

Muros prefabricados de contrafuertes, vigas cantil prefabricadas y paneles de revestimiento en el Canal de Deusto (Bilbao)

Precast counterfort walls, precast capping beams and cladding panels in Deusto Channel (Bilbao)

Elena Coloma Eusebio^a, Marcus Lindon^b, Adolfo Rincón Piña^c

^a Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. TIERRA ARMADA, S.A.U. Ingeniera de Proyectos. ecoloma@tierraarmada.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TIERRA ARMADA, S.A.U. Ingeniero de Proyectos. mlindon@tierraarmada.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TIERRA ARMADA, S.A.U. Director Técnico. arincon@tierraarmada.com

RESUMEN

En el canal de Deusto (Bilbao) se han realizado dos actuaciones con muros prefabricados. Primero las obras de revestimiento de las márgenes izquierda y derecha del canal de Deusto. Se han ejecutado 4.879 m² de muros prefabricados con acabado arquitectónico y 656 m de vigas prefabricadas armadas (vigas cantil) sobre las que apoyan los paneles. Después, las obras de relleno en la margen izquierda del canal de Deusto han posibilitado la generación de una superficie de unos 50.000 m² en dominio público portuario y que han sido destinados al desarrollo urbanístico de la isla de Zorrotzaurre.

ABSTRACT

Two works have been carried out on the Deusto canal (Bilbao) using precast walls. First, the works to cover the left and right banks of the Deusto canal. 4,879 m² of precast walls with an architectural finish and 656 m of precast reinforced beams (capping beams) on which the panels rest have been built. Then, the filling works on the left bank of the Deusto canal have been carried out, which have enabled the generation of a surface area of around 50,000 m² in the public port domain and which have been used for the urban development of the island of Zorrotzaurre.

PALABRAS CLAVE: muro prefabricado, viga cantil prefabricada, panel de revestimiento.

KEYWORDS: precast wall, precast capping beam, cladding panel

1. Proyecto de apertura del canal de Deusto (Bilbao).

La apertura del canal de Deusto fue una actuación contemplada ya en los años 50 por el puerto de Bilbao. Aunque sus obras llegaron a iniciarse, se abandonaron 18 años más tarde por diversas razones, dejando el canal sin entrada aguas arriba a sólo 500 m de su conexión con la ría.

En el año 2014 el ayuntamiento de Bilbao decidió retomar la construcción del canal, no sólo por las razones que lo promovieron en los años 50 como fueron la mejora de su navegabilidad y el aumento del número de muelles de atraque, sino también con una clara función hidráulica que minimizara el riesgo de inundaciones de la actual isla de Zorrotzaurre y las zonas adyacentes a la ría. La ubicación de la obra de apertura del canal se muestra en la figura 1.

Al mismo tiempo, la culminación de la apertura del canal supuso el punto de partida de un proyecto urbanístico integral que buscaba el desarrollo y la regeneración de este espacio.

El proyecto de la apertura del canal fue desarrollado por la consultora de ingeniería TYPESA y su construcción fue llevada a cabo por la U.T.E. CANAL DEUSTO, integrada por Murias Construcciones, Drace Infraestructuras y Tecsca.

Tierra Armada S.A.U. participó en este proyecto como prefabricador de algunas de las unidades estructurales prefabricadas de los muelles que configuran la apertura del canal y que correspondieron, como se detallará en los siguientes apartados, a las vigas-cantil y a los muros-faldones.

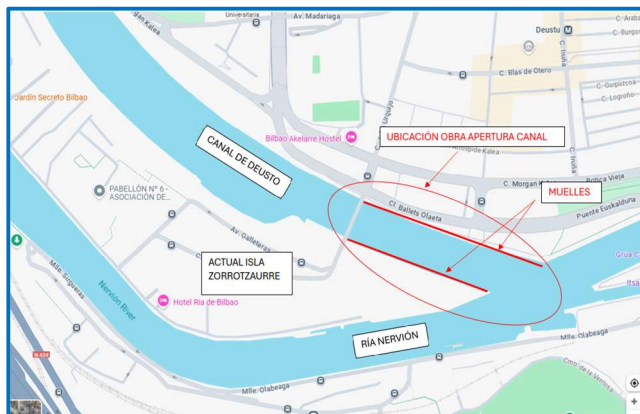


Figura 1. Vista general en planta del canal de Deusto y la actual isla de Zorrotzaurre. Localización de la obra.

1.1 Configuración de los muelles de la apertura del canal de Deusto.

Los muelles que constituyen la apertura del canal de Deusto se proyectan formados por alineaciones de tres pilotes de hormigón “in situ” distribuidas cada 6,506 m según la dirección paralela al muelle. Los pilotes presentan un diámetro de 1 m y un interjeje de 4,90 m ó 6,00 m, según la zona en la que se encuentren y en dirección perpendicular al muelle.

Las alineaciones están constituidas por vigas ejecutadas igualmente “in situ” de sección rectangular de 1,50 m de ancho por un 1,00 m

de canto. Estas vigas van provistas en sus extremos del lado canal de unos rebajes con unas barras corrugadas en espera para el apoyo y conexión de las vigas-cantil prefabricadas. La figura 2 muestra justamente una viga-cantil ya colocada en obra sobre las dos vigas de las alineaciones de pilotes adyacentes.

Las vigas-cantil prefabricadas presentan una sección de 1,07 m de ancho por 1,00 m de canto. Estas vigas disponen de unas ménsulas en sus extremos para apoyo sobre las vigas de las alineaciones. Dichas ménsulas llevan incorporadas un par de vainas metálicas corrugadas que sirven para alojar las esperas de las vigas de las alineaciones y, de esta forma, materializar su unión gracias a la posterior inyección de un mortero de base cementosa en su interior. Con objeto de ejecutar un peto de hormigón “in situ” en una primera fase que haga las veces de encofrado para el posterior hormigonado de la losa de compresión, la viga-cantil lleva unos cercos salientes del lado canal en toda su longitud. Por otra parte, como es habitual en los tableros de vigas prefabricadas con losa de compresión “in situ”, los cercos transversales de la viga-cantil se dejan salientes para garantizar la conexión con la citada losa, tal y como se muestra en la figura 3.



Figura 2. Alineaciones de pilotes y vigas-cantil en obra con losa de compresión parcialmente ejecutada.



Figura 3. Vigas-cantil prefabricadas colocadas en obra. Detalle de armadura transversal en espera.

La losa de compresión que corona y da continuidad al conjunto vigas transversales “in situ”/vigas-cantil prefabricadas en su parte superior se resuelve con una solución también mixta “in situ”-prefabricado. Ésta consiste en el empleo de prelasas prefabricadas de 23 cm de espesor y una capa de hormigón “in situ” de 9 cm de espesor para completar los 32 cm totales de espesor de losa de compresión. Las prelasas prefabricadas llevan, del mismo modo, armadura transversal y longitudinal en espera para asegurar la conexión con la capa de hormigón “in situ” y, consecuentemente, el trabajo conjunto de la losa mixta.

Por último, todo el conjunto estructural se cierra del lado canal con la colocación de los muros-faldón cuya función, puramente estética, busca ocultar visualmente el resto de los elementos estructurales (pilotes, vigas transversales y vigas-cantil). Los muros-faldón disponen de una ménsula en la parte superior de su cara interior (lado muelle) que cuenta con unas vainas corrugadas metálicas para alojamiento de las esperas previstas en el peto de hormigón “in situ” (ver figura 4), garantizando así la fijación del muro faldón a la losa de compresión.



Figura 4. Muro-faldón colocado en obra. Detalle de esperas en peto de hormigón para apoyo del muro.

1.2 Vigas-cantil.

Las vigas cantil prefabricadas son vigas de hormigón armado y sección rectangular de ancho 1,07 m y canto 1,00 m. La longitud estándar de las vigas es de 5,45 m. Sin embargo, los condicionantes geométricos en planta, especialmente a la salida y entrada del canal, justifican la necesidad de proyectar vigas de distinta longitud comprendida entre 3,60 m y 5,55m. En suma, se fabrican un total de 124 vigas, que representan 656,15 m en el conjunto de toda la obra.

Como ya se ha comentado con anterioridad, la particularidad de la viga cantil es la disposición de unas ménsulas de apoyo en sus extremos que incorporan un par de vainas corrugadas metálicas de diámetro interior 80 mm. Dichas ménsulas pueden apreciarse en la figura 5. Estas vainas permiten enfilear las barras corrugadas dispuestas en espera en las vigas transversales para realizar la unión entre ambas a través de la inyección de un mortero fluido de base cementosa, de retracción compensada y ligeramente expansivo.



Figura 5. Vigas-cantil prefabricadas con ménsula en extremos.

1.3 Paneles muros-faldón.

Los muros-faldón están constituidos por paneles prefabricados de hormigón armado de 15 cm de espesor.

En función de su ubicación con respecto a las alineaciones de pilotes se distinguen dos tipos de paneles: los paneles centrales (PC) y los paneles de pilotes (PPIL). Esta denominación puede contemplarse en la figura 7. Los primeros de ellos, como su propio nombre indica, corresponden a los situados entre las alineaciones de pilotes y los segundos a los ubicados coincidiendo con las alineaciones de pilotes. Puesto que el interje estándar de las alineaciones es de 6,506 m, la distribución resultante por alineación es de 2 paneles de tipo central (PC), de ancho nominal 2,20 m, y 1 panel de pilote (PPIL), de ancho nominal 2,10 m, este último siempre a caballo entre dos alineaciones.

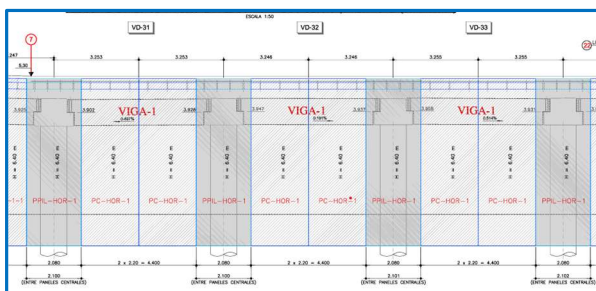


Figura 6. Definición paneles centrales (PC) y paneles de pilote (PPIL). Extracto del plano de prefabricación.

La altura estándar de los paneles es de 6,40 m. Los condicionantes geométricos en alzado conducen a proyectar paneles de altura distinta a la estándar que oscila entre 5,02 m y 7,37 m. Se

fabrican un total de 343 unidades de paneles de muro-faldón, que se traducen en 735,30 m de paneles de muro-faldón.

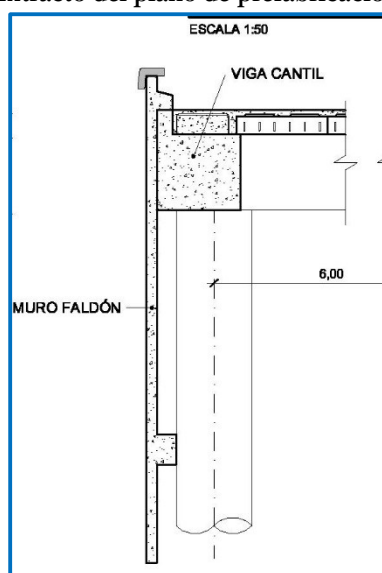
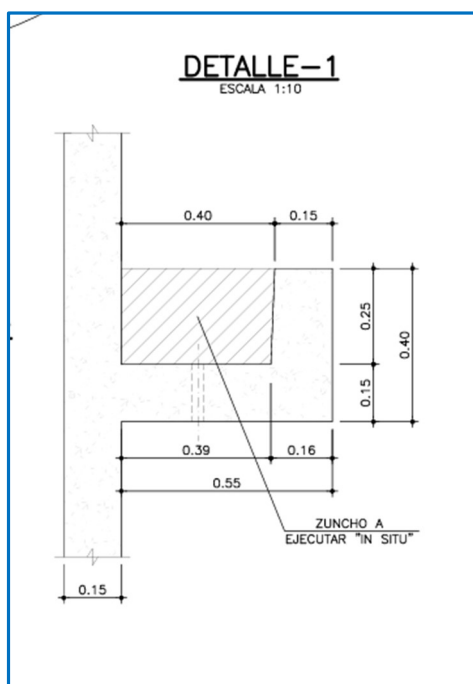
Atendiendo a su acabado en coronación, los paneles a su vez se clasifican en paneles horizontales y paneles trapezoidales. En el primer caso la coronación del panel es horizontal y en el segundo caso la coronación presenta una pendiente, ya sea a derechas o izquierdas visto desde el lado canal.

Dado que la finalidad esencial de los muros-faldón es la estética, todos los paneles presentan un acabado de tipo mampostería, como el que se muestra en la figura 8, en su cara vista que se logra gracias al uso de matrices comerciales que se disponen en el fondo del molde.



Figura 7. Acabado arquitectónico de tipo mampostería en cara vista de muros-faldón.

Como ya se señaló con anterioridad, con vistas a evitar el desplazamiento transversal relativo entre paneles, estos se arriostran longitudinalmente a través de un zuncho hormigonado “in situ”. Para ello, se materializa un saliente en forma de L en la parte inferior de la cara lado muelle de los paneles. Este saliente es continuo, extendiéndose en todo el ancho de los paneles centrales (PC). La definición de este saliente se detalla en las figuras 9 a 12.



Sin embargo, en los paneles de pilotes (PPIL) el mencionado saliente sólo se ejecuta en una longitud de aproximadamente 30 cm en cada extremo del ancho del panel, para evitar la interferencia con el pilote, que debe quedar centrado con el panel y en contacto con el mismo. Así, en la zona central de los paneles de pilote ese saliente se convierte en un mero recrido local del espesor del panel, que pasa de presentar un espesor de 15 cm a un espesor de



27 cm, y que se extiende en una longitud de 1,50 m. En este recrecido se disponen dos casquillos de acero inoxidable, a los cuales se anclarán sendos cáncamos, también de acero inoxidable, a los que se engancharán los extremos de la cadena que asegurará la sujeción del panel al pilote rodeándolo.

2. Relleno en la margen izquierda del canal de Deusto (Bilbao).

Las obras han requerido la construcción de más de 792 paneles de hormigón armado con una superficie total de 10.503 m² para formar los 1.569 m de muro necesarios para contener los rellenos dispuestos en dos zonas separadas del Canal de Deusto.

La colocación de estos muros ha requerido, previamente, la generación de una banqueta de cimentación de escollera y un

refuerzo del fondo de la ría, que en esta zona presentaba grandes espesores de fangos, mediante el hincado de columnas de grava hasta llegar a roca.

El trabajo más complejo ha sido la colocación de esos muros en la Punta Norte de la isla de Zorrotzaurre por la mayor distancia existente respecto a tierra, que necesitó el empleo de una grúa de gran capacidad de alcance. Los módulos más alejados que conforman el pico del muro exterior 2 se situaron a unos 115 m de distancia desde tierra.

2.1 Tramos del relleno de la margen izquierda del canal de Deusto.

El relleno de la margen izquierda del canal de Deusto tiene cuatro tramos, representados en las figuras 12 a 16.

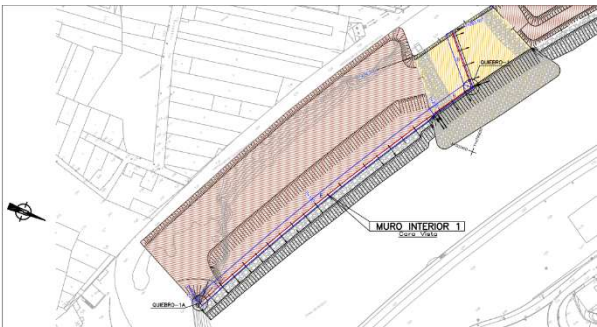


Figura 12. Muro interior 1.

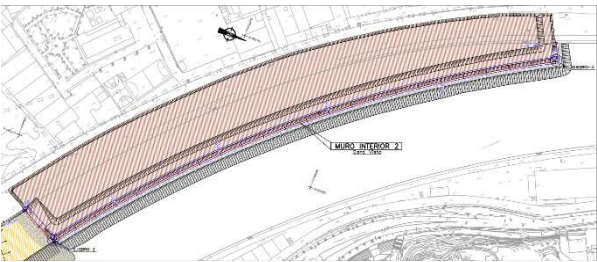


Figura 13. Muro interior 2.

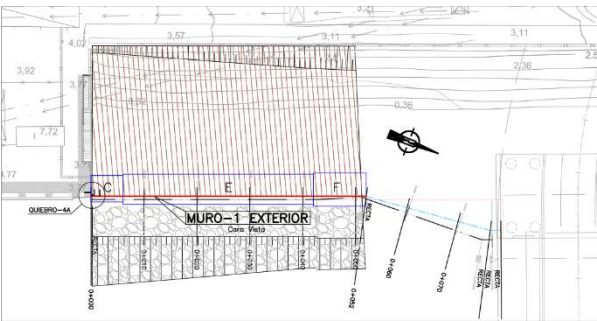


Figura 14. Muro exterior 1.

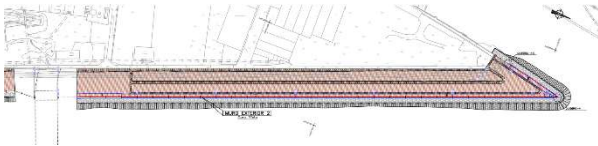


Figura 15. Muro exterior 2.

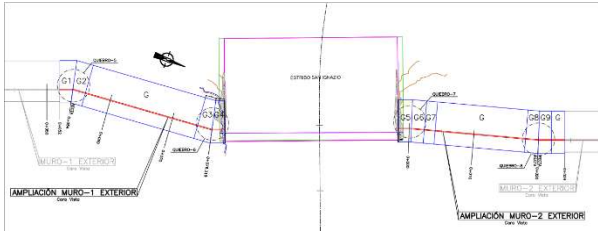


Figura 16. Ampliaciones de los muros exteriores.

2.2 Materiales e hipótesis de cálculo del relleno de la margen izquierda del canal de Deusto.

Las características del hormigón de los módulos prefabricados y de las zapatas ejecutadas in situ se muestran en la figura 17.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES					
ELEMENTO	HORMIGÓN	ACERO	CEMENTO	RECUB.	ANCHO FISURA MAX
	TIPO	TIPO	TIPO		
MÓDULOS Y CONTRAFUERTE	HA-45/P/12/IIIc	B500SD	CEM I SR 52.5N con más del 6% de microsilice q/c=0.45 350 kg/m ³	40mm	0.10mm
ZAPATA	HA-30/B/20/IIb	B500SD	CEM III	50mm	0.20mm

Figura 17. Cuadro de materiales.

Las hipótesis de cálculo se muestran en la figura 18.

HIPOTESIS DE CALCULO

TENSIÓN ADMISIBLE = 140 kPa
SOBRECARGA q = 5 kPa
FS VUELCO = 1.80
FS DESLIZAMIENTO = 1.50
ANGULO DE ROZAMIENTO ZAPATA/TERRENO = 33°

RELLENO:

EMPUJE k=0.33
DENSIDAD: APARENTE = 20 kN/m³
SUMERGIDA = 11 kN/m³
ANGULO DE ROZAMIENTO: INTERNO = 30°
TIERRA/MURO = 0°

Figura 18. Hipótesis de cálculo.

El desfase de marea considerado en los cálculos se muestra en la figura 19.

HIPOTESIS			
HIPOTESIS	AGUA TRASDOS (m)	AGUA INTRASDOS (m)	DESFASE (m)
I	5.380	4.156	1.224
II	3.476	1.300	2.176
III	1.300	3.476	-2.176
IV	4.156	5.380	-1.224

Figura 19. Desfase de marea.

2.3 Pantallas y contrafuertes del relleno de la margen izquierda del canal de Deusto.

La sección tipo de muro se muestra en la figura 20.

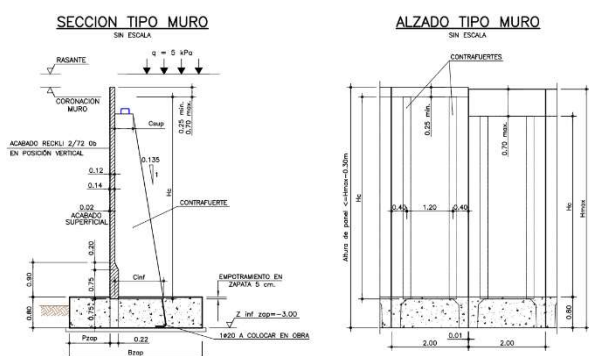


Figura 20. Sección tipo de muro.

Las pantallas tienen un ancho de modulación de 2,00 m con 14 cm de espesor incluido el acabado que se muestra en la figura 21.



Figura 21. Acabado RECKLI® 2/72 Ob.

Hay cinco tipos de contrafuertes: CXb6, CXc7, CXb7, CXc8 y CXb8 de alturas 5,00 m a 7,00 m, separados 1,20 m, cuyas dimensiones se muestran en la figura 22.

CUADRO DE CONTRAFUERTE					
Hmax (m)	CONTRAFUERTE	Hc (m)	Csup	Cinf	Espesor
6.75	Cxb6	5.00	0.475	1.150	0.20
7.25	Cxc7	5.50	0.542	1.285	0.20
7.75	Cxb7	6.00	0.475	1.285	0.20
8.25	Cxc8	6.50	0.542	1.420	0.20
8.65	Cxb8	7.00	0.475	1.420	0.20

Nota: La altura de panel es $\leq H_{\max} - 0,30m$

Figura 22. Dimensiones de los contrafuertes.

2.4 Zapatas del relleno de la margen izquierda del canal de Deusto.

Hay cinco tipos de zapatas: B, C, D, E y F para alturas máximas desde 6,50 m a 8,65 m. Sus dimensiones se muestran en la figura 23.

CUADRO DE ZAPATAS				
TIPO DE MURO	Hmax (m)	DIMENSIONES (m)		
		Bzap.	Czap.	Pzap.
B	6.50	4.85	0.80	0.75
C	7.00	5.00	0.80	1.00
D	7.50	5.30	0.80	1.20
E	8.00	5.70	0.80	1.45
F	8.65	6.25	0.80	1.80

Figura 23. Dimensiones de las zapatas.

2.5 Fases de ejecución del relleno de la margen izquierda del canal de Deusto.

Los alzados de los muros se han fabricado en la planta de fabricación en módulos de ancho 2,00 m sin zapata de cimentación, como es habitual en prefabricación. Una vez acopiados en obra se les ha incorporado la zapata armada para conformar el muro en L y poder lanzarlo a su posición definitiva. Las fases se muestran en las figuras 24, 25, 26 y 27.



Figura 24. Paneles premontados en la solera del acopio.



Figura 25. Ferralla de la zapata.



Figura 26. Muro terminado.



Figura 27. Muro lanzado en su posición definitiva.

2.6 Quiebras del relleno de la margen izquierda del canal de Deusto.

Los muros presentan varios quiebras con diferentes ángulos:

- muro interior 1 con quiebro 1
- muro interior 2 con quiebras 2 y 3
- muro exterior 2 con quiebro 4

Las esquinas se ejecutan incorporando varios módulos más estrechos a ambos lados y unificándolos en una sola zapata. Uno o varios de los paneles de la esquina cambian el tipo de contrafuerte por motivos de espacio a IPN-220. Las figuras 28 y 29 corresponden al quiebro 3 del muro interior 2.



Figura 28. Quiebro 3 del muro interior 2.



Figura 29. Quiebro 3 del muro interior 2.

2.6.1. Quiebro 3 del muro interior 2

El hueco que queda entre el panel con IPN y el panel con contrafuerte de hormigón se arma y se hormigona previamente para formar una esquina cerrada. Cuando el conjunto está sumergido se trata de una zona de difícil acceso que no se puede rellenar adecuadamente. Los paneles se biselan en los bordes. Los detalles se recogen en las figuras 30 y 31.

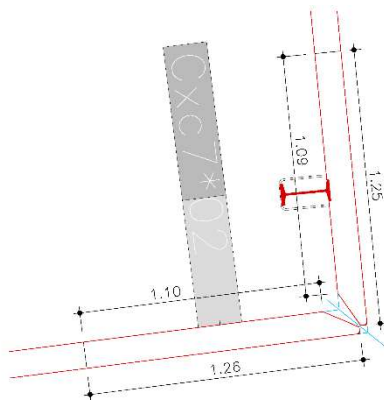


Figura 30. Paneles biselados en la esquina.

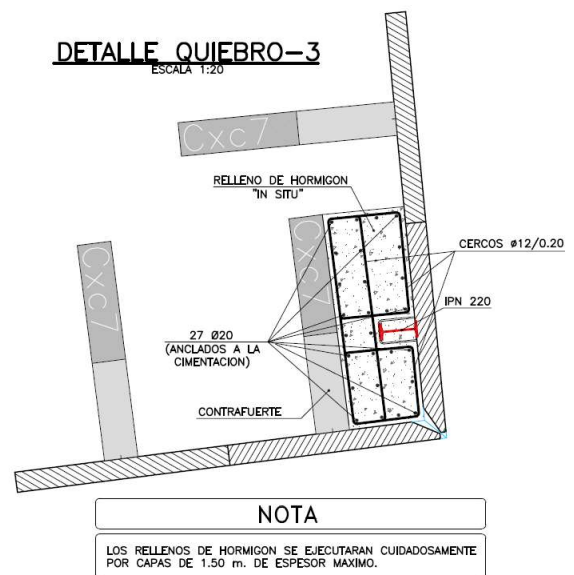


Figura 31. Hormigonado previo de la esquina.

Agradecimientos

Las obras descritas se han realizado en colaboración con las siguientes empresas consultoras de ingeniería y empresas constructoras:

APERTURA CANAL DE DEUSTO

Promotor: Ayuntamiento de Bilbao

Construcción: "U.T.E. CANAL DEUSTO" integrada por: Construcciones Murias S.A., Tecsma Empresa Constructora S.A. y Drace Infraestructuras S.A.

Proyecto: TYPESA S.A.

RELLENO MARGEN IZQUIERDA CANAL DE DEUSTO

Promotor: Puerto de Bilbao

Construcción: "U.T.E. ACCIONA - ALTUNA Y URIA"

Proyecto: IDOM