



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

**Facultad de ciencias  
Grado en ingeniería Geológica**



## **Recimentación del viaducto Montabliz mediante micropilotes**

Trabajo de fin de grado realizado por:

Alex Eduardo Martínez Aguirre

Tutor: Rodrigo Héctor Andrés





## Índice

.....	1
1 Memoria.....	5
1.1 Resumen y palabras claves .....	5
1.2 Introducción.....	6
1.3 Marco teórico de partida.....	7
1.3.1 Localización .....	7
1.3.2 Importancia del viaducto .....	12
1.3.3 Geología de la zona.....	12
1.3.4 Estructura del viaducto: .....	12
1.3.5 Vías de acceso al viaducto .....	13
1.4 Objetivos .....	14
2 Memoria constructiva.....	15
2.1 Municipios involucrados .....	15
2.2 Rehabilitación de Caminos.....	15
2.3 Taludes .....	17
2.4 Micropilotes .....	17
2.5 Cimentación final.....	18
3 Anexos de la memoria .....	19
3.1 Anexo I Comercio que circula por el viaducto de Montabliz .....	19
3.2 Anexo II localización de puntos en mapa IGME, datos geológicos y geotécnicos.....	20
3.3 Anexo III Propiedades de facies.....	23
3.4 Anexo IV Extracción de datos estructurales del viaducto de Montabliz	25
3.5 Anexo V Rehabilitación de caminos y parcela .....	28
3.6 Anexo VI Calculo de taludes .....	31
3.7 Anexo VII Calculo del aumento de la carga de los pilares .....	33
3.8 Anexo VIII Micropilotes.....	36
3.9 Anexo IX Calculo de los micropilotes. ....	41
3.9.1 Micropilotes Estribo 1 .....	43
3.9.2 Micropilotes Estribo 2 .....	55
3.9.3 Micropilotes Pila 1.....	61
3.9.4 Micropilotes Pila 2.....	69



3.9.5	Micropilotes Pila 3.....	79
3.9.6	Micropilotes Pila 4.....	88
3.10	Anexo VI Procesos constructivo .....	98
3.11	Bibliografía .....	100
4	Planos.....	100
4.1	Sección y perfil de pilas y tablero .....	100
4.2	Planos de la cimentación de las pilas.....	102
4.3	Plano de los estribos del viaducto .....	104
4.4	Sección de camino .....	104
4.5	Sección de los encepados final con micropilotes .....	106
4.5.1	Armadura Estribo 1 .....	106
4.5.2	Armadura Estribo 2.....	107
4.5.3	Armadura Pila 1 .....	107
4.5.4	Armadura Pila 2.....	108
4.5.5	Armadura Pila 3.....	109
4.5.6	Armadura Pila 4.....	109
4.6	Cimentaciones modificadas .....	111
5	Presupuestos.....	113
6	Pliego de condiciones .....	115
6.1	Legislación y tramitación .....	115
6.2	Licencias para la obra .....	115
6.3	BOE código de urbanización de Cantabria .....	117
6.4	Norma vigente.....	117
6.5	Código de urbanismo de Cantabria. Ley 2/2001, de 25 de junio,.....	117
6.6	Código de urbanismos de Cantabria. Ley 6/2010, de 30 de julio,.....	124
6.7	Ley 4/2014, de 22 de diciembre, del Paisaje.....	124
7	Plan de seguridad y salud.....	126
7.1	Memoria .....	126
7.2	Alcance .....	129
7.3	Evaluación de riesgos .....	129
7.4	Pliego de condiciones .....	134
7.5	Normas generales de seguridad. ....	136
7.6	Instalaciones provisionales. ....	137
7.7	Medicina preventiva y asistencia medica .....	138



# 1 Memoria

## 1.1 Resumen y palabras claves

El presente trabajo describe un proyecto ejecutable de la construcción simplificada del viaducto del montabliz, adaptado al nivel de estudios adquiridos en el grado de ingeniería geológica de la universidad de Salamanca. Dicho proyecto ejecutable consiste en la recimentación del viaducto, con una mejora en la cimentación del 20% de la carga existente y un aumento de carga de 2kN/m<sup>2</sup>, debido al transcurso del tiempo y, por el aumento del tránsito en su superficie, respectivamente.

El viaducto permite el paso de la autovía Meseta -Cantabria sobre el valle del río Bisueña, en la provincia de Cantabria. Con 198 metros en su punto más alto y, 130 metros de altura de pila, la mayor de España y entre los 6 mayores de Europa.

Para realizar este proyecto se han acondicionado las vías de acceso ya que, a causa del paso del tiempo, la naturaleza y la falta de mantenimiento, son intransitables. En este apartado también se han realizado dos desmontes para acceder al Estribo 1 y Pila 1.

Tras acondicionar las zonas de trabajo se han realizado los micropilotes oportunos de cada estribo o pila, con su encepado correspondiente y unión a la zapata existente. Se realizan por separado con el fin de no comprometer la estabilidad del viaducto, ni afectar a la circulación en la superficie, ya que es una de las principales vías de comunicación entre el norte de España y la meseta central.

Se han elegido micropilotes para la realización del viaducto, de acuerdo con el fácil transporte de la maquinaria, la utilización de menos cantidad de agua que los pilotes y la velocidad con la que se realizan.

**Palabras Claves:** Viaducto, Micropilote, Pila de gran altura, Armadura, Zapata, España, Tránsito vehicular.

### **Abstract**

This work describes an executable project of the simplified construction of the montabliz viaduct, adapted to the level of studies acquired in the geological engineering degree at the University of Salamanca. Aforementioned executable project consists of the re-contouring of the viaduct, with an improvement in the foundations of 20% of the existing load and a load increase of 2kN/m<sup>2</sup>, due to the passage of time and increased traffic on its surface, respectively.

The viaduct allows the Cantabria-Meseta motorway to pass over the Bisueña river valley, in Cantabrian province. It measures 198 metres at its highest point and 130 metres stack height, it is the highest in Spain and one of the six highest in Europe.

In order to carry out this project, the access roads have been conditioned as, due to the passage of time, nature and lack of maintenance, they are impassable. In this section, two clearing works have also been carried out to access Stay 1 and Pile 1.



After preparing the work areas, the appropriate micropiles were made for each stay or pile, with their corresponding pile cap and connection to the existing footing. These are carried out separately so as not to compromise the stability of the viaduct or affect traffic on the surface, as this is one of the main communication routes between the north of Spain and the central plateau.

Micropiles were chosen for the viaduct because of the easy transport of the machinery, the use of less water than piles and the speed with which they are constructed.

**Keywords:** Viaduct, Micropile, High pile, Armouring, Footing, Spain, Vehicular traffic.

## 1.2 Introducción

El viaducto tiene una vital importancia para la comunicación entre la zona central de la península y la zona norte, debido a su importancia vamos a suponer una sobre carga en la superficie de la estructura debido al aumento de transporte pesado o instalación de estructuras en la parte superior del tablero, pero sobre todo la mejora de la cimentación por el deterioro de la misma por el paso del tiempo.

Primero localizaremos el viaducto, veremos su importancia, la geología de la zona, en este caso utilizaremos las características de los estratos genéricos ya que carecemos de los medios y de la información que nos puede aportar un estudio geotécnico en la zona. En cuanto a la afección a la fauna y flora es prácticamente inexistente, ya que se utilizan vías reacondicionadas para llegar a la cimentación.

Segundo esquematizaremos los datos de la estructura del Viaducto de Montabliz, de donde sacaremos información clave para poder realizar nuestro supuesto recalce, simplificamos la estructura para una mejor representación respecto a la real.

Tercero identificamos modificaciones para acondicionar las vías de acceso para acceder a la zona de trabajar con toda la maquinaria y realizarlo con fluidez y rapidez.

Tras obtener la información anterior realizamos la recimentación del viaducto mediante micropilotes y encepados para unificar los micropilotes y poner unirlo a la cimentación existente, detallando el modo de actuación y ejecución. Aporto conocimientos teóricos necesarios para la realización del proyecto.

La mejora de la cimentación a mayor carga nos permitirá nuevas construcción en la parte superior del viaducto, como por ejemplo molinos eólicos para el aprovechamiento del viento de la zona, claramente se debería hacer un estudio del resto de la estructura, pero podría ser una opción muy válida para aprovechar la mejora de cimentación que desarrollaremos a continuación.

Para concluir aportamos el presupuesto, pliego de condiciones y plan de seguridad y salud para que cumpla las condiciones para ser un proyecto ejecutable.



### 1.3 Marco teórico de partida

#### 1.3.1 Localización

**El viaducto** se encuentra situado en España, comunidad autónoma de Cantabria entre las localidades de Bárcena de Pie de Concha y Pesquera, la zona presenta los elementos típicos de los valles cantábricos, los cuales se destacan por ser valles fluviales en V.

El Estribo 1 al igual que las Pilas 1,2 y 3 se encuentran en el municipio de Barcena de pie de concha mientras que la columna 4 y el Estribo 2 se encuentran en el municipio de mellado.

Estribo 1, pila 1 y 2 están localizados en Polígono 9, Parcela 9027, Referencia catastral 39010A009090270000SQ, municipio Bárcena de Pie de Concha. Pertenece a la A-67 autovía de la meseta

El pilar 3 se localizan en Polígono 8, Parcela 9001, Referencia catastral 39010A008090010000SD, Municipio Bárcena de Pie de Concha. Pertenece a la A-67 autovía de la meseta.

El pilas 4 y escribo 2 se localizan en el Polígono 5, Parcela 9008, Referencia catastral 39046A005090080000TI, Municipio Molleda. Pertenece a la A-67 autovía de la meseta.

Las coordenadas del Viaducto son las siguientes; Estribo 1 (Punto norte) Latitud: 43.106615°, Longitud: -4.090455°y el Estribo 2 (Punto Sur) Latitud: 43.100680°, Longitud: -4.087556°



Fig. 1 Captura Google Earth. Municipios

Los siguientes caminos para rehabilitación se encuentran en la provincia de Cantabria, municipio de Bárcena de Pie de concha.

El camino de acceso a la pila 2 pertenece a la siguiente parcela:

- Polígono 9, Parcela 9026, Referencia catastral 39010A009090260000SG.



Consta en su totalidad por categoría vial, la totalidad de la parcela es de 1,8215 ha. Pero nuestra zona de uso solo es de 9906 m<sup>2</sup>. De la zona próxima al viaducto, tiene una longitud de 1,93Km.

Las coordenadas del camino a restaurar. Inicio del tramo, Latitud: 43.116930°, Longitud: -4.077741°. Fin del tramo, Latitud: 43.116930°, Longitud: -4.077741°.



Fig. 2 Captura Google Earth. Camino a Pila 2

El camino pila 1 se encuentra en la siguiente parcela:

- Polígono 9, Parcela 9027, Referencia catastral 39010A009090270000SQ.
- Polígono 9, Parcela 444, Referencia catastral 39010A009004440000SW

Casi toda la totalidad de la parcela 9027 consta de 26,5160 ha. es la calzada de la autovía A-67, también hay vías de acceso de tierra y zonas en las que tienen vegetación.

Mientras que la parcela 444 tiene 4,7655 ha. consta de terreno improductivo y pasto arbustivo.

La modificación de este tramo tiene una longitud de 0.71 Km, la superficie a rehabilitar y modificar es de 4474 m<sup>2</sup>

Las coordenadas del camino a restaurar. Inicio de tramo Latitud: 43.103727°, Longitud: -4.077741°. Fin del tramo, Latitud: 43.105415°, Longitud: -4.090758°.

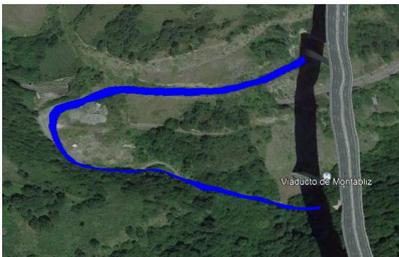


Fig. 3 Captura Google Earth. Camino a Pila 1

Camino de acceso al estribo 1, en este caso empezamos desde casi la mitad del camino de la pila 2 a la pila 1. La parcela en la que se encuentra es la anteriormente mencionada.

- Polígono 9, Parcela 9027.

La hemos descrito en la rehabilitación del camino anterior.



La modificación de este tramo tiene la longitud de 0,4 Km, la superficie a rehabilitar y modificar es de 3217 m<sup>2</sup>. Las coordenadas del camino a restaurar. Inicio de tramo Latitud: 43.104479°, Longitud: -4.093316°. Fin del tramo, Latitud: 43.107125°, Longitud: -4.090723°.



Fig. 4 Captura Google Earth. Camino a Estribo 1

Camino de acceso a pila 3, dicho camino empieza en la parte final del camino de acceso a la pila 2.

Pertenece a las siguientes parcelas

- Polígono 9, Parcela 9012, Referencia Catastral 39010A009090120000SI
- Polígono 8, Parcela 186, Referencia Catastral 39010A008001860000SG
- Polígono 8, Parcela 180, Referencia Catastral 39010A008001800000SU
- Polígono 8, Parcela 9002, Referencia Catastral 39010A008090020000SX
- Polígono 8, Parcela 180, Referencia Catastral 39010A008001800000SU.
- Polígono 8, Parcela 179, Referencia Catastral 39010A008001790000SW

La superficie total de la parcela 9012 es de 0,8039 ha. Compuesta de zona vial.

La parcela 186 tiene una superficie de 9,4621 ha. Compuesta de Pasto con arbolada, zonas forestales y viales.

La parcela 180 tiene una superficie de 0,3567 ha. Compuesta de las mismas zonas que la parcela anterior más zonas de pastizal.

La parcela 179 tiene una superficie de 1,2411ha. De la misma composición de la parcela 180.

De la totalidad de las parcelas solo se utiliza un pequeño porcentaje, la longitud a reformar es de 0,48 Km mientras que la superficie es de 3745 m<sup>2</sup>. Las coordenadas del camino a restaurar. Inicio de tramo Latitud: 43.103652°, Longitud -4.090028°. Fin del tramo, Latitud: 43.102622°, Longitud: -4.089911°.



Fig. 5 Captura Google Earth. Camino a Pila 3

El siguiente camino se encuentra en la provincia de Cantabria y en los municipios de Bárcena de Pie de concha y el de Molledo.

Camino pila 4, dicho camino empieza desde la pila 3 y utiliza dos parcelas del camino necesario para acceder a la pila 3.

Pertenece a las siguientes parcelas, al igual que el camino de la pila 3:

- Polígono 8, Parcela 186
- Polígono 8, Parcela 179

Las parcelas que no se utilizan para el camino de la pila 3 y por lo que no están descritas son las siguientes:

- Polígono 9, Parcela 462, Referencia Catastral 39010A009004620000SK (Bárcena de Pie de concha)
- Polígono 5, Parcela 249, Referencia Catastral 39046A005002490000TW (Molledo)
- Polígono 5, Parcela 9008, Referencia Catastral 39046A005090080000TI (Molledo)

La parcela 462 está constituida por zona forestal, pasto arbustivo y viales, con una superficie de 41,4923 ha.

La parcela 249 está constituida por las siguientes zonas; Pasto arbustivo, Pasto con arbolada, Tierras arrabales, Pastizal, Forestal, Pastizal, Viales. La superficie total de esta parcela es 34,4143 ha.

La parcela 9008 solo consta de viales, con una superficie de 2,9902 ha.

De la totalidad de las parcelas se utiliza un pequeño porcentaje, la longitud a reformar es de 0,81 Km, una superficie de 9036 m<sup>2</sup>. Las coordenadas del camino a restaurar. Inicio de tramo Latitud: 43.102548°, Longitud -4.089838°. Fin del tramo, Latitud: 43.101600°, Longitud: -4.088752°.



Fig. 6 Captura Google Earth. Camino a Pila 4

Zona de acceso a estribo 2, Para acceder al estribo 2 accedemos por la autovía, solo adaptamos la zona para elaborar el trabajo de mejora de la cimentación.

Parcelas afectadas;

Polígono 5, Parcela 9008 (Molledo)

La parcela se describe en el camino anterior.

Tenemos dos zonas una sur que tiene una superficie de 700m<sup>2</sup> y una zona norte que tiene 293 m<sup>2</sup>



Fig. 7 Captura Google Earth. Zona acceso Estribo 2

**Zona de almacenaje y descanso**, en donde guardaremos las maquinarias, materiales y herramientas, caseta para oficina, zona de comedor, baños y todos los servicios básicos, especificado en el pliego de condiciones.

La parcela que utilizaremos para dichas acciones se encuentra en el municipio Bárcena de pie de concha, polígono 9, Parcela 445, de referencia catastral 39010A009004450000SA y con una superficie 2,3397. Dicha parcela tiene de coordenadas, Latitud: 43.104006°, Longitud: -4.091875°.



Fig. 8 Captura Google Earth. Zona de almacenaje



### 1.3.2 Importancia del viaducto

Como se desarrolla en el Anexo I Comercia que circula por el viaducto de Montabliz, vemos que existe bastante afluencia de comercio entre la zona norte de España y la meseta.

Según los datos aportados se aprecia que entorno a un 65% del mercado circula por el viaducto de Montabliz.

Esto corresponde a la comunidad de Asturias y de Cantabria con respecto a la meseta

### 1.3.3 Geología de la zona

Para sacar la información correspondiente hemos utilizado los mapas Geológicos de Cantabria a escala 1:25.000 en concreto el "083-I (11-35) Molledo.

#### Geología

- En donde descansa el estribo 1 y la pila 1 pertenece a la formación calcárea J1 del Jurásico. Existen tramos calcáreos de roca resistente bien estructurada, brechas calcárea poco cementada, niveles de arenas densas y de arcillas muy firmes.
- En cuanto a las pilas 2 y 3 pertenece a la Facie Keuper. Las arcillas son de plasticidad media y consistencia dura (Arcillas duras o rocas blandas) con brechas yesíferas y lutíticas
- La pila 4 y el estribo 2 descansan en la formación Bundtsandstein. Areniscas y limolitas de color rojizo en estado inalterado.

#### Geotecnia

Me he apoyado en tablas genéricas para sacar los valores característicos

- Estribo 1 y pila 1; Arcillas consolidadas y tramos de roca calcárea, según la tablas. Angulo de rozamiento interno  $31^\circ$ , Peso específico  $19 \text{ kN/m}^3$ , Cohesión  $0,3 \text{ Mpa}$
- Pila 2 y pila 3; Arcillas duras y presencia de lutitas. Angulo de rozamiento interno  $26^\circ$ , Peso específico  $17 \text{ KN/m}^3$ , Cohesión  $0,2 \text{ Mpa}$
- Pila 4 y estribo 2; Areniscas y limolitas inalteradas. Angulo de rozamiento interno  $33^\circ$ , Peso específico  $23 \text{ KN/m}^3$ , Cohesión  $6 \text{ Mpa}$

### 1.3.4 Estructura del viaducto:

La estructura ha sido simplificada para poder trabajar mejor con ella.

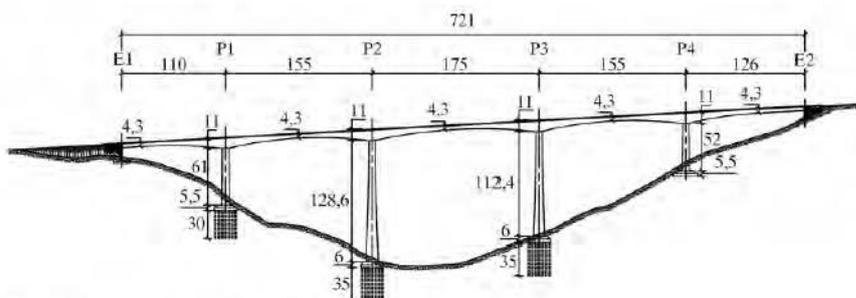


Fig. 9 Revilla Angulo R. Medidas de viaducto



- **Pilas;**

La altura de las pilas es; la pila 1 es 61m, de la pila 4 es 52m, la pila 2 es 128,6 m y para la pila 3 es de 112,4m

Tienen una sección superior de 6,7m y 7,1m y la sección inferior depende de la altura de las pilas

- **Tablero;**

Está constituido por un cajón unicelular de canto constante, la sección cajón tienen forma trapezoidal y dos voladizos en los laterales, como se muestra en la siguiente Fig.

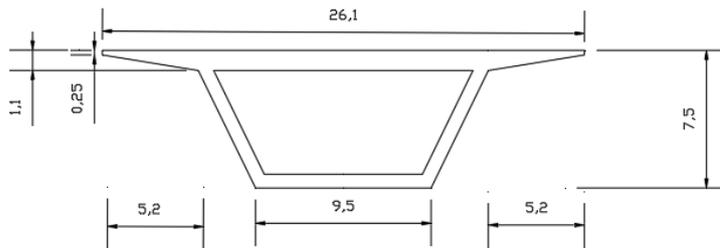


Fig. 10 Forma y cotas del tablero

- **Cimentación de pilas;**

Las Cimentación de las pilas tienen un encepado tronco piramidal, la Pila 1 con 49 Pilotes, la Pila 2 y 3 con 56 pilotes y la Pila 4 solo consta de la zapata y sin pilotes

- **Estribos;**

Tienen una cimentación superficial mediante zapata escalonada. Tanto en el Estribo 1 y Estribo 2

### Esfuerzos existentes

**Pila 1;**  $N_z$ ; -13174.291 Mp  $M_x$ ;17847.915 Mp\*m  $M_y$ ;11864.449 Mp\*m

**Pila 2;**  $N_z$ ; -17813.625 Mp  $M_x$ ;19947.476 Mp\*m  $M_y$ ;13111.084 Mp\*m

**Pila 3;**  $N_z$ ; -16499.336 Mp  $M_x$ ;22047.330 Mp\*m  $M_y$ ;12960.225 Mp\*m

**Pila 4;**  $N_z$ ; -13195.031 Mp  $M_x$ ;18826.885 Mp\*m  $M_y$ ;12115.218 Mp\*m

### 1.3.5 Vías de acceso al viaducto

Para acceder a la zona circulamos por la autovía A-67 y posteriormente a la nacional N-611, hasta llegar a Bárcena de Pie de concha, a partir del pueblo circulamos por la carretera a Pujoyo, hasta llegar a las coordenadas 43°07'09.2"N 4°04'11.0"W, en donde nos introducimos en camino sin nombre junto al Rio Bisueña, dicho camino se encuentra asfaltado como se aprecia en las imágenes.

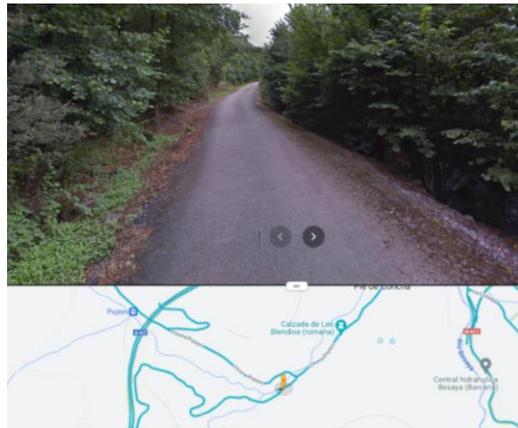


Fig. 11 Captura Google Maps. Entrada camino sin nombre junto al Rio Bisueña

Continuamos por el camino hasta las coordenadas 43°07'01.1"N 4°04'39.8"W En donde entramos en un camino sin asfaltar, el cual no se encuentra en buenas condiciones para que la maquinaria pueda acceder hasta la zona de trabajo. En la siguiente imagen se aprecia el mal estado del camino no asfaltado.

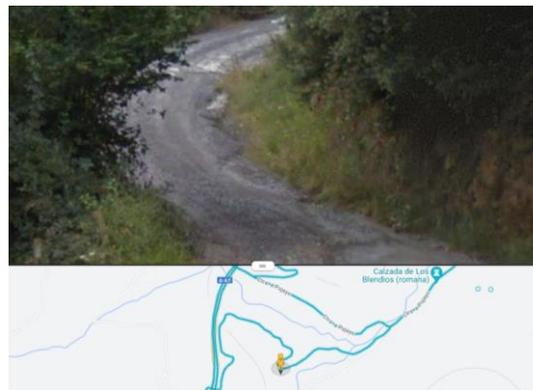


Fig. 12 Captura Google Maps. Camino inicio camino malas condiciones.

Tras continuar por dicho camino se llega a la cimentación del viaducto

#### 1.4 Objetivos

Primer objetivo, mejorar la cimentación y estabilidad estructural y global del viaducto de Monatabliz. Mantención de un tramo de la autovía de la Meseta, también conocida como la autovía Cantabria-Meseta o A-67, utilizado como referencia los datos obtenidos de la tesis doctoral de Roberto Revilla Angulo en la que se ha realizado un estudio previo a la construcción del viaducto y un análisis durante la construcción con la que se ha comprobado la viabilidad y la valides de los datos.

Dicha mejora de cimentación permite al viaducto, tener un aumento de carga en la parte superior del tablero (Estructura, aumento de circulación vehicular) y seguir manteniendo la estabilidad global, se debería realizar una mejora en el tablero y en las pilas, pero en este caso nos centraremos solo en la mejora de cimentación dejando como posibles estudios posteriores la mejora del tablero y de las pilas.

Hemos decidido decantarnos por micropilos por la facilidad de puesta en obra, al menor impacto provocado a la fauna y flora. Otra razón para elegir



micropilotes es el difícil acceso a los cimientos del viaducto, ya que es un valle muy escabroso.

Para conseguir lo anteriormente mencionado me apoyo sobre todo en conocimientos adquiridos en Grado de Ingeniería Geológica, tanto teóricos como prácticos. También añadiré conocimientos nuevos de varios libros que adjunto en la bibliografía, los conocimientos más destacables son: Maquinaria en obra, patologías de cimentación.

El segundo objetivo, pero no menos importantes es la rehabilitación de las vías de acceso a la cimentación del viaducto, ya que se encuentran en muy mal estado y para facilitar el acceso a la zona es necesario rehabilitarlas. Realizaremos un análisis de la situación y de la actuación para solucionar dicho problema.

Para concluir, realizaremos un pliego de condiciones y un estudio de seguridad y salud acorde con el tiempo y los conocimientos adquiridos en el grado de Ingeniería Geológica para obtener un proyecto ejecutable.

## 2 Memoria constructiva

### 2.1 Municipios involucrados

El proyecto involucrara dos municipios de la comunidad de Cantabria, uno de ellos es Barena de pie de concha, donde se encuentran la mayor parte de vías de acceso que debemos restaurar, estribo 1, pila 1, pila 2, pila 3 y parte del camino 4, la cimentación del estribo 1, pila 1, pila 2 y pila 3 y la parcela para almacenamiento también se encuentran en este municipio. El resto del camino 4 y acceso al estribo 2 y la cimentación de la pila 4 y estribo 2 se encuentran en el municipio de Mollado.

Debemos solicitar el permiso de obra en los dos municipios para poder modificar el viaducto y modificar el terreno de la zona. Nos registramos por su plan urbanístico y el Boletín oficial del estado de carreteras. En este caso los terrenos son de uso rustico,

En Barena de pie de concha y Molleda debemos solicitar:

- Permiso de obra para modificación de los caminos pertenecientes a este municipio
- Permiso de obra para la modificación de la cimentación del viaducto pertenecientes a este municipio.
- Avale para la modificación de la cimentación del viaducto.
- Aval para modificación del terreno en la parcela de almacenaje.
- Aval para la modificación del camino de acceso al viaducto.

En cuanto a lo que se refiere a la parcela para almacenaje, debemos solicitar información al ayuntamiento respectivo, para saber si la parcela pertenece al ayuntamiento o un particular y poder alquilar la parcela durante los meses de la realización de obra.

### 2.2 Rehabilitación de Caminos

**Características actuales** de caminos y parcelas



Para acceder a la zona de trabajo se realizará la rehabilitación del camino mediante el desbroce de la parcela de almacenamiento.

### **Camino de acceso a pila 2**

Es inadecuado para el transporte de coches y maquinaria debido a su escasa anchura y el avance de la naturaleza sobre él.

Camino de acceso a la pila 1, se dividirá en dos tramos

- Para el primer tramo de este, se realizará el mismo procedimiento que se ha seguido para el camino de la pila 2.
- En el segundo tramo es necesario realizar un desmonte, con el fin de realizar un camino plano

### **Camino de acceso a pila 3 y 4**

Seguiremos el mismo proceso realizado para el camino de la pila 2

### **Parcela de almacenamiento**

Tras realizar la rehabilitación al camino de la pila 2, continuaremos con la de la parcela de almacenamiento, con el objetivo de poder almacenar la maquinaria necesaria para el proyecto que nos ocupa; una vez finalizada esta se realizará un vallado perimetral de la misma.

### **Camino desde la pila 1 al estribo 1**

En este caso, será necesario realizar un terraplén, ya que la zona se encuentra con la topografía original.

### **Tipos de suelos**

Los caminos se encuentran sobre brechas dolomíticas y margas gris verdosas, también por suelos compuestos de arcillas y limos con cantos y bloques. Mientras que los terraplenes se realizan en un suelo de calizas micríticas tableadas.

### **Proceso de rehabilitación de caminos**

En primer lugar, realizamos el camino a la pila 2, en el que se efectuarán los desbroces de la naturaleza que ha invadido dichos caminos y, una explanación del ancho del futuro camino, para lo cual añadiremos una capa de suelo de 30 cm compactados al 98% del ensayo Proctor Modificado que será nuestra pista de suelo adecuado para el tránsito en la obra.

Para la elaboración de esta capa nos ayudaremos de minicargador con el fin de solventar la faltade tierra o excedente de la misma al igual que un compactador de tierras.

En el punto 4.4 Sección de camino. se aprecia la modificación que se realiza en los caminos sin terraplén, y se especifica las modificaciones del camino.



Después de tener una zona de descanso habilitada realizamos el mismo procedimiento para el resto de los caminos.

### **Acondicionamiento de parcela de almacenamiento**

Realizamos un desbroce de la zona, para una posterior nivelación con la motoniveladora, también realizaremos una capa de suelo de 30 cm compactados al 98% del ensayo Proctor modificado para toda la superficie de la parcela que vamos a utilizar.

### **Ejecución de los caminos con terraplén**

Iniciamos la modificación del talud natural, con un cambio de la geometría manteniendo siempre la estabilidad y, realizamos excavaciones desde la parte superior, para posteriormente perfilar el talud, para finalizar realizamos el mismo tipo de vía que el apartado anterior.

Ambos taludes se desarrollarán con un ángulo de 21, 83°, este cálculo se puede observar en Anexos VI punto 3.6 Cálculo de taludes

#### **2.3 Taludes**

Las taludes que se realizan en los caminos tienen un factor de seguridad de 1,5 y según las características del terreno podemos realizarlos con una inclinación de 21,830°

Se extrae la tierra desde la parte superior del talud progresivamente hasta obtener la pendiente calculada. Este trabajo lo realizamos con palas mecánicas.

La tierras extraídas se almacenarán en la parcela acondicionada para dicho fin. Al finalizar la obra la tierra se utilizará para dejar el terreno con perfil inicial, es decir antes de realizar el terraplén.

#### **2.4 Micropilotes**

Se definen como pilotes de pequeño diámetro con las siguientes características

- 100 a 300 mm de diámetro
- Se utiliza maquinaria pequeña
- Soporta hasta 100 toneladas
- Uso para recalces en cimentaciones existentes o inadecuadas para cargas
- Transmite cargas sin apenas deformación

Los materiales que hemos utilizado para esta actuación son; Perfil tubular circular S275 para la armadura del micropilote, Acero de 16 mm B500S para la unión con el encepado y Mortero de cemento

La realización de los micropilotes es mediante perforación por rotoperCUSIÓN, según EN14199

Los micropilotes pueden actuar por punta o por fuste, en nuestro caso al no tener un suelo lo suficiente resistente, actúan por fuste. Micropilotes flotantes



Extracción de residuos la realizamos alternando tanto agua como aire, ya que los suelos no suelen ser homogéneos

Posteriormente colocaremos la armadura sin realizar alteración en el resto de los elementos

El Sistema de inyección (generación de bulbo) depende el tipo de suelo, pero en este proyecto utilizamos;

- Inyección repetitiva hasta dos o tres veces todos los manguitos (IR)
- inyección repetitiva selectiva por cada manguito varias veces todos o algunos (IRS)

### 2.5 Cimentación final

Vamos a mejorar un 20% la cimentación existente añadimos una sobrecarga distribuida de 2KN\*m<sup>2</sup>, realizamos micropilotes (Ø) de 260 mm

En el **estribo 1 y 2**; Según el tipo de suelo que tenemos en el estribo 1 utilizamos Inyección de tipo IRS (Suelos cohesivos) y para el estribo 2 utilizamos Inyección de tipo IR (Suelos cohesivos duros)

Necesitamos 8 micropilote como solución para soportar la carga, con una longitud de 12 m los cuales dividimos 4 micropilotes a cada lado.

Para la conexión con el encepado utilizamos 3 barras corrugadas de Ø 16, a posterior unimos el nuevo encepado al antiguo encepado con la armadura de los dos encepados y mortero epoxi

#### **Encepada del estribo 1 y 2**

Hay un encepado a la derecha de del estribo y otro a la izquierda. Con las siguientes medidas

Longitud; 3000 mm. Ancho; 260 mm. Canto; 50 cm

**En la pila 1**; Según el tipo de suelo que tenemos en la pila 1 utilizamos Inyección de tipo IRS (Suelos cohesivos) y para el estribo 2

Necesitamos 84 Micropilotes como solución para soportar la carga con una longitud de 12 m, los dividimos en grupos de 21 para cada lado.

Para la conexión con el encepado utilizamos 3 barras corrugadas de Ø 16, a posterior unimos el nuevo encepado al antiguo encepado con la armadura de los dos encepados y mortero epoxi

#### **Encepada de la Pila 1**

Hay un encepado a cada lodo del encepado antiguo. Con las siguientes medidas

Longitud; 16000 mm. Ancho; 260 mm. Canto; 50 cm



**En la pila 2 y 3;** Según el tipo de suelo utilizamos Inyección de tipo utilizamos Inyección de tipo IR (Suelos cohesivos duros)

Necesitamos 78 Micropilotes como solución para soportar la carga con una longitud de 12 m, los dividimos en grupos de 19 y 20 para cada par de lados.

Para la conexión con el encepado utilizamos 5 barras corrugadas de Ø 16, a posterior unimos el nuevo encepado al antiguo encepado con la armadura de los dos encepados y mortero epoxi

### **Encepada de la Pila 2 y 3**

Hay un encepado a cada lado del encepado antiguo. Con las siguientes medidas

Longitud; 14000mm para 19 micropilotes y 15000mm para 20 micropilotes  
Ancho; 260 mm. Canto; 50 cm

**En la pila 4;** Según el tipo de suelo utilizamos Inyección de tipo utilizamos Inyección de tipo IR (Suelos cohesivos duros)

Necesitamos 62 Micropilotes como solución para soportar la carga con una longitud de 12 m, los dividimos en grupos de 16 y 15 para cada par de lados.

Para la conexión con el encepado utilizamos 5 barras corrugadas de Ø 16, a posterior unimos el nuevo encepado al antiguo encepado con la armadura de los dos encepados y mortero epoxi

### **Encepada de la Pila 1**

Hay un encepado a cada lado del encepado antiguo. Con las siguientes medidas

Longitud; 11000mm para 15 micropilotes y 12000mm para 16 micropilotes.  
Ancho; 260mm. Canto; 50cm

La **Armadura** para todos los **encepados** consta de acero Ø 20 en la armadura principal y de Ø 16 en la secundaria tanto longitudinal como transversal mente

## **3 Anexos de la memoria**

### **3.1 Anexo I Comercio que circula por el viaducto de Montabliz**

Para demostrar la importancia hemos extraídos datos que lo verifican, La fuente es convivencia cívica catalana – Análisis del comercio entre las comunidades. Dejo las tablas más representativas de los porcentajes de comercio entre comunidades.

#### **Comunidad de Asturias:**

Sus clientes principales son castilla y león (23,9%) seguido de tres comunidades costeras del norte de la península que suman un 35,8 %, este porcentaje es la parte del total que no circula por vías que comunican la costa con el interior de la península, por lo que, obtenemos un 64,2 % del tránsito hacia el interior de la península



Mientras que en el ranking de proveedores de Asturias (importación) son Galicia (32,5%) la Comunidad de Madrid (15%) Andalucía (12,9%), el total del comercio hacia el interior de la península es un 64,7%.

En conclusión, la comunidad de Asturias aporta en un 16,05% en cuanto a exportaciones y en 16,18% en cuanto a importaciones, en lo que se refiere al tráfico por el viaducto.

¿A qué CCAA venden los asturianos?		¿A qué CCAA compran los asturianos?	
Castilla y León	23,9%	Galicia	32,5%
Galicia	19,0%	Comunidad de Madrid	15,0%
Cantabria	9,4%	Andalucía	12,9%
País Vasco	7,4%	País Vasco	10,7%
Comunidad de Madrid	7,4%	Castilla y León	9,6%
Cataluña	5,6%	Cataluña	6,4%
Comunidad Valenciana	5,0%	Cantabria	2,8%
La Rioja	4,5%	Aragón	2,2%
Aragón	4,3%	Murcia	1,9%

Fig. 13 Cuadro de porcentajes del comercio asturiano

### Comunidad de Cantabria

Sus clientes más importantes son País Vasco con un 28,6 %, Castilla y León (18,1%), en cuanto al comercio de la costa suma un total de 35,2 % por lo que el resto del tráfico del comercio utilizarían el viaducto para comunicarse con el interior de la comunidad, en este caso es un 64,8%

En cuanto a importaciones los principales proveedores son Cataluña 23,1%, País Vasco 18,7%, el porcentaje del comercio de la costa es de 32,8% dejando un 67,2% de comercio hacia el interior de la península.

¿A qué CCAA venden los cántabros?		¿A qué CCAA compran los cántabros?	
País Vasco	28,6%	Cataluña	23,1%
Castilla y León	18,1%	País Vasco	18,7%
Cataluña	9,7%	Castilla y León	16,5%
Andalucía	8,6%	Galicia	7,8%
Asturias	6,6%	Comunidad de Madrid	6,9%
Castilla-La Mancha	6,6%	Asturias	6,3%
Aragón	4,4%	Navarra	5,1%
Navarra	4,1%	Castilla-La Mancha	4,2%
Comunidad de Madrid	3,4%	Andalucía	3,6%

Fig. 14 Cuadro de porcentaje del comercio cántabro

Se ve claramente que es una vía de gran importancia para la comunidad de Cantabria, por lo que el mantenimiento y mejora de su cimentación esta más que justificada.

### 3.2 Anexo II localización de puntos en mapa IGME, datos geológicos y geotécnicos

Que es un **mapa IGME** Citado literal “Hojas que se componen de los siguientes niveles de información: unidades geológicas, contactos, fallas, medidas estructurales de plegamientos, formas del relieve, indicios minerales, puntos de agua y otros elementos de representación puntal”.



Para sacar la información correspondiente hemos utilizado los mapas Geológicos de Cantabria a escala 1:25.000 en concreto el "083-I (11-35) Molledo. Sabemos que el Mapa geológico corresponde a nuestra zona de estudio, con el apoyo de Google Earth en unidades en UTM. Buscamos la localización del viaducto y vemos dentro de que coordenadas UTM se encuentra para buscar la hoja correspondiente.

Hemos sacado 3 puntos de referencia para localizar la geología que pertenece a viaducto, el primer punto (Punto norte) está localizado en el estribo 1 del viaducto, el segundo punto (Punto Central) está localizado entorno al centro del viaducto y el tercer punto (Punto sur) hace referencia al estribo 2, Todos los puntos han sido extraídos de Google Earth

Punto Norte		Punto central	
Abscisa (m)	Norte (m)	Abscisa (m)	Norte (m)
411271.54 E	4773264.62 N	411305.00 E	4773000.00 N

Punto Sur	
Abscisa (m)	Norte
411537.01 E	4772541.85 N

Para intentar sacar la información con mayor precisión hemos utilizado AutoCAD para las secciones del mapa en fracciones más pequeñas. Así tenemos una precisión de 5 dígitos en el sentido de Este – Oeste y 6 dígitos en el sentido Norte – Sur.

Fijamos los puntos extraídos del Google Earth en el mapa IGME montado en AutoCAD para poder trabajar con él.

Nos da la siguiente localización

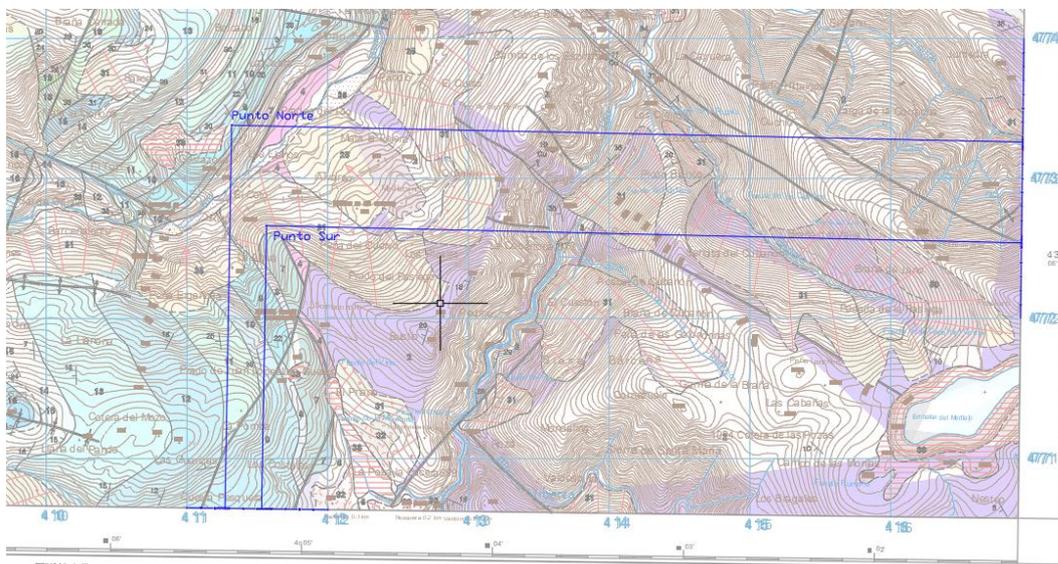


Fig. 15 Mapa IGME "083-1(11-35)" de la zona

Para visualizar mejor la localización y zona aumentamos hasta que se puede identificar con facilidad la localización de los puntos.

El resultado es el siguiente:

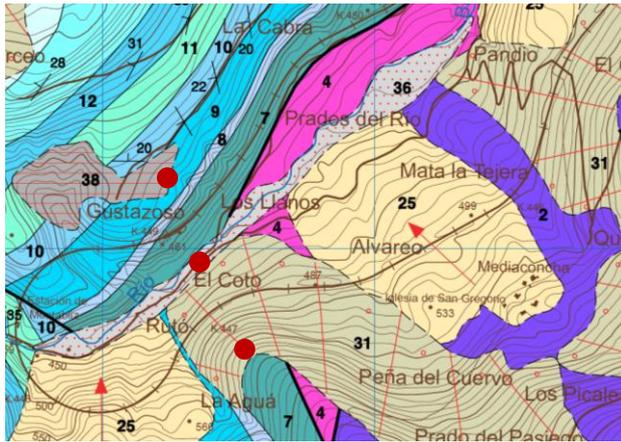


Fig. 16 Mapa IGME "083-1(11-35)" de la zona

Para identificar las zonas dejamos la parte de la leyenda que nos interesa, si se desea ver la leyenda completa ir al mapa IGME correspondiente.

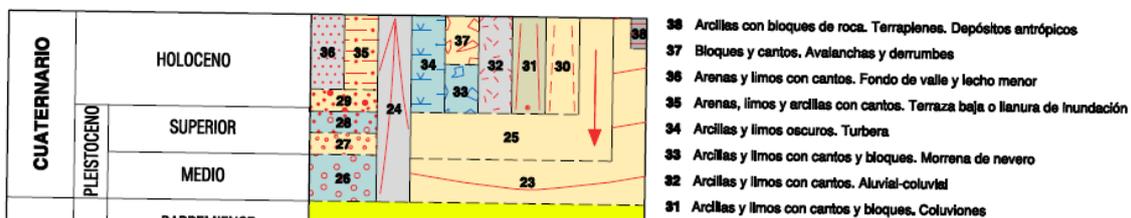


Fig. 17 Mapa IGME. Litología de interés

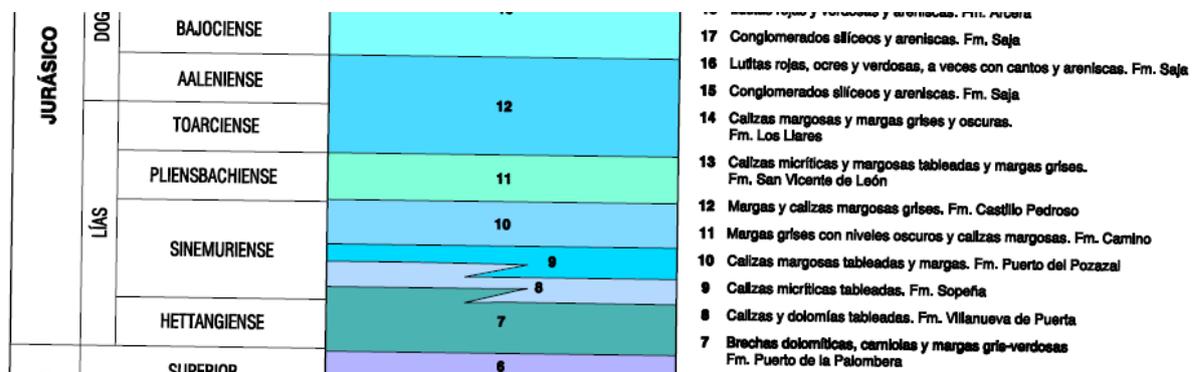


Fig. 18 Mapa IGME. Litología de interés

Según la leyenda en la superficie tenemos; en el Punto norte (Leyenda 9) Calizas micríticas tableadas. En el punto Central (Leyenda 36) Arenas y limos con cantos. Fondo de valle y lecho menor. El punto Sur (Leyenda 31) Arcillas y limos con cantos y bloques. Coluviones.

El siguiente aspecto que analizamos es la **geología de la zona**, en este caso ya que no dispongo de los medios, materiales y herramientas para realizar varios sondeos para identificar perfectamente las facies, las propiedades y características del suelo. Me voy a apoyar en los mapas del IGME y en los datos aportados por la tesis doctoral El diseño de la forma a través del comportamiento estructural en puentes de gran altura: (Roberto Revilla Angulo 2013), al igual que los datos aportados por los ayuntamientos cercanos.

Apoyandonos en la tesis doctoral sabemos que;



- En donde descansa el estribo 1 y la pila 1 pertenece a la formación calcárea J1 del Jurásico. Existen tramos calcáreos de roca resistente bien estructurada, brechas calcárea poco cementada, niveles de arenas densas y de arcillas muy firmes.
- En cuanto a las pilas 2 y 3 pertenece a la Facie Keuper. Las arcillas son de plasticidad media y consistencia dura (Arcillas duras o rocas blandas) con brechas yesíferas y lutíticas
- La pila 4 y el estribo 2 descansan en la formación Bundtsandstein. Areniscas y limolitas de color rojizo en estado inalterado.

## Geotecnia

Para tener más detalles de la geología de la zona, tras comprobar la geología de la zona, buscamos tablas genéricas para sacar los valores característicos del suelo y poder realizar el recalce para mejorar el rendimiento económico habría que realizar un estudio geotécnico más detallado de la zona. Pero en este caso tenemos valores característicos, los hemos obtenido con el proceso detallado en Anexos II propiedades geotécnicas del suelo. Los valores obtenidos son los siguientes:

- Estribo 1 y pila 1; Arcillas consolidadas y tramos de roca calcárea, según la tablas. Angulo de rozamiento interno  $31^\circ$ , Peso específico  $19 \text{ kN/m}^3$ , Cohesión  $0,3 \text{ Mpa}$
- Pila 2 y pila 3; Arcillas duras y presencia de lutitas. Angulo de rozamiento interno  $26^\circ$ , Peso específico  $17 \text{ KN/m}^3$ , Cohesión  $0,2 \text{ Mpa}$
- Pila 4 y estribo 2; Areniscas y limolitas inalteradas. Angulo de rozamiento interno  $33^\circ$ , Peso específico  $23 \text{ KN/m}^3$ , Cohesión  $6 \text{ Mpa}$

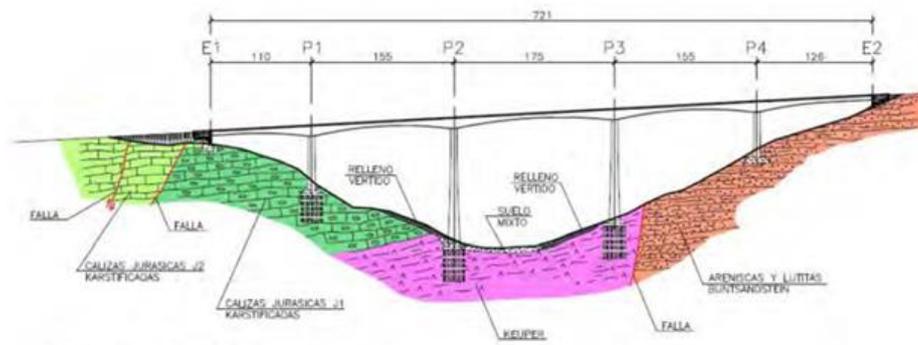


Fig. 19 Revilla Angulo R. Perfil Geotécnico del terreno. Viaducto de Montabliz

### 3.3 Anexo III Propiedades de facies

Para obtener las propiedades de las siguientes facies nos apoyamos en las siguientes tablas:

Las cuales nos permiten saber el peso específico, la resistencia al corte sin drenaje y ángulo de rozamiento interno.

Los valores no son reales sino aproximados, se debería hacer un estudio geotécnico del suelo para conocer los valores reales, pero en este trabajo lo realizaremos con los valores aproximados ya que lo importante es el proceso y la recimentación del viaducto.



Ya que son composiciones de suelos y no uno solo, tomaremos como base el menos resistente, si el otro tipo de suelo existente tiene valores mayores, aumentaremos de forma lógica. Tomaremos valores bajos para estar del lado de la seguridad. Se debería realizar un estudio geotécnico de la zona para disminuir los costes de la recimentación.

- Estribo 1 y pila 1; Arcillas consolidadas y tramos de roca calcárea, según la tablas. Angulo de rozamiento interno  $31^\circ$ , Peso específico  $19 \text{ kN/m}^3$ , Cohesión  $0,3 \text{ Mpa}$
- Pila 2 y pila 3; Arcillas duras y presencia de lutitas. Angulo de rozamiento interno  $26^\circ$ , Peso específico  $17 \text{ KN/m}^3$ , Cohesión  $0,2 \text{ Mpa}$
- Pila 4 y estribo 2; Areniscas y limolitas inalteradas. Angulo de rozamiento interno  $33^\circ$ , Peso específico  $23 \text{ KN/m}^3$ , Cohesión  $6 \text{ Mpa}$

Sabemos que ángulo de rozamiento interno es lo mismo que ángulo de fricción.

Tabla 1 Propiedades Genéricas según el tipo de roca

Tipo de roca	Peso unitario seco $\text{kN/m}^3$	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción ( $^\circ$ )
Rocas ígneas duras: granito basalto	25-30	35-55	35-45
Rocas metamórficas: cuarcita, neiss, pizarras.	25-28	20-40	30-40
Rocas sedimentarias duras: caliza, dolomita, arenisca.	23-28	10-30	35-45
Rocas sedimentarias blandas: arenisca, lutitas, limolitas.	17-23	1-20	25-35

Tabla 2 Braja M. 2001. Ángulos de fricción interna

Tipo de suelo	$\theta^\circ$ (grados)
<i>Arena: granos redondeados</i>	
Suelta	27 - 30
Media	30 - 35
Densa	35 - 38
<i>Arena: granos angulares</i>	
Suelta	30 - 35
Media	35 - 40
Densa	40 - 45
<i>Grava con algo de arena</i>	
Arcillas consolidadas	20 - 30
Limos	26 - 35

Tabla 3 Coduto 1999. Índice de vacíos, Contenido de humedad y peso unitario seco

Tipo de suelo	$e$	$w$ % Típico	$\gamma_d$ $\text{KN/m}^3$
Arena uniforme suelta	0.8	30	14.5
Arena uniforme densa	0.45	16	18
Arena limosa suelta	0.65	25	16
Arena limosa densa	0.4	15	19
Arcilla dura	0.6	21	17
Arcilla blanda	0.9 - 1.4	30 - 50	11.5 - 14.5
Arcilla orgánica suave	2.5 - 3.2	90 - 120	6 - 8



Tabla 4 Hoek y Bray 1991. Manual de estabilidad de taludes. Peso unitario, Angulo de fricción y cohesión de suelos y rocas.

Tipo	DESCRIPCIÓN Material	Peso unitario ( Saturado/ seco)	Angulo de fricción (°)	Cohesión (kPa)
Sin cohesión	Arena suelta, tamaño de grano uniforme	19/14	28-34	
	Arena densa, tamaño de grano uniforme	22/17	32-40	
	Arena suelta, diferentes tamaños de grano	20/16	34-40	
	Arena densa, diferentes tamaños de grano	21/18	38-46	
	grava, tamaño de grano uniforme	22/20	34-37	
	Arena y grava, mezcla de tamaños	19/17	48-45	
	Roca fracturada o volada: Basalto	22/17	40-50	
	Roca fracturada o volada: Granito	20/17	45-50	
	Roca fracturada o volada :Limolita	19/16	35-40	
	Roca fracturada o volada: Arenisca	17/13	35-45	
roca fracturada o volada : Lulitas	20/16	30-35		
Cohesivos	Montmorillonita (bentonita blanda )	13/6	7-13	10-20
	Arcilla orgánica muy blanda	14/6	12-16	10-30
	Arcilla blanda, ligeramente orgánica.	16/10	22-27	20-50
	Arcilla Glaciar blanda	17/12	27-32	30-70
	Arcilla Glaciar rígida	20/17	30-32	70-150
	Rocas Igneas duras:			
	granito, basalto, porfidos	25 a 30	35-45	35000-55000
	Rocas Metamórficas:			
	cuarcita, neiss, pizarras	25 a 28	30-40	20000-40000
	Rocas Sedimentarias duras:			
	Lomolitas, dolomita, arenisca	23 a 28	34-45	10000-30000
Rocas Sedimentarias blandas:				
arenisca, carbón, lutita.	17 a 23	25-35	1000-20000	

### 3.4 Anexo IV Extracción de datos estructurales del viaducto de Montabliz

Vamos a describir a continuación las **características del viaducto**, el cual nos permite conocer más su estructura, la estructura ha sido simplificada para poder trabajar mejor con ella, los planos se encuentran en el apartado planos. Punto 4.1

En nuestro caso para simplificar el cálculo, realizaremos un tablero de hormigón pretensado de 721m de longitud sin pendiente, sin planta curva y sin peralte, mantenemos las luces de 175m, 155m, 110m y 126m.



Fig. 20 Revilla Angulo R. Vista General del Viaducto

- **Pilas;**

En nuestro caso tenemos un espesor de pared constante de 0.7m en toda la pila. La sección también la realizamos constante.

La longitud total de la pila 1 es 61m, de la pila 4 es 52m, la pila 2 es 128,6 m y para la pila 3 es de 112,4m.

Sabemos que las proporciones son relativas a la altura y en el apartado de cálculo de la tesis doctoral tenemos que la base de la pila 2, tiene anchura de 15.7 m y canto 13.1 m

Para conocer la base del resto de las pilas realizamos una relación entre longitud de la pila con el canto y longitud de la pila con el ancho.



Los datos finales de cada base de las pilas y los cálculos se encuentran en el punto 4.1 Sección y perfil de pilas y tablero. Los planos en el apartado de planos con el nombre de sección de pilas.

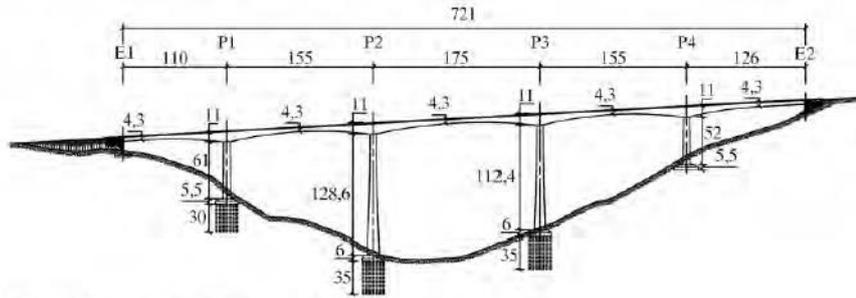


Fig. 21 Revilla Angulo R. Medidas de viaducto

Así tenemos que todas las pilas tienen una sección superior de 6,7m y 7,1m y solo varia la inferior, para la pila 1 es de 9.56m y 10.95m, para la pila 2 es de 13.1m y 15.7m, para la 3 la sección inferior es de 12.07m y 14.3m y para la pila 4 la sección es de 8.99m y 10.18m.

Los planos están en el punto 4.2 Planos de la cimentación de las pilas

- **Tablero;**

En nuestro caso lo simplificamos a tablero, de 26.1m de anchura y constituido por un cajón unicelular de canto constante, teniendo un valor de 7.5m.

La sección cajón, con forma trapezoidal, tiene una anchura superior de 15.7 m y una inferior de 9.5m y para concluir tiene voladizos de 5.2 m

El canto de la losa superior es constante de 1.1m y en los voladizos es variable de 1.1m a 0.25m. El canto del resto del trapecoide es de 0.75m

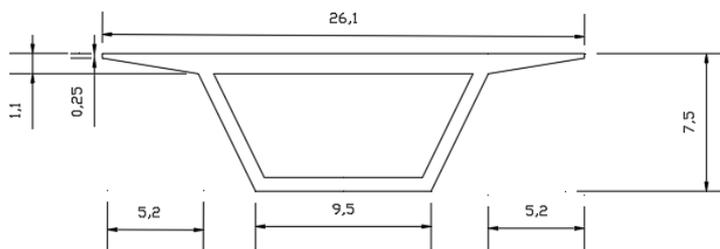


Fig. 22 Forma y cotas del tablero

- **Cimentación de pilas;**

Para la **pila 1** Consiste en un encepado tronco piramidal de 24 m de anchura, 24 m de longitud y canto variable de 2,75 a 5,5 m que consta de 49 pilotes de 30 m de longitud y 1.5 m de diámetro. Distribuidos en una matriz de 7 por 7. Transfieren cargas por punta con un valor de (Rpk) 14.000KN/m<sup>2</sup>, las cargas de fuste de (Rfk) 100KN/m<sup>2</sup>.

Para la **pila 2 y 3** la cimentación tiene una forma troco piramidal de 27,6m de ancho, 24m de longitud y canto variable de 3 a 6m y de 56 pilotes de 35 m de longitud y 1.5 m de diámetro. Están formados en una matriz de 8 filas y 7 columnas, con una separación de 3,6 m.

Se transmite las cargas mediante rozamiento (Rfk) de 85 KN/m.



Mientras que en la **pila 4**. Se soluciona con una zapata de forma tronco piramidal de 26,5m de anchura, 26,5 de longitud y de canto variable de 2,75 a 5,5m.

Tiene una tensión admisible de 600 KN/m<sup>2</sup>

Los planos de la cimentación de las pilas los encontramos en el punto 4.2 Planos de la cimentación de las pilas, donde se aprecian con más detalle, tenemos alzado, planta y perfil.

- **Estribos;**

Son los encargados de la transmisión de los esfuerzos entre el tablero del puente y el terreno, apoyados en los extremos del dintel. Ambos estribos tienen una cimentación superficial mediante zapata escalonada.

El **estribo 1** tienen una dimensión en sentido longitudinal de 13.35 m y un canto de 2,15 m, mientras que en el lado alto en sentido longitudinal es de 16.25 m y el canto de 2.45 m. Las alturas son de 16.8 m el de abajo y 19.15 m el alto.

Tiene una tensión admisible de 400KN/m<sup>2</sup>

El **estribo 2**, tienen una dimensión en sentido longitudinal de 8.2 m y un canto de 1.4m, mientras que en el lado alto la dimensión en el sentido longitudinal es de 11.2 m y el canto de 1.8 m. La altura del alzado es de 6.4 en el lado bajo y 11.3 m en el alto.

Tiene una tensión admisible de 600kN/m<sup>2</sup>

Los planos de los estribos los encontramos en el punto 4.3.

### **Esfuerzos existentes en el viaducto**

En cuanto a la respuesta del viaducto a sismos, viento y fuego damos por valido los estudios y conclusión de estabilidad global que se han realizado en la tesis doctoral de Roberto Revilla Angulo. Cabe renombrar que en cuanto a la reacción del viaducto al viento se realizó un ensayo de túnel viento, cuyo estudio concluyo que el viento transversal era más desfavorable que el longitudinal siendo este la mitad del viento transversal, esto es debido a la topografía de la zona y a la forma del valle.

En dicha tesis se realizan varios cálculos para definir la valides de la cimentación utilizada, Pero en nuestro caso nos quedamos con el cálculo del proyecto modificado – Modelos de Abaqus, partir de un modelo realizado con elementos sólidos

Los coeficientes que se utilizaron

Hormigón de pila HA-45 y un hormigón de tablero HP-50.

Datos que nos aporta el programa de cálculo datos abacus, según la tesis doctoral son;

Módulo de elasticidad +3.890e<sup>+06</sup> Coeficiente de poisson +2.00e<sup>-1</sup>

**Pila 1; N<sub>z</sub>; -13174.291 Mp M<sub>x</sub>;17847.915 Mp\*m M<sub>y</sub>;11864.449 Mp\*m**



**Pila 2;**  $N_z$ ; -17813.625 Mp  $M_x$ ;19947.476 Mp\*m  $M_y$ ;13111.084 Mp\*m

**Pila 3;**  $N_z$ ; -16499.336 Mp  $M_x$ ;22047.330 Mp\*m  $M_y$ ;12960.225 Mp\*m

**Pila 4;**  $N_z$ ; -13195.031 Mp  $M_x$ ;18826.885 Mp\*m  $M_y$ ;12115.218 Mp\*m

### **Proceso constructivo del viaducto**

Se realizo con un sistema autoportante y de avance por voladizo. Este sistema permite ir progresando por los dos lados a partir de la cimentación de la pila, dicha pila y la dovela principal, a partir de la cual se progresa. Se utiliza estructuras auxiliares y carros de avance (0.5 m/minuto) a cada lado de la dovela los cuales funcionan simultáneamente se denominan autoportantes. Se realiza de forma simultánea en las cuatro pilas lo que permite disminuir el tiempo de construcción



*Fig. 23Revilla Angulo R. Imagen de construcción por sistema autoportante*

### **3.5 Anexo V Rehabilitación de caminos y parcela Normativa para rehabilitación de los caminos**

Nos regimos en primer lugar por la normativa de carreteras del estado, en este caso es “Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras”.

En segundo lugar, nos regimos por la normativa de la comunidad autónoma de carreteras, en este caso es de la comunidad de Cantabria “Ley 5/1996, de 17 de diciembre, de Carreteras de Cantabria”.

### **Características de la rehabilitación de los camino y parcela – Características actuales de caminos y parcelas**

Tras solicitar todos los permisos al respectivo ayuntamiento, realizaremos la rehabilitación del camino para poder acceder a la zona de trabajo, de igual forma realizamos un desbroce en la parcela de almacenamiento, para dejarla lo más lisa posible.

- Camino acceso a pila 2:

Actualmente tiene una longitud de 1.91Km con una anchura variable de 5 – 3 metros debido al avance de la naturaleza por los laterales y la calzada muy irregular debido a lluvias y falta de mantenimiento. Es inadecuado para el transporte de coches, maquinaria.



Fig. 24 Captura Google maps. Camino para rehabilitar

- Camino la pila 1 lo dividimos en dos tramos;
  - 1) Primer tramo en el que solo necesitamos el mismo procedimiento del camino de la pila 2, Tiene una longitud de 0,45 Km El fin del tramo de estas características tiene las coordenadas siguientes; Latitud: 43.104418° y Longitud: -4.093461°.
  - 2) Segundo tramo en el que se necesita realizar una modificación de la topografía, para poder realizar un camino plano ya que no existe un camino como tal, hay que realizar un desmante. Tiene una longitud de 0,26 Km. Se explicará más adelante junto al camino del estribo 1 ya que tiene el mismo inconveniente.
    - En cuanto al camino para la pila 3 y 4 se realiza el mismo procedimiento y se utiliza la misma maquinaria, que utilizamos en la rehabilitación del camino 2.
    - Parcela de almacenamiento.

Actualmente la parcela se encuentra llena de vegetación y con el suelo irregular para el tránsito y acceso a vehículos y maquinaria,

La habilitación de la parcela es lo segundo que se debe realizar para poder almacenar la maquinaria, al igual que tener una zona de descanso disponible. Por eso se realiza tras realizar la rehabilitación del camino a la pila 2.

La superficie que habilitamos para dicha finalidad es de 0,43 Ha. de la totalidad de la parcela, ya que es la zona más plana y adecuada.

Tras realizar los trabajos de habilitación de la parcela, realizaremos un vallado perimetral.



Fig. 25 Captura Google Earth. Zona de descanso modificada

- Segundo tramo del camino a la pila 1 y el camino al estribo 1

En este caso tenemos que realizar un terraplén ya que la zona se encuentra con la topografía original.



Fig. 26 WSP. Vista aérea de caminos acondicionados. Viaducto de Montabliz

### **Tipos de suelos que modificamos**

Teniendo la geología de la zona identificamos el tipo de suelo en el que se va a realizar tanto en la nivelación como en la realización de taludes.

Los caminos se encuentran sobre brechas dolomíticas y margas gris verdosas, también por suelos compuestos de arcillas y limos con cantos y bloques. Mientras que los terraplenes se realizan en un suelo de calizas micríticas tableadas. Se puede comprobar en la imagen (Añadir imagen de mapa geológico anterior)

### **Proceso de rehabilitación de caminos**

En primer lugar, realizamos el camino a la pila 2, se realizará un desbroces de la naturaleza que ha invadido dichos caminos, una explanación del ancho del futuro camino, añadiremos una capa de suelo de 30 cm compactados al 98% del ensayo Proctor Modificado que será nuestra pista de suelo adecuado para el tránsito en la obra.



Para la elaboración de esta capa nos ayudaremos de minicargador para solventar falta de tierra o excedente de la misma al igual que un compactador de tierras.

En el punto 4.4 Sección de camino. se aprecia la modificación que se realiza en los caminos sin terraplén, y se especifica las modificaciones del camino.

Después de tener una zona de descanso habilitada realizamos el mismo procedimiento para el resto de los caminos.

### **Acondicionamiento de parcela de almacenamiento**

Realizamos un desbroce de la zona, para una posterior nivelación con la motoniveladora, también realizaremos una capa de suelo de 30 cm compactados al 98% del ensayo Proctor modificado para toda la superficie de la parcela que vamos a utilizar.

Utilizaremos la misma maquinaria que hemos utilizado en la rehabilitación del camino de la pila 2 y a mayores un tractor bulldozer el desbroce la vegetación.

### **Ejecución de los caminos con terraplén**

El camino es igual que el resto de la obra, pero antes de realizarlo debemos realizar un terraplén en la zona, la tierra extraída se almacenar en la parcela de almacenamiento para posteriormente recolocar en el terraplén al finalizar la obra.

Iniciamos la modificación del talud natural, con una modificación de la geometría manteniendo siempre la estabilidad, (recordemos dicha estabilidad depende de la inclinación o pendiente del terraplén, la recomendación general es un ángulo máximo de 45°). Realizamos excavaciones desde la parte superior, para posteriormente perfilar el talud, para finalizar realizamos el mismo tipo de vía que el apartado anterior.

Realizamos taludes con un ángulo de 21, 83° en los dos taludes. Ver calculo en Anexos VI punto 3.6 Cálculo de taludes

La maquinaria que necesitamos para realizar este trabajo es; Máquina excavadora, Palas cargadoras, motoniveladora, compactador de tierras, dumpers de movimientos de tierras.

### **3.6 Anexo VI Calculo de taludes**

#### **Introducción**

Un talud es una masas de suelo inclinado que no está retenida por una estructura. La estabilidad de un talud es una medida del factor de seguridad contra el fenómeno del desplazamiento.

Se determina la resistencia al corte ( $\tau_m$ ), resistencia corte de esa superficie ( $\tau$ ), resistencia al corte para el equilibrio ( $\tau_m$ ).

#### **Estabilidad de taludes indefinidos**



Cuando la profundidad (D) hasta un substrato resistente es constante y pequeña comparada con la longitud total del talud. Es posible tomar una rebanada de suelo como representativa de toda la masa del suelo.

- Sin presión de agua (Arenas)  
 Sometidas a empujes laterales ( $E_d$ ), Reacciones ( $E_i$ )  $E_d = E_i$   
 La parte inferior será el propio peso de la rebanada ( $w$ ) crea una reacción  $P$  se descompone  $\tau_m$  y  $\sigma$

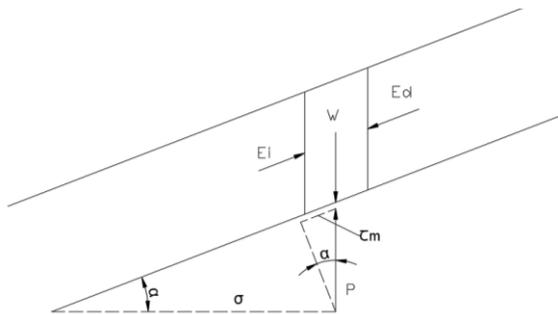


Fig. 27 Acciones en Talud Indefinidos

$$\text{Factor de seguridad } F = \frac{\tau}{\tau_m} = \frac{\sigma \operatorname{tg} \phi'}{\tau_m}$$

$$\sigma = w \cdot \cos \alpha \quad \tau_m = w \operatorname{sen} \alpha$$

$$F = \frac{\operatorname{tg} \phi'}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Si se construye un talud con un ángulo  $\alpha > \phi'$  se produce un deslizamiento hasta  $\sigma = \phi'$

### Geología de la zona de trabajo

Nos remitimos al mapa del IGME e identificamos que los taludes se encuentran en una zona de calizas micríticas tableadas. En la imagen se encuentra marcada con un recuadro rojo y se identifica con el número 9.

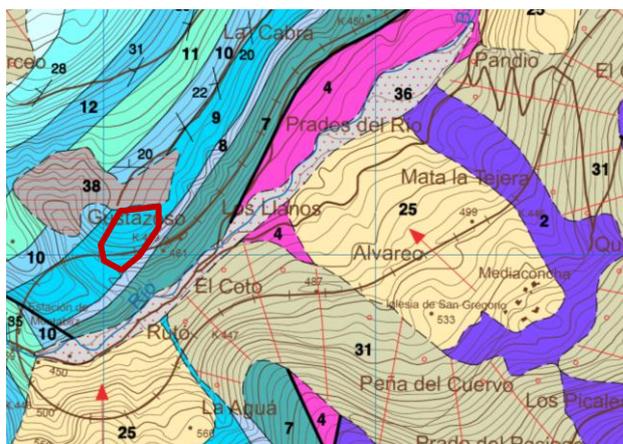


Fig. 28 Mapa IGME"083-1(11-35)" Zona de realización de los taludes

### Propiedades del suelo a modificar



Ya sabemos que el suelo donde vamos a realizar los taludes se encuentra en el mismo suelo donde se cimenta el estribo 1 y la pila 1 por los que tenemos las siguientes propiedades;

Angulo de rozamiento interno  $31^\circ$ , Peso específico  $19 \text{ kN/m}^3$ , Cohesión  $0,3 \text{ Mpa}$

También sabemos que el nivel freático se encuentra por debajo de los taludes por lo que el talud está seco.

### Cálculo del ángulo del talud

Para saber la inclinación que tenemos que realizar para que sea estable con un factor de seguridad igual al 1.5 es el siguiente:

$$F.S = \frac{\text{tg } \phi}{\text{tg } \alpha} \Rightarrow \text{tg } \alpha = \frac{\text{tg } \phi}{F.S} = \frac{\text{tg } 31}{1,5} = 0,400574$$

$$\alpha = \text{arctg}(0,400574) = 21,830^\circ$$

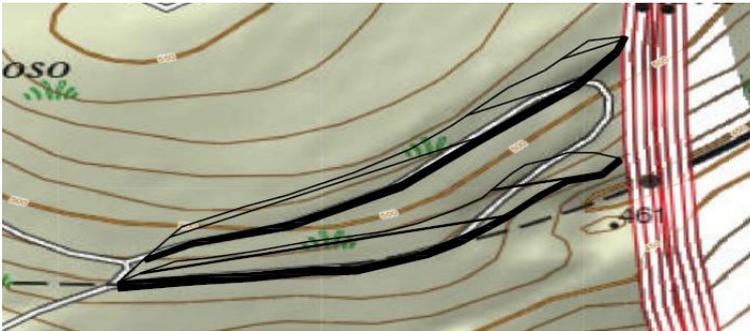


Fig. 29 Terraplén de camino a Pila 1 y Estribo 1

### 3.7 Anexo VII Calculo del aumento de la carga de los pilares

Vamos a ver la carga total que tiene que soportar cada pila y estribo, respecto a la carga distribuida en el tablero, debido al aumento de afluencia de vehículos.

#### Cargas que soportan las pilas

Se tiene una carga distribuida de  $2 \text{ kn/m}^2$  sobre todo el tablero, el cual tiene 3 carriles en un sentido y 2 en el otro sentido, las medidas de la calzada son menores a las del viaducto, medianas y arcenes. Pero por seguridad vamos a tener en cuenta toda la superficie del tablero. Tiene una longitud de  $721 \text{ m}$  y una anchura de  $26,1 \text{ m}$ .

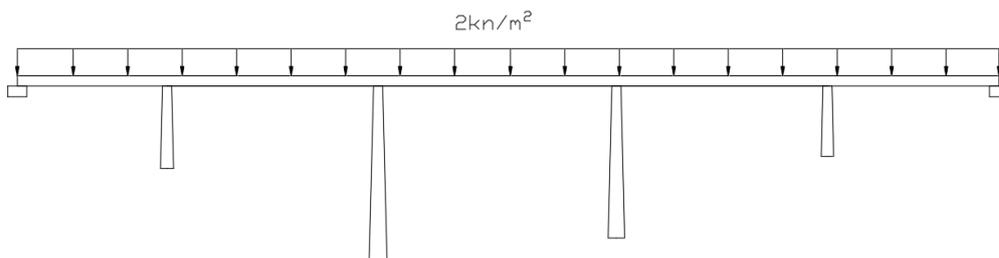


Fig. 30 Viaducto con carga distribuida

Pasmos de fuerza distribuida a fuerzas puntuales encima de los pilares y estribos.

Para calcular la fuerza que actúa encada elemento dividimos el tablero por la unión con los estribos y los pilares

- Estribo 1 – Pila 1; la distancia es de 110 m y de anchura 26,1m.

$$F_{E1-P1} = 2kn/m^2 \cdot 110m \cdot 26,1m = 5742kn$$

En este tramo hay una sobrecarga de 5742 KN en el centro de los dos apoyos.

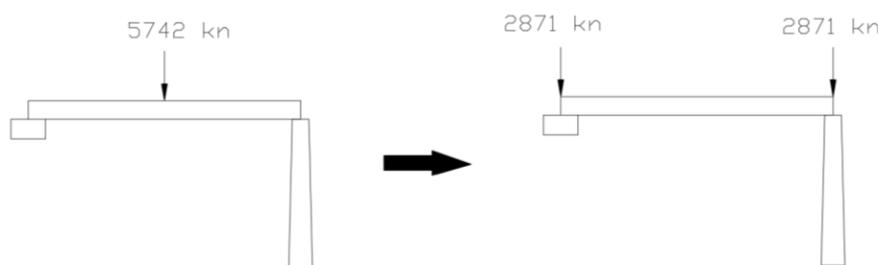


Fig. 31 Cargas puntuales en Estribo 1 y Pila 1

Al estar en el medio la fuerza se distribuye de igual forma a cada lado, por lo que la fuerza en el **Estribo 1** es igual a 2871 KN, pero en la pila 1 una de las dos componentes es 2871kn, falta la componente del tramo Pila 1-Pila 2

$$F_{E1} = 2871 kn$$

- Pila 1 – Pila 2; La distancia es de 155 m y de ancho 26,1 m

$$F_{P1-P2} = 2kn/m^2 \cdot 155m \cdot 26,1m = 8091kn$$

En este tramo hay una sobrecarga de 8091 KN, en el centro de los dos apoyos.

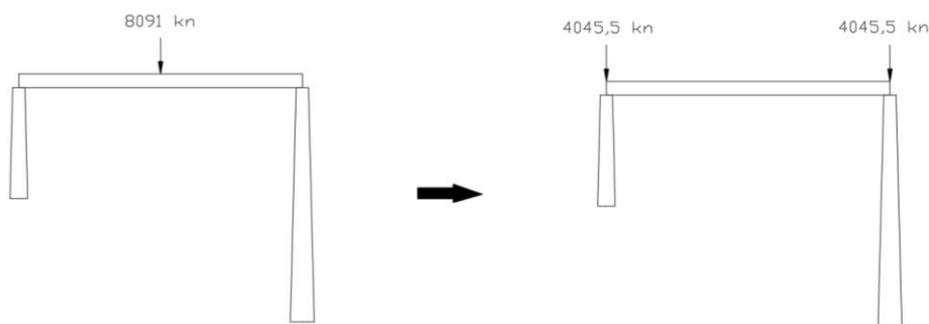


Fig. 32 Cargas puntuales en Pila 1 y Pila 2



Al estar en el medio la fuerza se distribuye de igual forma a cada lado, por lo que la fuerza en la **Pila 1** consta de 2871 KN del primer tramo y 4045,5 KN de este tramo.

$$F_{P1} = 6916,5 \text{ kn}$$

- Pila 2 – Pila 3; La distancia es de 175 m y de ancho 26,1 m

$$F_{P2-P3} = 2 \text{ kn/m}^2 \cdot 175 \text{ m} \cdot 26,1 \text{ m} = 9135 \text{ kn}$$

En este tramo hay una sobrecarga de 9135 KN, en el centro de los dos apoyos.

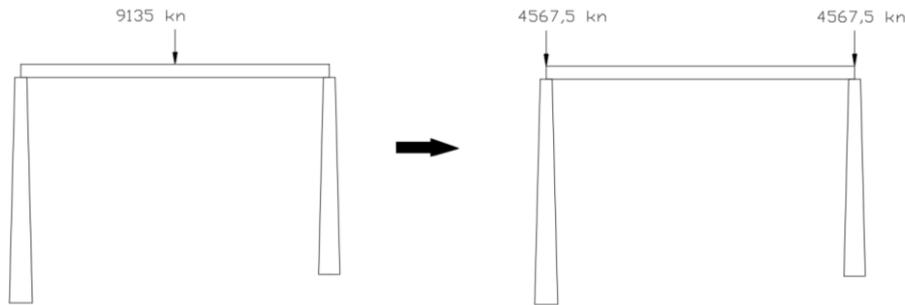


Fig. 33 Cargas puntuales en Pila 2 y Pila 3

La sobrecarga que afecta a la **Pila 2** consta del tramo Pila 1 – Pila 2 (4045,5 KN) y del tramo Pila 2 – Pila 3 (4567,5 KN).

$$F_{P2} = 8613 \text{ kn}$$

- Pila 3 – Pila 4; La distancia es de 155 y de ancho 26,1 m

$$F_{P3-P4} = 2 \text{ kn/m}^2 \cdot 155 \text{ m} \cdot 26,1 \text{ m} = 8091 \text{ kn}$$

En este tramo hay una sobrecarga de 8091 KN, en el centro de los dos apoyos.

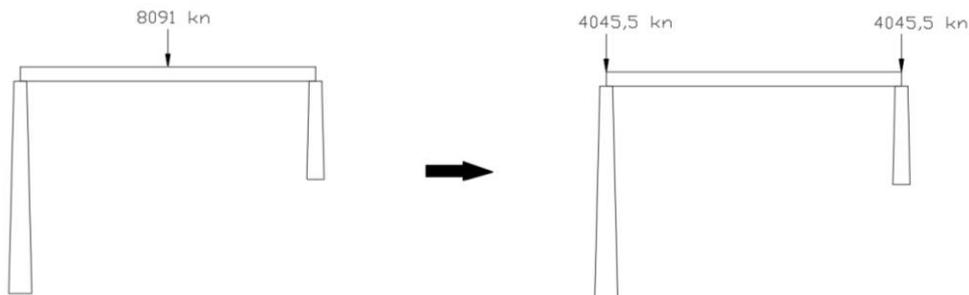


Fig. 34 Cargas puntuales en Pila 3 y Pila 4

La sobrecarga que afecta a la **Pila 3** consta del tramo Pila 2 – Pila 3 (4567,5 KN) y del tramo Pila 3 – Pila 4 (4045,5 KN).

$$F_{P3} = 8613 \text{ kn}$$

Pila 4 – Estribo 2; la distancia es de 126 y de ancho 26,1 m

$$F_{P4-E2} = 2 \text{ kn/m}^2 \cdot 126 \text{ m} \cdot 26,1 \text{ m} = 6577,2 \text{ kn}$$



En este tramo hay una sobrecarga de 6577,2 kN, en el centro de los dos apoyos.



Fig. 35 Cargas puntuales en Pila 3 y Estribo 2

La sobrecarga en la **Pila 4** consta del tramo Pila 3 – Pila 4 (4045,5 kN) y del tramo Pila 4 – Estribo 2 (3288,6 kN)

$$F_{P4} = 7334,1 \text{ kn}$$

La sobrecarga del **Estribo 2** solo consta del tramo Pila 4 – Estribo 2

$$F_{E2} = 3288,6 \text{ kn}$$

El sobre esfuerzo que se ha generado en la parte alta de la pila, se transfiere sin modificarse hasta la parte baja de la pila y la trasmite a la cimentación

### 3.8 Anexo VIII Micropilotes

#### Definición de micropilote

Son pilotes de pequeño diámetro, Es una perforación la cual está constituida formados por una armadura la cual puede ser; Tabular, corrugada o perfil metálico. Esta rellena de mortero de cemento, esta perforación se puede disponer en cualquier dirección respecto a la estructura, hay que tener cuidado al realizar los inclinadas, ya que, la armadura se puede desviar y perder el valor de la resistencia de calculo

Las Características;

- 100 a 300 mm de diámetro
- Se utiliza maquinaria pequeña
- Soporta hasta 100 toneladas
- Uso para recalces en cimentaciones existentes o inadecuadas para cargas
- Transmite cargas sin apenas deformación

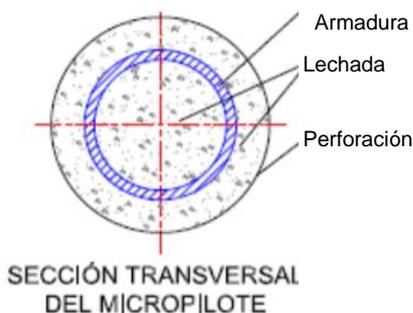


Fig. 36 NB Aparejadore. Sección transversal del micropilote

Conceptos para tener en cuenta



- En varias normativas solo los mencionan y no los desarrollan porque tienen gran similitud con los pilotes.
- En el momento de la realización de los cálculos hay que tener en cuenta que los parámetros geotécnicos no estén mayorados o minorados, ya que puede llevar a un error de cálculo, solicitaremos los resultados geotécnicos reales.
- Hay que tener en cuenta la maquinaria auxiliar, como pueden ser mezcladoras, generadores, bombas de agua.
- La importancia de realizar la extracción con agua o aire,

### **Ventajas en cimentación**

Son de fácil ejecución y con maquinaria más pequeña respecto a la utilizada para pilotes, por lo que nos permite realizarlos en zonas sinuosas o de difícil acceso, las conexiones a encepado muy sencillas, cálculo y replanteo sencillos

### **Inconvenientes de los micropilotes**

Relación coste/carga mayor que la de un pilote u otras actuaciones en cuanto a mejora de cimentación, procesos de cálculo son empíricos, solo se contrasta con prueba de carga, la calidad depende de un proceso riguroso.

### **Área de aplicación**

Los micropilotes tienen mucha versatilidad en sus usos de los que destacan; Refuerzos contra sismos, detener asentamientos de soleras, sostenimientos de excavaciones en áreas confinadas (Anclajes con micropilotes)

### **Normativa vigente para micropilotes**

- UNE-EN 14199:2019. Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes.  
“Dichos principios son aplicables a pilotes perforados realizados empleando un taladro con un diámetro de fuste menor a 300 mm”
- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obra de carretera. DGC - 2006  
“La presente guía se refiere a micropilotes cilíndricos, de diámetro inferior a 300 mm, perforados en el terreno, armados con tubería de acero reforzada a veces con una o varias barras corrugadas, e inyectada con lechada o mortero de cemento en una o varias fases.”

### **Materiales**

Los diferentes materiales que se utilizan en la elaboración de los micropilotes son los siguientes, aunque ya se ha mencionado anteriormente en este apartado desarrollamos los tipos y las propiedades que debe tener cada elemento para su buen funcionamiento.

- Acero; Tiene mucha repercusión en el precio final de la obra, Pueden estar complementado por una o varias barras corrugadas. Deben cumplir UNE EN 10210, UNE EN 10219.  
Limite elástico de los aceros



Tabla 5 Limites elásticos del acero

Designación UNE	Limite elástico (Mpa)
S235	235
S275	275
S355	355
S420	420
S460	460

Barras corrugadas de acero  $f_{ak}$  Este tipo de barras son las que utilizamos en la realización de nuestros micropilotes, más en concreto los B500S.

Tabla 6 Limites elásticos de Barras corrugadas

UNE	Limite elástico (Mpa)
B400S	400
B500S	500

También se pueden utilizar los perfiles metálicos, este tipo de perfil no es muy utilizado ya que normalmente suelen ser reutilizados de obras o aplicaciones diferentes, por lo que las resistencia no es muy fiable.



Fig. 37 Colegio oficial de aparejadores. Técnicos de Zaragoza. Tipología

- Empalmes; se puede utilizar soldadura o rosca, en esta última, pierde mucha resistencia en esa zona.
- Lechada y morteros de cemento; deben cumplir EHE, UNE, PG-3 y al menos 42.5 N de resistencia.  
Las proporciones de la lechada de cemento contienen las siguientes dosificaciones;  
 $a/c=0.4-0.45$      $f_{ck28días} > 25MPa.$      $f_{ck7días} > 0.6 f_{ck}.$   
 Las proporciones de mortero de cemento son las siguientes;  
 Agua + Cemento + Árido Cemento mínimo  $> 375 \text{ Kg/m}^3.$   
 Dosificación  $a/c < 0.6$      $f_{ck28días} > 25MPa.$   
 Granulometría de áridos;  $D_{85} < 4mm$      $D_{100} < 4mm$
- Protección contra la corrosión;



La debe tener toda la armadura del micropilote y el resto de los elementos metálicos como puede ser la armadura para el empalme con el encepado y debe mantenerse durante su vida útil.

Para ambientes agresivos se puede utilizar; cementos y aceros especiales. Recubrimiento superior. Protección catódica. Entubación permanente. Tratamiento superficial.

Recubrimiento mínimo  $D_p - D_e > 2r$

Reducción de espesor; en el cálculo se deberá tenerse en cuenta la correspondiente reducción de espesor de las armaduras por corrosión en función de la vida útil

Tabla 7 Tipo de armadura según EN14199

Método de perforación	Tipo de armadura	Método de inyección	Material de inyección	Opciones
Perforación por rotación	Jaula de armadura	Inyección por gravedad	Lechada, mortero u hormigón	Entubación
		En una fase con entubación provisional	Lechada o mortero	—
(Mas usuales) Perforación por rotoperCUSión	Perfil tubular u otro perfil estructural (Mas usual)	Inyección por gravedad u hormigonado	Lechada, mortero u hormigón	Entubación
		En una fase: Entubación provisional Armadura tubular Tubo-manguito	Lechada	—
		En varias fases Tubo – Manguito Válvulas especiales Tubo de postinyección	Lechada	Punta ensanchada
	Entubación permanente	Inyección por gravedad u hormigonado	Lechada, mortero u hormigón	Punta ensanchada
Hélice continua	Jaula de armadura elemento portante	Hormigonado a través del alma hueca de la barrena	Lechada, mortero u hormigón	—

### Transmisión de carga al terreno

- Micropilote flotantes; Inmersos en un terreno de resistencia media o baja y que transmite la mayor parte de la carga por rozamiento.
- Micropilotes de punta; están apoyados y empotrados en un estrato más resistente que el superior y trabajan fundamentalmente por la punta.

### Operaciones básicas de ejecución

Se empieza por la perforación con uno de los métodos descritos en la clasificación según la EN141999 para el micropilote

A posterior se coloca de la armadura, Después se realiza la inyección al micropilote según un método de inyección. Para finalizar hay que



realizar la conexión entre la estructura y el encepado, esto se realiza con conectores

### **Perforación del taladro del micropilote**

- Métodos; A rotación con punta de tricono o diamante, a rotopercusión con martillo en fondo, con hélice continua.
- Nomenclatura habitual: D; diámetro nominal, Dp; diámetro perforación, De; Diámetro armadura tubular.

### **Extracción de residuos**

Pueden ser con aire o con agua, depende de diferentes condiciones:

- Aire; Se trabaja con máquinas y compresore auxiliar de 20 – 30 bares cúbicos por minuto. Se introduce el martillo de rotopercusión sobre la entubación y el aire se saca por fuera de la entubación hasta expulsarlo a la superficie.  
Se utiliza en terrenos duros o rocas, los problemas más comunes son el aire y el polvo.
- Agua; Se utiliza en terrenos arcillosos con agua, es decir se perfora en las condiciones que se encuentra el terreno, ya que si no se ejecuta de esta manera puede generar cavidades.  
Se utiliza una entubación si el suelo es portante, mientras que si son arcillas o suelo no portante se utilizara doble entubación.
- Situación real y más común; alternar entre los métodos, según requiera la situación, ya que los suelos no suelen ser homogéneos.

### **Colocación de la armadura**

Se realiza sin alterar la posición de los elementos, se emplean los centradores y manguitos necesarios, para garantizar la buena colocación de la armadura, ya que, si esta se encuentra desviada y toca algún borde de la perforación, el micropilote pierde mucha resistencia. Se recomienda que la armadura tubular quede a una distancia mínima de diez centímetros del fondo del taladro.

### **Inyección del micropilote**

Se realiza con leche de cemento o mortero de cemento, termina de constituir la construcción del fuste y la punta del micropilote, está en contacto con el terreno y la armadura y relleno interior de la armadura, se añade protección para la armadura contra la corrosión. Los diferentes métodos se encuentran en la clasificación EN14199

### **Sistema de inyección (generación de bulbo)**

- Inyección única global (IU); Adecuado para rocas más o menos sanas, suelos cohesivos muy duros y suelos granulares.  
A la salida de la bomba: desnivel <1m y distancia >50m En boca de taladro.

$$\rho_{lim/2} < \rho_i < \rho_{lim} \quad 0.5Mpa < \rho_i < 1Mpa$$



- Inyección repetitiva, hasta dos o tres veces todos los manguitos (IR); En roca blanda y fisurada y en material granular y de compactación media Cada 50 cm un manguito, Presión inyección > 0.5 Mpa.
- inyección repetitiva selectiva por cada manguito, varias veces todos o algunos (IRS); Suelos cohesivos (salvo duros) Suelos de consistencia baja a media, especialmente en suelos granulares en los que intenta formar un bulbo.  
Presión de inyección por manguitos a la salida de la bomba si Desnivel < 1m, Distancia < 50m. Boca de taladro.

$$\rho_{lim} < \rho_i$$

$$1Mpa < \rho_i$$

- Inyección por manguitos (d < 1m), Inyección final de relleno de la armadura

### 3.9 Anexo IX Calculo de los micropilotes.

#### Estados limites

Análisis basado en coeficientes de seguridad parciales, para acciones mayoradas en el proyecto de puentes de carreteras (IAP) y EHE. Carácter general, se deberá efectuarse las siguientes comprobaciones.

- Estados limites últimos; Fallo de estabilidad global. Fallo de capacidad de soporte del terreno. Fallo estructural. Socavación del cimiento
- Estados límites de servicio.
- Otras comprobaciones.

#### Estados limites últimos

- Factor de estabilidad global; Requiere varias superficies de rotura que engloben a toda la cimentación y analizar su estabilidad, a partir de método equilibrio limite.
- Factor de capacidad de soporte del terreno; producirse por falta de resistencia.  
Hundimiento; Capacidad de soporte del terreno es inferior a la carga que transmite.  
Arranque; El micropilote alcanza el agotamiento por fuerza de rozamiento en el fuste.  
Rotura horizontal del terreno; micropilotes de ejes aproximadamente vertical, las presiones horizontales agotan la capacidad del terreno
- Factor estructural; Siguiendo modos de fallos  
Estructura de los micropilotes; Cuando los esfuerzos transmitidos superan la resistencia del micropilote como elemento estructural.  
Conexión con la estructura; Cuando los esfuerzos transmitidos superan la resistencia de la conexión entre el micropilote y la estructura de cimentación de la que forma parte o el encepado que une sus cabezas.

#### Estados límites de servicio

No implica el fallo del cimiento, pero si una limitación en su capacidad funcional. La metodología de cálculo será la de la guía

#### Datos iniciales



Para la mejora de cimentación vamos a mantener la cimentación actual y añadirle nuevos micropilotes unidos al encepado.

Vamos a mejorar un 20% la cimentación existente, es decir realizaremos micropilotes que soporten la carga existente en las pilas, también tenemos que añadir la sobrecarga distribuida de  $2\text{KN}\cdot\text{m}^2$ . En los estribos solo realizamos pilotes para solucionar la sobrecarga existente.

#### Cargas para cada elemento

Estribo 1; Nz; (- 2871 kN)

Pila 1; Nz; 20% de la cargas existente (-25821,61 kN) + Sobre carga (- 6916,5 KN);

Mx; 20 % de la sobrecarga existente (35981  $\text{KN}\cdot\text{m}$ )

My; 20 % de la sobrecarga existente (23254,32  $\text{KN}\cdot\text{m}$ )

Pila 2 Nz; 20% de la carga existente (-32338,699 KN) + Sobre carga (- 8613 KN);

Mx; 20% de la carga existente (39097,053  $\text{KN}\cdot\text{m}$ )

My; 20 % de la sobrecarga existente (25697,725  $\text{KN}\cdot\text{m}$ )

Pila 3 Nz; 20 % de la carga existente (- 32338,699 KN) + Sobrecarga (- 8613 KN)

Mx; 20% de la carga existente (43212,767  $\text{KN}\cdot\text{m}$ )

My; 20% de la carga existente (25402,042  $\text{KN}\cdot\text{m}$ )

Pila 4 Nz; 20% de la carga existente (- 25862,261 KN) + Sobrecarga (- 7334,1 KN)

Mx; 20% de la carga existente (36900,695 KN)

My; 20% de la carga existente (23745,827 KN)

Estribo 2 Nz; Sobrecarga (- 3288,6 KN)

En cuanto a las propiedades geotécnicas de cada estribo y pila son los siguientes:

Estribo 1; Angulo de rozamiento interno  $31^\circ$ , Peso específico 19  $\text{kN}/\text{m}^3$ , Cohesión 0,3 Mpa.

Pila 1; Angulo de rozamiento interno  $31^\circ$ , Peso específico 19  $\text{kN}/\text{m}^3$ , Cohesión 0,3 Mpa.

Pila 2; Angulo de rozamiento interno  $26^\circ$ , Peso específico 17 $\text{KN}/\text{m}^3$ , Cohesión 0,2 Mpa.

Pila 3; Angulo de rozamiento interno  $26^\circ$ , Peso específico 17 $\text{KN}/\text{m}^3$ , Cohesión 0,2 Mpa.

Pila 4; Angulo de rozamiento interno  $33^\circ$ , Peso específico 23 $\text{KN}/\text{m}^3$ , Cohesión 6 Mpa.



Estribo 2; Angulo de rozamiento interno  $33^\circ$ , Peso específico 23KN/m<sup>3</sup>, Cohesión 6 Mpa.

Las condiciones que deben tener los micropilotes es un diámetro de 300 mm como máximo, en cuanto al número de pilotes no tenemos un límite, al igual que superficie del encepado.

También sabemos que todos los pilotes trabajaran a fuste por las características del terreno.

### 3.9.1 Micropilotes Estribo 1

En los estribos solo tenemos carga vertical por lo que nos guiamos por Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera

Tenemos como máximo un diámetro ( $\varnothing$ ) de 300 mm -> suponemos diámetro. ( $\varnothing$ ) de 260 mm

Estos micropilotes se instalarán alrededor de los estribos

Comprobación frente al hundimiento

Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento

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

La mayoración de la sobrecarga actúa como carga variable por lo que:

$$N_{c,Ed} = 2.871 \text{ kN} \cdot 1,5 = 4306,5 \text{ kN}$$

En este caso los pilotes actúan mediante fuste.

En terrenos cohesivos como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- $q_u > 100 \text{ Kpa}$

Resistencia de cálculo por fuste

Ya que no se puede considerar la resistencia por punta hay que tener en cuenta la resistencia por fuste del micropilote

Vamos a calcularlo con correlaciones empíricas

$$R_{c,d} = R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d}$$

$r_{f,c,d}$ ; Rozamiento unitario por fuste de calculo frente a esfuerzos de compresión

$R_{c,d}$ ; Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento.

Correlaciones empíricas

Se obtiene mediante  $r_{f,c,d} = \frac{r_{f,lim}}{F_r}$

Según el tipo de suelo que tenemos en el estribo 1 utilizamos Inyección de tipo IRS (Suelos cohesivos)



La resistencia a compresión simple de esta zona de terreno según valores orientativos se aprecia en la siguiente tabla;

Tenemos un suelo medio  $q_u = 250 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

Tabla 8 Valores Orientativos de  $N_{spt}$ , resistencia compresión simple y módulos de elasticidad de suelo

Tipo de suelo	Nº golpes ensayo SPT, $N_{SPT}$	Resistencia a compresión simple, $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad, E (MN/m <sup>2</sup> )
Suelos muy flojos o muy blandos	< 10	0 - 80	< 8
Suelos flojos o blandos	10 - 25	80 - 150	8 - 40
Suelos medios	25 - 50	150 - 300	40 - 100
Suelos compactos o duros	50 - Rechazo	300 - 500	100 - 500
Rocas blandas	Rechazo	500 - 5000	500 - 8000
Rocas duras	Rechazo	5000 - 40000	8000 - 15000
Rocas muy duras	Rechazo	> 40000	> 15000

Según la gráfica de rozamientos unitarios;

$$r_{f,lim} = 0,32 \text{ MPa} \rightarrow 320 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow 0,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$r_{fc,d} = \frac{0,32}{1,65} = 0,194 \text{ N/mm}^2$$

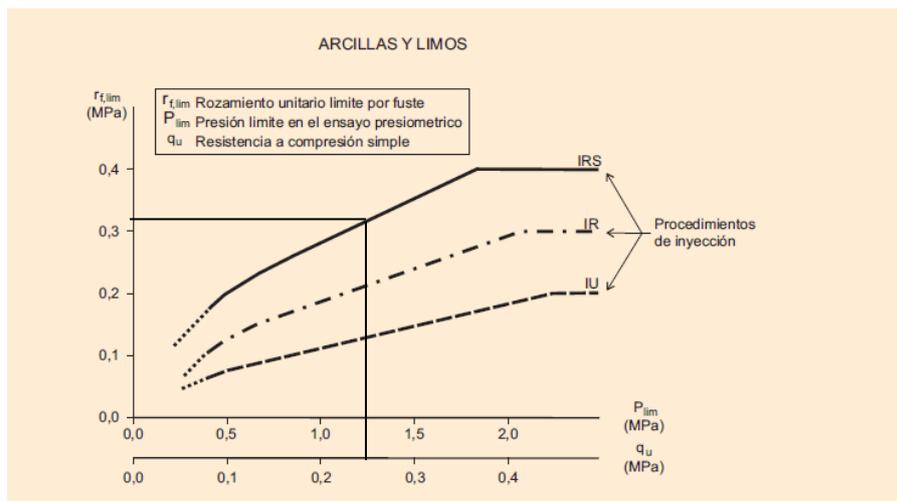


Fig. 38 guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Rozamiento unitario Limite por fuste

Tabla 9 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Coeficiente  $F_r$

DURACIÓN	$F_r$
Obras donde los micropilotes tienen una función estructural de duración inferior o igual a seis (6) meses	1,45
Obras donde los micropilotes tienen una función estructural de duración superior a seis (6) meses	1,65

$$R_{f,c} = A_L \cdot r_{fc,d} \rightarrow A_L = \frac{R_{f,c}}{r_{fc,d}} \rightarrow A_L = \frac{4.306,5 \cdot 10^3}{0,194} = 22,198 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Como sabemos que el bulbo tendrá una forma aproximada a la de un cilindro y el área de un cilindro es;



$$A_L = 2\pi r_{nom} h \rightarrow h = \frac{A_L}{2\pi r_{nom}} = \frac{22,198 \cdot 10^6}{2\pi 130} = 27176,874 \text{ mm}$$

h = la supuesta longitud de un micropilote para ser validado frente al hundimiento.

Pero en este caso como veremos en el siguiente apartado, necesitamos 8 micropilotes para que soporten la sobrecarga, dividimos este valor entre 8.

Longitud mínima para el bulbo de los micropilotes en estribo 1 para ser valido frente al hundimiento es de 3397,11mm -> 3,4 m

### Fallo estructural de los micropilotes

#### Resistencia estructural de los micropilotes

En este estribo los micropilotes deben soportar una carga mayorada de - 4.306,5 kN

Primero calculamos  $A_s$  y  $A_c$ ;

$A_a$ ; sección de la armadura tabular de acero S 275

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((d_e - 2r_e)^2 - d_i^2) \times F_{u,c}$$

Según los materiales de ferropuig tenemos un armado de  $\varnothing$  100 mm, e= 6mm y una longitud de 12m

$d_e$  = diámetro exterior armado = 100 mm

$d_i$  = diámetro interior armado = 100 - 6 = 94 mm

$r_e$  = reducción de espesor de armadura por corrosión = 1,2

$F_{u,c}$  = coeficiente de minoración del área de la armadura tubular = 1,0

Nos apoyamos en las siguientes tablas para saber coeficientes.

Tabla 10 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Reduccion de espesor de armadura por efecto de la corrosion (mm)

TIPO DE TERRENO	VIDA ÚTIL REQUERIDA AL MICROPILOTE <sup>2</sup> (años)				
	5	25	50	75	100
Suelos naturales sin alterar	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Suelos naturales contaminados o suelos industriales	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Suelos naturales agresivos (turbas, ciénagas, etc.)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Rellenos no agresivos sin compactar <sup>2</sup>	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Rellenos agresivos sin compactar (cenizas, escorias, etc.) <sup>2</sup>	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

Tabla 11 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Coeficiente  $F_{uc}$

TIPO DE UNIÓN	$F_{uc}$
Mediante manguitos exteriores doblemente roscados, sin disminución de sección	1,0
De rosca machihembrada con sección ensanchada	
De rosca machihembrada, sin sección ensanchada y con contacto a tope en ambos extremos	
Otras uniones diseñadas específicamente para no sufrir pérdidas de resistencia	
Resto de casos	0,5



$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((100 - 2 \times 1,2)^2 - 94^2) \times 1 = 541,7 \text{ mm}^2$$

Ac = sección neta de lechada o mortero, descontando armadura. HA-25

$$A_c = A_n - A_a = \pi \times r^2 - A_a = \pi \times 130^2 - 541,7 = 52.551,22 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es comprobar la resistencia del pilote a compresión

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}:$$

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

Cálculo R Factor empírico de pandeo: Ya que los micropilotes se encuentran en arcillas consolidadas  $R \leq 1$  como nos indica la guía

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

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

Tabla 12 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Coeficiente Cr

TIPO DE COACCIÓN LATERAL	C <sub>R</sub>
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 <sup>21</sup> media ( $0,35 < I_p < 0,65$ ) que cumplan alguno de los siguientes requisitos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Encontrarse permanentemente por encima del nivel freático</li> <li>- Presentar un coeficiente de uniformidad mayor o igual que dos (<math>D_{60}/D_{10} \geq 2</math>)</li> </ul>	8 - 7
Suelos cohesivos de consistencia media ( $25 \text{ kPa} \leq s_u \text{ (kPa)} \leq 50$ )	
Libre (sin terreno o rodeado de terreno <i>inestable</i> <sup>22</sup> )	H/D <sub>R</sub>

$$N_{c,Ed} = 4306,5 \text{ kN Sobrecarga para este estribo.}$$

$$N_{c,Rd} = (0,85 \times 52.551,22 \times 25/1,5 + 541,7 \times 275/1,1) \times \frac{0,746}{1,20 \times 1}$$

$$F_e = 1$$

Tabla 13 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Coeficiente Fe

TIPO DE TERRENO Y DE PERFORACIÓN	F <sub>e</sub>
Terreno con nivel freático por encima de la punta del micropilote y perforación sin revestir, sin empleo de lodos	1,50
Terreno con nivel freático permanentemente bajo la punta del micropilote y perforación sin revestir, sin empleo de lodos	1,30
Cualquier tipo de terreno perforado con lodos	1,15
Cualquier tipo de terreno perforado al amparo de revestimiento recuperable	1,05
Micropilote con tubería de revestimiento dejada «in situ» de forma permanente (camisa perdida)	1,00

$$N_{c,Rd} = 547.004,88 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 547 \text{ kN}$$

Resistencia de cada pilote con las características propuestas, para conseguir una resistencia a compresión válida, aumentamos el número de micropilotes, solución 8 micropilotes  $N_{c,Rd} = 4376 \text{ KN}$

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed} ; 4.376 \geq 4.306,5 \rightarrow \text{Cumple}$$



## Resistencia estructural a flexión y corte

En este caso no existe ya que en el estribo 1 y dos no tienen momentos que actúen sobre ellos.

### Cálculo de asientos de los micropilotes

#### Micropilotes en terreno cohesivo

Se puede emplear la siguiente expresión

$$S_N = \frac{0,6N_{c,Ek}}{Lq_c}$$

$S_N$ ; Asiento del micropilote sometido al esfuerzo  $N_{c,Ek}$

$N_{c,Ek}$ ; Esfuerzo axial característico, acción sin mayorar

$L$ ; Longitud del micropilote

$q_c$ ; Resistencia unitaria del terreno a la penetración estática.

Para la resistencia del terreno según la penetración estática nos basamos en los apuntes del profesor Juan Pérez Valcárcel de la asignatura de inspección y recalce de las cimentaciones, de la E.T.S.A. de la Coruña.

En la que obtenemos  $q_c$  a partir de la Correlación de Schmertmann (1978)

Tabla 14 Penetrómetro estático. Correlación de Schmertmann 1978. según tipos de suelos

Tipo de suelo	$q_c$ (MPa)	$\alpha$
CL	< 0,7	3 - 8
	0,7 - 2	2 - 5
	> 2	1 - 2,5
ML	< 2	3 - 6
	> 2	1 - 2
OH ; MH	< 2	2 - 6
	> 2	1 - 2
Turba	< 0,7	0,5 - 4
SW	< 5	2
	> 5	1,5

Para el estribo uno que tenemos un suelo de arcillas duras y lutitas, para comprobar mejor los valores deberíamos realizar el ensaño, pero realizamos una correlación con la anterior. En la tabla corresponde con un tipo de suelo CL, es decir tiene un  $q_c = 1,6 \text{ Mpa} \rightarrow 1600 \text{ KN} \cdot \text{m}^2$

La fuerza vertical sin mayorar para el estribo uno.  $N_{c,Ek} = - 2871 \text{ KN}$ . Esta carga la tenemos que dividir entre 8 micropilotes. En cuanto a la longitud del micropilote debemos suponerlo para limitar el asiento, a posterior hay que tener en cuenta el efecto grupo. Sabemos que como mínimo la longitud es de 3,4 m ya que es la longitud del bulbo, la longitud comercial del acero elegido es de 12 m.



$$s_N = \frac{0,6 \cdot 358,88}{12 \cdot 1600} = 0,00897m \rightarrow 8,9 \text{ mm}$$

Según los apuntes de técnicas de refuerzo y recimentacion. Sistemas no tradicionales obtenemos la tabla de límites de asiento de acuerdo con la tipología constructiva. Para este caso el asiento admisible es de 50 mm por el tipo de suelo y de estructura.

ESTRUCTURA	SUELO	ASIENTO
Obras monumentales de estructura muy rígida (piedra)	Arenas	12 mm
	Arcillas y limos	25 mm
Estructuras hiperestáticas de hormigón y de acero con cerramientos rígidos	Arenas	30 mm
	Arcillas y limos	50 mm
Estructuras isostáticas de hormigón y de acero y cerramientos flexibles Muros de obra de fábrica	Arenas	50 mm
	Arcillas y limos	75 mm

Fig. 39 Límites de asiento de acuerdo con la tipología constructiva y con el tipo de suelo

## Grupos de micropilotes

### Comportamiento bajo cargas verticales

$$c_e = \frac{R_{cg,d}}{nR_{c,d}}$$

$c_e$ ; Coeficiente de eficacia del grupo de micropilotes bajo carga vertical

$R_{cg,d}$ ; Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento

$n$ ; Numero de micropilotes que forman el grupo

$R_{c,d}$ ; Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento para el micropilote aislado

En nuestro caso ya que tenemos suficiente superficie el espaciado entre ejes de los micropilotes será el óptimo, es decir  $2 \leq S / D \leq 4$ . Lo que aumenta la resistencia del micropilote aislado.

$$650 \leq 713,3 \leq 1040$$

### Unión a las cimentaciones o encepados

Las características de las resistencias de los materiales minoradas deben ser superiores a los esfuerzos de cálculo obtenido a partir de acciones mayoradas.

$$R_{u,d} \geq E_d$$

$R_{u,d}$ ; Resistencia de cálculo de la conexión micropilotes- estructura.

$E_d$ ; Esfuerzo de cálculo, obtenido a partir de acciones mayoradas.



Se distinguen tres casos

- Conexión a una cimentación de nueva construcción
- Conexión directa a una cimentación preexistente
- Conexión a un nuevo encepado que se conecta a su vez a la cimentación preexistente

En nuestro caso vamos a realizar la tercera opción

En este caso normalmente hay algún problema entre la carga que puede soportar el micropilote y la carga que soporta la conexión entre el tubo del micropilote y los materiales del encepado por adherencia. Para solucionar ese problema se suelda armadura corrugada en los bordes de la armadura tabular, aunque también hay láminas de aceros y varios métodos que aumenta la adherencia.

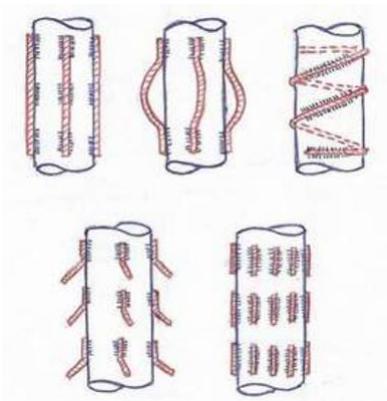


Fig. 40 Sánchez Garrido ASG Arquitectura. Tipos de conectores de enlace

Para solucionar este inconveniente optamos por soldar 3 barras corrugadas distribuidas uniformemente en la superficie de la armadura tubular.

Las barras corrugadas 3Ø16, tiene una longitud estimada de 45 cm ya que el encepado que realizaremos es de 50 cm.

Según los cálculos de Antonio J. Sánchez Garrido tenemos la siguiente tabla.

Diámetro barra corrugada Ø	16	mm	
$\tau_{bw}$ (art. 32,2 EHE)	99,6	Kg/cm <sup>2</sup>	
$\tau_{bd}$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) adh. 1 barra corrugada	66,78	Kg/cm <sup>2</sup> /ml	
Longitud efectiva barra	37,50	cm	
Adherencia final por barra	125,87	KN	
Nº de barras	3	Ø	
Adherencia total barras	377,62	KN	37,76 Tn

Fig. 41 Sánchez A. Resultados cálculos adherencia 3 barras corrugadas

Mientras que para la adherencia de la armadura lisa nos apoyamos en EHE

La adherencia de las barras lisas con el hormigón viene dada por la siguiente formula;



$$\tau_{bd} = \frac{1,2}{1,5} \sqrt{f_{ck}} \rightarrow \frac{1,2}{1,5} \sqrt{250} = 12,6 \frac{kg}{cm^2}$$

Los encepados los realizamos con HA-25, recordemos que el canto de este es de 50 cm, pero la longitud del micropilote es de 45 cm, dicho micropilote tiene una armadura de diámetro 100 mm

$$N = 45 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 12,6 = 17,81 Tn \rightarrow 178,1 KN$$

En el estribo 1 los micropilotes soportan cada uno como máximo  $N_{c,Rd} = 547 kN$ , aunque en realidad soportan un esfuerzo mucho menor, en este caso  $E_d = 538,31$  (4306,5 entre 8 micropilotes), elegimos la carga máxima que soportan para estar del lado de la seguridad.

La adherencia con las barras corrugadas + la armadura lisa es  $R_{u,d} = 555,72 kN$

$$555,72 \geq 547$$

### Encepada para la cimentación

En este caso el encepado, acapara toda la longitud lateral del estribo, el cual a posterior uniremos a la cimentación existente. Hay un encepado a la derecha de del estribo y otro a la izquierda. Cada encepado lateral tendrá 4 micropilotes.

Las premisas que hay que tener en cuenta;

- El canto del encepado no puede ser menor a 40mm ni al diámetro de los micropilotes.
- La distancia desde el perímetro a la cara del encepado no puede ser inferior a 25 cm.

Dimensiones del encepado;

La longitud y el ancho del encepado es el siguen;

- Longitud es de 13,35 m = 13350 mm que es la longitud de la zapata inferior de la cimentación escalonada del estribo 1. Esta distancia continúe 4 micropilotes. Debido a la armadura lo cambiamos a 3000 mm
- Ancho; en este caso dejamos 0,3 m = 300 mm de distancia entre la cara del encepado y el borde del micropilote. El diámetro del micropilote es de 260 mm  
La medida del ancho es de  $2 \cdot 300 + 260 = 860 mm$
- Canto; Ya que el canto no debe ser menor al diámetro del micropilote, es de 50 cm como ya hemos especificado en el apartado anterior.

A continuación, debemos calcular las dos armaduras principales y secundarias, en sentido longitudinal y transversal.

Los dos encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos en el encepado derecho.

### Armadura principal longitudinal del encepado derecho



$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual = 538,31kN

$d$  = canto encepado útil;  $d = 500 - 100 = 400 \text{ m}$

$l_1$  = separación ejes

$$= \frac{\text{Longitud del encepado} - 2 * \text{Dist cara encepado a Micropilote} - \phi \text{ micropilote}}{N \text{ Micropilotes} - 1}$$

$$\rightarrow (3000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 3 = 713,33 \text{ mm}$$

La distancia entre ejes condicionado por la armadura nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$a_1$  = ancho pilar no existe pilar = Ancho del encepado = 860 mm

$$T = \frac{538,31 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 713,33 - 0,25 \cdot 860) = -224295,8333 \text{ N}$$

$$\rightarrow -224,295 \text{ KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{224295,8333}{\frac{500}{1,15}} = 515,8804 \text{ mm}^2$$

$$N.^{\circ} \text{ de barras} = \frac{A_s}{A}$$

$$\text{Separación} = \frac{\phi_p}{N}$$

$$\text{Separación libre} = \text{Separación} - \phi$$

Tabla 15 Armadura principal longitudinal Estribo 1

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	5	52	40
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal, ya que la separación no es mayor de 200 ni inferior a 100 para que pueda pasar la armadura del micropilote entre ellas y poder soldar las barras corrugadas.

#### Armadura secundaria Longitudinal del encepado derecho

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$



$$\text{Distancia armadura secundaria;} = \text{Anchura} - \text{Separacion libre} - 2 \cdot \phi P - 2 \cdot \text{recubrimiento lateral} - 2 \cdot \phi \text{Borde} \rightarrow 860 - 110 - 2 \cdot 20 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 16 = 538 \rightarrow \frac{538}{2} = 269 \text{ mm}$$

$$\text{Separación} = \frac{\text{Distancia armadura secundaria}}{N+1}$$

Tabla 16 Armadura Secundaria Longitudinal Estribo 1

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	2	89,67	77,67
16	201	1	134,5	118,5
20	314	1	134,5	114,5

Para la armadura secundaria elijo 1  $\phi$  16, una barra va a una distancia de 70 mm del borde del encepado y la barra de la armadura secundaria va en el punto medio entre la armadura principal y la barra del borde.

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.1

#### Armadura principal longitudinal del encepado Izquierdo

Es idéntico al derecho. Elijo 2  $\phi$  20

#### Armadura secundaria Longitudinal del encepado Izquierdo

Es idéntico al derecho. Elijo 1  $\phi$  16

#### Conexiones a un nuevo encepado conectado a su vez a una cimentación preexistente

En este caso debemos seguir la EHE, artículo 47

Trataremos la superficie de la cimentación existente hasta que el árido grueso quede visto.

Las dos cimentaciones van a quedar unidas con pasadores metálicos. “La carga de apriete de los pasadores vendrá condicionada por la calidad estructural del cemento antiguo” Guía para proyectos con micropilotes en obras de carretera.

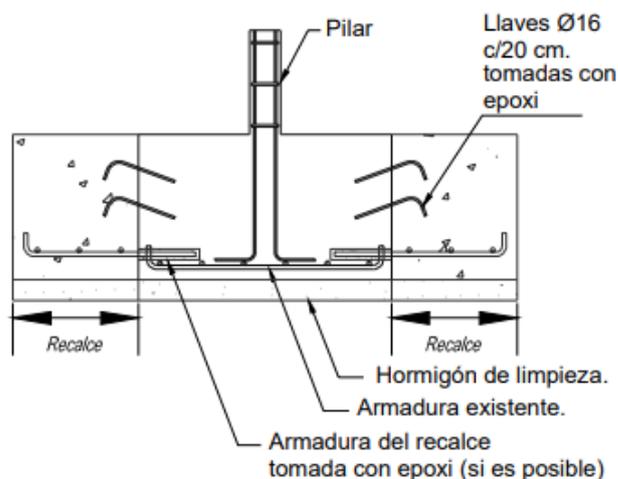


Fig. 42 Pérez J. Técnicas básicas de recalces. Unión armadura cimentación existente a nuevo encepado

Adjuntamos este apartado antes de calcular la armadura transversal ya que va condicionada con la unión la zapata preexistente.

### Aumento del canto ficticio del encepado

En este caso vamos a suponer dos micropilotes, para poder calcular la armadura que va en dirección transversal, sabemos que el eje del pilote preexistente se encuentra a una distancia de 2,25 metros y el diámetro de este es de 1,5 m. Para no afectar a la armadura del pilote existente tenemos como máximo 1,5 m para poder extender la armadura transversal del nuevo encepado.

Según la norma para que el armadura interactúe tiene que apoyarse en dos varas de la armadura. Ya que no sabemos la distribución de la armadura de la zapata existente vamos a suponer los máximos que están estipulados por normativa. Así tenemos una distancia entre las dos barras de 200mm más 20 mm correspondiente al radio de dos barras de 20mm, también debemos tener como mínimo 70mm. Por lo que la distancia que aumentamos de forma transversal debe de ser  $1500 <$  y  $> 290$ . Elijo una distancia de 500mm.

La anchura en total es  $860 + 500 = 1360$  mm

### Armadura principal transversal del encepado derecho

Para estar del lado de la seguridad y sabiendo que la armadura esta menos solicitada en dirección transversal vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\varnothing 20$  para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas, el eje del micropilote se encuentra en el medio, en todos los pilotes se tiene esta armadura de forma transversal. Estas barras tienen una longitud de  $1360 - 70$  (distancia mínima al terreno para armadura) 1290mm.

### Armadura secundaria transversal del encepado derecho

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$



$$\text{Separación} = \frac{\text{Distancia armadura secundaria}}{N+1}$$

$$\text{Separación libre} = \text{Separación} - \emptyset$$

En este caso también elegimos el mismo tipo de armadura que en la dirección longitudinal para estar del lado de la seguridad, la longitud de la armadura será igual a la de la armadura principal, pero en este caso de  $\emptyset 16$ .

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- El tramo de micropilote a cara del encepado;  

$$\text{Distancia } \emptyset 16 - 20 = \text{Anchura} - \text{Separación libre} - 2 \cdot \emptyset - 2 \cdot \text{recubrimiento lateral} - 2 \cdot \emptyset \text{Borde} \rightarrow 860 - 179 - 2 \cdot 20 - 2 \cdot 70 - 2 \cdot 16 = 538 \rightarrow \frac{538}{2} = 269 \text{ mm}$$

Tabla 17 Armadura secundaria transversal estribo 1

Armadura borde	Distancia $\emptyset 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Tenemos una distancia libre de 269 mm, entre la armadura principal y la barra de  $\emptyset 16$  que dista 70 mm de la cara del encepado. En este tramo colocamos una barra de  $\emptyset 16$  en medio, por lo distancia libre entre barras es 118,5 mm

- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de  

$$\frac{\text{S.libre Armadura principal}}{2} - 2 \cdot \emptyset \text{Principal} = 725 - 2 \cdot \frac{110}{2} - 20 \cdot 2 = 563,33 \text{ mm}$$

Tabla 18 Armadura secundaria transversal estribo 1

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	140,833	124,833

Elegimos 3  $\emptyset 16$  para todos los tramos que existen entre micropilotes.

#### Armadura principal transversal del encepado Izquierdo

Es idéntico al derecho. Elijo 2  $\emptyset 20$

#### Armadura secundaria transversal del encepado Izquierdo

Es idéntico al derecho

Elegimos 3  $\emptyset 16$  para todos los tramos que existen entre micropilotes.



### 3.9.2 Micropilotes Estribo 2

Suponemos diámetro ( $\emptyset$ ) de 260 mm. Para tener materiales iguales en toda la recimentacion. Estos micropilotes se instalarán alrededor de los estribos.

Comprobación frente al hundimiento

Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento

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

$$N_{c,Ed} = - 3.288,6 \text{ kN} \cdot 1,5 = 4932,9 \text{ kN}$$

En roca como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- Meteorización < III según ISRM
- RQD > 60%
- $R_{c,d} = R_{e,d}$

No cumple las condiciones;

- Meteorización > III según ISRM
- RQD < 60%

Debido a esto lo consideramos como suelo cohesivo ya que se tratan de areniscas y limolitas.

En este caso los pilotes actúan mediante fuste.

En terrenos cohesivos como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- $q_u > 100 \text{ Kpa}$

Resistencia de cálculo por fuste

$$R_{c,d} = R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d}$$

Correlaciones empíricas

Se obtiene mediante  $r_{f,c,d} = \frac{r_{f,lim}}{F_r}$

Según el tipo de suelo que tenemos en el estribo 2 utilizamos Inyección de tipo IR (Suelos cohesivos duros)

La resistencia a compresión simple de esta zona de terreno según valores orientativos se aprecia en la siguiente tabla;

Tenemos un suelo medio  $q_u = 400 \text{ kN/m}^2$ . Según la Tabla 19. Valores Orientativos de  $N_{spt}$ , resistencia compresión simple y módulos de elasticidad de suelo

Según la gráfica de rozamientos unitarios;

$$r_{f,lim} = 0,29 \text{ MPa} \rightarrow 290 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow 0,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



$$r_{fc,d} = \frac{0,29}{1,65} = 0,175 \text{ N/mm}^2$$

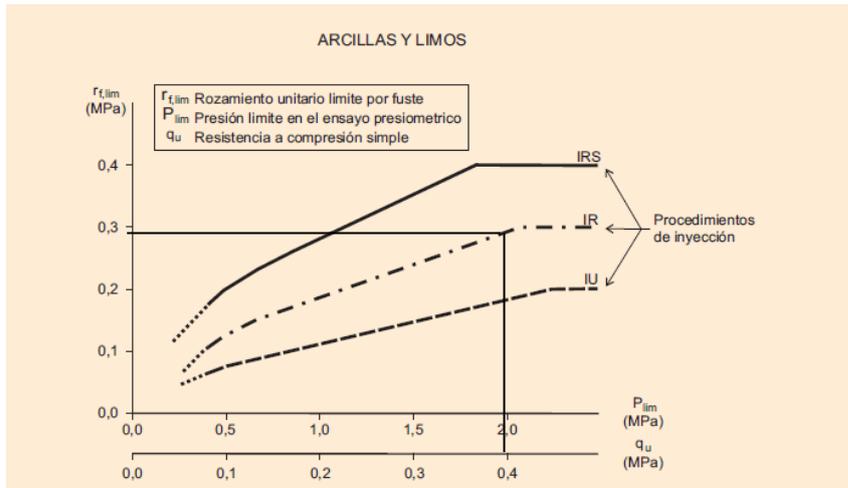


Fig. 43 guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Rozamiento unitario Limite por fuste

$$R_{f,c} = A_L \cdot r_{fc,d} \rightarrow A_L = \frac{R_{f,c}}{r_{fc,d}} \rightarrow A_L = \frac{4.932,9 \cdot 10^3}{0,175} = 28,188 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

El área de un cilindro es;

$$A_L = 2\pi r_{nom} h \rightarrow h = \frac{A_L}{2\pi r_{nom}} = \frac{28,188 \cdot 10^6}{2\pi 130} = 34509,689 \text{ mm}$$

Necesitamos 8 micropilotes para que soporten la sobrecarga, dividimos este valor entre 8.

Longitud mínima para el bulbo en estribo 2 es de 4313,71mm -> 4,31 m

Fallo estructural de los micropilotes

### Resistencia estructural de los micropilotes

En este estribo los micropilotes deben soportar una carga mayorada de - 4.932,9 KN

Primero calculamos  $A_s$  y  $A_c$ ;

$A_a$ ; sección de la armadura tabular de acero S 275

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((d_e - 2r_e)^2 - d_1^2) \times F_{u,c}$$

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((100 - 2 \times 1,2)^2 - 94^2) \times 1 = 541,7 \text{ mm}^2$$

$A_c$  = sección neta de lechada o mortero, descontando armadura. HA-25

$$A_c = A_n - A_a = \pi \times r^2 - A_a = \pi \times 130^2 - 541,7 = 52.551,22 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es comprobar la resistencia del pilote a compresión  $N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$ :



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

Cálculo R Factor empírico de pandeo: Ya que los micropilotes se encuentran en areniscas y limolitas R=1 como nos indica la guía

$$R = 1,07 - 0,027 \times C_R = 1$$

$N_{c,Ed} = 4.932,9$  kN Sobrecarga para este estribo.

$$N_{c,Rd} = (0,85 \times 52.551,22 \times 25/1,5 + 541,7 \times 275/1,1) \times \frac{1}{1,20 \times 1}$$

$$F_e = 1$$

$$N_{c,Rd} = 733.250,51 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 733,25 \text{ kN}$$

Solución 7 micropilotes  $N_{c,Rd} = 5.132,75 \text{ KN}$  pero para mantener la uniformidad realizamos 8  $N_{c,Rd} = 5.866 \text{ KN}$

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed} ; 5.866 \geq 4.932,9 \rightarrow \text{Cumple}$$

### Resistencia estructural a flexión y corte

En este caso no existe ya que en el estribo 1 y 2 no tienen momentos que actúen sobre ellos.

### Cálculo de asientos de los micropilotes

#### Micropilotes en terreno cohesivo

Se puede emplear la siguiente expresión

$$s_N = \frac{0,6N_{c,Ek}}{Lq_c}$$

Tipo de suelo	$q_c$ (MPa)	$\alpha$
CL	< 0,7	3 - 8
	0,7 - 2	2 - 5
	> 2	1 - 2,5

Fig. 44 Penetrómetro estático. Correlación de Schmertmann 1978. según tipos de suelos

Para el estribo dos que tenemos un suelo de areniscas y limolitas. En la tabla corresponde con un tipo de suelo CL, es decir tiene un  $q_c = 2,00 \text{ Mpa} \rightarrow 2000 \text{ KN} \cdot \text{m}^2$

La fuerza vertical sin mayorar para el estribo dos.  $N_{c,Ek} = - 3.288,6 \text{ KN}$ . Esta carga se divide entre 8 micropilotes A posterior hay que tener en cuenta el efecto grupo. Sabemos que como mínimo la longitud es de 3,4 m ya que es la longitud del bulbo, la longitud comercial del acero elegido es de 12 m.

$$s_N = \frac{0,6 \cdot 411,075}{12 \cdot 2000} = 0,01027 \text{ m} \rightarrow 10,27 \text{ mm}$$



Para este caso el asiento admisible nos guiamos por la tabla; “Limites de asientos de acuerdo con la tipología” es de 30 mm por el tipo de suelo y de estructura.

Grupos de micropilotes

Comportamiento bajo cargas verticales

$$c_e = \frac{R_{cg,d}}{nR_{c,d}}$$

En nuestro caso ya que tenemos suficiente superficie el espaciado entre ejes de los micropilotes será el óptimo, es decir  $2 \leq S / D \leq 4$ . Lo que aumenta la resistencia del micropilote aislado.

$$650 \leq 713,33 \leq 1040$$

Unión a las cimentaciones o encepados

Las características de las resistencias de los materiales minoradas deben ser superiores a los esfuerzos de cálculo obtenido a partir de acciones mayoradas.

$$R_{u,d} \geq E_d$$

Soldamos 5 barras corrugadas distribuidas uniformemente en la superficie de la armadura tubular.

Las barras corrugadas 5Ø16, tiene una longitud estimada de 45 cm ya que el encepado que realizaremos es de 50 cm.

Según la tabla para 3 barras tenemos una adherencia de 37,762 Tn, para una barra se divide el valor entre 3, el valor para una barra 12,5873 Tn. Para 5 barras tiene un valor de 62,937Tn, con el cambio de unidades tenemos 629,37 KN

Adherencia de la armadura lisa

$$\tau_{bd} = \frac{1,2}{1,5} \sqrt{f_{ck}} \rightarrow \frac{1,2}{1,5} \sqrt{250} = 12,6 \frac{kg}{cm^2}$$

$$N = 45 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 12,6 = 17,81 Tn \rightarrow 178,1 KN$$

En el estribo 2 los micropilotes soportan cada uno como máximo  $N_{c,Rd} = 733,25 kN$ , aunque en realidad soportan un esfuerzo mucho menor, en este caso  $E_d = 616,61 kN$  (4932,9 entre 8 micropilotes), elegimos la carga máxima que soportan para estar del lado de la seguridad.

La adherencia con las barras corrugadas + la armadura lisa es  $R_{u,d} = 807,47 kN$

$$807,47 \geq 733,25$$

Encepada para la cimentación



Cada encepado lateral tendrá 4 micropilotes.

Dimensiones del encepado;

- Debido a la armadura lo cambiamos a 3000 mm
- Ancho;  $2 \cdot 300 + 260 = 860 \text{ mm}$
- Canto; de 50 cm

Los dos encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos en el encepado derecho.

### Armadura principal longitudinal del encepado derecho

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual =  $616,61 \text{ kN}$

$l_1$  = separación ejes =  $(3000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 3 = 713,33 \text{ mm}$

La distancia entre ejes nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$a_1 = 860 \text{ mm}$

$$T = \frac{616,61 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 713,33 - 0,25 \cdot 860) = -256920,8333 \text{ N}$$

$\rightarrow -256,920 \text{ KN}$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{256920,8333}{\frac{500}{1,15}} = 590,9179167 \text{ mm}^2$$

Tabla 20 Armadura principal longitudinal encepado derecho Estribo 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	6	43,33	31,33
16	201	4	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20

### Armadura secundaria Longitudinal del encepado derecho

$$A_p = (n^\circ \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Distancia armadura secundaria;

$$860 - 179 - 2 \cdot 20 - 2 \cdot 70 = 538 \rightarrow \frac{538}{2} = 269 \text{ mm}$$

Tabla 21 Armadura secundaria longitudinal del encepado derecho Estribo 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	1	134,5	118,5



Para la armadura secundaria elijo 1  $\emptyset$  16, entre la barra de 70 mm del borde del encepado y la armadura principal.

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.2.

#### Armadura principal longitudinal del encepado Izquierdo

Es idéntico al derecho. Elijo 2  $\emptyset$  20

#### Armadura secundaria Longitudinal del encepado Izquierdo

Es idéntico al derecho. Elijo 1  $\emptyset$  16

#### Aumento del canto ficticio del encepado

La anchura en total es  $860 + 500 = 1360$  mm

#### Armadura principal transversal del encepado derecho

Para estar del lado de la seguridad vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\emptyset$  20 para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas

#### Armadura secundaria transversal del encepado derecho

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- 1- El tramo de micropilote a cara del encepado;

$$\text{Distancia } \emptyset 16 - 20 = 269 \text{ mm}$$

Tabla 22 Armadura transversal del encepado derecho

Armadura borde	Distancia $\emptyset 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Tenemos una distancia libre de 269 mm, entre la armadura principal y la barra de  $\emptyset$  16 que dista 70 mm de la cara del encepado.

Tenemos 1  $\emptyset$  16

- 2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de

$$\text{Distancia } \emptyset 20 - 20 = 563,33 \text{ mm}$$

Tabla 23 Armadura transversal del encepado derecho

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	140,83	124,83



Elegimos 3 Ø 16 para todos los tramos que existen entre micropilotes.

### 3.9.3 Micropilotes Pila 1

Micropilote (Ø) de 260 mm.

Comprobación frente al hundimiento

#### Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento

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

$$N_{c,Ed} = - 25821,61 \cdot 1,35 - 6916,5 \text{ kN} \cdot 1,5 = - 45.233,92 \text{ kN}$$

En este caso los pilotes actúan mediante fuste.

En terrenos cohesivos como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- $q_u > 100 \text{ Kpa}$

#### Resistencia de cálculo por fuste

Vamos a calcularlo con correlaciones empíricas

$$R_{c,d} = R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d}$$

#### Correlaciones empíricas

Se obtiene mediante  $r_{f,c,d} = \frac{r_{f,lim}}{F_r}$

Según el tipo de suelo que tenemos en la Pila 1 utilizamos Inyección de tipo IRS (Suelos cohesivos)

La resistencia a compresión simple de esta zona de terreno según valores orientativos se aprecia en la siguiente tabla;

Tenemos un suelo medio  $q_u = 250 \text{ kN/m}^2$  según Tabla 9 Valores Orientativos de  $N_{spt}$ , resistencia compresión simple y módulos de elasticidad de suelo

Según la gráfica de rozamientos unitarios;

$$r_{f,lim} = 0,32 \text{ MPa} \rightarrow 320 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow 0,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$r_{f,c,d} = \frac{0,32}{1,65} = 0,194 \text{ N/mm}^2$$

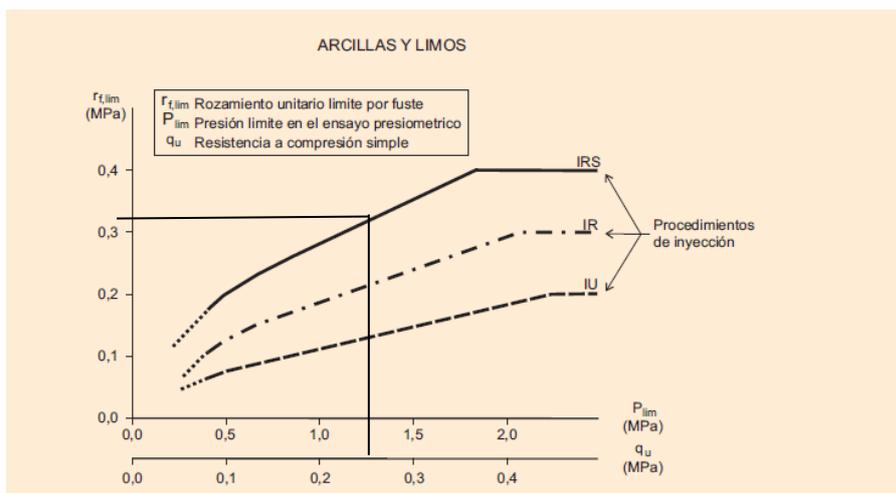


Fig. 45 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Rozamiento unitario Limite por fuste

$$R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d} \rightarrow A_L = \frac{R_{f,c}}{r_{f,c,d}} \rightarrow A_L = \frac{45.233,92 \cdot 10^3}{0,194} = 233,165 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

El área de un cilindro es;

$$A_L = 2\pi r_{nom} h \rightarrow h = \frac{A_L}{2\pi r_{nom}} = \frac{233,165 \cdot 10^6}{2\pi 130} = 285456,087 \text{ mm}$$

Pero en este caso como veremos en el siguiente apartado, necesitamos 84 micropilotes para que soporten la sobrecarga, dividimos este valor entre 84.

Longitud mínima para el bulbo de los micropilotes en la pila 1 para ser valido frente al hundimiento es de 3398,29mm -> 3,4 m

### Fallo estructural de los micropilotes

#### Resistencia estructural de los micropilotes

En este estribo los micropilotes deben soportar una carga mayorada de - 45.233,92 KN

Primero calculamos  $A_s$  y  $A_c$ ;

$A_a$ ; sección de la armadura tabular de acero S 275

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((d_e - 2r_e)^2 - d_1^2) \times F_{u,c}$$

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((100 - 2 \times 1,2)^2 - 94^2) \times 1 = 541,7 \text{ mm}^2$$

$A_c$  = sección neta de lechada o mortero, descontando armadura. HA-25

$$A_c = A_n - A_a = \pi \times r^2 - A_a = \pi \times 130^2 - 541,7 = 52.551,22 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es comprobar la resistencia del pilote a compresión  $N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$ :

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



Cálculo R Factor empírico de pandeo: Ya que los micropilotes se encuentran en arcillas consolidadas  $R \leq 1$  como nos indica la guía

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

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

$N_{c,Ed} = 45.233,92$  kN de carga para esta pila

$$N_{c,Rd} = (0,85 \times 52.551,22 \times 25/1,5 + 541,7 \times 275/1,1) \times \frac{0,746}{1,20 \times 1}$$

$$F_e = 1$$

$$N_{c,Rd} = 547.004,88 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 547 \text{ kN}$$

Solución 84 micropilotes  $N_{c,Rd} = 45.401 \text{ KN}$  pero para mantener la uniformidad realizamos 84  $N_{c,Rd} = 45.948 \text{ KN}$

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed} ; 45.948 \geq 45.233,92 \rightarrow \text{Cumple}$$

### Resistencia estructural a flexión y corte

Para estimar el momento flector máximo en el micropilote, originados por momentos en cabeza. se hace analogía a una ménsula, sometida a esfuerzos exteriores y en la que la acción del suelo se transforma en un empotramiento ficticio situado a una profundidad  $L_{ef}$

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

$L_{ef}$ ; Profundidad de empotramiento ficticio

$L_e$ ; Longitud elástica del pilote

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

$E_a$ ; Modulo de elasticidad del acero

$I_a$ ; Momento de inercia de la seccion de acero

$E_L$ ; Modulo de elasticidad del terreno a la profundidad  $L$ ,

siendo  $L$  la longitud del micropilote

$$E_a; 2100000 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 205.939,65 \text{ N/mm}^2$$

$$I_a = \frac{\pi(R_e^4 - R_i^4)}{4} = \frac{\pi(100^4 - 94^4)}{4} = 17.219.936,41 \text{ mm}^4$$

$$E_L; \text{Suelo medio}; 85 \text{ MN/m}^2 \rightarrow 85 \text{ N/mm}^2$$

$$L_e = \left( \frac{3 \cdot 205.939,65 \cdot 17.219.936,41}{85} \right)^{\frac{1}{4}} = 594,796 \text{ mm} \rightarrow 0,59 \text{ m}$$

$$L_{ef} = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 0,59 = 1,2 \text{ m}$$



Debido a la falta de datos en cuanto a valores y propiedades del suelo vamos a suponer que  $E_o/E_L = 0$ . Así mayoramos por seguridad y el aumento en la profundidad de empotramiento no varía mucho, ya que si la relación es de 0,5 la profundidad es de 0,885 m y si la relación es de 1, la profundidad es de 0,708 m

Tabla 24 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Coeficiente  $f$

$E_o/E_L$	$f$
0	1,70
0,5	1,25
1	1,00

El momento máximo en la zona del empotramiento ficticio puede reducirse con el coeficiente  $m_e$ , cuya relación depende de la longitud libre y longitud elástica.

La longitud libre es de 6 m y en este caso la longitud elástica es de 0,59 m.  $m_e = 10,17 \rightarrow 0,85$

Tabla 25 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Coeficiente  $m_e$

$L_f/L_e$	$m_e$
0	0,45
1	0,60
2	0,70
$\geq 7$	0,85

El efecto grupo tiene como consecuencia un aumento del valor de la profundidad del empotramiento ficticio  $L_{ef}$  para espaciamientos de 2 a 4 diámetros se debe efectuar el coeficiente  $\alpha_g$

$$\alpha_g = 1,5$$

Tabla 26 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Coeficiente  $\alpha_g$

DIMENSIONES DEL GRUPO	$\alpha_g$
2 x 1	1,10
2 x 2	1,25
4 x 4	1,40
> 4 x 4	1,50

### Resistencia de estructura a flexión

El valor de cálculo del momento flector  $M_s$ , en cada sección deberá cumplir la condición

$$M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$$

$M_{Ed}$ ; Momento flector de cálculo, mayorado.



$M_{c,Rd}$ ; Resistencia de calculo de la sección a flexión

$$\text{si } \frac{d_e - 2r_e}{t - r_e} \leq \frac{16450}{f_y} \quad , \quad M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \cdot F_{U,f}$$

$$\text{si } \frac{16450}{f_y} < \frac{d_e - 2r_e}{t - r_e} \leq \frac{21150}{f_y} \quad , \quad M_{c,Rd} = W_{el} \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \cdot F_{U,f}$$

$d_e$ ; Diámetro exterior de la armadura tubular: 100

$r_e$ ; Reducción de espesor de la armadura por efecto de la corrosión: 1,2

$t$ ; Espesor de la armadura tubular; 6

$f_y$ ; Limite elástico del acero en Mpa: 275

$\gamma_a$ ; Coeficiente parcial de seguridad del acero = 1,10

$W_{pl}$ ; Modulo plástico de la sección

$$W_{Pl} = \frac{(d_e - r_e)^3 - d_i^3}{6}$$

$W_{el}$ ; Modulo elástico de la sección

$$W_{el} = \frac{\pi[(d_e - 2r_e)^4 - d_i^4]}{32(d_e - 2r_e)}$$

$d_i$ ; Diámetro interior nominal: 94

$F_{U,f}$ ; Coeficiente de minoración del módulo resistente de la armadura tubular en función de la unión. Sin ensayos = 0,5.

Vamos a ver el primer supuesto;

$$\frac{100 - 2 \cdot 1,2}{6 - 1,2} \leq \frac{16450}{275}$$

20,33 < 59,81 por lo que utilizamos la primera expresión.

$$W_{Pl} = \frac{(100 - 1,2)^3 - 94^3}{6} = 22307,712 \text{ mm}^3$$

$M_{c,Rd} = 22307,712 \cdot \frac{275}{1,1} \cdot 0,5 = 2788464 \text{ N} \cdot \text{mm} \rightarrow 2788,464 \text{ kN} \cdot \text{m}$  Resistencia por micropilote.

Los momentos mayorados a cumplir con los siguientes

$$M_{Ed} = M_x = 35981 \cdot 1,35 = 48574,35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 18 el primer factor

$$50192,35 \geq 48574,35$$

$$M_{Ed} = M_y = 23254,32 \cdot 1,35 = 31393,332 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 12 el primer factor

$$33461,45 \geq 31393,33$$

Ya que en este caso tenemos un grupo de 84 cumplen.

Cálculo de asientos de los micropilotes

### Micropilotes en terreno cohesivo

Se puede emplear la siguiente expresión

$$s_N = \frac{0,6N_{c,Ek}}{Lq_c}$$

Obtenemos  $q_c$  a partir de la Correlación de Schmertmann (1978) según la Tabla 15 Penetrómetro estático. Correlación de Schmertmann 1978. según tipos de suelos

Para el estribo uno que tenemos un suelo de arcillas duras y lutitas. En la tabla corresponde con un tipo de suelo CL, es decir tiene un  $q_c = 1,60Mpa \rightarrow 1600 KN \cdot m^2$

La fuerza vertical sin mayorar para el estribo dos.  $N_{c,Ek} = -25821,61 - 6916,5 = -32738,11 KN$

Este valor sin mayorar debemos dividirlo en 84 porque son los micropilotes que vamos a realizar (389,74kN). A posterior hay que tener en cuenta el efecto grupo. Sabemos que como mínimo la longitud es de 3,4 m ya que es la longitud del bulbo, la longitud comercial del acero elegido es de 12 m.

$$s_N = \frac{0,6 \cdot 389,74}{12 \cdot 1600} = 0,0122m \rightarrow 12,2 mm$$

Según la tabla; "Límites de asiento de acuerdo con la tipología constructiva y con el tipo de suelo". Asiento admisible es de 50 mm.

Grupos de micropilotes

### Comportamiento bajo cargas verticales

$$c_e = \frac{R_{cg,d}}{nR_{c,d}}$$

El mejor caso sería el espaciado entre ejes óptimo de los micropilotes, es decir  $2 \leq S / D \leq 4$ . Lo que aumenta la resistencia del micropilote aislado.

$$650 \leq 757 \leq 1040$$

En Pila 1 los realizamos a lo largo de la zapata de base cuadrada de lado 24000mm, instalaremos 21 pilotes en cada lado de la zapata

Unión a las cimentaciones o encepados

$$R_{u,d} \geq E_d$$



Problema entre la carga que puede soportar el micropilote y la carga que soporta las conexión entre el tubo del micropilote y los materiales del encepado por adherencia.

Para solucionar este inconveniente optamos por soldar 3 barras corrugadas distribuidas uniformemente en la superficie de la armadura tubular.

Las barras corrugadas 3Ø16, tiene una longitud estimada de 45 cm ya que el encepado que realizaremos es de 50 cm.

La adherencia es = 37,76 Tn.

Mientras que para la adherencia de la armadura lisa nos apoyamos en EHE

La adherencia de las barras lisas con el hormigón viene dada por la siguiente formula;

$$\tau_{bd} = \frac{1,2}{1,5} \sqrt{f_{ck}} \rightarrow \frac{1,2}{1,5} \sqrt{250} = 12,6 \frac{kg}{cm^2}$$

$$N = 45 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 12,6 = 17,81 Tn \rightarrow 178,1 KN$$

En la Pila 1 los micropilotes soportan cada uno como máximo  $N_{c,Rd} = 547 kN$ , aunque en realidad soportan un esfuerzo mucho menor, en este caso  $E_d = 538,5 kN$  (45.233,92 entre 84 micropilotes), elegimos la carga máxima que soportan para estar del lado de la seguridad.

La adherencia con las barras corrugadas + la armadura lisa es  $R_{u,d} = 555,72 kN$

$$555,72 \geq 547$$

### Encepada para la cimentación

En este caso el encepado, acapara todas las caras de la zapata el cual a posterior uniremos a la cimentación existente. Cada encepado lateral tendrá 21 micropilotes.

Dimensiones del encepado;

- Debido a la armadura el encepado tiene 16000 mm Esta distancia continúe 21 micropilotes de un total de 84.
- Ancho; 860 mm
- Canto; 50 cm.

A continuación, debemos calcular las dos armaduras principales y secundarias, en sentido longitudinal y transversal.

Los cuatro encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos en el encepado derecho.

### Armadura principal longitudinal del encepado derecho

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$



$N_d =$  Micropilote más cargado, todos actúan igual = 538,5 kN

$l_1 =$  separación ejes =  $(16000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 20 = 757 \text{ mm}$

La distancia entre ejes nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$a_1 = 860 \text{ mm}$

$$T = \frac{538,5 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 757 - 0,25 \cdot 860) = -258955,1471 \text{ N}$$

$$\rightarrow -258,955 \text{ KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{258955,1471}{\frac{500}{1,15}} = 595,597 \text{ mm}^2$$

Tabla 27 Armadura principal longitudinal del encepado derecho Pila 1

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	6	43,3	31,3
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal.

Armadura secundaria Longitudinal del encepado derecho

$$A_p = (n^\circ \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Distancia armadura secundaria; = 269 mm

Tabla 28 Armadura secundaria longitudinal del encepado derecho Pila 1

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	1	134,5	118,5

Para la armadura secundaria elijo 1  $\phi$  16, una barra va a una distancia de 70 mm del borde del encepado y la barra de la armadura secundaria va en el punto medio entre la armadura principal y la barra del borde.

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.3.

Armadura principal longitudinal del resto de la zapata

Es idéntico al derecho. Elijo 2  $\phi$  20

Armadura secundaria Longitudinal del resto de la zapata

Es idéntico al derecho. Elijo 1  $\phi$  16

Aumento del canto ficticio del encepado



La anchura en total es  $860 + 500 = 1360 \text{ mm}$

### Armadura principal transversal del encepado derecho

Para estar del lado de la seguridad vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo  $2 \text{ } \varnothing 20$

### Armadura secundaria transversal del encepado derecho

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Elegimos el mismo tipo de armadura que en la dirección longitudinal

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- 1- El tramo de micropilote a cara del encepado;  
 $\text{Distancia } \varnothing 16 - 20 = 269 \text{ mm}$

Tabla 29 Armadura secundaria transversal del encepado derecho Pila 1

Armadura borde	Distancia $\varnothing 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Entre la armadura principal y la barra de  $\varnothing 16$  que dista 70 mm de la cara del encepado  $1 \text{ } \varnothing 16$ .

- 2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de  
 $\text{Distancia } \varnothing 20 - 20 = 607 \text{ mm}$

Tabla 30 Armadura secundaria transversal del encepado Pila 1

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	151,75	135,75

Elegimos  $3 \text{ } \varnothing 16$  para todos los tramos que existen entre micropilotes.

### Armadura principal transversal del resto de la zapata

Es idéntico al derecho. Elijo  $2 \text{ } \varnothing 20$

### Armadura secundaria transversal del resto de la zapata

Es idéntico al derecho

Elegimos  $3 \text{ } \varnothing 16$  para todos los tramos que existen entre micropilotes.

#### 3.9.4 Micropilotes Pila 2

Micropilote ( $\varnothing$ ) de 260 mm.

Comprobación frente al hundimiento



## Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento

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

$$N_{c,Ed} = -32338,699 \cdot 1,35 - 8613 \text{ kN} \cdot 1,5 = -56.576,74 \text{ kN}$$

En este caso los pilotes actúan mediante fuste.

En terrenos cohesivos como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- $q_u > 100 \text{ Kpa}$

## Resistencia de cálculo por fuste

$$R_{c,d} = R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d}$$

## Correlaciones empíricas

Se obtiene mediante  $r_{f,c,d} = \frac{r_{f,lim}}{F_r}$

Según el tipo de suelo que tenemos en el Pila 2 utilizamos Inyección de tipo IR (Suelos cohesivos Duros)

Tenemos un suelo duro  $q_u = 400 \text{ kN/m}^2$  Según la Tabla 9 Valores Orientativos de Nspt, resistencia compresión simple y módulos de elasticidad de suelo

Según la gráfica de rozamientos unitarios;

$$r_{f,lim} = 0,30 \text{ MPa} \rightarrow 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow 0,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$r_{f,c,d} = \frac{0,30}{1,65} = 0,182 \text{ N/mm}^2$$

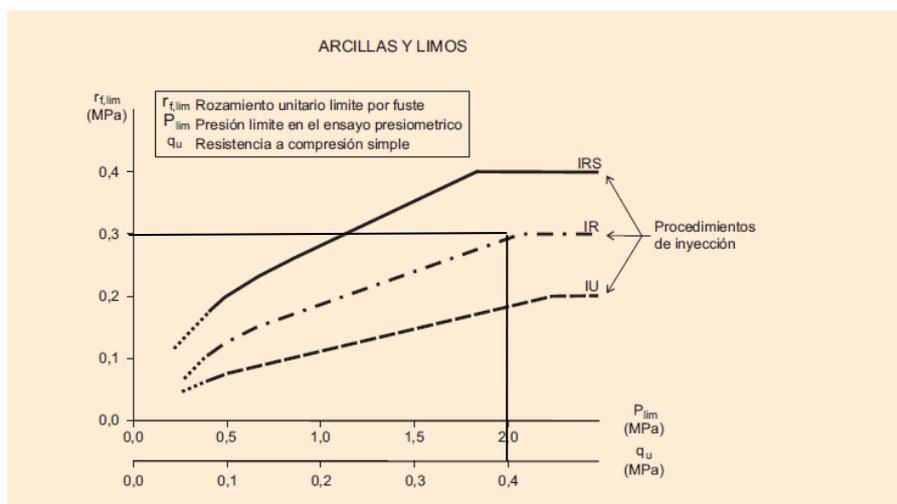


Fig. 46 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Rozamiento unitario Limite por fuste

$$R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d} \rightarrow A_L = \frac{R_{f,c}}{r_{f,c,d}} \rightarrow A_L = \frac{56.576,74 \cdot 10^3}{0,182} = 311,172 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$



Como sabemos que el bulbo tendrá una forma aproximada a la de un cilindro y el área de un cilindro es;

$$A_L = 2\pi r_{nom} h \rightarrow h = \frac{A_L}{2\pi r_{nom}} = \frac{311,172 \cdot 10^6}{2\pi 130} = 380958,255 \text{ mm}$$

h = la supuesta longitud de un micropilote para ser validado frente al hundimiento.

Pero en este caso como veremos en el siguiente apartado, necesitamos 78 micropilotes para que soporten la sobrecarga, dividimos este valor entre 78.

Longitud mínima para el bulbo de los micropilotes en la pila 2 para ser valido frente al hundimiento es de 4884,08mm -> 4,9 m

Fallo estructural de los micropilotes

### Resistencia estructural de los micropilotes

En este estribo los micropilotes deben soportar una carga mayorada de - 56.576,74 KN

Primero calculamos  $A_s$  y  $A_c$ ;

$A_a$ ; Acero S 275

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((d_e - 2r_e)^2 - d_1^2) \times F_{u,c}$$

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((100 - 2 \times 1,2)^2 - 94^2) \times 1 = 541,7 \text{ mm}^2$$

$A_c$  = sección neta de lechada o mortero, descontando armadura. HA-25

$$A_c = A_n - A_a = \pi \times r^2 - A_a = \pi \times 130^2 - 541,7 = 52.551,22 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es comprobar la resistencia del pilote a compresión  $N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$ :

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

Cálculo R Factor empírico de pandeo: Ya que los micropilotes se encuentran en arcillas duras y no como en el caso del Estribo 1 y del Pilar 1  
 $R = 1$

$N_{c,Ed} = 56.576,74$  kN de carga para esta pila

$$N_{c,Rd} = (0,85 \times 52.551,22 \times 25/1,5 + 541,7 \times 275/1,1) \times \frac{1}{1,20 \times 1}$$

$F_e = 1$

$$N_{c,Rd} = 733.250,51 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 733,25 \text{ kN}$$

Solución 78 micropilotes  $N_{c,Rd} = 57.193,5 \text{ KN}$ .



$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed} ; 57.193,5 \geq 56.576,74 \rightarrow \text{Cumple}$$

### Resistencia estructural a flexión y corte

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

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

$$E_a; 2100000 \text{Kg/cm}^2 \rightarrow 205.939,65 \text{ N/mm}^2$$

$$I_a = \frac{\pi(R_e^4 - R_i^4)}{4} = \frac{\pi(100^4 - 94^4)}{4} = 17.219.936,41 \text{ mm}^4$$

$$E_L; \text{Suelo Duro}; 400 \text{MN/m}^2 \rightarrow 400 \text{ N/mm}^2$$

$$L_e = \left( \frac{3 \cdot 205.939,65 \cdot 17.219.936,41}{400} \right)^{\frac{1}{4}} = 403,84 \text{ mm} \rightarrow 0,404 \text{ m}$$

$$L_{ef} = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 0,404 = 0,823 \text{ m}$$

Debido a la falta de datos en cuanto a valores y propiedades del suelo vamos a suponer que  $E_o/E_L = 0$ . Así mayoramos por seguridad y el aumento en la profundidad de empotramiento no varía mucho, ya que si la relación es de 0,5 la profundidad es de 0,606 m y si la relación es de 1 la profundidad es de 0,505 m

La longitud libre es de 6 m y en este caso la longitud elástica des de 0,404 m.  
 $m_e = 14,85 \rightarrow 0,85$

### Resistencia de estructura a flexión

El valor de cálculo del momento flector  $M_s$ , en cada sección deberá cumplir la condición

$$M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$$

$F_{U,f}$ ; Sin ensayos = 0,5.

Vamos a ver el primer supuesto;

$$\frac{100 - 2 \cdot 1,2}{6 - 1,2} \leq \frac{16450}{275}$$

20,33 < 59,81 por lo que utilizamos la primera expresión.

$$w_{Pl} = \frac{(100 - 1,2)^3 - 94^3}{6} = 22307,712 \text{ mm}^3$$

$M_{c,Rd} = 22307,712 \cdot \frac{275}{1,1} \cdot 0,5 = 2788464 \text{ N} \cdot \text{mm} \rightarrow 2788,464 \text{ kN} \cdot \text{m}$  Resistencia por micropilote.

Los momentos mayorados a cumplir con los siguientes

$$M_{Ed} = Mx = 39097,053 \cdot 1,35 = 52781,02 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 19 el primer factor



$$52980,8 \geq 52781$$

$$M_{Ed} = My = 25697,73 \cdot 1,35 = 34691,94 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 13 el primer factor

$$36250,032 \geq 34691,94$$

En nuestro caso tenemos un grupo de 78 cumplen.

Cálculo de asientos de los micropilotes

### Micropilotes en terreno cohesivo

Se puede emplear la siguiente expresión

$$s_N = \frac{0,6N_{c,Ek}}{Lq_c}$$

Obtenemos  $q_c$  Según Tabla 15 Penetrómetro estático. Correlación de Schmertmann 1978. según tipos de suelos

Para la Pila 2 que tenemos un suelo de arcillas duras y lutitas, para En la tabla corresponde con un tipo de suelo CL,  $q_c = 1,85 \text{ Mpa} \rightarrow 1850 \text{ KN} \cdot \text{m}^2$

La fuerza vertical sin mayorar para el estribo dos.  $N_{c,Ek} = -32338,67 - 8613 = -40951,67 \text{ KN}$

Lo dividimos en 78 porque son los micropilotes que vamos a realizar (525,02kN). A posterior hay que tener en cuenta el efecto grupo. Sabemos que como mínimo la longitud es de 3,4 m ya que es la longitud del bulbo, la longitud comercial del acero elegido es de 12 m.

$$s_N = \frac{0,6 \cdot 525,02}{12 \cdot 1850} = 0,0142 \text{ m} \rightarrow 14,2 \text{ mm}$$

Según la tabla de "Límites de asiento de acuerdo con la tipología constructiva y con el tipo de suelo". Asiento admisible es de 50 mm

Grupos de micropilotes

### Comportamiento bajo cargas verticales

$$c_e = \frac{R_{cg,d}}{nR_{c,d}}$$

El mejor caso sería el espaciado entre ejes óptimo de los micropilotes, es decir  $2 \leq S / D \leq 4$ . Lo que aumenta la resistencia del micropilote aislado.

Pila 2 los realizamos a lo largo de la zapata de base rectangular de lado 24000mm y 35000mm, instalaremos 19 pilotes en cada lado de la zapata corto y en el largos 20

Espacio disponible entre pilotes quitando los bordes



$$24000(14000) \rightarrow 650 \leq 730 \leq 1040$$

$$35000 (15000) \rightarrow 650 \leq 744,21 \leq 1040$$

Aumentan resistencia.

### Unión a las cimentaciones o encepados

$$R_{u,d} \geq E_d$$

Para solucionar este inconveniente optamos por soldar 5 barras corrugadas distribuidas uniformemente en la superficie de la armadura tubular.

Las barras corrugadas 5Ø16, tiene una longitud estimada de 45 cm ya que el encepado que realizaremos es de 50 cm.

Para 5 barras corrugadas se tiene un valor 629,37 KN

Mientras que para la adherencia de la armadura lisa nos apoyamos en EHE

La adherencia de las barras lisas con el hormigón viene dada por la siguiente formula;

$$\tau_{bd} = \frac{1,2}{1,5} \sqrt{f_{ck}} \rightarrow \frac{1,2}{1,5} \sqrt{250} = 12,6 \frac{kg}{cm^2}$$

Los encepados los realizamos con HA-25, canto de 50 cm, la longitud del micropilote es de 45 cm, armadura de diámetro 100 mm

$$N = 45 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 12,6 = 17,81 Tn \rightarrow 178,1 KN$$

En la Pila 2 los micropilotes soportan cada uno como máximo  $N_{c,Rd} = 733,25 kN$ , aunque en realidad soportan un esfuerzo mucho menor, en este caso  $E_d = 525,02 kN$  (40951,67 entre 78 micropilotes), elegimos la carga máxima que soportan para estar del lado de la seguridad.

La adherencia con las barras corrugadas + la armadura lisa es  $R_{u,d} = 807,47 kN$

$$807,47 \geq 733,25$$

### Encepada para la cimentación. Lado corto.

Acapara todos los laterales de la pila, el cual a posterior uniremos a la cimentación existente. Tenemos dos lados de 24 m y otros dos de 35 m, en el primero realizaremos 19 micropilotes y en el largo 20.

Dimensiones del encepado;

- Debido a la armadura del encepado tienen una longitud de 14000 mm  
Esta distancia continúe 19 micropilotes de un total de 78
- Ancho = 860 mm
- Canto; de 50 cm

Los dos encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos en uno de ellos



### Armatura principal longitudinal del encepado lado corto

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual = 525,02 kN

$l_1$  = separación ejes =  $(14000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 18 = 730\text{mm}$

La distancia entre ejes condicionado por la armadura nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$$T = \frac{525,02 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 757,9 - 0,25 \cdot 860) = -231626,4706\text{N}$$

$$\rightarrow -231,626\text{KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{231626,4706}{\frac{500}{1,15}} = 532,74\text{mm}^2$$

Tabla 31 Armadura principal longitudinal del encepado lado corto Pila 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	5	52	40
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal

### Armadura secundaria Longitudinal del encepado lado corto

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628\text{mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157\text{mm}^2$$

Distancia armadura secundaria; = 269 mm

Tabla 32 Armadura secundaria Longitudinal del encepado lado corto Pila 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	1	134,5	118,5

Para la armadura secundaria elijo 1  $\phi$  16, colocada De la  $\phi$  16 a 70 mm del borde a la armadura principal

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.4

### Armadura principal Longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al derecho. Elijo 2  $\phi$  20

### Armadura secundaria Longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al derecho

Para la armadura secundaria elijo 1  $\phi$  16, colocada De la  $\phi$  16 a 70 mm del borde a la armadura principal



### Aumento del ancho ficticio del encepado

La anchura en total es  $860 + 500 = 1360$  mm

### Armadura principal transversal del encepado lado corto

Para estar del lado de la seguridad y sabiendo que la armadura esta menos solicitada en dirección transversal vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\emptyset$  20 para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas

Estas barras tienen una longitud 1290mm

### Armadura secundaria transversal del encepado lado corto

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

También elegimos el mismo tipo de armadura que en la dirección longitudinal de  $\emptyset$  16

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- 1- El tramo de micropilote a cara del encepado;  
 $\text{Distancia } \emptyset 16 - 20 = 269 \text{ mm}$

Tabla 33 Armadura secundaria transversal del encepado lado corto Pila 2

Armadura borde	Distancia $\emptyset 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Entre la armadura principal y la barra de  $\emptyset$  16 que dista 70 mm de la cara del encepado. Colocamos 1  $\emptyset$  16 en medio.

- 2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de  
 $\text{Distancia } \emptyset 20 - 20 = 580 \text{ mm}$

Tabla 34 Armadura secundaria Transversal del encepado lado corto Pila 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	145	129

Elegimos 3  $\emptyset$  16 para cada tramos que existen entre micropilotes.

### Armadura principal transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elijo 2  $\emptyset$  20

### Armadura secundaria transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elegimos 3  $\emptyset$  16



## Encepada para la cimentación. Lado Largo.

Dimensiones del encepado;

- Debido a la armadura la longitud es de 15000 mm Esta distancia continúe 20 micropilotes de un total de 78.
- Ancho = 860 mm
- Canto; de 50 cm

Los dos encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos de uno de ellos.

### Armadura principal longitudinal del encepado lado largo

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual = 525,02 kN

$l_1$  = separación ejes =  $(15000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 19 = 744,21$  mm

La distancia entre ejes condicionado por la armadura nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$$T = \frac{525,02 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 770 - 0,25 \cdot 860) = -242598,2508 \text{ N}$$

$$\rightarrow -242,598 \text{ KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{242598,2508}{\frac{500}{1,15}} = 557,976 \text{ mm}^2$$

Tabla 35 Armadura principal longitudinal del encepado lado largo Pila 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	5	52	40
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal

### Armadura secundaria Longitudinal del encepado lado largo

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Distancia armadura secundaria; = 269 mm

Tabla 36 Armadura longitudinal del encepado lado largo Pila 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	1	134,5	118,5



Elegimos 1  $\emptyset$  16, que va entre la barra  $\emptyset$  16 a una distancia de 70 mm del borde del encepado y la  $\emptyset$  20 de la armadura principal.

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.4

#### Armadura principal longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al otro lado. Elijo 2  $\emptyset$  20

#### Armadura secundaria Longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al otro lado. Elijo 1  $\emptyset$  16

#### Aumento del ancho ficticio del encepado

La anchura en total es  $860 + 500 = 1360$  mm

#### Armadura principal transversal del encepado lado largo

Para estar del lado de la seguridad y sabiendo que la armadura esta menos solicitada en dirección transversal vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\emptyset$  20 para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas

Estas barras tienen una longitud 1290mm

#### Armadura secundaria transversal del encepado lado largo

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

También elegimos el mismo tipo de armadura que en la dirección longitudinal de  $\emptyset$  16

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- 1- El tramo de micropilote a cara del encepado;

$$\text{Distancia } \emptyset 16 - 20 = 269 \text{ mm}$$

Tabla 37 Armadura secundaria transversal del encepado lado largo Pila 2

Armadura borde	Distancia $\emptyset 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Entre la armadura principal y la barra de  $\emptyset$  16 que dista 70 mm de la cara del encepado. Colocamos 1  $\emptyset$  16 en medio.

- 2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de

$$\text{Distancia } \emptyset 20 - 20 = 594,21 \text{ mm}$$



Tabla 38 Armadura secundaria transversal del encepado lado largo Pila 2

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	147,24	131,24

Elegimos 3  $\phi$  16 para cada tramos que existen entre micropilotes.

#### Armadura principal transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elijo 2  $\phi$  20

#### Armadura secundaria transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elegimos 3  $\phi$  16

#### 3.9.5 Micropilotes Pila 3

Micropilotes ( $\emptyset$ ) de 260 mm.

Comprobación frente al hundimiento

#### Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento

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

$$N_{c,Ed} = -32338,699 \cdot 1,35 - 8613 \text{ kN} \cdot 1,5 = -56.576,74 \text{ kN}$$

En este caso los pilotes actúan mediante fuste.

En terrenos cohesivos como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- $q_u > 100 \text{ Kpa}$

#### Resistencia de cálculo por fuste

$$R_{c,d} = R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d}$$

#### Correlaciones empíricas

Se obtiene mediante  $r_{f,c,d} = \frac{r_{f,lim}}{F_r}$

Según el tipo de suelo que tenemos en el Pila 3 utilizamos Inyección de tipo IR (Suelos cohesivos Duros)

Tenemos un suelo duro  $q_u = 400 \text{ kN/m}^2$  Según la Tabla 9 Valores Orientativos de  $N_{spt}$ , resistencia compresión simple y módulos de elasticidad de suelo

Según la gráfica de rozamientos unitarios;

$$r_{f,lim} = 0,30 \text{ MPa} \rightarrow 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow 0,30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$r_{f,c,d} = \frac{0,30}{1,65} = 0,182 \text{ N/mm}^2$$

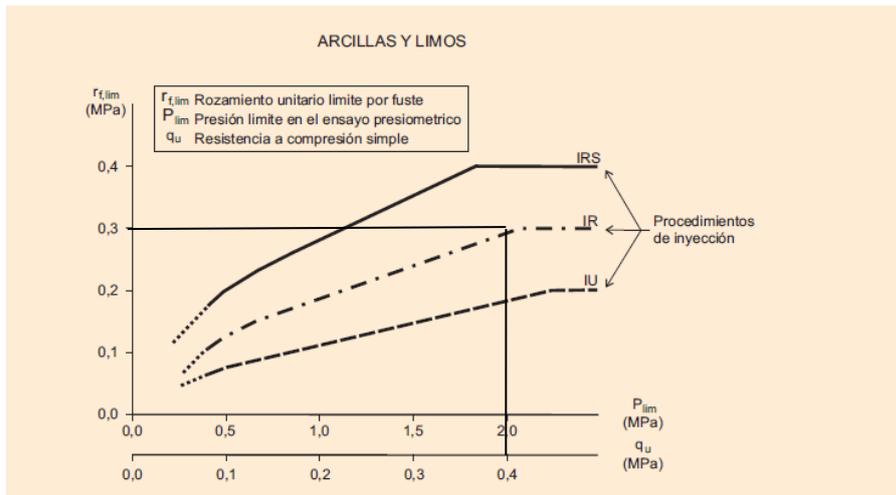


Fig. 47 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Rozamiento unitario Limite por fuste

$$R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d} \rightarrow A_L = \frac{R_{f,c}}{r_{f,c,d}} \rightarrow A_L = \frac{56.576,74 \cdot 10^3}{0,182} = 311,172 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

El área de un cilindro es;

$$A_L = 2\pi r_{nom} h \rightarrow h = \frac{A_L}{2\pi r_{nom}} = \frac{311,172 \cdot 10^6}{2\pi 130} = 380958,255 \text{ mm}$$

Necesitamos 78 micropilotes para que soporten la sobrecarga, dividimos este valor entre 78.

Longitud mínima para el bulbo de los micropilotes en la pila 3 para ser valido frente al hundimiento es de 4884,08mm -> 4,9 m

Fallo estructural de los micropilotes

### Resistencia estructural de los micropilotes

En este estribo los micropilotes deben soportar una carga mayorada de - 56.576,74 KN

Primero calculamos  $A_s$  y  $A_c$ ;

$A_a$ ; sección de la armadura tabular de acero S 275

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((d_e - 2r_e)^2 - d_1^2) \times F_{u,c}$$

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((100 - 2 \times 1,2)^2 - 94^2) \times 1 = 541,7 \text{ mm}^2$$

$A_c$  = sección neta de lechada o mortero, descontando armadura. HA-25

$$A_c = A_n - A_a = \pi \times r^2 - A_a = \pi \times 130^2 - 541,7 = 52.551,22 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es comprobar la resistencia del pilote a compresión  $N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$ :

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



Cálculo R Factor empírico de pandeo: Ya que los micropilotes se encuentran en arcillas duras  $R = 1$

$N_{c,Ed} = 56.576,74$  kN de carga para esta pila

$$N_{c,Rd} = (0,85 \times 52.551,22 \times 25/1,5 + 541,7 \times 275/1,1) \times \frac{1}{1,20 \times 1}$$

$F_e = 1$

$$N_{c,Rd} = 733.250,51 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 733,25 \text{ kN}$$

Solución 78 micropilotes  $N_{c,Rd} = 57.193,5 \text{ KN}$ .

$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$  ;  $57.193,5 \geq 56.576,74 \rightarrow$  Cumple

### Resistencia estructural a flexión y corte

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

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

$E_a$ ;  $2100000 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 205.939,65 \text{ N/mm}^2$

$$I_a = \frac{\pi(R_e^4 - R_i^4)}{4} = \frac{\pi(100^4 - 94^4)}{4} = 17.219.936,41 \text{ mm}^4$$

$E_L$ ; *Suelo Duro*;  $400 \text{ MN/m}^2 \rightarrow 400 \text{ N/mm}^2$

$$L_e = \left( \frac{3 \cdot 205.939,65 \cdot 17.219.936,41}{400} \right)^{\frac{1}{4}} = 403,84 \text{ mm} \rightarrow 0,404 \text{ m}$$

$$L_{ef} = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 0,404 = 0,824 \text{ m}$$

Suponemos que  $E_o/E_L = 0$ . Así mayoramos por seguridad y el aumento en la profundidad de empotramiento no varía mucho, ya que si la relación es de 0,5 la profundidad es de 0,606 m y si la relación es de 1 la profundidad es de 0,505 m

La longitud libre es de 6 m y en este caso la longitud elástica des de 0,404 m.  
 $m_e = 14,85 \rightarrow 0,85$

El efecto grupo  $\alpha_g = 1,5$

### Resistencia de estructura a flexión

$$M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$$

$F_{U,f}$ ; Sin ensayos = 0,5.

Vamos a ver el primer supuesto;

$$\frac{100 - 2 \cdot 1,2}{6 - 1,2} \leq \frac{16450}{275}$$

$20,33 < 59,81$  por lo que utilizamos la primera expresión.



$$w_{Pl} = \frac{(100 - 1,2)^3 - 94^3}{6} = 22307,712 \text{ mm}^3$$

$M_{c,Rd} = 22307,712 \cdot \frac{275}{1,1} \cdot 0,5 = 2788464 \text{ N} \cdot \text{mm} \rightarrow 2788,464 \text{ kN} \cdot \text{m}$  Resistencia por micropilote.

Los momentos mayorados a cumplir con los siguientes

$$M_{Ed} = Mx = 43212,767 \cdot 1,35 = 58337,24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 21 el primer factor

$$58557,74 \geq 58337,24$$

$$M_{Ed} = My = 25402,04 \cdot 1,35 = 34292,75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 13 el primer factor

$$36250,032 \geq 34292,75$$

Ya que en este caso tenemos un grupo de 78 cumplen.

Cálculo de asientos de los micropilotes

Micropilotes en terreno cohesivo

Se puede emplear la siguiente expresión

$$S_N = \frac{0,6N_{c,Ek}}{Lq_c}$$

Obtenemos  $q_c$  a partir de la Tabla 15 Penetrómetro estático. Correlación de Schmertmann 19978. según tipos de suelos

Para la Pila 3 que tenemos un suelo de arcillas duras y lutitas, para En la tabla corresponde con un tipo de suelo CL,  $q_c = 1,85 \text{ Mpa} \rightarrow 1850 \text{ KN} \cdot \text{m}^2$

La fuerza vertical sin mayorar para el estribo dos.  $N_{c,Ek} = -32338,67 - 8613 = -40951,67 \text{ KN}$

Lo dividimos en 78 porque son los micropilotes que vamos a realizar (525,02kN). A posterior hay que tener en cuenta el efecto grupo. Sabemos que como mínimo la longitud es de 3,4 m ya que es la longitud del bulbo, la longitud comercial del acero elegido es de 12 m.

$$S_N = \frac{0,6 \cdot 525,02}{12 \cdot 1850} = 0,0142 \text{ m} \rightarrow 14,2 \text{ mm}$$

Según la tabla de "Límites de asiento de acuerdo con la tipología constructiva y con el tipo de suelo". Asiento admisible es de 50 mm

Grupos de micropilotes



## Comportamiento bajo cargas verticales

$$c_e = \frac{R_{cg,d}}{nR_{c,d}}$$

El mejor caso sería el espaciado entre ejes óptimo de los micropilotes, es decir  $2 \leq S / D \leq 4$ . Lo que aumenta la resistencia del micropilote aislado.

Pila 2 los realizamos a lo largo de la zapata de base rectangular de lado 24000mm y 35000mm, instalaremos 19 pilotes en cada lado de la zapata corto y en el largos 20

Espacio disponible entre pilotes quitando los bordes

$$24000(14000) \rightarrow 650 \leq 730 \leq 1040$$

$$35000 (15000) \rightarrow 650 \leq 744,21 \leq 1040$$

Aumentan resistencia.

## Unión a las cimentaciones o encepados

$$R_{u,d} \geq E_d$$

Para solucionar este inconveniente optamos por soldar 5 barras corrugadas distribuidas uniformemente en la superficie de la armadura tubular.

Las barras corrugadas 5Ø16, tiene una longitud estimada de 45 cm ya que el encepado que realizaremos es de 50 cm.

Para 5 barras corrugadas se tiene un valor 629,37 KN

Mientras que para la adherencia de la armadura lisa nos apoyamos en EHE

La adherencia de las barras lisas con el hormigón viene dada por la siguiente formula;

$$\tau_{bd} = \frac{1,2}{1,5} \sqrt{f_{ck}} \rightarrow \frac{1,2}{1,5} \sqrt{250} = 12,6 \frac{kg}{cm^2}$$

Los encepados los realizamos con HA-25, canto de 50 cm, la longitud del micropilote es de 45 cm, armadura de diámetro 100 mm

$$N = 45 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 12,6 = 17,81 Tn \rightarrow 178,1 KN$$

En la Pila 3 los micropilotes soportan cada uno como máximo  $N_{c,Rd} = 733,25 kN$ , aunque en realidad soportan un esfuerzo mucho menor, en este caso  $E_d = 525,02 kN$  (40951,67 entre 78 micropilotes), elegimos la carga máxima que soportan para estar del lado de la seguridad.

La adherencia con las barras corrugadas + la armadura lisa es  $R_{u,d} = 807,47 kN$

$$807,47 \geq 733,25$$

## Encepada para la cimentación. Lado corto.



Acapara todos los laterales de la pila, el cual a posterior uniremos a la cimentación existente. Tenemos dos lados de 24 m y otros dos de 35 m, en el primero realizaremos 19 micropilotes y en el largo 20.

Dimensiones del encepado;

- Longitud Debido a la armadura 14000 mm Esta distancia continúe 19 micropilotes de un total de 78.
- Ancho = 860 mm
- Canto; de 50 cm

Los dos encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos en uno de ellos

#### Armadura principal longitudinal del encepado lado corto

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual = 525,02 kN

$l_1$  = separación ejes =  $(14000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 18 = 730\text{mm}$

La distancia entre ejes condicionado por la armadura nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$$T = \frac{525,02 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 730 - 0,25 \cdot 860) = -231626,4706\text{N}$$

$$\rightarrow -231,626\text{ KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{231626,4706}{\frac{500}{1,15}} = 532,74\text{ mm}^2$$

Tabla 39 Armadura principal longitudinal del encepado lado corto Pila 3

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	5	52	40
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal

#### Armadura secundaria Longitudinal del encepado lado corto

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628\text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157\text{mm}^2$$

Distancia armadura secundaria; = 269 mm



Tabla 40 Armadura secundaria longitudinal del encepado lado corto Pila 3

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	1	134,5	118,5

Para la armadura secundaria elijo 1  $\phi$  16, colocada De la  $\phi$  16 a 70 mm del borde a la armadura principal

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.5

#### Armadura principal Longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al derecho. Elijo 2  $\phi$  20

#### Armadura secundaria Longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al derecho

Para la armadura secundaria elijo 1  $\phi$  16, colocada De la  $\phi$  16 a 70 mm del borde a la armadura principal

#### Aumento del ancho ficticio del encepado

La anchura en total es  $860 + 500 = 1360$  mm

#### Armadura principal transversal del encepado lado corto

Para estar del lado de la seguridad y sabiendo que la armadura esta menos solicitada en dirección transversal vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas

Estas barras tienen una longitud 1290mm

#### Armadura secundaria transversal del encepado lado corto

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{SS} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

También elegimos el mismo tipo de armadura que en la dirección longitudinal de  $\phi$  16

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- 1- El tramo de micropilote a cara del encepado;

$$\text{Distancia } \phi 16 - 20 = 269 \text{ mm}$$

Tabla 41 Armadura secundaria transversal del encepado lado corto Pila 3

Armadura borde	Distancia $\phi 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5



Entre la armadura principal y la barra de  $\emptyset 16$  que dista 70 mm de la cara del encepado. Colocamos 1  $\emptyset 16$  en medio.

2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de  
*Distancia  $\emptyset 20 - 20 = 580\text{mm}$*

Tabla 42 Armadura secundaria transversal del encepado lado corto Pila 3

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	145	129

Elegimos 3  $\emptyset 16$  para cada tramos que existen entre micropilotes.

#### Armadura principal transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elijo 2  $\emptyset 20$

#### Armadura secundaria transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elegimos 3  $\emptyset 16$

#### Encepada para la cimentación. Lado Largo.

Dimensiones del encepado;

- Longitud es de 35m = 35000 mm. Esta distancia continúe 20 micropilotes de un total de 78. Debido a la armadura lo cambiamos a 16000 mm
- Ancho = 860 mm
- Canto; de 50 cm

Los dos encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos de uno de ellos.

#### Armadura principal longitudinal del encepado lado largo

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual = 525,02 kN

$l_1$  = separación ejes =  $(15000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 19 = 744,21 \text{ mm}$

La distancia entre ejes condicionado por la armadura nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$$T = \frac{525,02 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 770 - 0,25 \cdot 860) = -242598,2508 \text{ N}$$

$$\rightarrow -242,598 \text{ KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{242598,2508}{\frac{500}{1,15}} = 557,9759768 \text{ mm}^2$$



Tabla 43 Armadura principal longitudinal del encepado lado largo Pila 3

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	5	52	40
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal

#### Armadura secundaria Longitudinal del encepado lado largo

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Distancia armadura secundaria; = 269 mm

Tabla 44 Armadura secundaria longitudinal del encepado lado largo Pila 3

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	2	89,67	77,67
16	201	1	134,5	118,5
20	314	1	134,5	114,5

Elegimos 1  $\phi$  16, que va entre la barra  $\phi$  16 a una distancia de 70 mm del borde del encepado y la  $\phi$  20 de la armadura principal.

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.5

#### Armadura principal longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al otro lado. Elijo 2  $\phi$  20

#### Armadura secundaria Longitudinal del lado opuesto

Es idéntico al otro lado. Elijo 1  $\phi$  16

#### Aumento del ancho ficticio del encepado

La anchura en total es  $860 + 500 = 1360$  mm

#### Armadura principal transversal del encepado lado largo

Para estar del lado de la seguridad y sabiendo que la armadura esta menos solicitada en dirección transversal vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas

Estas barras tienen una longitud 1290mm

#### Armadura secundaria transversal del encepado lado largo

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$



$$A_{SS} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{mm}^2$$

También elegimos el mismo tipo de armadura que en la dirección longitudinal de  $\varnothing 16$

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- 1- El tramo de micropilote a cara del encepado;  
*Distancia  $\varnothing 16 - 20 = 269 \text{ mm}$*

Tabla 45 Armadura secundaria transversal del encepado lado largo Pila 3

Armadura borde	Distancia $\varnothing 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Entre la armadura principal y la barra de  $\varnothing 16$  que dista 70 mm de la cara del encepado. Colocamos 1  $\varnothing 16$  en medio.

- 2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de  
*Distancia  $\varnothing 20 - 20 = 594,21 \text{ mm}$*

Tabla 46 Armadura secundaria transversal del encepado lado largo Pila 3

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	147,24	131,24

Elegimos 3  $\varnothing 16$  para cada tramos que existen entre micropilotes.

#### Armadura principal transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elijo 2  $\varnothing 20$

#### Armadura secundaria transversal del encepado lado opuesto

Es idéntico. Elegimos 3  $\varnothing 16$

#### 3.9.6 Micropilotes Pila 4

Micropilote ( $\varnothing$ ) de 260 mm.

#### Resistencia de cálculo frente al modo de fallo de hundimiento

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

$$N_{c,Ed} = -25.862,261 \text{ kN} \cdot 1,3 - 7.332,1 \text{ kN} \cdot 1,5 = -44.619,1 \text{ kN}$$

En roca como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- Meteorización < III según ISRM
- $RQD > 60\%$
- $R_{c,d} = R_{e,d}$

No cumple las condiciones;



- Meteorización > III según ISRM
- RQD < 60%

Debido a esto lo consideramos como suelo cohesivo ya que se tratan de areniscas y limolitas.

En este caso los pilotes actúan mediante fuste.

En terrenos cohesivos como es el caso;

- $L_{emp} \geq 6D$
- $q_u > 100 \text{ Kpa}$

### Resistencia de cálculo por fuste

$$R_{C,d} = R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d}$$

### Correlaciones empíricas

Se obtiene mediante  $r_{f,c,d} = \frac{r_{f,lim}}{F_r}$

Según el tipo de suelo que tenemos en el Pila 4 utilizamos Inyección de tipo IR (Suelos cohesivos duros)

Tenemos un suelo medio  $q_u = 400 \text{ kN/m}^2$  Según la Tabla 9 Valores Orientativos de Nspt, resistencia compresión simple y módulos de elasticidad de suelo

Según la gráfica de rozamientos unitarios;

$$r_{f,lim} = 0,29 \text{ MPa} \rightarrow 290 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow 0,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$r_{f,c,d} = \frac{0,29}{1,65} = 0,175 \text{ N/mm}^2$$

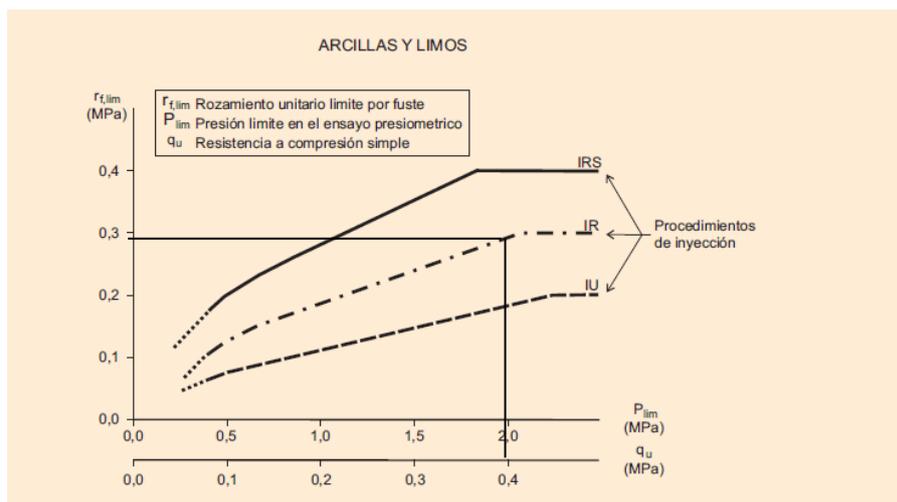


Fig. 48 Guía de proyectos con micropilotes en obras de carretera. Rozamiento unitario Limite por fuste

$$R_{f,c} = A_L \cdot r_{f,c,d} \rightarrow A_L = \frac{R_{f,c}}{r_{f,c,d}} \rightarrow A_L = \frac{44.619,1 \cdot 10^3}{0,175} = 254,966,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Área de un cilindro es;



$$A_L = 2\pi r_{nom} h \rightarrow h = \frac{A_L}{2\pi r_{nom}} = \frac{254.966,3 \cdot 10^6}{2\pi 130} = 312.147,267 \text{ mm}$$

Necesitamos 62 micropilotes para que soporten la sobrecarga, dividimos este valor entre 62.

Longitud mínima para el bulbo de los micropilotes en la Pila 4 para ser valido frente al hundimiento es de 5034,63mm -> 5,03 m

Fallo estructural de los micropilotes

Resistencia estructural de los micropilotes

En este estribo los micropilotes deben soportar una carga mayorada de - 44.619,1 kN

Primero calculamos  $A_s$  y  $A_c$ ;

$A_a$ ; Acero S 275

$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((d_e - 2r_e)^2 - d_1^2) \times F_{u,c}$$
$$A_a = \frac{\pi}{4} \times ((100 - 2 \times 1,2)^2 - 94^2) \times 1 = 541,7 \text{ mm}^2$$

$A_c$  = sección neta de lechada o mortero, descontando armadura. HA-25

$$A_c = A_n - A_a = \pi \times r^2 - A_a = \pi \times 130^2 - 541,7 = 52.551,22 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es comprobar la resistencia del pilote a compresión  $N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$ :

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

Cálculo R Factor empírico de pandeo: Ya que los micropilotes se encuentran en areniscas y limolitas  $R=1$  como nos indica la guía

$$R = 1,07 - 0,027 \times C_R = 1$$

$N_{c,Ed} = 4.932,9$  kN Sobrecarga para este estribo.

$$N_{c,Rd} = (0,85 \times 52.551,22 \times 25/1,5 + 541,7 \times 275/1,1) \times \frac{1}{1,20 \times 1}$$

$$F_e = 1$$

$$N_{c,Rd} = 733.250,51 \text{ N}$$

$$N_{c,Rd} = 733,25 \text{ kN}$$

Solución 61 micropilotes  $N_{c,Rd} = 44.728,25 \text{ KN}$  pero para mantener la uniformidad realizamos 62  $N_{c,Rd} = 45.461,5 \text{ KN}$

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed} ; 45.461,5 \geq 44.619,1 \rightarrow \text{Cumple}$$

Resistencia estructural a flexión y corte

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



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

$$E_a; 2100000 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 205.939,65 \text{ N/mm}^2$$

$$I_a = \frac{\pi(R_e^4 - R_i^4)}{4} = \frac{\pi(100^4 - 94^4)}{4} = 17.219.936,41 \text{ mm}^4$$

$$E_L; \text{Roca blanda}; 4000 \text{ MN/m}^2 \rightarrow 4000 \text{ N/mm}^2$$

$$L_e = \left( \frac{3 \cdot 205.939,65 \cdot 17.219.936,41}{4000} \right)^{\frac{1}{4}} = 227,1 \text{ mm} \rightarrow 0,227 \text{ m}$$

$$L_{ef} = 1,2 \cdot 1,7 \cdot 0,227 = 0,463 \text{ m}$$

Vamos a suponer que  $E_o/E_L = 0$ . Así mayoramos por seguridad y el aumento en la profundidad de empotramiento no varía mucho, ya que si la relación es de 0,5 la profundidad es de 0,341 m y si la relación es de 1 la profundidad es de 0,272 m

La longitud libre es de 6 m y en este caso la longitud elástica des de 0,227 m.  
 $m_e = 26,43 \rightarrow 0,85$

El efecto grupo

$$\alpha_g = 1,5$$

#### Resistencia de estructura a flexión

El valor de cálculo del momento flector  $M_s$ , en cada sección deberá cumplir la condición

$$M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$$

$F_{U,f}$ ; Sin ensayos = 0,5.

Vamos a ver el primer supuesto;

$$\frac{100 - 2 \cdot 1,2}{6 - 1,2} \leq \frac{16450}{275}$$

20,33 < 59,81 por lo que utilizamos la primera expresión.

$$w_{Pl} = \frac{(100 - 1,2)^3 - 94^3}{6} = 22307,712 \text{ mm}^3$$

$M_{c,Rd} = 22307,712 \cdot \frac{275}{1,1} \cdot 0,5 = 2788464 \text{ N} \cdot \text{mm} \rightarrow 2788,464 \text{ kN} \cdot \text{m}$  Resistencia por micropilote.

Los momentos mayorados a cumplir con los siguientes

$$M_{Ed} = M_x = 36.900,695 \cdot 1,35 = 498.150,94 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 19 el primer factor

$$52980,8 \geq 52781$$



$$M_{Ed} = My = 23.745,827 \cdot 1,35 = 32056,87 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

En este caso para que cumpla la condición de  $M_{c,Rd} \geq M_{Ed}$  multiplicamos por 12 el primer factor

$$33461,57 \geq 32056,87$$

Ya que en este caso tenemos un grupo de 62, cumplen.

Cálculo de asientos de los micropilotes

Micropilotes en terreno cohesivo

Se puede emplear la siguiente expresión

$$s_N = \frac{0,6N_{c,Ek}}{Lq_c}$$

Obtenemos  $q_c$  a partir de la Tabla 15 Penetrómetro estático. Correlación de Schmertmann 19978. según tipos de suelos

Para la Pila 4 tenemos un suelo de areniscas y limolitas, En la tabla corresponde con un tipo de suelo CL, es decir tiene un  $q_c = 2,00 \text{ Mpa} \rightarrow 2000 \text{ KN} \cdot \text{m}^2$

La fuerza vertical sin mayorar para el estribo dos.  $N_{c,Ek} = -25862,261 - 7334,1 = -33196,361 \text{ KN}$ . Esta carga se divide entre 62 micropilotes En cuanto a la longitud del micropilote debemos suponerlo para limitar el asiento, a posterior hay que tener en cuenta el efecto grupo. Sabemos que como mínimo la longitud es de 3,4 m ya que es la longitud del bulbo, la longitud comercial del acero elegido es de 12 m.

$$s_N = \frac{0,6 \cdot 535,43}{12 \cdot 2000} = 0,0134 \text{ m} \rightarrow 13,4 \text{ mm}$$

Según la tabla de "Límites de asiento de acuerdo con la tipología constructiva y con el tipo de suelo". Asiento admisible es de 30 mm

Grupos de micropilotes

Comportamiento bajo cargas verticales

$$c_e = \frac{R_{cg,d}}{nR_{c,d}}$$

En nuestro caso ya que tenemos suficiente superficie el espaciado entre ejes de los micropilotes será el óptimo, es decir  $2 \leq S / D \leq 4$ . Lo que aumenta la resistencia del micropilote aislado.

$$650 \leq 760 \leq 1040$$

Unión a las cimentaciones o encepados

$$R_{u,d} \geq E_d$$



Para solucionar este inconveniente optamos por soldar 5 barras corrugadas distribuidas uniformemente en la superficie de la armadura tubular.

Las barras corrugadas 5Ø16, tiene una longitud estimada de 45 cm

Las 5 barras tienen un valor de 629,37 KN

Mientras que para la adherencia de la armadura lisa nos apoyamos en EHE

$$\tau_{bd} = \frac{1,2}{1,5} \sqrt{f_{ck}} \rightarrow \frac{1,2}{1,5} \sqrt{250} = 12,6 \frac{kg}{cm^2}$$

Los encepados los realizamos con HA-25, dicho micropilote tiene una armadura de diámetro 100 mm

$$N = 45 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 12,6 = 17,81 Tn \rightarrow 178,1 KN$$

En el estribo 1 los micropilotes soportan cada uno como máximo  $N_{c,Rd} = 733,25 kN$ , aunque en realidad soportan un esfuerzo mucho menor, en este caso  $E_d = 535,425 kN$  (33196,36 entre 62 micropilotes), elegimos la carga máxima que soportan para estar del lado de la seguridad.

La adherencia con las barras corrugadas + la armadura lisa es  $R_{u,d} = 807,47 kN$

$$807,47 \geq 733,25$$

### Encepada para la cimentación. Con más micropilotes

Zapata cuadrada de lado 26,5 m, en el primero realizaremos en un par de lados opuestos realizamos 16 micropilotes y en el otro par realizamos 15 micropilotes,

Dimensiones del encepado;

- Longitud es de 26,5m = 26500 mm que es el lado de la zapata cuadrada de la Pila 4. Esta distancia continúe 16 micropilotes de un total de 64. Debido a la armadura lo cambiamos a 12000 mm
- Ancho; = 860 mm
- Canto; de 50

Los cuatro encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos en el encepado derecho.

### Armadura principal longitudinal del encepado 16 micropilotes

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual = 535,425 kN

$d$  = canto encepado útil;  $d = 500 - 100 = 400 m$

$l_1$  = separación ejes =  $(13000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 15 = 742,67mm$



La distancia entre ejes condicionado por la armadura nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$a_1 =$  ancho pilar no existe pilar = Ancho del encepado = 860 mm

$$T = \frac{535,425 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 760 - 0,25 \cdot 860) = -246190,5147 \text{ N}$$

$$\rightarrow -246,190 \text{ KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{246190,5147}{\frac{500}{1,15}} = 566,238 \text{ mm}^2$$

Tabla 47 Armadura principal longitudinal del encepado de 16 micropilote Pila 4

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
12	113	5	52	40
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20

Armadura secundaria Longitudinal del encepado 16 micropilotes

$$A_p = (n^\circ \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Distancia armadura secundaria; = 269 mm

Tabla 48 Armadura secundaria longitud del encepado de 16 micropilotes Pila 4

$\phi$	Área	nº Barras	separación	separación libre
16	201	1	134,5	118,5

Elijo 1  $\phi$  16, que va entre la barra  $\phi$  16 a 70 mm del borde del encepado y la armadura principal  $\phi$  20

Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.6.

Armadura principal longitudinal del lado opuesto

Elijo 2  $\phi$  20.

Armadura secundaria Longitudinal del lado opuesto

Elijo 1  $\phi$  16.

Aumento del canto ficticio del encepado

La anchura en total es 860 + 500 = 1360 mm

Armadura principal transversal del encepado de 16 micropilotes



Para estar del lado de la seguridad y sabiendo que la armadura esta menos solicitada en dirección transversal vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\emptyset$  20 para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas.

. Estas barras tienen una longitud 1290mm.

#### Armadura secundaria transversal del encepado de 16 micropilotes

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

En este caso también elegimos  $\emptyset$  16, como en la armadura longitudinal.

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

- 1- El tramo de micropilote a cara del encepado;

$$\text{Distancia } \emptyset 16 - 20 = 269 \text{ mm}$$

Tabla 49 Armadura secundaria transversal del encepado de 16 micropilotes Pila 4

Armadura	Distancia $\emptyset 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Entre la armadura principal y la barra de  $\emptyset$  16 que dista 70 mm de la cara del encepado. Colocamos una barra de  $\emptyset$  16.

- 2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de

$$\text{Distancia } \emptyset 20 - 20 = 592,67 \text{ mm}$$

Tabla 50 Armadura secundaria transversal del encepado de 16 micropilotes Pila 4

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	148,167	132,167

Elegimos 3  $\emptyset$  16 para todos los tramos entre micropilotes.

#### Armadura principal transversal del encepado opuesto

Es idéntico al derecho. Elijo 2  $\emptyset$  20

#### Armadura secundaria transversal del encepado opuesto

Es idéntico al derecho. Elegimos 3  $\emptyset$  16 para todos los tramos entre micropilotes.

#### Encepada para la cimentación. Con menos micropilotes

Zapata cuadrada de lado 26,5 m, en el par de lados restantes realizamos 15 micropilotes,

Dimensiones del encepado;



- Longitud debido a la armadura 11000 mm, esta distancia continúe 15 micropilotes de un total de 64.
- Ancho;= 860 mm
- Canto; de 50 cm

Los dos encepados son idénticos por lo que solo realizaremos los cálculos en el encepado derecho.

### Armadura principal longitudinal del encepado 15 micropilotes

$$T = \frac{N_d}{0,85 \cdot d} \cdot (0,50 \cdot l_1 - 0,25 \cdot a_1)$$

$N_d$  = Micropilote más cargado, todos actúan igual = 535,425 kN

$l_1$  = separación ejes =  $(11000 - 2 \cdot 300 - 2 \cdot 130) \div 21 = 724,29$  mm

La distancia entre ejes condicionado por la armadura nos dice que el efecto grupo es favorable, pero no lo vamos a tener en cuenta para estar del lado de la seguridad.

$a_1$  = ancho pilar no existe pilar = Ancho del encepado = 860 mm

$$T = \frac{535,425 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 400} \cdot (0,50 \cdot 724,29 - 0,25 \cdot 860) = -231717,542 \text{ N}$$

$$\rightarrow -231,717 \text{ KN}$$

Calculamos el área de las barras corrugadas.

$$T = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow A_s = \frac{T}{f_{yd}} = \frac{231717,542}{\frac{500}{1,15}} = 532,95 \text{ mm}^2$$

Tabla 51 Armadura principal longitudinal del encepado 15 micropilotes Pila 4

$\phi$	Área	nº Barras	separación	separación libre
12	113	5	52	41
16	201	3	86,67	70,67
20	314	2	130	110

Elijo 2  $\phi$  20 para el armado principal

### Armadura secundaria Longitudinal del encepado 15 micropilotes

$$A_p = (n^\circ \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

Distancia armadura secundaria; = 269 mm

Tabla 52 Armadura principal longitudinal del encepado 15 micropilotes Pila 4

$\phi$	Área	nº Barras	separación	separación libre
16	201	1	134,5	118,5

Elijo 1  $\phi$  16, que va entre la barra  $\phi$  16 a 70 mm del borde del encepado y la armadura principal  $\phi$  20



Los planos de las armaduras longitudinales se pueden ver en el 4.6.6.

#### Armadura principal longitudinal del lado opuesto

Es idéntico. Elijo 2  $\emptyset$  20

#### Armadura secundaria Longitudinal del lado opuesto

Es idéntico. Elijo 1  $\emptyset$  16 y una barra  $\emptyset$  16 a una distancia de 70 mm del borde del encepado.

#### Aumento del canto ficticio del encepado

La anchura en total es  $860 + 500 = 1360$  mm

#### Armadura principal transversal del encepado de 15 micropilotes

Para estar del lado de la seguridad y sabiendo que la armadura esta menos solicitada en dirección transversal vamos a mantener la armadura de la dirección longitudinal.

Elijo 2  $\emptyset$  20 para el armado principal, que distan entre ellas 130 entre ellas.

. Estas barras tienen una longitud 1290mm.

#### Armadura secundaria transversal del encepado de 15 micropilotes

$$A_p = (n^{\circ} \text{ barras} \cdot A) = (2 \cdot 314) = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} \geq 0,25 \cdot A_p = 0,25 \cdot 628 = 157 \text{ mm}^2$$

En este caso también elegimos  $\emptyset$  16, como en la armadura longitudinal.

Tenemos dos tramos diferenciados, los que van del micropilote al borde del encepado y los tramos de micropilote a micropilote.

1- El tramo de micropilote a cara del encepado;

$$\text{Distancia } \emptyset 16 - 20 = 269 \text{ mm}$$

Tabla 53 Armadura Secundaria transversal del encepado de 15 micropilotes Pila 4

Armadura	Distancia $\emptyset 16-20$	Separación	Separación libre
1	269	134,5	118,5

Entre la armadura principal y la barra de  $\emptyset$  16 que dista 70 mm de la cara del encepado. Colocamos una barra de  $\emptyset$  16.

2- El tramo entre micropilote y micropilote. Tenemos una distancia libre de

$$\text{Distancia } \emptyset 20 - 20 = 574,29 \text{ mm}$$

Tabla 54 Armadura secundaria transversal del encepado 15 micropilotes Pila 4

$\phi$	Área	nº Barras	Separación	Separación libre
16	201	3	143,57	127,57



Elegimos 3 Ø 16 para todos los tramos entre micropilotes.

#### Armadura principal transversal del encepado opuesto

Es idéntico al derecho. Elijo 2 Ø 20

#### Armadura secundaria transversal del encepado opuesto

Es idéntico al derecho. Elegimos 3 Ø 16 para todos los tramos entre micropilotes.

### 3.10 Anexo VI Procesos constructivo

#### **Acceso**

En primer lugar, realizamos los caminos de acceso y la habilitación de las zonas de trabajo como hemos mostrado en apartados anteriores, posteriormente realizamos los micropilotes.

Antes de realizar los micropilotes y la elección del método más económico y eficaz de recimentación realizamos un estudio geotécnico de la zona de actuación.

#### **Utilización del medio**

La realización de los micropilotes son in situ, la perforación se realiza tanto con aire como con agua dependiendo los estratos y la posible cantidad de agua que haya en los primeros metros, debido a que la zona tiene varias precipitaciones al año.

Para las maniobras que necesitamos agua, utilizaremos el agua aportada por el río colindante. Tendremos varios embalses y el siguiente proceso;

- 1- Acumulación de agua para la posterior utilización
- 2- Conductos para la utilización en perforaciones
- 3- Impermeabilización del suelo con desemboque en un segundo contenedor de aguas contaminadas
- 4- Contenedor de depuración de sólidos
- 5- Contenedor de depuración de lodos
- 6- Conductos al río con el agua depurada y limpia.

#### **Condiciones y velocidades de perforación para cada estrato**

Los rendimientos son diferentes para cada estrato debido a su composición y resistencia, por lo que en las Pilas 2 y 3 rendimiento mayor ya de 8 m/h, mientras que para el Estribo 1 y la Pila 1 se obtienen valores menores, un rendimiento de 5 m/h y en la Pila 4 y Estribo 2 el caso de roca sana pero que en la realización de micropilotes se toma como suelo muy duro la velocidad de perforación es de 0,2 m/h.

#### **Actuación – Ejecución de los micropilotes**

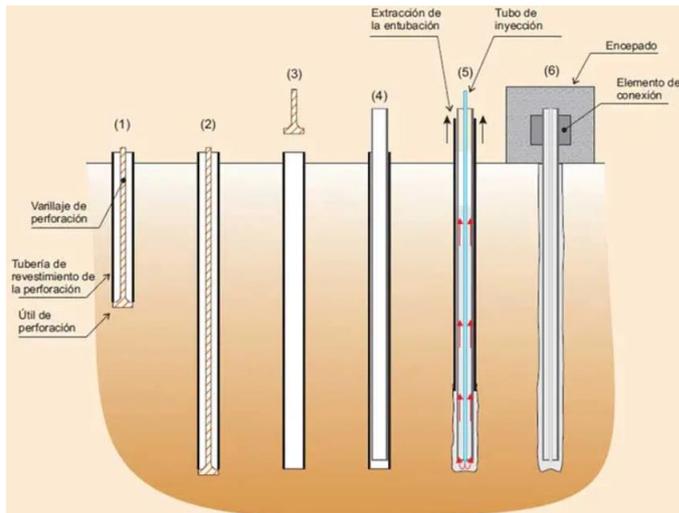


Fig. 49 Guía de proyectos con micropilotes en obra de carretera. Proceso constructivo micropilote

Fase 1 y 2; Se realiza la perforación con las premisas anteriores. Hasta la máxima profundidad

Fase 3; Retirada del útil de perforación

Fase 4; introducción de la armadura

Fase 5 Inyección de la lechada de cemento, la inyección depende del tipo de suelo, también se especifica anteriormente.

Fase 6; Ejecución del encepado y conexión con estructura

### Detalles de final del micropilotaje

Al finalizar el micropilote dejamos que sobresalga unos 50 cm sobre la superficie para la unión con el encepado y la soldadura del acero corrugado en el borde de la armadura lisa.

### Unión Antiguo encepado – Nuevo encepado

Se pica todas las caras del encepado antiguo, dejándolo de una forma irregular para amentar la resistencia de rozamiento. Posteriormente picamos la zona baja de la cimentación 500mm sin que afecte la armadura existente. Ni llegar a la armadura del pilote más cercano

Para finalizar introduciremos la armadura del nuevo encepado con las siguientes condiciones, Se utilizará cemento epoxi en la zona de 500 mm y en la unión de las caras de unión con el nuevo encepado.

### Detalles de la armadura del nuevo encepado

Se realiza a partir del centro del micropilote, dejando espacio suficiente para que la armadura del micropilote se pueda introducir en el encepado y posterior soldadura de la armadura corrugada.

La armadura tiene como distancia mínima 70 mm al terreno, si es posible utilizar hormigón de limpieza para estar evitar posibles problemas. También se deben utilizar separadores a la colocación de la armadura. Posteriormente hormigonaremos el encepado.



Se introduce la armadura inferior y la unimos al encepado existente, posteriormente introducimos la armadura superior del nuevo encepado y hormigonamos.

### **Desalojo**

Durante todas las operaciones debemos procurar no modificar el medio natural existente alrededor de las zonas de trabajo.

Las vías de acceso principales las dejaremos intactas para su utilización en revisiones, modificaciones o vías de acceso para los propietarios de la zona.

Las laderas modificadas para el acceso al Estribo 1 y a la Pila 1 los reconstruiremos con los mismos materiales, ya que dichos materiales los acumulamos en la zona de materiales.

Realizaremos una rehabilitación de la vegetación, plantando árboles propios de la zona, en la zona de almacenamiento debido que es la zona más afectada ya que es una zona con mucha naturaleza. La zona de las zapatas no se ve tan afectada ya que no existía tanta vegetación antes del recalce.

### **3.11 Bibliografía**

Calavera-Ruiz, J. (2015). Cálculo de Estructuras de Cimentación. (4ª ed). Instituto Técnico de Materiales y Construcción.

González De Vallejo, L. (2002). Ingeniería geológica. Madrid, España: Ed. Pearson Education.

Ministerio de obras públicas, transporte y medio ambiente. (1995). Instituto geográfico nacional. Catálogo cartográfico.

Ministerio de fomento. (2010). EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural.

Ministerio de fomento. (2005). Guía para proyectos y la ejecución de micropilotes en obras de carreteras.

Burbano-Pita, N. Micropilotes. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza.

Marinero, A. (2021). Código Urbanismo de Cantabria.

Revilla, R. (2013). El diseño de la forma a través del comportamiento estructural en puentes de gran altura [Tesis doctoral]

## **4 Planos**

### **4.1 Sección y perfil de pilas y tablero**

En la tesis no nos propicia las medidas en el inferior de las pilas. Solo nos propicia la de la pila dos, de la cual sacaremos una relación para saber la base del resto de pilas.

Sacamos la relación con una regla de tres: en donde sabemos que el canto aumenta 6,4m cada 100,6m de altura y el ancho aumenta 8,6m cada 100,6m de altura

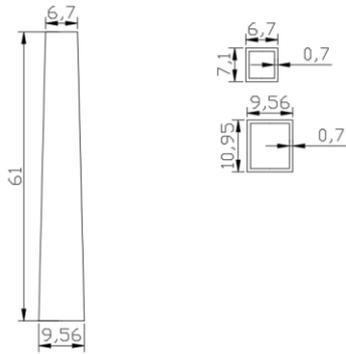


Fig. 50 Pila 1. Perfil sección superior e inferior

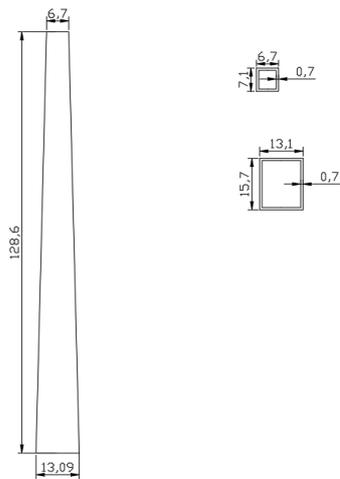


Fig. 51 Pila 2. Perfil, sección superior e inferior

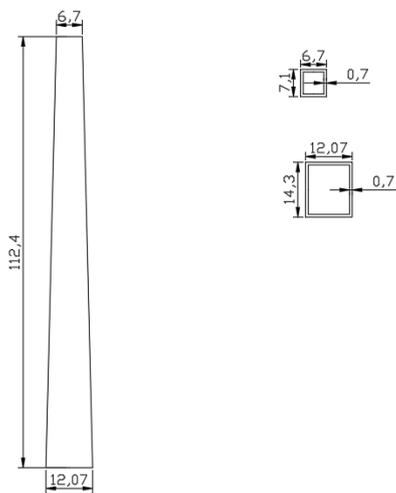


Fig. 52 Pila 3. Perfil, Sección superior e inferior

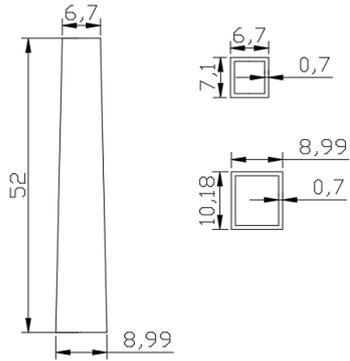


Fig. 53 Pila 4 Perfil, Sección superior e inferior

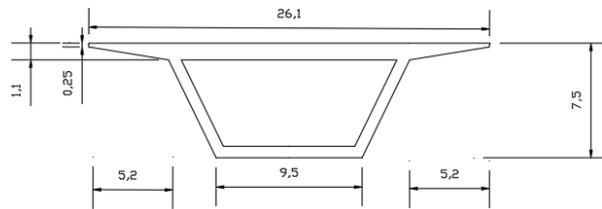


Fig. 54 Sección del tablero

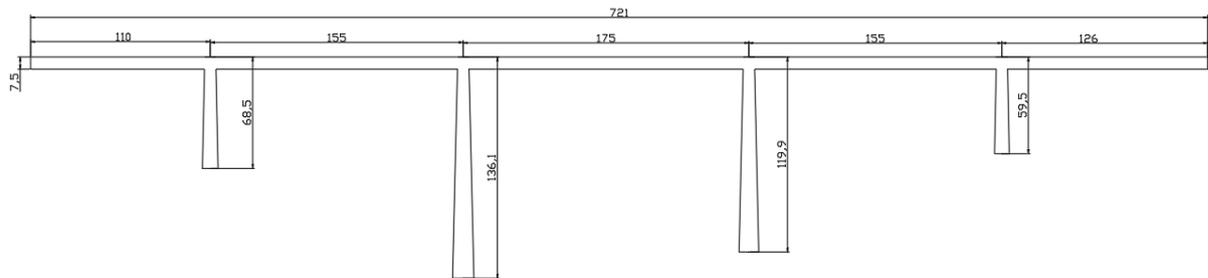


Fig. 55 Medidas del puente con tablero y pilas

## 4.2 Planos de la cimentación de las pilas

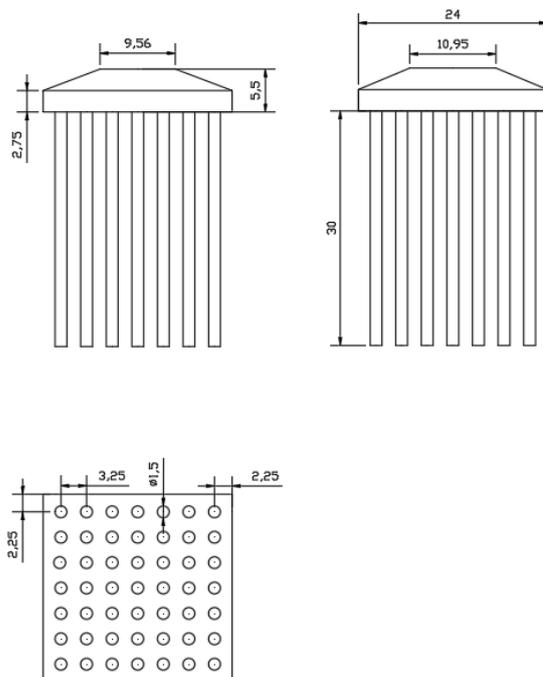


Fig. 56 cimentación Pila 1 Alzado, planta y perfil

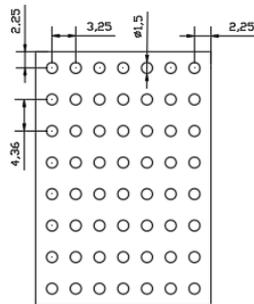
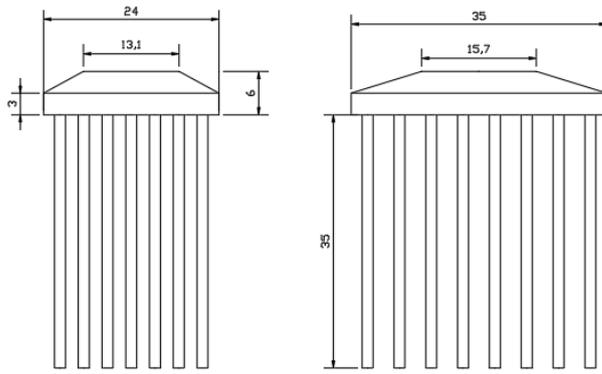


Fig. 57 cimentación Pila 2. Alzado, planta y perfil

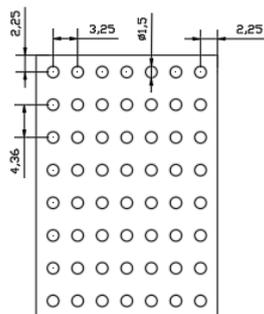
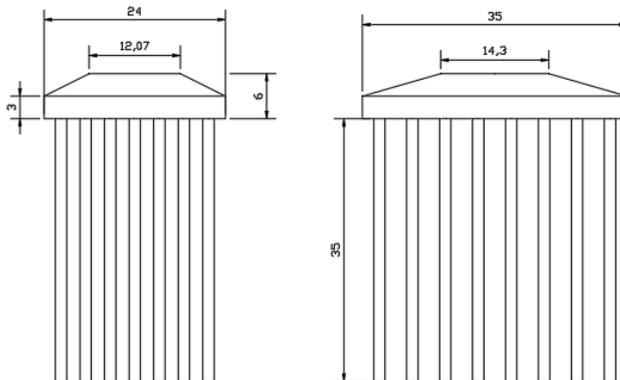


Fig. 58 cimentación Pila 3. Alzado, Planta y perfil

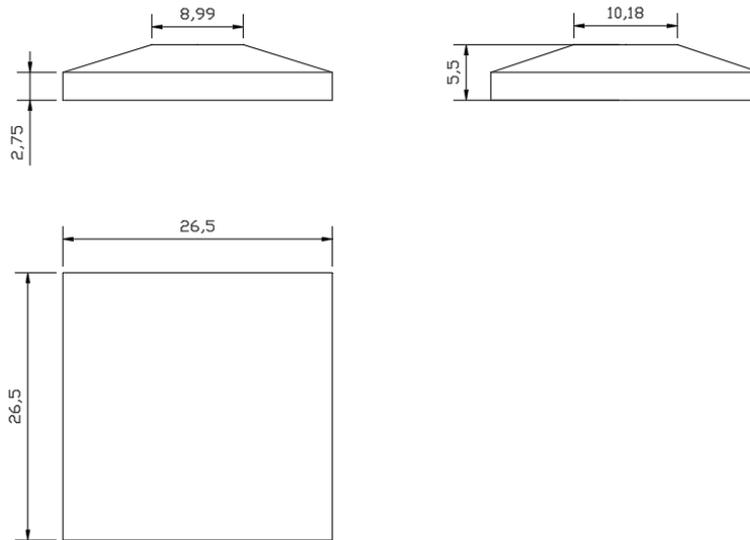


Fig. 59 cimentación Pila 4. Alzado, planta y perfil

### 4.3 Plano de los estribos del viaducto

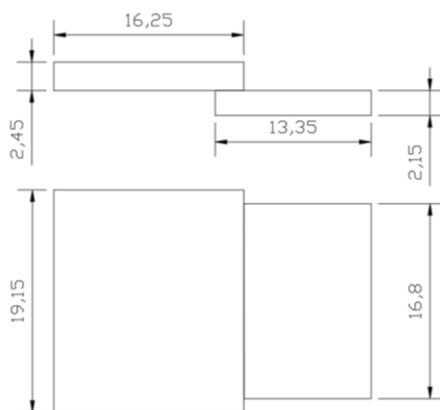


Fig. 60 Estribo 1. Alzado y planta

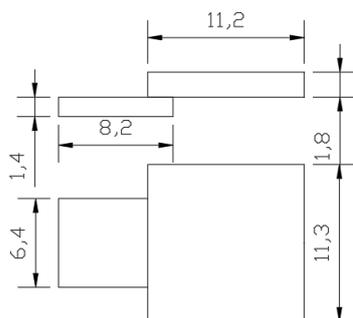


Fig. 61 Estribo 2. Alzado y planta

### 4.4 Sección de camino

La primera imagen muestra la sección del camino, recordemos que el ancho de vía inicial es variable, en este caso hemos cogido 4 m como representativo de todo el camino. Mientras que la sección final será igual para todos los caminos, excepto los que contengan terraplén.



## Sección sin modificar

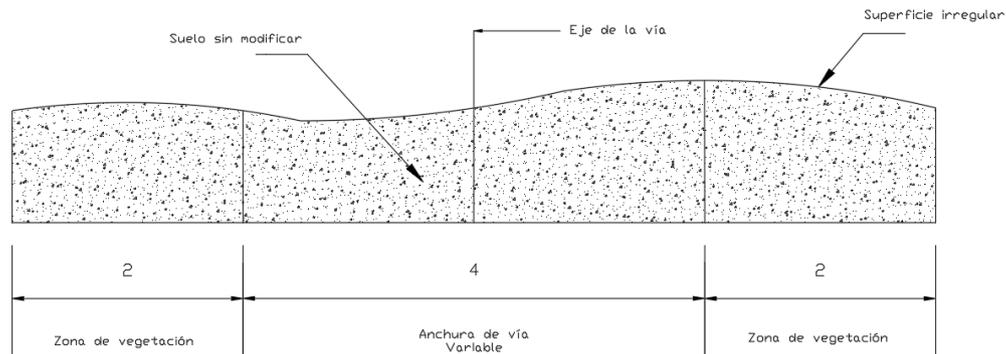


Fig. 62 Sección inicial de los caminos

La primera modificación que realicemos al camino es el ancho de vía, el cual pasa de 4 m a 6 m, aumentamos un metro a cada lado del eje, en determinadas zonas no es posible realizarlo debió al terreno, por lo que se dejara en esas zonas el ancho inicial.

Realizamos una compactación del suelo obteniendo un suelo adecuado compactado al 98% del ensayo Proctor modificado.

Se crea también una pendiente para la circulación del agua hacia las cunetas

Para obtener una pendiente del 2% realizamos la siguiente operación

$$\frac{\text{Dis. Eje } y}{\text{Dis. Eje } x} 100 = \text{Pendiente } \%$$

Sustituimos los valores que conocemos:

$$\frac{y}{3} 100 = 2$$

Obtenemos como resultado que debemos aumentar un 0,06 m en el eje de la vía, trazamos una línea del eje de la vía hasta el borde de la vía, es decir 3 m a cada lado del eje.

Para sacar la pendiente de los bordes de la cuneta utilizamos la misma fórmula, pero en este caso de manera inversa. Obtenemos una pendiente del 30 por ciento.

$$\frac{0.3}{1} 100 = 30$$

La longitud de la cuneta será de 1 m, aunque este valor es variable a lo largo de todo el camino

Resultado del camino final:



## Sección modificada

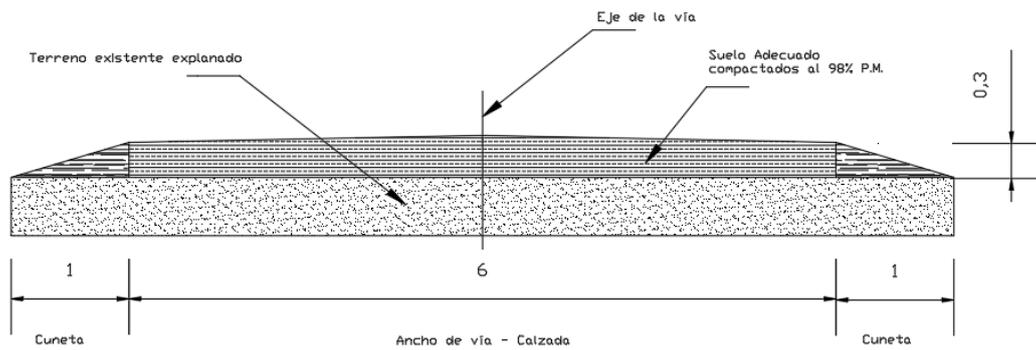


Fig. 63 sección final de los caminos

### 4.5 Sección de los encepados final con micropilotes

#### 4.5.1 Armadura Estribo 1

Armadura de 16 mm es de color azul y armadura de 20 mm es de color rojo.

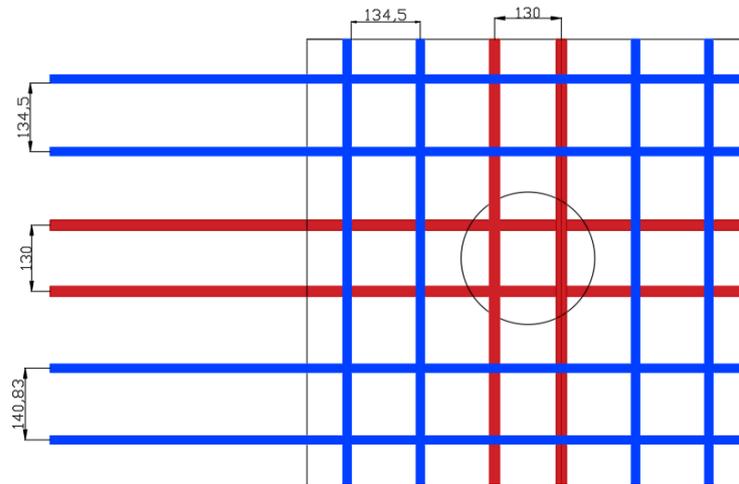


Fig. 64 Armadura Estribo 1, Transversal y longitudinal, Espaciado entre las diferentes barras

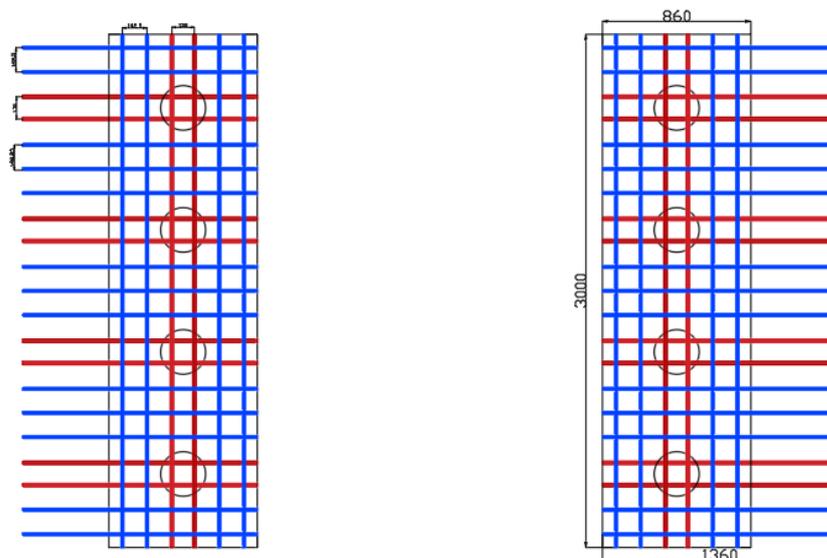


Fig. 65 Armaduras completas del Estribo 1



4.5.2 Armadura Estribo 2  
Idéntica a la del Estribo 1.

4.5.3 Armadura Pila 1

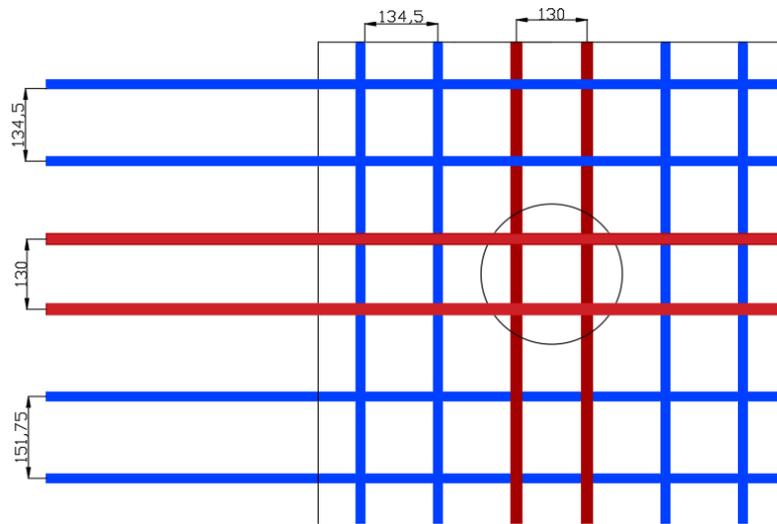


Fig. 66 Armadura Pila 1, Transversal y longitudinal, Espaciado entre las diferentes barras

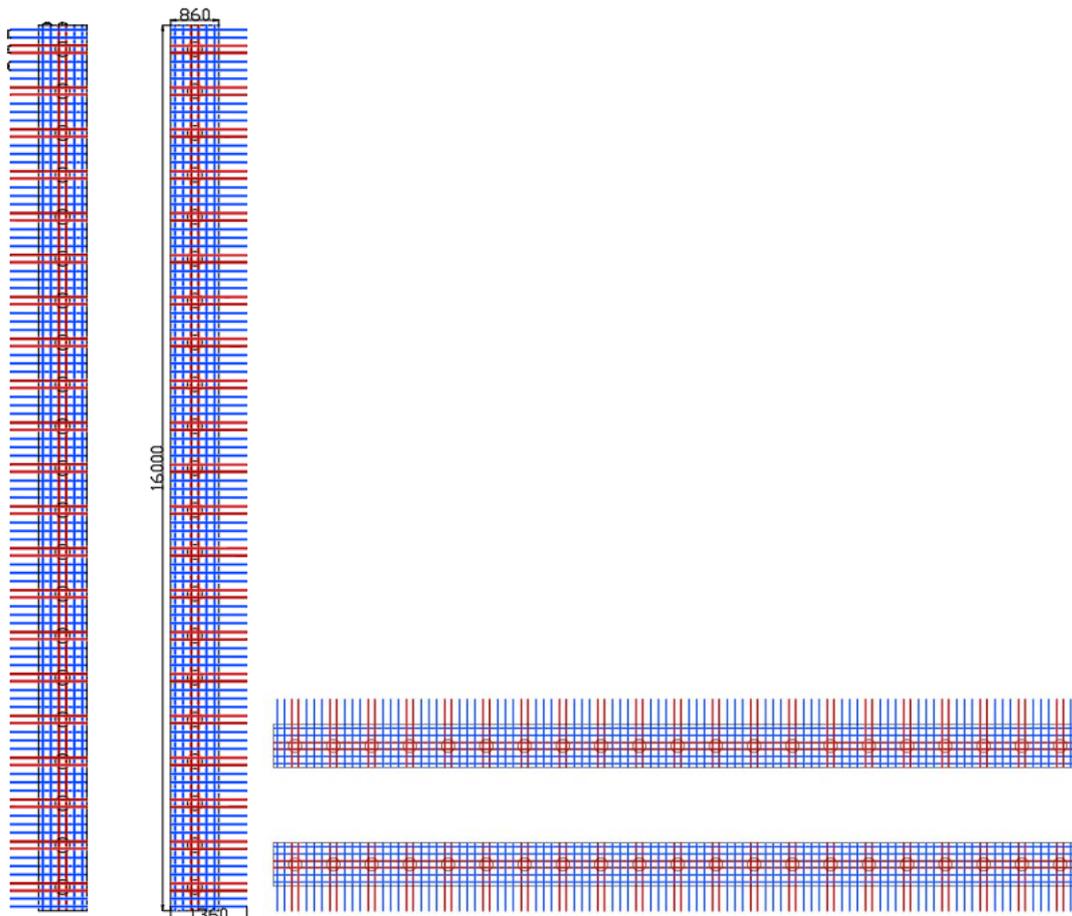


Fig. 67 Armaduras completas de la Pila 1



#### 4.5.4 Armadura Pila 2

##### Lado corto

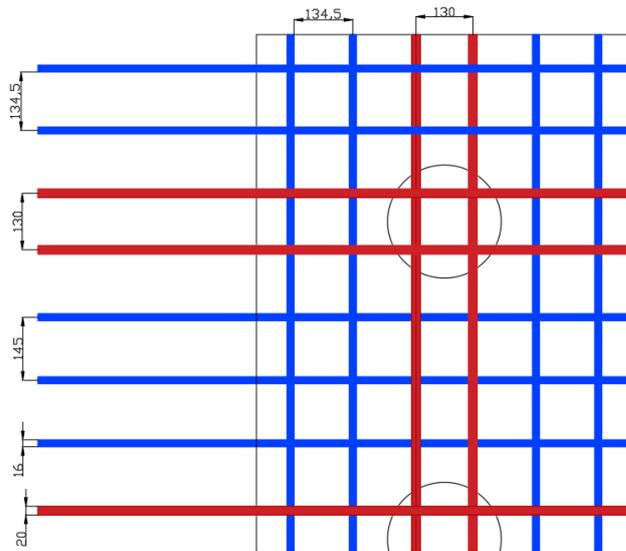


Fig. 68 Armadura Pila 2 lado corto, Transversal y longitudinal, Espaciado entre las diferentes barras

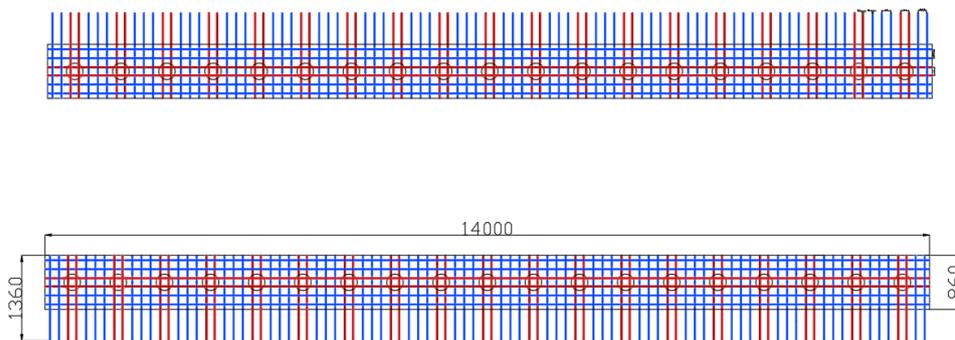


Fig. 69 Armaduras completas de la Pila 2 Lado corto

##### Lado largo

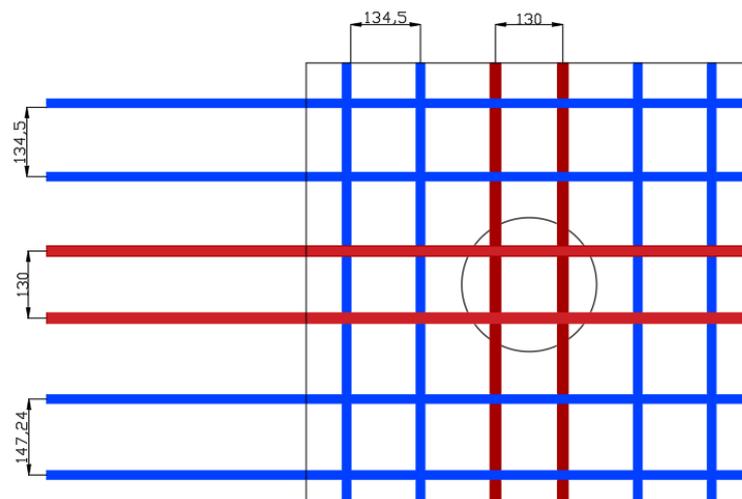


Fig. 70 Armadura Pila 2 lado largo, Transversal y longitudinal, Espaciado entre las diferentes barras

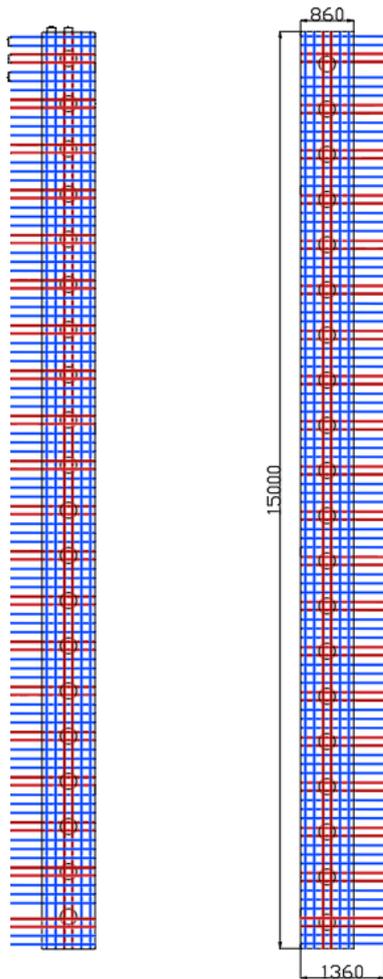


Fig. 71 Armaduras completas de la Pila 2 Lado Largo

4.5.5 Armadura Pila 3  
Idéntica a la de la Pila 2

4.5.6 Armadura Pila 4

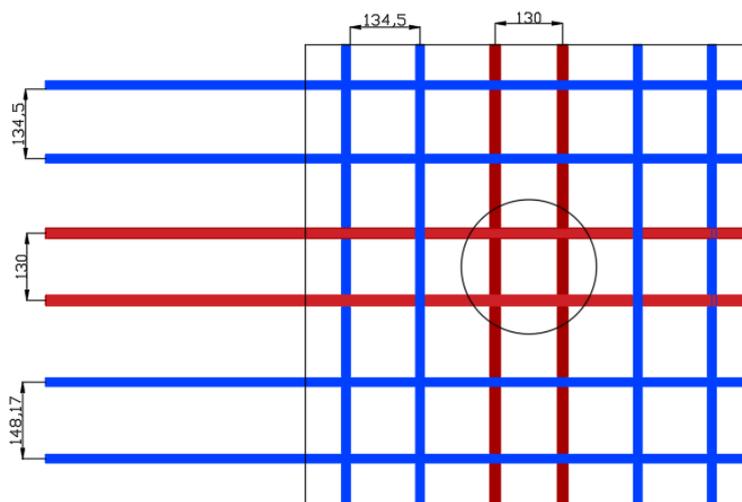


Fig. 72 Armadura Pila 4 con 16 micropilotes, Transversal y longitudinal, Espaciado entre las diferentes barras

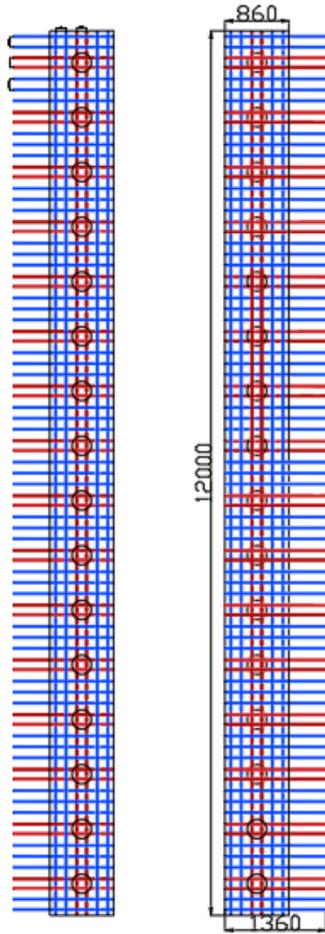


Fig. 73 Armaduras completas de la Pila 4 con 16 micropilotes

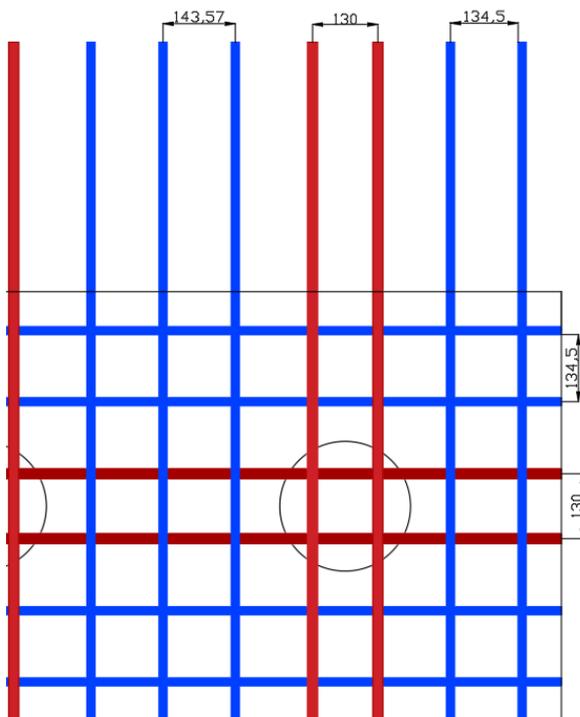


Fig. 74 Armadura Pila 4 con 15 micropilotes, Transversal y longitudinal, Espaciado entre las diferentes barras

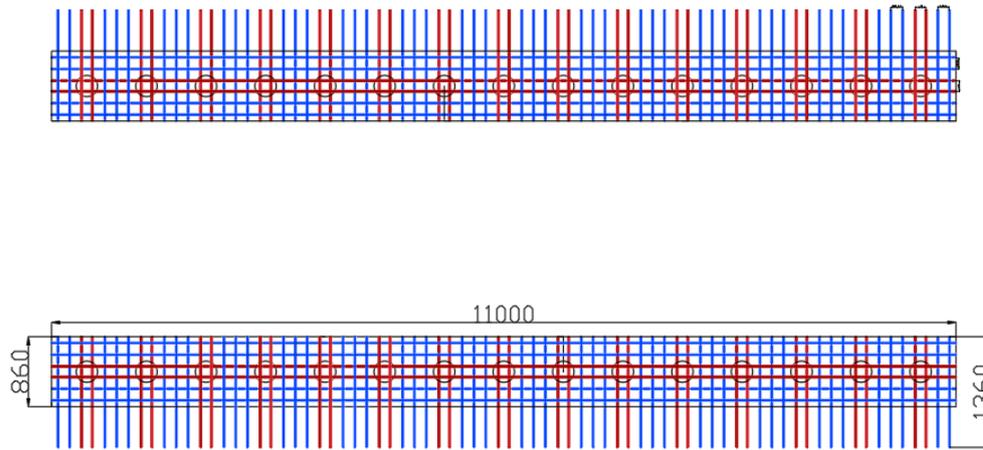


Fig. 75 Armaduras completas de la Pila 4 con 15 micropilotes

#### 4.6 Cimentaciones modificadas

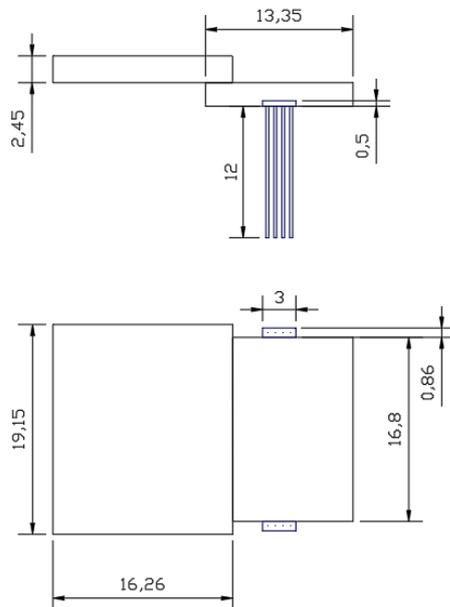


Fig. 76 cimentación Estribo 1 Modificada

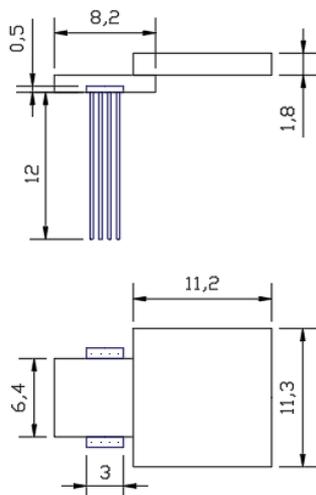


Fig. 77 cimentación Estribo 2 modificada

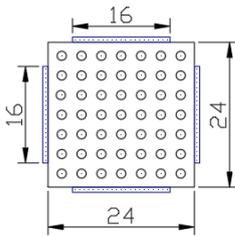
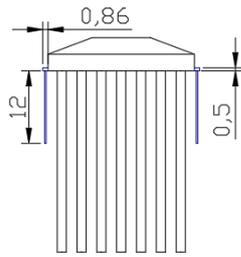


Fig. 78 cimentación Pila 1 Modificada

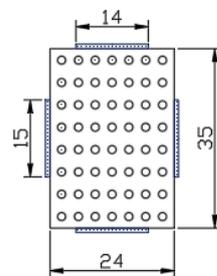
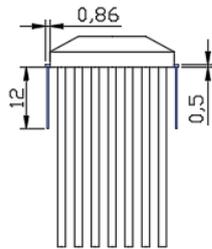


Fig. 79 cimentación Pila 2 y 3 Modificada

#### Pila 4

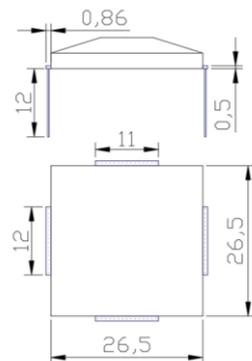


Fig. 80 cimentación Pila 4 Modificada



## 5 Presupuestos

### Capítulo 1. Trabajos previos

Grupo	Resumen	Cantidad	Precio	Importe
1.1	Ud. Acondicionamiento Caminos	1	38.000,00	38.000,00
	Desbroce de caminos		10.000,00	
	Movimientos de tierras		7.000,00	
	Transporte Tierra		6.000,00	
	Acondicionamiento suelo		15.000,00	

1.2	Ud. Acondicionamiento terreno	1	9.000,00	9.000,00
	Desbroce de la superficie		2.000,00	
	Movimientos de tierras		1.500,00	
	Acondicionamiento de suelo		4.000,00	
	Vallado		1.500,00	

1.3	Ud. Realización de talud	2	12.000,00	24.000,00
	Extracción de Tierra		9.000,00	
	Transporte tierra a zona de descanso		3.000,00	

1.4	Ud. Alquiler de terreno	1	3.000,00	3.000,00
	Pago al propietario		3.000,00	

Total 1: 74.000,00

### Capítulo 2. Habilitación zona de trabajo

Grupo	Resumen	Cantidad	Precio	Importe
2.1	Ud. Acondicionamiento base pilas	4	2.000,00	8.000,00
	Desbroce de la superficie de trabajo		600,00	
	Impermeabilización de suelo		1.000,00	
	Transporte de Tierras		400,00	

2.2	Ud. Acondicionamiento base estribos	2	2.000,00	4.000,00
	Desbroce de la superficie de trabajo		600,00	
	Impermeabilización de Suelo		1.000,00	
	Transporte de tierras		400,00	

Total 2: 12.000,00

### Capítulo 3. Elaboración de micropilotes

Grupo	Resumen	Cantidad	Precio	Importe
3.1	Ud. Perforaciones con micropilotes	318	150,00	47.700,00
	Perforación del terreno con micropiladora		150,00	

Total 3: 47.700,00

### Capítulo 4. Hormigón

Grupo	Resumen	Cantidad	Precio	Importe
-------	---------	----------	--------	---------



4.1	m3 Hormigón	304,94	60,54	18461,07
	HA-25 En micropilotes	202,60	60,54	
	HA-25 Encepado	102,34	60,54	

4.2	m3 Mortero Epoxi	20,4	27,85	568,14
	Unión Armadura a antiguo encapado		27,85	

TOTAL 4: 19.029,21

### Capítulo 5. Estructuras metálicas

Grupo	Resumen	Cantidad	Precio	Importe
5.1	Armadura Pilotes	318	70,30	22.355,4
	Perfil Tubular circular S257 de 12m		70,30	

5.2	m Armadura Unión Pilote - Encepado	722,7	2,98	2.153,65
	Acero Corrugado B550S $\varnothing$ 16	722,7	2,98	

5.3	m Armadura Encepado Longitudinal	1428		5.059,88
	Acero corrugado B500S $\varnothing$ 20	476	4,67	2222,92
	Acero Corrugado B500S $\varnothing$ 16	952	2,98	2836,96

5.4	m Armadura Encepado Transversal	1953,24		7.282,43
	Acero corrugado B500S $\varnothing$ 20	864,96	4,67	4039,36
	Acero Corrugado B500S $\varnothing$ 16	1088,28	2,98	3243,07

TOTAL 5: 36.851,36

### Capítulo 6. Seguridad y salud, Plan de control y transportes

Grupo	Resumen	Cantidad	Precio	Importe
6.1	Ud. Estudio de seguridad y salud	1	17.000,00	17.000,00
	Estudio y cumplimiento			

6.2	Ud. Control de calidad	1	7.000,00	7.000,00
	En los materiales empleados en obra			

6.3	Ud. Carga y transporte de material	1	12.000,00	12.000,00
	Transporte de material a obra			

TOTAL 10: 36.000,00

**Coste final de la obra: 225.580,57€**



## 6 Pliego de condiciones

Voy a nombrar las leyes de obligado cumplimiento para la realización del proyecto, dependiendo del tiempo disponible se explicaron o solo se mencionarán ya que las leyes son literales.

Son leyes y tramites de obligado cumplimiento.

### 6.1 Legislación y tramitación

#### **Documentación administrativa**

Previamente la obligación de cumplir un amplio número de disposiciones oficiales.

Con carácter general, será necesaria la intervención de una o varias de las siguientes instituciones:

- Ayuntamiento del municipio donde está situado el proyecto
- Consejería con competencias en Industria, Medio Ambiente y Sanidad de la Comunidad Autónoma o Delegación de Industria
- Compañías suministradoras (energía, agua, etc.)
- Consejería con competencias en Obras Públicas de la Comunidad Autónoma correspondiente o Delegación del Ministerio de Fomento

#### **Colegios profesionales**

La principal responsabilidad de los colegios es supervisar que sus colegiados cumplen la reglamentación vigente y utilizan conocimientos técnicos adecuados tanto para la redacción de los documentos del proyecto como para la dirección facultativa de obras. La colegiación asegura que el titulado firmante tiene capacidad para ejecutar profesionalmente dichos trabajos.

#### **Ayuntamientos**

Las corporaciones municipales están facultadas para redactar dos importantes normativas:

- Plan de Ordenación Urbana.
- Ordenanzas Municipales.

acometida a la red de agua, etc. Todos estos permisos requieren para su obtención del pago de las tasas municipales correspondientes

### 6.2 Licencias para la obra

#### **Licencia ambiental**

La licencia ambiental es concedida por los ayuntamientos y su función principal es autorizar el funcionamiento de la instalaciones objeto del proyecto y está regulada por la LEY 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.

En nuestro caso el régimen de la autorización ambiental no nos afecta ya que nuestras instalaciones no fabrican neumáticos o vehículos automóviles, pero sí que nos afecta el régimen de licencia ambiental ya que en la realización de micropilotes utilizaremos el agua para sacar los materiales del interior del sondeo en forma de lodos, depurarlos y volver a verterlos al río.



## **Régimen de licencia ambiental**

Quedan sometidas al régimen de la licencia ambiental las actividades e instalaciones susceptibles de ocasionar molestias considerables, alterar las condiciones de salubridad, causar daños al medio ambiente o producir riesgos para las personas o bienes.

La solicitud de licencia ambiental, junto con la documentación que se relaciona en este artículo, deberá dirigirse al Ayuntamiento en cuyo término municipal pretenda ubicarse la actividad o instalación.

### **Licencia de obra**

El Real Decreto Legislativo 1/1992, de 26 de junio, denominado “Texto Refundido de la Ley del Suelo” regula en su artículo 242 las actividades sujetas a licencia, estableciendo que todo acto de edificación (obra, reforma, etc.) requerirá la preceptiva licencia municipal.

Muchos ayuntamientos exigen solicitar una serie de permisos provisionales de obra para poder efectuar los trabajos de construcción; contenedores de retirada de escombros, vallado, acometida a la red de saneamiento o pozo biológico,

### **Licencia de apertura (Acta de replanteo)**

Con carácter previo al inicio de las actividades sujetas a autorización y licencia ambiental, deberá obtenerse de la Administración Pública competente para el otorgamiento de la autorización o licencia ambiental, respectivamente, la autorización de puesta en marcha correspondiente.

La Administración Pública competente, una vez solicitada la licencia de apertura, levantará acta de comprobación de que las instalaciones realizadas se ajustan al proyecto aprobado y a las medidas correctoras impuestas.

### **Licencia de primera ocupación**

Una vez concluida la ejecución de las obras del proyecto y antes del uso del edificio es necesario solicitar la denominada licencia de primera ocupación. La licencia de primera ocupación se concede una vez que se ha comprobado que las obras realizadas corresponden con lo aprobado en la licencia de obras correspondiente.

### **Legislación general aplicable**

Cinco grandes grupos:

- Seguridad e higiene
- Medio ambiente: normativa genérica, contaminación atmosférica, aguas, residuos sólidos y ruidos
- Infraestructura y edificación: acciones en la edificación, estructuras de acero, estructuras de forjados, estructuras de hormigón, cemento, cubierta, ladrillo, carpinterías, yeso, etc.
- Instalaciones mecánicas: instalaciones de agua, calefacción, climatización y agua caliente, aparatos a presión, aparatos elevadores, combustibles, etc.
- Instalaciones eléctricas: líneas de alta tensión, acometidas eléctricas, centrales eléctricas, instalaciones de baja tensión, etc.



Las competencias del urbanismo son autonómicas, ya que el viaducto se encuentra en la autovía A-67 que conecta el centro de la península ibérica con Cantabria. Mas concretamente se sitúa entre los municipios de Molledo y Bárcena de Pie de Concha, pertenecientes a la comunidad autónoma de Cantabria.

Por lo que nos tenemos que adaptar a la legislación urbanística de dicha comunidad. Vamos al

### 6.3 BOE código de urbanización de Cantabria

El objetivo del “Código de Derecho Urbanístico” es poner a disposición de los aplicadores de esta rama del derecho administrativo una herramienta eficaz para desarrollar su actividad profesional con la seguridad requerida.

El Código incluye todas las normas de nivel legal y reglamentario que regulan la actividad urbanística, entendida como la función pública que tiene por objeto la ordenación, transformación, conservación y control del uso del suelo, incluidos el subsuelo y el vuelo, y en especial su urbanización y edificación.”

Dentro de esto se encuentra nuestro proyecto por lo que debemos acatar las normativas presente en el documento.

### 6.4 Norma vigente

Incluida en el código que nos **afecta a nuestro proyecto. Esquema.**

- Ley de Cantabria 2/2001, de 25 de junio, de Ordenación Territorial y Régimen Urbanístico del Suelo de Cantabria (BOC 4/07/2001).
- Ley 6/2010, de 30 de julio, de Medidas urgentes en materia de Ordenación del Territorio y Urbanismo.
- Ley 4/2014, de 22 de diciembre, del Paisaje (BOC 29/12/2014).

### 6.5 Código de urbanismo de Cantabria. Ley 2/2001, de 25 de junio, Ordenación Territorial y Régimen Urbanístico del Suelo de Cantabria

Última modificación: 30 de diciembre de 2020 Referencia: BOE-A-2001-16695

1. Así, la Ley se divide en ocho títulos. Un título preliminar, dedicado al objeto, contenido y principios generales, y otros siete títulos Planeamiento Territorial y Urbanístico.
2. Título preliminar, como acaba de indicarse, precisa el objeto, contenido, finalidades, fundamento competencial y principios generales de la Ley.
3. El tercero se refiere al planeamiento urbanístico, singularizando las normas de aplicación directa y los estándares urbanísticos, y contemplando detalladamente el contenido de los distintos tipos de planes: Planes Generales, Planes Parciales, Planes Especiales y otros instrumentos. Su aprobación corresponde, según los casos, a los Ayuntamientos o a la Comisión Regional de Urbanismo.
4. El título II aborda la clasificación del suelo y el régimen jurídico anudado a sus distintas clases. Particular atención se dedica al suelo rústico, desde una perspectiva protectora y, al mismo tiempo, pragmática. Suelo rústico el de especial protección. al régimen restrictivo de la Ley o al que lo sea aún más por aplicación de la legislación sectorial.



5. La previsión de los derechos y deberes de los propietarios en todas las clases de suelo viene impuesta por la legislación estatal y se plasma también en los artículos correspondientes de este título.
6. (9.) Finalmente, el título VII está dedicado a la organización administrativa y al régimen jurídico.

### ***Título preliminar. Finalidades, objeto y principios generales***

#### Artículo 1. Objeto

La regulación de los instrumentos de ordenación territorial, el uso del suelo y la actividad urbanística en la Comunidad Autónoma de Cantabria de conformidad con lo dispuesto en el Estatuto de Autonomía y en el marco del contenido básico del derecho de propiedad del suelo definido en la legislación estatal.

#### Artículo 2. Definiciones básicas.

1. La ordenación territorial planificar y plasmar en el territorio la política económica y medioambiental de la Comunidad Autónoma de Cantabria.
2. La regulación del uso implica la vinculación de las actividades que soporta el terreno
3. La regulación de la actividad urbanística conjunto de actuaciones, públicas o privadas, relativas a la ordenación, ejecución, urbanización, edificación, rehabilitación y conservación de lo edificado

### ***Título I. Planeamiento territorial y urbanístico: instrumentos de ordenación***

#### **Capítulo I.** Planes territoriales y planes urbanístico. Artículo 10. Instrumentos de ordenación.

1. La ordenación del territorio se llevará a cabo mediante el Plan Regional de Ordenación Territorial, las Normas Urbanísticas Regionales y los Proyectos Singulares de Interés Regional.
2. El planeamiento urbanístico será normalmente de ámbito municipal
3. Podrán existir también Planes Especiales cuya función prioritaria será desarrollar o completar el planeamiento territorial

#### **Capítulo II.** Planeamiento territorial. Sección 1.<sup>a</sup> El Plan Regional de Ordenación Territorial. Artículo 11. Plan Regional de Ordenación Territorial.

1. Fijar las directrices para la ordenación del territorio.

#### Artículo 16. Elaboración y aprobación.

Aparatado c) El proyecto de Plan será trasladado a la Comisión Regional de Ordenación del Territorio que lo aprobará inicialmente y lo someterá a información pública por un plazo no inferior a dos meses

#### Artículo 17. Revisión.

Cualquier modificación o revisión del Plan Regional de Ordenación Territorial se tramitará por el mismo procedimiento previsto en el artículo anterior



## Sección 2.<sup>a</sup> Las Normas Urbanísticas Regionales. Artículo 19. Normas Urbanísticas Regionales.

Establecer criterios y fijar pautas normativas en lo referente al uso del suelo y la edificación. En especial establecen tipologías constructivas, volúmenes, alturas, plantas, ocupaciones, distancias, revestidos, materiales, vegetación y demás circunstancias urbanísticas y de diseño, así como medidas de conservación de los recursos naturales, del medio ambiente y del patrimonio cultural.

Las Normas serán de obligado cumplimiento en ausencia de Plan General de Ordenación o como complemento del Plan

### Artículo 21. Ámbito.

El ámbito de las Normas Urbanísticas Regionales será el del territorio de la Comunidad Autónoma.

### Artículo 27. Contenido de los Proyectos

1. Los Proyectos Singulares de Interés Regional contendrán un grado de detalle equivalente al de los Planes Parciales y Proyectos de Urbanización e incorporarán, como mínimo, además de la documentación requerida por la legislación básica estatal, las siguientes determinaciones:

- a) Descripción de la localización del Proyecto y del ámbito territorial de incidencia de este.
- b) Administración pública, entidad o persona jurídica o física promotora.
- c) Memoria justificativa y descripción detallada de la ordenación y de las características técnicas del Proyecto.
- d) Análisis de los impactos que la actuación produce sobre el territorio afectado y medidas correctoras que se proponen.

2. Los Proyectos Singulares de Interés Regional constarán de los documentos y planos necesarios para reflejar con claridad y precisión sus determinaciones.

## **Capítulo III.** Planeamiento urbanístico. Sección 2.<sup>a</sup> Normas de aplicación directa y estándares urbanísticos en el planeamiento municipal

### Artículo 32. Protección del medio ambiente.

1. Asumirá como objetivo prioritario la protección del medio ambiente, su conservación y mejora, prestando especial atención a la utilización racional de los recursos, el abastecimiento y depuración de las aguas, el tratamiento de residuos y, en general, la integración de las construcciones en el entorno circundante, con el designio final de alcanzar un nivel alto de protección.
2. El planeamiento atenderá igualmente con el mismo carácter prioritario los problemas del tráfico y la contaminación acústica.
3. Las construcciones habrán de observar las exigencias de protección del medio ambiente establecidas en la legislación sectorial y los objetivos de los apartados anteriores, que serán también de aplicación a las obras de rehabilitación, modernización.

### Artículo 34. Protección del paisaje.



1. En los lugares de paisaje abierto y natural, en las inmediaciones de las carreteras y caminos de trayecto pintoresco se acentuarán las exigencias de adaptación al ambiente de las construcciones que se autoricen.  
En particular, queda prohibida la publicidad estática que por sus dimensiones, localización o colorido no cumple las anteriores prescripciones.
2. La tipología de las construcciones habrá de ser, además, congruente con las características del entorno. Los materiales empleados para la renovación y acabado de fachadas, cubiertas y cierres de parcelas habrán de armonizar con el lugar en que vayan a emplazarse. Los mismos requisitos se aplicarán a las obras de rehabilitación, modernización o conservación de los inmuebles ya existentes.

### Sección 3.<sup>a</sup> Los Planes Generales de Ordenación Urbana. Artículo 44. Determinaciones mínimas del Plan General

- a) Formulación de objetivos y propuestas generales.
- b) Clasificación y calificación del suelo de su ámbito de aplicación
- c) Previsión de las dotaciones urbanísticas públicas al servicio de toda la población.
- d) Catálogo de elementos arquitectónicos o naturales que deben ser conservados e identificación de las medidas de protección que procedan
- e) Ordenación detallada del suelo urbano consolidado
- f) Relación de usos, edificios e instalaciones que se consideren fuera de ordenación
- g) Identificación de los núcleos de población existentes

### Artículo 50. Determinaciones en suelo rústico.

Prever un régimen de protección diferenciada, debe quedar totalmente garantizada la conservación e incluso mejora de los recursos naturales.

### Artículo 51. Supletoriedad.

En caso de lagunas o insuficiencias del Plan General, éstas serán completadas con las normas de aplicación directa,

### Artículo 52. Documentación.

1. Se desarrollarán en:
  - a) Una Memoria, que tiene carácter vinculante
  - b) Planos de información.
  - c) Planos de ordenación.
  - d) Normas urbanísticas y de edificación
  - e) Estudio económico-financiero
2. El Plan incluirá también el documento en cada caso previsto en la legislación de evaluación ambiental
3. El grado de detalle necesario para justificar las determinaciones del Plan.

### Sección 5.<sup>a</sup> Los Planes Especiales. Artículo 59. Contenido.



Planes Especiales con las siguientes finalidades: Para nuestra importancia solo el apartado a)

- a) Desarrollo de las infraestructuras básicas relativas a las comunicaciones aéreas, terrestres o marítimas.
- b) Protección de zonas de litoral y de montaña.
- c) Abastecimiento y saneamiento de aguas.
- d) Ordenación de residuos.

Artículo 60. Determinaciones.

En ningún caso los Planes Especiales podrán sustituir al Plan Regional de Ordenación Territorial, a las Normas Urbanísticas Regionales

Sección 2.<sup>a</sup> Elaboración y aprobación de los Planes Generales de Ordenación Urbana. Artículo 67. Presupuestos iniciales y orientaciones básicas.

1. Una vez acordada la elaboración del Plan General. Ayuntamiento deberá abrir un período de exposición pública, al objeto de que se puedan formular por cualquier persona sugerencias, observaciones y alternativas globales acerca de la necesidad, conveniencia y oportunidad del planeamiento que se pretende.
2. A efectos de lo dispuesto en el apartado anterior, la Administración actuante hará públicos los presupuestos iniciales del Plan.

Artículo 70. Planes supramunicipales.

Los Planes Generales de Ordenación Urbana que comprendan el término de varios municipios serán formulados de común acuerdo y recibirán la aprobación de los respectivos Ayuntamientos Plenos. Los trámites de información pública se anunciarán asimismo en todos los Ayuntamientos implicados.

## ***Título II. Clasificación y régimen del suelo***

**Capítulo I.** Clasificación del suelo: Disposiciones generales.

Artículo 92. Clases de suelo.

El suelo rústico puede ser suelo rústico de especial protección o suelo rústico de protección ordinaria.

Artículo 93. Clasificación del suelo.

Corresponde al Plan General la clasificación del suelo de todo el término municipal

**Capítulo II.** Determinación y régimen jurídico de las distintas clases de suelo.

Sección 3.<sup>a</sup> Suelo rústico. Artículo 108. Suelo rústico de especial protección.

Los terrenos en los que concurra alguna de las circunstancias siguientes:

- a) Incompatible con su transformación mediante la urbanización debido a sus valores paisajísticos, históricos, arqueológicos, científicos, ambientales, culturales, agrícolas, de riesgos naturales acreditados



- b) Que sean clasificados como tales por los Planes Generales de Ordenación Urbana

El suelo rústico de especial protección quedará sujeto al régimen previsto para este tipo de suelo en los artículos siguientes

Artículo 109. Suelo rústico de protección ordinaria.

1. Los terrenos a los que, no reuniendo los requisitos y características del artículo anterior, el Plan General les reconozca tal carácter con objeto de preservarlos de las construcciones propias de las zonas urbanas y de su desarrollo urbano integral.
2. El suelo rústico de protección ordinaria quedará sujeto al régimen previsto para este tipo de suelo en los artículos siguientes.

Artículo 112. Régimen del suelo rústico de especial protección.

1. En el suelo rústico de especial protección estarán prohibidas las construcciones, instalaciones, actividades y usos que impliquen la transformación de su naturaleza y destino o infrinjan el concreto régimen limitativo establecido por el planeamiento territorial y la legislación sectorial.
2. En ausencia de previsión específica más limitativa que se incluya en la legislación sectorial. En el suelo rústico de especial protección podrán ser autorizadas, con carácter excepcional, las siguientes construcciones, instalaciones, actividades y usos:
  - a) Las que estén vinculadas a la ejecución, entretenimiento y servicio de obras públicas e infraestructuras.
  - b) Las que sean consideradas de interés público o social por la Administración sectorial correspondiente.
  - c) Aquellas en las que se lleven a cabo usos que fuera imprescindible ubicar en suelo rústico bien por ser inadecuado para ello el suelo urbano.
  - d) La ampliación de usos, instalaciones y construcciones cuya ubicación en suelo rústico sea imprescindible por ser la única clase de suelo adyacente adoptándose las medidas de integración paisajística adecuadas.
  - e) Las obras de reconstrucción, restauración, renovación y reforma de edificaciones preexistentes, para ser destinadas a cualquier uso compatible con la legislación sectorial

Artículo 113. Régimen del suelo rústico de protección ordinaria.

En los suelos rústicos de protección ordinaria incluidos en un ámbito regulado por instrumentos de planificación sectorial o territorial, el régimen de usos será el previsto en esos instrumentos, salvo que el planeamiento municipal establezca un régimen más restrictivo.

Artículo 115. Competencia para autorizar construcciones, instalaciones y usos en suelo rústico.

1. La autorización para las construcciones corresponderá a la Comisión Regional de Ordenación del Territorio y Urbanismo (CROTU),



2. No obstante, lo establecido en el apartado anterior, cuando las instalaciones, construcciones y usos se extiendan a más de un término municipal, la competencia corresponderá, en todo caso, a la Comisión Regional de Ordenación del Territorio y Urbanismo.
3. Sin perjuicio de lo establecido en el planeamiento territorial y en la legislación sectorial, se podrán autorizar directamente, mediante la licencia municipal, las siguientes actuaciones: Las obras de mantenimiento, conservación, restauración, renovación y reforma de edificaciones preexistentes que no impliquen cambio de uso ni aumento de volumen.

#### Artículo 116. Procedimiento para autorizar construcciones en suelo rústico.

1. Solicitud del interesado ante el Ayuntamiento, en la que se expresarán las siguientes circunstancias y se acompañará la documentación que se indica a continuación:  
En los supuestos de obras de reconstrucción, restauración, renovación y reforma sobre edificaciones preexistentes previstas en el artículo 112.2.h), y, por remisión, en el artículo 113.2.a), deberá aportarse la documentación, y, en su caso, justificación de la adecuación de la edificación resultante a las características tipológicas y constructivas de una edificación propia del entorno rural que la hagan merecedora de su inclusión en el Catálogo de Edificaciones en Suelo Rústico.
2. Cuanto se trate de la autorización de construcciones, instalaciones y usos que se extiendan por más de un término municipal, el procedimiento será el siguiente:
  - a) Presentación de la solicitud ante la Consejería competente en materia de Urbanismo, acompañando un plano de situación de las instalaciones proyectadas, las autorizaciones que preceptivamente hayan de haberse obtenido conforme a la normativa sectorial de aplicación, así como cualesquiera otros extremos que se estime oportuno acompañar.
  - b) Comunicación a los Ayuntamientos por cuyos términos municipales se extiende la instalación, a fin de que puedan formular alegaciones en el plazo de quince días.

### ***Título III. Ejecución de los Planes de Ordenación***

#### **Capítulo I. Disposiciones generales**

##### Artículo 120. Presupuestos de la ejecución.

En el suelo urbano no consolidado y en el urbanizable delimitado se requerirá la previa aprobación del Plan Parcial que desarrolle el Sector correspondiente o, en su caso, y para el suelo urbano, un Plan Especial de Reforma Interior.

#### **Capítulo VI. Actuaciones integradas**

##### Sección 1.ª Disposiciones generales. Artículo 148. Elección del sistema.

1. La Administración municipal elegirá el sistema de ejecución según sus necesidades y en consideración a los medios económico-financieros con que cuente, su capacidad de gestión, la colaboración de la iniciativa privada y las demás circunstancias que concurran.



2. Cuando el planeamiento correspondiente no precise el sistema de ejecución, su elección se llevará a cabo con la delimitación de la unidad de actuación.

## ***Título V. Disciplina urbanística***

### **Capítulo I. Inspección urbanística**

Artículo 203. Competencia sobre inspección urbanística.

Las Administraciones Públicas competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo y, en particular, los municipios y la Administración autonómica en el ámbito de sus respectivas competencias y conforme a los principios de colaboración y coordinación, ejercerán funciones inspectoras con el fin de comprobar e investigar el cumplimiento de la normativa urbanística y de ordenación territorial.

Artículo 204. Deber de colaboración con la inspección.

Los particulares, promotores, constructores y agentes urbanísticos deberán permitir la inspección de los edificios, fincas, construcciones y anexos al objeto de verificar el cumplimiento del planeamiento y el de las condiciones de la licencia.

## ***Título VI. Instrumentos de intervención en el mercado del suelo***

### **Capítulo I. Patrimonios públicos del suelo**

Artículo 233. Destino.

Los bienes y fondos integrantes del patrimonio municipal del suelo deberán ser destinados a las siguientes finalidades: Conservación, gestión o ampliación del propio patrimonio municipal del suelo.

Artículo 235. Cesiones gratuitas.

Podrán también los Ayuntamientos ceder directamente terrenos del patrimonio municipal del suelo por precio inferior al de su valor, o con carácter gratuito, a favor de entidades privadas de interés público sin ánimo de lucro que vayan a destinarlos a usos de interés social que redunden en beneficio manifiesto de los respectivos municipios.

### **6.6 Código de urbanismos de Cantabria. Ley 6/2010, de 30 de julio, Medidas urgentes en materia de Ordenación del Territorio y Urbanismo**

Resulta obligado aludir a la evaluación ambiental de estas modificaciones. La Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, recoge la posibilidad de que las modificaciones menores de instrumentos de planeamiento puedan no ser sometidas a la evaluación ambiental en atención a los mínimos efectos que van a desplegar sobre el medio ambiente.

### **6.7 Ley 4/2014, de 22 de diciembre, del Paisaje**

#### **Capítulo I. Disposiciones generales**

Artículo 1. Objeto.



1. La presente Ley tiene por objeto el reconocimiento jurídico, así como la protección, gestión y ordenación del paisaje de Cantabria, reconociéndose como un activo de singular valor para la Comunidad Autónoma.
2. La Ley promueve la plena integración del paisaje en todas las políticas sectoriales

#### Artículo 2. Ámbito de aplicación.

Las disposiciones y medidas de la presente Ley se aplicarán a todo el territorio de Cantabria, paisajes rurales, urbanos y periurbanos.

#### Artículo 3. Definiciones.

- a) Paisaje: cualquier parte del territorio tal como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la acción y la interacción de factores naturales o humanos.
- b) Calidad del paisaje: nivel de excelencia de un paisaje, de acuerdo con sus valores, que le confiere un determinado mérito para no ser alterado.

#### Artículo 5. Objetivos.

Los objetivos de la política de paisaje de Cantabria, que servirán como fundamento a todas las actuaciones que se desarrollen con alguna afección al mismo, serán los siguientes:

- a) Reconocer, proteger, gestionar y ordenar el paisaje, a fin de preservar sus valores

#### Artículo 6. Protección, gestión y ordenación paisajística.

Las actuaciones para desarrollar por las Administraciones Públicas en materia de protección, gestión y ordenación de los paisajes tendrán, entre otras, las siguientes finalidades:

- a) La preservación de los paisajes que, por sus valores naturales o culturales, requieran actuaciones específicas e integradas.
- b) El mantenimiento, mejora y restauración de los paisajes rurales.

### **Capítulo III.** Ordenación e instrumentos de actuación paisajística

#### Sección 1.ª Ordenación territorial paisajística. Artículo 10. Ámbitos paisajísticos.

1. Los ámbitos paisajísticos son las grandes unidades de paisaje a escala regional
2. Teniendo en cuenta las características paisajísticas del territorio de Cantabria, se delimitan los siguientes ámbitos paisajísticos: Valle del Besaya.

#### Artículo 11. Unidades de paisaje.

Las unidades de paisaje se delimitarán conforme a los siguientes criterios:

- a) Se definirán a partir de la consideración de los elementos y factores naturales y humanos, que le proporcionan una imagen particular y lo hacen identificable o único.
- b) Configuración del relieve y la hidrografía.



- c) Vegetación y usos del suelo.
- d) Sistema de asentamientos y viario.
- e) Deberán considerar la estructura y fragmentación del paisaje.

## 7 Plan de seguridad y salud

### 7.1 Memoria

#### **Objeto del plan de seguridad y salud**

El presente Plan de Seguridad y Salud servirá para establecer las medidas a adoptar en función de la evolución de la obra por la empresa constructora, para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la prevención de los riesgos laborales.

Este Plan de Seguridad y Salud se redacta considerando ampliamente los riesgos posibles a existir durante la obra, de la forma más exhaustiva posible y sus medidas correctoras.

Destacamos sólo aquellas que son de interés desde el punto de vista preventivo, para detectar los riesgos y adoptar las medidas preventivas oportunas, divididas en protecciones colectivas, y las inherentes a cada tipo de actividad, clasificadas según el índice.

Este Plan de Seguridad y Salud establece, durante la construcción de esta obra, las previsiones respecto a prevención de riesgos de accidentes profesionales, así como las instrucciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores, ya que contiene;

- La identificación de los riesgos laborales que pueden producirse en la obra.
- La especificación de las medidas preventivas para evitar dichos riesgos y evaluando la eficacia de estas.
- Y admitir modificaciones en función del proceso de ejecución de la obra.

Con este Plan se intenta:

- Garantizar la salud e integridad de los trabajadores.
- Evitar acciones o situaciones peligrosas por falta de prevención.
- Delimitar y aclarar responsabilidades en materia de seguridad.
- Definir los riesgos y aplicar las técnicas adecuadas para reducirlos.
- Determinar los costos de los medios de protección y prevención.

#### **Datos de la actividad**

En este apartado deberían ir los datos de la empresa, pero en esta caso como no tenemos una empresa que realice la ejecución del proyecto no adjuntaremos datos en este apartado. En este apartado habría que rellenar con razón social de la empresa, Actividad principal del proyecto, domicilio legal, teléfono...

#### **Datos administrativos**

Numero de personal técnico: 3 (en pico máx. de obra)

Numero de personal administrativo: 2 (en pico máx. de obra)



Numero de personal eventual: 40 Personal esporádico, incluidas contratas y subcontratas

En total: 50 en pico máx. de obra, incluidas contratas y subcontratas

### **Acceso a la obra**

Esta obra se encuentra situada en la cimentación del viaducto del Montabliz, el cual se encuentra en la **comunidad de Cantabria**, perteneciente a un tramo de la **autovía a-67** que comunica a la zona central de la península ibérica con la zona cántabra y asturiana, a continuación, por la N- 611, a continuación, por el pueblo de pie de concha, seguimos por carretera de pujayo y a continuación por caminos con una longitud de 4,32 km.

Los siguientes caminos son los rehabilitados para poder acceder a las cimentaciones de cada pila.



*Fig. 81 Captura Google Earth Caminos rehabilitados*

### **Señalización**

Se debe comenzar por la colocación de las señales de obra. En la zona de ubicación de la obra se instalará un cartel identificativo del carácter especial del uso de la vía, donde se especificará claramente el objeto de la obra, el ejecutor, el contratista, así como las fechas de inicio y fin de esta, esta última será la estimada en el Proyecto de ingeniería, y adicionalmente se instalarán las correspondientes señales de obra comenzando desde el propio vial de acceso hasta en la misma zona.

Con este conjunto de señalizaciones se persigue alcanzar, hacia todos los usuarios de las vías y áreas de la obra, incluyendo a los obreros a ella vinculados; los siguientes objetivos:

- Avisar
- Prevenir
- Ordenar tráfico
- Delimitar zonas
- Prohibir ocupaciones



Todo el personal que acceda a la obra ha de cumplir con las indicaciones resumidas en las pancartas estandarizadas:



Fig. 82 Cartel de EPPs en obra

Durante la ejecución de la obra se deberá señalar la zona en la que se esté trabajando en cada momento. Se ha de prever la colocación de señales con balizas luminosas de “peligro por obras” junto con señales verticales de tipo prohibición, de velocidad máxima de circulación, con limitación de velocidad en cada sentido de circulación.

### Condiciones meteorológicas

Los principales factores que afectan al clima español son dos:

- Geografía; la latitud, así como las variaciones que se experimentan en la variación de estaciones, por otro lado, la influencia del mar y la situación geográfica.
- Atmosféricos; La circulación del aire como el cambio de presiones en el mismo.



Fig. 83 Regiones climáticas de la península ibérica

El viaducto se encuentra en el templado mediterráneo – Océánico costero (Color morado)



## 7.2 Alcance

El alcance de los trabajos comprende todas las operaciones, directas, indirectas y auxiliares, así como la utilización de personal, herramientas y consumibles necesarios para los trabajos correspondientes a Ingeniería, Diseño, Construcción, Suministro y Realización del recalce.

Etapas de construcción:

- Movimiento de tierras – Acondicionar vía de acceso
- Transporte de equipos mecánicos y eléctricos
- Montaje de equipos mecánicos y eléctricos
- Perforación con sondeos
- Introducción de armadura
- Introducción de lechada en el terreno
- Saneamiento de micropilotes.

### **Materiales para utilizar**

Recursos Materiales: Todos los equipos y maquinaria a utilizar estarán debidamente certificados, disponiéndose en obra de la documentación acreditativa de la pertinente certificación.

Estos equipos serán utilizados por personal con la formación y acreditación pertinente en cada caso. Estos equipos podrán ser propios (alquilados, propiedad) como de los que dispongan las subcontratas.

Se deberá mantener y cuidar los materiales en la realización de la obra como dejarlos en perfecto funcionamiento, en el caso de daño o desperfectos se deben reparar o sustituir por uno nuevo.

## 7.3 Evaluación de riesgos

Previo a la ejecución de la partida subcontratada, la empresa encargada entregará un procedimiento específico de trabajo seguro para realizar la tarea que le haya sido asignada en obra. El responsable de Seguridad de la subcontrata revisará y aprobará dicho procedimiento cuando considere que el mismo se adecua a la legislación vigente y recoge las medidas preventivas a aplicar para eliminar el riesgo de que ocurra un accidente durante la ejecución.

Cada procedimiento que se entregue se anexará al presente documento y será de obligado cumplimiento para la contrata y cualquier subcontrata de la misma. Se dará formación a los trabajadores involucrados con los trabajos incluidos en dicho procedimiento.

### **Evaluación genérica de riesgos por tareas.**

De acuerdo con el proyecto y el plan de obra descrito, y en función de los procesos, medios materiales y maquinaria previstos, se han identificado los riesgos que a continuación se describen y para los que el presente plan contempla las medidas de protección que se detallan.

- Movimiento de cargas, grúas, cables y barras.
- Manejo de camiones.
- Manejo de perforadores.
- Manejo de generadores.
- Manejo de bombas de agua.



- Ejecución de perforación.
- Manipulación de lodos.

### **Instalación eléctrica**

Está prevista la necesidad de realizar una instalación eléctrica provisional, con distribución por toda la obra, para uso de maquinaria e iluminación. Se cumplirá en todo momento con la Guía Técnica para la evaluación y prevención de Riesgo eléctrico. Real decreto 614/2001, de 8 de julio. BOE nº 148 del 21 de julio.

Riesgos identificados:

- Electrocutación.
- Mal funcionamiento de equipos y máquinas.

Medidas de protección:

- a) Formación y cumplimiento de normas de seguridad
  - La instalación eléctrica debe ser ejecutada y realizada por personal especializado.
  - Se utilizarán para conexiones solamente cables en buen estado, sin grietas ni peladuras, con conexiones con clavijas macho-hembra, tipo antihumedad.
  - Se dotarán de puesta a tierra todas las máquinas eléctricas y las estructuras metálicas en general.
  - El personal encargado de la realización de estos trabajos deberá poseer una formación acreditada.
  - La sección del cableado será siempre el adecuado para la carga eléctrica que ha de soportar en función del cálculo realizado para la maquinaria e instalación prevista.
  - Los hilos tendrán la funda protectora aislante sin defectos apreciables.
  - La distribución general desde el cuadro general de obra a los cuadros secundarios se efectuará mediante manguera eléctrica antihumedad pudiendo ir enterrada o aérea.
  - Borne de tierra exterior para unir las tierras de las tomas de corriente a la toma de tierra general. Los aparatos desenchufables (radiales, iluminación portátil, etc.) no podrán ser retirados y/o insertados si el circuito principal no ha sido previamente abierto (bloqueo y corte de corriente).
  - La instalación eléctrica de obra cumplirá con lo dispuesto en la legislación vigente.
  - No se deben utilizar herramientas portátiles de cualquier tipo que sobrepasen los 250 voltios con relación a tierra.
  - Para trabajar en zonas próximas a partes activas de la instalación se guardará la distancia mínima de seguridad y se respetarán los obstáculos que impidan todo contacto accidental, especialmente en máquinas, cuadros eléctricos y motores.
  - Protección contra descargas, pararrayos
- b) Medios de protección personal
  - Botas aislantes o calzado de seguridad.
  - Guantes dieléctricos
- c) Medios de protección colectiva



- Armario eléctrico estanco homologado.
- Interruptor diferencial 30 mA.
- Interruptor magnetotérmico.
- Puestas a tierra.

### **Movimiento de maquinaria, de tierras y materiales.**

Riesgos identificados:

- Golpes y atrapamientos.
- Caídas de objetos y materiales.
- Choques y Vuelco de maquinaria.
- Atropellos

Medios de protección:

- a) Formación y cumplimiento de normas de seguridad
- El jefe de obra y/o el encargado responsable de la maniobra, debe comprobar la adecuación y el estado óptimo de la maquinaria para todas las operaciones que se realicen.
  - Se utilizarán vehículos en buen estado, con su documentación en vigor, conducidos por personal dotado del carnet adecuado y autorizados por la empresa.
  - Se respetarán las señales y normas de circulación.
  - En el interior de la obra se circulará sólo por las zonas permitidas, obedeciendo las señales de los encargados.
  - En las zonas de tránsito de vehículos, descarga y descarga de materiales, operaciones con maquinaria, etc., el personal deberá usar chaleco reflectante.
  - Se verificarán las zonas para descarga de material y maniobra.
  - Todos los vehículos dispondrán de indicador sonoro de marcha atrás.
  - Queda prohibida la estancia de personal bajo las cargas
  - Las cargas nunca superaran los límites de la maquinaria y en lo posible realizar sujeciones.
  - Evitar paradas y arranques repentinos
  - Se inspeccionará el recorrido a realizar, buscando baches, pasos estrechos, arquetas y zonas de piso poco estable.
  - Deberá existir un responsable de las maniobras que vigile las operaciones. Asimismo, sólo permanecerá en el lugar de las maniobras el personal imprescindible para la realización de dichos trabajos.
  - Las áreas de maniobra estarán debidamente, señalizadas y acotadas.
  - Mantener las presiones adecuadas en las bombas de aire, agua y lechada.

Con objeto de evitar los riesgos generales existente en una obra se deben cumplir y mantener las siguientes normas de trabajo:

- El personal irá provisto de mascarilla antipolvo, protección antirruidos, y de todos aquellos EPP's recomendados para las diferentes zonas de trabajo.
- El casco será obligatorio en toda la obra, con excepción de las oficinas.



- Todo el personal deberá llevar brazos y piernas cubiertas, así como zapatos de seguridad y gafas contraimpactos, en el caso de realizar perforaciones con agua, llevar botas de agua con protección.
- Las herramientas manuales deberán estar en buen estado de uso, sin desgastes excesivos o deformaciones.
- b) Medios de protección personal
  - Casco homologado.
  - Botas de agua con seguridad.
  - Botas de seguridad.
  - Gafas de seguridad.
  - Ropa impermeable.
- c) Medios de protección colectiva
  - Señalización y balizamiento

### **Manejo de micropiladora**

Se aplicará durante todas las maniobras que se realizaran para cada uno de los micropilotes. Riesgos identificados:

- Vuelco.
- Material desprendido.
- Caída de personal.
- Ahogamiento por polvo.

Medios de protección:

- Formación y cumplimiento de normas de seguridad
- El jefe de obra y/o el encargado responsable de la maniobra, debe comprobar la adecuación y el estado óptimo de la maquinaria.
- La micropiladora serán utilizados por personas que hayan recibido la formación específica.
- La velocidad de la perforación velara por la seguridad del personal.
- En las operaciones solo estará los operarios necesarios
- Señalización de polvo suspendido en aire o lodos, según convenga.
- Gente con problemas respiratorios no podrá acceder a maniobras con aire.
- En operaciones con lodos realizar zanga para su recolección
- Control de funcionamiento de las bombas de aire, agua y lechada.
- No exceder las presiones establecidas.
- Medios de protección personal
  - Casco homologado.
  - Botas de agua con seguridad.
  - Gafas de seguridad.
  - Ropa impermeable.
  - Mascarillas
- Medios de protección colectiva
  - Señalización
  - Zangas de drenaje

### **Riesgos de carácter general y medidas preventivas a aplicar.**

Riesgos y factores

Riesgos por falta de orden y limpieza



- Caídas al mismo nivel
- Caída de objetos
- Golpes contra objetos
- Torceduras
- Incendios

#### Riesgos por falta de iluminación

- Golpes contra objetos
- Caídas al mismo nivel
- Caídas a distinto nivel

#### Riesgos eléctricos

- Electrocuciiones
- Quemaduras

#### Riesgos por proyección de partículas

- Introducción de partículas metálicas en los ojos
- Introducción de partículas de polvo en los ojos
- Introducción de gotas de productos irritantes en los ojos
- Incendio y explosión

#### Riesgos por transporte y manejo de cargas

- Atrapamiento por vuelco de maquinaria
- Golpes contra objetos en movimiento
- Caída de cargas
- Atrapamiento entre piezas

#### Riesgos generales de herramientas, materiales y máquinas

- Cortes
- Atrapamientos
- Electrocuciión
- Golpes contra objetos
- Caídas de objetos
- Quemaduras

#### **Medidas preventivas a aplicar no recogidas en otros apartados.**

##### Orden y limpieza:

Ningún trabajo se considerará terminado hasta que el área quede limpia y libre de condiciones inseguras.

Toda herramienta y maquinaria quedaran en la zona de almacenamiento o la zona para aparcar las maquinarias.

Al finalizar la obra hay que dejar las herramientas y maquinaria completamente limpia y en optimo funcionamiento.

Prohibido dejar las herramientas por las vías de tránsito, tanto de peatones como de vehículos.

##### Iluminación:

Se realizará una primera medición de los puestos de trabajo al inicio de los trabajos, para comprobar que cumple correctamente con el nivel exigible de luz.

##### Ruido:

En ningún caso el trabajador deberá superar los valores límites de exposición de 85 dB(A) y/o 140 dB (C) de valor pico. A partir de los 85 dB será obligatorio el uso de equipos de protección personal (orejeras o protectores auditivos).

Para la medición se utilizará un sonómetro por personal técnico especializado.

##### Trabajos de lechada:

Adecuación de accesos y zonas de paso.



Correcta iluminación del lugar de trabajo.  
Extremar el orden y la limpieza retirando cualquier vertido accidental.  
Utilización de guantes y botas de goma.  
Después de la utilización de la hormigonera se lavará al igual que las tuberías utilizadas.  
El manejo, montaje y desmontaje de la tubería de la bomba de hormigonado, deberá realizarse con máximas precaución.  
Se deberán revisar periódicamente los conductos de aceite a presión de la bomba de  
Hormigonado

#### 7.4 Pliego de condiciones

##### **Criterios generales**

La acción preventiva debe estar integrada en todos los niveles de la obra siendo la responsabilidad exigible directamente proporcional a la capacidad de la toma de decisiones dentro de la obra.

Los responsables de seguridad coordinan, asesoran y apoyan la labor preventiva en todos sus aspectos.

##### **Políticas de seguridad**

Las políticas de seguridad son:

- Política de seguridad, salud y medioambiente
- Política de drogas y alcohol

Estas políticas buscan el compromiso de todo el personal con la seguridad y otros aspectos relacionados con la ejecución del proyecto, debiéndose difundir a todos los niveles organizativos.

##### **Actuación preventiva de carácter específico**

Las empresas participantes en el proyecto formaran a sus trabajadores sobre el Plan de Seguridad, los riesgos dentro del Proyecto, así como de los riesgos propios de los distintos oficios. Esta formación deberá acreditarse y tendrá una duración mínima de 8 horas. Dicha formación será impartida por los responsables de prevención de las empresas.

##### **Recursos preventivos**

Será asignado recurso preventivo a cualquier trabajo o tarea que, presente las condiciones o circunstancias peligrosas, o en alguna medida asociado a riesgos especiales, que hagan necesaria la presencia del recurso preventivo. Antes del inicio de los trabajos se realizará el nombramiento de las personas que actuarán como recursos preventivos, que contarán con un curso específico en materia de seguridad.

Sus funciones básicas serán:



- Vigilar el cumplimiento de las medidas incluidas en el Plan de Seguridad y comprobar la eficacia de éstas
- Conocer y llevar a la práctica este Plan de Seguridad.
- Comprobar la colocación de protecciones colectivas, condiciones, almacenamiento y mantenimiento.
- Informar o asegurarse de que los trabajadores han recibido la receptiva información respecto a los riesgos de su puesto de trabajo.
- Comprobar que los trabajadores disponen de los EPP'S en las debidas condiciones de uso.
- Verificar la documentación de los vehículos y maquinaria de la Obra y que estas son usadas por el personal autorizado.
- Supervisar las condiciones de orden y limpieza, y el cumplimiento de las medidas preventivas establecidas para máquinas y zonas de trabajo en la Obra.

### **Ámbito de aplicación**

Este Plan se aplicará a todo el personal de la contrata principal y de subcontratas en su caso, para la realización de los trabajos en la obra.

### **Formación e información en seguridad**

Todo el personal que trabaje en la obra deberá poseer las cualificaciones necesarias y pertinentes para el desarrollo del trabajo o actividad para el que ha sido contratado.

Las empresas involucradas en este proyecto contratarán sólo a personal de acuerdo con el perfil requerido para el puesto de trabajo.

Uno de los pilares básicos en una gestión preventiva eficiente es la formación / información de los trabajadores.

Se contempla la impartición de formación en obra según la siguiente estructura:

- Formación pre-incorporación.
- Formación Previa
- Formación Breve.
- Formación pre-tarea.

En la Formación pre-incorporación. se informa a los trabajadores sobre las medidas de seguridad asociadas a su puesto, a las instalaciones y la Política de prevención de la empresa, sus responsabilidades, la figura del comunicado de riesgo y la actuación si sufren un accidente en obra. Así mismo, se les explicarán las características de la zona de trabajo en la que han de trabajar y el plan de seguridad respectivo a su puesto de trabajo.

Durante el inicio de la jornada laboral se impartirán formación de seguridad, Formaciones breves (aproximadamente 5 minutos), que explicaran y reforzaran las normas estipuladas en el plan de seguridad, al igual que el mantenimiento



de la maquinaria a utilizar. Estas formaciones serán tipo charlas, las cuales permitan optimizar las habilidades de los trabajadores y disminuir los posibles riesgos, a partir de la información recogida de las inspecciones diarias

Se realizarán formación pre-tarea antes del inicio de cada nuevo trabajo a realizar o cuando los aspectos del mismo trabajo cambien de manera sustancial, estas charlas serán impartidas por el Encargado o jefe de Equipo.

### **Inspecciones de seguridad**

Todas las anomalías que sean detectadas por el encargado de seguridad en obra durante las inspecciones de seguridad que realice, y que necesiten para su corrección, de la aprobación

de la empresa principal, o que interesen a otras empresas contratistas, se mandarán al

responsable de seguridad de la empresa para su solución.

El resto de las anomalías subsanables directamente, serán igualmente resueltas lo antes posible.

Se realizarán inspecciones diarias donde se recogerán las deficiencias observadas y las medidas correctoras a emplear para eliminarlas, en la misma observación se recogerán el tiempo máximo para implementar dicha corrección.

Semanalmente, se realizará una inspección general realizada conjuntamente por jefe de

proyecto de todas las zonas de trabajo en ejecución en la cual se recogerán todas las

deficiencias encontradas y medidas correctoras a aplicar. Estas tendrán un tiempo límite para

su corrección.

#### **7.5 Normas generales de seguridad.**

No se permite el consumo de drogas, sus derivados, sustancias estimulantes o aquellas que afecten a las habilidades de los trabajadores, ni bebidas alcohólicas en el lugar de trabajo.

- Fumar estará prohibido en todas las zonas en las que no esté específicamente autorizado.
- Todo el personal estará informado de la ubicación y uso de todo el equipo de emergencia (extintores, mascarillas, etc.), así como de los equipos de prevención.
- Ante situaciones y acciones inseguras se actuará corrigiéndolas inmediatamente, informando acto seguido al responsable de zona.
- Todas las señalizaciones prohibitivas de tráfico o informativas serán respetadas taxativamente.

Respecto a los vehículos tanto personales como de obra:



- Se deberán respetar todas las normas y señales de seguridad con respecto al tráfico y vehículos.
- Los vehículos (o equipos mecánicos) serán inspeccionados a diario antes de ser utilizados.
- Se respetarán los pasos de cebra y las zonas de paso habilitadas para personas.
- No se trabajará nunca bajo las cargas.

#### 7.6 Instalaciones provisionales.

##### **Instalaciones de higiene y bienestar.**

Las instalaciones provisionales de obra se adaptarán en contenido y características a lo estipulado en la legislación vigente.

1. Los trabajadores dispondrán de agua potable en cantidad suficiente, tanto en los locales que ocupen como cerca de los puestos de trabajo. El servicio de agua se organizará mediante grifos de agua corriente, máquinas expendedoras gratuitas, fuentes o surtidores de agua o en recipientes limpios en calidad suficiente y en perfectas condiciones de higiene.
2. Se habilitará una zona dentro del recinto para situar las casetas para los servicios de higiene y bienestar de sus trabajadores que participen en las obras.
3. Estos servicios se mantendrán en perfecto estado de limpieza e higiene.
4. Los locales estarán dimensionados de manera que exista espacio suficiente para el número de personal que intervendrá en la obra.

##### **Vestuario**

La superficie recomendable de los vestuarios es de 2,00 m<sup>2</sup> por trabajador que deba utilizarlos simultáneamente. En esta superficie se incluirán las taquillas, así como los asientos, siempre que ello permita la utilización de las instalaciones sin dificultades o molestias para los trabajadores. La altura mínima será de 2,50 m. El mobiliario, taquillas y bancos, estarán siempre aptos para su utilización.

##### **Aseos**

Se instalará una caseta prefabricada de dimensiones adecuadas, dotada de iluminación natural y artificial, con ventilación natural, albergando los siguientes servicios y en base a los turnos:

- 1 inodoro /25 hombres o fracción y 1 Inodoro/15 mujeres o fracción.
- 1 ducha /30 trabajadores o fracción.
- 1 lavabo /10 trabajadores o fracción.
- 1 espejo por cada lavabo.

Los retretes serán cerrados, estarán separados para hombres y mujeres, ventilados al exterior con ventilación natural o forzada. Las dimensiones mínimas son 1,00 x 1,20 x 2,30 m de altura, con puerta de acceso y una percha. Estarán dotados de descarga automática de agua corriente y papel higiénico.



Las duchas y los lavabos dispondrán de agua corriente fría y caliente. Las duchas serán cerradas con puerta y cierre interior y serán de uso exclusivo para tal fin. Las dimensiones mínimas del plato serán 70 x 70 cm. Los suelos, paredes y techos de los aseos, serán continuos, lisos, e impermeables, enlucidos en tonos claros y con materiales que permitan el lavado con líquidos desinfectantes o antisépticos, con la frecuencia necesaria. Todos sus elementos, tales como grifos, desagües y rociadores de duchas, estarán siempre en perfecto estado de funcionamiento. Si los aseos y los vestuarios estuvieran separados, la comunicación entre unos y otros deberá ser fácil.

### **Comedor**

Si se previera que los trabajadores coman en el centro de trabajo, se acondicionará una caseta prefabricada con superficie suficiente para emplearse como comedor (superficie recomendable del comedor es de 2,00 m<sup>2</sup> por trabajador/turno). La altura mínima del comedor será de 2,30 metros.

Dicha instalación contará con ventilación, temperatura e iluminación adecuada, mesas, bancos de madera, una toma de agua potable y una pila fregadero, así como un microondas y un cubo con tapa para depositar los desperdicios. En invierno estará dotado de calefacción. Los comedores estarán completamente separados de los locales de trabajo y serán reservados únicamente para comer.

### **Oficina de obra-Almacén**

La oficina contará con la superficie adecuada para el personal previsto en la misma, disponiendo de ventilación natural, así como iluminación natural y artificial. Dispondrá del mobiliario adecuado.

En esta caseta se instalará otro Botiquín de Urgencia. La ubicación de este se señalará convenientemente. También se instalará un extintore de polvo de 6 Kg, señalizando en el exterior su ubicación. Debido a que esta instalación alberga uno de los extintores y un botiquín, se encontrará siempre abierta o por el contrario siempre existirá un trabajador en la obra que dispondrá de la llave para abrirla.

En el exterior de la oficina o en los vestuarios y de forma bien visible, se colocará una ficha con las direcciones, itinerarios y teléfonos de los centros sanitarios más cercanos a la obra y otros teléfonos de interés con el fin de garantizar una rápida evacuación y atención de los posibles accidentados.

## **7.7 Medicina preventiva y asistencia medica**

### **Asistencia sanitaria**

En lugares bien visibles, se dispondrá de una lista con los teléfonos y direcciones de los centros asignados para urgencias, ambulancias, taxis, etc. Para garantizar un rápido transporte de los posibles accidentados se contará como primera intervención con los Servicios Médicos más cercanos.

### **Botiquín**

Cualquier necesidad de asistencia de botiquín o servicio médico será atendida por los servicios



médicos más próximos o personal formado adecuadamente pertenecientes a la obra.

Existirá un botiquín de obra en el centro de trabajo, donde se ubicará un armario en pared con la dotación necesaria para primeras curas.

### **Instrucciones generales en caso de emergencia.**

Se atenderá a lo recogido en el Plan de Emergencias de la instalación.

Las situaciones de emergencia deberán ser comunicadas inmediatamente a los responsables en la obra para poder alertar al resto de los trabajadores que permanecen en ella.

Se seguirán las normas establecidas en la obra en la aparición de estos hechos.

Se dispondrá en obra de planos indicando las vías de evacuación, puntos de reunión y la disposición de los medios de extinción en caso de emergencia.

### **Recomendaciones generales de primeros auxilios**

Cuando se produzca un accidente, se observarán las siguientes normas:

- 1) Debe actuarse rápidamente, pero con serenidad.
- 2) Debe apartarse del lugar a curiosos y demás personas no necesarias.
- 3) Cuando hay varios lesionados, es muy importante percatarse de cuál de ellos necesita ayuda en primer lugar. Para ello hay que seguir este orden, ante todo: hemorragias, asfixia, intoxicación o envenenamiento
- 4) Si persisten las causas que han determinado el accidente, es necesario tomar las medidas necesarias para evitar la propagación del siniestro. A este fin el personal debe conocer el emplazamiento de los interruptores de corriente eléctrica, extintores de incendios, y en general, de todo tipo de material de salvamento.
- 5) Una persona que ha perdido el conocimiento debe ser acostada con la cabeza al mismo nivel que el resto del cuerpo. Si tiene la cara congestionada (roja), entonces la cabeza debe levantarse. Si presenta palidez, se le levantarán ambas piernas. Si presenta vómitos, se mantendrá la cabeza de lado.
- 6) Hay que abrigar al lesionado y desabrochar o aflojar cualquier prenda que pueda oprimir, aunque sea ligeramente.
- 7) Hay que manejar al herido con precaución siendo muy importante que se le tranquilice y anime.
- 8) Cuando la ropa cubra cualquier parte del cuerpo donde se sospeche existe lesión, debe eliminarse esta parte de la prenda cortando o rasgando la tela. En las quemaduras, cuando la ropa este pegada a la piel, es preferible no tocarla.
- 9) No debe administrarse bebida alguna a una persona inconsciente. Aún recobre el conocimiento no deben suministrarse bebidas alcohólicas.
- 10) En caso de ser posible, es preferible que el médico se desplace al lugar del accidente, debiendo esperar su llegada, con la mínima movilización del afectado.