



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



DOCUMENTO Nº 4. CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

AUTOR: Fernández Morocho, Rubén

Tutor: Llopis Camps, Carlos

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



Contenido

1. Objeto	6
2. Descripción de las estructuras a ejecutar	6
3. Normativa de aplicación.....	7
4. Materiales	8
4.1. Micropilotes.....	8
4.1.1. Lechada.....	8
4.1.2. Armadura tubular.....	9
4.2. Muro de contención	9
4.2.1. Hormigón	9
4.2.2. Acero corrugado	10
4.3. Estructura existente	10
5. Perfil estratigráfico del terreno.....	10
5.1. Tensión admisible.....	11
5.2. Módulo de elasticidad	11
6. Consideraciones de cálculo	11
6.1. Hipótesis adoptadas	11
6.2. Coeficientes parciales de seguridad (comprobaciones estructurales)	13
6.2.1. Materiales	13
6.2.2. Acciones	14



6.2.3.	Combinación de acciones	14
6.3.	Coeficientes globales de seguridad (comprobaciones geotécnicas).....	15
6.3.1.	Coeficientes de seguridad globales	15
6.3.2.	Combinación de acciones	16
7.	Acciones.....	17
7.1.	Empujes del terreno	17
7.1.1.	Empuje activo	17
7.1.2.	Empuje pasivo	17
7.2.	Peso propio.....	18
7.3.	Carga muerta	18
7.4.	Sobrecarga de uso.....	19
7.4.1.	Fuerzas verticales	19
7.4.2.	Fuerzas horizontales	20
7.5.	Presión hidrostática	21
7.6.	Acción sísmica	21
8.	Fases constructivas - Situaciones de cálculo	21
8.1.	Situación de cálculo 1: Construcción (excavación del terraplén)	23
8.2.	Situación de cálculo 2: Puesta en servicio.....	24
9.	Comprobaciones realizadas	25
9.1.	Comprobaciones geotécnicas.....	25
9.1.1.	Hundimiento del micropilote	26



9.1.2.	Inestabilidad global del terreno	30
9.1.3.	Deslizamiento del muro	33
9.1.4.	Hundimiento del muro	34
9.1.5.	Vuelco del muro.....	34
9.2.	Comprobaciones estructurales	35
9.2.1.	Fallo estructural del micropilote – solo esfuerzo axil.....	35
9.2.2.	Fallo estructural del micropilote – combinación axil + flector + cortante.....	37
9.2.3.	Fallo de la conexión micropilote - estribo existente	42
9.2.4.	Armado del muro y la zapata	48
9.3.	Resultados	48

Apéndice 1: Resultados de cálculo de muros

1. Objeto

El objeto del presente Documento es la definición de las estructuras enmarcadas dentro de la Conexión dos tramos del Paseo Anselmo Balaguer de Cheste (Valencia) bajo el trazado de la CV-378, asegurando su estabilidad, resistencia y durabilidad con el paso del tiempo, así como la adecuación de las mismas al marco normativo existente.

2. Descripción de las estructuras a ejecutar

Se proyectan dos estructuras, por un lado el recalce del estribo por medio de micropilotes que transmitan todas las cargas actuantes sobre el tablero del puente al terreno que se encuentra bajo el terraplén que existe actualmente, y por otro lado el muro de contención de tierras que permitirá recortar el terraplén y conectar los dos tramos del paseo.

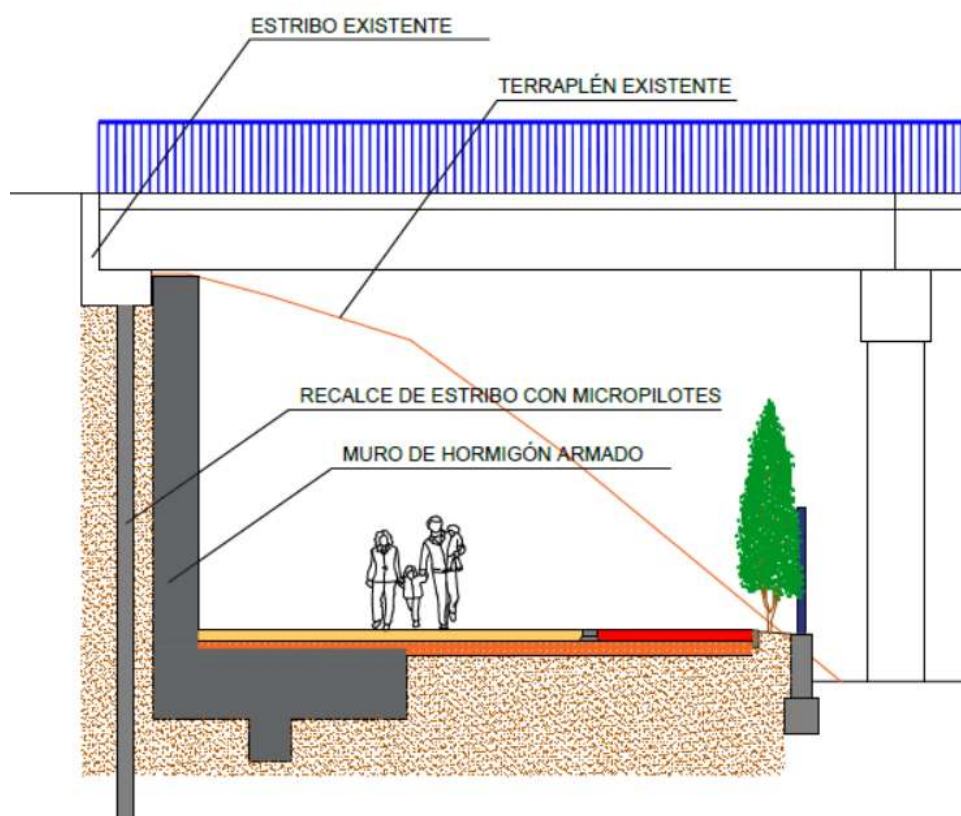


Ilustración 1. Croquis las estructuras proyectadas. Fuente: propia

El recalce del estribo se lleva a cabo mediante la ejecución de siete micropilotes de 22 metros de longitud. Estos micropilotes son de un diámetro nominal de 219,1 mm, cuentan con una armadura tubular de acero S355 de 168,3 mm de diámetro exterior y 9 mm de espesor, y se rellenan con una lechada de cemento de resistencia característica mínima de 30 MPa.

La conexión de los micropilotes con el estribo existente se lleva a cabo por medio de una placa de anclaje con cuatro cartelas verticales, que se sueldan a la armadura tubular del micropilote y se anclan al estribo por medio de cuatro anclajes de varilla roscada con resina.

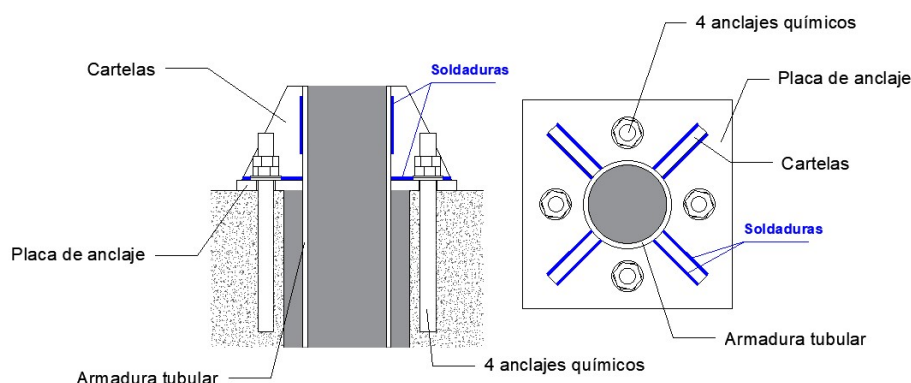


Ilustración 2. Anclaje de cabeza de micropilote a estribo existente. Fuente: propia

El muro de hormigón armado queda dividido en cinco tramos en función de su altura y las cargas que actúan sobre él, presentando cada uno de estos tramos una geometría y armados distintos. Todos ellos cuentan con una zapata inferior con tacón y se diseñan pensando que su alzado sea hormigonado contra el terreno. El hormigón empleado en este muro es un HA-30/B/20/Ila, y las armaduras de acero corrugado B500SD.

3. Normativa de aplicación

Se enumera a continuación la normativa que resulta de aplicación en el presente proyecto en el ámbito de estructuras.

- Código Estructural (deroga a EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural)
- NCSP-07 Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes
- Guía de cimentaciones en obras de carretera
- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera
- RPX-95 Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras
- Eurocódigo 2 Proyecto de estructuras de hormigón
- Eurocódigo 7 Proyecto geotécnico
- IAP-11 Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera



- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)
- Instrucción de Acero Estructural (EAE)

4. Materiales

4.1. Micropilotes

4.1.1. Lechada

Tanto los cementos y aditivos empleados como la propia lechada, cumplirán las especificaciones de las vigentes instrucciones para la Recepción de Cementos (RC), Hormigón Estructural (Código Estructural) y PG-3.

El cemento a emplear tendrá una clase resistente de al menos 42,5 N.

En caso de contener adiciones de polvo mineral o arena ($< \#2\text{mm}$), será en todo caso en cantidad inferior en peso al total de cemento de la mezcla.

Resistencia

Se requiere el empleo de una lechada de cemento de resistencia característica a compresión igual o superior a 30 MPa.

A siete días de edad, la resistencia será superior o igual al 60% de la requerida a 28 días, es decir, a 18 MPa.

Ambiente

Al tratarse de elementos que van a estar en contacto directo contra el terreno, que tal como se describe en el Anexo 4 Estudio Geotécnico no presenta ningún agente corrosivo fuera de lo común, y no existe en el entorno ninguna fuente de corrosión próxima, el ambiente será XC2 (IIa).

Recubrimiento

Se deberá asegurar que se materializa un recubrimiento de la armadura tubular por medio de centradores.

El recubrimiento mínimo será de 20 mm a lo largo de todo el micropilote, siendo por tanto necesario que el diámetro de la perforación sea al menos 40 mm superior al de la armadura tubular.



4.1.2. Armadura tubular

La armadura tubular estará conformada por perfiles huecos, de acero no aleado de grano fino. En caso de ser conformados en caliente deberá cumplir lo especificado en la norma UNE EN 10210, y en caso de ser conformado en frío lo especificado en UNE EN 10219.

El acero deberá ser clase S 355, o superior.

Los empalmes entre diferentes tramos de armadura tubular se efectuarán por soldadura o por roscado, siendo en todo caso la resistencia de las uniones igual o superior a la de la sección de la armadura tubular.

Reducción de espesor

En el cálculo de los micropilotes se ha tenido en cuenta una reducción del espesor de la armadura tubular por corrosión de la misma. De acuerdo con lo establecido en la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera, esta reducción, para unos micropilotes con vida útil de 50 años cimentados sobre suelos naturales sin alterar, la reducción de espesor r_e será de 0,60 mm.

4.2. Muro de contención

4.2.1. Hormigón

Resistencia

La resistencia característica de los hormigones a emplear en los muros es de 30 MPa.

Ambiente

Al tratarse de elementos que van a estar en contacto directo contra el terreno, que tal como se describe en el Anejo 4 Estudio Geotécnico no presenta ningún agente corrosivo fuera de lo común, y no existe en el entorno ninguna fuente de corrosión próxima, el ambiente será IIa.

Recubrimiento

El recubrimiento se ha calculado siguiendo los criterios dispuestos en el apartado 4.4.1 del Código Estructural, según los cual, para un ambiente XC2 (IIa según nomenclatura de la derogada EHE-08), una estructura de HA-30 con una vida útil de 50 años, empleando un cemento adecuado tiene una clasificación estructural S3.

Se obtiene, por tanto un recubrimiento mínimo por condiciones ambientales de 15 mm

Suponiendo que el diámetro máximo empleado será del 20, el recubrimiento mínimo por requisito de adherencia es de 20 mm.

Añadiendo 10 mm por posibles desviaciones, se calcula que el recubrimiento nominal debe ser en todas las estructuras superior a 30 mm.

En las zonas que se hormigonen contra el terreno, el recubrimiento será de 75 mm.

4.2.2. Acero corrugado

Se emplearán barras de acero corrugado B500SD.

4.3. Estructura existente

Se desconocen las características de los hormigones y aceros empleados, tanto en el tablero como en el estribo del puente. En los cálculos, se ha considerado que la resistencia del hormigón del estribo de será de mínimo de 15 MPa. Parece bastante probable que el hormigón tenga una resistencia igual o superior a esta dado que a pesar de que se trata de un paso superior con ya algunos años de antigüedad, la envergadura y el buen estado de esta hace pensar que se emplearon materiales de calidad en la época en que fue construido.

Será necesario en fase de ejecución la comprobación de esta resistencia mínima del hormigón del estribo existente.

5. Perfil estratigráfico del terreno

De acuerdo con las conclusiones obtenidas en el Anexo 1 Estudio Geotécnico, se muestra a continuación el perfil estratigráfico existente en la zona de estudio:

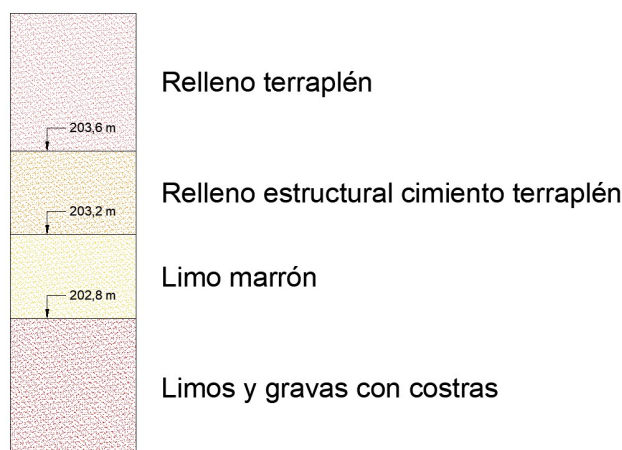


Ilustración 3. Perfil estratigráfico del terreno. Fuente: propia

Las principales características de cada uno de los estratos se detallan en la siguiente tabla:

	Peso específico aparente γ (kN/m ³)	Ángulo de rozamiento interno efectivo ϕ' (°)	Cohesión efectiva c' (kPa)
Relleno terraplén	21	31	15
Relleno estructural cimiento terraplén	22	31	15
Limo marrón	19,5	29	10
Limos y gravas con costras	21	33	75

Tabla 1. Características del terreno existente. Fuente: propia

5.1. Tensión admisible

Se adoptan los siguientes valores, obtenidos en el Anexo 1 Estudio geotécnico.

	Tensión admisible puntual σ_{adm} (kPa)
Limo marrón	150
Limos y gravas con costras	300

Tabla 2. Tensión admisible del terreno existente. Fuente: propia

5.2. Módulo de elasticidad

Respecto al módulo de elasticidad del terreno, se adopta el valor de 23,5 MPa para el estrato de limos y gravas con costras, tal como se define en el Anexo 1 Estudio geotécnico.

6. Consideraciones de cálculo

6.1. Hipótesis adoptadas

Para la justificación de la resistencia y estabilidad de las estructuras proyectadas, se han asumido una serie de hipótesis que a continuación se detallan:

- 1) Se ha considerado que todas cargas (verticales y horizontales) que actúan sobre el paso superior (tablero y estribo) se transmiten directamente a través de los micropilotes, sin inducir ningún esfuerzo adicional sobre el muro de contención.
- 2) Por su parte, se ha considerado que la totalidad de los empujes del terreno son resistidos por el muro, sin afectar al comportamiento y estado tensional de los micropilotes, más que la coacción lateral de estos.
- 3) Debido al desconocimiento de las dimensiones, el armado y el estado del estribo flotante existente, no es posible deducir el modo en el que este reparte las cargas en el ancho del tablero del puente. Por este motivo, el cálculo de la carga que actúa en la cabeza de cada micropilote se ha realizado despreciando la rigidez del estribo.

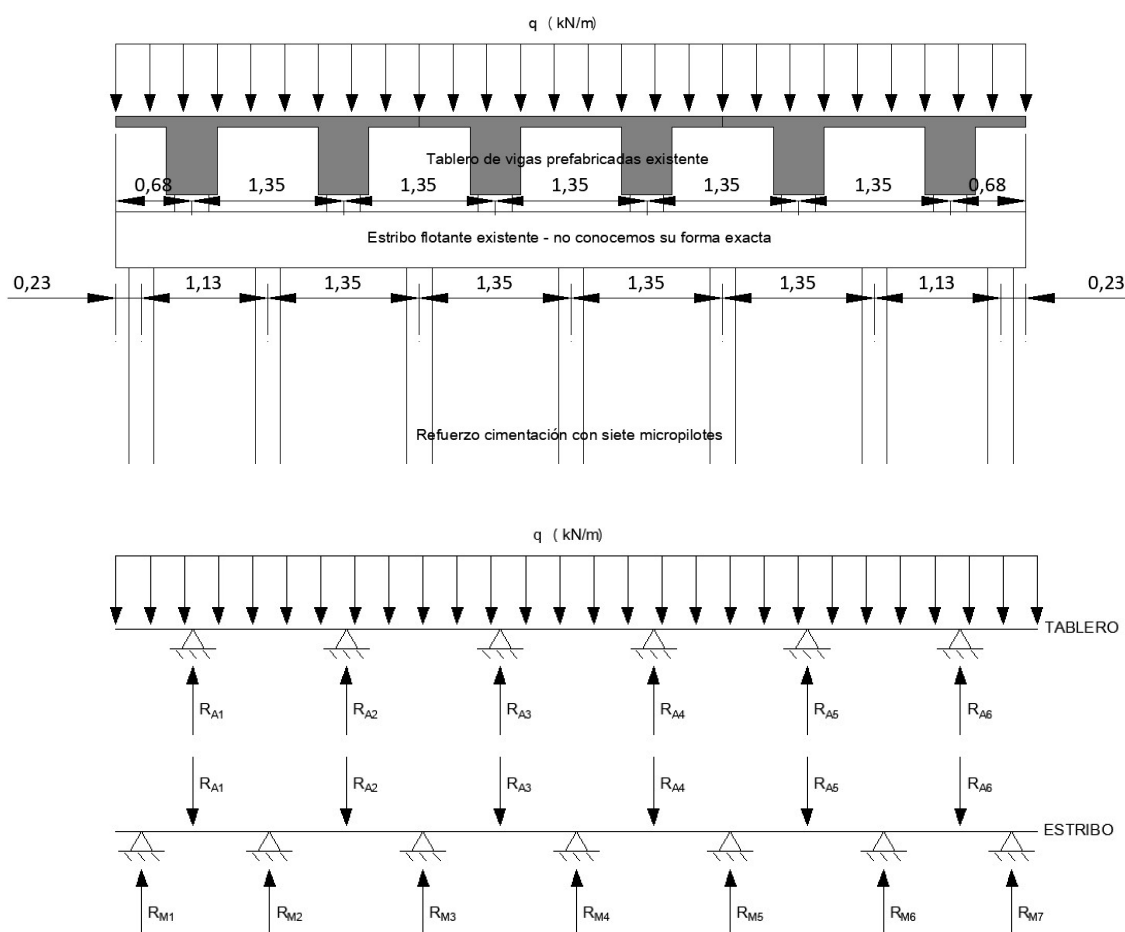


Ilustración 4. Reparto de cargas actuantes sobre el tablero. Fuente: propia

De este modo, el reparto de las cargas actuantes sobre el tablero queda repartido del siguiente modo entre los seis apoyos de neopreno:

$$R_{A1} = R_{A6} = \left(0,68 + \frac{1,35}{2}\right) \cdot q = 1,35 \cdot q$$

$$R_{A2} = R_{A3} = R_{A4} = R_{A5} = \left(\frac{1,35}{2} + \frac{1,35}{2}\right) \cdot q = 1,35 \cdot q$$

Y con ello, las acciones que actuarán sobre cada micropilote serán:

$$R_{M1} = R_{M7} = \frac{R_{A1}}{2} = 0,68 \cdot q$$

$$R_{M2} = R_{M3} = R_{M4} = R_{M5} = R_{M6} = \frac{R_{A1}}{2} + \frac{R_{A2}}{2} = 1,35 \cdot q$$

La carga máxima que recibirá cada micropilote será la correspondiente a la que actúa sobre el tablero en un ancho de 1,35 m, quedando los dos micropilotes extremos cargados con la mitad de esta carga. En caso de contar con la rigidez del estribo, la carga se repartiría y el ancho tributario del micropilote más cargado, sería en todo caso inferior.

En cuanto al reparto de fuerzas puntuales concentradas, observamos que cuando estén aplicadas sobre uno de los apoyos del tablero, transmitirán un 50% de la misma a cada uno de los dos pilotes situados en los laterales del apoyo, tanto para los micropilotes centrales como para los de los extremos.

4) Respecto a las cargas que actúan sobre la cabeza del talud una vez se sobrepasa el estribo del puente y se sitúan sobre el terreno, se ha supuesto la existencia de una losa de transición de 2 metros de ancho que reparte en todo su ancho cualquier carga puntual aplicada sobre ella. Esto cobra relevancia en cuanto a la aplicación de la carga puntual de tráfico en el cálculo del muro de contención en la zona que se encuentra bajo el tablero del paso superior.

6.2. Coeficientes parciales de seguridad (comprobaciones estructurales)

Para las comprobaciones relativas a la resistencia de los elementos que componen las estructuras proyectadas, se emplea una metodología basada en coeficientes parciales de seguridad, reduciendo la resistencia de cálculo de las mismas y aumentando las cargas aplicadas, para de ese modo introducir las incertidumbres derivadas del cálculo y las hipótesis adoptadas.

6.2.1. Materiales

Se adopta un coeficiente de seguridad de la resistencia del hormigón de $\gamma_c = 1,5$ conforme a lo dispuesto en el Código Estructural.

Se adopta un coeficiente de seguridad de la resistencia del acero de $\gamma_s = 1,15$ conforme a lo dispuesto en el Código Estructural.

6.2.2. Acciones

Para el cálculo de la resistencia de los elementos de hormigón, se ha empleado un método basado en la aplicación de coeficientes parciales de seguridad.

Los coeficientes de mayoración de acciones, de acuerdo con lo dispuesto en el la IAP-11 son de $\gamma_G = 1,35$ para las acciones permanentes (empuje de tierras, peso propio, carga muerta y presión hidrostática) y de $\gamma_Q = 1,5$ para las acciones variables (sobrecarga de uso).

6.2.3. Combinación de acciones

Se adoptan las combinaciones especificadas en la IAP-11.

En situación persistente o transitoria

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

donde:

- $G_{k,j}$ valor característico de cada acción permanente
- $G_{k,m}^*$ valor característico de cada acción permanente de valor no constante
- $Q_{k,1}$ valor característico de la acción variable dominante
- $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ valor de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante
- γ_G, γ_Q coeficientes parciales

En situación sísmica

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} G_{k,m}^* + \psi_{2,1} Q_{k,1} + A_{Ed}$$

donde:

- $G_{k,j}$ valor representativo de cada acción permanente
- $G_{k,m}^*$ valor representativo de cada acción permanente de valor no constante
- $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ valor casi-permanente de la sobrecarga de uso (según *tabla 6.1-a*)
- A_{Ed} valor de cálculo de la acción sísmica

Donde los valores de combinación de las distintas acciones se calculan conforme a lo indicado en la siguiente tabla:

ACCIÓN			ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga de uso	gr 1, Cargas verticales	Vehículos pesados	0,75	0,75	0
		Sobrecarga uniforme	0,4	0,4	0 / 0,2 ⁽¹⁾
		Carga en aceras	0,4	0,4	0
	gr 2, Fuerzas horizontales		0	0	0
	gr 3, Peatones		0	0	0
	gr 4, Aglomeraciones		0	0	0
	Sobrecarga de uso en pasarelas		0,4	0,4	0
Viento	F_{wk}	En situación persistente	0,6	0,2	0
		En construcción	0,8	0	0
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	T_k		0,6	0,6	0,5
Nieve	$Q_{Sn,k}$	En construcción	0,8	0	0
Acción del agua	W_k	Empuje hidrostático	1,0	1,0	1,0
		Empuje hidrodinámico	1,0	1,0	1,0
Sobrecargas de construcción	Q_c		1,0	0	1,0

(1) El factor de simultaneidad ψ_2 correspondiente a la sobrecarga uniforme se tomará igual a 0, salvo en el caso de la combinación de acciones en situación sísmica (apartado 6.3.1.3), para la cual se tomará igual a 0,2.

Tabla 3. Coeficientes de combinación. Fuente: IAP-11

6.3. Coeficientes globales de seguridad (comprobaciones geotécnicas)

6.3.1. Coeficientes de seguridad globales

Por otro lado, tal como se especifica en la Guía de Cimentaciones para Obras de Carretera, para las comprobaciones de estabilidad de la cimentación de la estructura, se ha utilizado un método basado en coeficientes de seguridad globales. Esto significa que para estas comprobaciones no se han tomado en cuenta los coeficientes de seguridad citados en los anteriores apartados.

Los coeficientes de seguridad empleados son los siguientes:

MODO DE FALLO	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE(*) F_1	COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA F_2	COMBINACIÓN ACCIDENTAL F_3	MÉTODO DE EVALUACIÓN (APARTADO DE ESTA GUÍA)
Estabilidad global	1,50	1,30	1,10	4.4 ⁽¹⁾ , 5.2.1 ⁽²⁾
Hundimiento	3,00	2,60	2,20	4.5 ⁽¹⁾ , 5.10 ⁽²⁾
Deslizamiento	1,50	1,30	1,10	4.6 ⁽¹⁾
Resistencia horizontal	3,00	2,60	2,20	5.12 ⁽²⁾
Vuelco plástico	1,50	1,30	1,10	4.7 ⁽¹⁾
Vuelco rígido	2,00	1,80	1,50	4.7 ⁽¹⁾

(*) Como valor del coeficiente de seguridad para la combinación de acciones casi permanente, en situaciones transitorias y de corto plazo, podrá adoptarse el coeficiente de seguridad F_2 (véase apartado 2.10).

⁽¹⁾ Sólo en cimentaciones superficiales.

⁽²⁾ Sólo en cimentaciones profundas.

Tabla 4. Coeficientes de seguridad globales. Fuente: Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera

6.3.2. Combinación de acciones

Se consideran tres posibles combinaciones de acuerdo con la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera:

Combinación casi permanente:

Acciones permanentes: valor característico = G_k

Acciones variables: valor casi permanente = $\psi_2 Q_k$

Combinación característica:

Acciones permanentes: valor característico = G_k

Acción variable dominante: valor característico = Q_k

Otras acciones variables concomitantes: valor de combinación = $\psi_0 Q_k$

Combinación sísmica

Acciones permanentes: valor característico = G_k

Acción sísmica: valor característico = A_k

Acciones variables concomitantes: valor casi permanente = $\psi_2 Q_k$

Siendo los coeficientes de combinación los mismos indicados en la IAP-11 y en la Tabla 3.

7. Acciones

7.1. Empujes del terreno

Se han considerado los empujes que ejerce el terreno sobre el trasdós del muro, sin considerar el incremento en los mismos producido por la sobrecarga del puente dado que la misma, como se ha indicado anteriormente, se supone soportada en su totalidad por los micropilotes.

7.1.1. Empuje activo

Los empujes activos que aparecen en el trasdós se han calculado aplicando la teoría de Coulomb, siendo la fórmula de cálculo del coeficiente de empuje la siguiente:

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

Donde:

α es el ángulo del paramento del muro con la horizontal

φ es el ángulo de rozamiento interno del terreno

δ es el ángulo de rozamiento muro-terreno, que se considera de acuerdo con el Anexo 1 Estudio geotécnico, igual a $0,8 \varphi'$.

β es el ángulo de talud del terreno en el trasdós.

Con este coeficiente, el empuje activo producido en el trasdós por el peso del terreno se calcula como:

$$P_h = \gamma z \lambda_h - 2 c \sqrt{\lambda_h} \cos \delta$$

7.1.2. Empuje pasivo

Se ha decidido del lado de la seguridad no considerar el empuje pasivo actuante en la puntera de la zapata. Se debe obviar el efecto de este empuje, dado que existe la posibilidad de que se dé la situación en que se excave una zanja, o se dispongan de canalizaciones de servicio próximas a la zona de la puntera anulando la acción de dicho empuje, además de que para la movilización de este

tipo de empuje, resulta necesario que haya un desplazamiento en el muro, lo que no resulta conveniente.

Esta consideración queda del lado de la seguridad y cumple con todas las recomendaciones establecidas en la normativa de aplicación.

7.2. Peso propio

El peso propio de los elementos estructurales de hormigón armado se ha calculado con un peso específico de 2500 kg/m^3 .

Se ha estimado el peso del mismo, sin realizar una investigación más detallada, como el de una sección maciza de hormigón, de siguiente geometría.

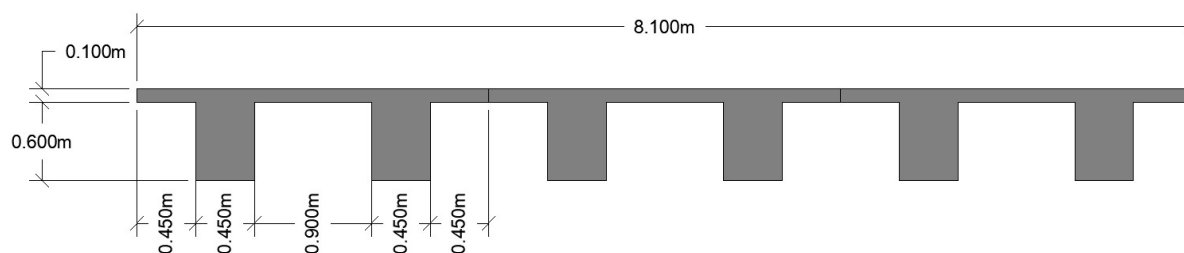


Ilustración 5. Sección transversal del tablero del puente. Fuente: propia.

Se obtiene una carga de $69,4 \text{ kN/m}$ en el vano de $11,3 \text{ metros}$, por lo que se están transmitiendo al estribo una fuerza total de $392,1 \text{ kN}$, que de acuerdo con el esquema de reparto de cargas sobre los micropilotes propuesto en la Ilustración 4, resulta en una carga de $65,4 \text{ kN}$ sobre los micropilotes centrales y de $32,7 \text{ kN}$ sobre los micropilotes extremos.

7.3. Carga muerta

Se estima una carga muerta correspondiente a 5 cm de aglomerado, con un peso específico de 2350 kg/m^3 .

Se obtiene una carga de $9,3 \text{ kN/m}$ en el vano de $11,3 \text{ metros}$, que resulta en una carga de $8,8 \text{ kN}$ sobre los micropilotes centrales y $4,4 \text{ kN}$ sobre los micropilotes laterales.

7.4. Sobrecarga de uso

7.4.1. Fuerzas verticales

Esta acción se ha calculado siguiendo las indicaciones de la IAP-11. De acuerdo con esta, para un ancho de plataforma de 8,10 metros se deben considerar dos carriles virtuales de 3,00 metros y un área remanente de 2,10 metros.

Dado que la sobrecarga de uso sobre el tablero del puente se supone soportada por completo por los micropilotes, se considerará para el cálculo de los mismos (el más cargado de ellos) la sobrecarga que actúa sobre el carril virtual número 1.

SITUACIÓN	VEHÍCULO PESADO $2Q_k$ [kN]	SOBRECARGA UNIFORME q_{ik} (ó q_{rk}) [kN/m ²]
Carril virtual 1	2 · 300	9,0
Carril virtual 2	2 · 200	2,5
Carril virtual 3	2 · 100	2,5
Otros carriles virtuales	0	2,5
Área remanente (q_{rk})	0	2,5

Tabla 5. Tensión admisible del terreno existente. Fuente: IAP-11.

Se calcula la fuerza transmitida por una sobrecarga uniforme de 9 kN/m² actuando en todo el vano, y de un vehículo pesado de 2x300 kN situado sobre el estribo del puente.

Durante la fase de construcción, al encontrarse el tráfico cerrado para vehículos pesados en el paso superior, se estima la sobrecarga de uso durante esta fase como únicamente la sobrecarga uniforme indicada en la IAP-11 (sin considerar las cargas puntuales correspondientes al vehículo pesado).

Las cargas transmitidas a los micropilotes son:

Sobrecarga uniforme

Una sobrecarga de 9 kN/m² aplicada en un ancho contributivo de 1,35 m resulta una carga de 12,15 kN/m en el vano de 11,3 m.

Por tanto la carga transmitida a los micropilotes centrales es de 68,6 kN, mientras que la transmitida a los pilotes extremos es de 34,3 kN.



Vehículo pesado

Una carga puntual de 2*300 kN actuando sobre uno de los apoyos del tablero del puente transmitirá al pilote más cargado una fuerza de 300 kN, independientemente de que sea central o extremo.

Por otro lado, para el cálculo de los muros, como se ha indicado anteriormente, se supondrá que estas cargas cuando actúan en el trasdós del muro, más allá del estribo, se ven repartida por una losa de transición de hormigón armado de 2 metros de ancho, con lo que se calcula que las cargas aplicadas deben ser:

Sobrecarga uniforme

Una sobrecarga de 9 kN/m² aplicada en todo el trasdós del muro.

Vehículo pesado

Dos cargas puntual de 300 kN separadas 3 metros entre sí actuando sobre la losa de transición, se asume que producirán una banda de sobrecarga de 2 metros de ancho y valor 100 kN/m².

7.4.2. Fuerzas horizontales

De acuerdo con lo dispuesto en IAP-11, el frenado, arranque o cambio de velocidad de los vehículos dará lugar a una fuerza horizontal uniformemente distribuida en la dirección longitudinal de la carretera, aplicada al nivel del pavimento. El valor característico de esta acción será:

$$Q_{ik} = 0,6 \cdot 2Q_{1k} + 0,1 q_{1k} w_1 L$$

Donde L la longitud del vano, en este caso 11,3 metros, Q_{1k} y q_{1k} la sobrecarga puntual por vehículo pesado y uniforme correspondientes al carril virtual número 1, anteriormente descritas. El valor de Q_{ik} queda limitado de acuerdo con IAP-11 entre 180 kN y 900 kN.

Resulta en el caso de tener en cuenta la sobrecarga por vehículos pesados, una fuerza total de 210,5 kN, que repartida entre los seis apoyos de cada extremo del vano resulta en una fuerza horizontal de 17,5 kN, igual a la que acaba resistiendo cada uno de los micropilotes centrales. Para los micropilotes laterales la fuerza horizontal resultante será de la mitad, es decir 8,8 kN.

En caso de no tener en cuenta la sobrecarga por vehículos pesados, la fuerza horizontal resultante es de 180 kN, que se traduce en 15 kN en los micropilotes centrales y 7,5 kN en los micropilotes laterales.

7.5. Presión hidrostática

Al encontrarnos en un terraplén, el drenaje está garantizado por los laterales del mismo, por lo que se considera que los empujes producidos por la presión hidrostática del agua son despreciables y no tampoco se considera necesaria la disposición de un tubo-dren en el trasdós.

7.6. Acción sísmica

Se ha tomado la decisión de considerar para el presente proyecto que el puente objeto de estudio es de importancia moderada, con un factor de importancia $\gamma_I = 0$, dado que es el único acceso al pueblo que consta de un paso superior. Además, dada la antigüedad del puente en cuestión, muy anterior a la normativa sismorresistente actual (NCSP-07), resulta muy probable que no fuera calculado para soportar cargas sísmicas. Por este motivo, tenerlas en cuenta ahora, únicamente conllevaría el sobredimensionamiento del refuerzo de la cimentación de un estribo, que sin actuar sobre el otro estribo y las pilas intermedias, resultaría en un sobrecoste que no iría acompañado de un aumento en la seguridad de la estructura.

8. Fases constructivas - Situaciones de cálculo

El proceso constructivo de la estructura proyectada tiene una gran relevancia en el cálculo de esta. El procedimiento de construcción se puede resumir en los siguientes pasos:

Fase 1. Ejecución de los micropilotes, constituyendo el recalce del estribo del puente.

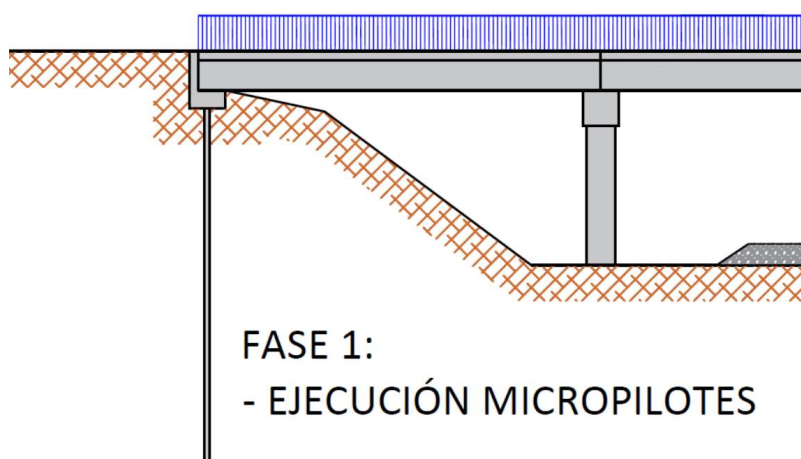


Ilustración 6. Fase 1 Ejecución de micropilotes. Fuente: propia.

Fase 2. Excavación de la zona frontal del terraplén.

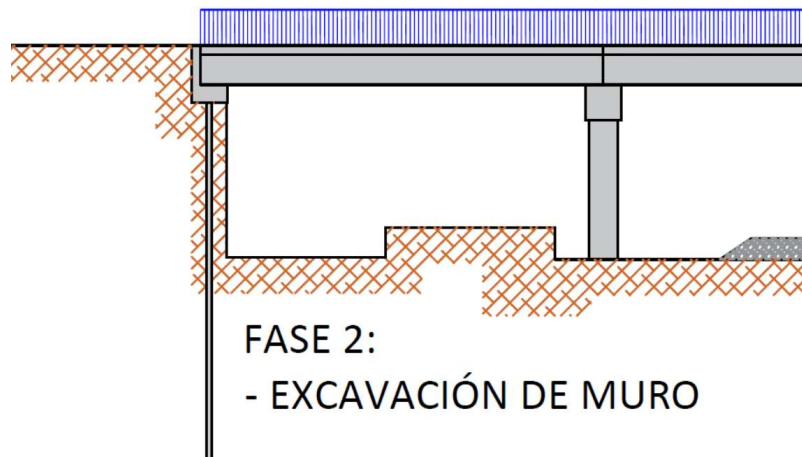


Ilustración 7. Fase 2 Excavación de muro. Fuente: propia.

Fase 3. Ejecución del muro de contención, encofrado a una cara y hormigonado directamente contra el terreno.



Ilustración 8. Fase 3 Ejecución del muro. Fuente: propia.

Fase 4. Una vez recalzado el estribo del puente y contenidas las tierras del terraplén, finalización de la obra y puesta en servicio.

Teniendo en cuenta este procedimiento constructivo, se definen las dos siguientes situaciones de cálculo:

8.1. Situación de cálculo 1: Construcción (excavación del terraplén)

En el momento en que se procede a la excavación del terraplén, es cuando los micropilotes entran en carga. Es en esta fase, además, cuando se descubre el tramo superior de los micropilotes, con el riesgo de pandeo de los mismos debido a la retirada del terreno que le servía como arriostramiento lateral.

Cabe resaltar que la restricción de circulación para vehículos pesados sobre el paso superior durante la ejecución de la estructura permite reducir las cargas de cálculo en la cabeza del micropilote, siendo inferiores a las que presentará en la fase de puesta en servicio.

En esta situación de cálculo, se justifica la resistencia y estabilidad de la estructura frente a los siguientes estados límite:

- Hundimiento del micropilote
- Fallo estructural del micropilote
- Inestabilidad global del terreno

Las cargas de cálculo transmitidas por el tablero del puente al micropilote más solicitado (cinco micropilotes centrales), de acuerdo con las acciones, hipótesis y combinaciones anteriormente detalladas, quedan resumidas en la siguiente tabla:

MICROPILOTES CENTRALES		SITUACIÓN DE CÁLCULO 1 - CONSTRUCCIÓN	
COMPROBACIONES ESTRUCTURALES (coef. parciales)	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	SITUACIÓN PERSISTENTE (CONSTRUCCIÓN) Reacción vertical (kN) 203,1	SITUACIÓN PERSISTENTE (CONSTRUCCIÓN) Reacción vertical (kN) 141,3 Reacción horizontal (kN) 22,5	
COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 74,1	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 74,1 Reacción horizontal (kN) 0,0	
	COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 142,8	COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 74,1 Reacción horizontal (kN) 15,0	

Tabla 6. Cargas sobre micropilotes centrales en Situación de cálculo 1. Fuente: propia

Mientras que para los micropilotes laterales, las cargas serán:

MICROPILOTES LATERALES		SITUACIÓN DE CÁLCULO 1 - CONSTRUCCIÓN	
COMPROBACIONES ESTRUCTURALES	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	SITUACIÓN PERSISTENTE (CONSTRUCCIÓN) Reacción vertical (kN) 101,5	SITUACIÓN PERSISTENTE (CONSTRUCCIÓN) Reacción vertical (kN) 70,6 Reacción horizontal (kN) 11,3	
COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 37,1	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 37,1 Reacción horizontal (kN) 0,0	
	COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 71,4	COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 37,1 Reacción horizontal (kN) 7,5	

Tabla 7. Cargas sobre micropilotes laterales en Situación de cálculo 1. Fuente: propia

8.2. Situación de cálculo 2: Puesta en servicio

Una vez finalizada la fase de construcción, cuando se reestablezca por completo el tráfico en el paso superior, será necesario tener en cuenta íntegramente las acciones definidas en la normativa. Es por tanto para las acciones que actúan en esta fase constructiva, para las cuales es necesario realizar la mayor parte de las comprobaciones.

Además en esta situación ya se encuentra ejecutado el muro que contiene los empujes horizontales del terraplén.

Los estados límite que se analizan para esta fase constructiva son los siguientes:

- Hundimiento del micropilote
- Fallo estructural del micropilote
- Fallo de la conexión micropilote - estribo existente
- Inestabilidad global del terreno
- Deslizamiento, hundimiento y vuelco rígido del muro
- Fallo estructural del muro o su zapata

Las cargas de cálculo transmitidas por el tablero del puente al micropilote más solicitado, de acuerdo con las acciones, hipótesis y combinaciones anteriormente detalladas, quedan resumidas en la siguiente tabla:

MICROPILOTES CENTRALES		SITUACIÓN DE CÁLCULO 2 - SERVICIO	
COMPROBACIONES ESTRUCTURALES (coef. parciales)	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	SITUACIÓN PERSISTENTE Reacción vertical (kN) 653,1	SITUACIÓN PERSISTENTE Reacción vertical (kN) 478,8 Reacción horizontal (kN) 26,3	
COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 74,1 COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 401,6	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 74,1 Reacción horizontal (kN) 0,0 COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 74,1 Reacción horizontal (kN) 17,5	

Tabla 8. Cargas sobre micropilotes centrales en Situación de cálculo 2. Fuente: propia

Mientras que para los micropilotes laterales, las cargas serán:

MICROPILOTES LATERALES		SITUACIÓN DE CÁLCULO 2 - SERVICIO	
COMPROBACIONES ESTRUCTURALES (coef. parciales)	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	SITUACIÓN PERSISTENTE Reacción vertical (kN) 551,5	SITUACIÓN PERSISTENTE Reacción vertical (kN) 408,1 Reacción horizontal (kN) 13,2	
COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS	CARGAS VERTICALES	CARGAS VERTICALES + HORIZONTALES	
	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 37,1 COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 350,8	COMBINACIÓN CASI PERMANENTE Reacción vertical (kN) 37,1 Reacción horizontal (kN) 0,0 COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA Reacción vertical (kN) 37,1 Reacción horizontal (kN) 8,8	

Tabla 9. Cargas sobre micropilotes laterales en Situación de cálculo 2. Fuente: propia

9. Comprobaciones realizadas

9.1. Comprobaciones geotécnicas

Tal como se ha indicado anteriormente, las comprobaciones geotécnicas se han realizado en base al método de coeficientes de seguridad globales descrito por la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera.

9.1.1. Hundimiento del micropilote

Esta comprobación se efectúa conforme a los criterios que se establecen en el Apartado 3.3 de la Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.

Se comprobará que se cumple la relación:

$$N_{c,Ed} \leq R_{c,d}$$

Los coeficientes de seguridad frente al hundimiento serán de 2,6 para la combinación característica de acciones y de 3 para la combinación casi permanente, de acuerdo con lo indicado en el punto 6.3.1 del presente documento.

A efectos de este cálculo, se considera nula la resistencia por punta del micropilote, dada la pequeña sección transversal que presentan los micropilotes.

Se calcula por tanto la resistencia a hundimiento de cálculo del micropilote como:

$$R_{c,d} = R_{fc,d} = \sum_{i=1}^n A_{Li} \cdot (r_{fc,d})_i$$

Para un terreno compuesto por n estratos, con cada uno de los cuales tiene un área de contacto lateral A_L y un rozamiento unitario por fuste de cálculo $r_{fc,d}$.

Este rozamiento unitario por fuste, en ausencia de datos experimentales, como es el caso, puede calcularse por dos métodos de acuerdo con la Guía, de los cuales se decide emplear el denominado “método teórico”.

Se calcula el rozamiento unitario por fuste de cálculo como:

$$r_{fc,d} = \frac{c'}{F_c} + \sigma'_H(z) \cdot \frac{tg \delta}{F_\phi} = \frac{c'}{F_c} + k_0 \cdot \sigma'_V(z) \cdot \frac{tg \delta}{F_\phi}$$

Donde el valor σ'_V representa la tensión vertical efectiva del terreno a una altura determinada.

Los valores de c' , k_0 y $tg(\delta)$ son característicos del terreno siendo cohesión efectiva, coeficiente de empuje al reposo y coeficiente de rozamiento terreno – micropilote. Según indica la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carreteras, es recomendable aminorar el valor de la cohesión efectiva a no ser que se tenga un conocimiento muy exhaustivo de la misma. En este sentido, se decide reducir a efectos de este cálculo la cohesión efectiva del estrato predominante, de acuerdo con la siguiente tabla:

	Cohesión efectiva c' (kPa)	Valor c' considerado (kPa)
Relleno terraplén	15	15
Relleno estructural cemento terraplén	15	15
Limo marrón	10	10
Limos y gravas con costras	75	37,5

Tabla 10. Valores característicos del terreno existente. Fuente: propia

Dado que en el estudio geotécnico no se incluyen ensayos específicos para determinar el coeficiente de empuje en reposo de los diferentes tipos de terreno y que además el estrato principal presenta costras y un alto grado de heterogeneidad, se decide optar por la recomendación de la Guía de cimentaciones de obras de carretera, de estimar el valor de $k_0 \cdot tg(\delta)$ en 0,3, tal como se indica en el apartado 5.10.2.5.2.

Los coeficientes F_c y F_ϕ son coeficientes de minoración que dependen del tipo de aplicación, teniendo ambos un valor de 1,2 para el recalce de estructuras de hormigón preexistentes.

El rozamiento unitario por fuste, de acuerdo con lo establecido en el apartado 5.10.2.1.2 de la Guía de cimentaciones de obras de carretera, quedará acotado superiormente por un máximo de 90 kPa para terrenos granulares y a 70 kPa para terrenos cohesivos. Si bien la Guía de micropilotes no hace referencias a este límite, se decide adoptar el valor límite de 90 kPa para el terreno existente que, si bien no es granular, es muy compacto y tiene una importante presencia de gravas y costras.

Bajo estas consideraciones se realiza el cálculo de la resistencia a hundimiento de los micropilotes centrales y extremos, tanto en la situación de servicio como en la de construcción en la que se realiza la excavación del talud, cambiando las tensiones en el terreno que rodea a los micropilotes.

El cálculo del rozamiento unitario por fuste se ha realizado discretizando el micropilote en tramos de 1 metro de longitud, con lo que el área de contacto lateral de cada tramo es igual a:

$$A_{Li} = \pi \cdot D_N \cdot 1m = \pi \cdot 0,219 \cdot 1 = 0,688 m^2$$

En la situación final de la estructura proyectada, una vez el muro esté ejecutado, se considera que la tensión en el terreno será similar a la que existente actualmente sin contar con la producida por el estribo del puente (cuya carga recordemos que se considera recogida en su totalidad por los micropilotes). Con lo que el esquema de cargas sobre el micropilote, y el cálculo de las mismas queda del siguiente modo:

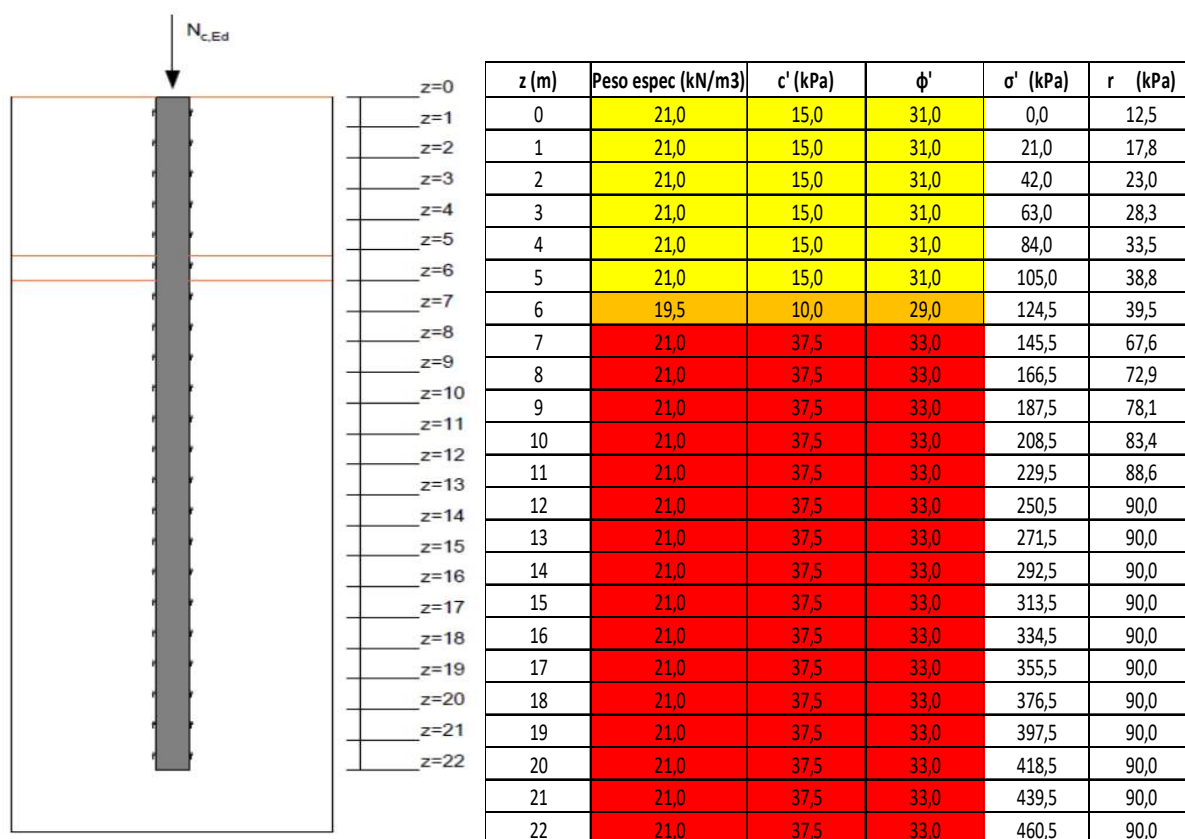


Ilustración 9. Reparto de cargas a lo largo de la longitud del micropilote en situación de cálculo 2.

Fuente: propia

Se obtiene una resistencia de cálculo total frente a hundimiento $R_{c,d} = 1074,70 \text{ kN}$. Con lo que se calculan los siguientes coeficientes de seguridad globales:

	$N_{c,Ed} \text{ (kN)}$	Coef. Seguridad	
Micropilotes centrales:			
Combinación casi permanente	74,15	14,49	≥ 3
Combinación característica	401,61	2,68	$\geq 2,6$
Micropilotes laterales:			
Combinación casi permanente	37,07	28,99	≥ 3
Combinación característica	350,80	3,06	$\geq 2,6$

Tabla 11. Coeficientes de seguridad frente al hundimiento de los micropilotes en situación de cálculo

2. Fuente: propia

Para la situación de cálculo 1, entre la excavación del muro y la ejecución del mismo, sin embargo, parece adecuado descontar la tensión en el terreno hasta la profundidad de excavación, con lo que el esquema y las cargas cambian, siendo las siguientes:

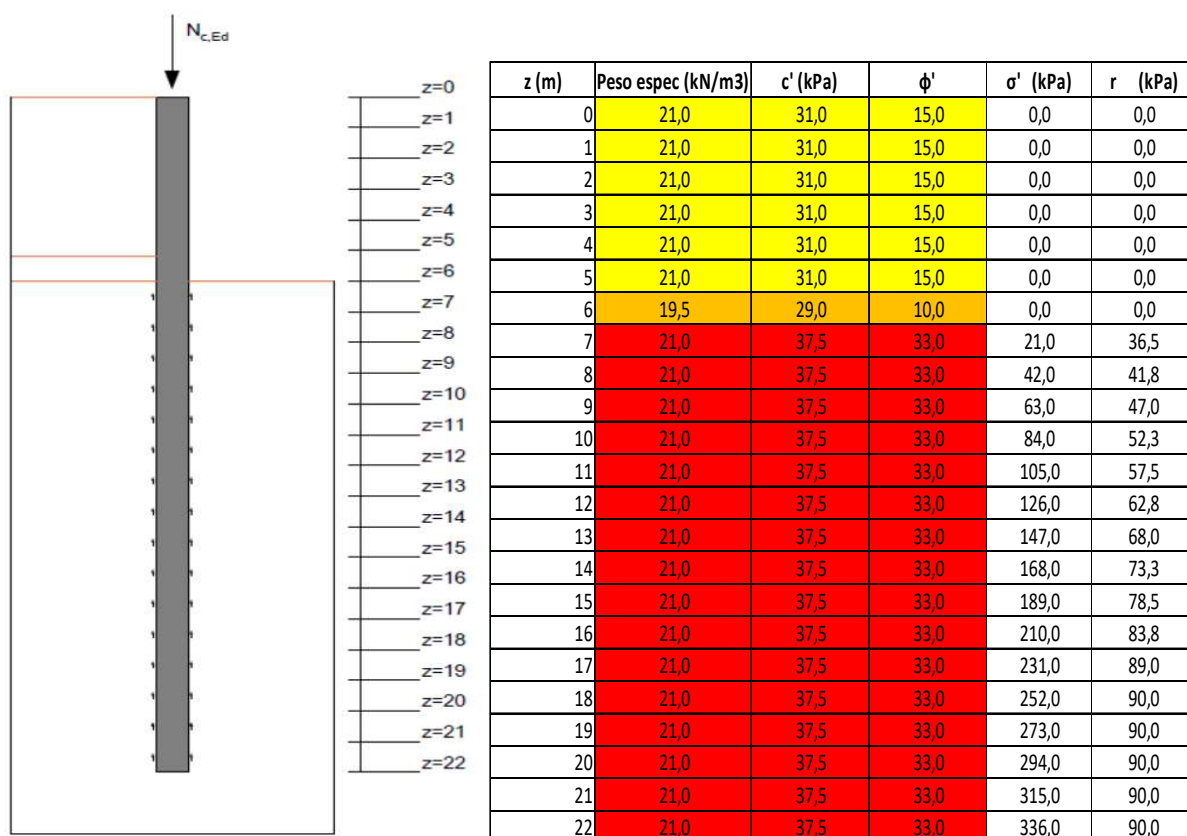


Ilustración 10. Reparto de cargas a lo largo de la longitud del micropilote en situación de cálculo 1.

Fuente: propia

Se obtiene una resistencia de cálculo total frente a hundimiento $R_{c,d} = 784,86 \text{ kN}$. Con lo que se calculan los siguientes coeficientes de seguridad globales:

	$N_{c,Ed} \text{ (kN)}$	Coef. Seguridad	
Micropilotes centrales:			
Combinación casi permanente	74,15	10,58	≥ 3
Combinación característica	142,80	5,50	$\geq 2,6$
Micropilotes laterales:			
Combinación casi permanente	37,07	21,17	≥ 3
Combinación característica	71,40	10,99	$\geq 2,6$

Tabla 12. Coeficientes de seguridad frente al hundimiento de los micropilotes en situación de cálculo

1. Fuente: propia

Se analiza por medio de este cálculo la posibilidad de reducir la longitud de los micropilotes laterales, dado que tienen una carga inferior, pero del cálculo se desprende que se podrían acortar un máximo de dos metros cada uno, por lo que se decide mantener todos los micropilotes de la misma longitud.

9.1.2. Inestabilidad global del terreno

Todas las comprobaciones relativas a los muros diseñados, se han calculado por medio de tres modelos en el programa comercial CYPE, el primero de ellos para modelizar el tramo de muro en la zona que se encuentra precisamente bajo el tablero del paso superior (en cuya cabeza se aplican las sobrecargas correspondientes al tráfico, descritas en el apartado 7.4 del presente Documento), el segundo para modelizar los tramos de muro laterales de una altura superior a 4,84 metros, y el tercero para modelizar los tramos de muro laterales de una altura inferior a 4,84 metros.

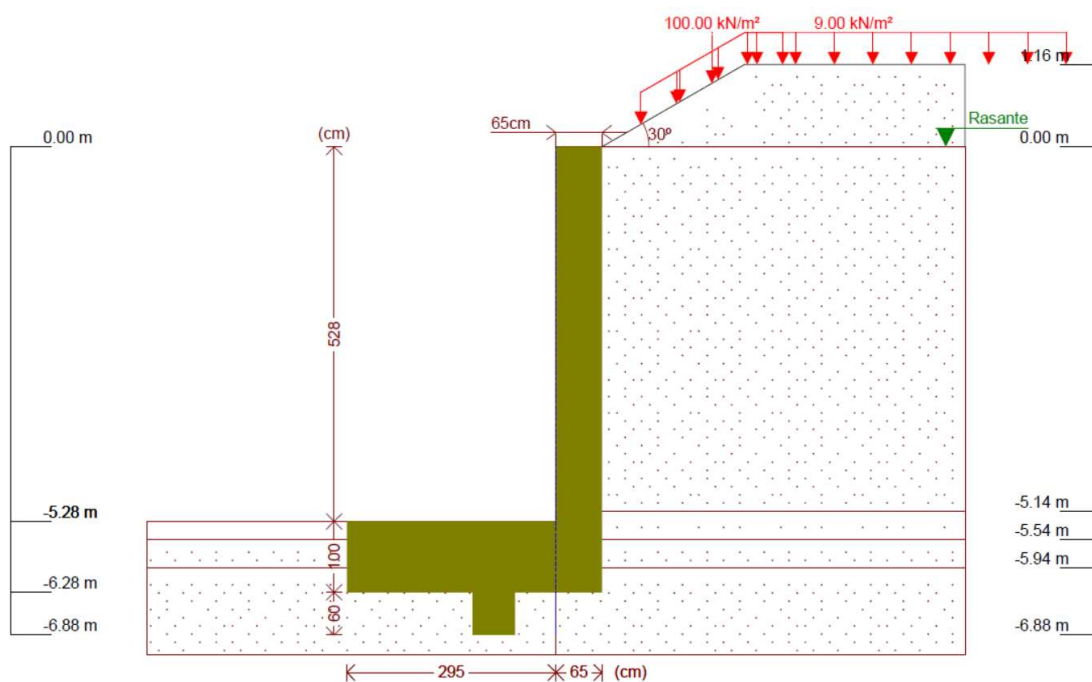


Ilustración 11. Modelo de muro de hormigón armado 1, del tramo de muro bajo el tablero del paso superior. Fuente: propia (elaborado con CYPE)

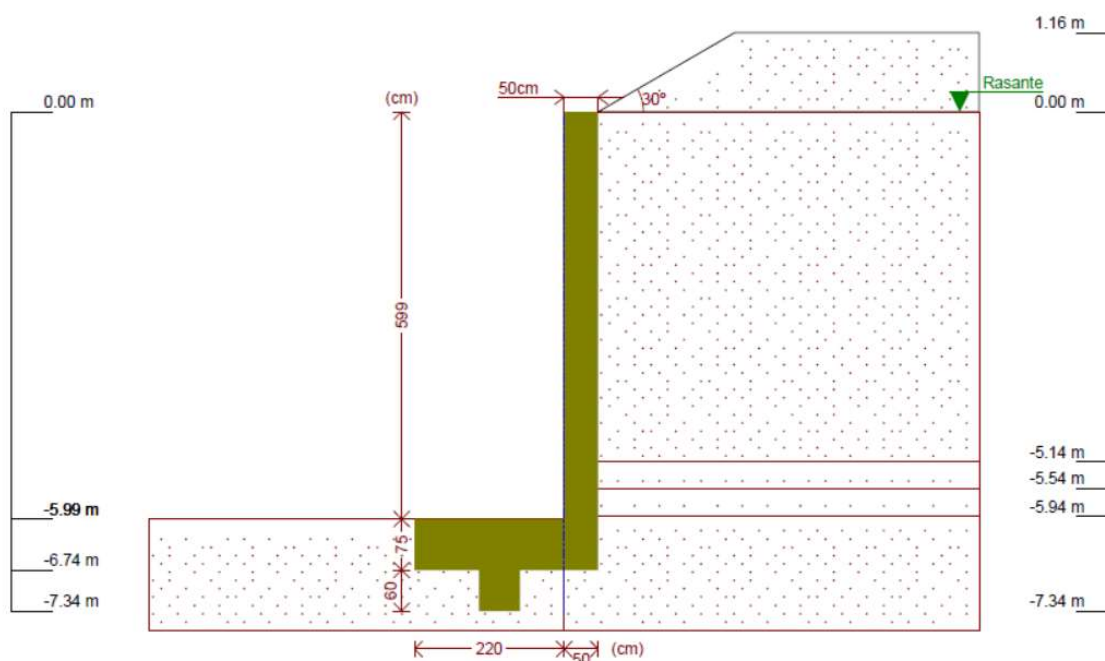


Ilustración 12. Modelo de muro de hormigón armado 2, para tramos de muro laterales con altura superior a 4,84 m. Fuente: propia (elaborado con CYPE)

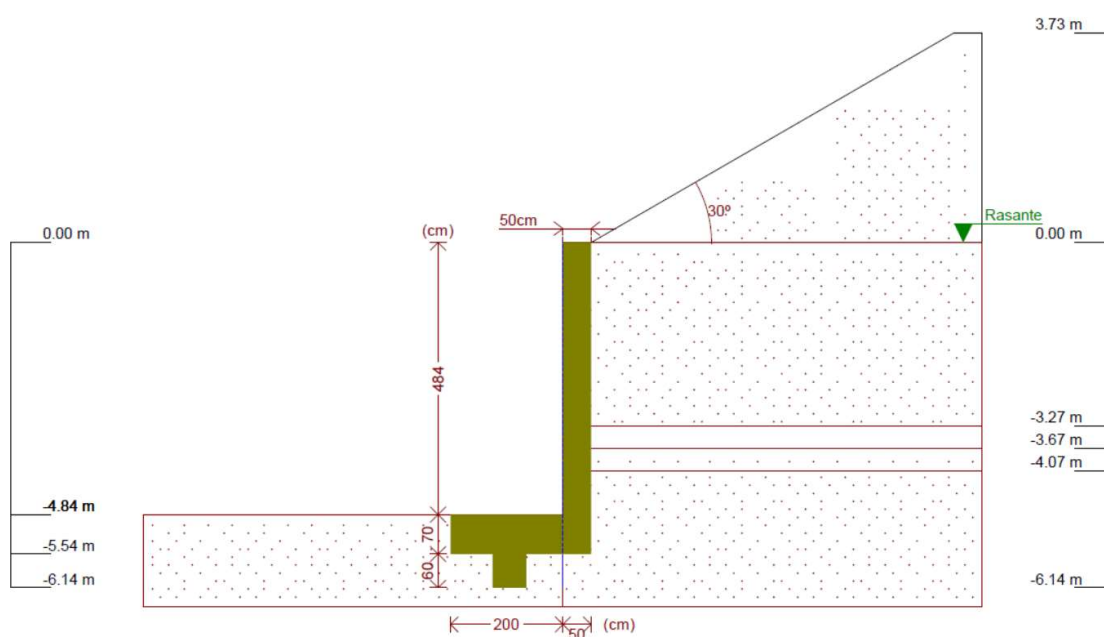


Ilustración 13. Modelo de muro de hormigón armado 3, para tramos de muro laterales con altura inferior a 4,84 m. Fuente: propia (elaborado con CYPE)

El cálculo de estabilidad global que realiza el programa comercial CYPE, emplea el Método de las fajas o rebanadas, también conocido como Método simplificado de Bishop, que considera un estado

de deformación plana y asume una superficie de rotura circular y realiza el cálculo de la estabilidad del terreno aplicando la ecuación de Mohr-Coulomb para el cálculo de la resistencia a corte.

Se ha empleado como referencia para la modelización de la estructura en CYPE el “Manual de uso. Cálculo del círculo de deslizamiento pésimo” del programa, disponible en el siguiente enlace: https://www.cype.net/documentos_es/manuales/circulo01.pdf (Septiembre 2024).

Con ello, el programa analiza múltiples puntos como posibles centros de una superficie de deslizamiento circular, calculando el coeficiente de seguridad frente al deslizamiento de cada una de estas superficies.

Para los tres modelos analizados, se han obtenido los tres resultados siguientes:

	Coef. Seguridad	
Modelo 1	2,834	≥ 2
Modelo 2	3,3	≥ 2
Modelo 3	3,12	≥ 2

Tabla 13. Coeficientes de seguridad frente al inestabilidad global del terreno. Fuente: propia

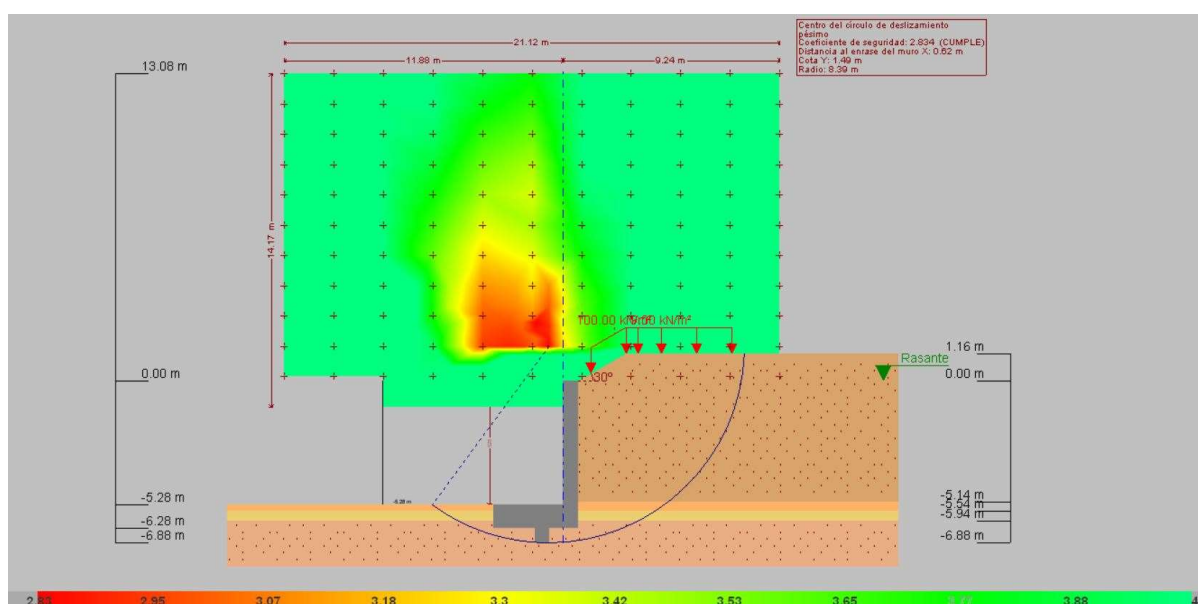


Ilustración 14. Modelo de muro de hormigón armado 1 – coeficientes de seguridad frente a la inestabilidad global del terreno. Fuente: propia (elaborado con CYPE)

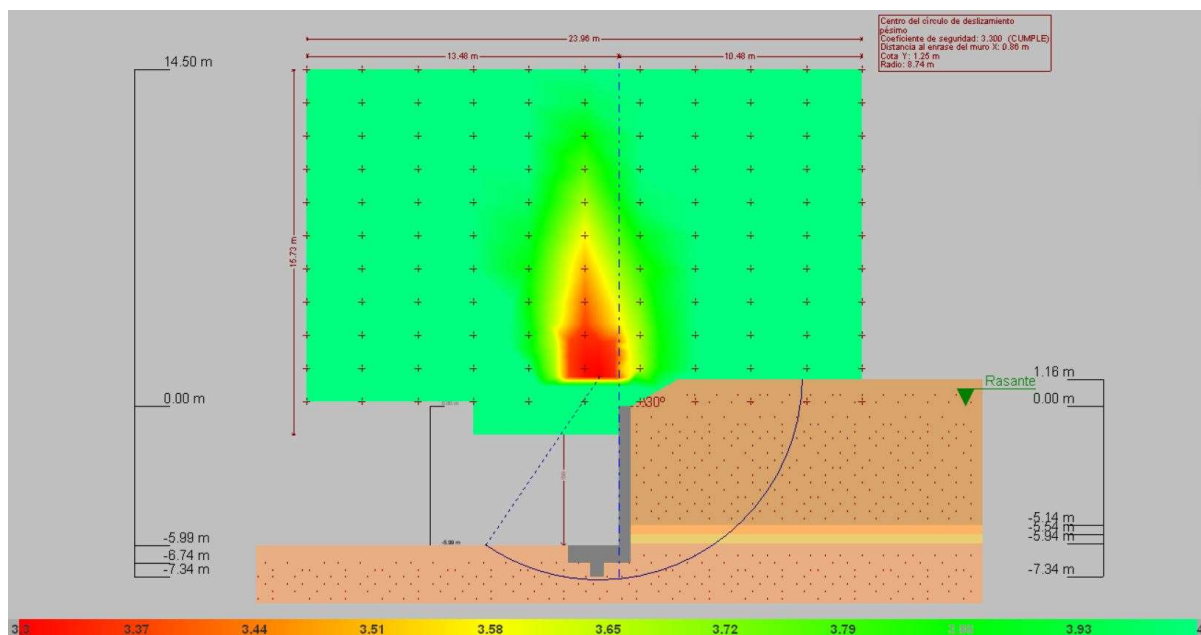


Ilustración 15. Modelo de muro de hormigón armado 2 – coeficientes de seguridad frente a la inestabilidad global del terreno. Fuente: propia (elaborado con CYPE)

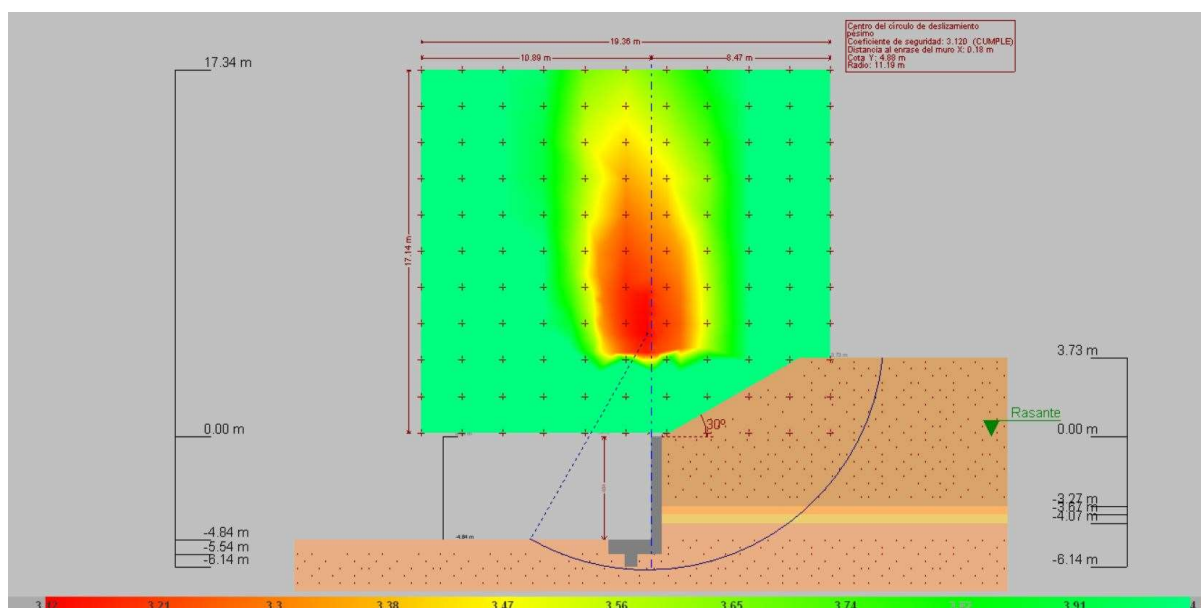


Ilustración 16. Modelo de muro de hormigón armado 3 – coeficientes de seguridad frente a la inestabilidad global del terreno. Fuente: propia (elaborado con CYPE)

9.1.3. Deslizamiento del muro

Del mismo modo que las comprobaciones de inestabilidad global del terreno, las de deslizamiento de los muros también se han realizado con el modelo del programa CYPE. Todos los detalles relativos al cálculo que se han tomado en cuenta para la modelación de las estructuras, son los que quedan

resumidos en el documento “Muros en ménsula de hormigón armado. Manual de usuario”, disponible en la siguiente dirección: https://www.cype.net/documentos_es/manuales/econte01.pdf (Septiembre 2024).

Para los tres modelos analizados, se han obtenido los tres resultados siguientes:

	Coef. Seguridad	
Modelo 1	1,5	$\geq 1,5$
Modelo 2	1,5	$\geq 1,5$
Modelo 3	1,64	$\geq 1,5$

Tabla 14. Coeficientes de seguridad frente a deslizamiento. Fuente: propia

9.1.4. Hundimiento del muro

De nuevo se han empleado para este cálculo los modelos descritos anteriormente en el programa CYPE, obteniéndose los resultados siguientes:

	Tensión máxima (Mpa)	
Modelo 1	0,1488	$\leq 0,25$ Mpa
Modelo 2	0,1271	$\leq 0,25$ Mpa
Modelo 3	0,1161	$\leq 0,25$ Mpa

Tabla 15. Coeficientes de seguridad frente a hundimiento. Fuente: propia

9.1.5. Vuelco del muro

De nuevo se han empleado para este cálculo los modelos descritos anteriormente en el programa CYPE, obteniéndose los resultados siguientes:

	Coef. Seguridad	
Modelo 1	1,5	$\geq 1,5$
Modelo 2	1,53	$\geq 1,5$
Modelo 3	1,53	$\geq 1,5$

Tabla 16. Coeficientes de seguridad frente a vuelco. Fuente: propia

9.2. Comprobaciones estructurales

9.2.1. Fallo estructural del micropilote – solo esfuerzo axial

Se realiza el cálculo de la resistencia del micropilote y su armadura tubular frente a esfuerzo axial de compresión conforme a lo indicado en el apartado 3.6.1 de la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera. Se analizan las dos situaciones de proyecto: la de construcción que presenta cargas inferiores pero no existe coacción lateral del micropilote en los primeros 5,7 metros del mismo, y la de servicio, con el muro ejecutado que arriostra al micropilote pero que presenta unas cargas mayores debido al paso de vehículos pesados sobre el paso superior.

Las cargas de diseño son:

- En fase de construcción $N_{c,Ed} = 203,1 \text{ kN}$
- En fase de servicio $N_{c,Ed} = 653,1 \text{ kN}$

Se calcula la resistencia estructural del micropilote como:

$$N_{c,Rd} = (0,85 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{sd} + A_a \cdot f_{yd}) \cdot \frac{R}{1,20 \cdot F_e}$$

Donde A_a se trata de la sección de cálculo de la armadura tubular de acero. Siendo de un diámetro exterior de 168,3 mm y un espesor de 9 mm con uniones diseñadas para evitar pérdidas de resistencia ($F_{u,c} = 1$), obtenemos el siguiente valor:

$$A_a = \frac{\pi}{4} [(d_e - 2 \cdot r_e)^2 - d_i^2] \cdot F_{u,c} = \frac{\pi}{4} [(16,83 \text{ cm} - 2 \cdot 0,06 \text{ cm})^2 - 15,03^2 \text{ cm}^2] \cdot 1 = 41,88 \text{ cm}^2$$

Siendo la reducción de espesor $r_e = 0,6 \text{ mm}$ en terrenos no agresivos.

La sección neta de lechada descontando armadura A_c se calcula con el diámetro nominal, que para una perforación de 225 mm, es de 219,1 mm de acuerdo con la tabla 4.1 de la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera.

D_p	D	$d_a(^{\circ})$
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133,0	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3

(*) El valor mayor de cada una de las filas de diámetros exteriores de armadura tubular d_{e^*} será válido únicamente en uniones roscadas.

Tabla 17. Diámetros más habituales de micropilotes y armaduras. Fuente: Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera.

Obtenemos por tanto una sección neta de lechada $A_c = 335,1 \text{ cm}^2$.

No se prevé la disposición de barras de acero corrugado por tanto $A_s = 0 \text{ cm}^2$.

Previendo una excavación con empleo de una entibación recuperable, el coeficiente de influencia del tipo de ejecución F_e toma un valor de 1,05.

Por último, el coeficiente de reducción de la capacidad estructural del micropilote por efecto del pandeo R se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R = 1,07 - 0,027 \cdot C_R \leq 1$$

Donde C_R tomará un valor de acuerdo con la tabla 3.6 de la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera:

TIPO DE COACCIÓN LATERAL	C_R
Fangos y turbas con $15 \text{ kPa} \leq s_u \text{ (kPa)} \leq 25$	18 - 12
Arcillas y limos blandos con $15 \text{ kPa} \leq s_u \text{ (kPa)} \leq 25$	12 - 8
Suelos no cohesivos de compactidad ²¹ media ($0,35 < I_p < 0,65$) que cumplan alguno de los siguientes requisitos: <ul style="list-style-type: none"> — Encontrarse permanentemente por encima del nivel freático — Presentar un coeficiente de uniformidad mayor o igual que dos ($D_{60}/D_{10} \geq 2$) 	8 - 7
Suelos cohesivos de consistencia media ($25 \text{ kPa} \leq s_u \text{ (kPa)} \leq 50$)	
Libre (sin terreno o rodeado de terreno inestable ²²)	H/D _R

Tabla 18. Coeficiente C_R . Fuente: Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera.

En el caso de la fase de servicio, se diseña con un coeficiente $C_R = 12$ considerando que el terreno circundante es un relleno de terraplén, con lo que se comprueba:

$$R = 1,07 - 0,027 \cdot 12 = 0,746$$

$$N_{c,Rd} = (0,85 \cdot 0,0335 \text{ m}^2 \cdot 20.000 \text{ kPa} + 0 + 0,00419 \text{ m}^2 \cdot 308696 \text{ kPa}) \cdot \frac{0,746}{1,20 \cdot 1,05} = 1.102,8 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 1.102,8 \text{ kN} \geq N_{c,Ed} = 653,1 \text{ kN}$$

En el caso de la fase de construcción, se considera que la cabeza del micropilote se encuentra libre, es decir sin coacción lateral en los primeros 5,7 m. Con esto se obtiene un coeficiente $C_R = 33,87$. Comprobándose:

$$R = 1,07 - 0,027 \cdot 33,87 = 0,156$$

$$N_{c,Rd} = (0,85 \cdot 0,0335 \text{ m}^2 \cdot 20.000 \text{ kPa} + 0 + 0,00419 \text{ m}^2 \cdot 308696 \text{ kPa}) \cdot \frac{0,156}{1,20 \cdot 1,05} = 230,0 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 230,0 \text{ kPa} \geq N_{c,Ed} = 203,1 \text{ kN}$$

Se comprueba, por tanto, la resistencia del micropilote frente a los esfuerzos de cálculo en ambas situaciones, siendo más condicionante en este caso la situación de cálculo de la fase de construcción.

9.2.2. Fallo estructural del micropilote – combinación axil + flector + cortante

De acuerdo con lo indicado en el apartado 3.6.3 de la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera, se supondrá que únicamente colabora la armadura tubular del micropilote y se aplicará los métodos de cálculo de estructuras metálicas, en este caso los descritos en la EAE (normativa de aplicación).

DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS DE CÁLCULO

En primer lugar estimaremos el momento flexor máximo en el micropilote, originado por una carga horizontal H_0 (cortante de cálculo) en cabeza, asimilando el micropilote a una ménsula equivalente de análogas características mecánicas, sometida solo a esfuerzos exteriores y en la que la acción del terreno se transforma en un empotramiento ficticio situado a una profundidad L_{ef} .

$$L_{ef} = 1,2 \cdot f \cdot L_e$$

Donde f es un coeficiente que se puede obtener de la tabla siguiente en función de la relación de módulos elásticos del terreno en superficie E_0 y a la profundidad de la punta del micropilote E_L . En el caso de estudio, dado que en superficie tenemos un relleno, consideramos que la relación $E_0/E_L = 0$.

E_0/E_L	f
0	1,70
0,5	1,25
1	1,00

Tabla 19. Coeficiente f . Fuente: Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera.

L_e por su lado es la longitud elástica del micropilote, que se define como:

$$L_e = \left(\frac{3 \cdot E_a \cdot I_a}{E_L} \right)^{1/4}$$

Siendo $E_a \cdot I_a$ la rigidez de la armadura tubular que calculamos para la fase de construcción (sin reducción de espesor) y para la fase de servicio (con reducción de espesor):

$$\begin{aligned} E_a \cdot I_{a \text{ cons}} &= 210.000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\left(\frac{d_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{d_i}{2} \right)^4 \right) = 210.000.000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\left(\frac{0,1683}{2} \right)^4 - \left(\frac{0,1503}{2} \right)^4 \right) \\ &= 3,010 \text{ MN} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_a \cdot I_{a \text{ serv}} &= 210.000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\left(\frac{d_e - 2 \cdot r_e}{2} \right)^4 - \left(\frac{d_i}{2} \right)^4 \right) \\ &= 210.000.000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\left(\frac{0,1683 - 2 \cdot 0,0006}{2} \right)^4 - \left(\frac{0,1503}{2} \right)^4 \right) = 2,777 \text{ MN} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

Tenemos por tanto una longitud elástica del micropilote:

$$L_{e \text{ cons}} = \left(\frac{3 \cdot E_a \cdot I_{a \text{ cons}}}{E_L} \right)^{1/4} = \left(\frac{3 \cdot 3,010}{23,5} \right)^{1/4} = 0,787 \text{ m}$$

$$L_{e \text{ serv}} = \left(\frac{3 \cdot E_a \cdot I_{a \text{ serv}}}{E_L} \right)^{1/4} = \left(\frac{3 \cdot 2,777}{23,5} \right)^{1/4} = 0,772 \text{ m}$$

Y una longitud de empotramiento ficticio:

$$L_{ef \text{ cons}} = 1,2 \cdot f \cdot L_{e \text{ cons}} = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 0,787 = 1,61 \text{ m}$$

$$L_{ef \text{ serv}} = 1,2 \cdot f \cdot L_{e \text{ serv}} = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 0,787 = 1,57 \text{ m}$$

En el caso de la situación de construcción, debemos añadir la longitud libre del micropilote $H = 5,7$ m, siendo la longitud total de empotramiento de 7,31m. Con estas longitudes, obtenemos los siguientes esfuerzos de cálculo:

	SERVICIO	CONSTRUCCIÓN
Axil N_{Ed} (kN)	478,79	141,29
Cortante V_{Ed} (kN)	26,31	22,50
Flector M_{Ed} (kN·m)	41,42	164,39

Tabla 20. Esfuerzos de cálculo. Fuente: propia.

Obtenidos estos esfuerzos, se procede a estudiar la resistencia de la armadura tubular de acuerdo con lo establecido en EAE.

DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL CORTANTE EN LA RESISTENCIA DE LA SECCIÓN

En primer lugar veamos si es necesario introducir la influencia del cortante en el cálculo. De acuerdo con lo establecido en el apartado 34.7.3 de la EAE, esto ocurre cuando se supera el 50% del cortante de plastificación de la sección, que se puede calcular como:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde podemos calcular el área de cortante A_v de una sección de corona circular según la siguiente expresión:

$$A_v = \frac{2 \cdot A_{a\text{serv}}}{\pi} = \frac{2 \cdot 0,004188}{\pi} = 0,00266 \text{ m}^2$$

Siendo el cortante de plastificación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{0,00266 \cdot 308696}{\sqrt{3}} = 475,18 \text{ kN}$$

Se observa que los cortantes de cálculo se alejan mucho del 50% de este valor, por lo que se puede concluir que no es necesario considerar la influencia del cortante en el cálculo de la resistencia de la sección.

DETERMINACIÓN DE LA CLASE DE LA SECCIÓN

Para determinar si se debe realizar un cálculo plástico de la sección o un cálculo elástico, resulta necesario determinar la clase de sección de la armadura tubular. Para ello, se sigue el procedimiento especificado en el Artículo 20.3 de la Instrucción de Acero Estructural (EAE) que queda resumido en la siguiente tabla:

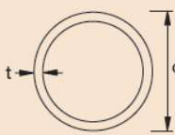
Secciones tubulares						
						
Clase	Sección flexionada y/o comprimida					
1	$\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$					
2	$\frac{d}{t} \leq 70\epsilon^2$					
3	$\frac{d}{t} \leq 90\epsilon^2$					
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	f_y (N/mm ²)	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Tabla 20. Determinación de la clase de sección en una sección tubular. Fuente: Instrucción de Acero Estructural (EAE).

Vemos que para acero S355, el valor adoptado por ϵ^2 es 0,81. Con ello, se analiza en primer lugar el cumplimiento del criterio para que la sección sea de clase 1:

$$\frac{d}{t} = \frac{d_e - 2 \cdot r_e}{e_a - r_e} = \frac{0,1683 - 2 \cdot 0,0006}{0,009 - 0,0006} = 19,89 \leq 50 \cdot \epsilon^2 = 50 \cdot 0,81 = 33,10$$

Se cumple la condición, por tanto la sección es de CLASE 1.

COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA DE LA SECCIÓN

De acuerdo con lo establecido en el Artículo 34.7.2.1 de la Instrucción de Acero Estructural (EAE), se debe satisfacer el siguiente criterio para comprobar la resistencia de la sección:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

Donde $M_{N,Rd}$ es la resistencia plástica de cálculo a flexión reducida debida a la existencia del esfuerzo axial N_{Ed} . Para una sección circular hueca, este valor se calcula como:

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{c,Rd} \cdot (1 - n^{1,7})$$

Donde el valor n se calcula como la relación entre el axil de cálculo N_{Ed} y el axil de plastificación $N_{pl,Rd}$, que se determina como:

$$N_{pl,Rd \text{ cons}} = A_{a \text{ cons}} \cdot f_{yd} = 0,00450 \cdot 308695 = 1390,4 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd \text{ serv}} = A_{a \text{ serv}} \cdot f_{yd} = 0,00419 \cdot 308695 = 1292,9 \text{ kN}$$

Con lo que se obtienen unos valores de:

$$n_{cons} = \frac{N_{Ed\ cons}}{N_{pl,Rd\ cons}} = \frac{141,29}{1390,4} = 0,1016$$

$$n_{serv} = \frac{N_{Ed\ serv}}{N_{pl,Rd\ serv}} = \frac{487,79}{1292,9} = 0,3703$$

Por otro lado, $M_{c,Rd}$ es la resistencia de cálculo de la sección a flexión, que en este caso al ser una sección de clase 1, se calcula según la siguiente expresión:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd}$$

Para calcular el módulo resistente plástico de la sección W_{pl} necesitamos calcular la distancia z_{cdg} de cada una de las mitades de la sección:

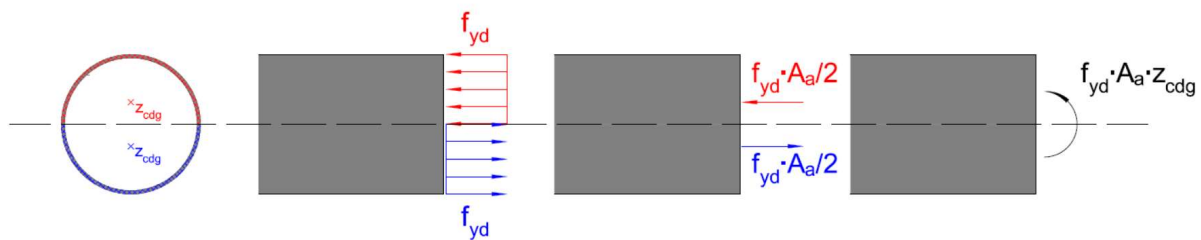


Ilustración 17. Determinación del módulo resistente plástico de la sección. Fuente: propia.

Calculamos la distancia del centro de masas de cada una de las dos mitades de sección y obtenemos los siguientes resultados:

$$z_{cdg\ cons} = 0,0563\ m$$

$$z_{cdg\ serv} = 0,0561\ m$$

Con lo que se obtiene un valor de módulo resistente plástico:

$$W_{pl\ cons} = 2,53 \cdot 10^{-4}\ m^3$$

$$W_{pl\ serv} = 2,35 \cdot 10^{-4}\ m^3$$

De ello a su vez podemos obtener el momento de plastificación por flexión de la sección:

$$M_{pl,Rd\ cons} = W_{pl\ cons} \cdot f_{yd} = 2,53 \cdot 10^{-4} \cdot 308695 = 78,31\ kNm$$

$$M_{pl,Rd\ serv} = W_{pl\ serv} \cdot f_{yd} = 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 308695 = 72,54\ kNm$$

Para finalmente volver al término $M_{N,Rd}$ (resistencia plástica de cálculo a flexión reducida debida a la existencia del esfuerzo axial), que será:

$$M_{N,Rd\ cons} = M_{c,Rd\ cons} \cdot (1 - n_{cons}^{1,7}) = 78,31 \cdot (1 - 0,1016^{1,7}) = 71,05\ kNm$$

$$M_{N,Rd\ serv} = M_{c,Rd\ serv} \cdot (1 - n_{serv}^{1,7}) = 72,54 \cdot (1 - 0,3703^{1,7}) = 59,13\ kNm$$

Comparando estos valores con los esfuerzos de cálculo se observa que en fase de servicio el momento de cálculo se encuentra por debajo del resistente:

$$M_{N,Rd\ serv} = 59,13\ kNm \leq M_{Ed\ serv} = 41,42\ kNm \rightarrow CUMPLE$$

Sin embargo no ocurre lo mismo en fase de construcción:

$$M_{N,Rd\ cons} = 71,05\ kNm \geq M_{Ed\ cons} = 164,39\ kNm \rightarrow NO\ CUMPLE$$

Motivo por el que resulta necesario modificar el proceso de ejecución previsto de la obra, **no pudiéndose realizar la excavación completa del muro en el tramo en el que se encuentran los micropilotes** para evitar que la falta de arriostramiento lateral de los mismos produzca su fallo. **Dicha excavación deberá hacerse por bataches.**

9.2.3. Fallo de la conexión micropilote - estribo existente

Uno de los principales posibles fallos del refuerzo de la cimentación proyectado se haya en la conexión entre el micropilote y el estribo existente.

Dado que la perforación del estribo se realiza por medio de coronas de corte de hormigón armado, que dejan una superficie de corte lisa, a través de la cual no parece sencilla la transmisión de esfuerzos del estribo a los micropilotes.

De acuerdo con los cálculos, el máximo axil que debe llegar a un micropilote es $N_{Ed} = 653,1\ kN$.

Se estudia la conexión de los micropilotes al estribo tratando de evitar la necesidad de instalar placas de anclaje en la cabeza de los mismos, siendo la primera opción considerada realizar un taladro de diámetro 240 mm (similar al del micropilote) sin utilizar ningún método ni herramienta específica para mejorar la rugosidad la superficie de corte, y la segunda realizar una sección ensanchada de hasta 400 mm de diámetro (no superior a este diámetro debido lo reducido de la zona de trabajo) y utilizando un útil para darle rugosidad a la superficie en caso de que fuera necesario.

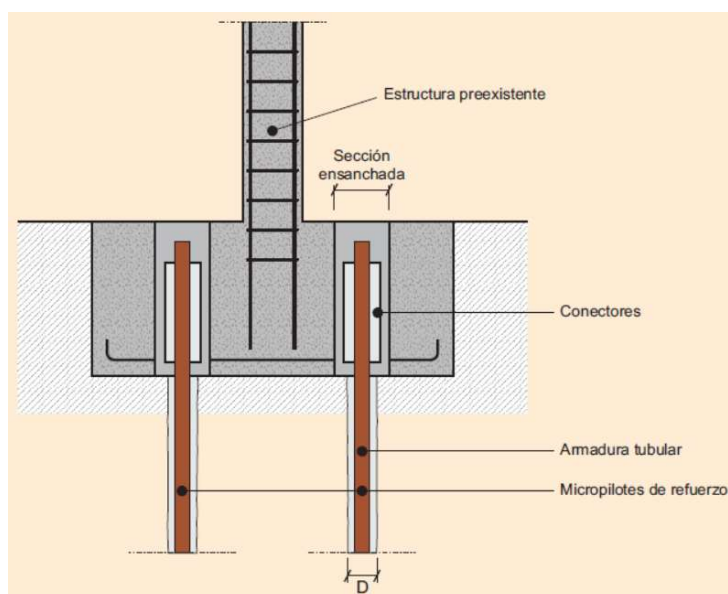


Ilustración 18. Ejemplo de conexión directa a una cimentación preexistente de hormigón armado, con sección de perforación ensanchada. Fuente: Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera

Con estas dos secciones posibles soluciones ($D_p = 240 \text{ mm}$ y $D_p = 400 \text{ mm}$), suponiendo que el estribo tiene un canto mínimo de 50 cm, se obtiene un área de contacto:

$$A_{V\,240} = \pi \cdot D_p \cdot h = \pi \cdot 0,24 \cdot 0,5 = 0,628 \text{ m}^2$$

$$A_{V\,400} = \pi \cdot D_p \cdot h = \pi \cdot 0,4 \cdot 0,5 = 0,377 \text{ m}^2$$

Con lo que el esfuerzo rasante de diseño será de:

$$\tau_{r,d\,240} = \frac{N_{Ed}}{A_{V\,240}} = 1,73 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r,d\,400} = \frac{N_{Ed}}{A_{V\,400}} = 1,04 \text{ MPa}$$

De acuerdo con el apartado 6.2.5 del Anejo 19 del Código Estructural, se puede calcular la resistencia de cálculo a rasante en la zona de contacto mediante la siguiente expresión:

$$\tau_{r,u} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \text{sen} \alpha + \text{cos} \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

Donde las características del hormigón se refieren al de menor resistencia, que en este caso se prevé que sea el del estribo existente. Se estiman estos valores en un mínimo de:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,15} = \frac{15}{1,15} = 13,04 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0,05}}{1,15} = \frac{0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}}{1,15} = 1,11 \text{ MPa}$$

El coeficiente c , de acuerdo con el Código estructural, toma un valor de 0,2 para paredes lisas (considerada en el caso de la perforación de 240 mm) y de 0,4 para paredes rugosas (considerada en el caso de la perforación de 400 mm).

El valor v , de acuerdo con el apartado 6.2.2 del Anejo 19 del Código Estructural toma un valor de:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{15}{250}\right) = 0,564$$

Dado que con la solución planteada no tiene armaduras pasantes ni esfuerzos transversales, se obtiene de la expresión un valor de:

$$\tau_{r,u2} = c \cdot f_{ctd} = 0,2 \cdot 1,11 = 0,249 \text{ MPa} \quad \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,564 \cdot 13,04 = 3,67 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r,u400} = c \cdot f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,11 = 0,498 \text{ MPa} \quad \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,564 \cdot 13,04 = 3,67 \text{ MPa}$$

Por tanto no es posible justificar la correcta transmisión de esfuerzos del estribo a los micropilotes por medio únicamente del esfuerzo rasante entre hormigones con ninguna de las dos soluciones estudiadas, dado que:

$$\tau_{r,d240} = 1,73 \text{ MPa} >> \tau_{r,u240} = 0,249 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r,d400} = 1,04 \text{ MPa} >> \tau_{r,u240} = 0,498 \text{ MPa}$$

Será por tanto **necesario disponer de un sistema de conexión metálico** entre los micropilotes y el estribo.

Se estudia el empleo de pasadores metálicos según los ejemplos propuestos por la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera, pero sin embargo nos encontramos con el problema del difícil acceso a la parte inferior del tablero del puente para su ejecución, por lo que se decide emplear una tipología diferente de anclaje.

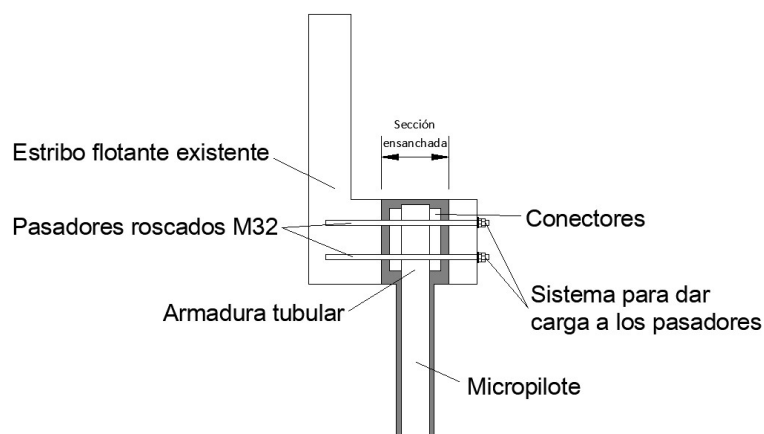


Ilustración 19. Ejemplo de conexión por medio de pasadores metálicos a una cimentación existente según tipología descrita en la Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carretera. Fuente: propia

El sistema de anclaje se diseña para que pueda ser ejecutado desde la parte superior del estribo, accediendo al mismo desde unas ventanas que se abran en el tablero del paso superior.

Se plantea un sistema de anclaje consistente en una placa anclada al estribo por medio de cuatro anclajes químicos de varilla roscada, con cuatro cartelas verticales para disponer de espacio suficiente para realizar las soldaduras necesarias a la armadura tubular del micropilote que permitan asegurar la correcta transmisión de cargas.

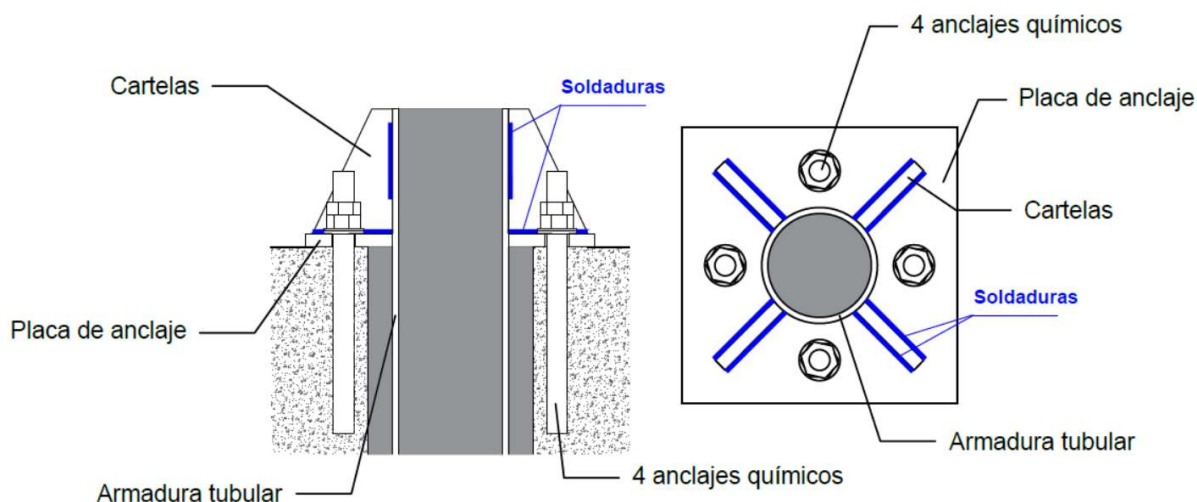


Ilustración 19. Sistema de anclaje diseñado para ser ejecutado desde encima del estribo. Fuente: propia

La fuerza que este sistema debe ser capaz de transmitir desde el estribo hasta el micropilote es la fuerza vertical total menos la parte que se consigue por medio del rozamiento entre hormigones. Se decide emplear un diámetro de perforación de 240 mm y considerar un valor de rugosidad $c = 0,2$.

Calculando con el mismo procedimiento descrito anteriormente, se obtiene que la contribución del rozamiento es de 85,62 kN, con lo que nos queda una fuerza transmitida por el sistema de anclaje de:

$$N_{Ed} = 653,07 - 85,62 = 567,45 \text{ kN}$$

DEFINICIÓN DE LOS ANCLAJES QUÍMICOS

En cada cabeza de micropilote, se deben disponer cuatro anclajes químicos que sean capaces de transmitir una carga de mínimo 142,86 kN cada uno.

Para la definición de los mismos se decide optar por la búsqueda de un anclaje de alguna marca comercial que sea válido para el uso previsto y cuya carga de diseño sea suficiente.

For hammer drilled holes, hollow drill bit¹⁾ and diamond cored with roughening tool²⁾:

Characteristic resistance		ETA-16/0143, issue 2019-05-14								Hilti technical data		
Anchor size		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M33	M36	M39
Non-cracked concrete												
Tension N_{Rk}	HAS-U 5.8	18,0	29,0	42,0	76,9	122	168	205	244	286	330	376
	HAS-U 8.8, AM	29,0	46,0	63,5	76,9	122	168	205	244	286	330	376
	HAS-U A4	26,0	41,0	59,0	76,9	122	168	205	244	286	330	376
	HAS-U HCR	29,0	46,0	63,5	76,9	122	168	205	244	286	330	376
	HIS-N 8.8	25,0	46,0	67,0	121,9	116	-	-	-	-	-	-
Shear V_{Rk}	HAS-U 5.8	9,0	15,0	21,0	39,0	61,0	88,0	115	140	174	204	244
	HAS-U 8.8, AM	15,0	23,0	34,0	63,0	98,0	141	184	224	278	327	390
	HAS-U A4	13,0	20,0	30,0	55,0	86,0	124	115	140	174	204	244
	HAS-U HCR	15,0	23,0	34,0	63,0	98,0	124	161	196	174	204	244
	HIS-N 8.8	13,0	23,0	34,0	63,0	58,0	-	-	-	-	-	-
Cracked concrete												
Tension N_{Rk}	HAS-U 5.8	15,1	22,6	39,4	53,8	85,3	117	143	171	-	-	-
	HAS-U 8.8, AM	15,1	22,6	39,4	53,8	85,3	117	143	171	-	-	-
	HAS-U A4	15,1	22,6	39,4	53,8	85,3	117	143	171	-	-	-
	HAS-U HCR	15,1	22,6	39,4	53,8	85,3	117	143	171	-	-	-
	HIS-N 8.8	25,0	44,4	53,8	85,3	113	-	-	-	-	-	-
Shear V_{Rk}	HAS-U 5.8	9,0	15,0	21,0	39,0	61,0	88,0	115	140	-	-	-
	HAS-U 8.8, AM	15,0	23,0	34,0	63,0	98,0	141	184	224	-	-	-
	HAS-U A4	13,0	20,0	30,0	55,0	86,0	124	115	140	-	-	-
	HAS-U HCR	15,0	23,0	34,0	63,0	98,0	124	161	196	-	-	-
	HIS-N 8.8	13,0	23,0	34,0	63,0	58,0	-	-	-	-	-	-

1) Hilti hollow drill bit available for element size M12-M30.

2) Roughening tools are available for element size M16-M30.

Tabla 21. Resistencia característica del sistema de anclaje HAS-U 5.8 M30 con resina HIT-RE 500

V3. Fuente: Hilti, enlace:

https://www.hilti.es/medias/sys_master/documents/h05/h12/9861781717022/Technical-data-sheet-for-HIT-RE-500-V3-injectable-mortar-in-concrete-Technical-information-ASSET-DOC-8257123.pdf

(Septiembre 2024)

Se define como solución posible el anclaje HAS-U 5,8 M30 con la resina de anclaje HIT-RE 500 V3 de la marca Hilti. Esta no es la única solución viable ni en cuanto a marca ni en cuanto a tipología de anclaje, pero como vemos en la Tabla 21, presenta una resistencia característica en hormigón fisurado suficiente, alcanzando los 171 kN de resistencia característica.

CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS A TRAVÉS DE LAS SOLDADURAS

Se calcula la longitud necesaria de soldadura vertical para la transmisión de esfuerzos desde el estribo hasta el micropilote.

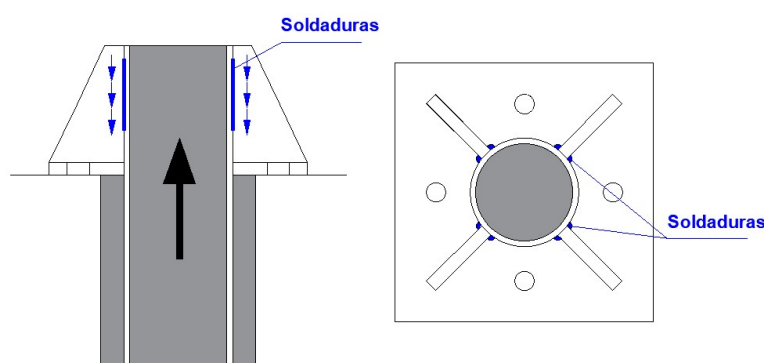


Ilustración 20. Transmisión de esfuerzos del micropilote al sistema de anclaje a través de ocho cordones de soldadura. Fuente: propia

De acuerdo con lo establecido en la Instrucción de Acero Estructural el espesor de garganta de las soldaduras debe estar entre 3 mm y un 70% del espesor de cualquiera de los elementos soldados. En el caso estudiado se está soldando la armadura tubular que tiene un espesor de 9 mm con una serie de cartelas que definimos de espesor 12 mm para que puedan ser soldadas a ambos lados. Con ello tenemos que el espesor de cartela de las soldaduras debe tomar un valor entre 3 y 6,3 mm. Se establece un espesor de garganta $a = 5$ mm.

La fuerza transmitida por cada una de las ocho soldaduras será de:

$$F_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{8} = \frac{567,45}{8} = 71,93 \text{ kN}$$

Empleando el método de cálculo para cordones de soldadura en ángulo definido por la Instrucción de Acero Estructural en su Artículo 59.8, tenemos:

$$\frac{F_{Ed}}{a \cdot L_w} \leq \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}$$

Donde L_w es la longitud de soldadura que está tratándose de definir, β_w es un coeficiente que toma el valor 0,9 para el acero S355 que se está empleando, γ_{m2} un parámetro que toma el valor 1,25, y f_u la tensión de rotura del acero empleado, que es de 470 MPa para el acero S355.

Con todo ello se obtiene:

$$L_w \geq \frac{F_{Ed} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{m2}}{a \cdot f_u / \sqrt{3}} = \frac{71,93 \cdot 0,9 \cdot 1,25}{0,005 \cdot 470000 / \sqrt{3}} = 0,060 \text{ m}$$

Resulta suficiente por tanto con una longitud de soldadura de 6 cm para transmitir la totalidad de fuerzas verticales desde el anclaje al estribo hasta el micropilote.

Sin embargo, dado la complejidad de acceso a la zona y la posibilidad de no conseguir una longitud suficiente en alguna de las soldaduras, se establece una longitud de diseño de 10 cm para cada una de ellas.

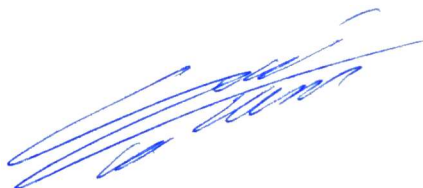
9.2.4. Armado del muro y la zapata

El armado de los muros y las zapatas ha sido calculado con los modelos anteriormente descritos del programa comercial CYPE. Se pueden consultar todas las comprobaciones realizadas a los tres modelos en el Apéndice 1 al presente Documento.

9.3. Resultados

El resultado de los cálculos se materializa en la definición de las dimensiones y armado de los muros y sus cimentaciones, así como de los micropilotes y su conexión al estribo existente. Todo ello queda reflejado en el Documento 5 Planos, concretamente en los planos 6.1 y 6.2 Estructuras.

Valencia, en septiembre de 2024



Rubén Fernández Morocho



Apéndice 1: Resultados de cálculo de muros

1.- NORMA Y MATERIALES.....	2
2.- ACCIONES.....	2
3.- DATOS GENERALES.....	2
4.- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO.....	2
5.- SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO.....	4
6.- GEOMETRÍA.....	4
7.- ESQUEMA DE LAS FASES.....	5
8.- CARGAS.....	6
9.- RESULTADOS DE LAS FASES.....	6
10.- COMBINACIONES.....	7
11.- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO.....	8
12.- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA.....	8
13.- COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO).....	14
14.- MEDICIÓN.....	14



1.- NORMA Y MATERIALES

Norma: EHE-08 (España)

Hormigón: HA-30, $Y_c=1.5$

Acero de barras: B 500 S, $Y_s=1.15$

Tipo de ambiente: Clase IIa

Recubrimiento en el intradós del muro: 3.0 cm

Recubrimiento en el trasdós del muro: 7.5 cm

Recubrimiento superior de la cimentación: 3.0 cm

Recubrimiento inferior de la cimentación: 7.5 cm

Recubrimiento lateral de la cimentación: 7.5 cm

Tamaño máximo del árido: 20 mm

2.- ACCIONES

Empuje en el intradós: Sin empuje

Empuje en el trasdós: Activo

3.- DATOS GENERALES

Cota de la rasante: 0.00 m

Altura del muro sobre la rasante: 0.00 m

Enrase: Intradós

Longitud del muro en planta: 9.00 m

Sin juntas de retracción

Tipo de cimentación: Zapata corrida

4.- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

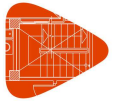
Ángulo talud: 30 grados

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el intradós del muro: 66 %

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el trasdós del muro: 66 %

Evacuación por drenaje: 80 %

Tensión admisible: 0.200 MPa



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Coeficiente de rozamiento terreno-cimiento: 1

ESTRATOS

Referencias	Cota superior	Descripción	Coeficientes de empuje
1 - Relleno terraplén	0.00 m	Densidad aparente: 21.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 9.43 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 31.00 grados Cohesión: 15.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.27
2 - Cimiento terraplén	-5.14 m	Densidad aparente: 22.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 11.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 31.00 grados Cohesión: 15.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.27
3 - Limos marrones	-5.54 m	Densidad aparente: 19.50 kN/m ³ Densidad sumergida: 10.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 29.00 grados Cohesión: 10.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.29
4 - Limos y gravas costras	-5.94 m	Densidad aparente: 21.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 12.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 22.00 grados Cohesión: 75.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.39

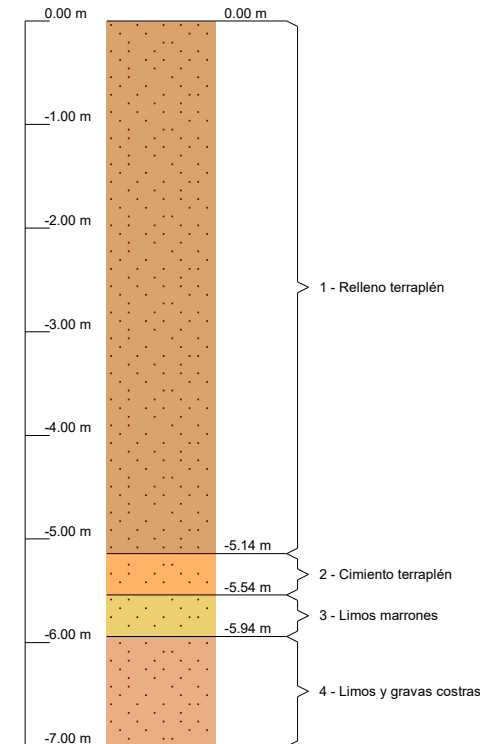


Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

5.- SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO

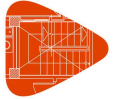


6.- GEOMETRÍA

MURO

Altura: 5.28 m
Espesor superior: 65.0 cm
Espesor inferior: 65.0 cm

ZAPATA CORRIDA



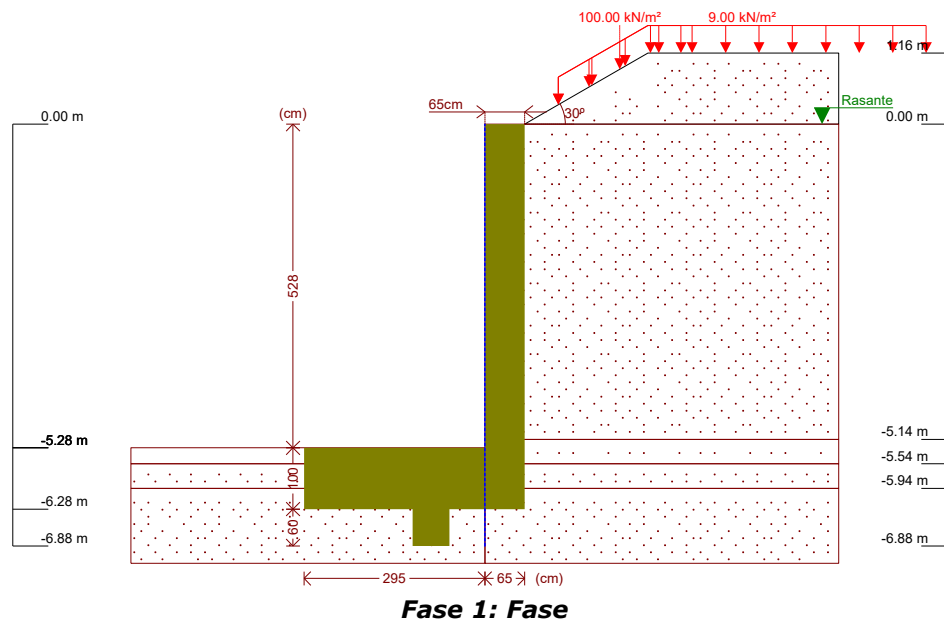
Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Sin talón
Canto: 100 cm
Vuelo en el intradós: 295.0 cm
Canto del tacón: 60 cm
Ancho del tacón: 60 cm
Distancia al eje del muro: -120 cm
Hormigón de limpieza: 10 cm

7.- ESQUEMA DE LAS FASES



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

8.- CARGAS

CARGAS EN EL TRASDÓS

Tipo	Cota	Datos	Fase inicial	Fase final
En banda	En superficie	Valor: 9 kN/m² Ancho: 6 m Separación: 4.2 m	Fase	Fase
En banda	En superficie	Valor: 100 kN/m² Ancho: 2 m Separación: 2.2 m	Fase	Fase

9.- RESULTADOS DE LAS FASES

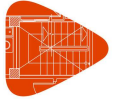
Esfuerzos sin mayorar.

FASE 1: FASE

CARGA PERMANENTE Y EMPUJE DE TIERRAS CON SOBRECARGAS

Cota (m)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN-m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.00	0.00	0.00	0.00	18.32	-0.00
-0.52	11.62	9.19	1.34	15.87	1.02
-1.05	23.03	17.94	7.58	14.18	2.06
-1.58	34.00	26.07	18.45	11.68	3.10
-2.11	44.65	33.88	33.62	10.76	4.14
-2.64	55.23	42.06	53.03	10.96	5.18
-3.17	65.92	51.11	76.94	11.88	6.22
-3.70	76.86	61.34	105.88	13.29	7.26
-4.23	88.10	72.95	140.49	15.04	8.30
-4.76	99.71	86.11	181.54	17.01	9.34
-5.28	111.51	100.62	228.88	19.14	10.36
Máximos	111.51	100.62	228.88	19.14	10.36
	Cota: -5.28 m	Cota: -5.28 m	Cota: -5.28 m	Cota: -5.28 m	Cota: -5.28 m
Mínimos	0.00	0.00	-0.13	10.73	-0.00
	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: -0.12 m	Cota: -2.26 m	Cota: 0.00 m

CARGA PERMANENTE Y EMPUJE DE TIERRAS



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Cota (m)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m ²)	Presión hidrostática (kN/m ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
-0.52	8.29	0.27	0.05	0.00	1.02
-1.05	16.74	1.08	0.38	0.00	2.06
-1.58	25.19	2.45	1.29	0.00	3.10
-2.11	33.66	4.44	3.07	0.85	4.14
-2.64	42.54	8.06	6.15	3.50	5.18
-3.17	51.94	13.64	11.51	6.15	6.22
-3.70	61.87	21.18	20.17	8.81	7.26
-4.23	72.33	30.67	33.17	11.46	8.30
-4.76	83.30	42.12	51.55	14.12	9.34
-5.28	94.59	55.27	75.82	16.76	10.36
Máximos	94.59 Cota: -5.28 m	55.27 Cota: -5.28 m	75.82 Cota: -5.28 m	16.76 Cota: -5.28 m	10.36 Cota: -5.28 m
Mínimos	0.00 Cota: 0.00 m	0.00 Cota: 0.00 m	0.00 Cota: 0.00 m	0.00 Cota: 0.00 m	-0.00 Cota: 0.00 m

10.- COMBINACIONES

HIPÓTESIS

1 - Carga permanente
2 - Empuje de tierras
3 - Sobrecarga

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Combinación	Hipótesis		
	1	2	3
1	1.00	1.00	
2	1.35	1.00	
3	1.00	1.50	
4	1.35	1.50	
5	1.00	1.00	1.50
6	1.35	1.00	1.50
7	1.00	1.50	1.50
8	1.35	1.50	1.50



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

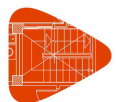
Combinación	Hipótesis		
	1	2	3
1	1.00	1.00	
2	1.00	1.00	0.60

11.- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO

CORONACIÓN				
Armadura superior: 3Ø16				
Anclaje intradós / trasdós: 56 / 50 cm				
TRAMOS				
Núm.	Intradós		Trasdós	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
1	Ø10c/30 Solape: 0.25 m	Ø16c/25	Ø16c/15 Solape: 0.8 m	Ø16c/25
ZAPATA				
Armadura	Longitudinal	Transversal		
Inferior	Ø16c/20	Ø16c/10 Patilla intradós / trasdós: - / 16 cm		
Tacón	7Ø12	Ø12c/15 Longitud de anclaje en prolongación: 29 cm		
Longitud de pata en arranque: 30 cm				

12.- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA

Referencia: Muro: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación a rasante en arranque muro: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 865.7 kN/m Calculado: 150.9 kN/m	Cumple



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Espesor mínimo del tramo: <i>Jiménez Salas, J.A.. Geotecnia y Cimientos II, (Cap. 12)</i>	Mínimo: 20 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Separación libre mínima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i>	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 23.4 cm Calculado: 23.4 cm	Cumple Cumple
Separación máxima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple
Cuantía geométrica mínima horizontal por cara: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.0016 Calculado: 0.0016 Calculado: 0.0016	Cumple Cumple
Cuantía mínima mecánica horizontal por cara: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano". (Cuantía horizontal > 20% Cuantía vertical)</i>	Calculado: 0.00123 Mínimo: 0.00041 Mínimo: 8e-005	Cumple Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara traccionada: - Trasdós (-5.28 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.00206	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara traccionada: - Trasdós (-5.28 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00184 Calculado: 0.00206	Cumple



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía mínima geométrica vertical cara comprimida: - Intradós (-5.28 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.00027 Calculado: 0.0004	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara comprimida: - Intradós (-5.28 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.3</i>	Mínimo: 2e-005 Calculado: 0.0004	Cumple
Separación libre mínima armaduras verticales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i>	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 11.8 cm Calculado: 28 cm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 15 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple
Comprobación a flexión compuesta: <i>Comprobación realizada por unidad de longitud de muro</i>		Cumple
Comprobación a cortante: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.2.1</i>	Máximo: 326.9 kN/m Calculado: 127.3 kN/m	Cumple
Comprobación de fisuración: <i>Norma EHE-08. Artículo 49.2.3</i>	Máximo: 0.3 mm Calculado: 0 mm	Cumple
Longitud de solapes: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.5.2</i>	Mínimo: 0.8 m Calculado: 0.8 m Mínimo: 0.25 m Calculado: 0.25 m	Cumple Cumple
Comprobación del anclaje del armado base en coronación: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano".</i>		



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
- Trasdós:	Mínimo: 50 cm Calculado: 50 cm	Cumple
- Intradós:	Mínimo: 0 cm Calculado: 56 cm	Cumple
Área mínima longitudinal cara superior viga de coronación: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano".</i>	Mínimo: 4 cm ² Calculado: 6 cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Trasdós: -5.28 m		
- Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Intradós: -5.28 m		
- Sección crítica a flexión compuesta: Cota: -5.28 m, Md: 343.32 kN·m/m, Nd: 125.17 kN/m, Vd: 150.93 kN/m, Tensión máxima del acero: 417.767 MPa		
- Sección crítica a cortante: Cota: -4.72 m		
Referencia: Zapata corrida: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación de estabilidad: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 1.5 Calculado: 1.5	Cumple
- Coeficiente de seguridad al vuelco:	Calculado: 1.5	Cumple
- Coeficiente de seguridad al deslizamiento:	Calculado: 1.5	Cumple
Canto mínimo: - Zapata: <i>Norma EHE-08. Artículo 58.8.1</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 100 cm	Cumple
Tensiones sobre el terreno: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0554 MPa	Cumple



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
- Tensión máxima:	Máximo: 0.25 MPa Calculado: 0.1488 MPa	Cumple
Flexión en zapata: <i>Comprobación basada en criterios resistentes</i>		
- Armado inferior intradós:	Mínimo: 12.53 cm ² /m Calculado: 20.1 cm ² /m	Cumple
- Momento pésimo en el tacón:	Mínimo: 5.3 cm ² /m Calculado: 7.54 cm ² /m	Cumple
Esfuerzo cortante: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.2.1</i>		
- Intradós:	Máximo: 449.1 kN/m Calculado: 204.5 kN/m	Cumple
- En el tacón:	Máximo: 295.6 kN/m Calculado: 9.3 kN/m	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.5</i>		
- Arranque trasdós:	Mínimo: 26.9 cm Calculado: 89.3 cm	Cumple
- Arranque intradós:	Mínimo: 17 cm Calculado: 89.3 cm	Cumple
- Armado inferior trasdós (Patilla):	Mínimo: 16 cm Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inferior intradós (Patilla):	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armadura transversal del tacón:	Mínimo: 21.1 cm Calculado: 29 cm	Cumple
Recubrimiento:		
- Lateral: <i>Norma EHE-08. Artículo 37.2.4.1</i>	Mínimo: 7 cm Calculado: 7.5 cm	Cumple
Diámetro mínimo: <i>Norma EHE-08. Artículo 58.8.2.</i>		
- Armadura transversal inferior:	Mínimo: Ø12 Calculado: Ø16	Cumple
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: Ø16	Cumple



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
- Armadura longitudinal del tacón:	Calculado: Ø12	Cumple
- Armadura transversal del tacón:	Calculado: Ø12	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i>		
- Armadura transversal inferior:	Máximo: 30 cm	
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 10 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama horizontal tacón:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado transversal del tacón:	Calculado: 20.7 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama vertical tacón:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama vertical tacón:	Calculado: 25.3 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>		
- Armadura transversal inferior:	Mínimo: 10 cm	
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 10 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama horizontal tacón:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado transversal del tacón:	Calculado: 20.7 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama vertical tacón:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama vertical tacón:	Calculado: 25.3 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>		
- Armadura longitudinal inferior:	Mínimo: 0.0009	
- Armadura transversal inferior:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armadura longitudinal del tacón:	Calculado: 0.00201	Cumple
- Armadura transversal del tacón:	Calculado: 0.00219	Cumple
- Armadura transversal del tacón:	Calculado: 0.00125	Cumple
Cuantía mecánica mínima:		
- Armadura longitudinal inferior:	Mínimo: 0.0005	
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 0.001	Cumple
<i>Norma EHE-08. Artículo 55</i>		



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

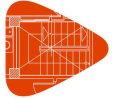
Referencia: Zapata corrida: Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
- Armadura transversal inferior: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00145	
- Armadura transversal inferior:	Calculado: 0.00201	Cumple
- Armadura longitudinal del tacón: <i>Norma EHE-08. Artículo 55</i>	Mínimo: 0.00031	
- Armadura longitudinal del tacón:	Calculado: 0.00219	Cumple
- Armadura transversal del tacón: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00111	
- Armadura transversal del tacón:	Calculado: 0.00125	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Momento flector pésimo en la sección de referencia del intradós: 485.78 kN·m/m		

13.- COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO)

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo): Muro_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Círculo de deslizamiento pésimo:		
Combinaciones sin sismo:		
- Fase: Coordenadas del centro del círculo (-0.62 m ; 1.49 m) - Radio: 8.39 m: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 2	
	Calculado: 2.833	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

14.- MEDICIÓN

Referencia: Muro		B 500 S, Ys=1.15			Total
Nombre de armado		Ø10	Ø12	Ø16	
Armado base transversal	Longitud (m)	31x5.81			180.11
	Peso (kg)	31x3.58			111.04
Armado longitudinal	Longitud (m)			22x8.85	194.70
	Peso (kg)			22x13.97	307.30
Armado base transversal	Longitud (m)			60x5.74	344.40
	Peso (kg)			60x9.06	543.57



Selección de listados

Muro_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro		B 500 S, Ys=1.15			Total
Nombre de armado		Ø10	Ø12	Ø16	
Armado longitudinal	Longitud (m)			22x8.85	194.70
	Peso (kg)			22x13.97	307.30
Armado viga coronación	Longitud (m)			3x8.85	26.55
	Peso (kg)			3x13.97	41.90
Armadura inferior - Transversal	Longitud (m)			90x3.60	324.00
	Peso (kg)			90x5.68	511.38
Armadura inferior - Longitudinal	Longitud (m)			19x8.85	168.15
	Peso (kg)			19x13.97	265.39
Armadura del tacón - Transversal	Longitud (m)		60x2.06		123.60
	Peso (kg)		60x1.83		109.74
Armadura del tacón - Longitudinal - Inferior	Longitud (m)		3x8.85		26.55
	Peso (kg)		3x7.86		23.57
Armadura del tacón - Longitudinal - Izquierda	Longitud (m)		2x8.85		17.70
	Peso (kg)		2x7.86		15.71
Armadura del tacón - Longitudinal - Derecha	Longitud (m)		2x8.85		17.70
	Peso (kg)		2x7.86		15.71
Arranques - Transversal - Izquierda	Longitud (m)	31x1.44			44.64
	Peso (kg)	31x0.89			27.52
Arranques - Transversal - Derecha	Longitud (m)			60x1.99	119.40
	Peso (kg)			60x3.14	188.45
Totales	Longitud (m)	224.75	185.55	1371.90	
	Peso (kg)	138.56	164.73	2165.29	2468.58
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	247.23	204.11	1509.09	
	Peso (kg)	152.42	181.20	2381.82	2715.44

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)				Hormigón (m³)	
	Ø10	Ø12	Ø16	Total	HA-30, Yc=1.5	Limpieza
Referencia: Muro	152.42	181.20	2381.82	2715.44	66.53	3.24
Totales	152.42	181.20	2381.82	2715.44	66.53	3.24

1.- NORMA Y MATERIALES.....	2
2.- ACCIONES.....	2
3.- DATOS GENERALES.....	2
4.- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO.....	2
5.- SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO.....	4
6.- GEOMETRÍA.....	4
7.- ESQUEMA DE LAS FASES.....	5
8.- RESULTADOS DE LAS FASES.....	5
9.- COMBINACIONES.....	6
10.- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO.....	7
11.- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA.....	8
12.- COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO).....	13
13.- MEDICIÓN.....	13



1.- NORMA Y MATERIALES

Norma: EHE-08 (España)

Hormigón: HA-30, $Y_c=1.5$

Acero de barras: B 500 S, $Y_s=1.15$

Tipo de ambiente: Clase IIa

Recubrimiento en el intradós del muro: 3.0 cm

Recubrimiento en el trasdós del muro: 7.5 cm

Recubrimiento superior de la cimentación: 3.0 cm

Recubrimiento inferior de la cimentación: 7.5 cm

Recubrimiento lateral de la cimentación: 7.5 cm

Tamaño máximo del árido: 20 mm

2.- ACCIONES

Empuje en el intradós: Sin empuje

Empuje en el trasdós: Activo

3.- DATOS GENERALES

Cota de la rasante: 0.00 m

Altura del muro sobre la rasante: 0.00 m

Enrase: Intradós

Longitud del muro en planta: 9.00 m

Sin juntas de retracción

Tipo de cimentación: Zapata corrida

4.- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

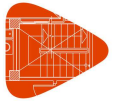
Ángulo talud: 30 grados

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el intradós del muro: 66 %

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el trasdós del muro: 66 %

Evacuación por drenaje: 80 %

Tensión admisible: 0.200 MPa



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Coeficiente de rozamiento terreno-cimiento: 1

ESTRATOS

Referencias	Cota superior	Descripción	Coeficientes de empuje
1 - Relleno terraplén	0.00 m	Densidad aparente: 21.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 9.43 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 31.00 grados Cohesión: 15.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.27
2 - Cimiento terraplén	-5.14 m	Densidad aparente: 22.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 11.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 31.00 grados Cohesión: 15.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.27
3 - Limos marrones	-5.54 m	Densidad aparente: 19.50 kN/m ³ Densidad sumergida: 10.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 29.00 grados Cohesión: 10.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.29
4 - Limos y gravas costras	-5.94 m	Densidad aparente: 21.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 12.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 22.00 grados Cohesión: 75.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.39

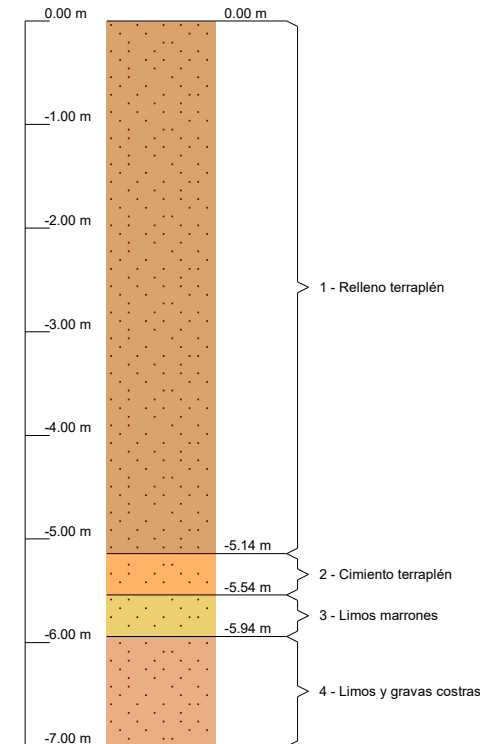


Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

5.- SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO

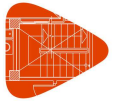


6.- GEOMETRÍA

MURO

Altura: 5.99 m
Espesor superior: 50.0 cm
Espesor inferior: 50.0 cm

ZAPATA CORRIDA



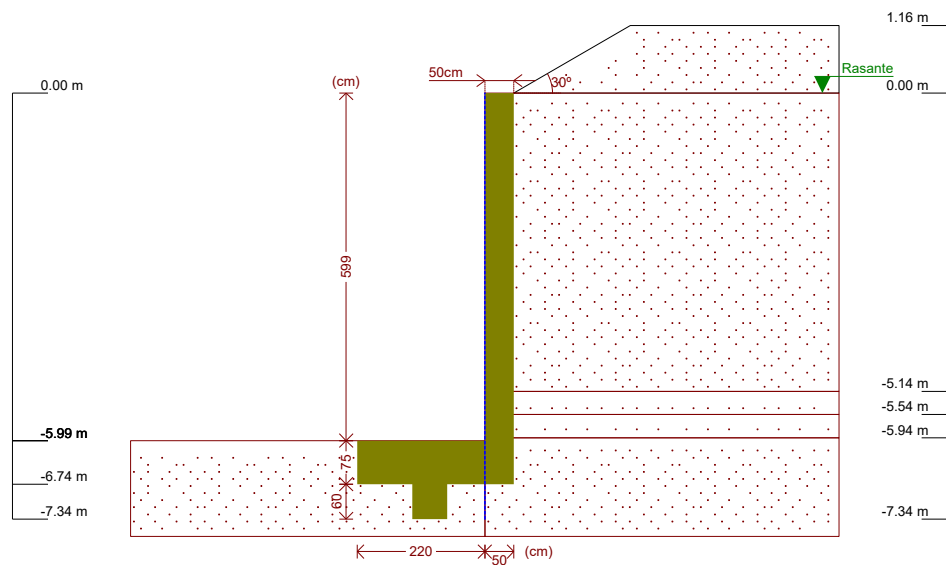
Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Sin talón
Canto: 75 cm
Vuelo en el intradós: 220.0 cm
Canto del tacón: 60 cm
Ancho del tacón: 60 cm
Distancia al eje del muro: -120 cm
Hormigón de limpieza: 10 cm

7.- ESQUEMA DE LAS FASES



Fase 1: Fase

8.- RESULTADOS DE LAS FASES

Esfuerzos sin mayorar.



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

FASE 1: FASE

CARGA PERMANENTE Y EMPUJE DE TIERRAS

Cota (m)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
-0.59	7.23	0.34	0.07	0.00	1.16
-1.19	14.59	1.39	0.55	0.00	2.33
-1.79	21.95	3.14	1.88	0.00	3.51
-2.39	29.50	6.11	4.49	2.25	4.69
-2.99	37.69	11.52	9.45	5.25	5.87
-3.59	46.56	19.45	18.24	8.26	7.04
-4.19	56.10	29.89	32.37	11.26	8.22
-4.79	66.32	42.83	53.34	14.27	9.40
-5.39	77.21	58.29	82.67	17.35	10.58
-5.99	89.30	78.42	122.50	0.00	11.75
Máximos	89.30	78.42	122.50	27.90	11.75
	Cota: -5.99 m	Cota: -5.99 m	Cota: -5.99 m	Cota: -5.93 m	Cota: -5.99 m
Mínimos	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m

9.- COMBINACIONES

HIPÓTESIS

- 1 - Carga permanente
- 2 - Empuje de tierras



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Combinación	Hipótesis	
	1	2
1	1.00	1.00
2	1.35	1.00
3	1.00	1.50
4	1.35	1.50

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Combinación	Hipótesis	
	1	2
1	1.00	1.00

10.- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO

CORONACIÓN				
Armadura superior: 3Ø16				
Anclaje intradós / trasdós: 41 / 35 cm				
TRAMOS				
Núm.	Intradós		Trasdós	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
1	Ø10c/30 Solape: 0.25 m	Ø16c/25	Ø16c/20 Solape: 0.6 m	Ø16c/25
ZAPATA				
Armadura	Longitudinal	Transversal		
Inferior	Ø16c/20	Ø16c/15 Patilla intradós / trasdós: - / 20 cm		
Tacón	7Ø12	Ø12c/15 Longitud de anclaje en prolongación: 20 cm		
Longitud de pata en arranque: 30 cm				



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

11.- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA

Referencia: Muro: Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación a rasante en arranque muro: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 627.3 kN/m Calculado: 117.6 kN/m	Cumple
Espesor mínimo del tramo: <i>Jiménez Salas, J.A.. Geotecnia y Cimientos II, (Cap. 12)</i>	Mínimo: 20 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Separación libre mínima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 23.4 cm Calculado: 23.4 cm	Cumple Cumple
Separación máxima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i> - Trasdós: - Intradós:	Máximo: 30 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple
Cuantía geométrica mínima horizontal por cara: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i> - Trasdós (-5.99 m): - Intradós (-5.99 m):	Mínimo: 0.0016 Calculado: 0.0016 Calculado: 0.0016	Cumple Cumple
Cuantía mínima mecánica horizontal por cara: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano". (Cuantía horizontal > 20% Cuantía vertical)</i> - Trasdós: - Intradós:	Calculado: 0.0016 Mínimo: 0.0004 Mínimo: 0.0001	Cumple Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara traccionada: - Trasdós (-5.99 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.00201	Cumple



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro: Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía mínima mecánica vertical cara traccionada: - Trasdós (-5.99 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00184 Calculado: 0.00201	Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara comprimida: - Intradós (-5.99 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.00027 Calculado: 0.00052	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara comprimida: - Intradós (-5.99 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.3</i>	Mínimo: 2e-005 Calculado: 0.00052	Cumple
Separación libre mínima armaduras verticales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i> - Trasdós, vertical: - Intradós, vertical:	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 16.8 cm Calculado: 28 cm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i> - Armadura vertical Trasdós, vertical: - Armadura vertical Intradós, vertical:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple
Comprobación a flexión compuesta: <i>Comprobación realizada por unidad de longitud de muro</i>		Cumple
Comprobación a cortante: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.2.1</i>	Máximo: 262.3 kN/m Calculado: 95.6 kN/m	Cumple
Comprobación de fisuración: <i>Norma EHE-08. Artículo 49.2.3</i>	Máximo: 0.3 mm Calculado: 0 mm	Cumple
Longitud de solapes: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.5.2</i> - Base trasdós:	Mínimo: 0.56 m Calculado: 0.6 m	Cumple



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro: Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
- Base intradós:	Mínimo: 0.25 m Calculado: 0.25 m	Cumple
Comprobación del anclaje del armado base en coronación: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano".</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 35 cm Calculado: 35 cm Mínimo: 0 cm Calculado: 41 cm	Cumple Cumple
Área mínima longitudinal cara superior viga de coronación: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano".</i>	Mínimo: 4 cm ² Calculado: 6 cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Trasdós: -5.99 m - Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Intradós: -5.99 m - Sección crítica a flexión compuesta: Cota: -5.99 m, Md: 183.74 kN·m/m, Nd: 97.22 kN/m, Vd: 117.63 kN/m, Tensión máxima del acero: 419.668 MPa - Sección crítica a cortante: Cota: -5.58 m		
Referencia: Zapata corrida: Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación de estabilidad: <i>Valor introducido por el usuario.</i> - Coeficiente de seguridad al vuelco: - Coeficiente de seguridad al deslizamiento:	Mínimo: 1.5 Calculado: 1.53 Calculado: 1.5	Cumple Cumple
Canto mínimo: - Zapata: <i>Norma EHE-08. Artículo 58.8.1</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Valor introducido por el usuario.</i>		
- Tensión media:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0514 MPa	Cumple
- Tensión máxima:	Máximo: 0.25 MPa Calculado: 0.1271 MPa	Cumple
Flexión en zapata: <i>Comprobación basada en criterios resistentes</i>		
- Armado inferior intradós:	Mínimo: 9.2 cm ² /m Calculado: 13.4 cm ² /m	Cumple
- Momento pésimo en el tacón:	Mínimo: 3.67 cm ² /m Calculado: 7.54 cm ² /m	Cumple
Esfuerzo cortante: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.2.1</i>		
- Intradós:	Máximo: 354.7 kN/m Calculado: 147.3 kN/m	Cumple
- En el tacón:	Máximo: 295.6 kN/m Calculado: 10.5 kN/m	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.5</i>		
- Arranque trasdós:	Mínimo: 27 cm Calculado: 64.3 cm	Cumple
- Arranque intradós:	Mínimo: 17 cm Calculado: 64.3 cm	Cumple
- Armado inferior trasdós (Patilla):	Mínimo: 16 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior intradós (Patilla):	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armadura transversal del tacón:	Mínimo: 15 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Recubrimiento: <i>Norma EHE-08. Artículo 37.2.4.1</i>		
- Lateral:	Mínimo: 7 cm Calculado: 7.5 cm	Cumple



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo: <i>Norma EHE-08. Artículo 58.8.2.</i>		
- Armadura transversal inferior:	Mínimo: Ø12 Calculado: Ø16	Cumple
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: Ø16	Cumple
- Armadura longitudinal del tacón:	Calculado: Ø12	Cumple
- Armadura transversal del tacón:	Calculado: Ø12	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i>		
- Armadura transversal inferior:	Máximo: 30 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama horizontal tacón:	Calculado: 20.7 cm	Cumple
- Armado transversal del tacón:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama vertical tacón:	Calculado: 25.3 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>		
- Armadura transversal inferior:	Mínimo: 10 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama horizontal tacón:	Calculado: 20.7 cm	Cumple
- Armado transversal del tacón:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado longitudinal rama vertical tacón:	Calculado: 25.3 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>		
- Armadura longitudinal inferior:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.00134	Cumple
- Armadura transversal inferior:	Calculado: 0.00178	Cumple
- Armadura longitudinal del tacón:	Calculado: 0.00219	Cumple
- Armadura transversal del tacón:	Calculado: 0.00125	Cumple



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía mecánica mínima:		
- Armadura longitudinal inferior: <i>Norma EHE-08. Artículo 55</i>	Mínimo: 0.00044 Calculado: 0.00134	Cumple
- Armadura transversal inferior: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00143 Calculado: 0.00178	Cumple
- Armadura longitudinal del tacón: <i>Norma EHE-08. Artículo 55</i>	Mínimo: 0.00031 Calculado: 0.00219	Cumple
- Armadura transversal del tacón: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00081 Calculado: 0.00125	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Momento flector pésimo en la sección de referencia del intradós: 258.25 kN·m/m		

12.- COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO)

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo): Aleta_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Círculo de deslizamiento pésimo:		
Combinaciones sin sismo:		
- Fase: Coordenadas del centro del círculo (-0.86 m ; 1.25 m) - Radio: 8.74 m: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 2 Calculado: 3.299	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

13.- MEDICIÓN

Referencia: Muro		B 500 S, Ys=1.15			Total
Nombre de armado		Ø10	Ø12	Ø16	
Armado base transversal	Longitud (m)	31x6.37			197.47
	Peso (kg)	31x3.93			121.75



Selección de listados

Aleta_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro		B 500 S, Ys=1.15			Total
Nombre de armado		Ø10	Ø12	Ø16	
Armado longitudinal	Longitud (m)			25x8.85	221.25
	Peso (kg)			25x13.97	349.20
Armado base transversal	Longitud (m)			46x6.30	289.80
	Peso (kg)			46x9.94	457.40
Armado longitudinal	Longitud (m)			25x8.85	221.25
	Peso (kg)			25x13.97	349.20
Armado viga coronación	Longitud (m)			3x8.85	26.55
	Peso (kg)			3x13.97	41.90
Armadura inferior - Transversal	Longitud (m)			60x2.74	164.40
	Peso (kg)			60x4.32	259.48
Armadura inferior - Longitudinal	Longitud (m)			14x8.85	123.90
	Peso (kg)			14x13.97	195.55
Armadura del tacón - Transversal	Longitud (m)		60x1.88		112.80
	Peso (kg)		60x1.67		100.15
Armadura del tacón - Longitudinal - Inferior	Longitud (m)		3x8.85		26.55
	Peso (kg)		3x7.86		23.57
Armadura del tacón - Longitudinal - Izquierda	Longitud (m)		2x8.85		17.70
	Peso (kg)		2x7.86		15.71
Armadura del tacón - Longitudinal - Derecha	Longitud (m)		2x8.85		17.70
	Peso (kg)		2x7.86		15.71
Arranques - Transversal - Izquierda	Longitud (m)	31x1.19			36.89
	Peso (kg)	31x0.73			22.74
Arranques - Transversal - Derecha	Longitud (m)			46x1.54	70.84
	Peso (kg)			46x2.43	111.81
Totales	Longitud (m)	234.36	174.75	1117.99	
	Peso (kg)	144.49	155.14	1764.54	2064.17
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	257.80	192.23	1229.79	
	Peso (kg)	158.94	170.65	1941.00	2270.59

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)				Hormigón (m³)	
	Ø10	Ø12	Ø16	Total	HA-30, Yc=1.5	Limpieza
Referencia: Muro	158.94	170.66	1940.99	2270.59	48.42	2.43
Totales	158.94	170.66	1940.99	2270.59	48.42	2.43

1.- NORMA Y MATERIALES.....	2
2.- ACCIONES.....	2
3.- DATOS GENERALES.....	2
4.- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO.....	2
5.- SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO.....	4
6.- GEOMETRÍA.....	4
7.- ESQUEMA DE LAS FASES.....	5
8.- RESULTADOS DE LAS FASES.....	5
9.- COMBINACIONES.....	6
10.- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO.....	7
11.- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA.....	8
12.- COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO).....	13
13.- MEDICIÓN.....	13



1.- NORMA Y MATERIALES

Norma: EHE-08 (España)

Hormigón: HA-30, $Y_c=1.5$

Acero de barras: B 500 S, $Y_s=1.15$

Tipo de ambiente: Clase IIa

Recubrimiento en el intradós del muro: 3.0 cm

Recubrimiento en el trasdós del muro: 7.5 cm

Recubrimiento superior de la cimentación: 3.0 cm

Recubrimiento inferior de la cimentación: 7.5 cm

Recubrimiento lateral de la cimentación: 7.5 cm

Tamaño máximo del árido: 20 mm

2.- ACCIONES

Empuje en el intradós: Sin empuje

Empuje en el trasdós: Activo

3.- DATOS GENERALES

Cota de la rasante: 0.00 m

Altura del muro sobre la rasante: 0.00 m

Enrase: Intradós

Longitud del muro en planta: 9.00 m

Sin juntas de retracción

Tipo de cimentación: Zapata corrida

4.- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

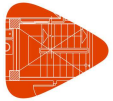
Ángulo talud: 30 grados

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el intradós del muro: 66 %

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el trasdós del muro: 66 %

Evacuación por drenaje: 80 %

Tensión admisible: 0.200 MPa



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Coefficiente de rozamiento terreno-cimiento: 1

ESTRATOS

Referencias	Cota superior	Descripción	Coefficientes de empuje
1 - Relleno terraplén	0.00 m	Densidad aparente: 21.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 9.43 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 31.00 grados Cohesión: 15.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.27
2 - Cimiento terraplén	-3.27 m	Densidad aparente: 22.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 11.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 31.00 grados Cohesión: 15.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.27
3 - Limos marrones	-3.67 m	Densidad aparente: 19.50 kN/m ³ Densidad sumergida: 10.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 29.00 grados Cohesión: 10.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.29
4 - Limos y gravas costras	-4.07 m	Densidad aparente: 21.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 12.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 22.00 grados Cohesión: 75.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.39

RELLENO EN INTRADÓS

Referencias	Descripción	Coefficientes de empuje
Zahorra	Densidad aparente: 5.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 1.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 19.00 grados Cohesión: 0.00 kN/m ²	Activo trasdós: 0.44

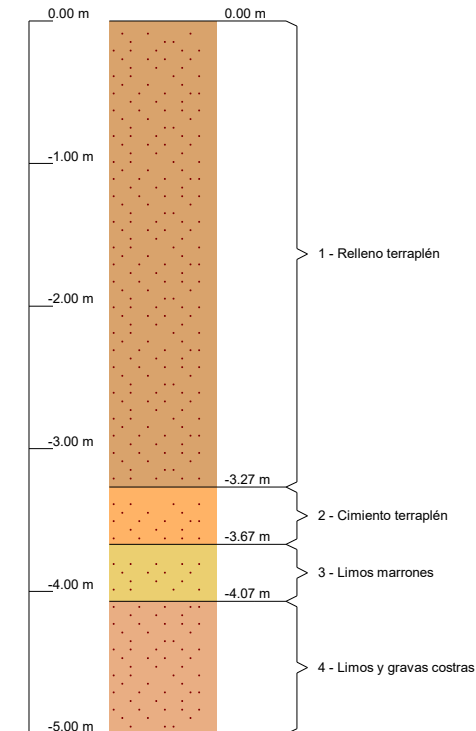


Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

5.- SECCIÓN VERTICAL DEL TERRENO

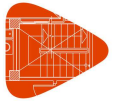


6.- GEOMETRÍA

MURO

Altura: 4.84 m
Espesor superior: 50.0 cm
Espesor inferior: 50.0 cm

ZAPATA CORRIDA



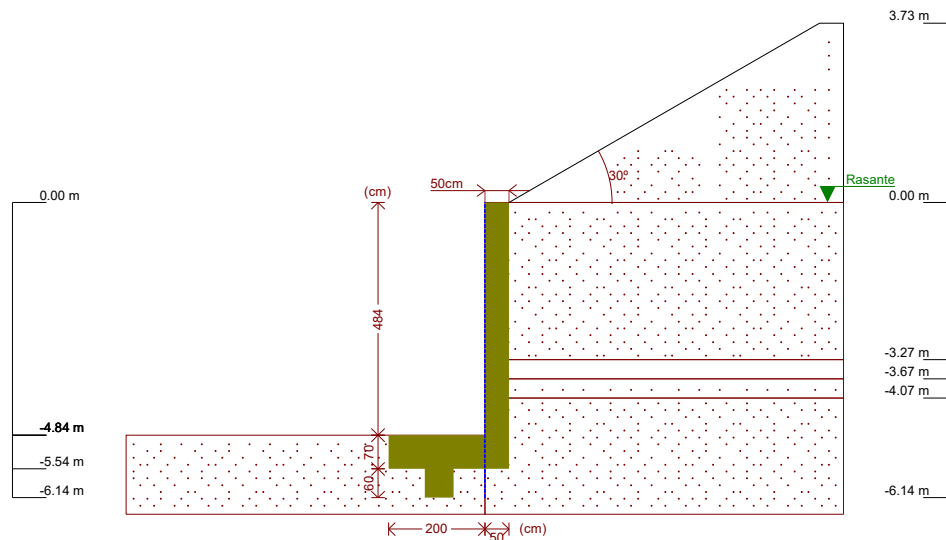
Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Sin talón
Canto: 70 cm
Vuelo en el intradós: 200.0 cm
Canto del tacón: 60 cm
Ancho del tacón: 60 cm
Distancia al eje del muro: -120 cm
Hormigón de limpieza: 10 cm

7.- ESQUEMA DE LAS FASES



Fase 1: Fase

8.- RESULTADOS DE LAS FASES

Esfuerzos sin mayorar.



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

FASE 1: FASE

CARGA PERMANENTE Y EMPUJE DE TIERRAS

Cota (m)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
-0.47	5.76	0.22	0.03	0.00	0.92
-0.95	11.65	0.89	0.28	0.00	1.86
-1.43	17.54	2.01	0.96	0.00	2.81
-1.91	23.86	4.75	2.35	5.02	3.75
-2.39	31.10	10.42	5.53	10.18	4.69
-2.87	39.28	19.02	11.91	15.34	5.63
-3.35	48.36	30.53	22.89	19.95	6.57
-3.83	58.40	45.38	39.80	30.54	7.51
-4.31	66.88	56.69	64.52	0.00	8.46
-4.79	72.77	60.98	92.74	0.00	9.40
Máximos	73.38	61.45	95.81	31.72	9.50
	Cota: -4.84 m	Cota: -4.84 m	Cota: -4.84 m	Cota: -4.06 m	Cota: -4.84 m
Mínimos	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m

9.- COMBINACIONES

HIPÓTESIS

- 1 - Carga permanente
- 2 - Empuje de tierras



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Combinación	Hipótesis	
	1	2
1	1.00	1.00
2	1.35	1.00
3	1.00	1.50
4	1.35	1.50

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Combinación	Hipótesis	
	1	2
1	1.00	1.00

10.- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO

CORONACIÓN				
Armadura superior: 3Ø12				
Anclaje intradós / trasdós: 41 / 35 cm				
TRAMOS				
Núm.	Intradós		Trasdós	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
1	Ø10c/30 Solape: 0.25 m	Ø16c/25	Ø16c/20 Solape: 0.6 m	Ø16c/25
ZAPATA				
Armadura	Longitudinal	Transversal		
Inferior	Ø16c/30	Ø16c/20 Patilla intradós / trasdós: - / 16 cm		
Tacón	7Ø12	Ø12c/15 Longitud de anclaje en prolongación: 15 cm		
Longitud de pata en arranque: 30 cm				



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

11.- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA

Referencia: Muro: Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación a rasante en arranque muro: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 627.3 kN/m Calculado: 92.1 kN/m	Cumple
Espesor mínimo del tramo: <i>Jiménez Salas, J.A.. Geotecnia y Cimientos II, (Cap. 12)</i>	Mínimo: 20 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Separación libre mínima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 23.4 cm Calculado: 23.4 cm	Cumple Cumple
Separación máxima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i> - Trasdós: - Intradós:	Máximo: 30 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple
Cuantía geométrica mínima horizontal por cara: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i> - Trasdós (-4.84 m): - Intradós (-4.84 m):	Mínimo: 0.0016 Calculado: 0.0016 Calculado: 0.0016	Cumple Cumple
Cuantía mínima mecánica horizontal por cara: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano". (Cuantía horizontal > 20% Cuantía vertical)</i> - Trasdós: - Intradós:	Calculado: 0.0016 Mínimo: 0.0004 Mínimo: 0.0001	Cumple Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara traccionada: - Trasdós (-4.84 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.00201	Cumple



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro: Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía mínima mecánica vertical cara traccionada: - Trasdós (-4.84 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00184 Calculado: 0.00201	Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara comprimida: - Intradós (-4.84 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.00027 Calculado: 0.00052	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara comprimida: - Intradós (-4.84 m): <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.3</i>	Mínimo: 2e-005 Calculado: 0.00052	Cumple
Separación libre mínima armaduras verticales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i> - Trasdós, vertical: - Intradós, vertical:	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 16.8 cm Calculado: 28 cm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i> - Armadura vertical Trasdós, vertical: - Armadura vertical Intradós, vertical:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple
Comprobación a flexión compuesta: <i>Comprobación realizada por unidad de longitud de muro</i>		Cumple
Comprobación a cortante: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.2.1</i>	Máximo: 260.9 kN/m Calculado: 86.4 kN/m	Cumple
Comprobación de fisuración: <i>Norma EHE-08. Artículo 49.2.3</i>	Máximo: 0.3 mm Calculado: 0 mm	Cumple
Longitud de solapes: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.5.2</i> - Base trasdós:	Mínimo: 0.56 m Calculado: 0.6 m	Cumple

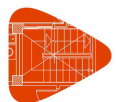


Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro: Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
- Base intradós:	Mínimo: 0.25 m Calculado: 0.25 m	Cumple
Comprobación del anclaje del armado base en coronación: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano".</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 35 cm Calculado: 35 cm Mínimo: 0 cm Calculado: 41 cm	Cumple Cumple
Área mínima longitudinal cara superior viga de coronación: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano".</i>	Mínimo: 2.2 cm ² Calculado: 3.3 cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Trasdós: -4.84 m		
- Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Intradós: -4.84 m		
- Sección crítica a flexión compuesta: Cota: -4.84 m, Md: 143.71 kN·m/m, Nd: 80.40 kN/m, Vd: 92.18 kN/m, Tensión máxima del acero: 325.395 MPa		
- Sección crítica a cortante: Cota: -4.43 m		
Referencia: Zapata corrida: Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación de estabilidad: <i>Valor introducido por el usuario.</i> - Coeficiente de seguridad al vuelco: - Coeficiente de seguridad al deslizamiento:	Mínimo: 1.5 Calculado: 1.53 Calculado: 1.64	Cumple Cumple
Canto mínimo: - Zapata: <i>Norma EHE-08. Artículo 58.8.1</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 70 cm	Cumple



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Valor introducido por el usuario.</i>		
	- Tensión media:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0465 MPa
	- Tensión máxima:	Máximo: 0.25 MPa Calculado: 0.1161 MPa
Flexión en zapata: <i>Comprobación basada en criterios resistentes</i>		
	- Armado inferior intradós:	Mínimo: 7.55 cm ² /m Calculado: 10.05 cm ² /m
	- Momento pésimo en el tacón:	Mínimo: 2.86 cm ² /m Calculado: 7.54 cm ² /m
Esfuerzo cortante: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.2.1</i>		
	- Intradós:	Máximo: 335.3 kN/m Calculado: 122.4 kN/m
	- En el tacón:	Máximo: 295.6 kN/m Calculado: 8.5 kN/m
Longitud de anclaje: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.5</i>		
	- Arranque trasdós:	Mínimo: 20.9 cm Calculado: 59.3 cm
	- Arranque intradós:	Mínimo: 17 cm Calculado: 59.3 cm
	- Armado inferior trasdós (Patilla):	Mínimo: 16 cm Calculado: 16 cm
	- Armado inferior intradós (Patilla):	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm
	- Armadura transversal del tacón:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm
Recubrimiento: <i>Norma EHE-08. Artículo 37.2.4.1</i>		
	- Lateral:	Mínimo: 7 cm Calculado: 7.5 cm



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo: <i>Norma EHE-08. Artículo 58.8.2.</i>		
	Mínimo: Ø12	
	- Armadura transversal inferior:	Calculado: Ø16
	- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: Ø16
	- Armadura longitudinal del tacón:	Calculado: Ø12
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i>		
	Máximo: 30 cm	
	- Armadura transversal inferior:	Calculado: 20 cm
	- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 30 cm
	- Armado longitudinal rama horizontal tacón:	Calculado: 20.7 cm
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>		
	Mínimo: 10 cm	
	- Armadura transversal inferior:	Calculado: 20 cm
	- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 30 cm
	- Armado longitudinal rama horizontal tacón:	Calculado: 20.7 cm
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>		
	Mínimo: 0.0009	
	- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 0.00095
	- Armadura transversal inferior:	Calculado: 0.00143
	- Armadura longitudinal del tacón:	Calculado: 0.00219
	- Armadura transversal del tacón:	Calculado: 0.00125



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Zapata corrida: Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía mecánica mínima:		
- Armadura longitudinal inferior: <i>Norma EHE-08. Artículo 55</i>	Mínimo: 0.00035 Calculado: 0.00095	Cumple
- Armadura transversal inferior: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.0013 Calculado: 0.00143	Cumple
- Armadura longitudinal del tacón: <i>Norma EHE-08. Artículo 55</i>	Mínimo: 0.00031 Calculado: 0.00219	Cumple
- Armadura transversal del tacón: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0.00065 Calculado: 0.00125	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Momento flector pésimo en la sección de referencia del intradós: 196.10 kN·m/m		

12.- COMPROBACIONES DE ESTABILIDAD (CÍRCULO DE DESLIZAMIENTO PÉSIMO)

Referencia: Comprobaciones de estabilidad (Círculo de deslizamiento pésimo): Aleta2_Cheste_TFM		
Comprobación	Valores	Estado
Círculo de deslizamiento pésimo:		
Combinaciones sin sismo:		
- Fase: Coordenadas del centro del círculo (-0.18 m ; 4.88 m) - Radio: 11.19 m: <i>Valor introducido por el usuario.</i>	Mínimo: 2 Calculado: 3.12	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

13.- MEDICIÓN

Referencia: Muro		B 500 S, Ys=1.15			Total
Nombre de armado		Ø10	Ø12	Ø16	
Armado base transversal	Longitud (m) Peso (kg)	31x5.22 31x3.22			161.82 99.77



Selección de listados

Aleta2_Cheste_TFM

Fecha: 25/07/24

Referencia: Muro		B 500 S, Ys=1.15			Total
Nombre de armado		Ø10	Ø12	Ø16	
Armado longitudinal	Longitud (m) Peso (kg)			21x8.85 21x13.97	185.85 293.33
Armado base transversal	Longitud (m) Peso (kg)			46x5.15 46x8.13	236.90 373.90
Armado longitudinal	Longitud (m) Peso (kg)			21x8.85 21x13.97	185.85 293.33
Armado viga coronación	Longitud (m) Peso (kg)		3x8.85 3x7.86		26.55 23.57
Armadura inferior - Transversal	Longitud (m) Peso (kg)			46x2.50 46x3.95	115.00 181.51
Armadura inferior - Longitudinal	Longitud (m) Peso (kg)			9x8.85 9x13.97	79.65 125.71
Armadura del tacón - Transversal	Longitud (m) Peso (kg)		60x1.78 60x1.58		106.80 94.82
Armadura del tacón - Longitudinal - Inferior	Longitud (m) Peso (kg)		3x8.85 3x7.86		26.55 23.57
Armadura del tacón - Longitudinal - Izquierda	Longitud (m) Peso (kg)		2x8.85 2x7.86		17.70 15.71
Armadura del tacón - Longitudinal - Derecha	Longitud (m) Peso (kg)		2x8.85 2x7.86		17.70 15.71
Arranques - Transversal - Izquierda	Longitud (m) Peso (kg)	31x1.14 31x0.70			35.34 21.79
Arranques - Transversal - Derecha	Longitud (m) Peso (kg)			46x1.49 46x2.35	68.54 108.18
Totales	Longitud (m) Peso (kg)	197.16 121.56	195.30 173.38	871.79 1375.96	1670.90
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m) Peso (kg)	216.88 133.72	214.83 190.71	958.97 1513.56	1837.99

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)				Hormigón (m³)	
	Ø10	Ø12	Ø16	Total	HA-30, Yc=1.5	Limpieza
Referencia: Muro	133.72	190.72	1513.55	1837.99	40.77	2.25
Totales	133.72	190.72	1513.55	1837.99	40.77	2.25