

## **PILOTES PREFABRICADOS CK**

**55 APARTAMENTOS  
SAN SEBASTIÁN  
(GUIPÚZCOA)**



**ÍNDICE**

- 1 INTRODUCCIÓN Y DATOS DE PARTIDA**
- 2 TERRENO DE CIMENTACIÓN Y SOLUCIÓN PROPUESTA**
- 3 CÁLCULO DEL PILOTAJE**
- 4 CÁLCULO DE ENCEPADOS**

**ANEJO I: RESULTADOS DEL CÁLCULO**

**ANEJO II: NOTA TÉCNICA GENERAL**

**ANEJO III: PLANOS**

## **1 INTRODUCCIÓN Y DATOS DE PARTIDA**

En la presente nota técnica se resume el estudio de la cimentación con pilotes prefabricados de los 55 apartamentos situados en el paseo de Mons, San Sebastián (Guipúzcoa).

Los datos fundamentales que han servido de base para el estudio han sido los siguientes:

- Cargas sin mayorar en arranques de pilares según planos de cimentación.
- Estudio geotécnico realizado por **LURTEK**, con fecha julio de 2014 y nº de referencia EG-141336.
- Planos de planta de la solución de cimentación inicialmente proyectada.

## **2 TERRENO DE CIMENTACIÓN Y SOLUCIÓN PROPUESTA**

El subsuelo del solar donde se ubica la obra está formado por un primer nivel de rellenos muy heterogéneos que varían entre 4 y 7 metros de espesor. Por debajo aparece un suelo aluvial de espesor 3,5 metros. Y la última capa sondeada está compuesta por un macizo rocoso correspondiente a una alternancia de calizas, calizas arcillosas, calizas arenosas y argilitas.

En este escenario, la necesidad de tener garantía de haber alcanzado un estrato de suficiente resistencia hace proponer como solución óptima una cimentación profunda mediante pilotes prefabricados hincados.

Los pilotes se hincarán, por tanto, a “rechazo”, hasta alcanzar una capacidad portante adecuada para las cargas que han de soportar, lo que ocurrirá en el macizo rocoso.

El proceso de hinca, que constituye una prueba de carga dinámica, nos suministra información respecto a la resistencia del suelo: cuanto más pequeña es la penetración permanente,  $s$ , de un pilote bajo un golpe del martillo con una energía cinética,  $E_k$ , más grande es la resistencia del suelo,  $R_u$ , que se opone a la penetración del pilote.

Este concepto ha sido usado durante más de cien años en las llamadas fórmulas dinámicas. Estas fórmulas relacionan, por tanto, la penetración permanente del pilote, al transmitirle un impacto mediante el martillo en unas condiciones preestablecidas, con la capacidad portante del mismo.

En consecuencia, la necesidad de alcanzar una determinada profundidad vendrá establecida por el valor de penetración realmente medido en cada pilote. Si este valor no alcanza el calculado para la capacidad portante que buscamos, el pilote se seguirá hincando hasta alcanzarlo.

La interpretación de los valores de penetración por golpe se puede realizar mediante cualquiera de las fórmulas de hinca sancionadas por la práctica; como norma general, el rechazo “e” (penetración por golpe) necesario para garantizar una determinada capacidad portante se calcula mediante la fórmula holandesa.

$$R_d = \frac{M^2 \cdot H}{e \cdot A \cdot (P + M)}$$

Donde:

$R_d$  = Resistencia dinámica en N/mm<sup>2</sup>.

$M$  = Peso de la maza en N.

$P$  = Peso del pilote en N.

$e$  = Rechazo por golpe, en mm.

$H$  = Altura de caída de la maza en mm.

$A$  = Área de la sección del pilote en mm<sup>2</sup>.

La fórmula holandesa se afecta de un coeficiente de minoración de 6 a 10.

### **3    CÁLCULO DEL PILOTAJE**

El cálculo del pilotaje se ha realizado tanto desde el punto de vista estructural como geotécnico; los criterios esenciales empleados son los siguientes:

#### **Estudio estructural**

En general, los pilotes prefabricados son elementos estructurales de cimentación muy esbeltos, con elevada resistencia a compresión y mucho menor a cortante y flexión; por ello, las cimentaciones pilotadas se proyectan de forma que los pilotes trabajen esencialmente a compresión (se evita, siempre que sea posible, que los pilotes trabajen a tracción, para evitar la disminución de la resistencia simultánea a cortante), y se coloca bajo cada pilar el número y tipo de pilotes adecuados para que no se supere su resistencia estructural.

El estudio de un pilote como elemento de hormigón armado prefabricado permite obtener su resistencia a compresión (denominada "Tope estructural"), tracción, cortante y flexión. El cálculo detallado y los valores admisibles se han recogido en el anexo II de esta nota. A continuación se detallan los aspectos esenciales del cálculo.

#### **Tope estructural (Resistencia a compresión):**

Con las recomendaciones del Código Técnico de la Edificación (CTE-2006) y teniendo en cuenta las características del hormigón de los pilotes, el tope estructural unitario se fija en 15 MPa; por lo tanto, para los pilotes utilizados en la obra se tiene:

CK - 270 ----- Te = 1126 kN

CK - 300 ----- Te = 1390 kN

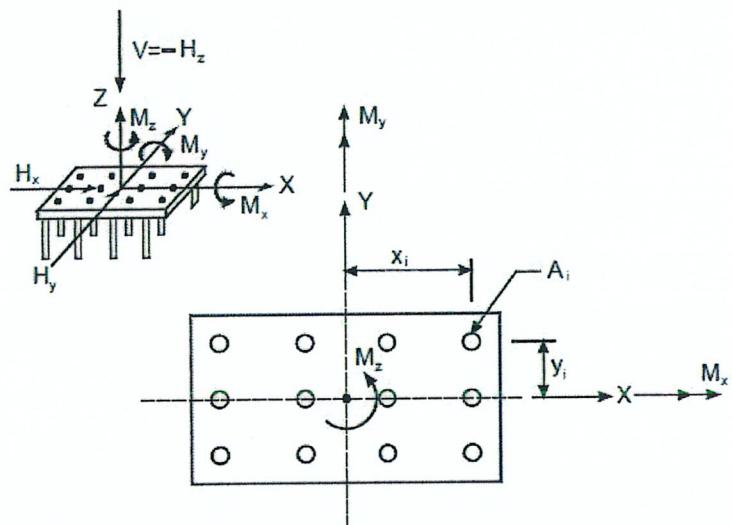
CK - 350 ----- Te = 1893 kN

Estos valores se comparan con las cargas sin mayorar de la estructura o mayoradas por 1, como establece el CTE.

### Resistencia a flexión y cortante:

Los cálculos de resistencia a flexión y cortante para cada sección se adjuntan en el apartado 5, Nota Técnica General de pilotes prefabricados CK.

Para obtener los esfuerzos en cada pilote de un encepado, se deben repartir las acciones transmitidas por la estructura entre todos los pilotes del mismo. El reparto de cargas se realiza con los criterios básicos indicados en el CTE:



Resultante de las acciones

Vertical =  $V$       Horizontales =  $H_x$ ,  $H_y$       Momentos =  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$

Reparto entre pilotes

$$\text{Compresión} \quad N_i = \frac{A_i}{\sum A_i} \cdot V \pm \frac{A_i y_i}{\sum A_i y_i^2} \cdot M_x \pm \frac{A_i x_i}{\sum A_i x_i^2} \cdot M_y$$

$$\text{Cortantes} \quad H_{xi} = \frac{A_i}{\sum A_i} \cdot H_x \pm \frac{A_i^2 y_i}{\sum A_i^2 (x_i^2 + y_i^2)} \cdot M_z$$

$$H_{yi} = \frac{A_i}{\sum A_i} \cdot H_y \pm \frac{A_i^2 x_i}{\sum A_i^2 (x_i^2 + y_i^2)} \cdot M_z$$

El valor de cortante considerado en la parte de muro de un sótano situado encima de los pilotes hincados alcanza un valor de 4,55 t/ml. Para nuestro caso particular en donde se sitúan encepados dobles con un vano medio de 5,35 entre encepados, el valor total por encepado de empuje es de 24,4 t, lo cual hace necesario atar a un número total de 5 pilotes.

### **Solución final adoptada**

La estructura consta de pilares que según el proyecto de ejecución transmitirán a la cimentación las cargas verticales sin mayorar que se adjuntan en el plano de planta de cimentación con la nueva solución.

Teniendo en cuenta los criterios arriba explicados se han dispuesto el número suficiente de pilotes para absorber los esfuerzos transmitidos por la estructura. La losa distribuirá los esfuerzos horizontales debido al empuje de tierras en la zona donde no se sitúa la pantalla continua.

Debido a la heterogeneidad de los rellenos con presencia de restos de azulejos y gravas centimétricas, se ha seleccionado una sección mínima CK-270 para así reducir inclinaciones o roturas. Además en previsión de obtener longitudes de pilotes cercanas a las mínimas exigidas en el CTE, se ha optado por emplear un mínimo de tres pilotes por encepado en aquellos que se ven sometidos a solicitudes elevadas, y así conseguir homogeneizar la carga entre tres pilotes por pilar.

En el plano de planta y detalles se adjunta la solución adoptada.

#### **4    CÁLCULO DE ENCEPADOS**

En este tipo de elementos no es aplicable la teoría general de flexión y es necesario definir un modelo de bielas y tirantes, de acuerdo con los criterios indicados en el Artículo 24º de la EHE-08, y dimensionar la armadura y comprobar las condiciones en el hormigón, de acuerdo con los requisitos establecidos en el Artículo 40º de la EHE-08.

Para cada caso debe plantearse un modelo que permita establecer el equilibrio entre las acciones exteriores de la estructura y las reacciones de los pilotes.

Para las situaciones más frecuentes la EHE-08 desarrolla algunos modelos de bielas y tirantes.

En encepados de tres pilotes en línea se proyecta una armadura principal en la cara inferior del encepado para resistir la siguiente tracción de cálculo:

$$T_d = \frac{N_d(v + 0.25a)}{0.85d} = A_s f_{yd}$$

Donde  $N_d$  corresponde al axil de cálculo del pilote más cargado,  $v$  es el vuelo entre el eje del pilote y la cara más próxima del pilar y  $a$  es la anchura del pilar. La tensión de cálculo del acero nunca será superior a 400 N/mm<sup>2</sup>. El canto útil del encepado es  $d$ .

Para mayor generalidad los encepados se suelen calcular suponiendo que el axil de cálculo del pilote más cargado coincide con su tope estructural mayorado y que la dimensión del pilar es la mínima admisible por la norma. La separación entre pilotes es aproximadamente 2,50 diámetros equivalentes (por área).

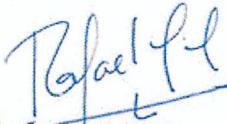
La armadura secundaria consistirá según la norma en una armadura longitudinal dispuesta en la cara superior con una capacidad mecánica no inferior a 1/10 de la capacidad mecánica de la armadura inferior. Asimismo, se dispondrá una armadura horizontal y vertical en retícula en las caras laterales con una cuantía, referida al área de la sección de hormigón

perpendicular a su dirección de como mínimo 4%. Esta armadura puede reducirse si se disponen vigas da arriostramiento. Si el ancho supera a la mitad del canto, la sección de referencia se toma como ancho igual a la mitad del canto.

Con estas premisas se calculan los encepados de pilotes, que se adjuntan en el plano de encepados y detalles.

**RODIO KRONSA S.L.**



  
Rafael Gil Lablanca  
ICCP Departamento Técnico  
Colegiado Nº: 12.743

	COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS DE MADRID
151967	28 NOV 2016
VISADO	MEMORIA DE CALCULO A COMPLETAR CON EL CORRESPONDIENTE PROYECTO DE CONSTRUCCION

ANEJO I: RESULTADOS DEL CÁLCULO

---

PILOTES PREFABRICADOS CK 55 APARTAMENTOS EN MONS  
SAN SEBASTIÁN (GUIPÚZCOA)

AGOSTO 2016  
NT-DT-765-2016-C

PILAR	N [t]	N <sub>ENC</sub> [t]	N <sub>t</sub> [t]	PILOTAJE	Axil pilote
P1	175,00	4,30	179,30	3 CK-270	59,8
P2	220,00	4,30	224,30	3 CK-270	74,8
P3	250,00	4,30	254,30	3 CK-270	84,8
P4	215,00	4,30	219,30	3 CK-270	73,1
P5	370,00	5,29	375,29	3 CK-300	125,1
P6	480,00	7,12	487,12	3 CK-350	162,4
P7	370,00	5,29	375,29	3 CK-300	125,1
P8	110,00	4,30	114,30	3 CK-270	38,1
P9	140,00	4,30	144,30	3 CK-270	48,1
P10	140,00	4,30	144,30	3 CK-270	48,1
P11	110,00	4,30	114,30	3 CK-270	38,1
P12	110,00	4,30	114,30	3 CK-270	38,1
P13	440,00	7,12	447,12	3 CK-350	149,0
P14	370,00	5,29	375,29	3 CK-300	125,1
P15	295,00	4,30	299,30	3 CK-270	99,8
P16	340,00	5,29	345,29	3 CK-300	115,1
P17	320,00	5,29	325,29	3 CK-300	108,4
P18	470,00	7,12	477,12	3 CK-350	159,0
P19	90,00	2,89	92,89	2 CK-270	46,4
P20	150,00	4,30	154,30	3 CK-270	51,4
P21	370,00	5,29	375,29	3 CK-300	125,1
P22	270,00	4,30	274,30	3 CK-270	91,4
P23	270,00	4,30	274,30	3 CK-270	91,4
P24	190,00	4,30	194,30	3 CK-270	64,8
P25	205,00	4,50	209,50	2 CK-350	104,8
E1	50,00	2,89	52,89	2 CK-270	26,4
E2	100,00	2,89	102,89	2 CK-270	51,4
E3	50,00	1,36	51,36	1 CK-270	51,4
E4	100,00	2,89	102,89	2 CK-270	51,4
E5	115,00	2,89	117,89	2 CK-270	58,9
E6	115,00	2,89	117,89	2 CK-270	58,9
E7	100,00	2,89	102,89	2 CK-270	51,4
E8	100,00	2,89	102,89	2 CK-270	51,4
ASC.1	147,50	1,82	149,32	1 CK-350	149,3
ASC.2	147,50	1,82	149,32	1 CK-350	149,3
ASC.3	147,50	1,82	149,32	1 CK-350	149,3
ASC.4	147,50	1,82	149,32	1 CK-350	149,3

**ANEJO II: NOTA TÉCNICA GENERAL**

---

PILOTES PREFABRICADOS CK 55 APARTAMENTOS EN MONS  
SAN SEBASTIÁN (GUIPÚZCOA)

AGOSTO 2016  
NT-DT-765-2016-C

## **1. DESCRIPCIÓN Y VENTAJAS TÉCNICAS**

El pilote prefabricado de sección cuadrada CK es habitualmente utilizado por RODIO KRONSA para la resolución de cimentaciones profundas en condiciones adecuadas de terreno; sus características fundamentales se pueden resumir así:

- Elevada calidad de los materiales empleados, que igualan o superan las prescripciones de las normas vigentes: Código Técnico de la Edificación (CTE-2006) y las normas UNE-EN 12699: 2001 y UNE-EN 12794: 2006.
  - El hormigón es de 50 N/mm<sup>2</sup> de resistencia a compresión simple, y para su fabricación se utiliza habitualmente cemento I/52.5 SR (cemento Pórtland de “resistencia inicial alta”, y resistente a los sulfatos).
  - Las armaduras están cuidadosamente estudiadas, habiéndose optimizado la cuantía a partir de gran número de ensayos de hinca reales, tratando de determinar empíricamente la influencia de diversos factores (despegue de las pistas de fabricación, carga, transporte, izado, hinca) de difícil cuantificación teórica. El acero de las armaduras longitudinales y transversales es corrugado, de dureza natural y del tipo B-500 SD, soldable con características especiales de ductilidad, de límite elástico no menor de 500 N/mm<sup>2</sup>.
- Prefabricación en factorías permanentes, sistema idóneo para garantizar la máxima calidad de ejecución y para someter el proceso de fabricación a los imprescindibles y rigurosos controles. Las factorías están dotadas de la tecnología más avanzada: talleres informatizados de elaboración de ferralla, plantas automáticas de hormigón, bombas de hormigonado con brazos móviles, laboratorios de control de calidad, etc.
- En las factorías se dispone de pistas de fabricación con encofrados metálicos, fijos, sobre bancadas niveladas, bien alineadas y rígidas, proporcionando un pilote rectilíneo, de acabado exterior muy agradable, sin fisuras y con juntas y azuches perfectamente centrados. La propia fabricación del pilote elimina por completo el riesgo de cortes en el hormigonado, incidencia que se puede presentar en pilotes excavados y hormigonados “in situ”. El hormigón es dosificado y vibrado hasta alcanzar su elevada resistencia y gran

homogeneidad y compacidad, lo cual evita la aparición de coqueras y permite asegurar una mayor resistencia a la corrosión y agresividad del medio.

- El proceso de fabricación, que se somete periódicamente a auditorias externas, se realiza siguiendo los procedimientos establecidos por la normativa vigente y por la propia empresa, que cuenta desde 1998 con el Certificado de Empresa Registrada concedido por AENOR para su sistema de calidad (Norma UNE-EN-ISO 9001:2000), y desde 2003 con el Certificado de Gestión Medioambiental (UNE-EN-ISO 14001:1996).
- Los pilotes CK son los primeros de fabricación española que cuentan con los sellos CE y N:
  - El sello CE (UNE EN 12794:2006), obligatorio desde enero de 2008, permite la libre circulación de los pilotes en todos los países de la UE.
  - El sello N de producto certificado por AENOR, garantiza que un organismo ajeno de reconocido prestigio verifica tanto el cumplimiento de la normativa vigente como la idoneidad en la recepción de las materias primas, el adecuado control en la fabricación de los pilotes y el cumplimiento de las especificaciones de producto acabado.
- Juntas metálicas de alta resistencia que permiten empalmar en obra tramos de pilotes de longitudes normalizadas, prácticamente sin limitación en la longitud final. La fabricación se realiza, según el tipo de pilote, en tramos de hasta 12 ó 14 m de longitud.

Con el empleo de juntas se elimina uno de los inconvenientes tradicionales en la utilización de pilotes prefabricados, especialmente en terrenos irregulares o con estratos resistentes muy profundos.

Cada una de las dos piezas de la junta, fabricadas en acero mecanizado, se hormigona conjuntamente con el tramo correspondiente del pilote, llevando los correspondientes redondos de anclaje roscados, para conseguir el perfecto agarre y sujeción con el pilote, y se mantiene en posición con centradores adecuados, para garantizar la perfecta alineación con el mismo.

Las dos piezas de la junta, que son de tipo machihembrado, se acoplan entre sí por medio de bulones de fácil colocación, que merced a su introducción forzada, presionan las piezas entre sí, consiguiendo un empalme que asegura la continuidad del pilote en cuanto a rigidez y resistencia.

Las juntas utilizadas por RODIOKRONSA en sus pilotes CK son las primeras, a nivel nacional, que han superado el ensayo descrito en la Norma UNE-EN 12794:2006 - Anexo A: "Método de ensayo tipo para la verificación de la robustez y rigidez de las juntas de pilotes", realizado y verificado por el Instituto Eduardo Torroja.

- Los pilotes se equipan en su fabricación con un zuncho de refuerzo metálico.

## **2. VENTAJAS CONSTRUCTIVAS Y APLICACIONES**

Además de las citadas en la descripción del pilote, existen una serie de ventajas relacionadas directamente con su colocación en obra:

- Amplio stock centralizado, que permite disponer en cualquier momento y lugar de los pilotes del tipo y longitud necesarios.
- Fácil y versátil coordinación con la factoría correspondiente, asegurando el suministro continuado de pilotes sin necesidad de disponer de un almacén en la propia obra, permitiendo así el aprovechamiento máximo del terreno disponible, sin entorpecimientos ni traslados de los acopios en el interior de la misma.
- Pilotes dispuestos para su colocación, desde el momento de llegar a la obra.
- Absoluta limpieza de la obra, en la que no se producen detritus y no es necesaria la presencia de hormigoneras ni otros medios auxiliares, como lodos bentoníticos, imprescindibles en la ejecución de determinadas obras con pilotes hormigonados "in situ".
- Facilidad de la hinca, que se realiza mediante equipos específicos con torre montada sobre carro de orugas. Por la torre se desliza la maza de caída libre que proporciona la energía de hinca; el accionamiento de la maza es hidráulico y automático.
- Alto rendimiento de los equipos de hinca, con importantes disminuciones del plazo.
- Total autonomía de los equipos, con ausencia de todo tipo de prestaciones por parte del cliente. Simultáneamente, gran versatilidad de los mismos, que en caso necesario pueden incluso adaptarse a barcazas, permitiendo la ejecución de obras marítimas y fluviales.
- Posibilidad de realizar pilotes inclinados, especialmente adecuados para soportar esfuerzos horizontales, hasta una inclinación de 1:4 en condiciones normales de trabajo.
- Perfecto control de la energía de hinca, merced al normal empleo de mazas de caída libre con altura de caída regulable. Las mazas usuales tienen entre 50 y 90 kN de peso útil.

- Compactación y mejora del terreno, especialmente si es granular, durante la hinca. Este efecto es especialmente beneficioso para pilotes hincados en grupo, donde, lejos de descomprimir el terreno como ocurre en pilotes excavados, se favorece su comportamiento, pues las mejoras producidas por los pilotes se superponen entre sí, alcanzándose finalmente un grado de compacidad considerablemente superior al inicial.
- Control del rechazo real en cada pilote, realizándose así una prueba de carga dinámica en cada uno de ellos, con la consiguiente garantía de su capacidad portante.

En cuanto a las aplicaciones prácticas, implícitas en gran medida en las características reseñadas anteriormente, se considera especialmente idóneo el pilote prefabricado CK para los casos siguientes:

- Pilotes columna, con cualquier profundidad del estrato resistente.
- Casos de aparición de firme a gran profundidad, o a profundidades muy variables.
- Siempre que exista posibilidad de rozamiento negativo, pues su pequeño perímetro específico minimiza su efecto en comparación con la capacidad portante final del pilote. En caso necesario, incluso se puede recurrir a proteger el pilote con pinturas bituminosas que disminuyan aún más el rozamiento negativo sin afectar a la resistencia de punta final del pilote.
- Cuando exista posibilidad de circulación de agua en terrenos sueltos, donde los pilotes hormigonados "in situ" podrían sufrir lavado de sus componentes finos.
- En los casos en que se presente agresividad en las aguas o el terreno. Con frecuencia, podría ser suficiente la resistencia a la agresividad con cemento normal (tipo I/52.5R, de "resistencia inicial alta"), en virtud de la gran compacidad del pilote, pero aún así se utiliza habitualmente cemento I/52.5 N/SR (de "resistencia inicial normal", y con la característica especial de ser resistente a los sulfatos). Este cemento, según la Norma UNE 80.303-1:2001, es utilizable en los hormigones sometidos a la acción de sulfatos (cálcico y/o magnésico) y en los sometidos a la acción del agua marina (sulfatos y cloruros alcalinos y alcalino-térreos).

De cualquier manera, tal como indica el INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES en su trabajo “Recomendaciones para la utilización de los cementos de las Normas U.N.E.”, se debe tener en cuenta que, a efectos de durabilidad, es más importante un buen diseño del hormigón (dosificación del cemento, relación agua/cemento, naturaleza y granulometría de los áridos, etc.) y una correcta ejecución del mismo que la selección de unos u otros cementos más adecuados. Es decir, un hormigón muy compacto e impermeable resiste mejor la agresividad (aunque su cemento no sea el más adecuado) que un hormigón con el cemento adecuado pero poco compacto y más vulnerable.

### **3. TIPOS DE PILOTES.**

La gama normalizada incluye seis tipos, cuyas características geométricas, de armado y resistentes, en el ámbito de anteproyectos, son:

	CARACTERISTICAS	SÍMBOLO	TIPO NORMALIZADO DE PILOTE					
1	DENOMINACION DE LOS PILOTES	-	CK-235	CK-270	CK-300	CK-350	CK-400	
2	SECCION APROXIMADA	A (cm <sup>2</sup> )	569.00	751,00	927,00	1262,00	1648,00	
3	VOLUMEN POR METRO LINEAL	V (m <sup>3</sup> /m)	0,0569	0,0751	0,0927	0,1262	0,1648	
4	LADO APROXIMADO	a (m.)	0,235	0,270	0,300	0,350	0,400	
5	SUPERFICIE LATERAL TEORICA POR METRO LINEAL	S (cm <sup>2</sup> /m)	9.400	10.800	12.000	14.000	16.000	
6	MOMENTO DE INERCIA MINIMO	I <sub>xx</sub> (cm <sup>4</sup> )	25.415,01	44.286,75	67.500,00	125.052,08	213.333,33	
7	ARMADURA LONGITUDINAL (Nº DE BARRAS – B-500 SD)	-	4 φ 16	4 φ 16	4 φ 20	4φ 20	8 φ 16	
8	ARMADURA TRANSVERSAL (B-500 SD)	ESPIRAL EN TRAMO CENTRAL	-	φ 6 a 17 cm.	φ 6 a 15 cm.	φ 6 a 13,5 cm.	φ 6 a 10 cm.	φ 6 a 10 cm.
		ESPIRAL EN EXTREMOS <sup>(2)</sup>	-	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
9	CARGA VERTICAL ADMISIBLE A COMPRESION <sup>(1)</sup>	N (kN)	853.5	1126.5	1390	1.893	2.472	
10	DISTANCIA NORMAL ENTRE EJES DE PILOTES	(m)	0,75	0,85	0,95	1,10	1,25	

(1)Estos valores pueden verse afectados por la combinación de efectos distintos de los axiales (flexión, torsión, etc.), o por las características del terreno.

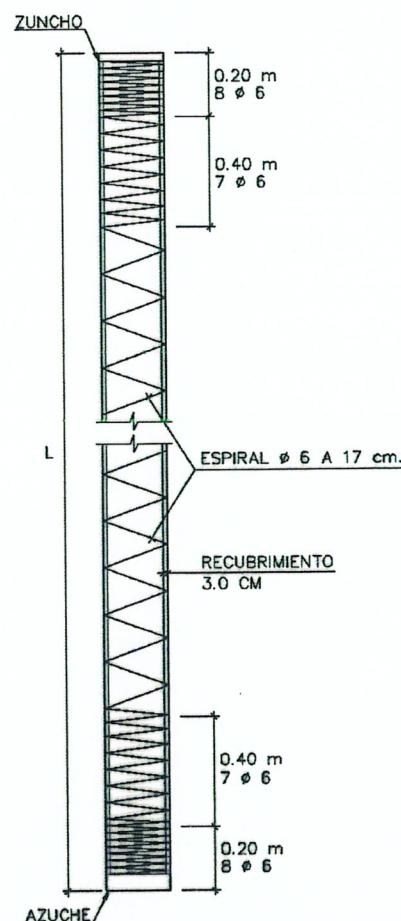
(2)Distribución de la armadura según EN 12794.

(3) Armadura detallada en los croquis que se acompañan.

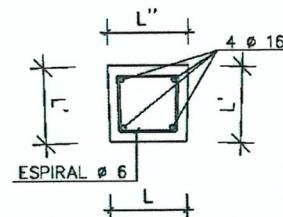
PILOTE PREFABRICADO CUADRADO CK-235

ARMADURA TIPO  
CROQUIS SIN ESCALA

SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



L = 235 mm.  
L' = 235.10 mm.  
L'' = 249 mm.

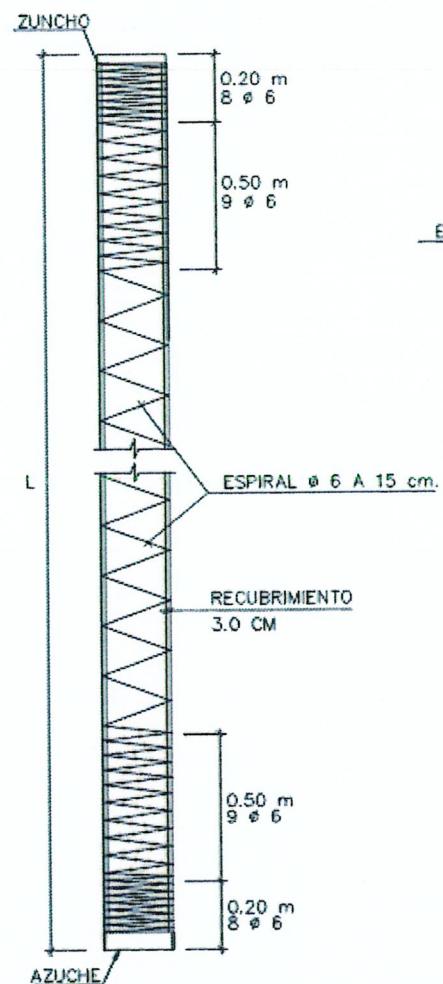
CARACTERISTICAS DE MATERIALES	
HORMICON	RESISTENCIA CARACTERISTICA = 50 N/mm <sup>2</sup>
ACERO EN ARMADURAS LONGITUDINALES	B = 500 SD ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ )
ACERO EN ARMADURAS TRANSVERSALES	B = 500 SD ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ )

L = LONGITUD DE FABRICACION  
(5 A 12 m; 14 m. EN CASOS ESPECIALES)

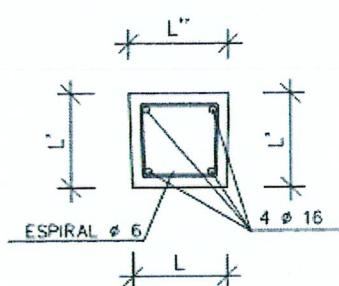
PILOTE PREFABRICADO CUADRADO CK-270

ARMADURA TIPO  
CROQUIS SIN ESCALA

SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



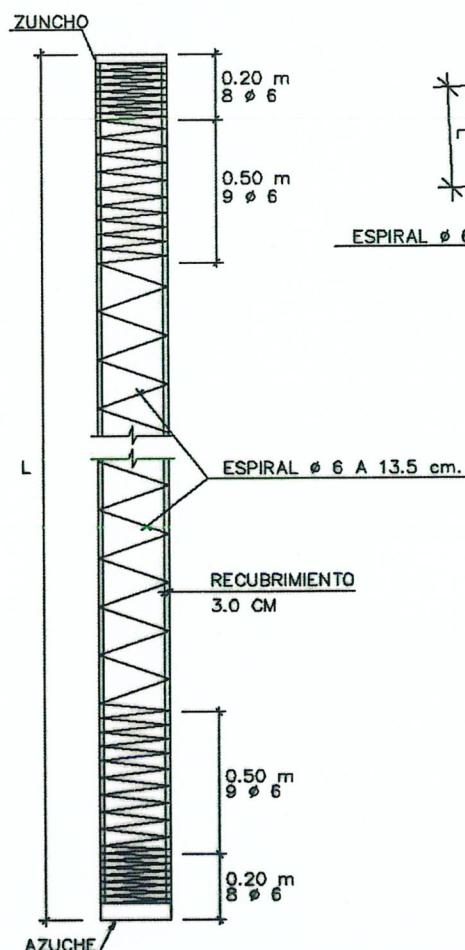
L = 270 mm.  
L' = 270.12 mm.  
L'' = 286 mm.

CARACTERISTICAS DE MATERIALES	
HORMIGON	RESISTENCIA CARACTERISTICA = 50 N/mm <sup>2</sup>
ACERO EN ARMADURAS LONGITUDINALES	B = 500 SD ( $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$ )
ACERO EN ARMADURAS TRANSVERSALES	B = 500 SD ( $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$ )

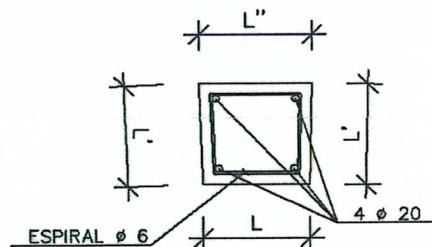
L = LONGITUD DE FABRICACION  
(5 A 12 m; 14 m. EN CASOS ESPECIALES)

PILOTE PREFABRICADO CUADRADO CK-300  
ARMADURA TIPO  
CROQUIS SIN ESCALA

SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



L = 300 mm.  
L' = 300.13 mm.  
L'' = 318 mm.

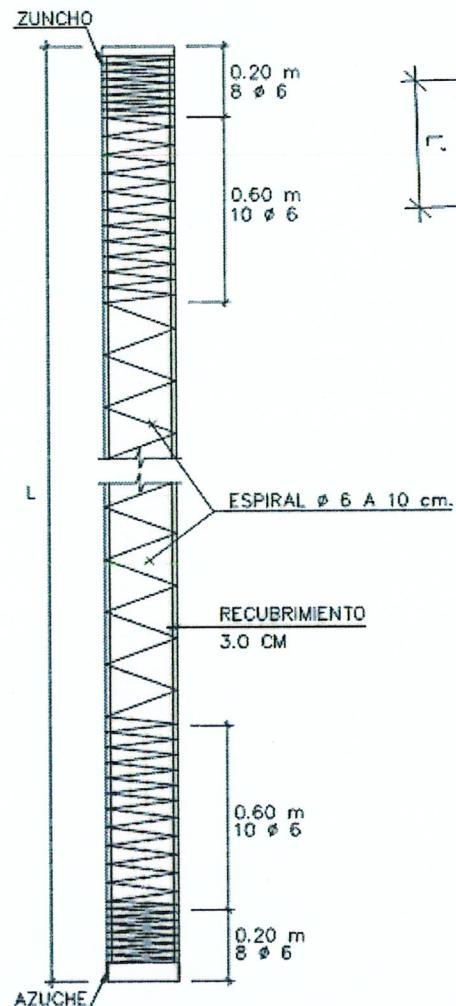
CARACTERISTICAS DE MATERIALES	
HORMIGON	RESISTENCIA CARACTERISTICA = 50 N/mm <sup>2</sup>
ACERO EN ARMADURAS LONGITUDINALES	B - 500 SD ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ )
ACERO EN ARMADURAS TRANSVERSALES	B - 500 SD ( $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ )

L = LONGITUD DE FABRICACION  
(5 A 12 m; 14 m. EN CASOS ESPECIALES)

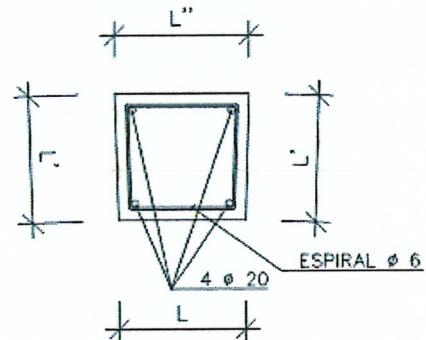
PILOTE PREFABRICADO CUADRADO CK-350

ARMADURA TIPO  
CROQUIS SIN ESCALA

SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



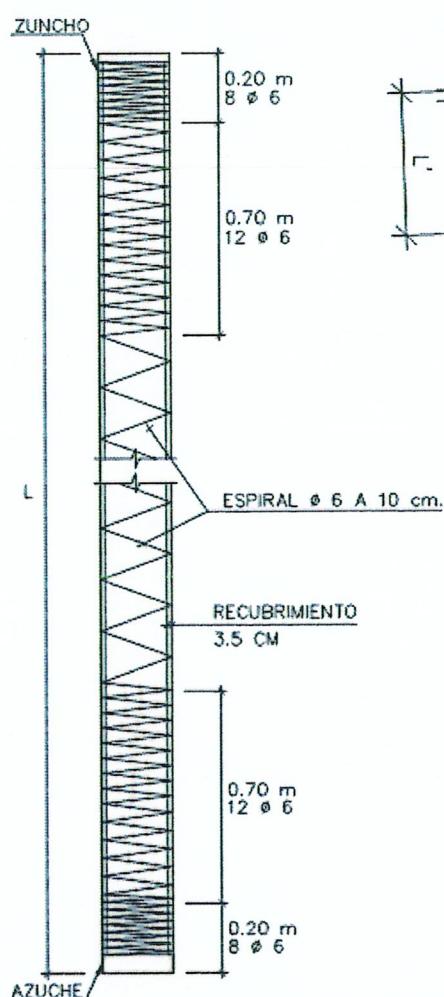
L = 350 mm.  
L' = 350.16 mm.  
L'' = 371 mm.

CARACTERISTICAS DE MATERIALES	
HORMIGON	RESISTENCIA CARACTERISTICA = 50 N/mm <sup>2</sup>
ACERO EN ARMADURAS LONGITUDINALES	B - 500 SD ( $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$ )
ACERO EN ARMADURAS TRANSVERSALES	B - 500 SD ( $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$ )

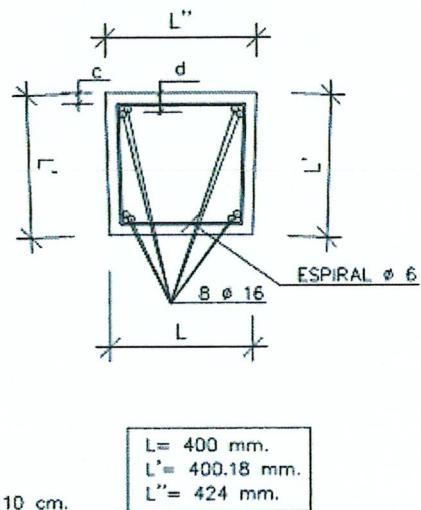
PILOTE PREFABRICADO CUADRADO CK-400

ARMADURA TIPO  
CROQUIS SIN ESCALA

SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



CARACTERISTICAS DE MATERIALES	
HORMIGON	RESISTENCIA CARACTERISTICA = 50 N/mm <sup>2</sup>
ACERO EN ARMADURAS LONGITUDINALES	B - 500 SD ( $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$ )
ACERO EN ARMADURAS TRANSVERSALES	B - 500 SD ( $f_yk = 500 \text{ N/mm}^2$ )

L= LONGITUD DE FABRICACION

#### **4. ESTUDIO ESTRUCTURAL**

Se incluye a continuación el estudio estructural de los pilotes en sus vertientes esenciales: compresión, tracción, flexión y esfuerzo cortante.

##### **4.1.-ESTUDIO ESTRUCTURAL A COMPRESIÓN.**

Las cargas verticales admisibles a compresión que figuran en el cuadro del apartado anterior, corresponden, no sólo a los valores sancionados por la experiencia de RODIOKRONSA, sino a los que se obtienen del análisis de los diferentes criterios de cálculo recogidos por los autores y Normas más representativos.

Para los pilotes prefabricados, el Código Técnico adopta un tope estructural unitario de 0,30 fck; con las características ya comentadas de hormigón, y teniendo en cuenta la sección real de cada pilote, se obtienen los topes siguientes:

**CK - 235 ----- Te = 853,5 kN**

**CK - 270 ----- Te = 1126,5 kN**

**CK - 300 ----- Te = 1390,0 kN**

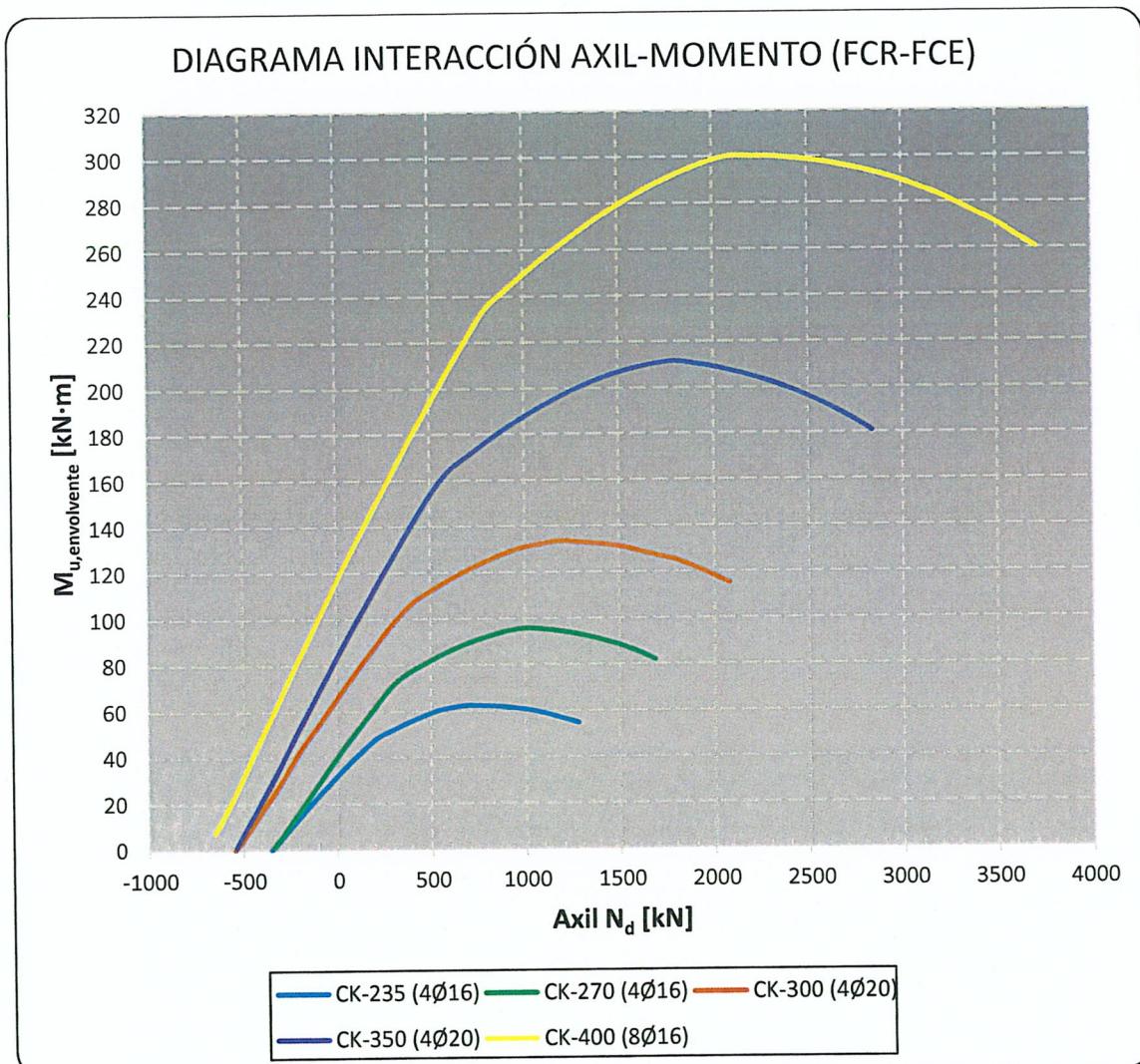
**CK - 350 ----- Te = 1893,0 kN**

**CK - 400 ----- Te = 2472,0 kN**

#### **4.2.-ESTUDIO ESTRUCTURAL A FLEXIÓN.**

La resistencia a flexión se ha determinado de acuerdo con la Instrucción EHE-08, con el apoyo del método de cálculo simplificado de secciones en estado límite de agotamiento frente a solicitudes normales. Los **momentos últimos** obtenidos, para distintos valores de las cargas axiles de cálculo y para las armaduras normalizadas, se han representado en los diagramas de interacción siguientes:

Envolvente FCR-FCE:



#### **4.3.-ESTUDIO ESTRUCTURAL FRENTE A ESFUERZO CORTANTE.**

La resistencia a esfuerzo cortante se determina, con las indicaciones facilitadas por la Instrucción EHE-08, según las dos agrupaciones de secciones de pilotes efectuadas:

##### Piezas sin armadura de cortante en regiones fisuradas a flexión:

En este grupo se encuentran los pilotes CK-235 y CK-270, por tener la separación longitudinal  $s_t$  entre armaduras transversales, o bien mayor o bien ligeramente inferior al límite marcado en el apartado 44.2.3.4.1 de la EHE-08, se han considerado las dos secciones como piezas sin armadura de cortante en regiones fisuradas a flexión. La formulación empleada extraída de la EHE-08 se detalla a continuación:

$$V_{u2} = \left[ \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cv})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot \sigma'_{cd} \right] \cdot b_o \cdot d$$

con un valor mínimo de:

$$V_{u2} = \left[ \frac{0.075}{\gamma_c} \cdot \xi^{\frac{3}{2}} \cdot f_{cv}^{\frac{1}{2}} + 0.15 \cdot \sigma'_{cd} \right] \cdot b_o \cdot d$$

##### Dónde:

$V_{u2}$ : esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

$\gamma_c$ : coeficiente de seguridad o minoración de la resistencia del hormigón.

$\xi$ : coeficiente adimensional:

$$\xi = \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \leq 2.0 \text{ con } d \text{ en mm}$$

$\rho_l$ : cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción:

$$\rho_l = \frac{A_s + A_p}{b_o \cdot d} \leq 0.02$$

$f_{cv}$ : resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm<sup>2</sup>.

$\sigma'_{cd}$ : tensión axial media en el alma de la sección (compresión positiva):

$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A_c} < 0.30 \cdot f_{cd} \text{ (no superior a 12 MPa)}$$

$b_o$ : ancho del alma.

$d$ : canto útil de la sección.

#### Piezas con armadura de cortante:

En este otro grupo se encuentran las secciones CK-300, CK-350 y CK-400, para las que se ha seguido el apartado 44.2.3.2.2 de la EHE-08, cuya formulación es la que se detalla a continuación:

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$$

$$V_{su} = z \cdot \operatorname{sen}\alpha \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sum A_\alpha \cdot f_{y\alpha,d}$$

$$V_{cu} = \left[ \frac{0.15}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_i \cdot f_{cv})^{1/3} + 0.15 \cdot a_i \cdot \sigma'_{cd} \right] \cdot \beta \cdot b_o \cdot d$$

con un valor mínimo de:

$$V_{u2} = \left[ \frac{0.075}{\gamma_c} \cdot \xi^{3/2} \cdot f_{cv}^{1/2} + 0.15 \cdot \sigma'_{cd} \right] \cdot b_o \cdot d$$

#### Dónde:

$z$ : brazo mecánico calculado con el programa Fagus, ya que la EHE da una formulación aproximada.

$\alpha$ : ángulo de las armaduras con el eje de la pieza.

$\theta$ : ángulo entre las bielas de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

$A_\alpha$ : Área por unidad de longitud de cada grupo de armaduras que forman un ángulo  $\alpha$  con la directriz de la pieza.

$F_{y\alpha,d}$ : resistencia de cálculo de la armadura  $A_\alpha$ .

$\gamma_c$ : coeficiente de seguridad o minoración de la resistencia del hormigón.

$\xi$ : coeficiente adimensional:

$$\xi = \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \leq 2.0 \text{ con } d \text{ en mm}$$

$\rho_l$ : cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción:

$$\rho_l = \frac{A_s + A_p}{b_0 \cdot d} \leq 0.02$$

$f_{cv}$ : resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm<sup>2</sup>.

$\alpha$ : parámetro adimensional utilizado en tendones pretensados (no procede).

$\sigma'_{cd}$ : tensión axial media en el alma de la sección (compresión positiva):

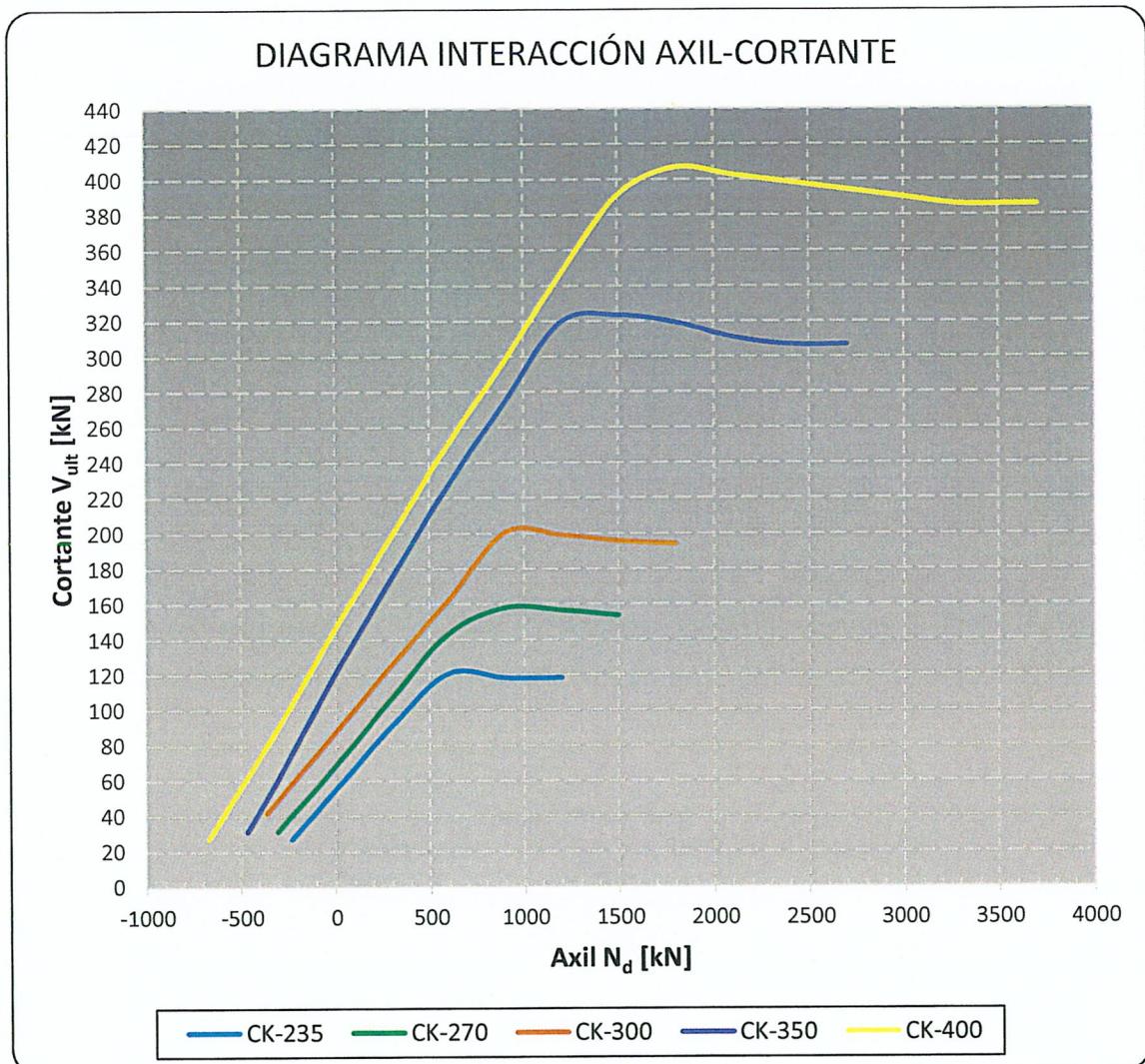
$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A_c} < 0.30 \cdot f_{cd} \text{ (no superior a 12 MPa)}$$

$\beta$ : parámetro adimensional dependiente del ángulo  $\theta$ .

$b_0$ : ancho del alma.

$d$ : canto útil de la sección.

Desarrollando los cálculos correspondientes obtenemos los **cortantes últimos** resistidos por los pilotes para los diferentes estados tensionales. Para distintos valores de las cargas verticales de cálculo y con las armaduras normalizadas, se han representado en el diagrama de interacción siguiente:



## 5. EQUIPO DE HINCA.

Los pilotes se hincan mediante golpeo, para facilitar el control de la energía provista. Generalmente se emplean mazas de caída libre con altura de caída regulable y de 50 a 90 kN de peso útil.

Habitualmente, los equipos que se utilizan en la hinca son específicos, formados por una torre deslizadera montada sobre un carro de orugas. Por la torre desliza la maza que proporciona la energía de hinca, cuyo accionamiento es hidráulico y automático. El conjunto proporciona movimientos suaves al presentar el pilote, con gran mejora de la verticalidad.

Este sistema, totalmente autónomo y muy versátil, permite apreciables disminuciones en el plazo que sería necesario para realizar la obra con cualquier otro sistema de cimentación, además de facilitar la ejecución de pilotes inclinados en cualquier dirección (con inclinaciones que dependen del equipo de hinca en concreto, pero que puede alcanzar 1:4 en condiciones normales de trabajo), y la realización de obras marítimas y fluviales, adaptando el equipo a una barcaza.

La cabeza del pilote, así como la junta hembra en el caso de que, por tratarse de pilotes empalmables, se golpee sobre ella, se protegen con un sombrerete para evitarles daños durante la hinca. La junta se ha diseñado cuidadosamente, para asegurar que la energía del golpe se disperse de forma regular por toda el área transversal del pilote, sin sobreesfuerzos localizados.

## **6. CAPACIDAD PORTANTE.**

La transferencia de la carga vertical de un pilote al terreno se realiza, en general, a través del rozamiento lateral del pilote y de su resistencia por la punta; la relación entre ambas magnitudes depende del tipo de terreno y de la forma de construcción de los pilotes.

Una de las mayores ventajas del pilote prefabricado frente a cualquier otro sistema de cimentación, es el control de la hinca, realizado unidad a unidad en todos los pilotes de una cimentación, lo que permite comprobar la resistencia del terreno y, consiguientemente, la capacidad portante del pilote.

El parámetro básico para la determinación de la capacidad portante de un pilote hincado, que permite establecer su validez frente a unas solicitudes determinadas, es el “rechazo”, longitud que se hinca el pilote en cada golpe en condiciones preestablecidas. Habitualmente, el rechazo se determina para una andanada de 10 golpes, tomándose el valor medio por golpe para realizar los cálculos.

La interpretación de los valores del “rechazo” se puede realizar mediante cualquiera de las fórmulas de hinca sancionadas por la práctica; como norma general, el rechazo “e” necesario para garantizar una determinada capacidad portante se calcula mediante la “fórmula holandesa”:

$$R_d = \frac{M^2 \times H}{e \times A \times (P + M)}$$

Donde:

$R_d$  = Resistencia dinámica en N/mm<sup>2</sup>.

M = Peso de la maza en N.

P = Peso del pilote en N.

e = Rechazo por golpe, en mm.

H = Altura de caída de la maza en mm.

A = Área de la sección del pilote en mm<sup>2</sup>.

La “fórmula holandesa” se afecta habitualmente de un coeficiente de minoración de 6 a 10. En el caso concreto de los pilotes CK, el rechazo se mide, salvo utilización en la obra de elementos especiales, para maza de 30 a 90 kN y altura de caída entre 40 y 80 cm.

Como ejemplo orientativo, se desarrolla a continuación el cálculo del rechazo necesario para un pilote CK-235 cargado a 10 N/mm<sup>2</sup>; se considera un peso teórico de pilote de 1480 N/m, una longitud de 16 m y un peso de maza de 50 kN:

$$R_d = 10 \text{ N/mm}^2.$$

$$M = 50.000 \text{ N}.$$

$$P = 16 \times 1463,5 = 23416 \text{ N}.$$

$$H = 300 \text{ mm}.$$

$$A = 56900 \text{ mm}^2.$$

El valor de “e” que se obtiene después de aplicar el coeficiente de minoración de 6 es de 3,0 mm por golpe; por tanto, para garantizar una capacidad portante equivalente a 10 N/mm<sup>2</sup> (es decir, 569,0 kN para el CK-235), se precisa un rechazo de 30,0 mm en andanada de diez golpes.

De forma alternativa o complementaria a la comprobación del rechazo, y con objeto de completar y optimizar el análisis de la capacidad portante de un pilote, RODIOKRONSA dispone del Analizador de Hinca de Pilotes (P. D. A., “Pile Driving Analyzer”) que permite ejecutar pruebas dinámicas de carga y análisis estructural del comportamiento del pilote.

El uso del P. D. A. ha permitido la comparación entre multitud de pruebas de carga dinámicas y estáticas, con resultados que han validado el método en un amplísimo rango de

condiciones: diferentes estratos, tipos de pilotes, equipos de hinca, etc. Hoy en día, el P. D. A. se utiliza en todo el mundo para realizar pruebas de carga en pilotes, habiéndose estandarizado en las Normativas de numerosos países.

Frente a las pruebas estáticas de carga, el P. D. A. tiene ventajas técnicas y económicas. Por un precio inferior al de una prueba estática de carga, pueden analizarse dinámicamente varios pilotes, que proporcionarán una mayor cobertura del campo de trabajo y una mejora del conocimiento de las condiciones del terreno y el comportamiento de los pilotes. Si, con anterioridad a la hinca masiva, se prevén análisis P. D. A. con registro continuo, puede conseguirse la optimización económica de las longitudes de los pilotes.

Otra gran ventaja de este método es que la capacidad portante del pilote se obtiene para una serie de elementos en los que se discretiza el mismo; esto permite, cuando se interpretan los resultados con el método CAPWAP, cuantificar por separado las resistencias de punta y de fuste. El método CASE, sin embargo, proporciona de forma global la capacidad portante del pilote desarrollada, sin diferenciar punta y fuste.

Adicionalmente, el empleo del P. D. A. nos proporciona información de la integridad física del pilote (reducciones de impedancia mecánica) y características de la hinca (tensiones originadas en el pilote, energía trasmitida por el martillo, etc).

Este procedimiento, que puede aplicarse en todo tipo de suelos y para cualquier sistema de hinca, se desarrolla generalmente como sigue:

- Colocación de los sensores en el pilote, cerca de la cabeza.
- El pilote es golpeado por el martillo de hinca, registrándose las señales en un ordenador, donde se almacenan digitalmente.
- Cada prueba así realizada se analiza, lo cual puede hacerse "in situ" utilizando el método CASE.

- Posteriormente, en gabinete, pueden seleccionarse los registros deseados para ser analizados por medio del método CAPWAP.

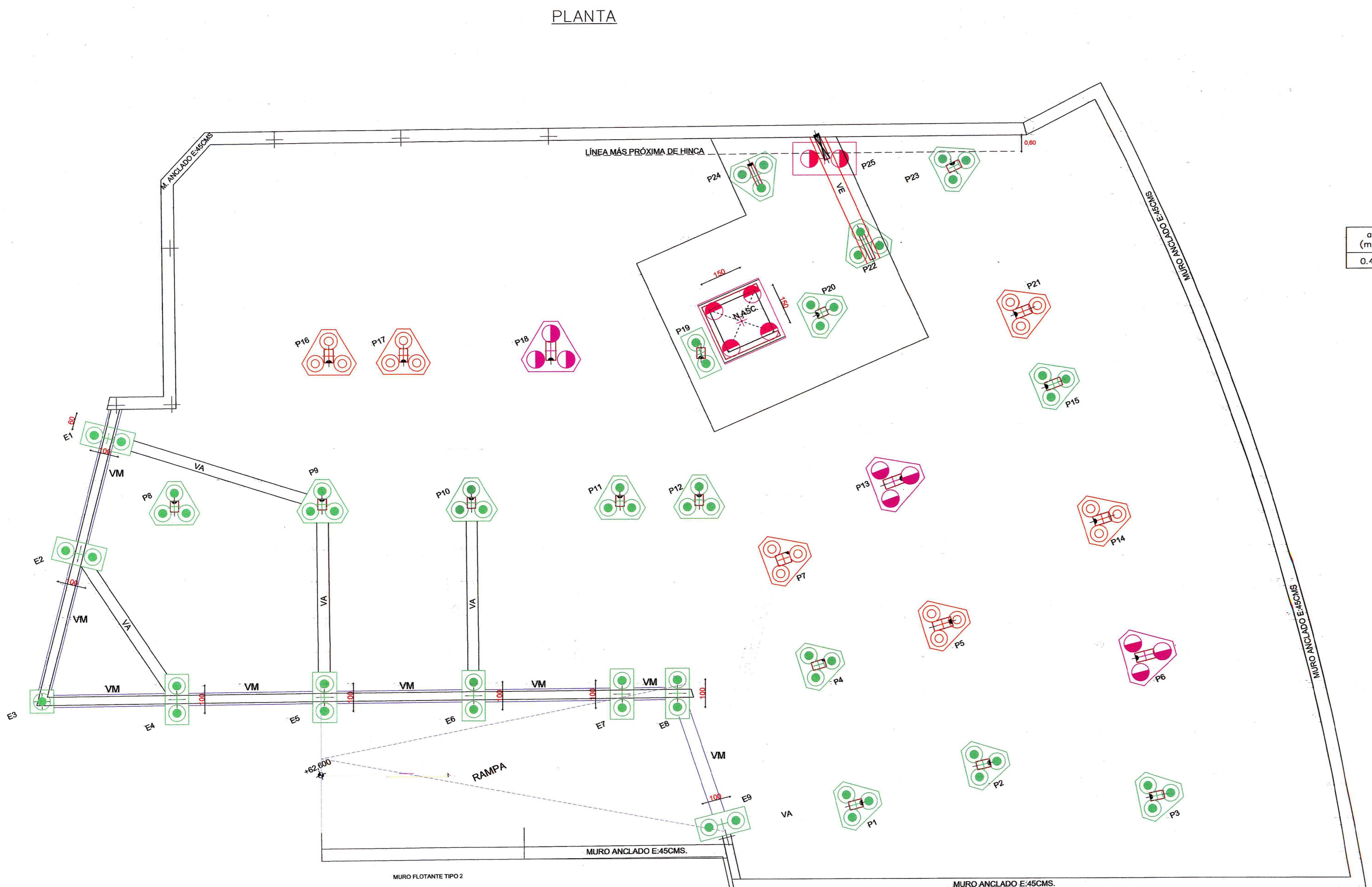
La prueba dinámica de carga así efectuada se ajusta al procedimiento descrito en la normativa ASTM-D-4945-89: "Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles".

**ANEJO III: PLANOS**

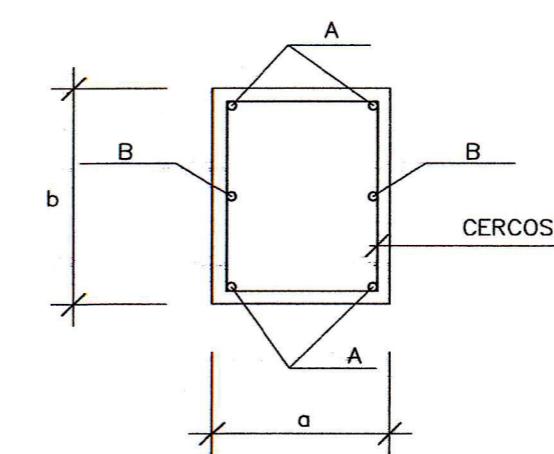
---

PILOTES PREFABRICADOS CK 55 APARTAMENTOS EN MONS  
SAN SEBASTIÁN (GUIPÚZCOA)

AGOSTO 2016  
NT-DT-765-2016-C



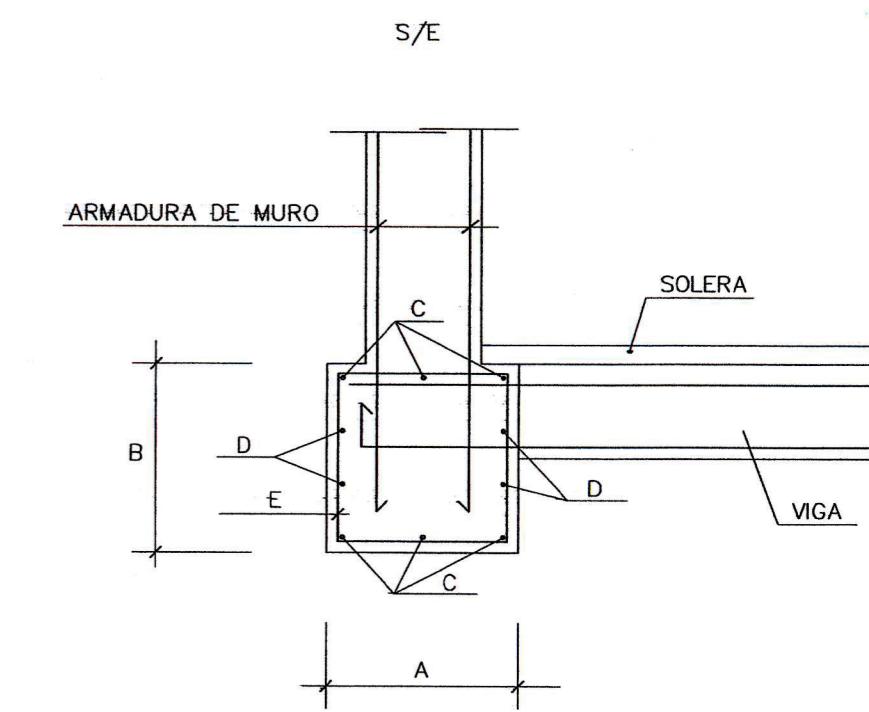
VIGA DE ATADO



a (m.)	b (m.)	A	B	CERCOS
0.40	0.70	3 φ 20	2 φ 8	φ 8 A 30 cm.

NOTA:  
ESTA VIGA ES EXCLUSIVAMENTE DE  
ATADO Y NO DEBERÁ SOPORTAR  
NINGUN TIPO DE CARGA

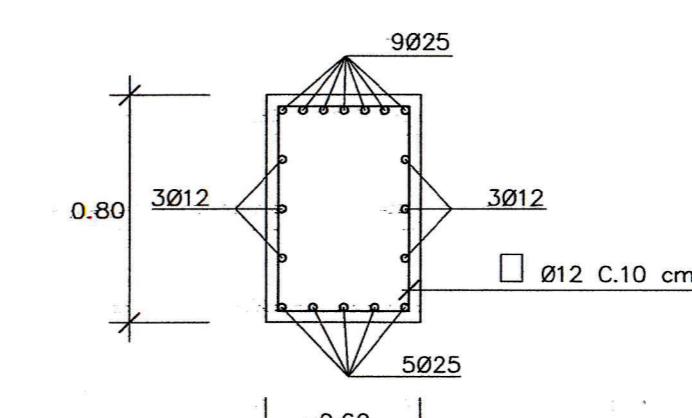
VIGAS DE MURO PARA DOS SOTANOS



ALTURA DEL MURO (m.)	DISTANCIA ENTRE ENCEPADOS	DIMENSIONES DE VIGA (m.)			ARMADURAS DE VIGA		
		A	B	C	D	E	
≤ 5.00	0,45	0,75	3 φ 25	2 φ 25	□ φ 10 A 15 cm.		
5.00 m. a 6.00	0,45	0,75	4 φ 25	4 φ 25	□ φ 10 A 10 cm.		
6.00 m. a 7.00	0,45	0,85	3 φ 32	5 φ 25	□ φ 12 A 15 cm.		
7.00 m. a 8.00	0,45	0,95	4 φ 32	6 φ 25	□ φ 12 A 10 cm.		

NOTA:  
EL TRASDOS DEL MURO NO SE RELLENARA HASTA QUE NO SE HAYAN  
CONSTRUIDO LA SOLERA Y LOS FORJADOS DE SOTANO.

VIGA ESPECIAL

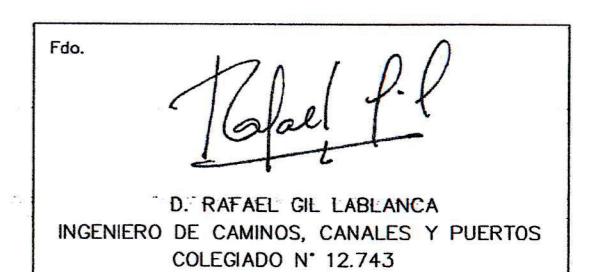


MEDICIÓN Y LEYENDA

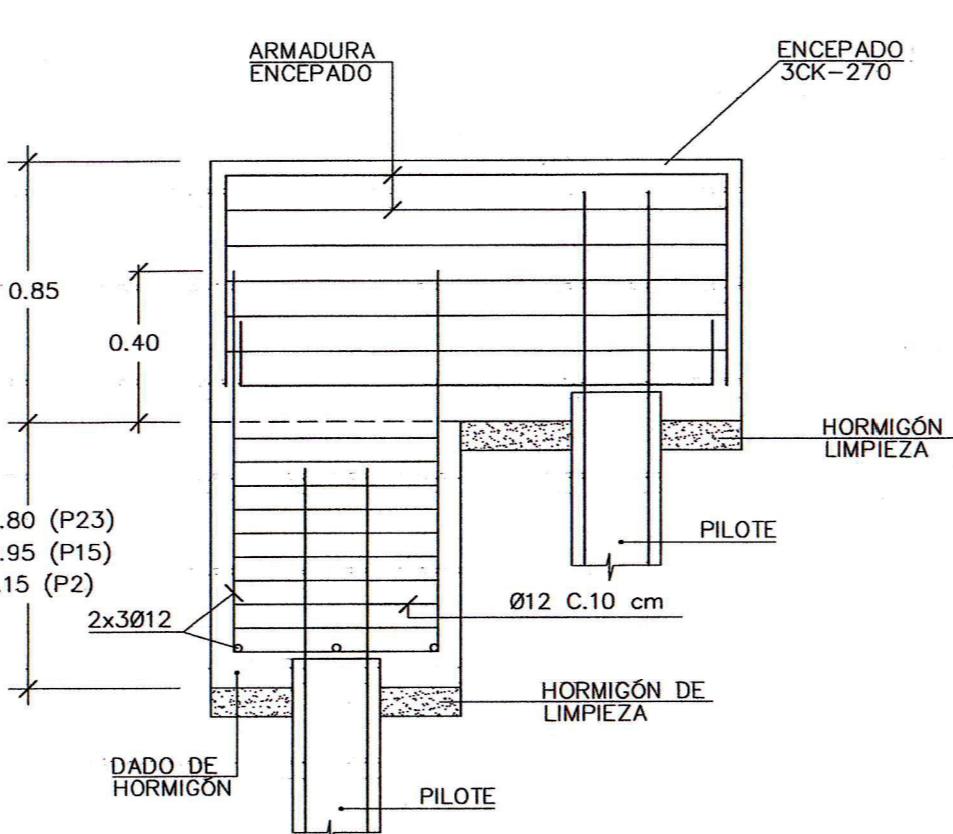
PILOTES CK-270	61 UNIDADES
PILOTES CK-300	18 UNIDADES
PILOTES CK-350	15 UNIDADES
VM	VIGA DE MURO
VE	VIGA ESPECIAL
VA	VIGA DE ATADO

COLEGIO DE INGENIEROS DE  
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
DE MEXICO  
1.1967 2010.00  
MEMORIA DE CALIDAD A COMITÉ  
DE EVALUACIÓN INSTITUCIONAL  
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

PLANO NO VÁLIDO PARA REPLANTEO



DETALLE DE RECRECIDO PARA  
ENCEPADOS P23, P15 Y P2



INSTRUCCION EHE		MATERIALES	CONTROL
HORMICON	PILOTES	HA-50 / B / 20 / Ila +Qc	1,50
	ENCEPADOS Y VIGAS	HA-30 (1)	1,50
	PILOTES	ARMADURA LONGITUDINAL B 500 SD	NORMAL 1,15
ACERO	PILOTES	ARMADURA TRANSVERSAL B 500 SD	NORMAL 1,15
	PILOTES	ENCEPADOS Y VIGAS B 500 S(2)	NORMAL 1,15

(1) HORMICON EN FUNCION DE LA CLASE DE EXPOSICION A DEFINIR POR LA DIRECCION FACULTATIVA  
(2) SD PARA ZONAS SISMICAS

C	PLANTA Y DETALLES	ENCEPADOS P25, E1 Y VIGAS. DETALLE RECRECIDO	18-10-16	J.L.E.	A.G.B.
B	PLANTA	ENCEPADOS E9 Y FOSO ASCENSOR	23-8-16	A.G.B.	A.G.B.
A	PLANTA	ENCEPADO P25 Y VIGA VE	17-8-16	A.G.B.	A.G.B.
REVISION	ZONA REVISADA	TIPO DE REVISION	FECHA	DIBUJADO	REVISADO



IZA

55 APARTAMENTOS EN MONS  
SAN SEBASTIAN (GUIPUZCOA)  
PILOTES PREFABRICADOS

ESCALA	DIBUJADO	FECHA	OBRA N°
1:100	J.L.E.	JULIO-16	2614
	V.R.G.	PLANO N°	2016-09-01

