

CUADERNOS INTEMAC

Estanque de tormentas de Arroyofresno. Control de hormigones y de equipos

Arroyofresno storm water tank. Materials and equipment control

Federico Valenciano Carles
Ingeniero Industrial
Director del Área de Instalaciones
de INTEMAC

Luis González Nuño
Ingeniero Técnico de O.O. P.P.
Jefe del Departamento de Control
de Obra de INTEMAC

Fernando López Ortún
Ingeniero de Caminos.
Director de Obra del
Ayuntamiento de Madrid

Elena de la Paz Cobos
Ingeniero de Caminos.
Director de Obra del
Ayuntamiento de Madrid



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 79

3.º TRIMESTRE '10



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC
A U D I T

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORIAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC
E C O

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

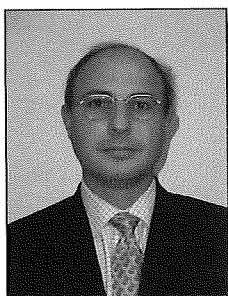
Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

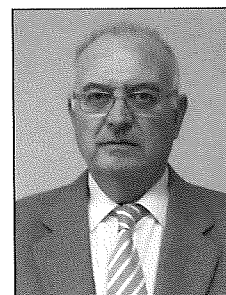
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**ESTANQUE DE TORMENTAS DE ARROYOFRESNO.
CONTROL DE HORMIGONES Y DE EQUIPOS**

**ARROYOFRESNO STORM WATER TANK.
MATERIALS AND EQUIPMENT CONTROL**



Federico Valenciano Carles
Ingeniero Industrial
Director del Área de Instalaciones de Intemac
Mechanical Engineer
Head of Intemac Building
Services Dpt.



Luis González Nuño
Ing. Téc. de O.O.P.P.
Associate Civil Engineer
Jefe del Dpto. de Control de Obra
de Intemac
Head Work Control. Intemac



Fernando López Ortún
Ingeniero de Caminos
Civil Engineer
Director de Obra. Ayto. de Madrid
Chief Resident Engineer. Madrid City Council



Elena de la Paz Cobos
Ingeniero de Caminos
Civil Engineer
Director de Obra. Ayto. de Madrid
Chief Resident Engineer. Madrid City Council

Copyright © 2010, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-4699-2010
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS**
 - 2.1. PARTIDOR DE ARROYOFRESNO
 - 2.2. NUEVO COLECTOR DE ARROYOFRESNO
 - 2.3. ESTANQUE DE TORMENTAS
 - 2.4. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS GENERALES
- 3. CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES**
 - 3.1. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL CONTROL DE CALIDAD
 - 3.2. PLAN DE CONTROL
 - 3.3. HORMIGÓN
 - 3.4. ARMADURA PASIVA
 - 3.5. MORTERO DE CEMENTO
 - 3.6. LODOS BENTONÍTICOS
 - 3.7. ÁRIDOS PARA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN
 - 3.8. AUSCULTACIÓN DE ELEMENTOS VERTICALES
 - 3.9. INSTALACIONES DE PREFABRICADOS
 - 3.10. CONCLUSIONES SOBRE EL CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES
- 4. CONTROL DE EQUIPOS E INSTALACIONES**
 - 4.1. INSPECCIÓN DE RECEPCIÓN DE EQUIPOS
 - 4.2. INSPECCIÓN DE EJECUCIÓN Y MONTAJE
 - 4.3. PRUEBAS FINALES

CONTENTS

- 1. INTRODUCTION**
- 2. WORKS DESCRIPTION**
 - 2.1. ARROYOFRESNO SPLITTER BOX
 - 2.2. NEW ARROYOFRENO SEWER
 - 2.3. STORM WATER TANK
 - 2.4. MAIN GENERAL CHARACTERISTICS
- 3. MATERIALS QUALITY CONTROL**
 - 3.1. OVERALL QUALITY CONTROL APPROACH
 - 3.2. CONTROL PLAN
 - 3.3. CONCRETE
 - 3.4. PASSIVE REINFORCEMENT
 - 3.5. CEMENT GROUT
 - 3.6. BENTONITE SLURRY
 - 3.7. AGGREGATE FOR THE MANUFACTURE OF CONCRETE
 - 3.8. INSTRUMENTAL MONITORING OF VERTICAL MEMBERS
 - 3.9. PRECASTING PLANT
 - 3.10. SUMMARY ON THE MATERIALS QUALITY CONTROL
- 4. CONTROL OF EQUIPMENT ACCEPTANCE INSPECTIONS**
 - 4.1. EQUIPMENT ACCEPTANCE INSPECTION
 - 4.2. CONSTRUCTION AND ASSEMBLY INSPECTIONS
 - 4.3. FINAL TEST

ABSTRACT

The Arroyofresno storm tank forms part of the city of Madrid's new Infrastructure Plan for improving the quality of the River Manzanares water. Despite its spectacular magnitude, with an area equal to four football fields and a depth sufficient to house a 6-storey building, the tank goes unnoticed by most of the city's residents because of its underground location.

The dimensions involved can best be defined by some of the most significant construction statistics. The earthworks to accommodate the storm tank itself and to bore the 3-km long tunnel for the 7-m diameter underground collector, for instance, entailed the removal of over 100 000 m³ of material. And 185 000 m³ of concrete, equivalent to a cube measuring 57 m on each side, were needed to build the structural members. Highly detailed planning and precise synchronisation were required in all operations. In particular, four diaphragm wall grabs and three pile hammers operated simultaneously on the top platform of the tank during construction.

In addition to testing the materials, INTEMAC supervised the acceptance of the tank fittings (such as pumps, gates and valves), the collectors and the welded DN1600 and DN1200 steel pipe pumping systems, and conducted the final operating trials for all the equipment, systems and ancillary facilities. Material quality control consisted primarily of ensuring compliance with the criteria laid down in the Spanish Structural Concrete Code and all other legislation applicable to the materials used.

1. INTRODUCTION

Madrid's Directorate-General for Water has implemented a new infrastructure plan aimed at improving water quality in the River Manzanares with a view to contributing to a healthier urban environment, one of the city's priorities. This ambitious plan, unprecedented world-wide, brings Madrid's water storage and treatment capacity to 1.3 million cubic metres. A key component of the system is the new Arroyofresno storm water tank.

Madrid has a combined sewer system, which means that sewage and rainwater flow through the same network. The city's new infrastructures will handle peak flows during periods of heavy rainfall when the treatment plants cannot immediately cope with such volumes of water, thus preventing the combined rain and wastewater from overflowing into the River Manzanares.

The new storm water tanks will store this water together with the pollutants it contains from street debris and the sewer sediment transported when flows are heavy. When the storm is over, water from the tanks is gradually released, in keeping with treatment plant processing capacity and ultimately discharged into the River Manzanares once the water has been cleaned.

These infrastructures, pioneered by the city of Madrid, have reinforced its comprehensive sewer system while enabling it to meet the quality parameter requirements for water discharged into the river established by the competent Spanish and European authorities.

The construction of the Arroyofresno storm water tank and ancillary structures, whose total cost was 106 M, began in November 2005 and was completed in May 2009.

2. WORKS DESCRIPTION

The Arroyofresno storm water tank is located in the northwestern part of the city on the grounds of Villa de Madrid Country Club. This project involved building both a new sewer to evacuate and a storm water tank to store the water collected from the Arroyofresno sewers, which for reasons of capacity could not be accommodated by the sewer on the left bank of the Manzanares.

RESUMEN

El Estanque de Tormentas de Arroyofresno forma parte del Plan de Nuevas Infraestructuras para la mejora de la calidad del agua del río Manzanares impulsado por el Ayuntamiento de Madrid. Aunque pasa desapercibida a la mayor parte de los ciudadanos por ser una obra subterránea, se trata de una obra civil de magnitudes espectaculares, con una superficie equivalente a 4 campos de fútbol y una profundidad similar a la de un edificio de oficinas de 6 plantas.

Las operaciones más significativas y que mejor definen la magnitud de la obra son las correspondientes, en primer lugar, al movimiento de tierras producido tanto en el vaciado del propio estanque de tormentas como en la retirada del material procedente de la excavación del colector en túnel, de 3 km de longitud y de casi 7 m de diámetro interior (más de 100.000 m³), y, en segundo lugar, a la ejecución de los elementos estructurales, para los que se han empleado 185.000 m³ hormigón, equivalentes a un cubo de 57 m de lado. Por todo ello, han sido necesarias una programación minuciosa y una adecuada sincronización de movimientos en todas las operaciones. En este sentido, cabe destacar la presencia simultánea sobre la plataforma superior del estanque de 4 pantallas y de 3 piloterías durante la ejecución.

INTEMAC ha llevado a cabo, además de los ensayos de materiales, el control de recepción de los equipos que forman parte del conjunto de las obras del estanque (bombas, compuertas, válvulas, etc.) y de los colectores y las conducciones de impulsión realizados con tubos de acero DN1600 y DN1200 con soldadura helicoidal, así como unas pruebas finales de funcionamiento de los equipos, los sistemas y las instalaciones auxiliares. El control de materiales que se ha desarrollado ha sido fundamentalmente el control de recepción, habiéndose tenido en cuenta los criterios establecidos en la Instrucción EHE así como la normativa que era de aplicación a los diferentes materiales empleados.

1. INTRODUCCIÓN

El Ayuntamiento de Madrid, a través de la Dirección General del Agua, ha impulsado un plan de nuevas infraestructuras para la mejora de la calidad de las aguas del río Manzanares, contribuyendo con ello al objetivo prioritario de mejora del medio ambiente. Un ambicioso plan sin precedentes en otra ciudad del mundo, del que forma parte el estanque de tormentas de Arroyofresno y que logra alcanzar una capacidad de almacenamiento y tratamiento de 1,3 millones de metros cúbicos de agua.

El sistema de saneamiento de la ciudad de Madrid es unitario, esto significa que transporta por la misma red, aguas negras y pluviales. Las nuevas infraestructuras de las que ha sido dotada la ciudad de Madrid van a permitir que en caso de grandes lluvias estas aguas pluviales junto con las residuales no se dirijan al río Manzanares ante la incapacidad de las depuradoras de absorber estos caudales en momentos puntuales de gran pluviometría.

Para ello, los nuevos estanques de tormentas almacenarán esta agua reteniendo la contaminación asociada, es decir, tanto la proveniente del lavado de viales como de los sedimentos de los colectores de saneamiento que son arrastrados cuando aumenta el caudal en los mismos. Una vez finalizada la tormenta, los estanques se vaciarán gradualmente a las depuradoras en función de sus capacidades de tratamiento y serán éstas las que viertan el agua, una vez depurada, al río Manzanares.

Así se cumplen los parámetros exigidos de calidad de las aguas vertidas al río, establecidos por los organismos competentes españoles y europeos, siendo la ciudad de Madrid en este sentido pionera por haber logrado complementar el Sistema Integral de Saneamiento con estas nuevas infraestructuras.

El conjunto de las obras de construcción del estanque de tormentas de Arroyofresno, comenzaron en noviembre de 2005, han contado con un presupuesto de 106 millones de euros y han concluido en mayo de 2009.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

El estanque de tormentas de Arroyofresno está situado en la zona noroeste de la ciudad de Madrid, en el interior del Club de Campo Villa de Madrid. La actuación ha supuesto la construcción de un nuevo colector y un estanque de tormentas que conducen y almacenan respectivamente las aguas recogidas en los colectores de Arroyofresno que, por capacidad, no pueden ser derivadas al colector margen izquierda.

The elements built to form the Arroyofresno storm water tank are listed below.

- Arroyofresno splitter box: located at number 13 Arroyofresno Street, designed to divert the water flow
- New Arroyofresno sewer: sewer tunnel 3 028 metres long and 6.7 m in diameter to carry the diverted stream to the Arroyofresno storm water tank
- Arroyofresno storm water tank: storage tank with a capacity of approximately 400 000 m³, located under the golf driving range of the Villa de Madrid Country Club; it has headworks to attenuate the incoming flow and two water storage areas

These structures are described in the following sections.

2.1. ARROYOFRESNO SPLITTER BOX

A splitter box had to be built at the junction of the new and existing sewers to divert the water toward the storm tank. This is a control structure located at 13 Arroyofresno Street that collects the water from the Arroyofresno sewer and duplicate sewer and splits the flow by means of motorised, remote-controlled gates, sending it either to these same sewers or to the new Arroyofresno sewer.

The splitter box is approximately 70 m long by 17 m wide at its lateral trunk and about 110 m long by 7 m wide at the point where it connects to the existing sewers. It reaches a maximum depth of 16 m. It was designed to divert a flow of 30 m³/s under normal circumstances, 70 m³/s in extreme situations and 100 m³/s in future extreme situations, once the capacity of the Arroyofresno sewers has been expanded to handle this volume.

The two existing sewers were joined to form one with a rectangular cross-section 5.80 metres wide, where two Tainter gates measuring 2.60 x 2.50 m were installed to regulate the downstream flow. This flow is limited by the capacity of the Viveros outfall, which is 9 m³/s.

There is a side overflow 25 m long at the splitter box, at elevation 602.30. When the flow volume exceeds 9 m³/s, the depth of the water increases and some is discharged laterally over the screening channel. This channel, situated at elevation 597.50, is 6.70 m wide and 48.5 m long. It is fitted at the end with a bar screen that automatically cleans and collects waste and opens onto the Arroyofresno sewer tunnel.

To partially dissipate the energy of the water at the tunnel entrance caused by the difference in level between the sewers, the screening channel and the tunnel inlet, a plunge pool was built at elevation 589.20. It removes energy from the flow through impact on a buffer formed by a second lip situated at elevation 592.53, over which the flow decelerates before entering the tunnel.

If the splitter box Tainter gates malfunction, the entire flow reaching the box would stream through the screening channel before being diverted toward the tunnel. In order to protect the bar screen from possible blockage with more debris than was calculated in the design due to the heavy flow generated in such situations, an emergency overflow was built upstream of the screen at elevation 602.30 to afford a small reserve and help ensure the design flow of 30 m³/s. The 15m long emergency overflow is connected to the screening channel across a 1.20 x 1.20m wall penstock.

2.2. NEW ARROYOFRESNO SEWER

The new Arroyofresno sewer has a circular cross-section with an inner diameter of 6.7 m. It is 3 028 m long and was built using an EPB (earth pressure balance) tunnel-boring machine. It is lined with precast concrete segments 0.25 m thick. It and its twin in the Abroñigales bypass are Madrid's largest diameter sewers.

It has three manholes, each connected to the sewer through a tunnel. In the first, at K.P. 0+664.903, the shaft is 27 m deep and the tunnel 8.40 m long. The second is at K.P. 1+206.207, is 26 m deep and has a 6 m tunnel. Lastly, the third manhole is at K.P. 2 + 049.200. Its shaft, 35 m deep, is connected to the sewer by a 10 m long tunnel. The first manhole is located on the road connecting motorway A 6 to Dehesa de la Villa Road, while the latter two are on the premises of the Real Club Puerta de Hierro sports complex.

The interior dimensions of the storm water tank headworks are 15 x 100 metres. A chute built at the end of this structure drops to the bottom of the tank.

Los elementos incluidos en las obras del estanque de tormentas de Arroyofresno son las siguientes:

- Partidor de Arroyofresno: Obra de derivación de caudales de aguas situada en la calle Arroyofresno, a la altura del número 13.
- Nuevo colector de Arroyofresno: Colector en túnel de 3.028 metros de longitud y 6,7 m de diámetro que conduce las aguas derivadas hasta el estanque de tormentas de Arroyofresno.
- Estanque de tormentas de Arroyofresno: Estanque de tormentas con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 400.000 m³ situado bajo el campo de prácticas del Club de Campo Villa de Madrid, dotado de una obra de entrada para la eliminación de la energía del caudal entrante y dos zonas diferenciadas de almacenamiento de agua.

A continuación se describen cada una de las partes de la obra anteriormente citada:

2.1. PARTIDOR DE ARROYOFRESNO

Para derivar las aguas hacia el estanque de tormentas fue necesaria la construcción de un Partidor en un punto de confluencia de los mencionados colectores. Se trata de una estructura de control situada en la calle Arroyofresno, nº 13, que recoge el agua procedente del colector de Arroyofresno y del colector doblado de Arroyofresno, permitiendo derivar los caudales hacia esos mismos colectores y hacia el nuevo colector de Arroyofresno mediante compuertas motorizadas y comandadas.

El partidor tiene unas dimensiones aproximadas de 70 m de largo por 17 m de ancho, en su tronco lateral, y 110 m de largo x 7 de ancho aproximadamente en la conexión con los colectores existentes, con una profundidad máxima de 16 m. Se ha diseñado para derivar un caudal de 30 m³/s en situación normal, 70 m³/s en situación extrema y 100 m³/s en una situación extrema futura en la que la capacidad de los colectores de Arroyofresno se hubiera ampliado hasta esa cifra.

Se han conectado los dos colectores existentes en uno de sección rectangular de 5,80 metros de ancho donde se disponen 2 compuertas tipo Taintor de 2,60 x 2,50 m que regulan el caudal de paso aguas abajo. Este caudal viene limitado por la capacidad del emisario de Viveros, que es de 9 m³/s.

En la obra de derivación se sitúa un aliviadero lateral de 25 m de longitud situado a la cota 602,30 de forma que cuando se sobrepase el caudal de 9 m³/s, aumenta la lámina de agua y se genera un vertido lateral sobre el canal de desbaste. Este canal de desbaste situado a la cota 597,50 tiene una longitud total de 48,5 m y una anchura de 6,70 m, al final del cual se sitúa una reja de desbaste con limpieza y recogida de residuos automática que da paso al colector en túnel de Arroyofresno.

Para la disipación parcial de la energía del agua a la entrada del túnel, debido a la diferencia de cota entre los colectores, el canal de la reja y la boca de entrada al túnel, se ha dispuesto un pozo de disipación a la cota 589,20 que elimina la energía mediante impacto en el colchón formado por un segundo labio situado a la cota 592,53 sobre el que se produce la aceleración del flujo antes de la entrada al túnel.

En caso de fallo de las compuertas Taintor del Partidor, todo el caudal que llegue al mismo se derivará hacia el túnel, pasando por el canal de desbaste; en previsión de una posible obturación de la reja mayor de la de cálculo y para evitar que la totalidad del caudal pase por la reja en estas situaciones, se ha dispuesto aguas arriba de la reja un aliviadero de emergencia situado a la cota 602,30 de forma que exista un pequeño resguardo respecto al nivel de funcionamiento para el caudal de diseño de 30 m³/s. El aliviadero de emergencia, tiene una longitud total de 15 metros y se comunica con el canal de desbaste mediante una compuerta mural de 1,20 x 1,20 m.

2.2. NUEVO COLECTOR DE ARROYOFRESNO

El nuevo colector de Arroyofresno es un colector de sección circular de 6,7 m de diámetro interior y una longitud de 3.028 m, habiendo sido ejecutado con máquina tuneladora tipo EPB (Earth Pressure Balance), con un revestimiento de dovelas de hormigón prefabricado de 0,25 m de espesor. Es el de mayor diámetro de los existentes en el Ayuntamiento de Madrid junto a su gemelo del By-pass de Abroñigales

Dispone de 3 pozos de registros conectados con el colector a través de sendas galerías. El primer pozo se encuentra en el pk 0+664,903, tiene una altura de 27 m y la galería de conexión tiene una longitud de 8,40 m. El segundo queda localizado en el pk 1+206,207, con una altura de 26 m y una galería de conexión de 6 m de longitud. Por último, el tercer pozo se encuentra en el pk 2 + 049,200, tiene una altura de 35 m y conecta con el colector a través de una galería de 10 m de longitud. El primer pozo se encuentra localizado en el vial de conexión entre la A-6 y la carretera Dehesa de la Villa y los dos últimos se sitúan en el interior del Real Club Puerta de Hierro.

La obra de llegada al estanque tiene unas dimensiones interiores de 15 x 100 metros. Al final de la obra de llegada se ha construido un rápido que desciende al fondo del estanque.

This structure is designed to dissipate the energy of the flowing water as it reaches the tank in an area intended for this purpose and thus control the risk of erosion caused by the flowing water.

It consists of a transition from a circular to a rectangular cross-section; a variable-width channel with a rectangular cross-section, which transports the flow along the slab built for the TBM; a drop to bring the flow down to the tank floor at elevation 571.50 m above sea level; and the plunge basin to dissipate energy over a hydraulic jump.

The most prominent features of the LOVAT tunnel-boring machine used are described below.

- The cutterhead has sixteen 17-tonne cylinders and has a 1.5° articulated joint. Power is supplied by six 300-HP electric motors, and the transmission system uses 16 variable-displacement hydraulic motors, with a maximum starting torque of 7 360 kN.
- The drive system on the TBM used comprised twenty-four 175-tonne thrust cylinders, for a total thrust of 3 000 tonnes. The cylinders had a 1.8m stroke and the shoes featured automatic alignment.
- Excavated products were transported by two reversible belt conveyors operating in series, with hydraulic belt tensioning. The first was a 22.6-m long variable-speed conveyor with speeds ranging from 0 to 100 m/min, while the second, 49.9 m in length, ran at fixed speeds between these limits.

The construction of the sewer tunnel posed a number of very significant technical difficulties, primarily in connection with the obstacles described below.

- River Manzanares: between K.P. 0+036 and K.P. 0+073.2, the tunnel runs underneath the river, with a cover over the crown of less than one metre. A reinforced slab had to be built in the river and anchored with jet grouting to prevent the tunnel from floating. The slab was built in two stages to ensure that the flow of the river would not be affected at any time.
- The Aguas Calientes nursery: after crossing the river, the tunnel passes under this nursery, an anthropic fill area with a depth of cover between 5 and 6 m. Here also, grout had to be jetted into the soil along the sewer route before TBM operation began.
- The M-30 ring road: the tunnel crosses the M-30 obliquely, with a depth of cover between one and one-and-one-half diameters, further complicated by the existence of anthropic fill under the road pavement. This necessitated the use of a “pipe umbrella” with reinforced grouting and temporary traffic detours off the M-30 as a precautionary measure while the TBM was working in the area.
- The School of Veterinary Medicine: the tunnel runs at a distance of just two metres from the façade of the School of Veterinary Medicine. A micropile wall had therefore to be built between the two structures to ensure that any possible TBM-induced subsidence would not be transferred to the building.
- Motorway A-6: the depth of cover under the motorway was more than two diameters; however, boreholes were drilled on both sides of A-6 to ensure that the soil under the motorway would not pose problems for TBM operation.

Despite the technical difficulties posed by the layout, the tunnel was built in only five and a half months. A total of 734 segment rings (880.8 m) were installed in February 2007 alone, with a daily peak of 43 rings (51.6 m).

2.3. STORM WATER TANK

The tank is an underground structure 22 m deep with an area of approximately 35 000 m². It has two levels: an 8-m high operations level and the tank itself, approximately 14 m high. Its enclosure consists of perimeter diaphragm walls 1 m thick and 27 m deep, slabs cast on the ground and pier-piles 37 m deep and 1.5 m in diameter as intermediate supports.

The total volume of underground construction came to nearly 750 000 m³, 400 000 m³ of which for water storage. The enclosure is formed by roughly 30 000 m² of diaphragm walls and 267 piles with a diameter of 1 500 mm.

The cut-and-cover method was used for the tank, with construction taking place in six stages, as listed below.

1. Construction of the perimeter diaphragm wall enclosure and the inner pier-piles.

Esta obra tiene la finalidad de eliminar la energía del flujo de agua que llega al estanque en una zona destinada a tal fin, de forma que se controle el riesgo de erosión producido por la eliminación de energía.

La obra consta de una transición de sección circular a rectangular, un canal de sección rectangular de ancho variable, que transporta el caudal a lo largo de la losa de implantación de la tuneladora, un salto para descender el flujo hasta la cota 571,50 msnm en que se encuentra la solera del estanque, y el cuenco de disipación de energía mediante la formación de un resalto hidráulico.

Como características más significativas sobre la tuneladora LOVAT empleada podemos indicar las siguientes:

- El cabezal de corte permite una articulación de 1,5° y dispone de 16 cilindros de 170 ton. La potencia necesaria es suministrada por 6 motores eléctricos de 300 HP cada uno de ellos y la transmisión por 16 motores hidráulicos tipo desplazamiento variable, con un toque máximo al arranque de 7.360 kN.
- El sistema de propulsión de la tuneladora está formado por 24 cilindros de empuje de 175 ton, por lo que el empuje total es de 3.000 ton. La carrera de los cilindros es de 1,8 m y las zapatas son de alineamiento automático.
- El transportador de los productos excavados está constituido por dos cintas en serie, reversibles, con tensionamiento hidráulico de faja. La primera, de 22,6 m de largo, es de velocidad variable entre 0 y 100 m/min y la segunda, de 49,9 m de longitud, es de velocidad fija entre ambos límites.

La ejecución del túnel-colector ha presentado una serie de dificultades técnicas muy significativas al tener que solventar principalmente, los siguientes puntos singulares.

- Río Manzanares; entre los pk 0+036 y 0+073,2 se cruza el río con una cobertura sobre clave inferior a un metro. Fue necesario ejecutar en el río una losa armada, anclada con jet grouting, para evitar que el túnel flotara. La ejecución de la losa tuvo lugar en dos fases, permitiendo que el caudal que circula por el río no se viera afectado en ningún momento.
- El vivero de Aguas Calientes: cruzado el río se atravesó el vivero mencionado, una zona de rellenos antrópicos con coberturas de entre 5 y 6 m, para lo que fue necesario ejecutar, previamente al paso de la tuneladora, un tratamiento de jet grouting a lo largo de la traza del colector.
- La M-30: el túnel cruza la M-30 de forma esviada y con coberturas entre un diámetro y diámetro y medio y con la dificultad añadida de la existencia de rellenos antrópicos bajo el firme. Fue necesario realizar un paraguas con inyecciones armadas, así como realizar desvíos en la M-30 como medida de precaución durante el paso de la tuneladora.
- La Facultad de Veterinaria: la traza del túnel se encuentra a 2 metros de la fachada de la Facultad de Veterinaria, por lo que fue preciso realizar un tratamiento de borde mediante pantalla de micropilotes para evitar que posibles asentamientos producidos por la tuneladora se pudieran transmitir al edificio.
- La autovía A-6: se realizó el cruce con coberturas superiores a los dos diámetros pero se hicieron sondeos en ambas márgenes para asegurar que el terreno bajo la A-6 no presentara problemas para el paso de la tuneladora.

A pesar de las dificultades técnicas del trazado durante la construcción del túnel se consiguió realizar en tan solo 5 meses y medio, llegando a colocar en el mes de febrero de 2007, 734 anillos (880,8 m) y consiguiendo una punta diaria de 43 anillos (51,6 m).

2.3. ESTANQUE DE TORMENTAS

El estanque es una obra subterránea de aproximadamente 35.000 m² de superficie y 22 m de profundidad, distribuida en dos niveles, el de explotación de 8 m y el depósito de aproximadamente 14 m de altura, ejecutada mediante un cierre perimetral de muros pantalla de 1 m de espesor y profundidad 27 m, losas hormigonadas sobre el terreno y apoyos intermedios mediante pilas-pilote de 37 m de profundidad y 1,5 m de diámetro.

Todo esto supone un volumen total de construcción subterránea de cerca de 750.000 m³ de los cuales 400.000 m³ irán dedicados al almacenamiento de agua. El recinto está formado por cerca de 30.000 m² de muros pantalla y 267 pilotes de 1.500 mm.

El método de ejecución de "cut and cover", utilizado en el estanque tuvo seis fases:

1. Ejecución del recinto de pantallas perimetral y de las pilas-pilote interiores.

2. Construction of the roof slab, cast on the ground.
3. Excavation of the soil under the roof slab to the depth of the slab for the operations level.
4. Construction of the slab for the operations level, cast on the ground as before.
5. Excavation of the soil underneath the operations level to the depth of the bottom slab.
6. Construction of the bottom slab, perimeter wall and dividing wall.

The first step was to plan a building process for the diaphragm walls and piles in which construction of the top slab could begin before completion of these members.

The second problem faced was tank excavation and the removal of the 750 000 m³ of soil in the limited time available while complying with all environmental requirements for the disposal of inert waste. In the end, the soil removed was used for fill and embankments for other unrelated construction, resulting in a two-fold environmental benefit.

The ground under the slab was excavated with CAT 375 high-performance backhoes and off-road articulated dumpers able to manoeuvre around the pier-piles. A ramp with an appropriate width and slope for the heavy lorry traffic involved in tank excavation and slab casting was installed to provide access to both levels. The soil taken from the interior of the tank was dumped at an intermediate storage area for later loading onto articulated tippers. The use of such heavy duty resources ensured highly efficient excavation and completion of this stage of the works on schedule.

The concurrence of tank slab construction with the peak period of works on the M-30 ring road posed a threat to concrete supply to the site. The realisation that outside plants could no longer be relied upon for the concrete supply led to the decision to install two concrete plants that supplied the bulk of the average daily consumption (800-1 000 m³) during that stage. In all, over 185 000 m³ of concrete were poured at the site.

The facility also has an emergency overflow through which water would be discharged into the River Manzanares in the unlikely event that it could not be stored in the tank.

The extensive electromechanical and control installations for tank proper operation include the following.

- Three 2.50 x 2.50-m hydraulically operated gates that delimit zones 1 and 2, the former to be used alone during minor storms and the latter emptying into it
- One 6.0 x 4.50-m fixed-wheel gate in the tank inlet channel, which will close when the tank is full, thus activating the emergency overflow
- Two 2.50 x 2.50-m Tainter gates, used to divert the water toward the Arroyofresno splitter box
- One 1.20 x 1.20-m wall penstock for cleaning the splitter box inlet channel
- Two 10t hoists and a third with a capacity of 2 t to lift the storm water tank pumps.
- Ventilation system to dilute the bottom air, where most gaseous pollutants concentrate, and circulate air throughout the tank at a low speed.

The tank is divided into two areas separated by a 246-m long wall with a 30-m stretch that acts as an overflow. The water from brief storms, which take place more often and produce less rainfall, stays in zone 1, and zone 2 is only filled during heavier, less-frequent storms. The 40-cm thick slab at the bottom of the tank lies at elevation 571.50, while the maximum fill level is at elevation 581.13. This slab was laid over a 30-cm layer of gravel for drainage, with polyethylene sheeting between the concrete and the gravel and geotextile fabric between the gravel and the soil. Water from the water table is channelled toward the pump pit via drainage ditches that house 160mm pipes.

Zone 1 is connected to zone 2 via three 250 x 2.50-m hydraulically operated gates. The slab at the bottom of zone 2 has a slope of approximately 2 % so that the water flows toward a perimetric channel connected to zone 1 through the aforementioned gates.

The storm water tank has a 4.5 x 6.65-m fixed-wheel gate at the inlet to prevent water from entering if the tank is full or upkeep operations are underway. When this gate closes, the gates in the splitter box move to their open safety position to discharge water into the River Manzanares. In the unlikely event that the splitter box gates malfunction when the tank is full, the emergency overflow to the River Manzanares would be activated.

2. Ejecución de la losa de cubierta sobre el terreno.
3. Vaciado del terreno bajo la losa de cubierta hasta el nivel de la losa del nivel de explotación.
4. Ejecución de la losa del nivel de explotación otra vez sobre el terreno.
5. Vaciado del terreno bajo del nivel de explotación hasta el nivel de la losa de fondo.
6. Ejecución de la losa de fondo, muro perimetral y el muro divisorio.

Lo primero que se planificó fue establecer el proceso de ejecución de las pantallas y pilotes, de forma que se pudiera iniciar la ejecución de la losa superior sin necesidad de tener totalmente hormigonadas las pantallas y los pilotes.

El segundo problema planteado fué la excavación del depósito y la extracción de los 750.000 m³ de tierras del estanque, en el corto plazo del que se disponía y cumpliendo con todos los requisitos medioambientales de gestión de vertidos de inertes. Finalmente las tierras extraídas fueron empleadas en la ejecución de rellenos y terraplenes de otras obras externas, consiguiéndose de este modo una doble mejora medioambiental.

El vaciado bajo losa se solucionó mediante el empleo de retroexcavadoras CAT 375 de alto rendimiento y la utilización de dumperes extraviales articulados que podían moverse entre las pilas pilotes. Se dispuso de una rampa por la que se pudiera acceder a los dos niveles con el ancho y la pendiente apropiados para permitir el intenso tráfico de camiones que la excavación del estanque y el hormigonado de las losas generaría. El material sacado del interior del estanque se vertía en un acopio intermedio para su posterior carga a camiones articulados tipo bañera. Gracias a estos potentes medios se lograron elevados rendimientos en la excavación, cumpliendo en plazo.

El momento de ejecución de las losas del estanque coincidió con la punta en la ejecución de las obras de la M-30 por lo que el suministro de hormigón a la obra estaba comprometido. Se decidió que no se podía depender del suministro de hormigón de plantas externas por lo que se montaron dos plantas de hormigón las cuales suministraron el grueso de los consumos medios, 800-1000 m³/día, que hubo en esa fase. Cabe destacar que se han vertido más de 185.000 m³ de hormigón en la obra.

El estanque dispone igualmente de un aliviadero de emergencia que permite verter al río Manzanares el agua en aquella situación extraordinaria en la que no sea posible almacenarla en el estanque.

Para realizar la explotación del estanque y garantizar el correcto funcionamiento del sistema el estanque dispone de importantes instalaciones electromecánicas y de control:

- 3 compuertas de accionamiento hidráulico de 2,50 m x 2,50 m delimitando la zona I y zona II, que permiten el uso exclusivo de la primera para tormentas menores y el vaciado de la segunda hacia esta.
- 1 compuerta vagón de 6,50 m x 4,50 m en el canal de entrada al estanque, que se cerrará cuando el estanque este lleno, poniendo en funcionamiento el aliviadero de emergencia.
- 2 compuertas Taintor de 2,50 x 2,50 m que permiten derivar el agua hacia el partidor de Arroyofresno.
- 1 compuerta mural de 1,20 x 1,20 m destinada a realizar la limpieza del canal de entrada del partidor.
- 2 polipastos de 10 tn cada uno y un tercero de 2 tn para la elevación de los equipos de bombeo del estanque de tormentas.
- Instalación de ventilación consistente en la dilución del aire de fondo, aquel con mayor presencia de gases contaminantes, así como el desplazamiento del aire a baja velocidad en todo el estanque.

El estanque se ha dividido en dos zonas, separadas mediante un muro de 246 m de longitud que ejerce las funciones de aliviadero en 30 m. De esta forma, se consigue que las tormentas de corta duración y por tanto menor volumen acumulado y mayor frecuencia, queden en la primera zona, y sólo en tormentas de mayor volumen, menos frecuentes, se llene la zona 2. La losa de fondo del estanque se encuentra a la cota 571,50 tiene un espesor de 40 cm y la cota máxima de llenado es la 581,13. Se trata de una losa drenada baja la cual se ha dispuesto un paquete de grava de 30 cm de espesor separado del hormigón mediante lámina de polietileno y del terreno mediante geotextil. El agua del NF se conduce mediante zanjas drenantes donde se alojan tubos de 160 mm hacia el foso de bombas.

La zona 1 se conecta con la zona 2 a través de 3 compuertas de accionamiento hidráulico de 2,50 m x 2,50 m delimitando ambas zonas. La losa de fondo en la zona 2 tiene una pendiente del 2 % aproximadamente, de tal forma que el agua se dirige hacia un canal perimetral que comunica con la zona 1 a través de las compuertas mencionadas.

El estanque de tormentas dispone de una compuerta vagón de 4,5 x 6,65 m a la entrada del mismo que limita la entrada de agua en caso de que estuviera lleno o por necesidades de mantenimiento. En el momento del cierre de la citada compuerta se accionarían las compuertas situadas en el partidor llevándolas a su posición abierta de seguridad para aliviar al río Manzanares. Para la situación extraordinaria en la que se produjera un fallo en las compuertas del partidor y el estanque estuviera lleno, entraría en funcionamiento el aliviadero de emergencia hacia el río Manzanares.

The tank is emptied from zone 1, where the pump pit is located. The water stored in zone 2 is emptied into zone 1 when the gates separating the two open.

After emptying, the 24 000-m² zone 2 is cleaned, for which flush systems mounted on lorries was the procedure chosen.

For zone 1, which is more often filled, an automatic cleaning system with check valves was chosen. This system uses water that accumulates in 15 storage reservoirs with a capacity of 560 m³, located at the ends of the storm water tank. Each reservoir has a check valve that opens quickly to release water in its lane to flush and clean the floor. The system has a total of 15 lanes, 13 of which are 7.50 m wide; this distance is determined by the pile spacing and diameter (9.00 – 1.50 = 7.50 m). These 13 lanes lie in the central area of zone 1. The two outer lanes are narrower, measuring 1.75 and 3.44 m. The lanes are straight and 70 m long, except the ones next to the headworks, which are 55 m long. They have a slope of 1.364 % and an optimum surface finish. After the water has been discharged and flushed down the cleaning lanes, it is stored in the pump pit, from where it can be pumped out.

Inside the facility, a service walkway over the tank hangs from the intermediate slab at elevation 579.8. It consists of separate sections 9.00 m long each and a ladder descending to the cleaning lanes. Its runs along a total length of 240 m, from which zone 1 of the storm water tank can be inspected. The ladder is raised by means of a 2t hoist.

The top slab of the facility, at elevation 592.70, is 1 m thick. The Villa de Madrid Country Club driving range was subsequently restored to its position over this slab, where the emergency exits from the intermediate level and ventilation outlets are located.

The intermediate level of the storm water tank consists of a slab that acts as a brace for the diaphragm walls and as a floor for the machinery needed to operate the facility. This 40-cm thick slab is at elevation 582.93 and covers an area of approximately 35 200 m². It is divided into three areas separated by a concrete block wall. One, with an area of 16 000 m², will be used for facility maintenance and operation. The other two will be used for storage and, eventually, for a car park for the exclusive use of Villa de Madrid Country Club.

A maintenance tunnel runs along nearly the entire perimeter of this level for inspecting tank services and equipment.

The office area comprises a 67-m² control room, three offices occupying approximately 15 m² each and two toilets. The first exit to the outdoors from the office area is through a fire compartment area and fire stairs. A second exit to the outside is 45 m from the first, in the operations near the pumping system to the left bank. These two exits are on one edge of the driving range.

The electrical and control room, transformer substation and interconnection bays are next to the pumps and occupy approximately 295 m².

Two pumping systems empty the tank. For more flexible operation, the water can be pumped to either the right or left-bank sewers; pumping capacity is 10.5 m³/s and 4.8 m³/s, respectively.

The pipeline for the right bank pumping system is approximately 188 m long and comprises two Ø1 600mm steel pipes. The pumping equipment consists of two independent systems, each with three pumps plus one back-up. Each pump lifts 1.75 m³/s with a head of 12.8 metres of water column and 400 kW of rated power.

The system that pumps storm water to the left bank includes a pipeline with total length of 435 m. The pumping equipment consists of two independent systems, each with two pumps plus one back-up. Each pump lifts 1.2 m³/s with a head of 13.2 metres of water column and 250 kW of rated power. Furthermore, up to 1.1 m³/s of water can be diverted from this latter connection to the Viveros de la Villa Wastewater Reclamation Plant.

At a total pumping capacity of 15.3 m³/s, the 400 000-m³ tank can be emptied in 14.5 hours with continuous pump operation for 50 % of the time.

The sump pump pit is at elevation 567.10 and has an approximate volume of 3 861 m³ under elevation 570.50 (shut-down level for the pumps in the main booster systems). Its 75-kW pump is able to deliver 153 l/s, i.e., able to empty the pit in 4.5 hours. The sump pump pipe is connected to the system that pumps water to the left bank.

Of the three hoists installed to lift the pumping equipment, two, with a capacity of 10 t, are for the left- and right-bank pumps, while the third is a 2t hoist for the sump pump.

El vaciado del estanque se lleva a cabo desde la zona 1, donde se encuentra el foso de bombas. El agua almacenada en la zona 2 se vacía posteriormente tras abrir las compuertas de separación de zona.

Una vez vaciado el estanque se procederá a la limpieza del mismo. Para la limpieza de la zona 2, con una superficie de 24.000 m² se ha optado por una limpieza con camiones de baldeo.

Para la zona 1, zona de llenado más habitual, se ha optado por un sistema automático de limpieza con clapetas. Este sistema está basado en la acumulación de agua en 15 depósitos situados en los extremos del estanque con una capacidad de 560 m³. Cada depósito tiene una clapeta que mediante apertura rápida, facilitan la salida del agua en la calle y por tanto el arrastre y limpieza de la solera. El sistema dispone por tanto de 15 calles, 13 de ellas con un ancho de 7,50 m condicionado por la distancia entre pilotes y el diámetro de los mismos (9,00 - 1,50 = 7,50 m). Estas 13 calles corresponden al espacio central de la zona 1. En los extremos de la zona 1 se ubican dos calles de menor anchura de 1,75 m y 3,44 m respectivamente. Las calles son rectas con acabado superficial óptimo, tienen una longitud de 70 m salvo las existentes junto a la obra de entrada, con una longitud de 55 m y tienen una pendiente de 1,364 %. El agua descargada, tras recorrer las calles de limpieza se almacena en el foso de bombas pudiendo ser impulsada desde éste.

En el interior del estanque, sobre el depósito y colgada de la losa de nivel intermedio se sitúa la pasarela de instalaciones situada a la cota 579,87. Conformada mediante tramos independientes de 9,00 metros de longitud, recorre un total de 240 m, permitiendo el recorrido de inspección de la zona 1 del estanque de tormentas, así como la escalera de bajada a las calles de limpieza. La elevación de esta escalera se lleva a cabo mediante un polipasto de 2 tn.

La losa superior del estanque se encuentra a la cota 592,70 y tiene un espesor de 1 m. Sobre esta losa se ha restituido el campo de prácticas de golf del Club de Campo Villa de Madrid y se encuentran las salidas de evacuación del nivel intermedio y salidas de ventilación.

El nivel intermedio del estanque de tormentas consiste en una losa que sirve de estampidor para las pantallas y de forjado para alojar las instalaciones relacionadas con la explotación. Tiene una superficie de 35.200 m² aproximadamente. Se encuentra a la cota 582,93 y tiene un espesor de 40 cm. La superficie se ha dividido en tres zonas claramente diferenciadas y separadas por un muro formado por bloque de hormigón. La primera de estas zonas, con una superficie aproximada de 16.000 m² se utilizará para el mantenimiento y explotación del estanque. Las otras dos son para almacén y futuro aparcamiento para el uso exclusivo del Club de Campo Villa de Madrid.

En la casi totalidad del perímetro de dicho nivel, se desarrolla una galería de mantenimiento para control de las instalaciones propias del estanque.

La zona de oficinas consta de una sala de control de 67 m², 3 despachos de 15 m² aproximadamente y dos aseos. Desde la zona de oficinas existe una primera salida al exterior a través de un vestíbulo de independencia y una escalera de evacuación. La segunda salida al exterior se encuentra a 45 m de distancia de la primera, en la zona de explotación junto a la impulsión a margen izquierda. Las dos salidas se encuentran en el lateral del campo de prácticas de golf.

La sala de cuartos eléctricos y de control, el centro de transformación y celdas de interconexión se encuentran junto a los bombeos y ocupan una superficie aproximada de 295 m².

Para el vaciado del estanque se ha dispuesto de dos sistemas de bombeo. Con el objeto de dar flexibilidad al sistema se puede bombear al colector de margen derecha y margen izquierda indistintamente con capacidad de los bombeos de 10,5 m³/s y 4,8 m³/s respectivamente.

La impulsión a margen derecha, tiene una longitud aproximada de 188 m, y se compone de dos tuberías de acero de Ø1.600 mm. El equipo de bombeo consta de 2 sistemas independientes de 3+1(reserva) respectivamente. Cada bomba eleva un caudal de 1,75 m³/s con una altura de elevación de 12,8 m.c.a y una potencia nominal de 400 kW.

La impulsión a margen izquierda se compone de una conducción de longitud total 435 metros. El equipo de bombeo consta de 2 sistemas independientes de 2+1(reserva) bombas cada uno. Cada bomba impulsa un caudal de 1,2 m³/s con una altura de elevación de 13,2 m.c.a y una potencia nominal de 250 kW. Asimismo, desde esta segunda conexión es posible derivar hasta 1,1 m³/s de agua a la E.R.A.R. de Viveros de la Villa.

La capacidad total de bombeo es de 15,3 m³/s, lo que supone que el estanque de 400.000 m³ puede vaciarse en 14,5 horas con un funcionamiento en continuo de las bombas del 50% del tiempo.

El pozo de bombeo de achique se encuentra a la cota 567,10 y tiene un volumen aproximado de 3.861 m³ por debajo de la cota 570,50 (cota de parada de las bombas de las impulsiones principales). Consta de una bomba capaz de impulsar 153 l/s que corresponde con un tiempo de vaciado de 4,5 horas con una potencia nominal de 75 kW. La tubería de impulsión de vaciado y achique conecta con la impulsión a margen izquierda.

Se han dispuesto 3 polipastos para elevación de los equipos de bombeo. Dos de ellos de 10t para los bombeos de margen izquierda y margen derecha y un tercero de 2t para el bombeo de achique.

The tank has a ventilation system comprising six axial-flow fans to supply a volume of air established at 115 000 m³/h, with an air extraction capacity of 130 000 m³/h via two centrifugal fans made of corrosion-resistant materials. Air is extracted through polypropylene ducts located on the car park level, which pass through openings in the floor of this level that connect directly to the tank.

The facility has been provided with an inlet for reclaimed water from the Viveros treatment plant to fill the 1 200-m³ water storage reservoirs that comprise the cleaning system for zone 1 of the tank. This inlet consists of a DN350 HDPE pipe fitted with a 350-mm electromagnetic flow meter, an ultrasonic level meter to monitor the level of water in the storage reservoir and a motorised butterfly valve for remote operation.

Information is sent through a wireless connection to the Central Control and Monitoring System (Spanish acronym SCCM) for the city of Madrid's reclaimed water network.

A customer transformer substation with a power capacity of 5 600 kVA was planned and built inside the facility to supply the storm water tank with electric power. To ensure the supply of the electricity necessary to operate the pumps and other essential mechanical equipment, a service connection was created to supply the "Country Club No. 2 No. 903482842" switching station with georeference coordinates X43654374 - Y447855535 from the current distribution centre known as "Cercado de Aravaca No. 3515058" with georeference coordinates X43377999 - Y447785076. The 20-kV power supply is provided over a 400-mm² HEPRZ1 power cable inside a Ø 200-mm PVC tube approximately 3 572 m long.

The line begins at the Talgo Avenue distribution centre, crosses underneath this avenue in a 600-mm cableway and continues on to the Aravaca-Humera Road. It crosses this road as well and then runs parallel to the Madrid-Hendaye railway for around 720 m. From there, it crosses underneath the railway to run along Ronda de las Flores Street in the Rosa Luxemburgo residential development to the Castilla Highway, where it threads through a 1 800-mm diameter underground cableway to the opposite side of the road. The next stretch runs parallel to Castilla Road for about 80 m, then along Cerro del Águila Street until reaching the boundary of the plot where the IESE business school is situated. The line then enters Villa de Madrid Country Club, where it finally connects to the aforementioned switching station. Downstream of the switching station, the line runs parallel to the enclosure wall around the Country Club property to the storm water tank.

The customer transformer substation includes the electric company's circuit-breaking and metering equipment, and features the following.

- The 20-kV steel bays (24 kV of operating voltage) are prefabricated and shielded with circuit-breaking devices.
- The dry, 50-Hz transformers are encapsulated, with natural cooling, with a 20-kV/690-V ratio for pumps and 20kV/400230V ratio for all other services, including pumps, splitter box and car park.
- Medium-voltage connections between bays and transformers are via dry insulated single-pole aluminium cables whose cross-section is in peeing with the level of consumption and the characteristics of the installation.
- The remaining transformer substation devices (such as earthing, low-voltage cables, enclosures, safety and inter-lock devices) are as specified by the legislation in effect.

Two of the three transformers delivery power at 690 V and one at 400 V. The 690-V transformer secondaries supply the main low-voltage switchboard (CCM-1) that contains the switches for the pumps. The 400-V transformer secondary supplies the main low-voltage switchboard (CCM-2) that powers the secondary ventilation and lighting boards and all other 400V equipment.

In general, pumping and ventilation system motors have electronic starters while other motors have direct starters, as there are no high-power motors with stepped starting.

To ensure a correct Cos ϕ , automatic capacitor banks were installed on the busbars of each CCM to guarantee the connection of a suitable number of capacitors for the load.

All wiring runs through accessible cableways under the auxiliary base plate in MV bays, in overhead trays in transformer substations and service areas in general and in false ceilings and under raised access flooring in various rooms in the buildings. In addition, buried corrugated tubes were used in outdoor or open areas, together with cable chambers to facilitate cable laying.

El estanque consta de una sistema de ventilación formado por 6 ventiladores axiales para impulsar un caudal de aire fijado en 115.000 m³/h y con una capacidad de extracción de aire igual a 130.000 m³/h, por medio de dos ventiladores de impulsión centrífugos contruidos con materiales anticorrosivos. La extracción de aire se realiza por medio de conductos de polipropileno situados en la planta de aparcamiento, que extraen el aire a través de huecos que se han realizado en el suelo de esta planta y que comunican directamente con el estanque.

Para la limpieza del estanque se ha dotado a la instalación de una acometida de agua regenerada desde la planta de tratamiento complementario de Viveros al depósito de acumulación de agua para limpieza de la zona 1 del estanque de 1.200 m³ de capacidad. El abastecimiento al depósito del estanque se ha realizado mediante una tubería de PEAD de DN350. Los elementos y equipos instalados son un caudalímetro electromagnético de 350 mm, un limnómetro ultrasónico para controlar el nivel de agua en el depósito de acumulación y una válvula de mariposa motorizada para maniobra remota.

La información se envía de manera inalámbrica, al Sistema Central de Control y Monitorización (SCCM) de la red de agua regenerada del Ayuntamiento de Madrid.

Para el suministro eléctrico al estanque de tormentas se ha proyectado un centro de transformación de abonado, situado en el interior del estanque, con una potencia de unos 5600 Kva. Para garantizar el suministro de electricidad necesario para el funcionamiento de los equipos de bombeo y resto de equipos mecánicos fundamentales, se ha ejecutado una acometida que alimenta al centro de seccionamiento "Club de Campo nº 2 N° 903482842 con georreferencia X43654374 - Y447855535" desde el actual centro de reparto denominado "Cercado de Aravaca con N° 3515058 y georreferencia: X43377999 - Y447785076"). Esta acometida se ha realizado en media tensión a 20 kV. con conductor HEPRZ1 de 400 mm² bajo tubo de PVC de Ø 200 mm. La canalización tiene una longitud aproximada de 3.572 m.

El trazado comienza desde el centro de reparto ubicado junto a la Avda. del Talgo, cruzando ésta mediante hincas de 600 mm de diámetro. A continuación discurre paralela a la Crta. de Aravaca a Humera, cruzando nuevamente en hincas para discurrir paralela a la línea de ferrocarril Madrid-Hendaya en una longitud aproximada de 720 m. Tras este tramo, la línea cruza mediante otra hincas el ferrocarril para una vez alcanzada la urbanización Rosa Luxemburgo discurrir por la Ronda de las Flores hasta llegar a la Carretera de Castilla, realizando una hincas de 1800 mm de diámetro. El siguiente tramo de la canalización discurre paralela a la Crta. de Castilla durante 80 m aproximadamente, entrando en el Camino Cerro del Águila hasta alcanzar el IESE por su límite de parcela y posteriormente entrar en el Club de Campo Villa de Madrid donde finalmente enlaza con el centro de seccionamiento mencionado. A partir de este centro de seccionamiento y hasta el estanque, la línea discurre paralela al muro de cerramiento del Club de Campo.

El Centro de Transformación es de abonado, incluyendo la parte de seccionamiento y medida de compañía y tiene las siguientes características:

- Las celdas de 20 kV (24 kV de servicio) son metálicas, prefabricadas e, incluso, blindadas con elementos de corte.
- Los transformadores son de tipo seco encapsulado y de refrigeración natural, de relación 20 kV / 690 V para los bombeos y 20 kV/400-230 V y 50 HZ, para el resto de los servicios tanto de los bombeos como para el repartidos y aparcamiento.
- Las interconexiones de MT entre celdas y transformadores se realizaron con cables unipolares de aluminio con aislamiento seco, y de sección adecuada al consumo y resto de características de la instalación.
- El resto de instalaciones de los CT's (puesta a tierra, cables de BT, cerramientos, elementos de seguridad y enclavamientos, etc.) son los correspondientes a los requerimientos de las normativas en vigor.

Existen tres transformadores, dos con salida a 690 V y uno con salida a 400 V. Desde el secundario de los transformadores de 690 V, se alimenta el Cuadro General de Baja Tensión (CCM-1), donde están incluidos los paneles pertenecientes a las bombas. Desde el secundario del transformador de 400 V, se alimenta el Cuadro General de Baja tensión (CCM-2), desde donde se da servicio a los cuadros secundarios de ventilación, de alumbrado y resto de receptores de 400V.

En general, el arranque de los motores es con arrancador electrónico en los bombeos y sistema de ventilación y directo en el resto, pues no existen motores de potencia elevada, con escalonamiento de los mismos.

Para garantizar un correcto Cos ϕ se instaló, sobre las barras generales de cada CCM, baterías automáticas de condensadores que aseguran la conexión de la cantidad de condensadores en función de la carga.

Las canalizaciones se realizan mediante canaletas registrables bajo bancada auxiliar en las celdas de M.T., bandejas aéreas en los CT's y estancias en general y en falsos techos y suelos de los edificios de diferentes salas. Además, se utilizan tubos corrugados enterrados en zonas exteriores o abiertas; complementándose con arquetas para facilitar el tendido de cables.

A remote control system was installed to operate all the aforementioned installations remotely from the storm water tank control centre.

To this end, the necessary instruments for monitoring the flows and volumes stored in the storm water tank and sewer system were installed, and all data collected are transmitted to the control centre via optical fibre.

2.4. MAIN GENERAL CHARACTERISTICS

The most significant data regarding the construction of this infrastructure are summarised below.

General parameters

- Tank volume: 400 000 m³
- Cubic metres excavated: 1 000 000 m³
- Linear metres of Ø 1 500 piles: 9 600 lm
- Square metres of diaphragm wall: 34 000 m²

Materials used

- Cubic metres of concrete: 185 000 m³
- Corrugated steel: 23 000 t
- Square metres of formwork for slabs on ground: 75 000 m²
- Square metres of vertical formwork: 25 000 m²
- Linear metre of reinforced and jet grouting for soil treatment: 6 000 lm
- Tonnes of structural steel and steel in pipes: 600 t

Technical resources and machinery used

- Four Liebherr HS 873 HD crawler cranes. The 267 pier-piles are 36 m deep and have a diameter of 1.50 m. Three Bauer BG 28H pile drilling rigs were used simultaneously.
- Tunnel-boring machine: sewer length 3 028 m, with a top monthly figure of 734 segment rings installed (880.8 m) in February 2007. Record daily production: 43 rings (51.6 m).
- No. of people working simultaneously: 180 workers
- No. of vehicles working simultaneously: 50 lorries, 140 000 trips in total

3. MATERIAL QUALITY CONTROL

Intemac was awarded the contract for quality control consulting and assistance for the materials used in the construction of the **Arroyofresno storm water tank** in an open tender process. The scope of the contract covered activities relating to the acceptance of the materials supplied, the monitoring of the minimum quality levels required for the products used in construction and the verification of performance through the final testing of the installations.

3.1. OVERALL QUALITY CONTROL APPROACH

Generally speaking, quality control consists of the verification and determination of quality through standardised tests on the materials to be used during construction. In essence, there are three distinct areas of quality control, all of which were applied during construction of the Arroyofresno storm water tank.

- Preventive and production control for materials
- Control of incoming materials
- On-site monitoring of construction and final operating tests

Preventive control is of vital importance considering the impact that any deviation in material quality may have on pace of construction, completion times and costs, due to the need to take corrective measures to remedy the defects found. Control conducted during production at factories where precast parts such as tunnel lining segments are manufactured can be regarded to be preventive and mainly involve concrete and its component materials, corrugated steel and the aforementioned monitoring of manufacturing procedures for precast items.

Se ha implantado un sistema de telecontrol que permite manejar de forma remota desde el centro de control del estanque todas las instalaciones anteriormente indicadas.

Para ello se han instalado la instrumentación necesaria para conocer el estado de la red de colectores y del estanque en cuanto a caudales y volúmenes almacenados, transmitiendo toda la información al centro de control mediante fibra óptica.

2.4. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS GENERALES

Como datos más significativos de las unidades principales necesarias para la ejecución de esta infraestructura podemos destacar, a modo de resumen, los siguientes:

Parámetros generales

- Volumen estanque: 400.000 m³.
- Volumen de excavación: 1.000.000 m³.
- Longitud total de pilote Ø 1500: 9.600 ml.
- Superficie total de muro pantalla: 34.000 m².

Materiales empleados

- Volumen de hormigón: 185.000 m³.
- Acero corrugado empleado: 23.000 ton.
- Superficie total de encofrado sobre terreno para losas: 75.000 m².
- Superficie total de encofrado en alzado: 25.000 m².
- Longitud total de inyección armada y jet grouting para tratamiento del terreno: 6.000 ml.
- Toneladas de acero estructural y en tuberías: 600 tn.

Medios técnicos y maquinaria empleada

- 4 pantalladoras, tipo grúa sobre cadenas Liebherr HS 873 HD. Las 267 pilas pilote tenían una profundidad de 36 m y un diámetro de 1,50 m utilizándose 3 pilotadoras tipo Bauer BG 28H de forma simultánea.
- Tuneladora.- Longitud del colector de 3.028 m, con un rendimiento máximo mensual de la tuneladora de 734 anillos (880,8 m) en febrero 2007. Record avance diario: 43 anillos (51,6 m).
- N° de trabajadores simultáneamente: 180 trabajadores.
- N° de vehículos simultáneamente: 50 camiones, 140.000 viajes en total-

3. CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

Intemac ha sido adjudicatario en concurso abierto, de la consultoría y asistencia para el control de calidad de los materiales empleados en la ejecución de la obra "**Estanque de Tormentas de Arroyofresno**". El campo de actividades abarca el desarrollo de actividades encaminadas a la aceptación de los materiales suministrados, seguimiento de la calidad mínima exigible en los productos aplicados en la ejecución y la comprobación del funcionamiento mediante pruebas finales de las instalaciones.

3.1. PLANTEAMIENTO GENERAL DEL CONTROL DE CALIDAD

En general, el control de calidad consiste en la comprobación y constatación de la calidad, mediante ensayos normalizados de los materiales que se van a emplear durante la ejecución de la obra. Esencialmente, se distinguen en el control de calidad tres vertientes diferenciadas, todas ellas aplicadas en el control de calidad desarrollado durante la ejecución del Estanque de Tormentas de Arroyofresno.

- Control preventivo y de producción de materiales.
- Control de recepción de materiales.
- Control de ejecución in situ y pruebas finales de funcionamiento.

El control preventivo se considera de vital trascendencia, ante la repercusión que cualquier tipo de desviación en la calidad de los materiales pueda tener en términos de ritmo de ejecución, plazos, así como en lo relativo a los costes económicos, que derivarían en la necesidad de introducir medidas correctoras como consecuencia de las desviaciones detectadas. Pueden considerarse encuadradas en este tipo de control las inspecciones llevadas a cabo en los talleres de prefabricados, durante la fabricación de las dovelas y piezas prefabricadas, que más adelante señalamos y que afectan esencialmente al hormigón utilizado y a sus materiales constituyentes, acero corrugado así como al seguimiento del proceso constructivo de los elementos prefabricados.

The control of incoming materials takes place when goods or products are supplied to the site, and by extension, includes the monitoring of these materials when they are used at the site. This is the main type of quality control that was performed during the construction of the Arroyofresno storm water tank.

Construction procedure monitoring primarily affects materials that are made at the site under certain minimum conditions to ensure workability and suitability to the environment, in order to achieve the quality levels stipulated in the Technical Specifications for the project. This type of on-site control was also performed during the installation and final operating tests of all electrical and mechanical equipment and systems that were installed at the Arroyofresno storm water tank.

In the course of the quality control work performed during the construction of the Arroyofresno storm water tank, the stipulations set forth in the Technical Project Specifications were taken into consideration, as well as the criteria and guidelines established by the site managers or support engineers, in accordance with the provisions of the legislation governing their respective contracts. Intemac provided the material and human resources necessary for this purpose, in keeping with the needs at any given time. Trained inspectors were permanently assigned to the site under the supervision of a qualified engineer liaising with the site managers and support engineers. The specific tests on the materials used were conducted at Intemac's Central Laboratory, located in Torrejón de Ardoz, a city in the province of Madrid. On-site control activities were essentially limited to the sampling and manufacture of test pieces from fresh concrete supplied to the site, and the collection of samples from the materials to be monitored.

3.2. CONTROL PLAN

Prior to work start-up, Intemac prepared an overall plan of quality control activities for the construction materials to be used in this project. This plan was based on theoretical design conditions, taking into account the specific characteristics of the project, the construction timetable and the materials envisaged. The items taken into consideration included soils, plain and reinforced concrete, corrugated steel, rolled steel, precast products, waterproofing materials and cast steel, as well as the restoration of services and facilities. This control plan covered the parameters listed below for each materials

- Quantity and type of material
- Test name
- Number of test pieces checked per lot
- Number of lots and number of tests planned
- Unit price and final cost of the tests

The Spanish Structural Concrete Code (EHE), to whose specifications the design was drafted, was taken into consideration to draw up the control plan, along with the applicable standards in force for each of the materials. The aim of the plan was to establish certain minimum requirements to ensure that the quality levels defined in the design, and in particular in the Technical Specifications for the construction, were met.

A detailed control plan was drafted, for instance, for the manufacture of the lining segments to be used in the construction of the sewer tunnel. The initial data were as listed below.

- Number of segment rings: 2 500
- Inner diameter of ring: 6.70 m
- Ring thickness: 0.25 m
- Ring volume: 6.55 m³
- Completion period: 8 months
- The manufacturer had internal quality control in place

The quality control activities essentially included the following areas.

- Concrete and component materials monitoring
- Inspection of the plant where the lining segments were manufactured
- Verification of the traceability of the plant's internal control process

3.3. CONCRETE

The quality control procedure for concrete involved checking the consistency and the strength of different batches of product supplied to the site, in accordance with the statistical criteria established beforehand, which were applied throughout the construction process.

El control de recepción, es el control que se ha de llevar a cabo durante el suministro del material a la obra, teniendo su prolongación en el seguimiento que se ha de realizar sobre el mismo durante el transcurso de su ejecución. Esta modalidad del control es la que fundamentalmente se ha ejercido durante la ejecución del estanque de tormentas de Arroyofresno.

En cuanto al control de ejecución afecta a aquellos materiales que han de ejecutarse en obra, bajo unas condiciones mínimas de trabajabilidad y adecuación al medio, con el fin de conseguir las cotas de calidad exigibles en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra. Esta modalidad de control es la que se ha realizado durante el proceso de elaboración, ejecución y, pruebas finales de funcionamiento, relativas a equipos e instalaciones eléctricas y mecánicas del conjunto de instalaciones implantadas en la obra del Estanque de Tormentas de Arroyofresno.

En su conjunto, durante el desarrollo del control de calidad aplicado durante la ejecución del Estanque de Tormentas de Arroyofresno se han tenido en cuenta las especificaciones recogidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto, así como los criterios y directrices establecidos en cada caso por la Dirección de la Obra y/o la Asistencia Técnica, siempre de acuerdo con lo dispuesto en la normativa contractual correspondiente. Para ello, Intemac ha puesto a disposición del contrato los medios materiales y humanos necesarios en función de las necesidades requeridas. En este sentido, se ha dispuesto de forma permanente en obra de inspectores cualificados, bajo la supervisión de un técnico titulado, ejerciendo la función de coordinador con la Dirección de la Obra y la Asistencia Técnica. Los ensayos específicos de los materiales empleados se ha desarrollado en las instalaciones del Laboratorio Central de Intemac, ubicado en la localidad de Torrejón de Ardoz (Madrid). La actividad de control en obra se ha limitado esencialmente, a la toma de muestras y fabricación de probetas de hormigón fresco suministrado y la toma de muestras de los materiales objeto de control.

3.2. PLAN DE CONTROL

Previamente al inicio de las obras, Intemac elaboró un documento recogiendo un plan general de actividades para el control de calidad de los materiales que se iban a emplear en la ejecución de la obra. Dicho plan estaba basado en las condiciones teóricas del proyecto, teniendo en cuenta las particularidades específicas de la obra, el programa de ejecución de la misma y los materiales de aplicación. Los materiales considerados fueron los siguientes: suelos, hormigón en masa y armado, acero corrugado, acero laminado, prefabricados, material impermeabilizante, acero fundido, reposición de servicios e instalaciones. El citado plan de control incluía, para cada uno de los materiales considerados, los siguientes parámetros:

- Medición y tipología del material.
- Denominación del ensayo a realizar.
- Extensión de lotes de control.
- Número de lotes y número de ensayos previstos.
- Precio unitario e importe final de los ensayos.

Para el desarrollo del plan de control se tuvo en cuenta la Instrucción EHE, de aplicación en la redacción del proyecto, así como la normativa vigente aplicable, para cada uno de los materiales. El objetivo del mismo es establecer unos requisitos mínimos, que garantizaran el cumplimiento de los niveles de calidad definidos en el proyecto y en particular en el Pliego de Condiciones de la obra.

En el caso particular de la fabricación de las dovelas, que se iban a emplear en la construcción del colector, se emitió un plan de control particularizado para dichos elementos. Como datos de partida se tomaron los siguientes:

- Número de anillos: 2500
- Diámetro interior del anillo: 6,70 m
- Espesor del anillo: 0,25 m
- Volumen del anillo: 6,55 m³
- Periodo de ejecución: 8 meses
- Existencia de un control interno del fabricante.

Las actividades de control de calidad abarcan, esencialmente, los siguientes aspectos:

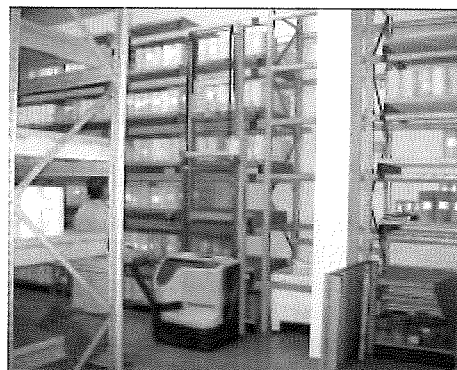
- Control de hormigones y sus materiales constituyentes.
- Inspección de las instalaciones de fabricación de las dovelas.
- Comprobación del trazado del proceso de control interno de la fábrica.

3.3. HORMIGÓN

El control de calidad del hormigón ha consistido, esencialmente, en la comprobación de la consistencia y la resistencia de distintas unidades de producto suministrado a obra, de acuerdo con los criterios estadísticos establecidos previamente y que han sido de aplicación durante toda la ejecución de la misma.

The strength of the concrete in the batch checked was found by conducting compressive strength tests, using standard 7-, 28- and 60-day test cylinders 15 cm in diameter and 30 cm high, with two strength determinations per age. The workability of the concrete and, therefore, its consistency, was determined through two slump tests on each of the batches checked. Both tests were conducted on samples of concrete taken after 1/4 but before 3/4 of the product in the concrete mixer had been unloaded.

The test cylinders were cast and stored on site in their moulds for at least 24 hours. Their exposed surfaces were covered with damp burlap and they were placed in a sealed plastic bag. They were subsequently taken to Intemac's Central Laboratory, where they were removed from the moulds, labelled and stored in the curing chamber until they were tested to failure. The relative humidity and temperature in the curing chamber, fitted with centrifugal atomisers comprising an automatic misting system, were constantly monitored and automatically regulated. The conditions required under the terms of the contract were thereby ensured, i.e., a temperature of 20 ± 2 °C and relative humidity no lower than 95 %. A general view of the curing chamber is shown in Photograph 1.



Photograph 1: Curing chamber for concrete test cylinders
Fotografía nº 1: Cámara de curado de probetas de hormigón

The cylinders were tested to failure on a 3000-kN Form+Test testing frame featuring automatic test speed regulation (0.2 to 1.0 MPa/s). Prior to testing, all cylinders were checked for diameter, height, flatness and perpendicularity. The cylinders were then capped with standard or high-strength sulphur mortar. The tests performed and the applicable standards are listed below. Photographs 2 and 3 show the capping of the cylinders and the test frames used in the compressive strength tests.

Standard	Test name
UNE 83300:84	"Sampling of fresh concrete"
UNE 83301:91	"Manufacture and preservation of test specimens"
UNE 83303:84	"Capping of test cylinders with sulphur mortar"
UNE 83304:84	"Compressive strength"
UNE 83313:90	"Measuring the consistency of fresh concrete (Slump test)"

The criteria laid down in Article 88 of the Spanish Structural Concrete Code (EHE), under method 3, "*Statistical control of concrete quality*", were applied for the statistical control of the concrete. The aim of these tests, which are mandatory, was to verify during construction that concrete strength was equal to or greater than design specifications. Each unit of work was divided into lots in which, due to the special nature of the project, the reference volume for sampling was taken to be the existing volume of concrete. This rule was applied in compressed members (diaphragm walls and piles), members subjected to bending (slabs, floor slabs and retaining walls) and foundation members (footings and slabs). In the specific case of precast members (tunnel lining segments and beams), the manufacturing periods and the location of the plants were also taken into consideration, due to the unique nature of these members. The sampling intensity was as follows:

La resistencia del hormigón de la unidad de producto o amasada controlada, se ha obtenido a partir de los resultados de ensayo de rotura a compresión mediante probetas cilíndricas normalizadas 15/30, a edades de 7, 28 y 60 días, y dos determinaciones por edad. La docilidad del hormigón y por consiguiente su consistencia ha sido constatada mediante doble medida del asiento de Cono de Abrams, para cada una de las amasadas controladas. Ambas comprobaciones se han realizado mediante porciones de hormigón tomadas en el intervalo de vertido entre 1/4 y 3/4 de la descarga del camión hormigonera.

Fabricadas las probetas, éstas han permanecido en obra en sus moldes, con la superficie cubierta de arpillera húmeda y enfundadas en una bolsa de plástico precintada, durante un tiempo no menor de 24 horas, procediéndose posteriormente a su traslado al Laboratorio Central de Intemac donde, tras el desmoldeo y una vez efectuado el marcado identificativo de las probetas, se almacenan en la cámara de curado hasta su rotura. La cámara de curado está dotada de un registro continuo de la humedad relativa y temperatura con un dispositivo de regulación automática; tiene implantado un sistema inteligente de humectación mediante atomizadores centrífugos, asegurando de este modo las condiciones exigibles en la normativa contractual, de 20 ± 2 °C de temperatura y una humedad relativa no inferior al 95%. Un aspecto general de la cámara de curado se expone en la fotografía nº 1.

La rotura de probetas se ha efectuado en una prensa Form-Test de 3.000 kN de capacidad, con regulación automática de la velocidad de ensayo (0,2 a 1,0 MPa/s). Previamente al ensayo en todas las probetas se han comprobado las verificaciones correspondientes del diámetro, altura, planeidad y perpendicularidad; el refrentado se ha realizado con mortero de azufre normalizado o de alta resistencia. A continuación se indican los ensayos realizados, así como las normas que son de aplicación. En las fotografías nº 2 y 3, se presenta el refrentado de probetas y las prensas utilizadas en ensayo a compresión.

Norma de ensayo	Denominación del ensayo
UNE 83300:84	"Toma de muestras de hormigón fresco"
UNE 83301:91	"Fabricación y conservación de probetas"
UNE 83303:84	"Refrentado de probetas con mortero de azufre"
UNE 83304:84	"Rotura a compresión"
UNE 83313:90	"Medida de la consistencia del hormigón fresco. (Método del Cono de Abrams)"



Fotografía nº 2: Refrentado de probetas con mortero de azufre

Photograph 2: Capping of test cylinders with sulphur mortar



Fotografía nº 3: Prensas de rotura de probetas, de 3000 kN de capacidad

Photograph 3: 3 000kN test frames

En el control estadístico de hormigones, se han aplicado los criterios que recoge la Instrucción de Hormigón Estructural EHE, Artículo 88, correspondiente a la modalidad 3 "Control estadístico del hormigón". Estos ensayos, que son preceptivos, tienen por objeto comprobar durante la ejecución de la obra que la resistencia del hormigón es igual o superior a la definida en el proyecto. Cada una de las unidades de obra se ha dividido en lotes, que debido a la singularidad de la misma, se ha aplicado como límite superior al volumen de hormigón existente, tanto en elementos comprimidos (muros pantalla y pilotes), como en elementos sometidos a flexión (losas, forjados y muros de contención) o en elementos de cimentación (zapatas y losas). En el caso particular de elementos fabricados en taller (piezas de dovelas y vigas prefabricadas) se han tenido en cuenta, además de los criterios expuestos, dada la peculiaridad de dichos elementos, los periodos de fabricación y la situación de las instalaciones de fabricación. La intensidad de muestreo aplicada ha sido la siguiente:

Specified minimum strength	No. of samples per lot
$f_{ck} \leq 25 \text{ N/mm}^2$	2
$25 \text{ N/mm}^2 < f_{ck} \leq 35 \text{ N/mm}^2$	4
$f_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$	6

The samples were taken from batches selected at random from the concrete mixers supplying the site.

Throughout the construction process, a total of seven different plants supplied the poured-in-place concrete, two of which were on-site plants. In addition, three concrete consistencies were used:

Concrete consistency	Unit of work
Soft (S)	Corbels for piles, lining segments, invert, braces, splitter box slab, and the tank intermediate and bottom slabs
Fluid (F)	Diaphragm wall and piles
Liquid (L)	Diaphragm wall, piles and precast beams

At the on-site concrete plants, the mandatory characterisation tests included in the EHE Code were conducted for HA-25 (soft consistency) and HA-30 (soft and fluid consistencies) concrete. A total of 40 samples of concrete were taken and four test cylinders made from each sample.

During construction, 4 423 samples of fresh concrete, each yielding six cylinders, were taken from batches selected at random from the concrete mixers supplying the site, or from batches from a central mixer, in the case of precast members.

Table 1 summarises the most significant findings for the structural members from the major units of work, which accounted for over 85 % of the concrete sampled in the project as a whole.

Resistencia de especificación	Nº de muestreos por lote
$f_{ck} \leq 25 \text{ N/mm}^2$	2
$25 \text{ N/mm}^2 < f_{ck} \leq 35 \text{ N/mm}^2$	4
$f_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$	6

Los muestreos se han realizado sobre amasadas elegidas al azar de los camiones suministrados a obra.

A lo largo de la obra se han empleado un total de siete plantas de hormigón diferentes para el suministro del hormigón vertido in situ, dos de las cuales se corresponden con plantas de hormigón de central en obra. Asimismo, se han utilizado tres tipos de consistencia del hormigón; son las siguientes:

Consistencia de hormigón	Unidad de obra ejecutada
Blanda (B)	Ménsula de pilotes, dovelas, contrabóveda, estampidores, losa de partidor y losa intermedia y losa de fondo del estanque.
Fluida (F)	Pantalla continua y pilotes.
Líquida (L)	Pantalla continua, pilotes y vigas prefabricadas.

En las plantas de hormigón de central en obra se realizan los ensayos característicos preceptivos que recoge la Instrucción EHE, para los tipos de hormigón: HA-25 (consistencia blanda) y HA-30 (consistencias blanda y fluida), completándose un total de 40 muestreos de hormigón de 4 probetas.

Durante la ejecución de la obra se efectuaron 4.423 muestreos de hormigón fresco de 6 probetas, sobre amasadas elegidas al azar de los camiones suministrados a obra, o bien de amasadas de hormigonera fija, en el caso de los elementos prefabricados.

En la Tabla 1, se presenta un resumen de los datos y resultados más significativos correspondientes a los elementos estructurales pertenecientes a las unidades de obra con mayor relevancia, representando más del 85% del hormigón muestreado en el conjunto de la obra.

UNIT OF WORK	f _{ck} (MPa)	CONCRETE SUPPLIERS	CONSISTENCY	NO. OF SAMPLES	AGGRE GATE (mm)	CONCRETING PERIOD	f _{c7} (MPa)	f _{c28} (MPa)	f _{c60} (MPa)	f _{c28} /f _{c60}	f _{c7} /f _{c28}	RESULTS (28 days)	
												STANDARD DEVIATION (MPa)	COEFFICIENT OF VARIATION (%)
Pantallas estanque	HA-30	6	F/L	801	20	04/01/06 - 12/07/06	31,3	39,2	43,0	0,80	0,91	69,80	17,83
Pantallas partidor	HA-30	6	F/L	71	20	01/06/06 - 19/09/06	26,7	31,6	34,7	0,85	0,91	38,95	12,34
Pilotes estanque	HA-25	7	F/L	517	20	31/01/06 - 06/07/06	24,6	30,2	33,6	0,81	0,90	40,66	13,46
Pilotes aliviadero y arquetas	HA-30	1	F	64	12/20	01/10/07 - 22/11/07	29,6	42,4	49,7	0,70	0,85	39,91	9,40
Losa cubierta estanque	HA-30	2	B/F	638	20	08/05/06 - 15/09/06	30,7	35,9	39,7	0,86	0,90	44,52	12,42
Losa intermedia estanque	HA-30	2	B	642	20	18/10/06 - 23/03/07	33,9	43,2	48,1	0,78	0,90	60,84	14,08
Losa fondo estanque	HA-25	1	B	296	20	07/05/07 - 21/08/07	28,8	35,5	39,4	0,81	0,90	37,66	10,62
Losa cubierta partidor	HA-30	2	B/F	22	20	20/09/06 - 04/12/07	32,4	39,8	46,1	0,81	0,87	40,24	10,10
Losa prefabricada partidor	HA-35	1	B	37	20	23/03/07 - 18/04/07	34,0	43,2	-	0,79	-	30,86	9,07
Estampidores	HA-30	4	B/F	22	20	05/04/06 - 23/11/06	32,4	36,8	41,2	0,88	0,89	37,66	10,23
Contrabóveda entre estampidores	HA-25	2	B	26	20	03/07/06 - 13/07/06	22,8	27,2	30,0	0,84	0,91	40,32	14,80
Dovelas	HA-40	1	B	549	20	17/04/06 - 31/01/07	50,5	56,5	60,8	0,89	0,93	41,44	7,34
Vigas prefabricadas	HA-50	1	L	28	12	29/01/08 - 11/02/08	47,4	55,7	59,0	0,85	0,95	45,10	8,06
Ménsulas de pilotes	HA-30	3	B	66	20	29/09/06 - 13/03/07	32,0	40,2	45,3	0,80	0,89	62,71	15,60

Table 1. Summary of fresh concrete quality control

UNIDAD DE OBRA	f _{ck} (MPa)	SUMINISTRADORES DE HORMIGÓN	CONSISTENCIA	Nº DE MUESTRAS	ÁRDO (mm)	PERIODO DE HORMIGONADO	f _{c7} (MPa)	f _{c28} (MPa)	f _{c60} (MPa)	f _{c28} /f _{c60}	f _{c7} /f _{c28}	RESULTADOS (28 días)	
												DESVIACIÓN TÍPICA (MPa)	COEFICIENTE VARIACIÓN (%)
Pantallas estanque	HA-30	6	F/L	801	20	04/01/06 - 12/07/06	31,3	39,2	43,0	0,80	0,91	69,80	17,83
Pantallas partidor	HA-30	6	F/L	71	20	01/06/06 - 19/09/06	26,7	31,6	34,7	0,85	0,91	38,95	12,34
Pilotes estanque	HA-25	7	F/L	517	20	31/01/06 - 06/07/06	24,6	30,2	33,6	0,81	0,90	40,66	13,46
Pilotes aliviadero y arquetas	HA-30	1	F	64	12/20	01/10/07 - 22/11/07	29,6	42,4	49,7	0,70	0,85	39,91	9,40
Losa cubierta estanque	HA-30	2	B/F	638	20	08/05/06 - 15/09/06	30,7	35,9	39,7	0,86	0,90	44,52	12,42
Losa intermedia estanque	HA-30	2	B	642	20	18/10/06 - 23/03/07	33,9	43,2	48,1	0,78	0,90	60,84	14,08
Losa fondo estanque	HA-25	1	B	296	20	07/05/07 - 21/08/07	28,8	35,5	39,4	0,81	0,90	37,66	10,62
Losa cubierta partidor	HA-30	2	B/F	22	20	20/09/06 - 04/12/07	32,4	39,8	46,1	0,81	0,87	40,24	10,10
Losa prefabricada partidor	HA-35	1	B	37	20	23/03/07 - 18/04/07	34,0	43,2	-	0,79	-	30,86	9,07
Estampidores	HA-30	4	B/F	22	20	05/04/06 - 23/11/06	32,4	36,8	41,2	0,88	0,89	37,66	10,23
Contrabóveda entre estampidores	HA-25	2	B	26	20	03/07/06 - 13/07/06	22,8	27,2	30,0	0,84	0,91	40,32	14,80
Dovelas	HA-40	1	B	549	20	17/04/06 - 31/01/07	50,5	56,5	60,8	0,89	0,93	41,44	7,34
Vigas prefabricadas	HA-50	1	L	28	12	29/01/08 - 11/02/08	47,4	55,7	59,0	0,85	0,95	45,10	8,06
Ménsulas de pilotes	HA-30	3	B	66	20	29/09/06 - 13/03/07	32,0	40,2	45,3	0,80	0,89	62,71	15,60

Tabla 1. Resumen del control del hormigón fresco

Chart 1 shows the sampling distribution for the various units of work during construction, from January 2006 to March 2008. Chart 2 illustrates the sampling distribution by the time of day when the cylinders were made, during a workday from 8 a.m. (8) to midnight (24).

Work Unit	2006	2007	2008
Tank walls	Jan 2006 - Mar 2006		
Splitter box walls	Jan 2006 - Mar 2006		
Tank piles	Jan 2006 - Mar 2006		
Overflow piles	Jan 2006 - Mar 2006		
Tank roof slab	Jan 2006 - Mar 2006		
Tank intermediate slab	Jan 2006 - Mar 2006		
Tank bottom slab	Jan 2006 - Mar 2006		
Splitter box roof slab	Jan 2006 - Mar 2006		
Splitter box precast slab	Jan 2006 - Mar 2006		
Braces	Jan 2006 - Mar 2006		
Invert between braces	Jan 2006 - Mar 2006		
Lining segments	Jan 2006 - Mar 2006		
Precast beams	Jan 2006 - Mar 2006		
Corbels for piles	Jan 2006 - Mar 2006		Jan 2008 - Mar 2008

Chart 1

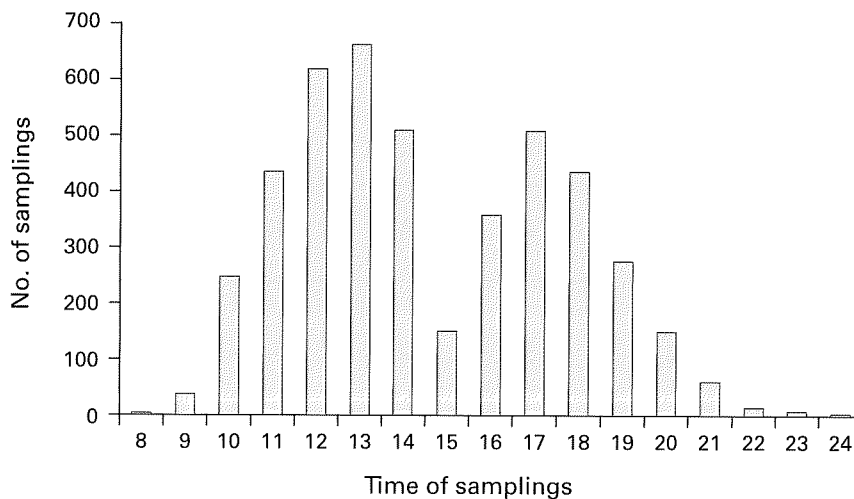


Chart 2

3.4. PASSIVE REINFORCEMENT

After concrete, the passive reinforcement can be regarded to be the most representative material in this project, i.e., the one most widely used and that had the greatest influence on its construction as a whole. It comprised corrugated bars and electric-welded wire mesh.

Corrugated bars

Fine, medium and thick diameters were used.

- Nominal diameters used: 8, 10, 12, 16, 20, 25 and 32 mm.
- Units of work in which they were used: Diaphragm wall, piles, slabs, invert, braces, precast members, walls and facings.

This material was characterised to the specifications of Article 90 of the EHE Code, which refer to exercising an average level of control over incoming goods, assuming that the products are certified. Pursuant to this code, the reinforcement was divided into lots by consignment, with a maximum amount of 40 t or fraction thereof. Other items

En el Gráfico nº 1 se representa la distribución de los muestreos efectuados en las diferentes unidades de obra durante la ejecución de las mismas, en el periodo comprendido entre Enero del año 2006 y Marzo del año 2008. En el Gráfico nº 2 se representa la distribución de los muestreos realizados, teniendo en cuenta la hora de fabricación de las probetas, durante la jornada laboral de 8 a 24 horas.

Unidad de obra	Año 2006	Año 2007	Año 2008
Pantallas Estanque	[Barra horizontal]		
Pantallas Partidor	[Barra horizontal]		
Pilotes Estanque	[Barra horizontal]		
Pilotes Aliviadero	[Barra horizontal]		
Losa cubierta Estanque	[Barra horizontal]		
Losa intermedia Estanque	[Barra horizontal]		
Losa de Fondo Estanque	[Barra horizontal]		
Losa Cubierta Partidor	[Barra horizontal]		
Losa Prefabricada Partidor	[Barra horizontal]		
Estampidores	[Barra horizontal]		
Contrab. entre Estampidores	[Barra horizontal]		
Dovelas	[Barra horizontal]		
Vigas Prefabricadas	[Barra horizontal]		
Ménsulas Pilotes	[Barra horizontal]		

Gráfico nº 1

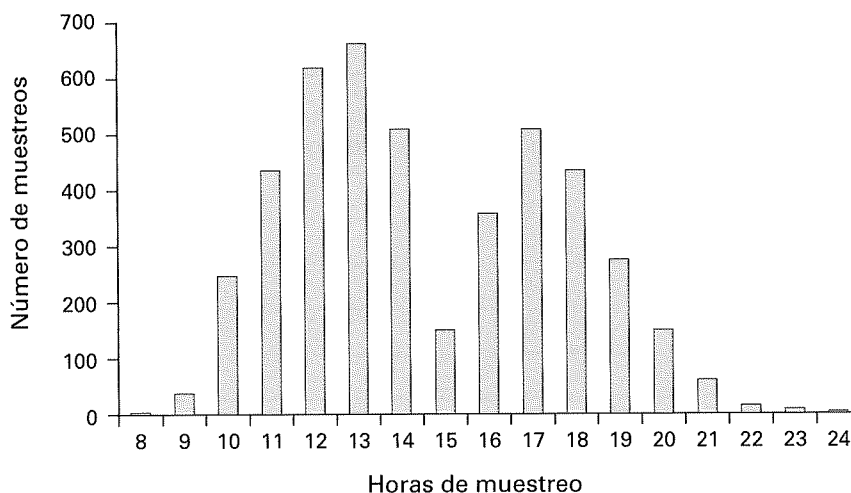


Gráfico nº 2

3.4. ARMADURA PASIVA

Con el hormigón, puede considerarse a la armadura pasiva como el material más representativo de la obra, el más utilizado y el que más influencia constructiva aporta al proyecto de obra civil en su conjunto. Ha estado constituido por barras corrugadas y mallas electrosoldadas.

Barras corrugadas

Se han empleado diámetros correspondientes a las tres series de diámetro, fina, media y gruesa.

- Diámetros nominales utilizados: 8, 10, 12, 16, 20, 25 y 32 mm.
- Unidades de obra en las que se han aplicado: Pantalla continua, pilotes, losas, contrabóvedas, estampidores, elementos prefabricados, muros y paramentos.

Para la caracterización del material se han tenido en cuenta los criterios recogidos en la Instrucción Estructural EHE, Artículo 90, entendiéndose como control de recepción a nivel normal, y que se trata de un producto certificado. De acuerdo con la citada Instrucción la armadura se dividió en lotes por partida, con una cantidad máxima de 40t o frac-

were also taken into consideration during construction, however, including the period when the material was being put in place, the singularity of the members being built and the measurements of the available steel. Initially, the steel was classified on the grounds of the theoretical design measurements, the actual diameters and the stipulated quality. Tables 2 and 3 summarise the on-site activities conducted, including the assessments performed, the number of tests run, the applicable standard and the parameters found.

Test	Applicable standard	Parameters found
Tensile strength	UNE EN 10002 1:2002 "Tensile testing of metallic materials. Method of test at ambient temperature".	<ul style="list-style-type: none"> - Manufacturer's identity - Equivalent cross-sectional area - Elastic limit - Ultimate load - Elongation at failure under maximum load - Modulus of elasticity
Reverse bend	UNE 36065:200EX "Weldable corrugated steel bars with special ductility characteristics for concrete reinforcement".	<ul style="list-style-type: none"> - Ovality - Reverse bending strength
Corrugation geometry		<ul style="list-style-type: none"> - Longitudinal ribs (height, width) - Transverse ridges (height, spacing, slant, perimeter without ridges)

Table 2. Tests conducted and applicable standards

Nominal diameter (mm)	No. of tests		Type of steel	Manufacturers used
	Tensile strength	Reverse bend and corrugation geometry		
32	8	53		3
25	16	75		3
20	10	76		6
16	16	67	B 500 SD	3
12	6	56		4
10	-	4		1
8	-	2		1

Table 3. Steel characterisation and number of tests conducted

Table 4 summarises the findings for the most significant parameters for each diameter used, namely: elastic limit, ultimate load, elongation at fracture and elongation at maximum load (test depicted in Photograph 4). Testing for these parameters is mandatory under the EHE code.

ción, si bien durante la ejecución de la obra se ha tenido en cuenta el periodo de ejecución de la misma, la singularidad de los elementos construidos y la medición del acero disponible. Se ha considerado inicialmente para su calificación, la medición teórica indicada en el proyecto, los diámetros existentes y el tipo de calidad de acero prevista. Como extracto de las actividades llevadas a cabo en la obra se presenta a continuación un resumen donde se recogen las determinaciones realizadas, el número de ensayos, la normativa aplicada y los parámetros obtenidos (tablas 2 y 3).

Denominación del ensayo	Normativa aplicada	Parámetros obtenidos
Tracción	UNE EN 10002-1:2002 "Ensayos de tracción. Método de ensayo a temperatura ambiente".	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación del fabricante. - Sección equivalente. - Límite elástico. - Carga unitaria de rotura. - Alargamiento de rotura bajo carga máxima. - Módulo de elasticidad.
Doblado-desdoblado	UNE 36065:200EX "Barras corrugadas de acero soldable con características especiales de ductilidad para armaduras de hormigón armado".	<ul style="list-style-type: none"> - Ovalidad. - Aptitud al doblado-desdoblado.
Geometría del corrugado		<ul style="list-style-type: none"> - Resaltos longitudinales (altura, anchura). - Resaltos transversales (altura, separación, inclinación, perímetro sin corrugas)

Tabla 2. Ensayos realizados y normativa aplicada

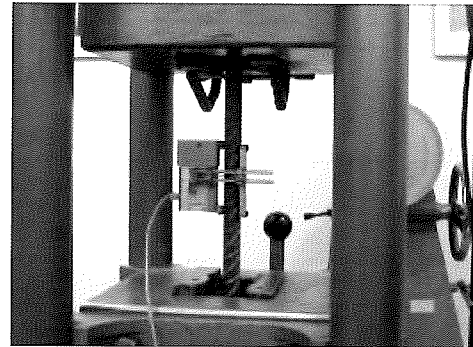
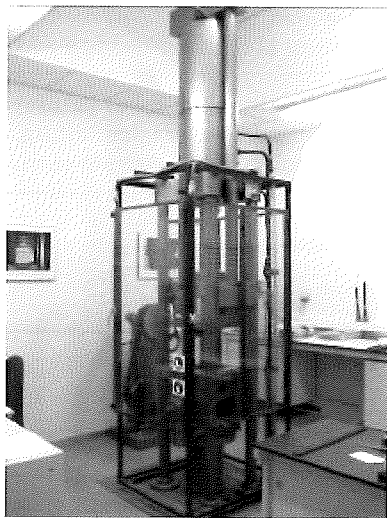
Diámetro nominal (mm)	Nº de ensayos		Tipo de acero	Fabricantes utilizados
	Tracción	Doblado-desdoblado y geometría corrugado		
32	8	53		3
25	16	75		3
20	10	76		6
16	16	67	B 500 SD	3
12	6	56		4
10	-	4		1
8	-	2		1

Tabla 3. Tipificación del acero y número de ensayos realizados

A continuación, en la Tabla 4 se recoge para cada uno de los diámetros empleados, un resumen de los resultados obtenidos en los parámetros más significativos y que son de obligado cumplimiento en la Instrucción EHE: límite elástico, carga unitaria de rotura, alargamiento de rotura y alargamiento bajo carga máxima (ensayo ilustrado en la Fotografía nº 4).

Diameter (mm)	Elastic limit (MPa)			Ultimate load (MPa)			Elongation at fracture (%)			Elongation at maximum load (%)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
32	600	507	553	711	634	673	22.0	22.0	22.0	16.6	8.6	10.7
25	593	507	562	709	634	677	25.2	20.0	22.2	16.3	8.0	11.3
20	572	528	545	704	653	666	28.2	19.0	23.0	14.0	8.2	12.0
16	549	500	519	682	629	654	26.6	19.3	22.6	14.9	8.3	11.8
12	518	500	511	643	631	637	24.7	21.2	23.7	12.2	9.5	10.9

Table 4. Summary of findings for corrugated bars



Photograph 4: 100t tensile test frame and corrugated bar during test
Fotografía nº 4: Prensa de tracción de 100 t y ensayo de una barra corrugada

Electric-welded wire mesh

This, along with corrugated bars, was the type of passive reinforcement used in this project. Electric-welded wire mesh with a diameter of 12 mm was tested on two occasions.

Tables 5 to 7 contain a summary of the type of material tested, applicable standards and findings for the main parameters for the tensile strength and node pull strength tests (see Photograph 5).

Test	Applicable standard	Parameters found
Tensile strength	UNE EN 100021:2002 "Tensile testing of metallic materials. Method of test at ambient temperature".	<ul style="list-style-type: none"> - Manufacturer's identity - Equivalent cross-sectional area - Elastic limit - Ultimate load - Elongation at fracture under maximum load - Modulus of elasticity
Node pull strength	UNE 36092:1996 "Electric-welded steel wire mesh for concrete reinforcement".	<ul style="list-style-type: none"> - Detachment load

Table 5. Tests conducted and applicable standards

Diámetro (mm)	Límite elástico (MPa)			Carga unitaria de rotura (MPa)			Alargamiento de rotura (%)			Alargamiento bajo carga máxima (%)		
	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media
32	600	507	553	711	634	673	22,0	22,0	22,0	16,6	8,6	10,7
25	593	507	562	709	634	677	25,2	20,0	22,2	16,3	8,0	11,3
20	572	528	545	704	653	666	28,2	19,0	23,0	14,0	8,2	12,0
16	549	500	519	682	629	654	26,6	19,3	22,6	14,9	8,3	11,8
12	518	500	511	643	631	637	24,7	21,2	23,7	12,2	9,5	10,9

Tabla 4. Resumen de resultados en barras corrugadas

Malla electrosoldada

Con las barras corrugadas, constituye la armadura pasiva empleada durante la ejecución de la obra. Se ha ensayado en dos ocasiones mallazo electrosoldado de 12 mm de diámetro.

En las tablas 5 a 7 se recoge un resumen de la tipología del material ensayado, normativa aplicada y resumen de los resultados obtenidos en los principales parámetros de los ensayos de tracción y despegue de la unión soldada (véase Fotografía nº 5).

Denominación del ensayo	Normativa aplicada	Parámetros obtenidos
Tracción	UNE EN 10002-1:2002 "Ensayos de tracción. Método de ensayo a temperatura ambiente".	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación del fabricante. - Sección equivalente. - Límite elástico. - Carga unitaria de rotura. - Alargamiento de rotura bajo carga máxima. - Módulo de elasticidad.
Despegue de las barras del nudo	UNE 36092:1996 "Mallas electrosoldadas de acero para armaduras de hormigón armado".	<ul style="list-style-type: none"> - Carga de despegue

Tabla 5. Ensayos realizados y normativa aplicada

Diámetro nominal (mm)	Nº de ensayos		Tipo de acero	Fabricantes utilizados
	Tracción	Despegue de nudos		
12	2	2	B 500 SD	2

Tabla 6. Tipificación del acero y número de ensayos realizados

Diámetro (mm)	Límite elástico (MPa)			Carga unitaria de rotura (MPa)			Carga de despegue (N)		
	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media
12	565	545	555	677	649	663	21.687	17.279	19.483

Tabla 7. Resumen de resultados de la malla electrosoldada

Nominal diameter (mm)	No. of tests		Type of steel	Manufacturers used
	Tensile strength	Node pull strength		
12	2	2	B 500 SD	2

Table 6. Steel characterisation and number of tests conducted

Dimeter (mm)	Elastic limit (MPa)			Ultimate load (MPa)			Carga de despegue (N)		
	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media
12	565	545	555	677	649	663	21.687	17.279	19.483

Table 7. Summary of findings for electric-welded wire mesh

3.5. CEMENT GROUT

Grout had to be jetted behind the precast lining segments in the sewer tunnel in several stages of sewer construction. This grout was supplied premixed in powder form by an outside plant and stored in silos until it was finally mixed at the on facility installed for this purpose. Samples were taken from this material to determine the parameters listed below.

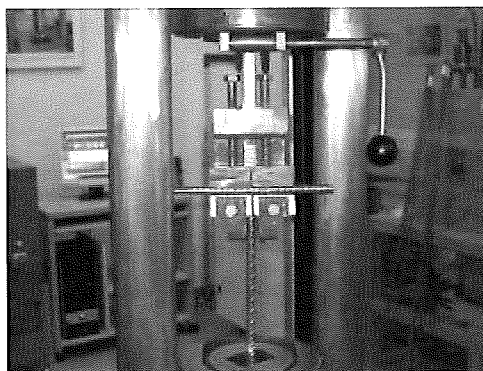
Test	Applicable standard	No. of tests
"Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars"	UNE-EN 1015-2:1999	6
"Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar"	UNE-EN 1015-11:2000	6
"Determination of setting time"	UNE 83311:1986	3

Compressive strength tests on specimens made from the grout yielded 28-day values ranging from 3.4 N/mm² to 154 N/mm².

UNE standard 83311:1986 defines the initial setting time as the time, after initial contact of cement and water, required for the mortar sieved from the concrete to reach a penetration resistance of 3.5 MPa. The final setting time is the time required for the mortar to reach a penetration resistance of 27.6 MPa. Based on the foregoing, the setting times found for each of the samples tested were as shown below.

Sample no.	Initial setting time (h:min)	Final setting time (h:min)
1	6:00	8:40
2	12:15	16:55
3	17:20	27:25

Photo 6 shows the mortar curing chamber and the frame used to test the specimens to failure to determine flexural and compressive strength.



Fotografía nº 5: Despegue de unión soldada de una malla electrosoldada
 Photograph 5: Node pull strength in electric-welded wire mesh

3.5. MORTERO DE CEMENTO

En varias fases de la obra fue necesario aplicar mortero de inyección en el trasdós de las dovelas prefabricadas del colector. El mortero se suministró premezclado en polvo de planta exterior y almacenado en silos, hasta su amasado definitivo en la instalación ubicada al efecto en la propia obra. Sobre dicho material se procedió a la toma de muestras con el fin de efectuar las siguientes determinaciones.

Denominación del ensayo	Norma de aplicación	Nº de ensayos
"Toma de muestras de mortero y preparación para ensayo"	UNE-EN 1015-2:1999	6
"Determinación de la resistencia a flexión y compresión del mortero endurecido"	UNE-EN 1015-11:2000	6
"Determinación de los tiempos de fraguado"	UNE 83311:1986	3

La resistencia a compresión sobre las probetas de mortero, registraron valores comprendidos entre 3,4 N/mm² y 15,4 N/mm², a los 28 días de edad.

La norma UNE 83311:1986 define como principio de fraguado el tiempo transcurrido desde el contacto inicial entre el cemento y el agua hasta alcanzar en el mortero tamizado del hormigón una resistencia a la penetración de 3,5 MPa, y como final de fraguado el tiempo transcurrido hasta alcanzar una resistencia a la penetración de 27,6 MPa. En base a lo anterior, los tiempos de fraguado obtenidos por cada una de las muestras ensayadas han sido los siguientes.

Muestra nº	Principio de fraguado (h:min)	Final de fraguado (h:min)
1	6:00	8:40
2	12:15	16:55
3	17:20	27:25

En la Fotografía nº 6 se presente la cámara de curado de mortero y la prensa utilizada para la rotura de probetas a flexotracción y compresión.



Photograph 6: Curing chamber and frame used to test the mortar test specimens to failure
Fotografía nº 6: Cámara de curado y prensa empleada en la rotura de probeta de mortero

3.6. BENTONITE SLURRY

This material was used during the construction of the piles and reinforced concrete tank walls. The tests performed on the bentonite slurry were aimed at determining the pH, Marsh funnel viscosity and density of the material. To this end, the relevant criteria contained in the following testing standards were taken into account.

- UNE-EN 1536:2000: "Execution of special geotechnical work. Bored piles".
- UNE-EN 1538:2000: "Execution of special geotechnical works. Diaphragm walls".

Table 8 contains a summary of the results found during the control monitoring.

Parameter	No. of tests	Min. value	Max. value	Avg. value	Standard deviation	Coefficient of variation (%)
Density (kg/m ³)	40	1 005.0	1 116.0	1 041.4	24.94	2.4
Marsh funnel viscosity (s)	40	30.0	48.0	36.6	3.53	9.6
pH	40	9.0	12.0	10.6	0.72	6.8

Table 8. Summary of tests conducted on bentonite slurry

3.7. AGGREGATE FOR THE MANUFACTURE OF CONCRETE

Aggregate samples were taken from the two on-site plants set up to supply concrete for the site as well as from the plant where the lining segments were made, to verify whether the material was suitable for use in the manufacture of concrete. Table 9 gives the types of aggregate used at each of the plants and the analyses conducted.

Concrete plant	Type of aggregate	Determinations made	
		Gravel	Sand
Plant 1 (on-site)	Gravel: 6/20 mm Sand: silica river	Particle size analysis Fines content Lumps of clay Lightweight particles Density and water absorption Sulphur compounds Alkaline reactivity Chloride content Sulphate resistance	
Plant 2 (on-site)	Gravel: 20 mm Sand: silica river		
Precasting plant (lining segments)	Gravel: 12/20 mm Gravel: 6/12 mm Sand: 0/6 mm	Soft particles Shape index Los Angeles test	Organic matter Sand equivalent test Crushing value

3.6. LODOS BENTONÍFICOS

Este material se ha aplicado durante el proceso de ejecución de los pilotes y pantallas de hormigón armado del estanque. Las comprobaciones realizadas sobre los lodos bentoníticos han incidido en la determinación del pH, viscosidad en Cono de Marsh y determinación de la densidad del material. Para ello, se han tenido en cuenta los criterios, que al respecto, recoge las siguientes normas de ensayo.

- UNE-EN 1536:2000: "Ejecución de trabajos especiales de Geotecnia. Pilotes perforados".
- UNE-EN 1538:2000: "Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Muros-pantalla".

En la Tabla 8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el seguimiento de control efectuado.

Denominación del parámetro	Nº de ensayos	Valor mín.	Valor máx.	Valor medio	Desviación standard	Coefficiente variación (%)
Densidad (kg/m ³)	40	1005,0	1116,0	1041,4	24,94	2,4
Viscosidad en Cono Marsh (s)	40	30,0	48,0	36,6	3,53	9,6
pH	40	9,0	12,0	10,6	0,72	6,8

Tabla 8. Resumen de los ensayos realizados sobre lodos bentoníticos

3.7. ÁRIDOS PARA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

De las dos plantas de central de obra habilitadas para suministrar hormigón a la propia obra, así como de la planta de fabricación de dovelas, se tomaron muestras de los áridos para comprobar su idoneidad como material componente para la fabricación de hormigón. En la Tabla 9 siguiente se indican los tipos de áridos utilizados en cada una de las plantas, así como las determinaciones efectuadas.

Central de hormigón	Tipo de árido	Determinaciones efectuadas	
		Grava	Arena
Central-1 (obra)	Grava: 6/20 mm Arena: sílicea de río	Análisis granulométrico Contenido de finos Terrones de arcilla Partículas ligeras Densidad y absorción de agua Compuestos de azufre Reactividad alcalina Determinación de cloruros Resistencia a los sulfatos	
Central-2 (obra)	Grava: 20 mm Arena: sílicea de río		
Fábrica prefabricados (dovelas)	Grava: 12/20 mm Grava: 6/12 mm Arena: 0/6 mm	Partículas blandas Coeficiente de forma Desgaste de los Ángeles	Materia orgánica Equivalente de arena Coeficiente de friabilidad

3.8. INSTRUMENTAL MONITORING OF VERTICAL MEMBERS

Because of the importance of vertically cast elements in this type of project, checking the uniformity and continuity of the poured concrete upon completion of the structural member is essential to detect any honeycombing, irregularities or other flaws that may detract from member functionality or reduce its useful life. Consequently, both the walls and 100 % of the piles were instrumented after the concrete was cast.

For the most part, crosshole monitoring was used. This procedure basically consists of fastening 50-mm diameter tubes to the reinforcement of the structural member and casting them into the concrete, then filling them with water. A probe is then lowered into each of two tubes: one transmits ultrasonic pulses, while the other receives them. The probes are then raised simultaneously. The water serves a dual purpose: it helps maintain a uniform temperature inside the tubes, reducing any possible lack of adhesion between the tubes and the surrounding concrete, and acts as a coupling medium for the probes during the test. Once the transducers reach the surface, the graph reflecting the energy of the wave and the time it takes the ultrasonic pulse to pass between the tubes can be analysed. All of the data is also recorded in a file, which can later be processed and included in the report on the findings.

Four steel tubes were placed in the piles and five were placed in the slurry trenches. This meant that six crosshole logging tests could be conducted for piles and seven for trenches. A total of 1 699 tests were performed. In all cases, the tests took place when the concrete was at least three days old. Figure 1 shows the arrangement of the tubes.

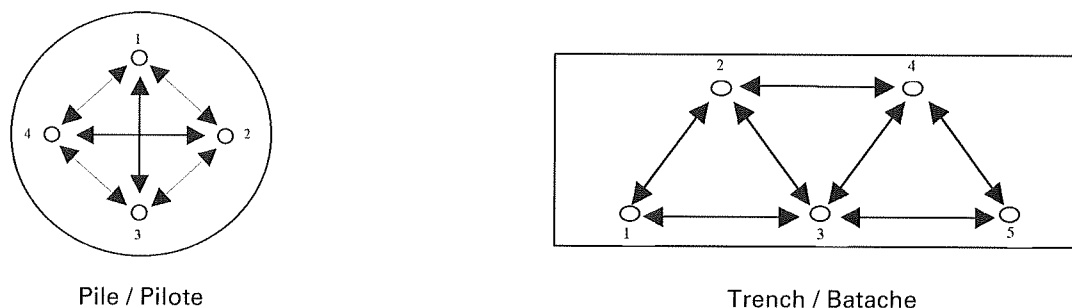


Figure 1: Arrangement of the tubes in the structural members tested
Figura nº 1: Disposición de tubos en los elementos auscultados

In the sonic probing performed in piles and trenches, certain anomalous signals were seen in some of the logs, consisting of a drop in the energy of the wave received during the test and indicating the presence of defects. Most of these irregularities were found in areas near the foot or key and top of the member tested. These areas were later treated with the appropriate corrective measures, depending on the type of structural member affected.

3.9. PRECASTING PLANT

In the overall context of this project, the precast lining segments used to build the sewer that connects the splitter box located in the upper area of Arroyofresno Street to the storm water tank itself were especially important. The 2 500 segment rings used in the sewer are 0.25 m thick and have an inner diameter of 6.70 m. These rings were manufactured at the DRACE plant in Montearagón, a town in the province of Toledo, which has the technical resources necessary for this undertaking.

The monitoring conducted during the manufacture of these segment rings aimed to ensure that the finished product met the requirements it was intended and designed to meet, in terms of both safety and functionality. The tasks performed are summarised below.

- Formulation of a specific control plan prior to the initiation of segment ring manufacture
- Monitoring of materials: concrete and its components
- Inspection of the manufacturing facilities

The control plan included the following activities: a general inspection of the plant facilities, monitoring of the fresh concrete (HA-40) during the period when the parts were being made and analysis of the aggregate to determine whether it was suitable for use in concrete manufacture. Monitoring for the rest of the components (steel for passive reinforcement, admixtures, water and cement) was limited to checking the documents generated as a result of the plant's internal quality control procedures.

3.8. AUSCULTACIÓN DE ELEMENTOS VERTICALES

Como consecuencia de la importancia que en este tipo de obra adquieren los elementos hormigonados verticalmente, resulta imprescindible la comprobación de la homogeneidad y continuidad del hormigón vertido para su ejecución, con el fin de detectar, una vez ejecutado el elemento, la presencia de coqueas, heterogeneidad u otro tipo de daño que pueda restar funcionalidad del elemento estructural, al mismo tiempo que disminuya la vida útil real de dicho elemento. Por ello, se ha aplicado una auscultación posteriormente al hormigonado, tanto en pantallas como en pilotes; en el caso de pilotes ha sido del 100% de los elementos.

Se ha aplicado, en su mayor parte, el sistema de medida Cross-Hole. Básicamente, el procedimiento de ensayo consiste en subir simultáneamente dos palpadores, uno emisor y otro receptor de ultrasonidos, que se introducen en tubos de 50 mm de diámetro; los tubos van sujetos a la armadura del elemento, sellados en su base y rellenos de agua. El agua cumple una doble función: por una parte ayuda a mantener una temperatura uniforme en el tubo reduciendo eventuales fenómenos de desadherencia entre el tubo y el hormigón circundante y, adicionalmente durante el ensayo, sirve de acoplante a los palpadores del tubo. Una vez que los transductores llegan a la superficie pueden observarse los gráficos obtenidos que refleja la energía de la onda y el tiempo de paso entre tubos del impulso ultrasónico. Toda la información queda además grabada en archivo para poder ser posteriormente procesada e incorporada al informe de resultados.

Se han dispuesto 4 tubos de acero en pilotes y 5 tubos de acero en bataches, lo que ha permitido el registro de 6 diagrfías en el caso de pilotes y de 7 diagrfías en el caso de bataches; en total se han efectuado 1699 diagrfías. Los ensayos se han realizado en todos los casos con una edad mínima del hormigón de 3 días. En la Figura nº 1 se representan las disposiciones señaladas.

En la auscultación realizada mediante sondeo sónico en pilotes y bataches, se ha detectado en algunas diagrfías señales anómalas, reflejadas en el ensayo mediante un descenso de la energía de la onda recibida y que son indicativas de la presencia de defectos; en su mayoría, los defectos han sido localizados en zonas próximas a pié y cabeza del elemento auscultado. Dichas zonas fueron posteriormente tratadas, aplicándose las medidas correctoras adecuadas, en función del elemento afectado.

3.9. INSTALACIONES DE PREFABRICADOS

Especial protagonismo adquiere, dentro del contexto general de la obra, las dovelas prefabricadas que se han empleado en la construcción del colector que une el partidor situado en la zona alta de la calle Arroyofresno y el propio estanque de tormentas. En su conjunto el colector está constituido por 2500 anillos, con un diámetro interior de 6,70 m y un espesor de 0,25 m. La fabricación de las piezas tuvo lugar en las instalaciones de DRACE en Montearagón (Toledo), técnicamente equipadas para cumplir dicho cometido.

Las actividades de control que se han llevado a cabo durante la fabricación de las dovelas están encaminadas a asumir la conformidad de la pieza terminada, en relación con los requisitos para los que ha sido concebida y proyectada, tanto bajo el punto de vista de seguridad como funcional. Puede resumirse en los siguientes puntos:

- Elaboración de un plan de control particularizado, previamente al inicio de la fabricación de las dovelas.
- Control de materiales: Hormigón y materiales constituyentes.
- Inspección de las instalaciones de fabricación.

El plan de control contemplaba los siguientes aspectos: Visita de inspección general de las instalaciones de la fábrica, control del hormigón fresco (HA-40) durante el periodo de construcción de las piezas y el análisis de los áridos para comprobar su idoneidad para el empleo para la fabricación de hormigón. Para el resto de los materiales constituyentes (acero pasivo, aditivos, agua y cemento) el control se ha limitado a la constatación de la documentación generada en el autocontrol interno implantado por la propia fábrica.

Durante la visita de inspección a la fábrica de prefabricados, se comprobaron los siguientes aspectos:

During the inspection visit to the precasting plant, the aspects checked were as follows.

- Concrete component materials
- Storage of source materials
- Proportioning, mixing and transport facilities
- Manufacturing process for the parts
- Internal quality control at the plant Documents on file

The most significant items checked in each of the processes listed above are given in the following synopsis.

Concrete component materials

- Aggregate: Crushed silica sand, 06 mm
Crushed silica pea gravel, 612 mm
Crushed silica gravel, 1220 mm
- Cement: CEM I/52.5 R Cemex
- Admixture: Superplasticiser (Sikament 500)
- Corrugated steel: Diameters: 8, 10 and 12 mm

Storage of source materials

- Aggregate: in weatherproof compartments, in 40t hoppers
- Surface cleaning of aggregate by size
- Opening and closing of the aggregate hopper outlet to the conveyor belt
- Storage of cement, water and admixtures: insulated weatherproof metal tanks

Proportioning, mixing and transport facilities

- Check of material weight prior to dumping in mixer
- Batchers for water and admixtures
- Condition of the mixer, cleanliness of the interior walls and mixing paddles
- Loading materials in the mixer. Mixing duration
- Control cabinet. Reliability of the weight of the materials and display of proportioning used
- Concrete conveyance to and pouring in the casting area

Segment manufacturing

- Cleanliness and watertightness of metal formwork
- Placement of the prepared reinforcement and compliance with cover depths
- Compaction system and duration of the vibration used
- Curing system: comprising an enclosed area, where a constant temperature of 60 ± 5 °C can be maintained for a period of 45 hours
- Identification of parts and suitability of the storing system prior to delivery to the site

Internal quality control at the plant

The plant has an internal quality control system that includes the traceability of the precast parts throughout their manufacturing process. This system incorporates a quality control procedure for materials that is implemented periodically at intervals that depend on the material, and includes any tests that the applicable standards classify as mandatory. In addition to the foregoing, the plant has a laboratory able to monitor test cylinders made from the fresh concrete used and conduct simple tests. The laboratory has cylinder capping equipment and a curing chamber with manual recording of the humidity and temperature.

A quality control plan specifying the same scope and activities as described for inspecting lining segment manufacture was implemented at the PRAINSA plant in Andújar, a town in the province of Jaén. This plant manufactured 54 prestressed beams intended for use as horizontal structural members in the roof of the plunge pool used to slow the flow from the splitter box and in the chute to the storm water tank.

The key feature distinguishing these structural members from the lining segments was the active reinforcement they contain, comprising 0.5" strand steel cables distributed in the cross-section as specified in the design.

- Materiales componentes del hormigón.
- Almacenamiento de materiales básicos.
- Instalaciones de dosificación, amasado y transporte.
- Proceso de fabricación de piezas.
- Control de calidad interno de la fábrica. Estudio de documentación.

A continuación se presentan de forma esquemática aquéllos puntos que pueden considerarse como más significativos, verificados en cada uno de los procesos anteriormente indicados.

Materiales componentes del hormigón

- Áridos: Arena silíceo 0-6 mm silíceo de machaqueo
Gravilla 6-12 mm silíceo de machaqueo
Grava 12-20 mm silíceo de machaqueo
- Cemento: CEM I/52,5 R Cemex
- Aditivo: Superfluidificante (Sikament 500)
- Acero corrugado: Diámetros: 8, 10 y 12 mm

Almacenamiento de materiales básicos

- Acopios de los áridos: En compartimentos estancos, en tolvas de 40 t de capacidad.
- Limpieza superficial de los áridos por tamaños.
- Apertura y cierre de la salida del árido a la cinta transportadora.
- Almacenamiento del cemento, agua y aditivos: Depósitos metálicos estancos asilados.

Instalaciones de dosificación, amasado y transporte

- Control de peso de materiales antes de su vertido a la amasadora.
- Medidores del agua y aditivos.
- Estado de la amasadora, estado de limpieza de las paredes interiores y de las paletas de amasado.
- Incorporación de materiales a la amasadora. Duración del amasado.
- Armario de control de mando. Fiabilidad de peso de los materiales y visualización de dosificaciones aplicadas.
- Transporte del hormigón a la zona de hormigonado de piezas; vertido del hormigón.

Proceso de fabricación de piezas

- Estado de limpieza y estanqueidad de los encofrados metálicos.
- Colocación de la armadura elaborada y mantenimiento de recubrimientos.
- Sistema de compactación y duración de la vibración empleada.
- Sistema de curado: Constituido por un recinto cerrado, capaz de mantener una temperatura constante de 60 ± 5 °C, durante un periodo de 4/5 horas.
- Identificación de piezas e idoneidad del sistema de acopios, previo a su traslado a obra.

Control de calidad interno de la fábrica

La fábrica está en posesión de un sistema de control interno que recoge la trazabilidad del proceso de elaboración de las piezas prefabricadas. Dicho sistema incorpora un procedimiento de control de calidad de materiales que se desarrolla con una periodicidad determinada, según el material de que se trate, y que recoge aquéllos ensayos que son prescriptivos de acuerdo con la normativa que es de aplicación. Independientemente de lo anterior, la fábrica tiene un servicio de laboratorio que satisface el cumplimiento del control de probetas del hormigón fresco empleado así como la realización de ensayos sencillos; para ello, dispone dentro del mismo recinto del laboratorio de un equipo de refrentado y una cámara de curado de probetas con registro manual de humedad y temperatura.

Con el mismo alcance y seguimiento de actividades que se ha aplicado en la inspección de las instalaciones del centro de fabricación de dovelas, descrito anteriormente, se ha llevado a cabo en la fábrica de PRAINSA, en la localidad de Andujar (Jaén), donde se han fabricado 54 vigas pretensadas destinadas como elemento estructural horizontal en la cubierta del pozo de disipación de energía del partididor y pozo de ataque al estanque de tormentas.

Como elemento más diferenciador respecto a las dovelas, es la presencia de armadura activa en éstos elementos estructurales, constituida por cordones de acero de 0,5", distribuidos en la sección de acuerdo con lo requerido en el proyecto.

Once positioned in the mould, each the steel cables was individually stressed to the minimum load specified in the stressing protocol. Three days after casting, all the cables were destressed, providing the concrete had reached the minimum required strength. Self-compacting HA50 concrete was used to manufacture the beams.

3.10. SUMMARY ON THE MATERIALS QUALITY CONTROL

1. A total of 4 423 samples of fresh concrete were taken from the concrete poured in piles (581 samples), diaphragm wall (872 samples), slabs (1 635 samples), precast lining segments (549 samples) and other structural members (786 samples). Six cylinders 15 cm in diameter and 30 cm high were made from each sample. Nearly all the samples were found to conform to the specifications. In some compressed structural members (piles), unacceptable strength values were detected. In these cases, the appropriate corrective measures were taken, based on pile strength.
2. The tests conducted on the corrugated steel showed the material to be standard compliant.
3. An analysis of the findings for the aggregate used in the on-site manufacture of concrete revealed that it was suitable for this use.
4. The quality control inspections on the concrete and components conducted during the manufacture of the precast lining segments and beams yielded satisfactory results. Both installations were considered suitable for the manufacture of the respective structural members.

4. CONTROL OF EQUIPMENT AND M&E SERVICES

A team of engineers from INTEMAC, whose members included specialists in a variety of disciplines, conducted quality control assessments on the main and ancillary equipment and M&E services in the storm water tank under the general guidelines established by the project's engineering support services. This assessment consisted of the elements described below.

a) Equipment acceptance inspections

To better ensure that the structural and functional characteristics of the equipment complied with the technical design specifications, and establish its acceptability before it shipped, several checks were performed on the finished product at the manufacturing plants. For this purpose, INTEMAC's engineers visited the plants making the key constituents of the water pipelines and the storm water tank, such as circulating pumps, the various types of gates and the valves. During these visits, they reviewed the technical documents provided for the materials and manufacturing processes used. They also assessed its operation and characteristics.

Similarly, they visited the plants where the imported steel pipes were prepared prior to painting. These plants also manufactured the special parts for the pipeline layout (bends, branches, and so forth).

b) Inspection of construction and installation work

During the construction period, INTEMAC conducted intermittent quality control inspections of the equipment assembly and of the main and ancillary M&E services, such as ventilation and electricity. The engineering team also checked other elements not strictly related to the operation of the storm water tank, such as the inspection walkways.

c) Final tests

Lastly, when the construction work was completed, INTEMAC's engineers checked equipment and service operation and performance to ensure that they were in good working order before the storm water tank was commissioned. The scope of these activities was determined by the availability of water, for in light of the large pipeline volumes, substantial amounts of water had to accumulate in the tank.

The data gathered during the inspections described above, in particular information regarding any incidents that occurred, were reported to the project engineering support team for the adoption of suitable corrective measures. After any non-conformities were remedied, INTEMAC's personnel re-checked the anomalies initially detected before final approval was granted.

The items below describe the work performed in greater detail.

Una vez posicionados los cables de acero en el molde, se procedió al tesado individual de cada uno de ellos, hasta conseguir la carga mínima exigida en el protocolo de tesado. Del mismo modo, transcurrido 3 días desde su hormigonado, y siempre que el hormigón haya alcanzado la resistencia mínima requerida, se procede al destesado del conjunto de los cordones. En la fabricación de las vigas se empleó un hormigón autocompactante, HA-50.

3.10. CONCLUSIONES SOBRE EL CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

1. Se ha efectuado un total de 4.423 muestreos de hormigón fresco de 6 probetas cilíndricas 15/30, a partir del hormigón vertido en pilotes (581 muestreos), pantalla continua (872 muestreos), losas (1.635 muestreos), dovelas prefabricadas (549 muestreos) y otros elementos estructurales (786 muestreos). Prácticamente en la totalidad de los muestreos realizados se han registrado resultados satisfactorios, respecto a los valores teóricos de especificación. En algunos elementos estructurales comprimidos (pilotes), se han detectado valores de resistencias no aceptables; en éstos casos se tomaron, en base a las resistencias obtenidas, las medidas correctoras pertinentes.
2. Los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre el acero corrugado, satisfacen las especificaciones de la normativa vigente aplicable en relación con las determinaciones efectuadas.
3. Del análisis de los resultados obtenidos sobre los áridos empleados en la fabricación del hormigón de las plantas de control en obra, se concluye, que son adecuados para el empleo en la fabricación del hormigón.
4. Sobre las actividades llevadas a cabo durante la fabricación de las dovelas y las vigas prefabricadas, han presentado tanto en el control de hormigón realizado como de los materiales constituyentes, resultados satisfactorios. Ambas instalaciones se consideran adecuadas para la fabricación de los correspondientes elementos estructurales.

4. CONTROL DE EQUIPOS E INSTALACIONES

En lo que respecta a los equipos y las instalaciones principales y auxiliares del Estanque de Tormentas, un equipo de técnicos de INTEMAC compuesto por especialistas en distintas disciplinas llevaron a cabo actividades de control de calidad bajo las directrices generales marcadas por la Asistencia Técnica de la obra. Dichas actividades consistieron en lo siguiente:

a) *Inspección de recepción de equipos*

Con el objeto de alcanzar mayores garantías en cuanto a que las características constructivas y funcionales de los equipos cumplieran las prescripciones técnicas del proyecto, y de cara a establecer que su estado antes del suministro a la obra era correcto, se decidió realizar diversas comprobaciones en las instalaciones de los fabricantes sobre los productos terminados. Con este propósito, los técnicos de INTEMAC efectuaron visitas a los talleres de fabricación de los equipos más significativos de las conducciones de agua y del propio Estanque, tales como las bombas de circulación, las diferentes compuertas y las válvulas, en las que se revisó la documentación técnica aportada sobre los materiales utilizados y sobre los procesos de fabricación seguidos. Asimismo, se efectuaron determinaciones directas sobre su funcionamiento o características.

Del mismo modo, se visitaron los talleres donde fundamentalmente se preparaban las tuberías de acero para su posterior pintura, las cuales habían sido fabricadas fuera de España. Además, en estos talleres se fabricaban las piezas singulares del trazado de las conducciones (codos, derivaciones, etc.).

b) *Inspección de ejecución y montaje*

Durante el período de ejecución de las obras INTEMAC realizó actuaciones de control de calidad no sistemáticas sobre el montaje de los equipos y la ejecución de las instalaciones principales y auxiliares, tales como el sistema de ventilación y el eléctrico. Se realizaron además otras comprobaciones sobre ciertos elementos no propiamente relacionados con el funcionamiento del Estanque de Tormentas, como es el caso de las pasarelas de inspección.

c) *Pruebas finales*

Por último, al finalizar los trabajos de ejecución de las obras los técnicos de INTEMAC llevaron a cabo comprobaciones sobre el funcionamiento y el comportamiento de los equipos y sistemas cuyo objeto era verificar que se encontraban en adecuadas condiciones para la puesta en servicio del Estanque de Tormentas. El alcance de estas actividades se vio condicionado por la disponibilidad de agua, pues los grandes caudales de las conducciones requerían elevados volúmenes acumulados en el Estanque.

La información obtenida en las inspecciones descritas, y en particular la relativa a las incidencias surgidas, era transmitida a la Asistencia Técnica de la obra para poder adoptar de manera oportuna las medidas correctoras. Una vez

4.1. EQUIPMENT ACCEPTANCE INSPECTION

As stated earlier, the equipment acceptance inspections were performed after it was manufactured but before it shipped to the site. The scope of INTEMAC's work did not include monitoring the manufacturing processes. On some occasions, because of the constraints involved in the transport of large items, the equipment had not been fully assembled at the time of inspection. Final assembly took place at the construction site, after which the definitive inspection was performed. In such cases, all the verifications that were feasible, given the unfinished state of the equipment, were performed.

During this stage of quality control, the technical specifications for the equipment to be inspected and the respective Inspection Point Programmes (IPP) furnished by the project engineering support team were at hand. Generally speaking, the following checks were performed.

- Firstly, the quality records provided by the manufacturers were analysed, together with any other additional documents furnished at the time of inspection, such as manufacturing drawings that were not included in the records in order to safeguard proprietary know-how. The inspectors then verified that the materials used to manufacture the constituent parts were as defined in the respective technical specifications, that welding procedures were suitable and implemented by duly qualified welders, that the paint used had a suitable technical data sheet and that the tests conducted during manufacture were detailed and their results included. The quality records were also checked to ensure that they included all certificates that had been requested prior to inspection (CE marking, warranty, and so forth).
- A visual inspection was then conducted of the equipment, the welds were checked, dimensions were verified as necessary, paint thicknesses were measured where this type of protection was present and any planned pressure, watertightness and functional tests were conducted.

Inspections were also performed for the acceptance of the steel pipes, which, as noted above, were manufactured abroad. These inspections involved a visit to the plant where the straight sections were prepared and any special parts were made to check their characteristics, and another to the paint shop where the surface protection applied (paint) was inspected. All of the technical documents provided were also reviewed in both cases.

Any anomalies found were analysed and the engineering support team immediately notified so that the latter could evaluate whether the equipment or part in question could be sent to the site for assembly, or otherwise, and the steps required to remedy the situation, which would be re-checked after these actions were completed. Speed was of the essence in reporting such information at this stage in order to avoid delays or changes in the scheduling of the subsequent work to install the equipment and assemble the pipelines on site.

The inspections and verifications described above were performed for the following equipment:

a) Electromechanical equipment

- Circulating pumps
 - Manufacturer: ABS
 - Equipment: 8 units, AFP6004M 4000/893 (1 750 l/s12.8 mWC)
6 units, AFP 6001 M 2500/882 (1 200 l/s13.2 mWC)
1 unit, AFP 1575 ME 750/452 (153 l/s26.0 mWC)
 - Plant location: Lohmar, Germany
- Dismantling joints
 - Manufacturer: Metalúrgicas Loeches
 - Equipment: 8 units, DN1000
6 units, DN800
1 unit, DN300
 - Plant location: Loeches (Madrid)
- Expansion joints
 - Manufacturer: CORACI
 - Equipment: 2 units, Type CFC DN1200
2 units, Type CFC DN1600
 - Plant location: Cornellá de Llobregat, Barcelona

resueltas las no conformidades, eran comprobados nuevamente por el personal de INTEMAC los aspectos inicialmente anómalos para dar el visto bueno definitivo.

En los siguientes epígrafes se detallan los trabajos llevados a cabo.

4.1. INSPECCIÓN DE RECEPCIÓN DE EQUIPOS

Como ya se ha puesto de manifiesto anteriormente, las inspecciones para la recepción de los equipos fueron realizadas una vez terminada su fabricación y antes de su suministro a la obra, no siendo objeto de los trabajos llevados a cabo por INTEMAC el seguimiento de los procesos de fabricación. En algunas ocasiones, y por los condicionantes derivados de las limitaciones del transporte de elementos de gran tamaño, en el momento de la inspección no se habían ensamblado aún completamente los equipos, ya que esto era efectuado definitivamente en la obra, dando lugar a una nueva inspección final. En estos casos se realizaron las comprobaciones que eran viables de acuerdo con el estado de terminación de los equipos.

En esta fase del control INTEMAC ha manejado las especificaciones técnicas de los equipos a inspeccionar y los correspondientes Programas de Puntos de Inspección (PPI) aportados por la Asistencia Técnica de la obra. Con carácter general, las comprobaciones que se han efectuado en cada caso han consistido en lo siguiente:

- En primer lugar se realizaba un análisis de los dossier de calidad aportados por los fabricantes así como de cualquier otra documentación adicional facilitada en el momento de la inspección, tal como los planos de fabricación que no eran incorporados al mencionado dossier para salvaguardar el "know how" particular. Se procedía a contrastar el que los materiales utilizados en la fabricación de las distintas piezas fueran los definidos en las correspondientes especificaciones técnicas, el que los procedimientos de soldadura fuesen los adecuados y los soldadores estuvieran convenientemente cualificados, el que las pinturas aplicadas dispusieran de la adecuada ficha de características y el que se detallaran los ensayos efectuados en la fabricación y se incluyeran los resultados obtenidos. Se comprobaba asimismo que los dossier incluyeran los certificados que previamente habían sido solicitados (marcado CE, garantía, etc.).
- Posteriormente se llevaba a cabo una inspección visual del estado de los equipos, se revisaban las soldaduras, se efectuaban los contrastes dimensionales necesarios, se medían espesores de pintura en los casos en que hubiera este tipo de protección y se llevaban a cabo los ensayos de presión, estanqueidad y funcionamiento previstos.

Se realizaron también actividades de inspección para la recepción de las tuberías de acero que, como ya se ha indicado, habían sido fabricadas fuera de España. Las comprobaciones realizadas consistieron por un lado en visitas al taller de preparación de tramos rectos y fabricación de piezas especiales para verificar sus características, y por otro al taller de pintura donde se comprobaba la protección superficial aplicada (pintura), habiendo revisado la correspondiente documentación técnica facilitada en ambos casos.

Las incidencias detectadas, en su caso, eran analizadas y comunicadas de inmediato a la Asistencia Técnica con el objeto de evaluar si el equipo o elemento en cuestión podía ser enviado a la obra para su montaje o, en caso contrario, para determinar las medidas a adoptar para su corrección, lo que era comprobado nuevamente con posterioridad. La agilidad en la transmisión de información en esta fase era fundamental para no provocar retrasos o alteraciones en la programación de los posteriores trabajos de montaje de los equipos y conducciones "in situ".

Los equipos sobre los que se han realizado las comprobaciones descritas previamente han sido los siguiente:

a) Equipos electromecánicos

- Bombas de circulación

Fabricante: ABS
Equipos: 8 Uds AFP 6004 M 4000/8-93 (1.750 l/s-12,8 mca)
6 Uds AFP 6001 M 2500/8-82 (1.200 l/s-13,2 mca)
1 Ud AFP 1575 ME 750/4-52 (153 l/s-26,0 mca)
Ubicación de la fábrica: Lohmar (Alemania)

- Carretes de desmontaje telescópicos

Fabricante: Metalúrgicas Loeches
Equipos: 8 Uds DN1000
6 Uds DN800
1 Ud DN300
Ubicación de la fábrica: Loeches (Madrid)

- Power packs
 Manufacturer: URG
 Equipment: 1 unit, for 9 check valves
 1 unit, for 6 check valves
 Plant location: Villabona, Guipúzcoa

- Check valves for cleaning
 Manufacturer: CMO
 Equipment: 13 units, series FL 4300x400
 1 unit, series FL 1900x400
 1 unit, series FL 1450x400
 Plant location: Tolosa, Guipúzcoa

- Knife gate valves
 Manufacturer: CMO
 Equipment: 8 units, series A DN1000
 6 units, series A DN800
 1 unit, series A DN300
 Plant location: Tolosa, Guipúzcoa

- End-of-line valves
 Manufacturer: CMO
 Equipment: 2 units, series FL DN1200
 Plant location: Tolosa, Guipúzcoa

- Tainter gates
 Manufacturer: CMO
 Equipment: 2 units, series CT 2600X2500
 Plant location: Tolosa, Guipúzcoa

- Wall penstocks
 Manufacturer: CMO
 Equipment: 1 unit, series MC 1200X1200
 3 units, series MC 2500x2500
 Plant location: Tolosa, Guipúzcoa

- Fixed-wheel gate
 Manufacturer: CMO
 Equipment: 1 unit, series VM 4500x6650
 Plant location: Tolosa, Guipúzcoa

- Check valves
 Manufacturer: ORBINOX
 Equipment: 8 units, series RM DN1000
 6 units, series RM DN800
 Plant location: Anoeta, Guipúzcoa

b) Steel pipes

A total of 30 inspections were made of steel pipes with diameters ranging from 1 600 to 800 mm on visits to the PRAMAR plant in Tomelloso, a town in the province of Ciudad Real, and the Julio Crespo plant in Valdemoro, a town in the province of Madrid, which manufactured the parts, prepared the surfaces and applied the protective paint to the aforementioned pumping pipes. Occasionally, some of the inspections were carried out on pipes stocked at the site to avoid interrupting the pace of pipeline construction.

- Juntas de dilatación
Fabricante: CORACI
Equipos: 2 Uds Tipo CFC DN1200
2 Uds Tipo CFC DN1600
Fecha de inspección: Cornellá de Llobregat (Barcelona)
- Grupos oleohidráulicos
Fabricante: URG
Equipos: 1 Ud para 9 clapetas
1 Ud para 6 clapetas
Ubicación de la fábrica: Villabona (Guipúzcoa)
- Clapetas de limpieza
Fabricante: CMO
Equipos: 13 Uds Serie FL 4300x400
1 Ud Serie FL 1900x400
1 Ud Serie FL 1450x400
Ubicación de la fábrica: Tolosa (Guipúzcoa)
- Válvulas de guillotina
Fabricante: CMO
Equipos: 8 Uds Serie A DN1000
6 Uds Serie A DN800
1 Ud Serie A DN300
Ubicación de la fábrica: Tolosa (Guipúzcoa)
- Válvulas fin de línea
Fabricante: CMO
Equipos: 2 Uds Serie FL DN1200
Ubicación de la fábrica: Tolosa (Guipúzcoa)
- Compuertas taintor
Fabricante: CMO
Equipos: 2 Uds Serie CT 2600X2500
Ubicación de la fábrica: Tolosa (Guipúzcoa)
- Compuertas murales
Fabricante: CMO
Equipos: 1 Ud Serie MC 1200X1200
3 Uds Serie MC 2500x2500
Ubicación de la fábrica: Tolosa (Guipúzcoa)
- Compuerta vagón
Fabricante: CMO
Equipo: 1 Ud Serie VM 4500x6650
Ubicación de la fábrica: Tolosa (Guipúzcoa)
- Válvulas de retención
Fabricante: ORBINOX
Equipos: 8 Uds Serie RM DN1000
6 Uds Serie RM DN800
Ubicación de la fábrica: Anoeta (Guipúzcoa)

b) Tuberías de acero

Sobre las tuberías de acero correspondientes a los diámetros comprendidos entre 1600 y 800 mm se realizó un total de treinta inspecciones en visitas efectuadas a los talleres de PRAMAR en Tomelloso (Ciudad Real) y de Julio Crespo en Valdemoro (Madrid), donde se llevó a cabo la fabricación de piezas, la preparación superficial y la aplicación de la pintura de protección en las tuberías de impulsión citadas. Puntualmente, algunas de las inspecciones fueron realizadas sobre los acopios en obra para no alterar el ritmo de los trabajos de ejecución de la conducción.

The activities performed by INTEMAC are summarised below.

- Review of the technical specifications for the paint
- Review of steel surface preparation
- Review of the Inspection Points Programme (IPP) implemented by the plant
- Identification of the paint used to ensure that it met the technical specifications
- Dimensional checks on the pipe (measuring of the thickness and diameter)
- Review of the quality certificates for the steel
- Review of the welding procedures and welder certifications
- Visual inspection of welds
- Geometric control of fillet welds
- Liquid penetrant testing on fillet welds
- Measurement of the thickness of the layer of surface protection applied to the pipes

These checks were performed using statistical sampling, and the results of the inspections, in all cases satisfactory, were included in specific inspection reports.

4.2. CONSTRUCTION AND ASSEMBLY INSPECTIONS

Quality control work in the construction stage was not performed systematically on all of the M&E services and equipment; rather, spot checks were made on certain systems or components in keeping with the guidelines laid down by the project engineering support team. The following items detail the scope of the work carried out.

4.2.1. EQUIPMENT ASSEMBLY

INTEMAC conducted on-site inspections of the most critical installation operations for the equipment listed below to ensure an acceptable level of confidence in the work.

a) Check valves for cleaning

The anchor bolts for these parts were inspected.

b) End-of-line valves

As above, the anchor bolts were checked.

c) Tainter gate, wall penstock and fixed-wheel gate assembly

The Tainter gate, wall penstock and fixed-wheel gate inspections covered the following items.

- Visual inspection of the joints
- Visual inspection of the protective paint
- Measurement of the thickness of the surface protection layer
- Verification of the quality of the bolts
- Verification of the tightness of the bolts

Las actividades realizadas por INTEMAC han consistido principalmente en lo siguiente:

- Revisión de las especificaciones técnicas de la pintura
- Revisión de las preparaciones superficiales del acero.
- Revisión del programa de puntos de inspección (PPI) realizado por el taller.
- Identificación de la pintura aplicada en relación con las especificaciones técnicas facilitadas.
- Control dimensional de tubería (determinación del espesor y diámetro)
- Revisión de los certificados de calidad del acero.
- Revisión de procedimientos de soldadura y homologación de soldadores.
- Inspección visual de soldaduras.
- Control geométrico de soldaduras de ángulo
- Ensayos mediante líquidos penetrantes de soldaduras de ángulo.
- Determinación del espesor de la capa de protección superficial aplicada en las tuberías.

Estas comprobaciones fueron realizadas por muestreo estadístico, habiendo quedado recogidos los resultados de las inspecciones, en todos los casos satisfactorios, en partes de inspección específicos.

4.2. INSPECCIÓN DE EJECUCIÓN Y MONTAJE

Los trabajos de control de calidad en la fase de ejecución no se establecieron de forma sistemática sobre la totalidad de las instalaciones y los equipos, sino de forma puntual sobre ciertos equipos o elementos conforme a las directrices marcadas al respecto por la Asistencia Técnica de la obra. En los siguientes epígrafes se detalla el alcance de los trabajos realizados.

4.2.1. MONTAJE DE EQUIPOS

De cara a alcanzar un nivel de confianza adecuado en cuanto a los trabajos de ejecución, INTEMAC llevó a cabo inspecciones en obra de las operaciones de montaje más comprometidas de los equipos indicados a continuación.

a) Clapetas de limpieza

Sobre estos elementos se efectuó una revisión de los pernos de anclaje.

b) Válvulas de final de línea

Sobre estos elementos se realizó, como en el caso anterior, una revisión de los pernos de anclaje.

c) Montaje de compuertas taintor, murales y vagón

Sobre el montaje de las compuertas taintor, murales y vagón se comprobaron los siguientes aspectos:

- Inspección visual de las juntas
- Inspección visual de la pintura de protección
- Determinación del espesor de la capa de protección superficial.
- Verificación de la calidad de los tornillos.
- Verificación del apriete de los tornillos.

-
- Visual inspection of welds
 - Geometric control of fillet welds

d) Round penstock, series MR DN 1000

The placement of the bolts and nuts and the quality of the welds on the MR DN 1000 series round penstock were checked.

4.2.2. ANCILLARY M&E SERVICES

INTEMAC conducted on-site inspections to check the execution of the following ancillary services.

a) Transformer substation

- Identification of the circuit-breaker and protection cabinets
- Characteristics and installation of low- and medium-voltage electric lines
- Characteristics and installation of the earthing system

b) Electric power distribution

- Characteristics and installation of power and control cables
- Characteristics and installation of cable trays and protective tubes
- Characteristics and installation of office and lighting switchboards
- Characteristics and installation of normal and emergency lighting equipment
- Characteristics and installation of switching mechanisms

c) Ventilation system

- Characteristics and installation of fans
- Characteristics and installation of air ducts

4.2.3. OTHER ELEMENTS

In addition to the inspections to determine the quality of equipment and M&E services as described in the previous items, INTEMAC also conducted on-site inspections of other steel elements to check certain features of their assembly or their characteristics.

a) Pile casings, pump pit covers, booster pump cabinet supports and pump lid supports

The thickness of the surface protection applied was measured for a sampling of these items.

b) Hoist support

- The following checks were performed on the hoist support structure.
- Visual inspection of welds
- Dimensional check of fillet welds
- Preparation of butt joint edges
- Ultrasonic inspection of butt joints

- Inspección visual de soldaduras.
- Control geométrico de soldaduras de ángulo.

d) Compuerta redonda serie MR DN 1000

En la compuerta redonda serie MR DN 1000 se verificó la colocación de tornillos y tuercas, así como las calidades de las soldaduras realizadas.

4.2.2. INSTALACIONES AUXILIARES

INTEMAC ha realizado inspecciones en obra con objeto de verificar la ejecución de las siguientes instalaciones auxiliares:

a) Centro de transformación

- Identificación de las cabinas de seccionamiento y protección.
- Características y montaje de las líneas eléctricas en media y baja tensión.
- Características y ejecución de la puesta a tierra.

b) Distribución eléctrica

- Características y ejecución de los cables de potencia y mando.
- Características y ejecución de las bandejas portacables y tubos de protección.
- Características y ejecución de los cuadros de mando y protección de las oficinas y alumbrado.
- Características y ejecución de los equipos de alumbrado normal y de emergencia.
- Características y ejecución de los mecanismos.

c) Sistema de ventilación

- Características y montaje de los ventiladores.
- Características y ejecución de los conductos de aire.

4.2.3. OTROS ELEMENTOS

Además de las actuaciones de control de calidad de ejecución llevadas a cabo sobre los distintos equipos y sistemas recogidas en los apartados precedentes, INTEMAC realizó inspecciones en obra sobre otros elementos metálicos con objeto de verificar diversos aspectos sobre sus características o ejecución, según se recoge a continuación:

a) Camisas de pilotes, tapas de cierre de huecos de bombas, soportes de armario de bombas de impulsión y soportes de tapas de bombas

En estos elementos se han realizado por muestreo las determinaciones del espesor de la protección superficial aplicada.

b) Soporte de polipastos

- Sobre la estructura de soporte de polipastos se realizaron las siguientes comprobaciones:
- Inspección visual de soldaduras.
- Control dimensional de soldaduras de ángulo.
- Preparación de bordes de juntas a tope.
- Inspección mediante ultrasonidos de juntas a tope.

c) DN 1200 and DN 1600 pipe anchor plates and support structure

The following verifications were carried out on the DN 1200 and DN 1600 pipe anchor plates and support structure.

- Dimensional check of the welds
- Visual inspection of the supports
- Visual inspection of the welds
- Visual inspection of the finish of the surface protection layer
- Measurement of the thickness of the surface protection layer

d) Ventilation shaft ladder

The thickness of the surface protection layer on the steel structure of the ventilation shaft ladder was checked.

c) Steel walkway

Factory and on-site inspections were conducted on the steel walkway, and the following were performed in both.

- Visual inspection of welds
- Geometric control of fillet welds
- Dimensional check of the structure (steel profile cross-sections and positions)
- Liquid penetrant testing on welded joints
- Verification of tightening torque
- Measurement of the thickness of the surface protection layer
- Review of paint curing

The temperature conditions and high humidity inside the storm water tank greatly lengthened the curing process for the protective paint applied to the steel walkway structure. This was noticeable to the touch and detected in the adhesion tests conducted. Satisfactory results were obtained several months after the paint was applied, however.

4.3. FINAL TESTS

As the construction work was completed and the necessary tasks were performed for the start-up of the various systems and equipment, INTEMAC was able to begin conducting the final operating tests. The tests were generally complete and conclusive. The tests for pump automatic start-up and shut-down sequences and the combined operating tests for all the equipment together could not be carried out, primarily because the volume of water was insufficient to simultaneously start up and run all of the pumping equipment. Nevertheless, the operations concerned were simulated.

The project engineering support team was informed on a timely basis of the findings via specific reports that detailed the checks performed and the results. Further adjustments to the equipment were occasionally required where minor irregularities were found, which were eventually corrected.

The systems and equipment on which tests were conducted, and the specific actions that were performed, are listed below.

c) Placas de anclaje y estructura de apoyo de la tubería DN 1200 y DN 1600

Sobre las placas de anclaje y la estructura de apoyo de la tubería DN 1200 y DN 1600 se verificaron los siguientes aspectos:

- Control dimensional de las soldaduras.
- Inspección visual de los apoyos.
- Inspección visual de las soldaduras.
- Inspección visual del acabado de la capa de protección superficial.
- Determinación del espesor de la capa de protección superficial.

d) Escalera de pozos de ventilación

Se realizaron comprobaciones del espesor de la capa de protección superficial de la estructura metálica correspondiente a la escalera de los pozos de ventilación.

c) Pasarela metálica

Sobre la pasarela metálica se han realizado inspecciones tanto en taller como en obra, comprobándose en las mismas los siguientes aspectos:

- Inspección visual de soldaduras.
- Control geométrico de soldaduras de ángulo.
- Control dimensional de la estructura (secciones de perfiles y disposición).
- Ensayos mediante líquidos penetrantes en uniones soldadas.
- Verificación del par de apriete.
- Determinación del espesor de la capa de protección superficial.
- Revisión del curado de la pintura.

En lo que respecta a la pintura de protección aplicada sobre la estructura de la pasarela metálica, las particulares condiciones de temperatura y elevada humedad en el interior del Estanque provocaron una evolución muy lenta del proceso de curado. Aparte de la simple apreciación al tacto de este fenómeno, los ensayos de adherencia realizados acusaron dicha situación, habiendo obtenido resultados satisfactorios varios meses después de la aplicación de la pintura.

4.3. PRUEBAS FINALES

A medida que se fueron terminando los trabajos de ejecución, y después de que se hubieran realizado las necesarias labores de puesta en marcha de los distintos equipos y sistemas, INTEMAC comenzó las correspondientes pruebas finales de funcionamiento. Las pruebas han sido en general completas y concluyentes, pero no fue posible llevar a cabo las correspondientes a las secuencias automáticas de arranque y parada de las bombas así como las de funcionamiento conjunto de todos los equipos, fundamentalmente como consecuencia de que el volumen de agua disponible no permitía poner en marcha de forma simultánea y con continuidad suficiente todos los equipos de bombeo. No obstante, se simuló las correspondientes maniobras.

La Asistencia Técnica de la obra era informada puntualmente de los resultados obtenidos, emitiéndose Notas específicas que detallaban las comprobaciones realizadas y los resultados obtenidos. En alguna ocasión fue necesario realizar ajustes adicionales al detectarse pequeñas incidencias que finalmente fueron corregidas.

Los sistemas y equipos sobre los que se han realizado pruebas, así como las actuaciones concretas efectuadas, se relacionan a continuación.

a) Transformer substation

The checks performed as final inspection and operating tests are listed below

- General condition of the switchgear bays and the three existing transformers and cleanliness of the facility and surroundings.
- Presence of the necessary safety devices (gloves, insulating stool, throw switch, hot stick and instructions) and a single-line diagram of the installation.
- Opening and closing of circuit breakers and switches
- Presence and operation of electrical and mechanical interlockings between medium-voltage bays and low-voltage circuit breakers
- Presence of interlockings between the incoming bay of the transformer substation and the outgoing bay of the switching station
- Neutral earthing resistor and fittings
- Condition of the earthing connections of metal parts as well as earthing switches
- Automatic actions in the event of excess transformer temperature: tripping of protection bays and audible alarm and alarm light
- Output voltage from each transformer
- Operation of forced ventilation acting on the thermostat located on one of the walls of the room

b) General electrical system (ventilation switchboard, CCM1, CCM2, lighting switchboard)

- General condition of the electrical switchboards (in particular, cleanliness, labelling, tightness of connections and presence of a single-line diagram).
- Trip currents and fault voltages of residual current devices and continuity of the protection circuit
- Insulation resistances between active conductors and between the latter and earth
- Load balancing
- Power factor and operation of the fixed capacitor banks for each transformer and the multi-step automatic capacitor bank connected to the CCM2 switchboard
- Operation of normal and emergency lighting and measurement of the light levels of the normal and emergency lighting systems

c) Tank wall penstocks

- General condition, particularly the absence of any noticeable deformations in the frame and in the penstocks themselves
- Opening and closing operations in the entire range of positions, in local and remote operating modes
- Emergency closing operation
- Clacking of normal operation and emergency closing times
- Simulation of "jam" operation
- Indication of opening or closing once each penstock has reached its end-of-travel position

a) Centro de transformación

Las comprobaciones realizadas han tenido el carácter de inspección final y de verificaciones de funcionamiento, y han consistido en lo siguiente:

- Estado general de las celdas de maniobra y de los tres transformadores existentes, así como de su estado de limpieza.
- Existencia de los elementos de seguridad necesarios (guantes, banqueta, palanca, pértiga e instrucciones) y de un esquema unifilar de la instalación.
- Maniobras de apertura y cierre de disyuntores y seccionadores.
- Existencia y actuación de enclavamientos eléctricos y mecánicos entre celdas de media tensión e interruptores generales de baja tensión.
- Existencia de enclavamiento entre la celda de entrada del centro de transformación y la de salida del centro de seccionamiento.
- Resistencia de puesta a tierra de neutros y herrajes.
- Estado de las conexiones de los elementos metálicos así como de los seccionadores de tierra.
- Actuaciones automáticas en caso de temperatura excesiva de los transformadores: disparo de las celdas de protección y señalización de alarma acústica y luminosa.
- Tensión de salida de cada uno de los transformadores.
- Funcionamiento de la ventilación forzada actuando sobre el termostato que se localiza sobre una de las paredes de la sala.

b) Sistema eléctrico general (cuadro de ventilación, CCM1, CCM2, cuadro de alumbrado)

- Estado general de los cuadros eléctricos (en particular limpieza, rotulación, apriete de las conexiones y existencia de esquema unifilar).
- Intensidades de disparo y tensiones de defecto de los interruptores diferenciales, y continuidad del circuito de protección.
- Resistencias de aislamiento entre conductores activos y entre éstos y tierra.
- Equilibrado de cargas.
- Factor de potencia y funcionamiento de las baterías de condensadores fijas de cada transformador y automática por escalones conectada al cuadro CCM2.
- Funcionamiento del alumbrado normal y de emergencia y medida de los niveles de iluminación Instalación de alumbrado normal y de emergencia

c) Compuertas murales del estanque

- Estado general, en particular ausencia de deformaciones aparentes en el marco y en las propias compuertas.
- Maniobras de apertura y cierre en todo el recorrido entre las posiciones extremas, en modos local y remoto.
- Maniobra de cierre de emergencia
- Medida de tiempos en maniobra normal y en cierre de emergencia.
- Simulación de la maniobra de "atasco".
- Señalización de su apertura o cierre una vez alcanzado el recorrido final de cada compuerta.

d) Check valves for cleaning

- General condition, particularly the absence of any noticeable deformations in the frame and in the valves themselves
- Opening and closing operations
- Appropriate distribution of water and adequate flushing of the lanes when the check valves are opened
- Watertightness when valves are closed

e) Fixed-wheel gate

f) Knife gate valves on pumping lines

- General condition of the knife gate valves, particularly the absence of any damage to the closing parts, to the body and to the drive parts
- Opening and closing of the gates along their entire travel path
- Operation of the limit switches for the opening and closing of these valves
- Clocking of total opening and closing times from end positions
- Consumption of each drive motor during opening and closing and regulation of thermal protection relays
- Valve shut-down when the electric drive motor opening and closing torque limiter is activated
- Operation of the emergency valve opening system
- Manual operation of the valves from the hand wheel

g) Splitter box Tainter gates

- General condition, particularly the absence of any deformations in the closing parts and in the gates themselves
- Gate opening and closing along the entire travel path between their end positions, and clocking of total time
- Indication of position
- Gate stoppage when jam is simulated
- Operation of the emergency gate opening system

h) Power packs

- State of cleanliness, level of oil in the accumulator reservoir and leak tightness of unit and hoses
- Switchboard electrical system (insulation resistance of the power line, supply voltage and tripping of the residual current device)
- Pressure of the hydraulic system during gate operation and compressor shut-down
- Pump alternation if the main pump fails
- Measurement of pump motor electricity consumption during opening and closing of the gates and adjustment of the thermal protection relays
- Operation of the gates using the manual pump

d) Clapetas de limpieza

- Estado general, en particular ausencia de deformaciones aparentes en el marco y en las propias clapetas.
- Maniobras de apertura y cierre.
- Correcta distribución del agua y adecuado barrido de las calles al accionar la apertura de las clapetas.
- Estanquidad al cierre de las clapetas.

e) Compuerta vagón

f) Válvulas de guillotina de las líneas de impulsión

- Estado general de las válvulas de guillotina, en particular ausencia de daños en los elementos de cierre, en el cuerpo y en los elementos de accionamiento.
- Maniobras de apertura y cierre de las compuertas en todo su recorrido.
- Funcionamiento de los finales de carrera de apertura y cierre de las citadas válvulas.
- Medida del tiempo total de las maniobras de apertura y el cierre entre sus posiciones extremas.
- Consumo de cada motor de accionamiento durante las maniobras de apertura y cierre y regulación de los relés térmicos de protección.
- Parada de las válvulas al actuar sobre el limitador de par de apertura y de cierre que equipa el motor de accionamiento eléctrico.
- Funcionamiento del sistema de apertura de emergencia de las válvulas.
- Actuación manual de las válvulas al operar desde el volante.

g) Compuertas taintor del Partidor

- Estado general, en particular ausencia de deformaciones en los elementos de cierre y en las propias compuertas.
- Maniobras de apertura y cierre de las compuertas en todo el recorrido entre sus posiciones extremas y medida del tiempo invertido.
- Señalización de la posición.
- Parada de las compuertas en la simulación de atasco.
- Funcionamiento del sistema de apertura de emergencia de las compuertas.

h) Grupos oleohidráulicos

- Estado de limpieza, nivel de aceite del depósito acumulador y estanquidad del equipo y los latiguillos.
- Sistema eléctrico del cuadro de maniobra (resistencia de aislamiento de la línea de alimentación, tensión de alimentación y disparo del interruptor diferencial general).
- Presiones del sistema hidráulico durante el funcionamiento de las compuertas y en la parada del compresor.
- Existencia de alternancia de las bombas ante la avería de la que se considera como principal.
- Medida del consumo eléctrico de los motores de las bombas durante las maniobras de apertura y cierre de las compuertas y ajuste de los relés térmicos de protección.
- Accionamiento de las compuertas mediante la bomba manual.

i) Main and sump pumps

- Start-up and shut-down ramps for each pump
- Measurement of motor electricity consumption
- Indication of pump state on switchboard and protection panel
- Pump emergency shut-down
- Absence of unusual noises and vibrations
- Operation of the check valves during start-up and shut-down

j) Tank ventilation system

- General condition: cleanliness of equipment, fan rotation direction and absence of unusual noises
- Measurement of air flow volume for each unit
- Measurement of electricity consumption of each fan and of rotation speed
- Measurement of air speeds at grids to evaluate flow balance
- Measurement of noise level produced by fans inside and outside the tank

k) Control system (SCADA)

The tests conducted on the SCADA system consisted of performing the various operations called for in the design with each system or unit, in automatic and manual mode, from the control station.

l) Hoists

- General condition of the three hoists, ensuring there is no damage
- No-load operation:
 - horizontal movements at slow and fast speed
 - safety interlockings
 - electric and mechanical limit switches
 - complete up and down travel path of hook at slow and fast speed
- Operation with load: lifting and horizontal movement of pumps
- Measurement of operating current with rated load
- Emergency shut-down and system reset

One of the most critical areas of pump operation was the performance of the check valves during pump shut-down, because of their characteristics and their location in the pipeline. For this reason, special parts were designed to bleed the pipeline (air valves) and cushion the opening and closing of the check valves, and in-depth operating tests were conducted on these parts. In all cases, the pumps were started up and shut down several times with satisfactory results. The observations made included the following.

i) Bombas principales y de achique

- Rampas de arranque y parada de cada bomba
- Medida de consumos eléctricos de los motores
- Señalización del estado de las bombas en el cuadro de maniobra y protección.
- Parada de emergencia de las bombas.
- Ausencia de ruidos y vibraciones anómalos.
- Actuación de las válvulas de retención en las maniobras de arranque y parada.

j) Sistema de ventilación del estanque

- Estado general: limpieza de equipos, sentido de giro de los ventiladores y ausencia de ruidos anómalos.
- Medida del caudal de aire de cada unidad.
- Medida del consumo eléctrico de cada ventilador y del régimen de giro.
- Medida de velocidades de aire en rejillas para evaluar el equilibrado de caudales.
- Medidas del nivel de ruido producido por los ventiladores en el interior y en el exterior del Estanque.

k) Sistema de control (SCADA)

Las pruebas realizadas sobre el sistema SCADA han consistido en reproducir las distintas maniobras previstas en el proyecto sobre cada equipo o sistema, automáticas y manuales, mediante actuaciones desde el puesto de control.

l) Polipastos

- Estado general de los tres polipastos, revisando ausencia de daños.
- Maniobras sin carga:
 - Desplazamientos horizontales a velocidades lenta y rápida
 - Enclavamientos de seguridad.
 - Finales de recorridos eléctricos y mecánicos.
 - Recorrido total de bajada y subida del gancho en velocidades lenta y rápida.
- Maniobra con carga: elevación de bombas y traslado horizontal de las mismas.
- Medida de intensidad en servicio con la carga nominal.
- Parada de emergencia y rearme del sistema.

Uno de los aspectos más críticos del funcionamiento del bombeo era el comportamiento de las válvulas de retención en las maniobras de parada de las bombas debido a sus características y ubicación en la canalización. Por este motivo se habían diseñado elementos específicos de purgado de la conducción (ventosas) y de amortiguación de las maniobras de apertura y cierre de las válvulas de retención, llevando a cabo las pruebas de funcionamiento de forma minuciosa. En todos los casos se efectuaron varias maniobras de arranque y parada de las bombas, con resultados satisfactorios, pudiendo añadir las siguientes observaciones:

-
- No noticeable transient phenomena appeared during pump start-up and shut-down operations.
 - No unusual noises or vibrations were noticed in any of the pumps.
 - These units exhibited suitable electrical demand.
 - The air valves discharged air appropriately during pump start-up and allowed air to enter the vacuum in the risers when the pumps were shut down.
 - The check valves operated correctly when the pumps were shut down, with no perceptible chatter

In addition to the checks described above, operating tests were conducted on the office M&E services (electricity, plumbing and fire protection).

-
- Durante las maniobras de arranque y parada de las bombas no se producían fenómenos transitorios apreciables.
 - No se detectaron ruidos ni vibraciones anómalos en ninguna de las bombas.
 - Los consumos eléctricos de estos equipos fueron correctos.
 - Las ventosas expulsaban correctamente el aire en el arranque de las bombas y permitían entrar el aire en el vaciado de los tramos verticales al pararse los equipos.
 - Las válvulas de retención actuaban correctamente al parar las bombas, sin golpe apreciable al producirse el asiento del obturador.

Complementariamente a las comprobaciones descritas anteriormente se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento de las instalaciones de las oficinas (electricidad, fontanería y protección contra incendios).

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
Luzón Cánovas, José M^a
Nieto Esteban, Eva
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz
Vergara Pérez, Carlos

Ingenieros Aeronáuticos

Alonso Gordo, Ana
Hernández Pamplona, Juan Vicente
* París Loreiro, Angel
Moreno Toriz, Juan José

Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva
* Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Castillo Fernández, Luis Javier
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
* Díaz Heredia, Elena
Díaz Lorenzo, Lucía
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Fernández Montes, David Constantino
García Oliva, Miriam
García de Diego Cano, Eva María
Gómez Mariño, Cristina
González González, Juan José
* González Valle, Enrique
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
León Bello, Raúl
* Ley Urzaiz, Jorge
López Dormal, Mariano
Menéndez Martínez, Laura
Misol Moyano, Carolina
Pérez García, Noemí
* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen

Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingenieros Geólogos

Catalán Navarro, Antonio

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Argüelles Galán, Manuel
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique
Borraz López, Alfonso
De la Cruz Morón, Diego
Estrada Gómez, Rafael
Gasca Martínez, Antonio
González Carmona, Manuel
Ibañez Mayayo, Miguel
Liébana Ramos, Miguel Angel
López de Asiaín Gamazo, Leticia Teresa
Mainar Durán, Alejandro
Martos Ojanguren, Víctor
Pou Esquiús, Carles
Ramírez de la Pinta, Rubén
Suárez Fernández, Antonio
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Ingeniero de Montes

Carrillo Bobillo, Oliva

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciado en Ciencias Físicas

Salas Roa, Luis David

Licenciada en Ciencias Políticas y de la Administración

Estébanez Morer, Ana María

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María

López Sánchez, Pedro

Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciado en Derecho

Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto

Casado Chinarro, Alejandro

Catalán Navarro, Antonio

Lara Avila, Carlos

López Velilla, Oscar

Martín López, Jesús Heliodoro

Usillos Espín, Pablo

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Licenciada en Psicología

Catalá Pellón, Diana

Master of Science in Civil Engineering

Hoogendoorn, Peter Paul

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a

Díaz Lorenzo, Lucía

Jiménez Salado, Borja

Montejano Jiménez, María del Carmen

Vicente Minguela, Francisco

Ingeniero Técnico Aeronáutico

Mainar Durán, Alejandro

Ingeniero Técnico Forestal

Carrillo Bobillo, Oliva

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén

Ases Rodríguez, Cristóbal

Jiménez Rodríguez, José Antonio

Madueño López, Javier

Madueño Moraño, Antonio

Quílez Hernáiz, Sonia

Remacha Mangado, Mikel

Rodríguez Luque, Ana María

Ruiz Rivera, Rafael

Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico de Minas

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Agudo Cordobés, José Manuel

Carrero Crespo, Rafael

Fernández-Cueto Fernández, Enrique

González Nuño, Luis

Martínez Vicente, Cristina

Mata Soriano, Juan Carlos

Montiel Sánchez, Ernesto

Muriel León, Carlos

Ortiz del Campo, Natalia

Pardo de Agueda, Juan Luis

Rivera Jiménez, Marta

Romero García, Daniel

Rosa Moreno, José Andrés

Rozas Hernando, José Juan

Sánchez Santiago, Sandra

Sánchez Tomé, Elena

Sanz Ruiz, Idoya

Vicente Girón, Susana

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Amador Orega, Germán

Barragán Bermejo, M^a Vicenta

Carreras Ruiz, Francisco

De Francisco Rodríguez, Francisco

López de Castro, Daniel

López Jiménez, Luis

Martínez Ochando, Eduardo

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a

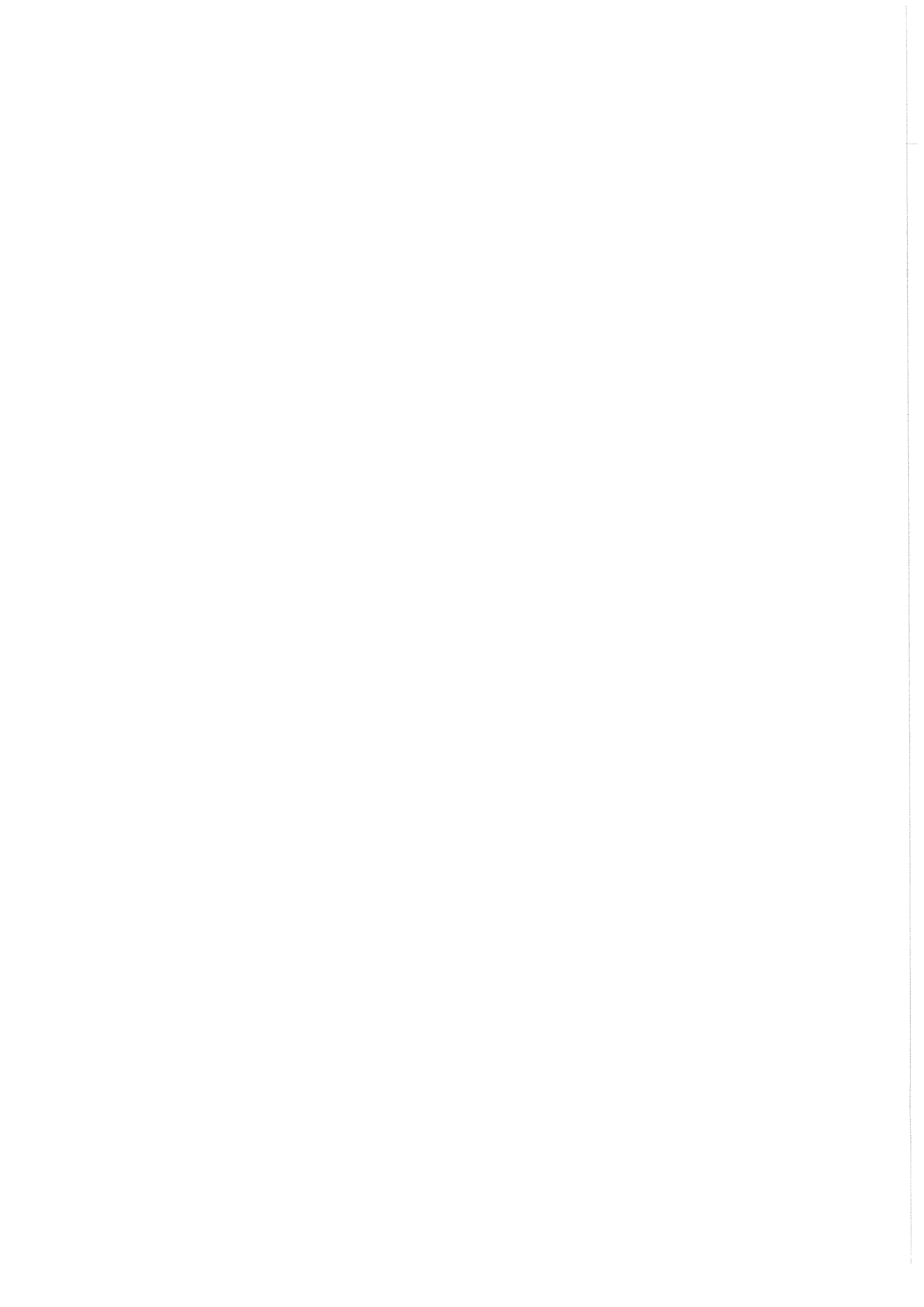
Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

*NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con * a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

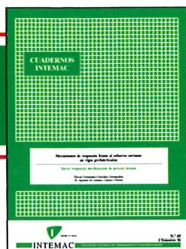


CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2010: 35 €



ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 78

“Metodología e interpretación de los ensayos de integridad de pilotes (Cross-Hole). Defectos más comunes detectados en pilotes reales”.
Autor: Jorge Ley Urzáiz.

Cuaderno N° 79

“Estanque de tormentas de Arroyofresno. Control de hormigones y de equipos”.
Autores: Federico Valenciano Carles, Luis González Nuño, Elena de la Paz Cobos y Fernando López Ortún.

CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

Cuaderno N° 80

“Investigación sobre la resistencia, funcionalidad y durabilidad de las aceras pavimentadas con baldosas de hormigón”.
Autor: Fernando Catalá Moreno.

Cuaderno N° 81

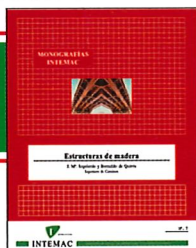
“Estudio de la interacción entre las obras del Templo de la Sagrada Familia y las del Túnel de Alta Velocidad entre las estaciones de Sants y La Sagrera, en Barcelona”.

Autores: Raúl Rodríguez Escribano, Jorge Ley Urzáiz y Alberto Blanco.

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC

Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.



MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

“Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón”.
Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M^a. Rodríguez Romero.
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

“Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo”.
Autores: P. López Sánchez, J. M^a. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

“Estructuras de madera”.
Autores: J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.
Precio de la Monografía 38 €

NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acentuada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón
J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.
Edición en español, en color. 12 páginas
Precio 14 €



NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N° 2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.

Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.

30 minutos - 25 €



Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

N° 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia.

30 minutos - 25 €



Compresión centrada en hormigón armado.

N° 2002 (1-4)

Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 Mpa a 70 Mpa, las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €

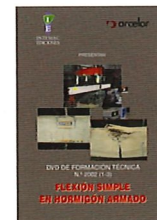


Flexión simple en hormigón armado.

N° 2002 (1-3)

Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €



Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N° 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

25 minutos - 25 €



BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo.

Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera.

Secciones de Bibliografía y Cursos.

Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

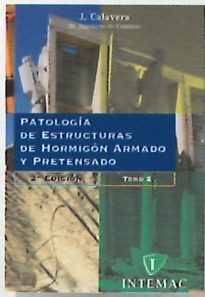
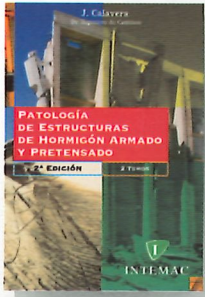
Tarifa de suscripción anual (6 números) 200 €



Consulte otras publicaciones

www.intemac.es

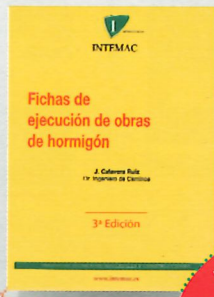
PUBLICACIONES



Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €

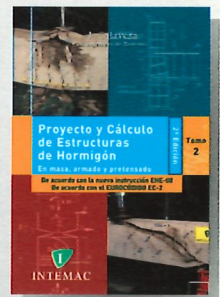
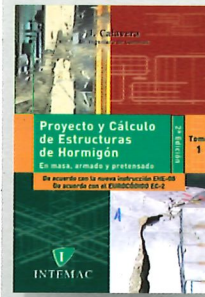


Fichas de ejecución de obras de hormigón 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €

Nueva publicación

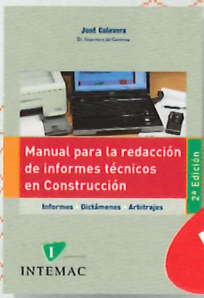


Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva edición



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €

Nueva edición



Manual de Ferralla 3ª edición

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

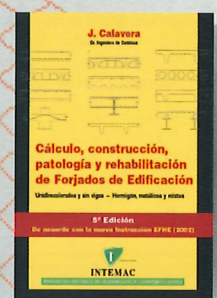
Precio: 45 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 50 €



Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación 5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel, F. Hostalet Alba, J. M. Izquierdo, J. Ley Urzaiz

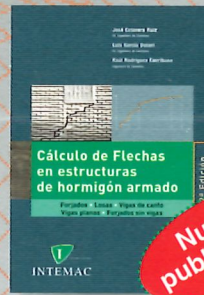
Precio: 64 €



Muros de contención y muros de sótano 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos), L. García Dutari (Ingeniero Civil), R. Rodríguez (Ingeniero de Caminos)

Precio: 110 €

Nueva publicación



Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 123 € CD-ROM: 198 €

El libro y el CD-ROM pueden adquirirse conjuntamente o por separado

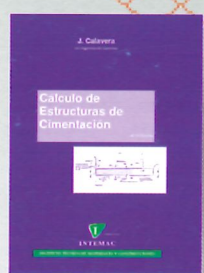
Software asociado en ficheros de AutoCAD



Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez, J. Fernández Gómez, E. González Valle, F. Rodríguez García

Precio: 133 €



Cálculo de estructuras de cimentación 4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 47 €



Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €