

## Análisis de Capacidad portante horizontal de un pilote simple

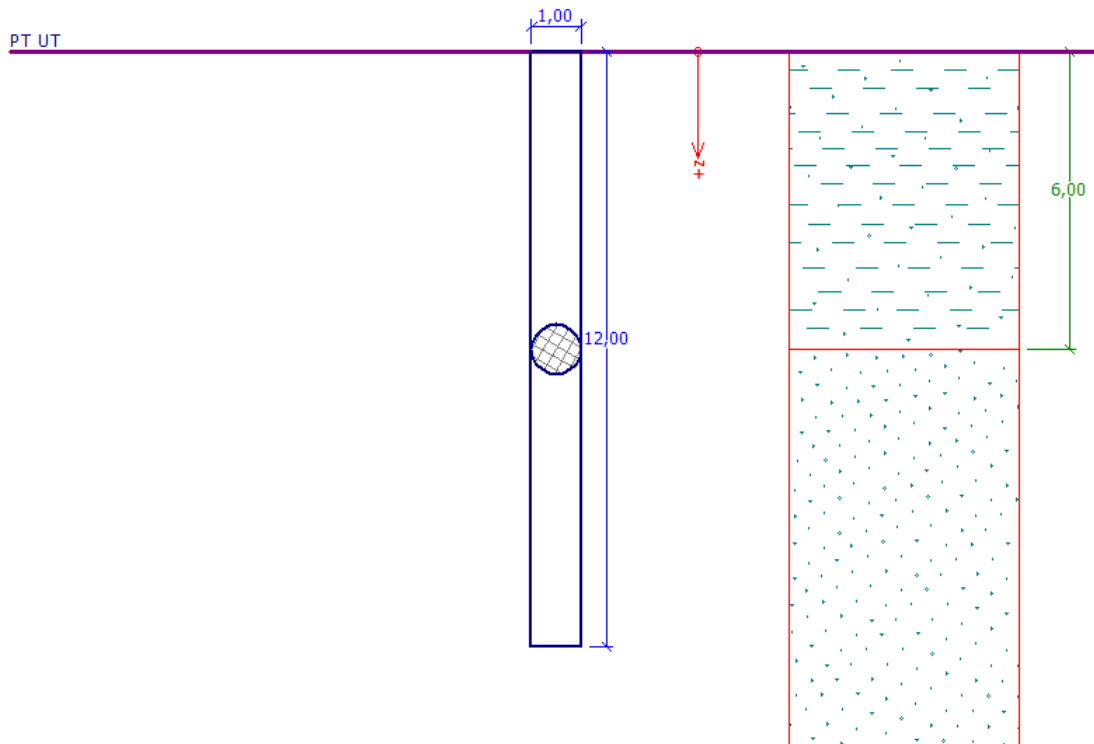
Programa: Pilote

Archivo: Demo\_manual\_16.gpi

El objetivo de este capítulo es explicar el uso del programa Pilote de GEO5 para el análisis de capacidad portante horizontal de un pilote simple

### Especificación del problema:

En normas generales el problema se describe en el un capítulo previo(12 *Pilotes de cimentación -Introducción*). Analiza la capacidad portante horizontal para un pilote simple como seguimiento al problema presentado en el capítulo 13. *Análisis de la capacidad portante vertical de un pilote simple*. La resultante de los componentes de carga  $N_1, M_{y,1}, H_{x,1}$  actúa a nivel de cabeza del pilote. Los cálculos de las dimensiones del pilote se llevan a cabo según la norma EN 1992- 1.



*Esquema Especificación del problema – Pilote simple*

### Solución:

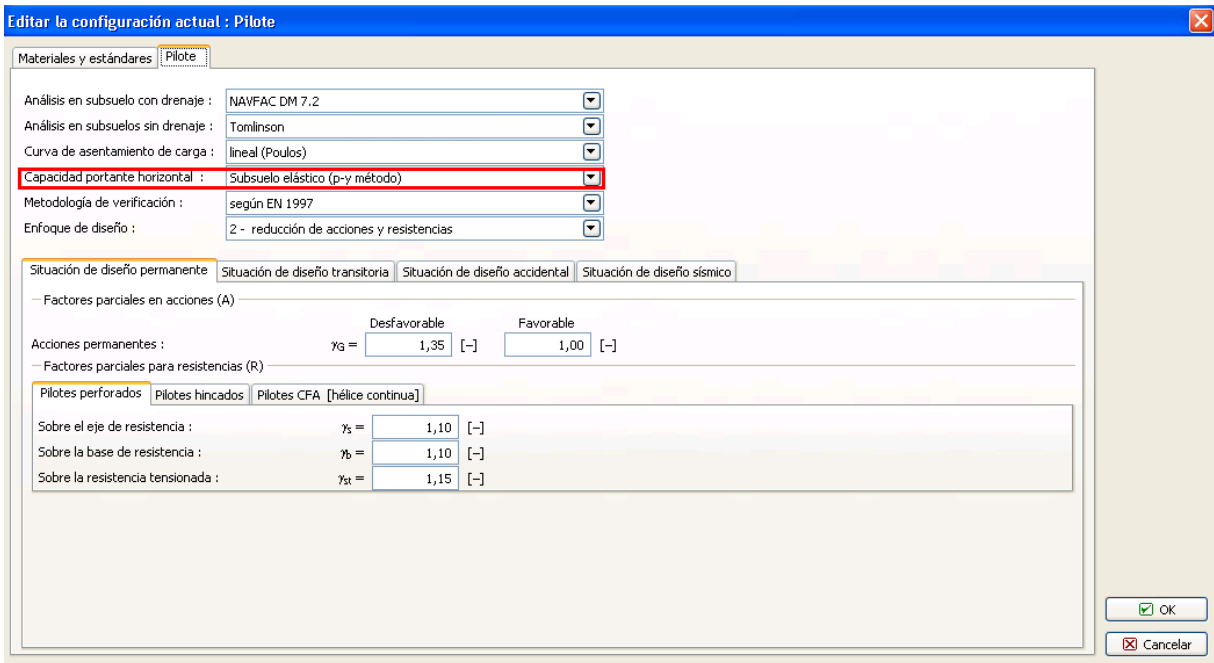
Vamos a aplicar el programa Pilote de GEO5 para el análisis de este problema. En el texto a continuación se describe la solución a este ejemplo paso a paso.

El pilote cargado lateralmente se analiza por el Método de Elementos Finitos como una viga apoyada en un medio elástico Winkler (*subsuelo Elástico - p-y método*). Los parámetros de los suelos a lo largo de la longitud del pilote se caracterizan por el módulo de reacción horizontal del subsuelo.

El programa contiene más posibilidades para determinar el módulo de reacción del subsuelo. Los métodos lineales (Linear, Matlock y Reese) son adecuados para suelos no cohesivos, mientras que los métodos con curso constante (Constante, Vesic) son más bien para suelos cohesivos. El método de cálculo para el módulo según CSN 73 1004 combina para ambos enfoques.

En la primera parte de este capítulo realizaremos los cálculos con el módulo constante de reacción del subsuelo, en la segunda parte vamos a comparar las diferencias existentes al utilizar otros métodos.

*Nota: Para el análisis de la capacidad portante vertical del pilote en el suelo homogéneo también es posible utilizar el [método Broms](#) (para más información, visita Ayuda - F1).*

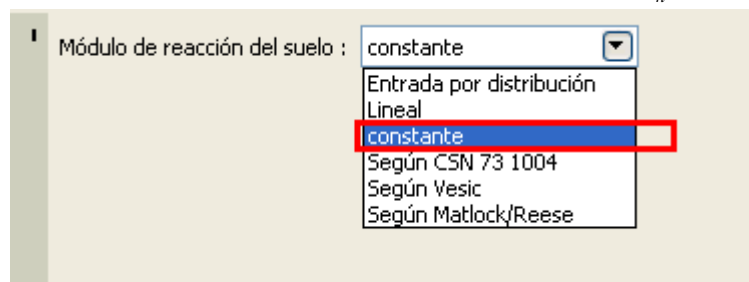


Configuración de análisis

### Definición de especificaciones:

La configuración general del análisis, los valores de las cargas especificadas y el perfil geológico incluyendo parámetros básicos relacionados con la resistencia de los suelos se mantienen sin cambios.

Seleccionamos el módulo "constante" en el cuadro "Módulo de  $k_h$ ".



Cuadro „Modulo de  $k_h$ ”

*Nota: El curso constante del módulo de reacción horizontal del subsuelo depende del módulo de deformación del suelo  $E_{def}$  [MPa] y del ancho del pilote reducido  $r$  [m] (para más detalles visite la Ayuda - F1).*

Luego, en los parámetros de los suelos, vamos a establecer el valor del ángulo de dispersión  $\beta$  [-] dentro del rango  $\frac{\varphi_{ef}}{4} - \varphi_{ef}$ . Por tanto, este coeficiente se determina en relación al tamaño del ángulo de fricción interna con el suelo (para más información, visita Ayuda - F1).

Suelo (Clasificación de suelo)	Unidad de peso $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Ángulo de fricción interna $\varphi_{ef}$ [°]	Ángulo de depresión $\beta$ [°]	Tipo de suelo
CS – Arcilla arenosa, consistencia firme	18,5	24,5	10,0	Cohesivo
S-F – Arena de grano fino, suelo de densidad media	17,5	29,5	15,0	Granular

*Tabla de parámetros del suelo – Capacidad portante horizontal de pilote simple*

En el cuadro de "Material", vamos a especificar las características del pilote - la unidad de peso de la estructura, el tipo de hormigón utilizado y el hormigón armado longitudinal para el dimensionado del tallo del pilote.

Peso unitario de la estructura :  $\gamma =$   [kN/m<sup>3</sup>]

Material de la estructura :

**Hormigón**

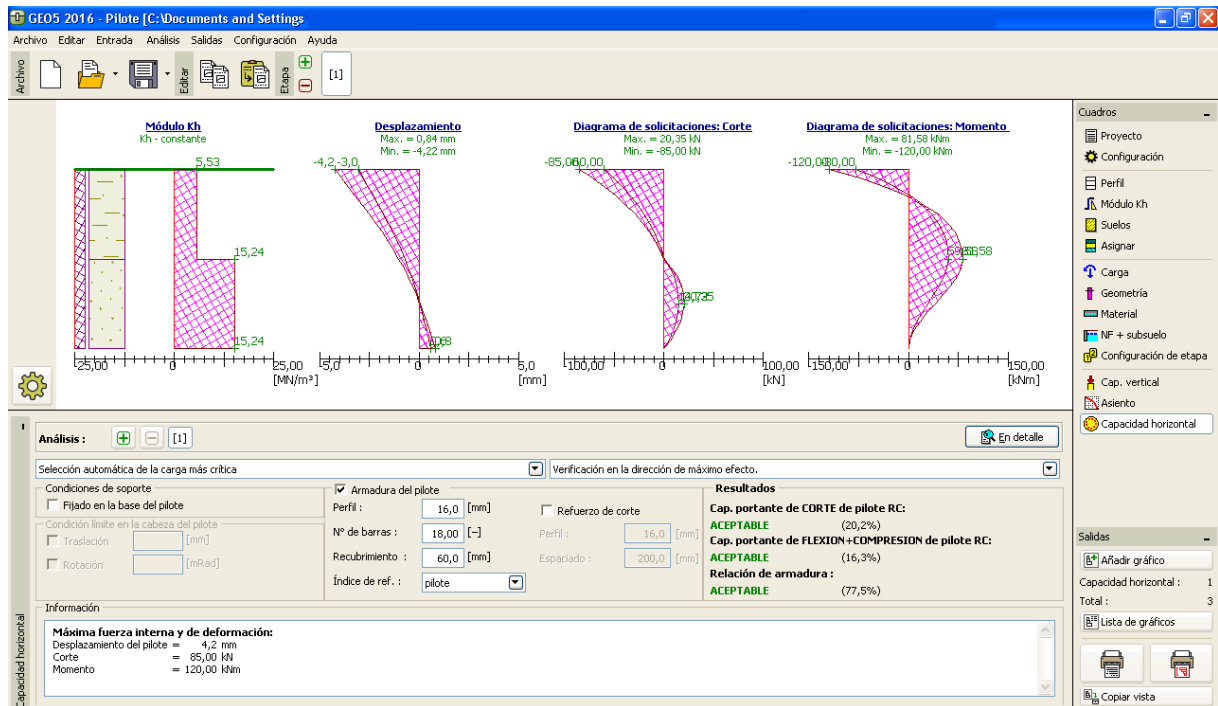
**C 20/25**  
 $f_{ck} = 20,00$  MPa  
 $f_{ctm} = 2,20$  MPa  
 $E_{cm} = 30000,00$  MPa  
 $G = 12500,00$  MPa

**Acero**

**B500**  
 $f_{yk} = 500,00$  MPa

*Cuadro „Material“*

Ahora vamos a pasar al cuadro "Capacidad Horizontal", donde se determina el valor de la deformación horizontal máxima en la cabeza del pilote, el curso de las fuerzas internas a lo largo de la longitud del pilote y los resultados del dimensionamiento del pilote para la evaluación del refuerzo de hormigón en la dirección del efecto máximo.



Cuadro „Capacidad portante horizontal”– Asentamiento por curso constante del módulo de  $k_h$

*Nota: La condición límite para el pilote fijado en la base del pilote se modela en primer lugar en el caso de extremos de resistencia de pilotes con bases en roca dura o subsuelo semi-rocoso (no es éste caso). Se aplican las condiciones límites en la cabeza del pilote cuando se utiliza la llamada carga de deformación, donde sólo la rotación angular y deformación en cabeza del pilote se establecen en el programa, sin establecer la carga de fuerza (para más información, visite la Ayuda - F1).*

En este cuadro llevamos a cabo el dimensionamiento del refuerzo del pilote. Vamos a diseñar refuerzo estructural longitudinal - **18 pcs Ø 16 mm** y el recubrimiento de hormigón mínimo de **60 mm**, que corresponde al grado de exposición ambiental XC1.

En el caso de ser resuelto consideramos la relación de refuerzo para el pilote simple cargado lateralmente según la norma CSN EN 1536: *Ejecución de las obras geotécnicas especiales - Pilotes perforados* (Tabla 4 - refuerzo mínimo de pilotes perforados). Esta posibilidad se establece en el programa "Pilote".

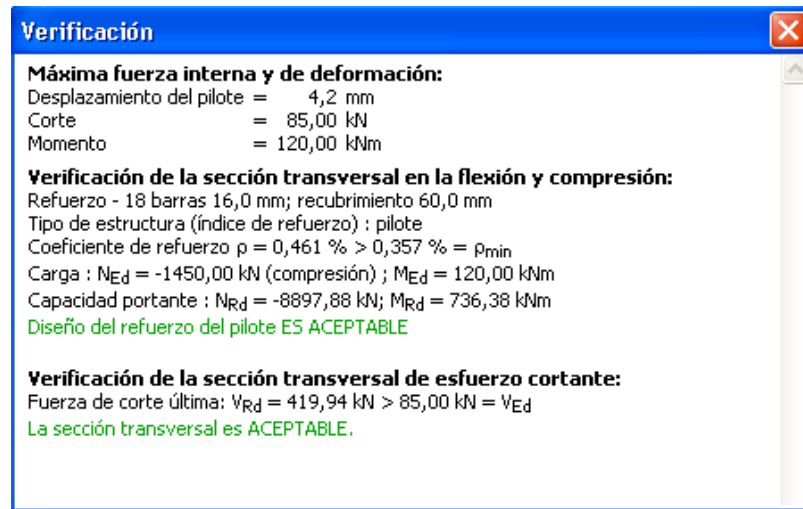
Área de sección transversal del pilote: $A_c [m^2]$	Área de refuerzo longitudinal: $A_s [m^2]$
$A_c \leq 0.5 m^2$	$A_s \geq 0.5 \% \cdot A_c$
$0.5 m^2 < A_c \leq 1.0 m^2$	$A_s \geq 0.0025 m^2$
$A_c > 1.0 m^2$	$A_s \geq 0.25 \% \cdot A_c$

„EN 1536: Tabla 4 – Refuerzo mínimo de pilote perforado”

*Nota: Es mejor para elementos comprimidos utilizar el coeficiente de refuerzo como si se tratara de una "columna", mientras que un "viga" es mejor para pilotes sometidos a flexión.*

Para una combinación de carga vertical y lateral la norma CSN EN 1536 establece el índice de refuerzo mínimo para pilotes correspondientes a la proporción del área de la sección de refuerzo al área de hormigón (para más información, visite la Ayuda - F1).

Observamos el uso de la sección transversal del pilote fijado y la condición del coeficiente de refuerzo mínimo en los resultados de dimensionamiento del pilote.



Cuadro – „Verificación (detallada)“

## Resultado del análisis

En el cuadro de verificación de un pilote simple cargado lateralmente, estamos interesados en los cursos de las fuerzas internas a lo largo de la longitud del pilote, las deformaciones máximas y el uso de la sección transversal del pilote. Para el **curso de la constante** de módulo de reacción horizontal del subsuelo  $k_h$  de los valores resultantes son los siguientes:

- Deformación máxima del pilote:	$u_{\max} = 4.2 \text{ mm}$	
- Fuerza de corte máxima:	$Q_{\max} = 85.0 \text{ kN}$	
- Momento de flexión máximo:	$M_{\max} = 120.0 \text{ kNm}$	
- RC Capacidad portante del pilote (presión -flexión):	16.3 %	ACEPTABLE.
- RC Capacidad portante del pilote (corte)	20.2 %	ACEPTABLE.
- Coeficiente del refuerzo del pilote:	77.5 %	ACEPTABLE.

## Comparación de resultados de los diferentes métodos en la determinación del módulo de reacción del subsuelo

Los valores y el curso del módulo de reacción horizontal del subsuelo  $k_h$  varían en función de los diferentes métodos de análisis utilizados y los parámetros de entrada del suelo, que afecta a:

- CONSTANTE:	ángulo de dispersión $\beta [-]$
--------------	----------------------------------

- LINEAL (Bowles): ángulo de dispersión  $\beta [-]$ ,  
coeficiente  $k [MN/m^3]$  según el tipo de suelo,
- Según la norma CSN 73 1004: suelo cohesivo, o no cohesivo,  
módulo de compresibilidad horizontal  $n_h [MN/m^3]$
- Según la norma VESIC: módulo de elasticidad  $E [MPa]$

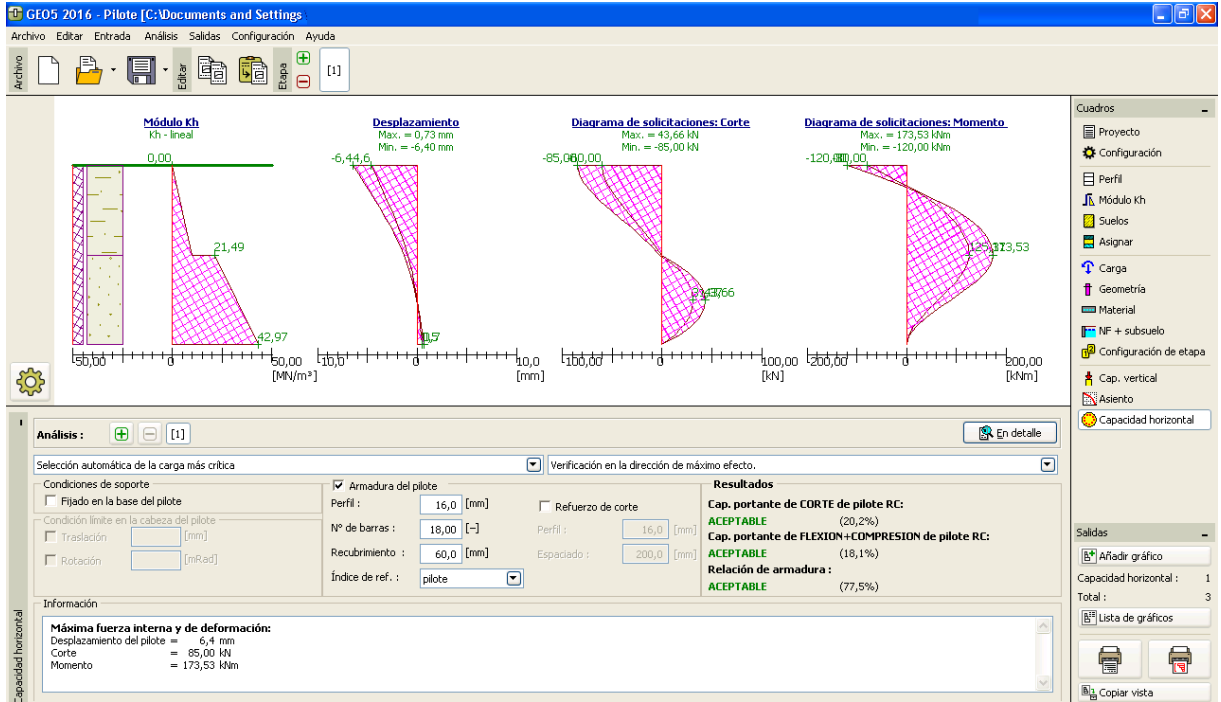
En este cálculo, vamos a configurar los valores de entrada en el programa utilizando la Ayuda (ver F1) de la siguiente manera:

Módulo de reacción del subsuelo $k_h [MN/m^3]$	Angulo de dispersión $\beta [-]$	Coeficiente $k [MN/m^3]$	Módulo de elasticidad $E [MPa]$	Módulo de compresibilidad horizontal $n_h [MN/m^3]$
CONSTANTE	10 – CS	---	---	---
	15 – S-F			
LINEAL (Bowles)	10 – CS	60 – CS	---	---
	15 – S-F	150 – S-F		
CSN 73 1004	Suelo Cohesivo – CS, consistencia firme			---
	Suelo Granular – S-F, densidad media			4,5
VESIC	---	---	5,0 – CS	---
			15,5 – S-F	

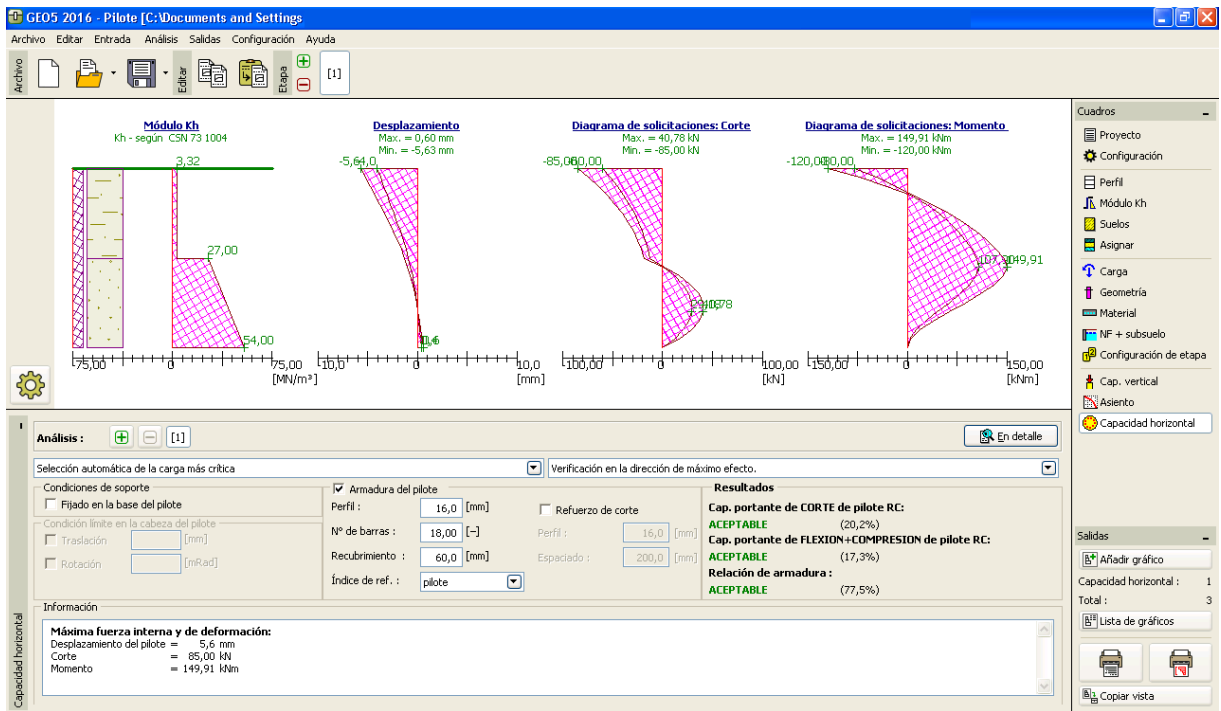
*Cuadro resumen de los parámetros del suelo para capacidad portante horizontal de un solo Pilote*

Ahora vamos a volver a la configuración de los datos de entrada, vamos a cambiar el método de cálculo del módulo de reacción horizontal del subsuelo y, a continuación vamos a añadir los parámetros restantes de los suelos. Vamos a llevar a cabo el procedimiento según siguientes métodos:

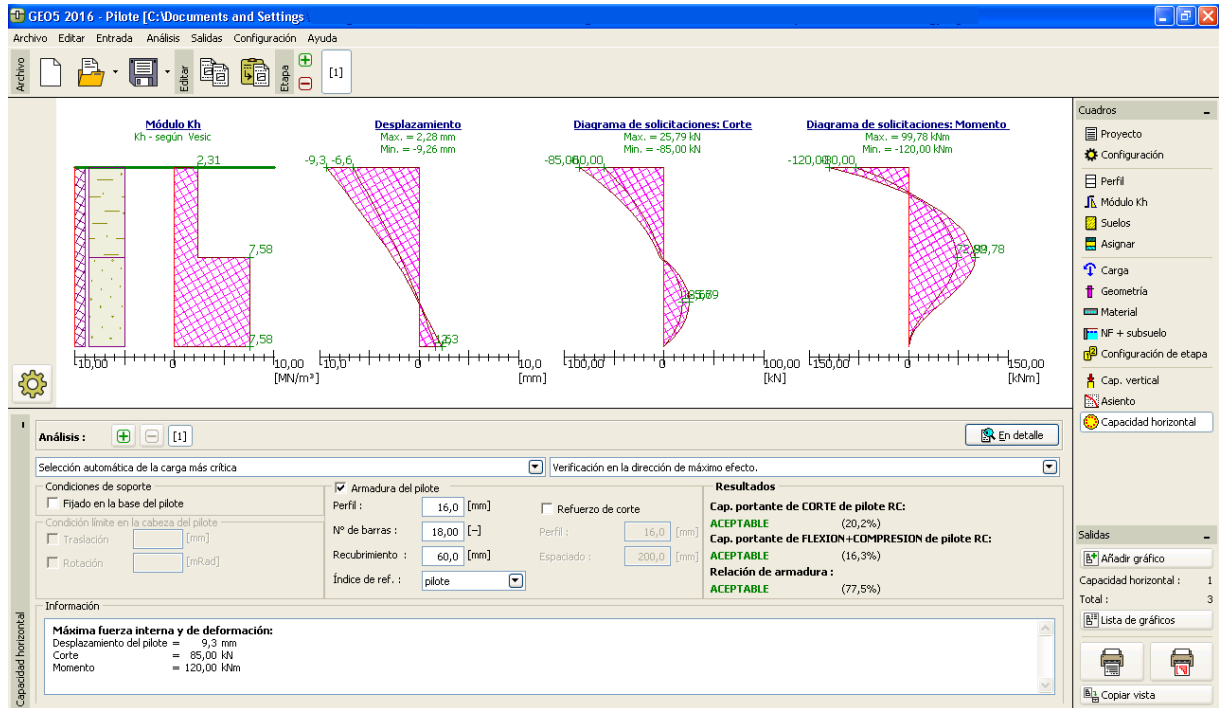
- utilizando el curso lineal (según Bowles),
- según CSN 73 1004,
- según Vesic.



Curso lineal del módulo de reacción horizontal del subsuelo  $k_h$ , fuerzas internas



Curso del módulo de reacción horizontal del subsuelo  $k_h$  según CSN 73 1004, fuerzas internas



Curso del módulo de reacción horizontal del subsuelo  $k_h$  según Vesic, fuerzas internas

## Los resultados del análisis de la capacidad portante horizontal de un pilote simple:

Los resultados del análisis de la capacidad portante horizontal de un pilote simple en relación al método utilizado para el cálculo del módulo de reacción horizontal del subsuelo  $k_h$  se presentan en la tabla siguiente:

Módulo de reacción de subsuelo $k_h$ [ $MN/m^3$ ]	Max. desplazamiento del pilote $u_{max}$ [mm]	Max. momento de flexión $M_{max}$ [kNm]	RC capacidad portante del pilote [%]
CONSTANTE	4.2	120.0	16.3
LINEAL (Bowles)	6.4	173.53	18.1
CSN 73 1004	5.6	149.91	17.3
VESIC	9.3	120.0	16.3

Resumen de los resultados - capacidad portante horizontal y dimensionamiento de un pilote simple

## Conclusión:

Se desprende de los resultados de los cálculos que los valores observados de las fuerzas internas a lo largo de la longitud del pilote y las deformaciones máximas en la cabeza del pilote son ligeramente diferentes, pero la influencia del método elegido del cálculo para el módulo de reacción del subsuelo no es crucial.