

CivilCAD2000 proporciona distintas metodologías para el cálculo de la presión admisible o de hundimiento de las cimentaciones superficiales, distinguiendo entre el caso de suelos (arenas, arcillas o rocas blandas) y rocas.

A continuación se exponen los distintos métodos para suelos y rocas.

Suelos (arenas, arcillas y rocas blandas):

- **Método analítico de Brinch-Hansen:** *CivilCAD2000* calcula la presión de hundimiento mediante el método analítico de Brinch-Hansen expuesto en el apartado 4.5.5 de la Guía de Cimentaciones. En este método se puede definir la proximidad de un talud a la cimentación, para lo cual es necesario introducir el ángulo α del talud respecto a la horizontal en grados sexagesimales, la distancia D de la cimentación a la coronación del talud y la sobrecarga actante en el terreno en t/m^2 (q_{sc}). Así mismo el usuario puede definir si desea considerar en el cálculo de la presión de hundimiento el efecto de la resistencia al corte del terreno situado por encima del plano de cimentación, para lo cual puede activar o desactivar la opción 'Considerar Factores d '.

- **Método del ensayo de penetración estándar del CTE:** CivilCAD2000 calcula la presión admisible a partir de los resultados del ensayo de penetración estándar mediante el método del apartado 4.3.3 del DB SE-C del CTE. Este método es de aplicación en arenas con niveles estratificados con pendiente inferior al 10%, en condiciones hidrostáticas y para asientos admisibles inferiores a 25 mm.
- **Método del ensayo de penetración estándar de la Guía de Cimentaciones:** CivilCAD2000 calcula la presión admisible a partir de los resultados del ensayo de penetración estándar mediante el método del apartado 4.5.2. de la Guía de Cimentaciones. Este método es de aplicación en arenas con niveles estratificados con pendiente inferior al 10% y en condiciones hidrostáticas.
- **Método del ensayo presiométrico:** Se aplica la metodología del apartado 4.5.4.1 de la Guía de Cimentaciones. **Se asume que la resistencia es la misma a corto y largo plazo.**
- **Método del ensayo de penetración estática:** Se aplica la metodología del apartado 4.5.4.2 de la Guía de Cimentaciones. **Se asume que la resistencia es la misma a corto y largo plazo.**
- **Valor introducido por el usuario:** Si se selecciona esta opción, el usuario debe introducir la presión admisible bruta total de la cimentación (definida como la presión de hundimiento dividida por el factor de seguridad) en t/m^2 para situaciones a corto y largo plazo.

Rocas:

- **Método analítico de la Guía de Cimentaciones:** Se aplica la metodología del apartado 4.5.3 de la Guía de Cimentaciones.
- **Método analítico del CTE:** Se aplica la metodología del apartado 4.3.4.2 del DB SE-C del CTE.
- **Valor introducido por el usuario:** Si se selecciona esta opción, el usuario debe introducir la presión admisible efectiva neta de la cimentación (definida como la presión de hundimiento dividida por el factor de seguridad) en t/m^2 .

En el Manual Técnico se exponen detalladamente cada uno de estos métodos, facilitando la formulación empleada el campo de aplicación.

4.2.6.- Criterio para la obtención del factor de seguridad en el ELU de hundimiento

CivilCAD2000 permite definir el criterio con el que obtener los factores de seguridad en el estado límite último de hundimiento del terreno. Para ello se dispone del subdiálogo *Criterio para obtener el FS en el ELU de Hundimiento*.

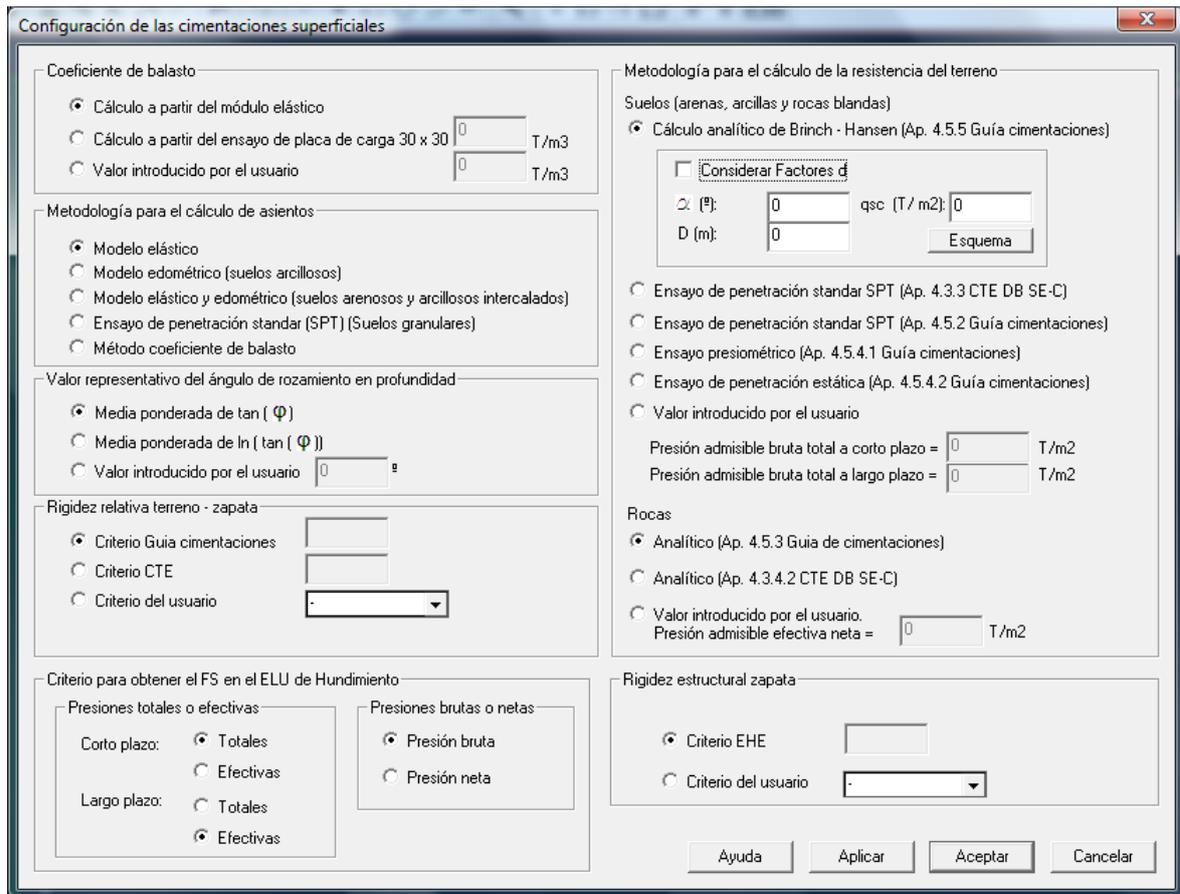


Figura 4.2.6-1: Selección del criterio para la obtención del FS del ELU de hundimiento

Este diálogo permite al usuario definir la forma en que desea obtener las presiones en la comprobación del estado límite último de hundimiento del terreno, pudiendo seleccionar entre presiones efectivas o totales y entre brutas y netas. El factor de seguridad se obtendrá en como cociente entre la presión resistente y la actuante en la forma que se haya seleccionado, por lo que el valor final del factor de seguridad dependerá de la elección realizada.

A continuación se definen las presiones totales, efectivas, brutas y netas.

Presión total bruta (p_{tb}): Presión total que actúa en la base del cimiento debido a las cargas actuantes en él (no incluye la subpresión); corresponde a la carga que se transmite al terreno.

Presión efectiva bruta (p_{eb}): Es la diferencia entre la presión total bruta y la presión intersticial (u) en la base del cimiento.

Presión total neta (p_{tn}): Es la diferencia entre la presión total bruta y la presión vertical total existente en el terreno a cota de cimentación (p_0).

Presión efectiva neta (p_{en}): Es la diferencia entre la presión efectiva bruta y la presión vertical efectiva (q_{e0}) a nivel del plano del cimiento.

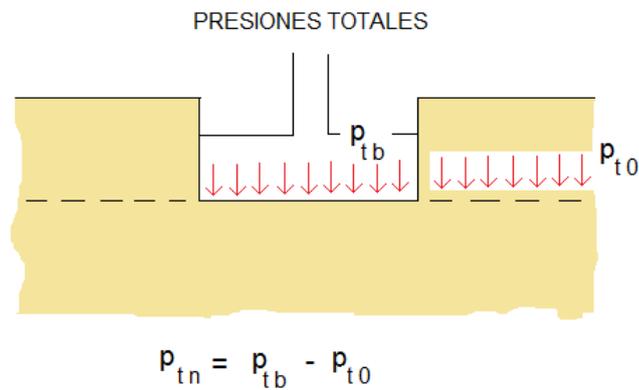


Figura 4.2.6-2: Presiones totales

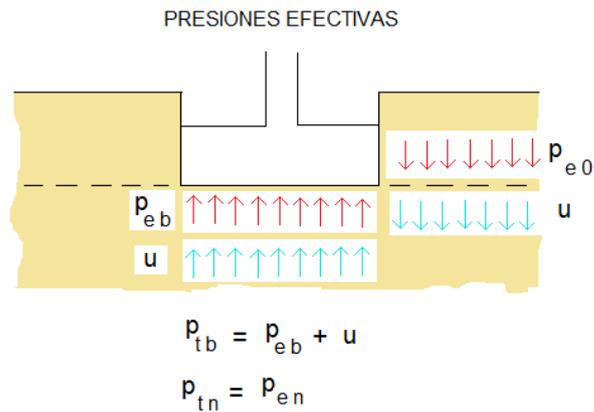


Figura 4.2.6-3: Presiones efectivas totales

Se cumplen las siguientes relaciones:

$$p_{tb} = p_{eb} + u \quad (\text{Ex. 4.2.6 - 1})$$

$$p_{tn} = p_{tb} - p_{t0} \quad (\text{Ex. 4.2.6 - 2})$$

$$p_{en} = p_{eb} - p_{e0} \quad (\text{Ex. 4.2.6 - 3})$$

$$p_{t0} = p_{e0} + u \quad (\text{Ex. 4.2.6 - 4})$$

$$p_{tn} = p_{en} \quad (\text{Ex. 4.2.6 - 5})$$

Estas definiciones son igualmente aplicables a la presión de hundimiento y a la presión admisible.

Presión admisible bruta ($p_{adm,b}$): Presión admisible a nivel del plano de cimentación

Presión admisible neta ($p_{adm,n}$): Presión admisible bruta menos la presión vertical total existente en el terreno a cota de cimentación (p_0).

Presión efectiva admisible bruta ($pef_{adm,b}$): Presión admisible bruta menos la presión intersticial (u) en la base del cimiento.

Presión efectiva admisible neta ($pef_{adm,n}$): Presión efectiva admisible bruta menos la presión efectiva vertical existente en el terreno a cota de cimentación (p_{e0}).

El Factor de Seguridad frente a Hundimiento se define como el cociente entre la presión admisible y la presión actuante.

No obstante, en función de si consideramos las presiones efectivas o totales y las presiones brutas o netas, obtendremos valores distintos del coeficiente de seguridad.

$$FS_{tb} = FS \text{ en totales y brutas} = \frac{p_{adm,b}}{p_{tb}}$$

$$FS_{tb} = FS \text{ en totales y netas} = \frac{p_{adm,n}}{p_{tn}} = \frac{p_{adm,b} - p_{t0}}{p_{tn} - p_{t0}}$$

$$FS_{tb} = FS \text{ en efectivas y brutas} = \frac{pef_{adm,b}}{p_{sb}}$$

$$FS_{tb} = FS \text{ en efectivas y netas} = \frac{pef_{adm,n}}{p_{sn}} = \frac{pef_{adm,n} - p_{s0}}{p_{sn} - p_{s0}}$$

4.3.- Cimentaciones profundas

Al seleccionar la opción '*Cimentaciones profundas*' aparece en pantalla el siguiente diálogo:

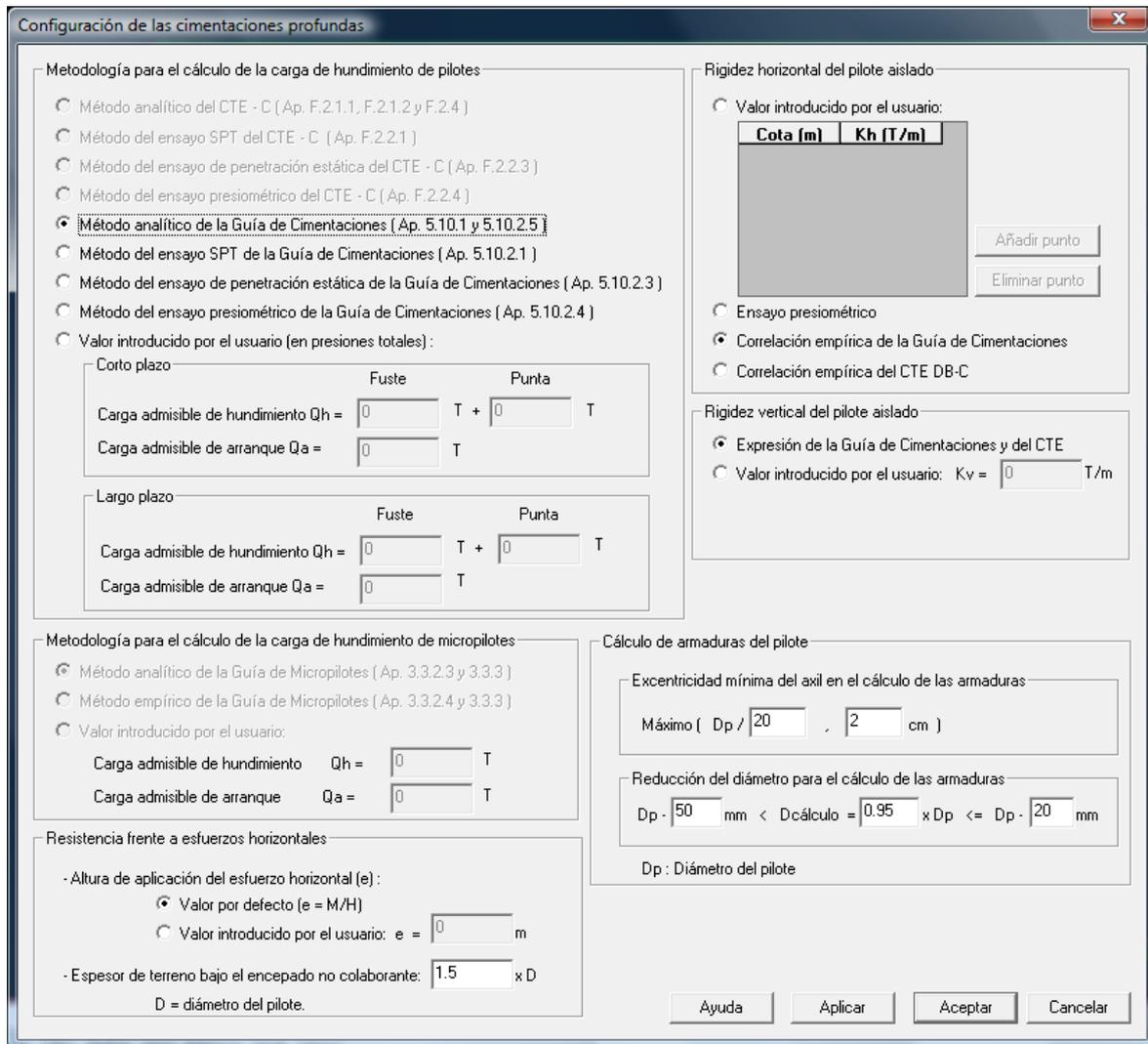


Figura 4.3-1: Diálogo ‘Cimentaciones profundas’

En este diálogo el usuario puede configurar las opciones de cálculo. En concreto puede definir:

- El método de cálculo para obtener la carga de hundimiento de los pilotes
- Los parámetros necesarios para el cálculo de la resistencia frente a esfuerzos horizontales.
- El método de cálculo para obtener la rigidez horizontal del pilote aislado
- El método de cálculo para obtener la rigidez vertical del pilote aislado
- Los criterios de excentricidad mínima y diámetro del pilote para el cálculo de la armadura del mismo

4.3.1.- Metodología para el cálculo de la carga de hundimiento de pilotes

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘Metodología para el cálculo de la carga de hundimiento de pilotes’ el método de cálculo que CivilCAD2000 utilizará para calcular la capacidad portante del terreno.

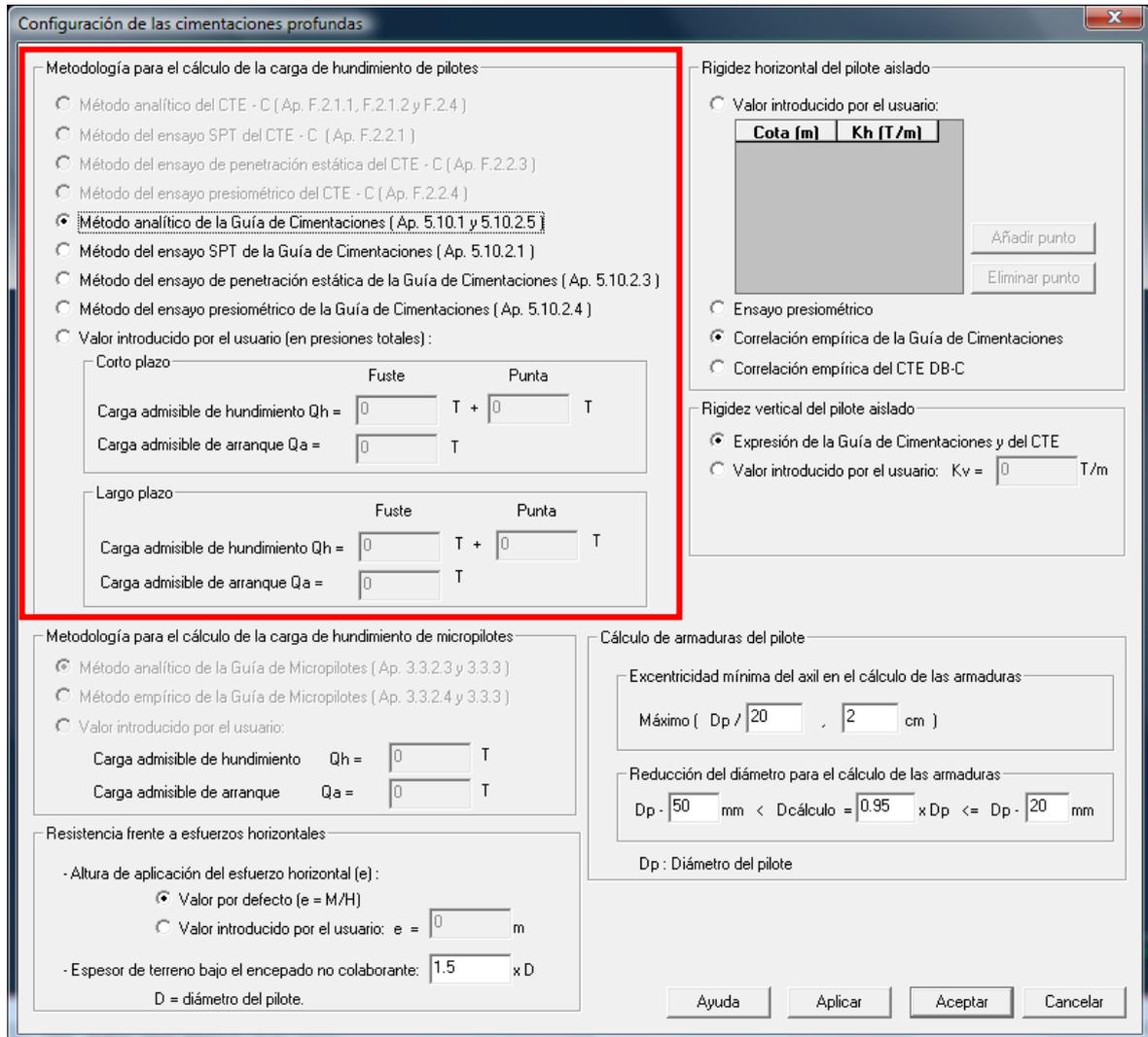


Figura 4.3.1-1: Selección del método de cálculo de hundimiento del pilote

CivilCAD2000 ofrece distintas metodologías para la obtención de la carga de hundimiento del pilote. El usuario debe seleccionar una de las opciones disponibles, las cuales dependen de la normativa de cálculo seleccionada.

En el caso de haber seleccionado la normativa Código Técnico de la Edificación, la carga de hundimiento se puede obtener mediante las metodologías siguientes:

- **Método analítico:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en los apartados F.2.1.1, F.2.1.2 y F.2.4 del CTE DB-C.

- **Método del ensayo SPT:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en el apartado F.2.2.1 del CTE DB-C.
- **Método del ensayo de penetración estática:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en el apartado F.2.2.3 del CTE DB-C.
- **Método del ensayo presiométrico:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en el apartado F.2.2.4 del CTE DB-C.

Para el caso de haber seleccionada la normativa ‘Guía de Cimentaciones/IAP’, la carga de hundimiento se puede obtener mediante las siguientes metodologías:

- **Método analítico:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en los apartados 5.10.1 y 5.10.2.5 de la Guía de Cimentaciones.
- **Método del ensayo SPT:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en el apartado 5.10.2.1 de la Guía de Cimentaciones.
- **Método del ensayo de penetración estática:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en el apartado 5.10.2.3 de la Guía de Cimentaciones.
- **Método del ensayo presiométrico:** La carga de hundimiento se obtiene según se especifica en el apartado 5.10.2.4 de la Guía de Cimentaciones.

Finalmente *CivilCAD2000* ofrece la posibilidad de que el usuario entre directamente la carga admisible del pilote (en presiones totales), especificando la carga por fuste y por punta a corto y largo plazo. Así mismo deberá introducir la carga admisible de arranque del pilote. Dichas cargas deben introducirse en toneladas. Los valores introducidos por tanto ya están minorados por el coeficiente de seguridad.

4.3.2.- Resistencia frente a esfuerzos horizontales

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘*Resistencia frente a esfuerzos horizontales*’ los parámetros necesarios para realizar el cálculo de la resistencia frente a esfuerzos horizontales.

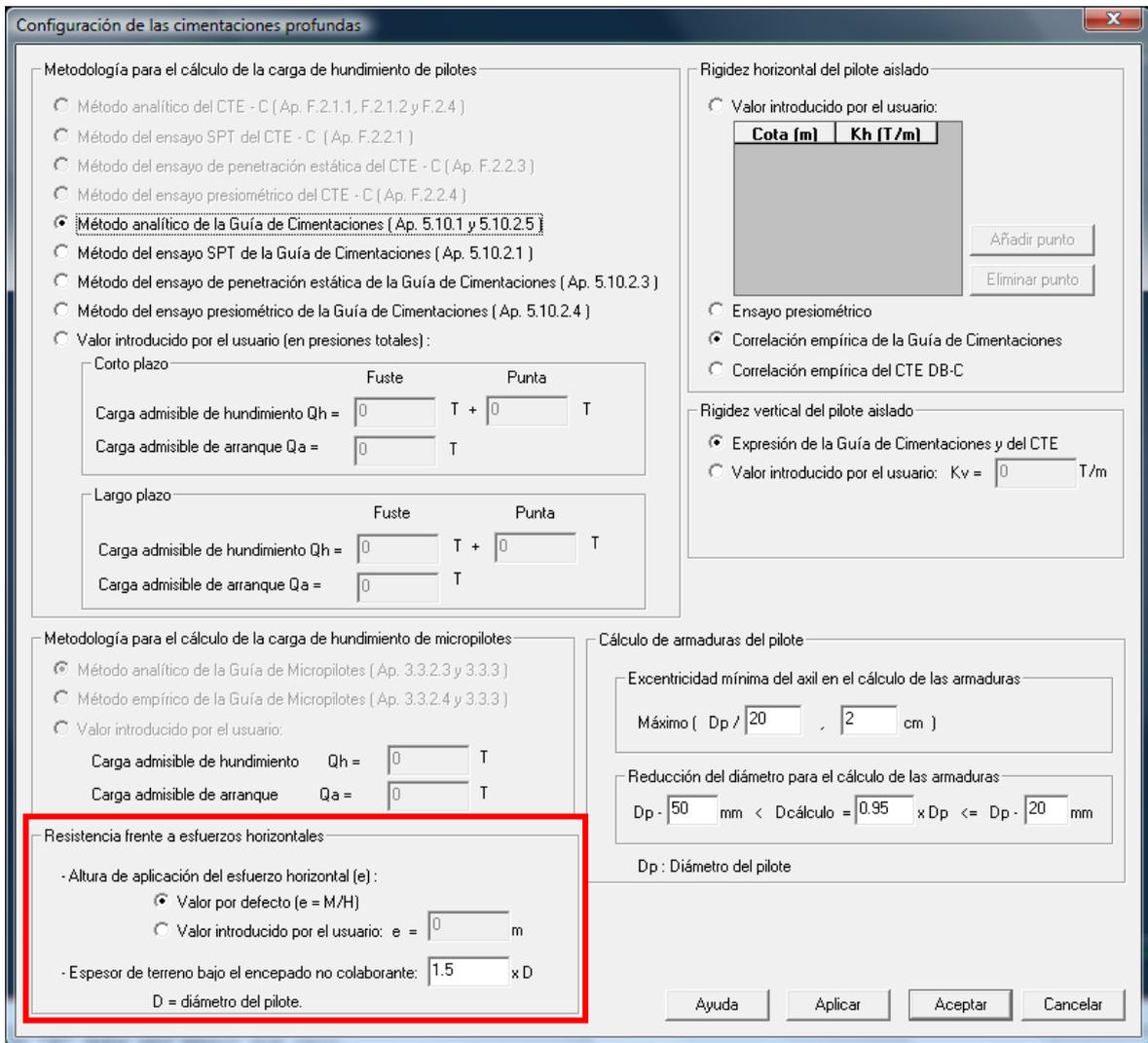


Figura 4.3.2-1: Selección de los parámetros de cálculo de la resistencia frente a esfuerzos horizontales

Para el cálculo de la resistencia del pilote frente a esfuerzos horizontales es necesario definir la altura ‘e’ de aplicación del esfuerzo horizontal respecto a la cabeza del pilote (ver Figura 4.3.2-2). *CivilCAD2000* permite obtener este valor automáticamente a partir del cociente entre el momento y el esfuerzo cortante en cabeza de pilote, para lo cual el usuario debe seleccionar la opción ‘Valor por defecto’. Si el usuario selecciona la opción ‘Valor introducido por el usuario’ se deberá entrar la altura de aplicación de la carga horizontal respecto a la cabeza del pilote en metros. Si el valor es positivo la fuerza horizontal actúa por encima de la cabeza del pilote, y si es negativa por debajo.

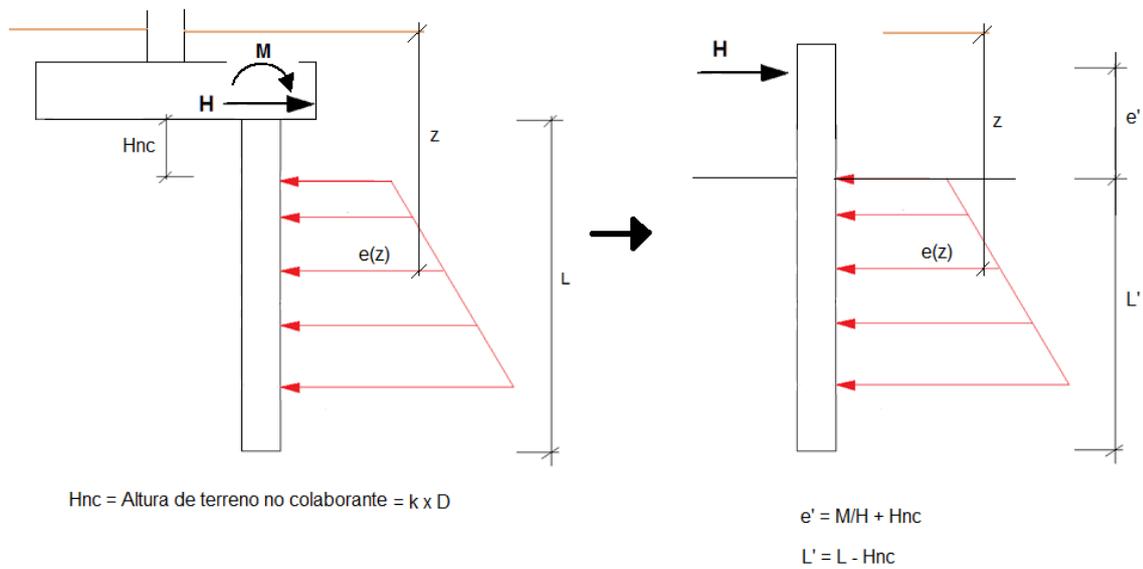


Figura 4.3.2-2: Excentricidad del esfuerzo horizontal actuando en cabeza del pilote

Además *CivilCAD2000* ofrece la opción de despreciar la contribución a la resistencia horizontal frente a esfuerzos horizontales de un espesor de terreno situado por debajo del encepado. Este espesor se toma igual a un coeficiente introducido por el usuario que multiplica el diámetro del pilote (D).

4.3.3.- Rigidez horizontal del pilote aislado

El usuario debe definir en el subdiálogo '*Rigidez horizontal del pilote aislado*' el método de cálculo que *CivilCAD2000* utilizará para calcular la rigidez horizontal del terreno.

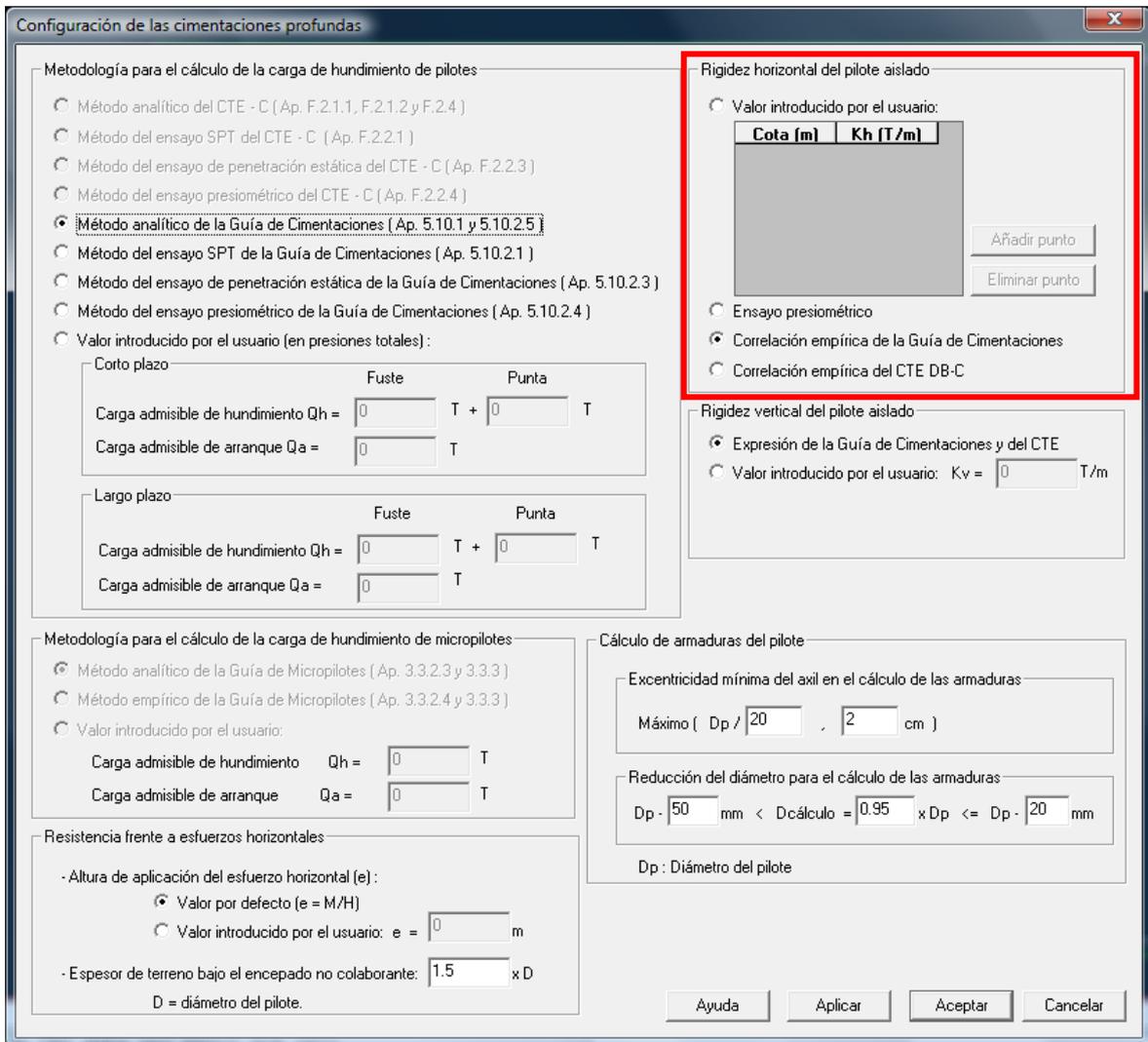


Figura 4.3.3-1: Selección del método de cálculo de la rigidez horizontal del pilote

Para el cálculo de los esfuerzos en el encepado y los pilotes, *CivilCAD2000* realiza un modelo de barras 3D en que la interacción horizontal terreno-pilote se modeliza mediante muelles horizontales. *CivilCAD2000* permite obtener la rigidez de estos muelles de cuatro formas distintas que se describen a continuación. El usuario deberá seleccionar el método que considere más adecuado.

- **Valor introducido por el usuario:** En este caso el usuario debe definir una ley de rigideces horizontales en función de la profundidad. Para ello el usuario debe seleccionar la opción ‘Valor introducido por el usuario’ y definir a continuación el número de puntos de esta ley de rigideces (mediante la opción ‘*Añadir punto*’), para cada uno de los cuales deberá introducir la cota y la rigidez asociada a esa profundidad. Entre dos puntos, *CivilCAD2000* interpola linealmente.
- **Ensayo presiométrico:** *CivilCAD2000* calcula la rigidez horizontal a partir de los valores del ensayo presiométrico. Se utiliza la expresión de la Guía de Cimentaciones que es coincidente con la del CTE DB-C.

- **Correlación empírica de la Guía de Cimentaciones:** *CivilCAD2000* calcula la rigidez horizontal a partir de la correlación del apartado 5.13.1.1 de la Guía de Cimentaciones.
- **Correlación empírica del CTE:** *CivilCAD2000* calcula la rigidez horizontal a partir de la correlación del apartado F.2.7.1 del CTE DB-C.

En el Manual Técnico se expone detalladamente la formulación utilizada en cada caso.

4.3.4.- Rigidez vertical del pilote aislado

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘*Rigidez vertical del pilote aislado*’ el método de cálculo que *CivilCAD2000* utilizará para calcular la rigidez vertical del terreno.

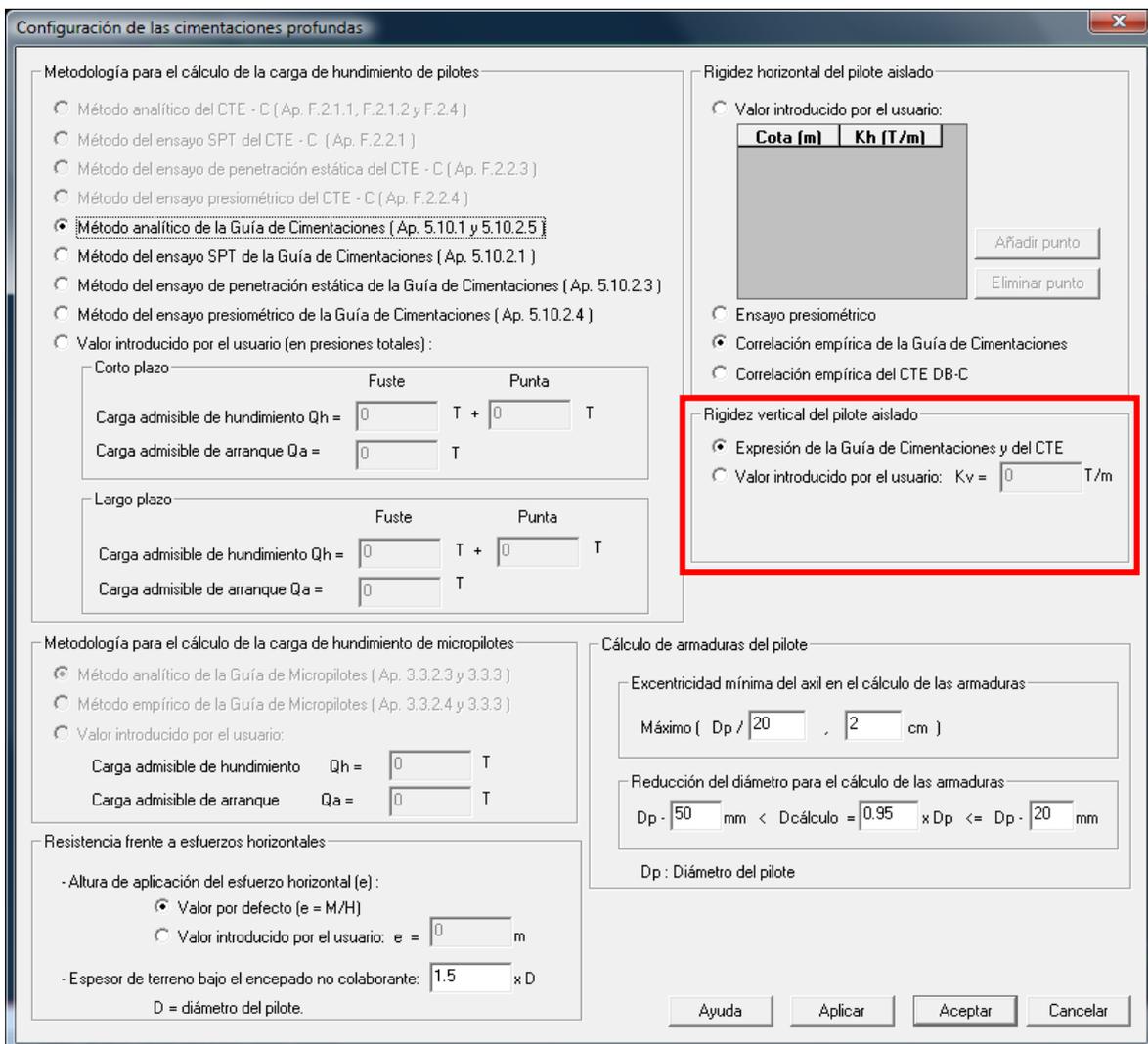


Figura 4.3.4-1: Selección del método de cálculo de la rigidez vertical del pilote

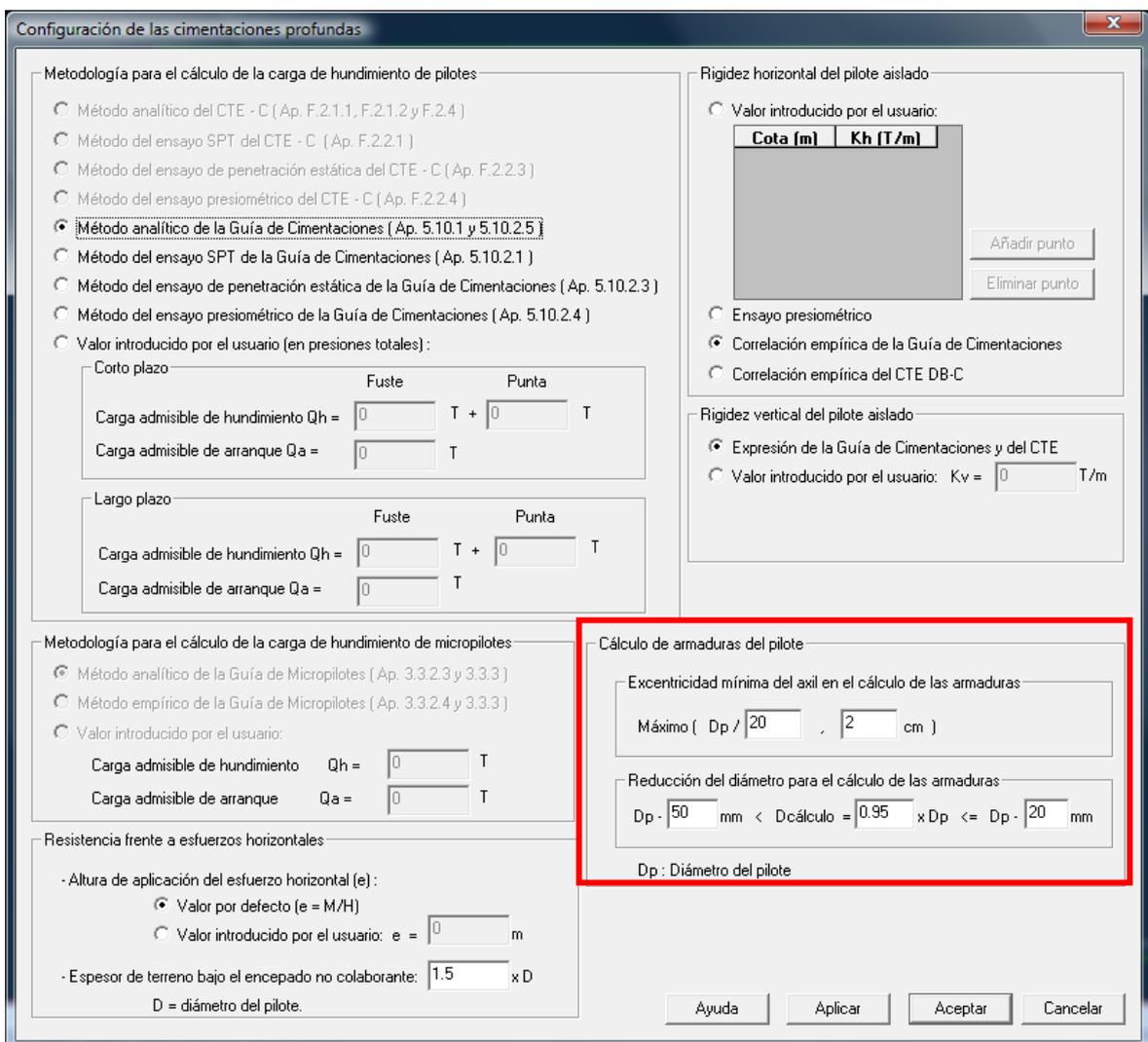
Tal como se ha expuesto en el apartado anterior, para el cálculo de los esfuerzos en el encepado y los pilotes, *CivilCAD2000* realiza un modelo de barras 3D, en que la interacción vertical terreno-pilote se modeliza mediante muelles verticales situados en la punta del pilote.

CivilCAD2000 permite calcular la rigidez vertical del pilote mediante la formulación descrita en la Guía de Cimentaciones (que es coincidente con la del CTE) o bien adoptar un valor introducido por el usuario; en este último caso el usuario debe introducir la rigidez del muelle vertical en t/m.

En el Manual Técnico se expone detalladamente la formulación de la Guía de cimentaciones.

4.3.5.- Cálculo de armaduras del pilote

El usuario debe definir en el subdiálogo ‘Cálculo de armaduras del pilote’ los criterios de cálculo de las armaduras del pilote.



The image shows a software dialog box titled "Configuración de las cimentaciones profundas". The "Cálculo de armaduras del pilote" section is highlighted with a red border. It contains the following fields:

- Excentricidad mínima del axil en el cálculo de las armaduras: Máximo ($D_p / 20$, 2 cm)
- Reducción del diámetro para el cálculo de las armaduras: $D_p \cdot 50$ mm < $D_{\text{cálculo}} = 0.95 \times D_p$ <= $D_p \cdot 20$ mm
- D_p : Diámetro del pilote

Other sections in the dialog include:

- Metodología para el cálculo de la carga de hundimiento de pilotes:**
 - Método analítico del CTE - C (Ap. F.2.1.1, F.2.1.2 y F.2.4)
 - Método del ensayo SPT del CTE - C (Ap. F.2.2.1)
 - Método del ensayo de penetración estática del CTE - C (Ap. F.2.2.3)
 - Método del ensayo presiométrico del CTE - C (Ap. F.2.2.4)
 - Método analítico de la Guía de Cimentaciones (Ap. 5.10.1 y 5.10.2.5)
 - Método del ensayo SPT de la Guía de Cimentaciones (Ap. 5.10.2.1)
 - Método del ensayo de penetración estática de la Guía de Cimentaciones (Ap. 5.10.2.3)
 - Método del ensayo presiométrico de la Guía de Cimentaciones (Ap. 5.10.2.4)
 - Valor introducido por el usuario (en presiones totales):
 - Corto plazo: Carga admisible de hundimiento $Q_h = 0$ T + 0 T; Carga admisible de arranque $Q_a = 0$ T
 - Largo plazo: Carga admisible de hundimiento $Q_h = 0$ T + 0 T; Carga admisible de arranque $Q_a = 0$ T

- Rigidez horizontal del pilote aislado:**
- Valor introducido por el usuario:

Cota (m)	Kh (T/m)

 - Añadir punto
 - Eliminar punto
- Ensayo presiométrico
- Correlación empírica de la Guía de Cimentaciones
- Correlación empírica del CTE DB-C
- Rigidez vertical del pilote aislado:**
- Expresión de la Guía de Cimentaciones y del CTE
- Valor introducido por el usuario: $K_v = 0$ T/m
- Metodología para el cálculo de la carga de hundimiento de micropilotes:**
- Método analítico de la Guía de Micropilotes (Ap. 3.3.2.3 y 3.3.3)
- Método empírico de la Guía de Micropilotes (Ap. 3.3.2.4 y 3.3.3)
- Valor introducido por el usuario:
 - Carga admisible de hundimiento $Q_h = 0$ T
 - Carga admisible de arranque $Q_a = 0$ T
- Resistencia frente a esfuerzos horizontales:**
- Altura de aplicación del esfuerzo horizontal (e):
 - Valor por defecto (e = M/H)
 - Valor introducido por el usuario: e = 0 m
- Espesor de terreno bajo el encepado no colaborante: 1.5 x D
- D = diámetro del pilote.

Buttons at the bottom: Ayuda, Aplicar, Aceptar, Cancelar.

Figura 4.3.5-1: Selección de los criterios de cálculo de la armadura de los pilotes

En este subdiálogo el usuario puede definir los criterios de cálculo de la armadura de los pilotes en cuanto a la excentricidad mínima del axil a considerar y en cuanto a la reducción del diámetro del pilote a efectos de cálculo de la armadura.

CivilCAD2000 permite definir una excentricidad mínima del axil para el cálculo de las armaduras del pilote de acuerdo con el apartado 58.6 y 42.2 de la EHE. La excentricidad mínima (e_{min}) adoptada se obtiene como:

$$e_{min} = \max\left(\frac{D_p}{K}, e_0\right)$$

, siendo

- D_p Diámetro del pilote
- K Valor introducido por el usuario (la EHE adopta K=20)
- e₀ Valor introducido por el usuario (la EHE adopta e₀ = 2 cm)

Por otro lado, en pilotes in situ construidos sin camisa de chapa, se utilizará únicamente a efectos de cálculo de las armaduras del pilote y de acuerdo con el apartado 58.6 de la EHE, un diámetro de cálculo D_{cal} inferior al teórico, el cual se define a través de tres parámetros (K₁, K₂ y K₃) que debe introducir el usuario.

$$D_p - K_2 \leq D_{cal} = K_1 \times D_p \leq D_p - K_3$$

, siendo

- K₁ Un porcentaje del diámetro del pilote (la EHE adopta K₁ = 0,95)
- K₂ Un valor máximo de reducción del diámetro del pilote (la EHE adopta K₂ = 50 mm)
- K₃ Un valor mínimo de reducción del diámetro del pilote (la EHE adopta K₃ = 20 mm)
- D_p Diámetro del pilote

4.4.- Guardar emparrillado

La opción ‘*Guardar emparrillado*’ permite grabar el emparrillado que *CivilCAD2000* genera para el cálculo de la cimentación superficial o profunda, de forma que podrá visualizarse con el módulo ‘Barras’.

Al seleccionar esta opción aparecerá en pantalla el siguiente diálogo:

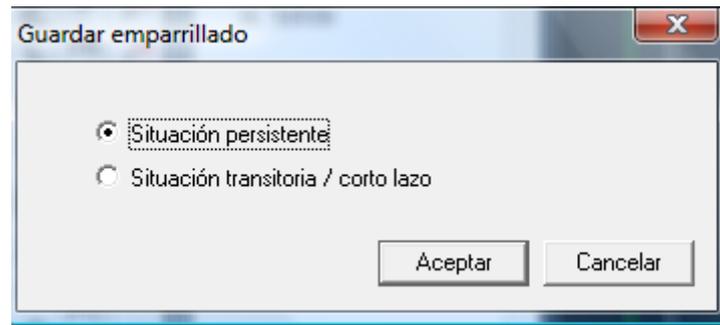


Figura 4.4-1: Diálogo ‘*Guardar emparrillado*’

El usuario deberá seleccionar la opción ‘*Situación persistente*’ o ‘*Situación transitoria/corto plazo*’. En el primer caso el emparrillado se guardará con las constantes elásticas de los muelles que simulan el terreno correspondientes a la situación persistente, mientras que en segundo caso se guardará con las constantes elásticas de los muelles asociadas a la situación transitoria (corto plazo).

5.- SALIDA DE RESULTADOS

Al seleccionar la opción ‘*Salida*’ se desplegará un diálogo cuyo contenido es distinto para el caso de cimentación superficial o profunda (ver Figuras 5-1 y 5-2).

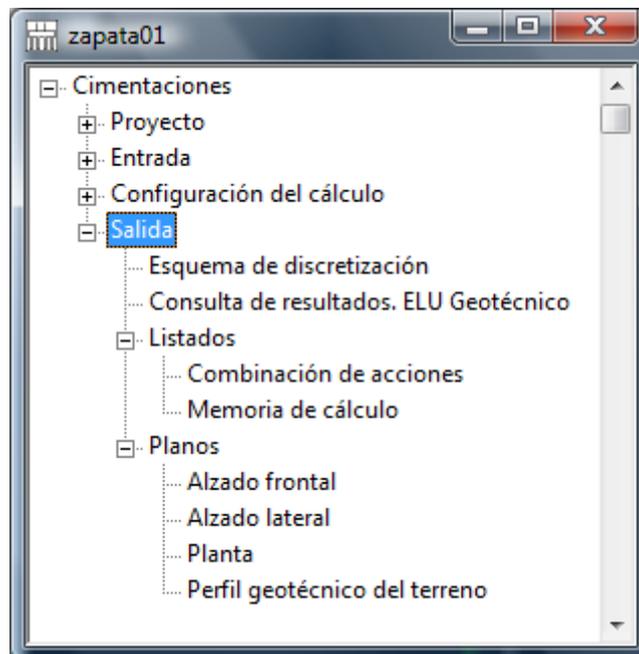


Figura 5-1: Diálogo ‘*Salida*’ para cimentaciones superficiales

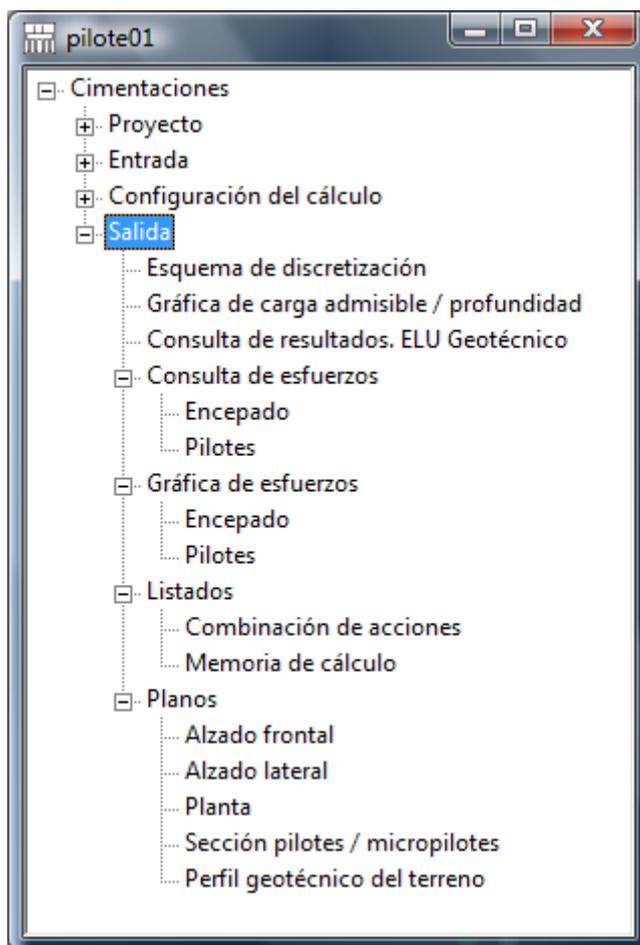


Figura 5-2: Diálogo ‘Salida’ para cimentaciones profundas

5.1.- Esquema de discretización

Al seleccionar esta opción, se obtendrá la figura con el esquema de la discretización del emparrillado que *CivilCAD2000* genera para el cálculo de la cimentación. En el caso de las cimentaciones superficiales se obtendrá el esquema del emparrillado de la cimentación sobre apoyos elásticos. En el caso de cimentación profunda se obtendrá el esquema de la discretización del encepado y los pilotes.

5.2.- Gráfica de carga admisible/profundidad

Esta opción únicamente está disponible para cimentaciones profundas. Al seleccionar esta opción aparecerá el siguiente diálogo:

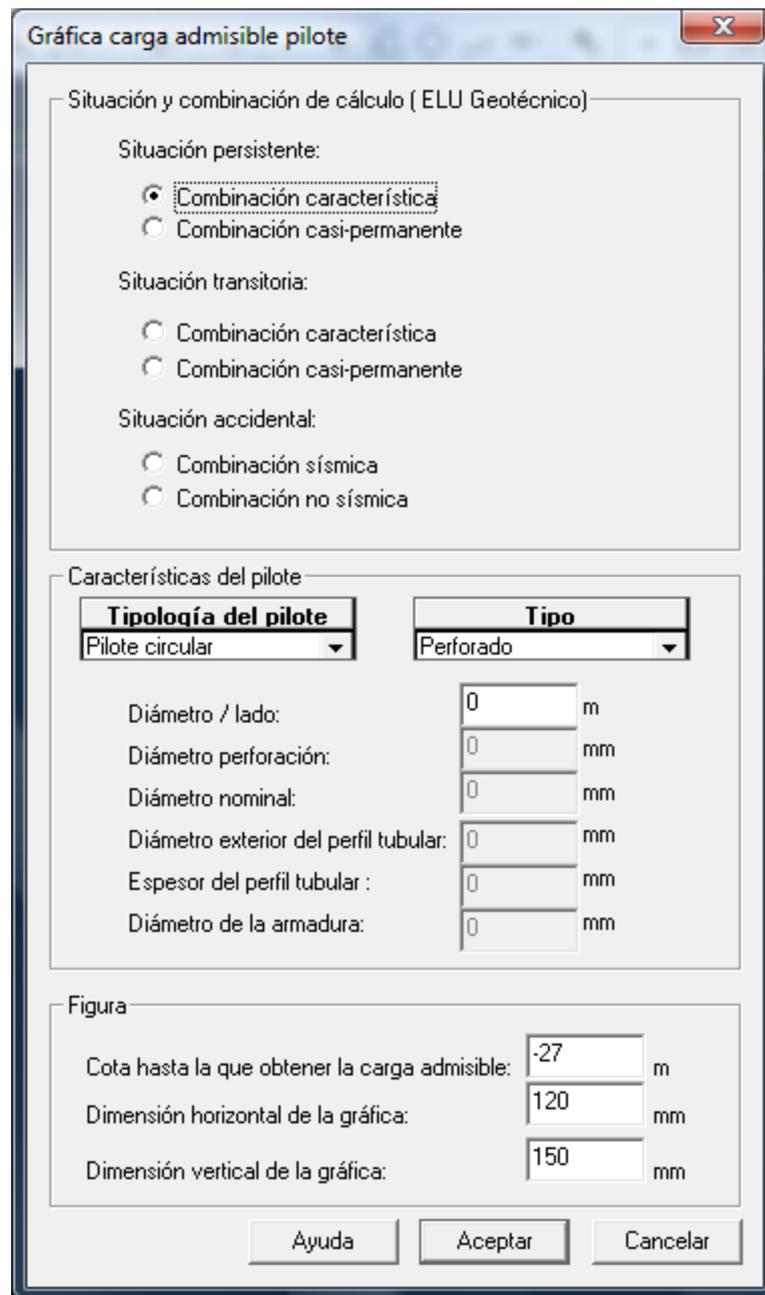


Figura 5.2-1: Diálogo ‘Gráfica carga admisible pilote’

Esta opción permite obtener de forma gráfica la carga admisible del pilote en función de la profundidad del mismo. Para ello el usuario debe definir la situación y combinación de cálculo para la que obtener la carga admisible, así como las características del pilote. Esta opción permite predimensionar de forma rápida el número de pilotes y su diámetro.

Las características del pilote que debe introducir el usuario son:

Tipología del pilote: El usuario debe definir si se trata de un pilote circular o cuadrado

Tipo: El usuario debe definir si el pilote es perforado o hincado

Diámetro/lado: El usuario debe introducir en metros el diámetro del pilote (en el caso de pilote circular) o el lado del pilote (en el caso de pilote cuadrado)

Finalmente el usuario debe definir la cota hasta la que quiere obtener la gráfica de la carga admisible, así como las dimensiones de la gráfica.

La gráfica obtenida permite ver la variación de la carga admisible por punta, la carga admisible por fuste, la carga admisible total y el tope estructural en función de la profundidad de la punta del pilote.

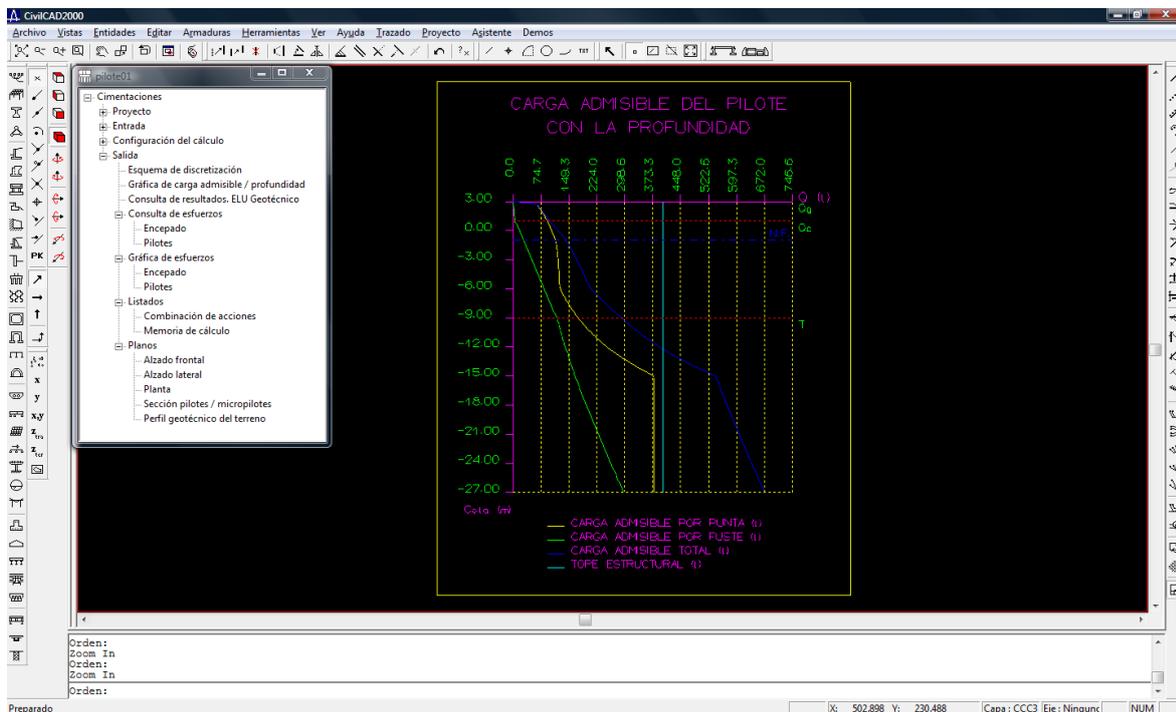


Figura 5.2-2: Gráfica carga admisible del pilote-profundidad de la punta del pilote

Hay que señalar que la gráfica obtenida corresponde a las características del pilote introducidas en este diálogo, y no a las características del pilote introducidas en el diálogo ‘Pilotes’.

5.3.- Consulta de resultados. ELU Geotécnico

Con esta opción el usuario puede consultar de forma rápida la verificación de los estados límites geotécnicos.

En concreto, para las cimentaciones superficiales se presentan los resultados de los estados límite de hundimiento, deslizamiento, vuelco y asentos. *CivilCAD2000* presenta los resultados en un cuadro resumen (ver Figura 5.3-1).

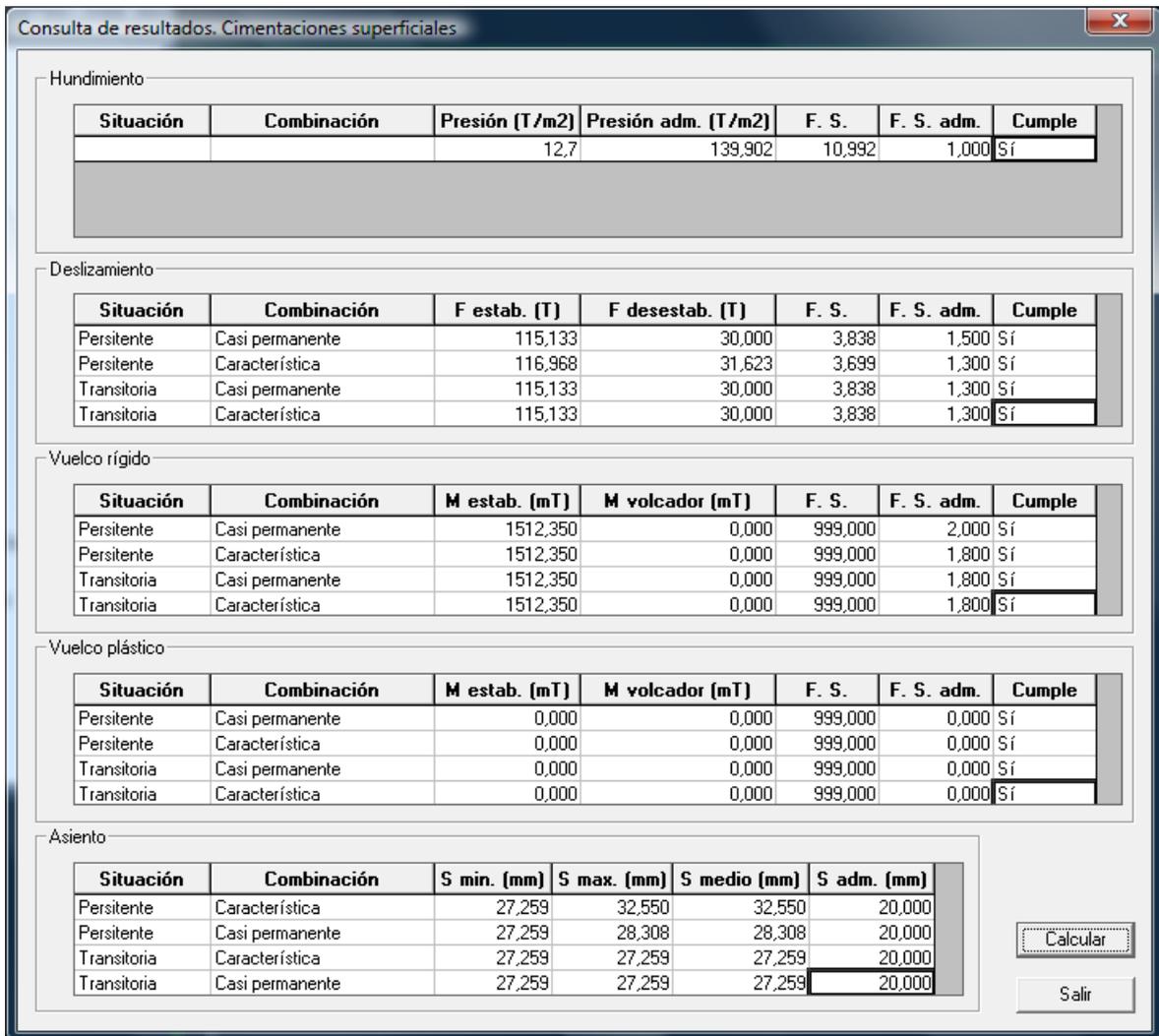


Figura 5.3-1: Diálogo de resultados ‘Consulta de resultados. ELU geotécnicos’ para cimentaciones superficiales

Para las cimentaciones profundas se proporcionan los resultados para los estados límite de hundimiento del pilote aislado, hundimiento del grupo de pilotes, tope estructural, arranque de pilotes, rotura del terreno por esfuerzos horizontales de un pilote aislado, rotura de esfuerzos horizontales del grupo de pilotes y pandeo del pilote (ver Figura 5.3-2).

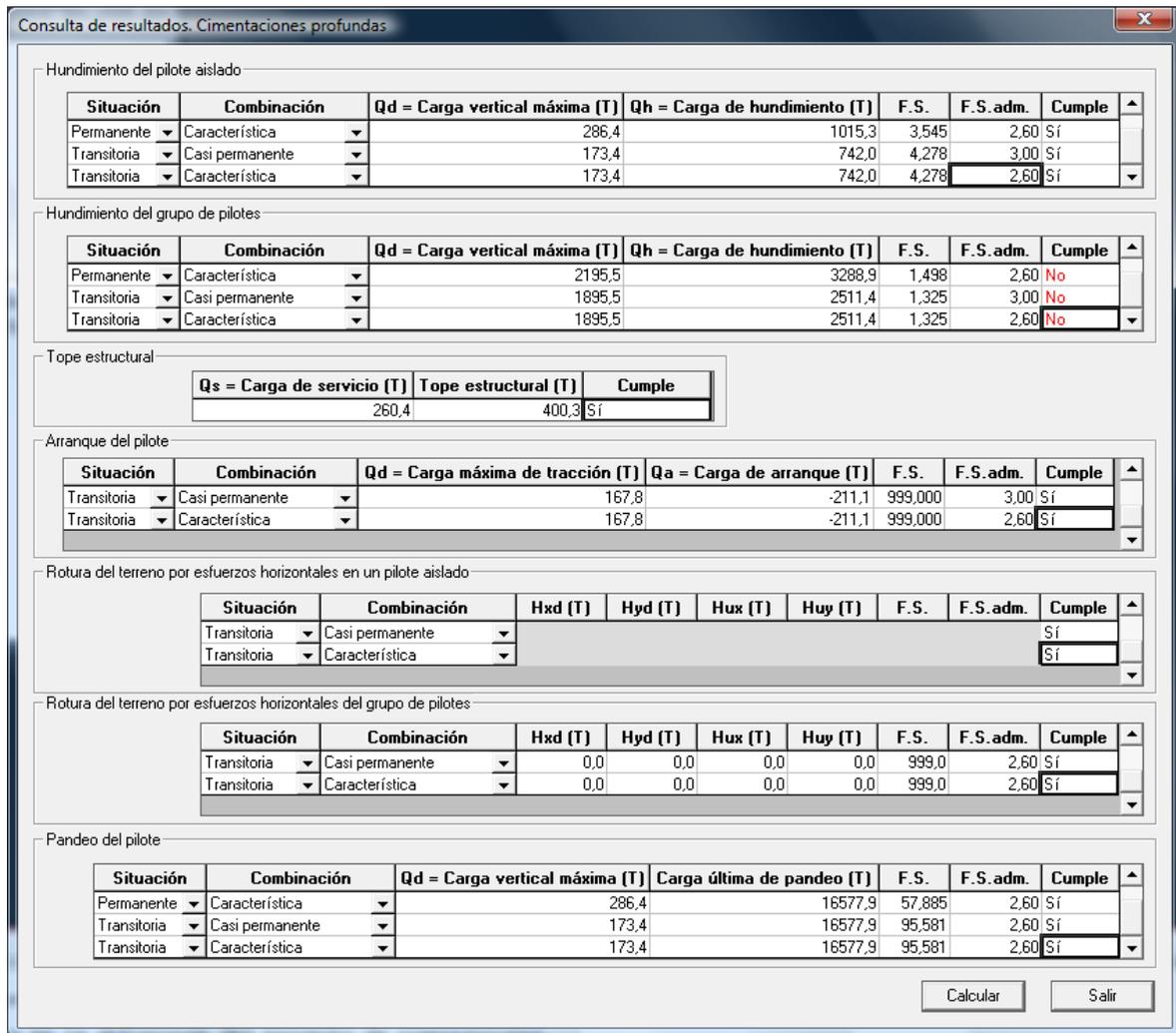


Figura 5.3-2: Diálogo de resultados ‘Consulta de resultados. ELU geotécnicos’ para cimentaciones profundas

Para cada estado límite y para cada situación y combinación se proporcionan los valores de los esfuerzos actuantes, los esfuerzos admisibles, el factor de seguridad obtenido (F.S.) y el factor de seguridad admisible (F.S. adm.) y finalmente si se cumple la verificación o no del estado límite.

5.4.- Consulta de esfuerzos

Esta opción está disponible únicamente para las cimentaciones profundas y permite consultar por pantalla los esfuerzos en el encepado o en los pilotes correspondientes a los estados límite estructurales.

Para consultar los esfuerzos en el encepado el usuario debe seleccionar la opción ‘Consulta de esfuerzos’ y después la opción ‘Encepado’, apareciendo en pantalla el siguiente diálogo:

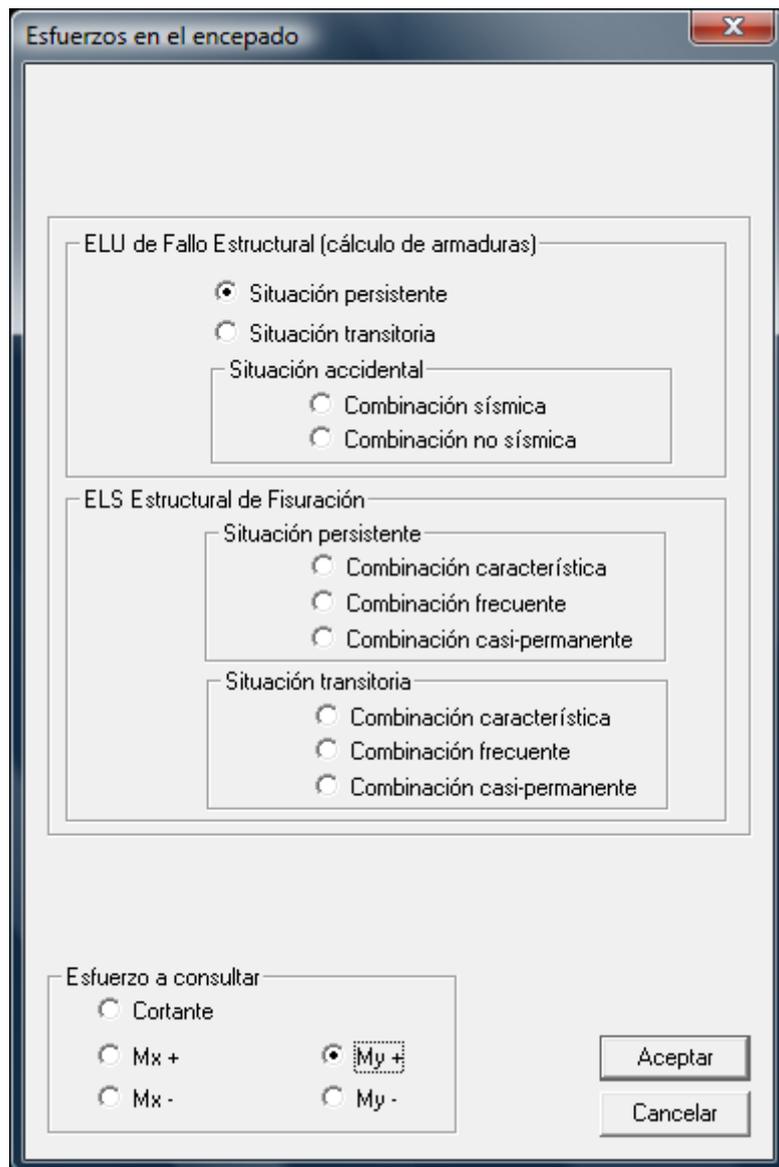


Figura 5.4-1: Diálogo ‘Consulta de esfuerzos / Encepado’

El usuario debe seleccionar para que estado límite (ELU de fallo estructural o ELS de fisuración) y para qué situación o combinación quiere obtener los esfuerzos, así como el esfuerzo a consultar (Cortante, M_x+ , M_x- , M_y+ , M_y-). Estos esfuerzos corresponde a los esfuerzos de Wood & Armer.

Los resultados se proporcionan en forma de cuadro referenciando cada esfuerzo a las coordenadas (x, y) de la zapata o encepado que se corresponden con los nodos de la discretización (ver figura 5.4-2).

Esfuerzos en el encepado. Estado límite último estructural. Situación persistente. Combinación característica

y/x	3.733	4.367	4.685	4.780	5.000	5.220	5.315	5.633	6.267	6.900	7.533	8.167
0.400	3,1	2,2	1,5	1,1	0,8	1,1	1,5	2,2	3,1	3,3	2,2	1,7
1.200	9,5	7,8	6,9	6,7	6,5	6,7	6,9	7,8	9,5	9,8	5,2	0,0
1.760	14,8	13,0	12,4	12,0	11,8	12,0	12,4	13,0	14,8	15,4	13,8	13,0
2.320	19,7	19,6	18,3	18,7	18,8	18,7	18,3	19,6	19,7	23,0	29,3	39,7
2.880	24,4	24,0	30,5	28,1	27,3	28,1	30,5	24,0	24,4	33,5	43,5	54,5
3.440	35,8	21,6	27,0	48,4	63,3	48,4	27,0	21,6	35,8	42,9	51,3	61,2
3.790	43,1	48,3	70,9	86,5	0,0	86,5	70,9	48,3	43,1	45,2	53,1	62,6
3.853	44,0	48,0	96,2	54,4	0,0	79,1	96,1	48,0	44,0	45,2	53,1	62,6
4.000	44,9	44,8	10,8	22,1	0,0	22,1	10,8	44,8	44,9	45,2	53,2	62,7
4.147	43,9	45,2	83,8	-15,7	0,0	6,9	83,8	45,2	43,8	44,9	52,9	62,5
4.210	42,8	44,7	58,9	73,8	0,0	73,8	58,9	44,7	42,8	44,8	52,9	62,5
4.560	34,1	17,5	22,9	43,0	56,9	43,0	22,9	17,5	34,1	42,2	50,9	60,9
5.120	22,4	21,5	27,8	25,7	25,1	25,7	27,8	21,5	22,4	32,5	42,9	54,2
5.680	18,2	18,2	17,1	17,4	17,5	17,4	17,1	18,2	18,2	22,0	28,6	39,4
6.240	13,9	12,3	11,7	11,4	11,2	11,4	11,7	12,3	13,9	14,6	13,2	12,8
6.800	9,1	7,4	6,6	6,4	6,2	6,4	6,6	7,4	9,1	9,3	4,8	0,0
7.600	3,1	2,1	1,5	1,1	0,8	1,1	1,5	2,1	3,1	3,2	2,1	1,6

Esfuerzo consultado en cada nodo (x,y): Mx+ (mT/m)

Salir

Figura 5.4-2: Cuadro de resultados de esfuerzos en el encepado

- Mx+ Esfuerzo flector positivo de eje X en mt/m
- Mx- Esfuerzo flector negativo de eje X en mt/m
- My+ Esfuerzo flector positivo de eje Y en mt/m
- My- Esfuerzo flector negativo de eje Y en mt/m
- Q Cortante ($\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}$) en t/m

El flector positivo produce tracciones en la fibra inferior del encepado).

El flector Mx es el que proporciona las armaduras dispuestas según el eje Y. El flector My es el que proporciona las armaduras dispuestas según el eje X.

Para consultar los esfuerzos en los pilotes el usuario debe seleccionar la opción ‘Consulta de esfuerzos’ y después la opción ‘Pilotes’, apareciendo en pantalla el siguiente diálogo:

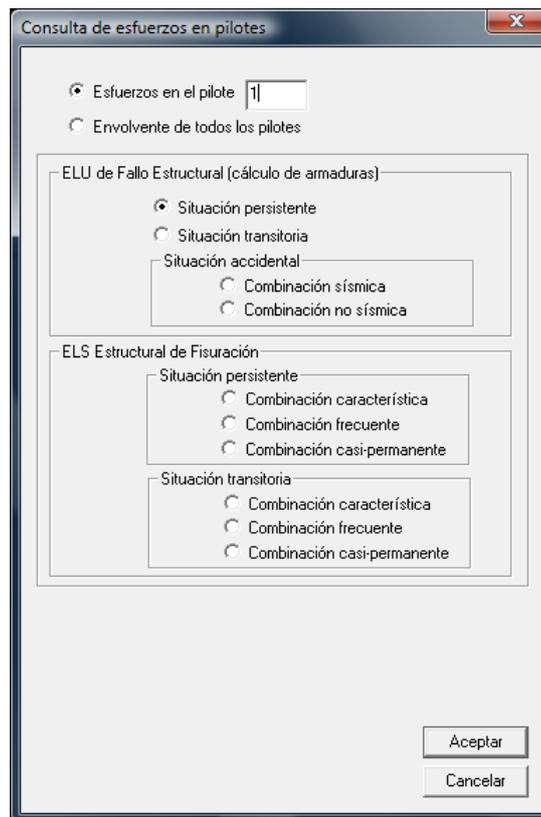


Figura 5.4-3: Diálogo ‘Consulta de esfuerzos / Pilotes’

El usuario debe seleccionar para que estado límite (ELU de fallo estructural o ELS de fisuración) y para qué situación o combinación quiere obtener los esfuerzos, así si quiere obtener los esfuerzos de un pilote determinado o bien la envolvente de todos los pilotes.

Los resultados se proporcionan en forma de cuadro, facilitando los esfuerzos correspondientes a $N +$, $N -$, $Q x +$, $Q x -$, $Q y +$, $Q y -$, $M t +$, $M t -$, $M x +$, $M x -$, $M y +$, $M y -$, en 21 secciones equidistantes del pilote, tal como se muestra en la figura 5.4-4.

Esfuerzos en los pilotes. Estado límite último estructural. Situación persistente. Combinación característica

Cota (m)	N+ (T)	N- (T)	Qx+ (T)	Qx- (T)	Qy+ (T)	Qy- (T)	Mt+ (mT)	Mt- (mT)	Mx+ (mT)	Mx- (mT)	My+ (mT)	My- (mT)
6,0	266,8	197,6	-0,0	-0,0	0,0	0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-7,9	-10,7
4,5	269,3	199,5	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0	0,0	10,8	8,0
3,0	271,8	201,4	-0,0	-0,0	0,0	0,0	-0,0	-0,0	10,9	8,1	0,0	0,0
1,5	274,4	203,2	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-8,1	-11,0	-0,0	-0,0
0,0	276,9	205,1	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0	0,0	11,1	8,2
-1,5	279,5	207,0	-0,0	-0,0	0,0	0,0	-0,0	-0,0	-8,3	-11,2	-0,0	-0,0
-3,0	282,0	208,9	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,0	-0,0	11,3	8,4	-0,0	-0,0
-4,5	284,6	210,8	-0,0	-0,0	0,0	0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	11,4	8,4
-6,0	287,1	212,7	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-8,5	-11,5
-7,5	289,7	214,6	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-8,6	-11,6
-9,0	292,2	216,4	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	11,7	8,7

Salir

Figura 5.4-4: Cuadro de resultados de esfuerzos en los pilotes

- N + Esfuerzo axil máximo positivo en toneladas
- N - Esfuerzo axil máximo negativo en toneladas
- Q x + Esfuerzo cortante máximo positivo en dirección X en toneladas
- Q x - Esfuerzo cortante máximo negativo en dirección X en toneladas
- Q y + Esfuerzo cortante máximo positivo en dirección Y en toneladas
- Q y - Esfuerzo axil máximo negativo en dirección Y en toneladas
- M t + Esfuerzo torsor máximo positivo en metros tonelada
- M t - Esfuerzo torsor máximo negativo en metros tonelada
- M x + Esfuerzo flector de eje X máximo positivo en metros tonelada
- M x - Esfuerzo flector de eje X máximo negativo en metros tonelada
- M y + Esfuerzo flector de eje Y máximo positivo en metros tonelada
- M y - Esfuerzo flector de eje Y máximo negativo en metros tonelada

El axil positivo supone compresión del pilote.

5.5.- Gráfica de esfuerzos

Esta opción está disponible únicamente para las cimentaciones profundas y permite consultar de forma gráfica los esfuerzos en el encepado o en los pilotes correspondientes a los estados límite estructurales.

Para obtener la gráfica de los esfuerzos en el encepado el usuario debe seleccionar la opción 'Gráfica de esfuerzos' y después la opción 'Encepado', apareciendo en pantalla el siguiente diálogo:

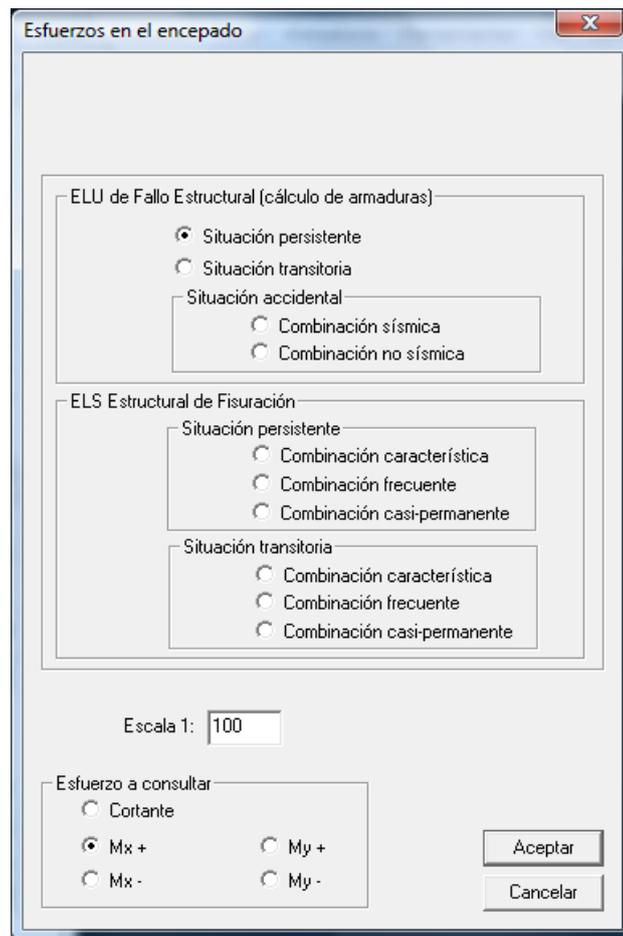


Figura 5.5-1: Diálogo ‘Gráfica de esfuerzos / Encepado’

El usuario debe seleccionar para qué estado límite (ELU de fallo estructural o ELS de fisuración) y para qué situación o combinación quiere obtener los esfuerzos, así como el esfuerzo a consultar (Cortante, M_x+ , M_x- , M_y+ , M_y-). Finalmente debe seleccionar la escala de la figura. Estos esfuerzos corresponde a los esfuerzos de Wood & Armer.

Los resultados se proporcionan gráficamente facilitando el esfuerzo en cada nodo de la discretización (ver figura 5.5-2).

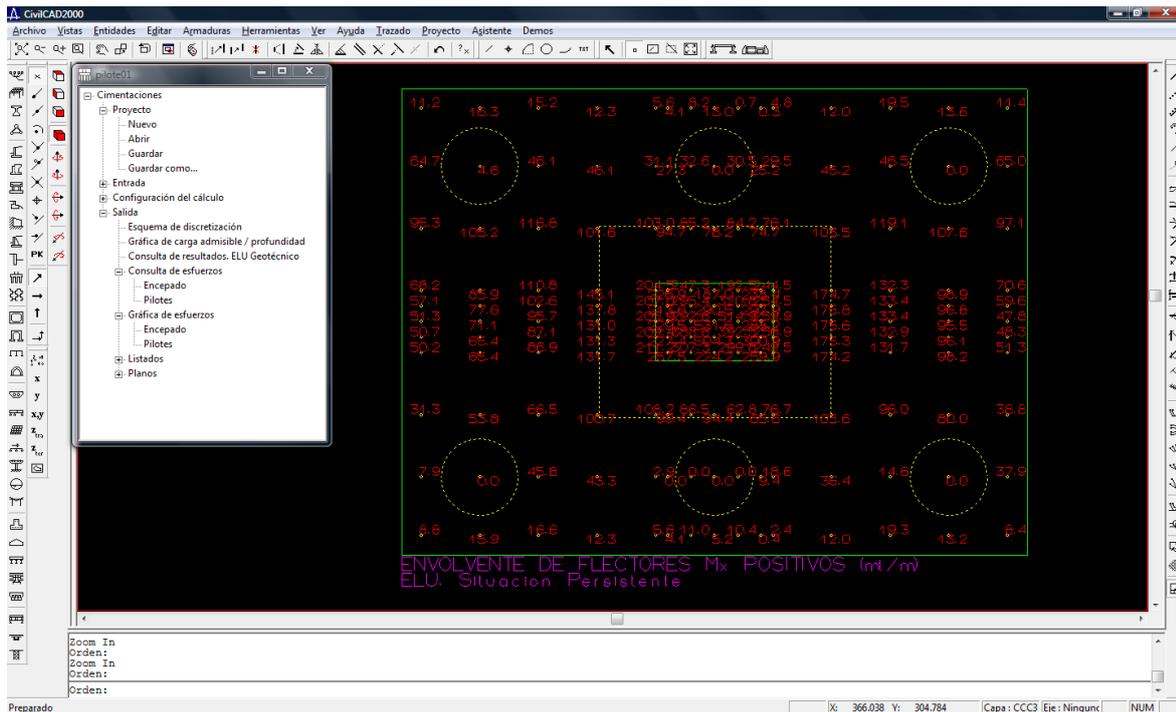


Figura 5.5-2: Gráfica de esfuerzos en el encepado

- Mx+ Esfuerzo flector positivo de eje X en mt/m
- Mx- Esfuerzo flector negativo de eje X en mt/m
- My+ Esfuerzo flector positivo de eje Y en mt/m
- My- Esfuerzo flector negativo de eje Y en mt/m
- Q Cortante ($\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}$) en t/m

El flector positivo produce tracciones en la fibra inferior del encepado).

El flector Mx es el que proporciona las armaduras dispuestas según el eje Y. El flector My es el que proporciona las armaduras dispuestas según el eje X.

Para consultar los esfuerzos en los pilotes el usuario debe seleccionar la opción ‘Gráfica de esfuerzos’ y después la opción ‘Pilotes’, apareciendo en pantalla el siguiente diálogo:

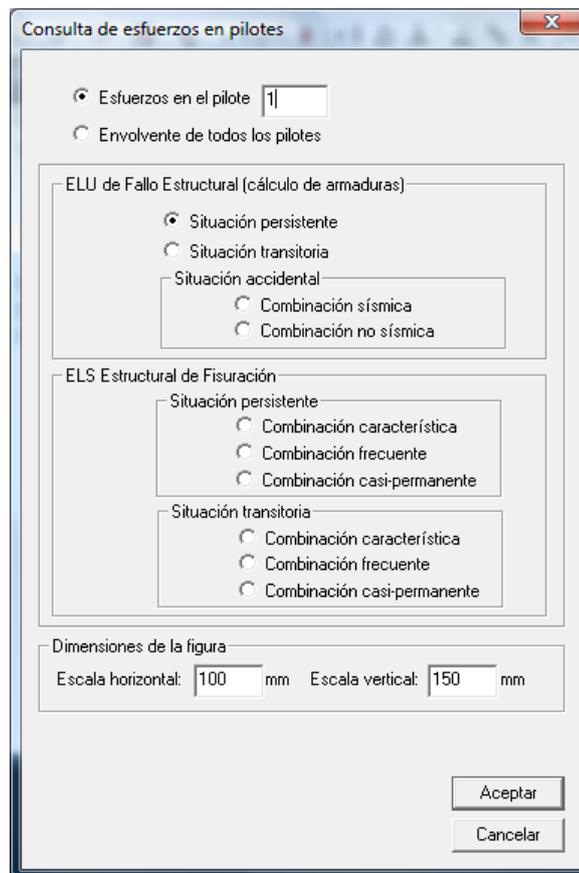


Figura 5.5-3: Diálogo ‘Gráfica de esfuerzos / Pilotes’

El usuario debe seleccionar para que estado límite (ELU de fallo estructural o ELS de fisuración) y para qué situación o combinación quiere obtener los esfuerzos, así si quiere obtener los esfuerzos de un pilote determinado o bien la envolvente de todos los pilotes. Así mismo debe introducir las dimensiones con las que se obtendrá la gráfica.

CivilCAD2000 genera cinco gráficas correspondientes al esfuerzo Axil, Cortante Q_x , Cortante Q_y , Momento torsor, Momento flector M_x y Momento flector M_y . En dichas gráficas se presentan los valores mínimos y máximos de cada esfuerzo, tal como se observa en la figura 5.5-4.

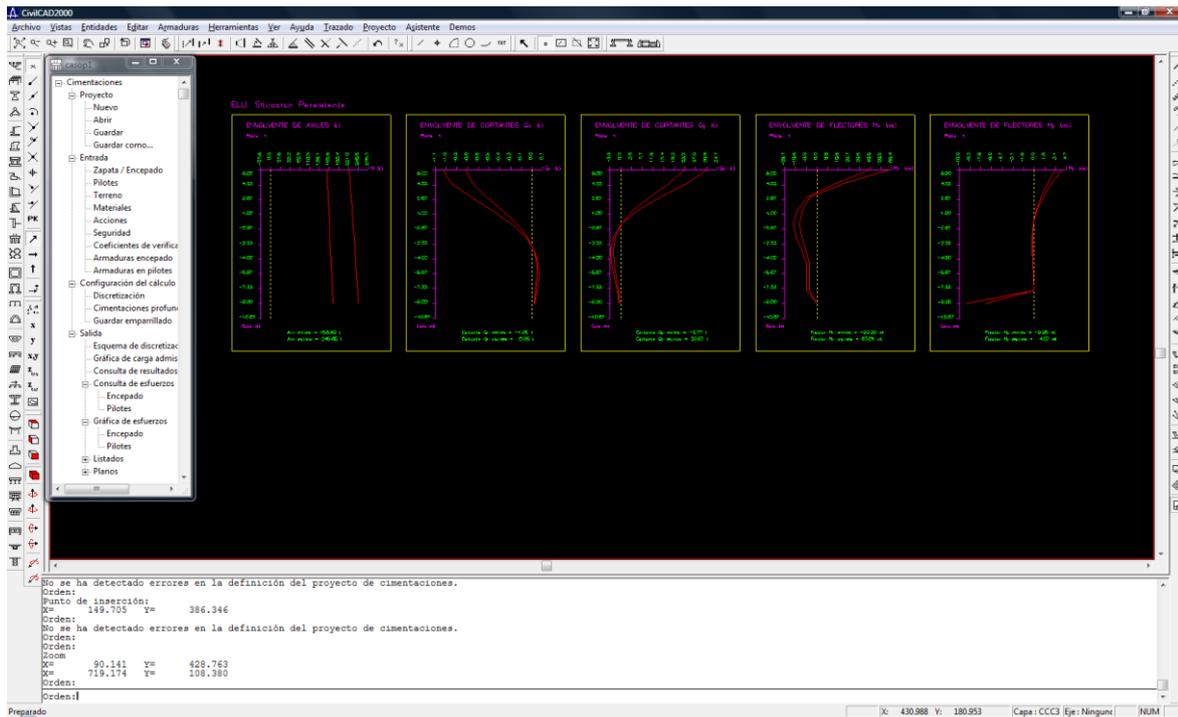


Figura 5.5-4: Gráfica de esfuerzos en los pilotes

- N + Esfuerzo axial máximo positivo
- N - Esfuerzo axial máximo negativo
- Qx + Esfuerzo cortante máximo positivo en dirección X
- Qx - Esfuerzo cortante máximo negativo en dirección X
- Qy + Esfuerzo cortante máximo positivo en dirección Y
- Qy - Esfuerzo axial máximo negativo en dirección Y
- Mx + Esfuerzo flector de eje X máximo positivo
- Mx - Esfuerzo flector de eje X máximo negativo
- My + Esfuerzo flector de eje Y máximo positivo
- My - Esfuerzo flector de eje Y máximo negativo

El axil positivo supone compresión del pilote.

5.6- Listados

CivilCAD2000 permite obtener dos tipos de listados. Un listado con las combinaciones de las acciones correspondientes a cada estado límite, situación y combinación de cálculo, y otro con la memoria de cálculo de la cimentación analizada.

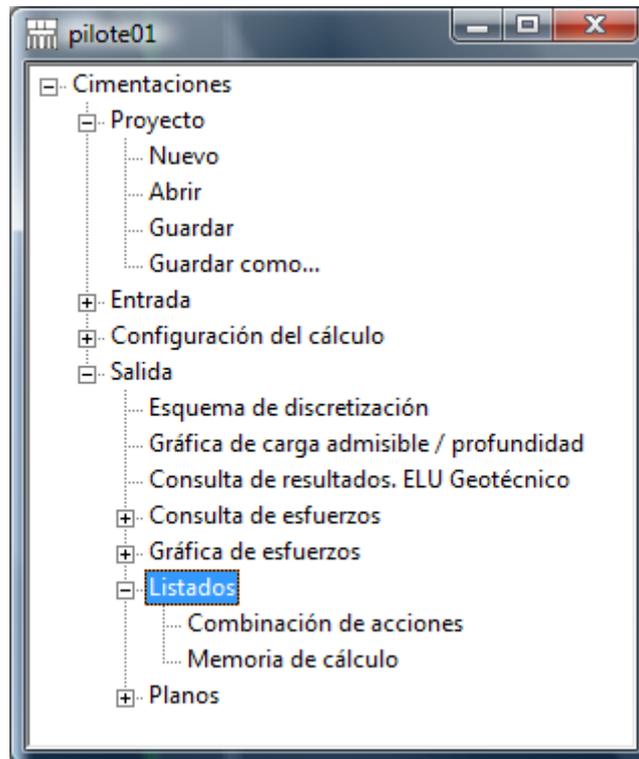


Figura 5.6-1: Diálogo ‘Listados’

5.6.1.- Combinación de acciones

Al seleccionar la opción ‘Listados / Combinaciones de acciones’ aparece en pantalla el siguiente diálogo:

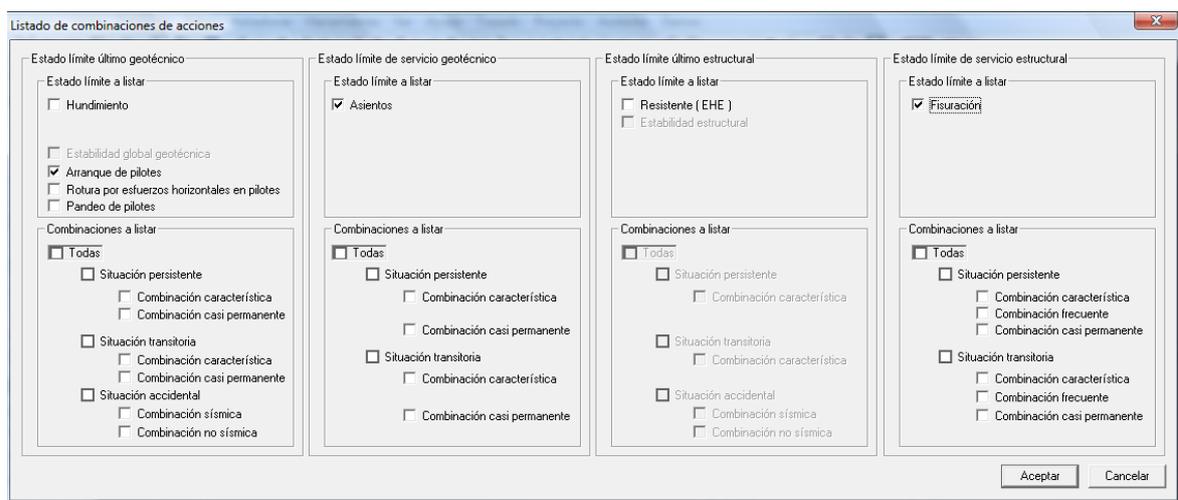


Figura 5.6.1-1: Diálogo ‘Combinación de acciones’

Mediante esta opción *CivilCAD2000* proporciona la lista de combinaciones de cálculo resultante de todas las combinaciones de acciones para la combinación y situación del estado límite que haya seleccionado el usuario. Estas combinaciones son las que utiliza *CivilCAD2000* para la verificación de cada estado límite.

Este listado se genera en un archivo con extensión ‘*txt*’.

5.6.2.- Memoria de cálculo

Al seleccionar la opción ‘Memoria’ aparece en pantalla un diálogo que permite configurar la información que se incluirán en la memoria. Este diálogo es ligeramente distinto para el caso de cimentaciones superficiales y profundas, tal como se aprecia en las figuras 5.6.2-1 y 5.6.2-2.

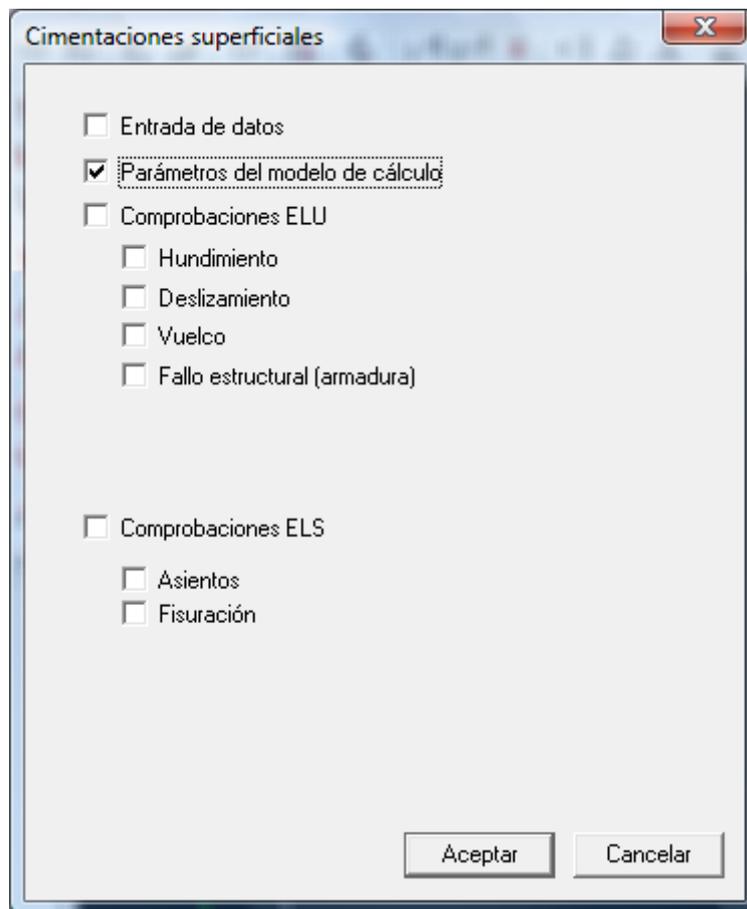


Figura 5.6.2-1: Diálogo ‘Memoria’ para cimentaciones superficiales

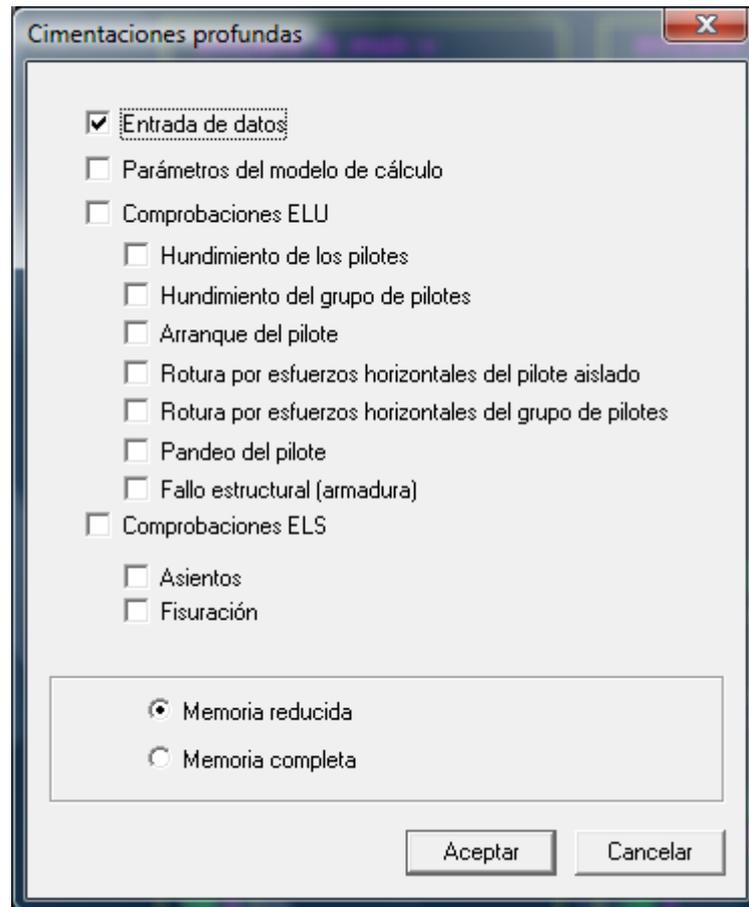


Figura 5.6.2-2: Diálogo 'Memoria' para cimentaciones profundas

El usuario debe marcar las salidas que desee que se incorporen a la memoria.

Entrada de datos: Si se selecciona esta opción se listarán todos los datos de la entrada de datos.

Parámetros del modelo de cálculo: En esta opción se listan los parámetros correspondientes al modelo de barras utilizado en el cálculo.

Comprobaciones en ELU y Comprobaciones en ELS: Se listarán las verificaciones correspondientes a los estados límites seleccionados.

En el caso de las cimentaciones profundas, el usuario debe definir si desea la **Memoria reducida** o bien la **Memoria completa**. En el primer caso, *CivilCAD2000* lista los esfuerzos y armaduras máximas y mínimas en encepado y pilotes de entre todas las combinaciones y situaciones de un estado límite. En el segundo caso se listarán los esfuerzos y armaduras para cada combinación y situación de cada estado límite seleccionado.

5.7.- Planos

CivilCAD2000 con la opción 'Planos' permite obtener los planos de geometría de la cimentación.

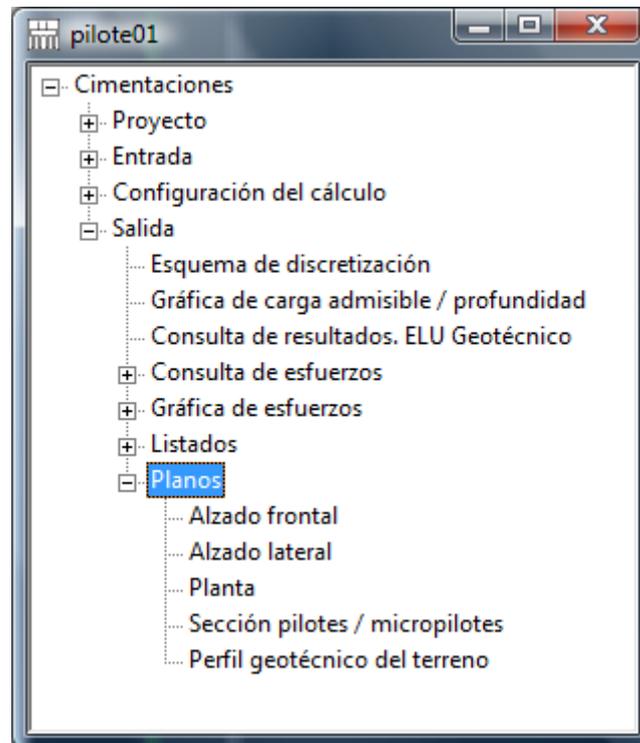


Figura 5.7-1: Diálogo 'Planos'

En concreto se pueden obtener las siguientes figuras:

- *Alzado frontal*

Al seleccionar la opción '*Alzado frontal*', el programa dibuja el alzado frontal acotado de la cimentación.

- *Alzado lateral*

Al seleccionar la opción '*Alzado lateral*', el programa dibuja el alzado lateral acotado de la cimentación.

- *Planta*

Al seleccionar la opción '*Planta*', el programa dibuja la planta acotada de la cimentación.

- *Sección pilotes / micro pilotes*

Al seleccionar la opción '*Sección pilotes / micro pilotes*', el programa dibuja la sección del pilote o micro pilote.

- *Perfil geotécnico del terreno*

Al seleccionar la opción '*Perfil geotécnico del terreno*', el programa dibuja el alzado lateral de la cimentación junto con el perfil geotécnico del terreno indicando los parámetros geotécnicos más representativos. Igualmente se dibuja el nivel freático.