

REPARACIÓN DE LA NAVE DEL DEPÓSITO DEL LABORATORIO DE ESTUDIOS HIDRÁULICOS DEL CEDEX

Luis MATUTE RUBIO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director General

luismatute@ideam.es**Ignacio PULIDO SÁNCHEZ**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

ignaciopulido@ideam.es**Carlos PERALTA FERNÁNDEZ**

Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

COMPOSAN

Director departamento rehabilitación estructuras

carlosperalta@composan.com**Miguel Ángel DELGADO NÚÑEZ**

Ingeniero Caminos

COMPOSAN

Director técnico

miguelangel.delgado@composan.com

RESUMEN

La losa superior del depósito de la nave de ensayos del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX mostraba un estado de degradación generalizado, ya que presentaba numerosos daños estructurales por corrosión de armaduras y pérdidas del recubrimiento de hormigón, lo que afectaba considerablemente a sus condiciones de seguridad y durabilidad, comprometiendo la capacidad resistente de la estructura. Así mismo, durante la campaña de ensayos realizada con objeto de caracterizar la estructura, se observó una importante insuficiencia de la armadura transversal de cortante en las vigas de la estructura respecto a la nominal de los planos de construcción, lo que suponía un daño importante respecto a los inicialmente detectados.

Tanto el propio estado de conservación que presentaba la estructura, como la significativa insuficiencia de cortante detectada, supuso la necesidad de refuerzo y reparación de la misma.

PALABRAS CLAVE: Corrosión, patología de edificación, reparación, refuerzo a cortante, insuficiencia resistente cortante.

1. Introducción y descripción general de la obra

El edificio del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX es obra del ilustre arquitecto D. Miguel Fisac Serna, quién constituyó un hito en su tiempo en la arquitectura industrial de hormigón armado, debido a las soluciones arquitectónicas incluidas en el edificio como son la iluminación cenital, las escaleras en voladizo de hormigón armado, las vigas “hueso”,...

Concretamente, la estructura objeto del artículo se trata de la losa del depósito de la nave 2 del Laboratorio de Hidráulica, ejecutada en segunda fase como ampliación de la zona de trabajo para cubrir las necesidades del Centro en la realización de los modelos hidráulicos más grandes como el estudio de ríos, escalas de peces, estudios de socavación,... Bajo la solera de esta nave existe un depósito de agua para su almacenamiento y utilización en los diferentes modelos citados.

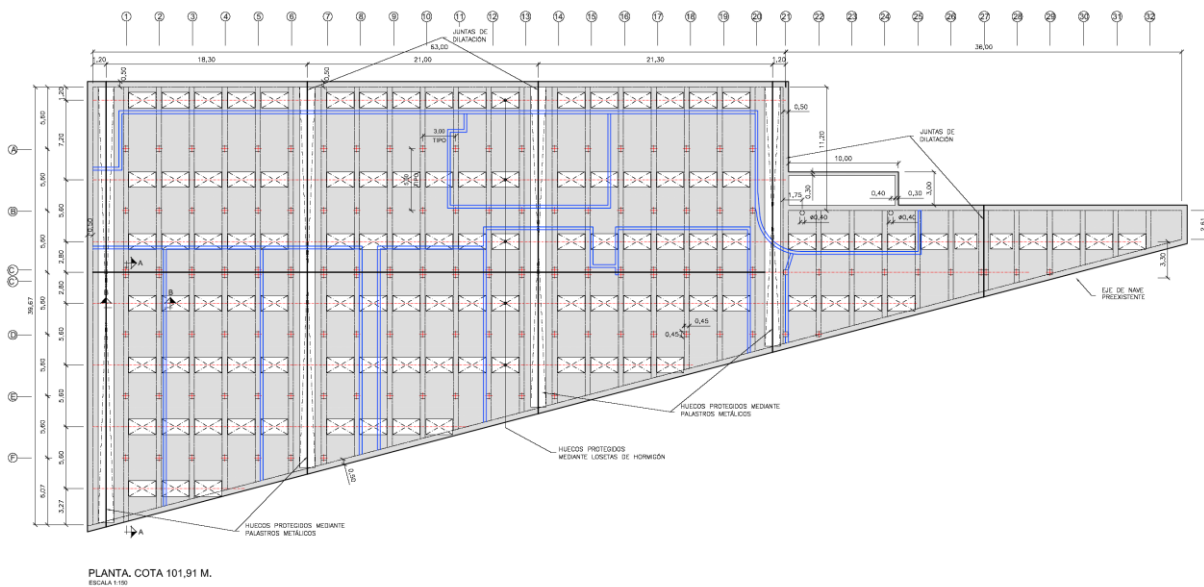
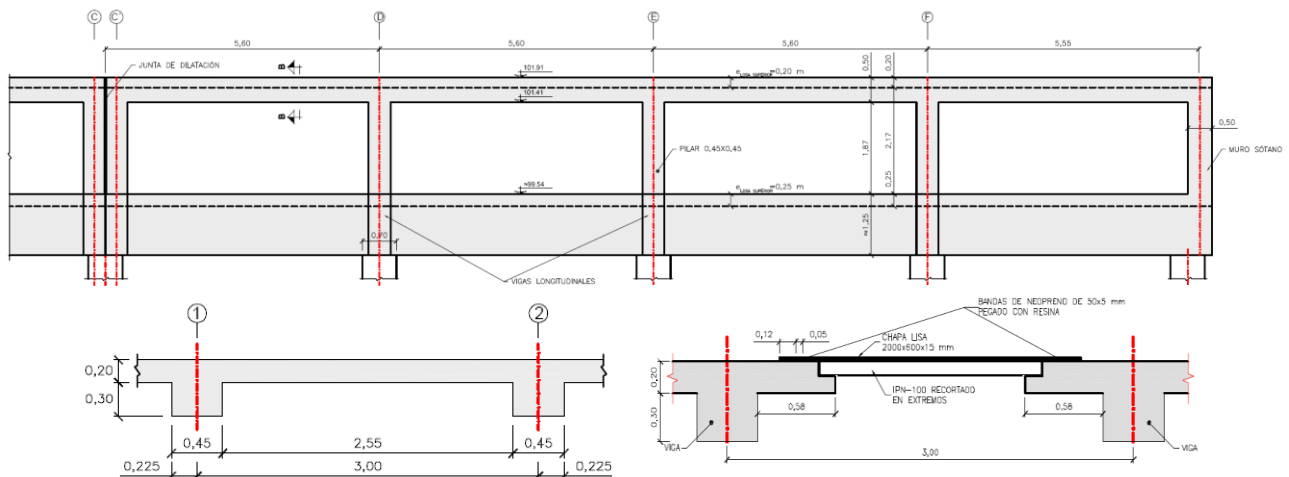


Figura 1. Planta general de la losa de la nave del depósito del laboratorio de estudios hidráulicos del CEDEX

El depósito propiamente dicho se compone de una losa inferior que hace la función de solera y de otra superior que sirve de cerramiento del depósito, así como de plataforma para la nave de ensayos, siendo ésta objeto del proyecto y reparación llevados a cabo. La superficie de la losa objeto de la intervención es de 2370 m².

La solera inferior se trata de una losa nervada pilotada. De acuerdo a la planta de cimentación los pilotes se disponen de forma regular estableciendo una cuadrícula de 5,60 mx3,00 m. La losa superior está sustentada mediante una cuadrícula de pilares cuadrados de 0,45 m de lado, dispuestos en la vertical de los pilotes.



Figuras 2, 3 y 4. Sección tipo de la estructura del depósito de la nave, sección transversal tipo de losa y detalle de ménsulas cortas originales puenteadas por palastros metálicos rigidizados en la actualidad.

La losa superior del depósito se trata de una losa nervada con vigas únicamente en dirección transversal separadas entre sí, de acuerdo con el intereje de la subestructura, 3,00 m. Estas vigas

tienen un canto de 0,50 m y un ancho de 0,45 m, dimensiones coincidentes con el ancho de los pilares. La superestructura propiamente dicha está formada por una losa de hormigón armado de 0,20 m de canto.

Como característica particular de la losa se debe destacar la importante superficie de huecos existentes que comunican la parte exterior del depósito con el interior. Concretamente, existen dos familias de huecos en la losa, tanto por su forma como por su solución de cerramiento: los huecos longitudinales y los transversales. Inicialmente, todos estos huecos estaban cerrados por una serie de losetas de hormigón armado que apoyaban directamente a media madera sobre la losa. El progresivo deterioro de las losetas y de las propias ménsulas cortas ha supuesto la sustitución de las mismas por una serie de palastros metálicos rigidizados inferiormente en el caso de los huecos longitudinales, y por una serie de perfiles metálicos sujetos sobre las vigas principales mediante “uñas” metálicas que apoyan sobre la cara superior de las vigas, en el caso de los huecos transversales.



Figura 5. Palastros metálicos para el cierre de huecos transversales.



Figura 6. Detalle de apoyo de perfiles metálicos sobre las vigas principales de la losa superior.

2. Patologías de la losa superior

El estado general de conservación que manifestaba la losa superior del depósito resultaba totalmente inadecuado, ya que presentaba numerosos daños de diferente grado e importancia. Esto afectaba considerablemente a la seguridad y durabilidad de la estructura, lo comprometía la capacidad resistente de la estructura.

Muchas de las patologías detectadas, se trataban de daños lógicos debidos a los casi 45 años desde su construcción, más teniendo en cuenta el uso al que está destinado. No obstante, también se detectaron otra serie de daños mayores, como la falta de recubrimiento generalizada, la corrosión acelerada por las altas concentraciones de humedad en el interior del depósito y la circulación de aire en las inmediaciones de los huecos, etc. Daños que su desarrollo implicaban una merma importante en la capacidad resistente de la estructura, los cuales podían incluso llegar

a producir el colapso parcial o total de la obra existente, con un pequeño avance del nivel de deterioro existente.

Las vigas, elementos resistentes principales de la losa, manifestaban una serie de daños sistemáticos por corrosión de las armaduras, si bien el grado de afección resultaba diferente entre unas y otras. Las vigas con mayor índice de daño presentaban pérdidas importantes de sección de la armadura, llegando incluso, en determinadas zonas, a la rotura y pérdida por la oxidación de la armadura, todo ello acompañado de los correspondientes desconchones y pérdidas del hormigón de recubrimiento.

En términos generales, los daños detectados en las vigas se localizaban de forma aleatoria en toda la superficie del depósito, si bien se concentraban en las zonas próximas a los huecos longitudinales, siendo también más desfavorables aquellas vigas situadas sobre o cerca de los depósitos, debido al alto índice de humedad y circulación de aire a través de los huecos existentes.



Figuras 7 y 8. Pérdida del hormigón de recubrimiento con importantes daños por corrosión de armaduras, tanto de cortante como de flexión, llegando incluso a la rotura de las barras.

El estado general de conservación de la losa resultaba similar al que manifestaban las vigas, tanto en grado como en alcance. Concretamente, se puede decir que los daños de la losa se concentraban en la armadura principal de flexión positiva, si bien el armado longitudinal de reparto también aparecía en numerosas ocasiones dañado. Igual que en el caso de las vigas, la corrosión de las armaduras había producido el correspondiente estallido del hormigón, por lo que la armadura quedaba totalmente vista y expuesta a los agentes agresivos ambientales. Así mismo, las zonas más deterioradas coincidían con las zonas próximas a los huecos por donde recircula el agua de los modelos hidráulicos, lo que aceleraba la oxidación de la armadura, tanto por las propias salpicaduras del agua como por la propia circulación del aire, con la aportación del oxígeno libre necesario para el desarrollo de la corrosión.



Figuras 9 y 10. Numerosas zonas de losa con pérdida de recubrimiento y armaduras transversales oxidadas.

Cabe resaltar el grave estado que presentaban las ménsulas cortas que servían de apoyo de las losetas prefabricadas de hormigón para el cierre de los huecos. Estos elementos, como se puede observar en las imágenes adjuntas, no fueron cuidados durante la ejecución, al igual que se pudo observar en el resto de la estructura, con el agravante de que se trata de elementos de reducidas dimensiones, de 0,10 m de canto y vuelo. En la actualidad, se puede observar la importante degradación que han sufrido éstas, ya que presentaban, incluso, roturas puntuales.



Figuras 11 y 12. Rotura de ménsulas cortas de losa, con numerosas zonas en las que armaduras están oxidadas. También se observa la degradación del hormigón con la consiguiente pérdida de la geometría original de las ménsulas.

En cuanto a los pilares y el muro perimetral del depósito, su estado de conservación era bastante bueno en comparación con los daños descritos anteriormente, puesto que manifestaban únicamente daños puntuales y de reducido alcance. También resulta importante destacar, tal y como se pudo comprobar en las imágenes 5 y 6, el deteriorado estado de conservación de los elementos metálicos de cierre de los huecos, con la pérdida casi total de la pintura de protección y con zonas puntualmente debilitadas por la corrosión de estos elementos metálicos.

3. Ensayos de reconocimiento estructural e insuficiencia resistente de la losa a cortante

Durante la fase de redacción del proyecto de reparación, se hicieron una serie de trabajos de reconocimiento de la estructura, consistentes en la extracción de testigos de hormigón para obtener su resistencia a compresión simple y determinar la profundidad de carbonatación del mismo, la realización de calas para la verificación de las cuantías de armado y del estado de conservación de la misma, así como la medición de potenciales de corrosión y resistividad del hormigón con objeto de evaluar la actividad del proceso de corrosión.

Las resistencias a compresión simple obtenidas resultaron muy dispares con valores máximos superiores a los 40 MPa, mientras que los valores mínimos se encontraban entorno a los 17 MPa. Del análisis estadístico de los datos, se obtuvo una resistencia característica del entorno de los 15MPa. Este valor tan bajo, tiene su explicación en la gran dispersión obtenida de los datos, lo que penalizó en exceso la desviación típica respecto a la media, obteniendo un valor característico tan bajo.

En cuanto a los resultados de las calas, se pudo comprobar que el armado de vigas y losa presentaba pérdidas importantes de sección, especialmente en el caso de los cercos de cortante, los cuales habían llegado a desaparecer físicamente en múltiples ocasiones debido a la corrosión de la armadura. No obstante, la principal patología que se detectó fue la discordancia en las vigas entre la armadura de cortante teórica detallada en los planos (2cØ10 a 0,15m) y la realmente dispuesta (cØ10 a 0,20 m), lo que implicaba una reducción de la capacidad de la armadura de cortante de algo más del 60% sobre la armadura teórica. Esta falta de armado, de acuerdo a la evaluación realizada de la estructura, ponía de manifiesto una insuficiencia importante de la capacidad resistente frente al estado límite último de cortante en las vigas. En la tabla siguiente se incluye un resumen de la estimación de la capacidad a cortante realizada con la Instrucción de Hormigón de 1968 y la EHE, para una sobrecarga nominal de 10 kN/m²

NORMA	A90	V _{cu} [kN]	V _{su} [kN]	V _{rd} [kN]	V ^k _{cperm} (x=d) [kN]	V ^k _{sc} (x=d) [kN]	V _d (sc=10 kN/m ²) (x=d) [kN]	γ _{scu} *
EH-1968	2cØ10 c/0,15m	124,00	169,65	293,65	40,62	69,37	171,92	2,097
EH-1968	cØ10 c/0,20.m	124,00	63,60	187,60	40,62	69,37	171,92	1,141
EHE	cØ10 c/0,20.m	81,34	63,60	144,94	40,62	69,37	171,92	0,757
* Coeficiente que agota la resistencia del elemento sobre una sobrecarga unitaria de 10 kN/m ²								

Como se puede observar en la tabla anterior, para la armadura nominal existente, es decir, sin tener en cuenta los deterioros que presentaban las vigas, la diferencia detectada en la cuantía de la armadura transversal, supone una importante reducción de la capacidad resistente, en el entorno del 50% respecto a la situación teórica de proyecto. Así mismo, como se puede comprobar en la tabla resumen, cabe destacar la penalización que produce la EHE-08 respecto a

la capacidad resistente del hormigón a cortante, reduciéndose entorno a un 30% respecto a la EH-1968.

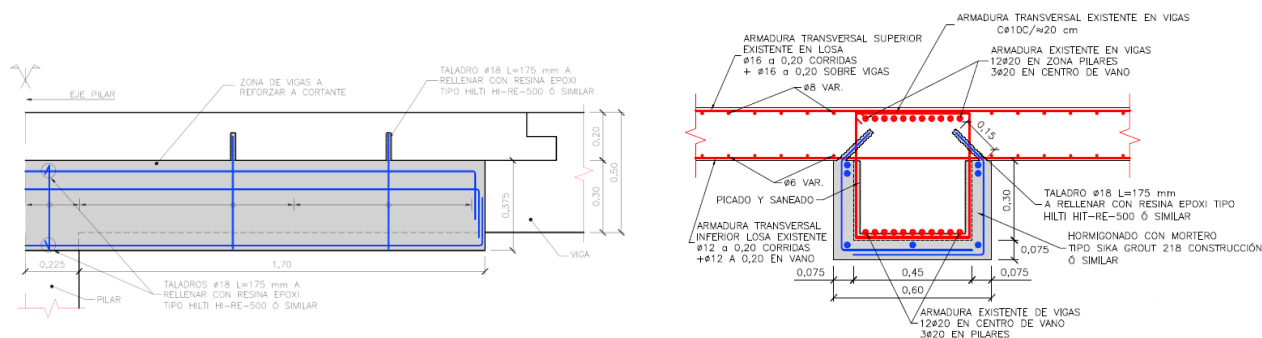
Esta falta de capacidad resistente suponía un problema importante para el uso de la nave de ensayos, pues frecuentemente se realizan modelos hidráulicos con cargas superiores a los 15 kN/m².

4. Actuaciones

Como consecuencia de los daños de durabilidad que presentaba la losa superior del depósito, así como la insuficiencia resistente a cortante de las vigas principales, se plantearon una serie de actuaciones encaminadas a establecer unas condiciones resistentes y de durabilidad adecuadas. El refuerzo a cortante, se realizó mediante la disposición de nueva armadura pasiva y el recrecido de la sección, si bien se estudiaron otras alternativas como la utilización de pletinas metálicas o fibra de carbono. La problemática de la solución, en este caso concreto, se encontraba en la imposibilidad de actuar en la cara superior de la losa, ya que fue condición de la Propiedad que, durante la ejecución de las obras, el depósito siguiera funcionando con total normalidad.

Para ello se ideó un sistema de refuerzo consistente en el mecanismo resistente de la suma de las dos vigas. Por un lado, estaría la capacidad resistente de la viga actual y por otro, el de la nueva viga exterior, de menor canto, conectando las vigas de tal forma que se lograra un adecuado monolitismo y se asegurara la correcta transmisión de los esfuerzos rasantes. Así mismo, se dispuso una armadura de flexión negativa proporcional al esfuerzo cortante de cada viga, con objeto de asegurar el trabajo del refuerzo en estado límite último.

Así mismo, hubo una serie de vigas, que debido a su peor estado de conservación, manifestando unas pérdidas importantes de la armadura principal de flexión, se consideró necesario acometer su refuerzo integral tanto a cortante como a flexión positiva,



Figuras 13 y 14. Alzado y sección transversal del sistema de refuerzo de cortante adoptado.

Además de esta actuación de refuerzo, se llevaron a cabo otra serie de actuaciones generales como son: el picado, saneado y regeneración de desconchones y armaduras vistas; la limpieza y aplicación de pintura de protección de los palastros y perfiles metálicos; la sustitución de parte de las losas de cierre de hormigón por rejillas tipo Tramex para permitir la ventilación del depósito; la impermeabilización de la cara inferior de la losa superior con un impermeabilizante de doble capa de mortero bicomponente de aglomerantes cementosos y áridos seleccionados junto con una malla de fibra de vidrio intermedia; aplicación de una pintura anticarbonatación e hidrofugante; impermeabilización de los depósitos inferiores; etc.

5. Desarrollo de las obras

Si bien el conjunto de la actuación contempló la realización de múltiples y variados trabajos de refuerzo y reparación de la estructura, a continuación se recogen aquellas actuaciones que a juicio de los autores del artículo pueden presentar un mayor interés técnico.

Cara inferior de losa superior del depósito.

La actuación comenzó con el saneado manual superficial de toda la cara inferior de la losa superior. Para ello se procedió al picado por medios manuales y mecánicos de baja potencia (martillos eléctricos, taladros, sierras radiales,...) de todo el hormigón suelto o mal adherido, conservándose, únicamente, el hormigón sano y que presentaba un estado de conservación aceptable como para considerar que la armadura interior no hubiera sufrido daños por corrosión y que asegurase su integridad.

Como tratamiento de la armadura corroída, se procedió a chorrear con agua y arena de sílice (1-2 mm) toda la superficie de la losa eliminando y limpiando toda la suciedad e imperfecciones existentes. Así mismo, éste tratamiento sirvió como limpieza del óxido de las armaduras hasta dejar las mismas en acero vivo, sin restos de oxidación. Una vez finalizado este tratamiento se repasó, de forma manual, las armaduras que no hubieran quedado perfectamente tratadas, limpiándolas con un cepillo de púas metálicas hasta conseguir la total eliminación de los restos de óxido. El acero se limpió hasta unos grados, de acuerdo a la norma SIS-05-5900 grado Sa 2 ½ para el acero tratado con el chorro de arena o grado St 3 para las armaduras tratadas de forma manual.

Seguidamente se realizó la pasivación de las armaduras vistas mediante un revestimiento anticorrosivo a base de cemento y resinas epoxi modificadas. Este tratamiento consistió en la aplicación de dos capas de pasivante sobre la armadura limpia, aplicado mediante brocha y/o pistola, asegurando el completo tratamiento de la armadura vista.



Figuras 15 y 16. Pasivado de armadura tras saneado y comprobación de sección resistente residual.

Una vez realizado el saneado y pasivado de la estructura existente, se procedió a realizar el refuerzo de las vigas propiamente dicho. Para ello, en primer lugar se comenzó con la realización de los trabajos de anclaje de las armaduras. En las zonas descubiertas tras el saneado se

comprobó que la cadencia de las armaduras era bastante constante, por lo que para la ejecución de los taladros de anclaje de las armaduras, se planteó realizar una plantilla metálica la cual se replanteaba en los laterales de las vigas, con objeto de agilizar los trabajos de ejecución de los anclajes de las armaduras, evitando la realización de taladros fallidos por encontrar armaduras. Dada la elevada cantidad de taladros a realizar en total, más de 9.000 taladros en total, se utilizó un martillo neumático de altas prestaciones para poder cumplir los plazos de la obra.



Figura 17. Detalle de plantilla para replanteo de taladros.



Figura 18. Vista de nudo ferrallado antes de encofrar y hormigonar.

El ferrallado de los refuerzos de las vigas no presentó ningún problema en sí mismo, ya que la disposición de ferralla estaba bien estudiada y definida y no exigía grandes cuantías de armado. La principal problemática de este trabajo, resultó la inherente a la realización de anclajes con resina epoxi tixotrópica a techo, con las precauciones de aplicación e introducción de las barras que conlleva.

Para ejecutar con garantía los recrecidos de grout de las vigas y debido a la alta fluidez de este material, se realizaron unos encofrados metálicos a medida para cada una, disponiéndolos con la separación y recubrimiento establecido en Proyecto, permitiendo mediante tubos flexibles el rebose y eliminación del aire ocluido durante la operación. Dichos encofrados metálicos se disponían y apuntalaban mediante puntales directamente contra el suelo.



Figura 19. Detalle de encofrado metálico.



Figura 20. Encofrado metálico durante el hormigonado. Detalle de tubo de purga de aire y hormigonado (lateral opuesto).

Una vez se hubiera procedido a la reparación y el refuerzo de la estructura, se realizó un doble tratamiento de protección e impermeabilización, garantizando que los daños actualmente existentes -desconchones, armaduras vistas, pérdidas totales de la sección de acero, etc- debidos casi con toda seguridad a la falta de recubrimiento y al ambiente en que se encontraba la estructura –con una humedad relativa elevada-, no volvieran a desarrollarse en el futuro. Para ello se aplicó una primera capa de mortero bicomponente de impermeabilización, el cual consistió en un aglomerante cementoso unido a un árido seleccionado; posteriormente se adhirió una malla de fibra de vidrio para dar mayor consistencia y resistencia a la actuación para acabar aplicando una segunda capa de mortero impermeabilizante de iguales características.



Figura 21. .Refuerzo de cortante de vigas totalmente terminado y protegido con pintura anticorrosión.



Figura 22. Detalle final de cara inferior de solera restituida con mortero de impermeabilización con malla de fibra de vidrio intermedia

6. Principales participantes en el proyecto

Propiedad: Ministerio de Fomento. CEDEX. Centro de estudios hidrográficos.

Constructora: COMPOSAN CONSTRUCCION S.A.

Proyecto: IDEAM

Asistencia Técnica a la Dirección de la Obras: SETI