

Este **acelerador** de partículas es la instalación científica **más grande** y compleja que se ha construido en España. Es el primer **sincrotrón** del sur de Europa y el cuarto de última generación construido en nuestro continente. Esta instalación científica de **hormigón, acero y vidrio**, situada en una parcela de 61.185,63 m², es la **inversión** en I+D más importante que se ha realizado en España y supondrá un importante motor para la **investigación** en nuestro país y un polo de **atracción de talentos**.

**LABORATORIO DE LUZ SINCROTRÓN ALBA
EN Cerdanyola del Vallés (Barcelona)**

Gigantesco microscopio

Por **XAVIER ARA SALDAÑA**, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
y **JUAN JOSÉ GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**, Ingeniero Técnico de Obras Públicas

Se trata de una inversión a largo plazo para asegurar la futura competitividad de nuestra comunidad científica y tecnológica. Además servirá para desarrollar un nuevo modelo económico basado en la tecnología, y el conocimiento, permitiendo la creación de empleo de calidad. La constructora OHL ha tenido un papel clave en su construcción y para que este ambicioso proyecto sea una realidad.

El alto componente tecnológico de esta instalación y los requerimientos exigidos para su correcto funcionamiento han supuesto un reto para su construcción. Las elevadas exigencias que se han tenido que superar en la ejecución han obligado a desarrollar y aplicar soluciones constructivas más próximas a procesos tecnológicos que a proyectos de construcción estándar. El marcado carácter singular de muchas unidades, junto al hecho de no

haber ni precedentes ni experiencias previas sobre las cuales basarse para su ejecución, ha implicado realizar estudios muy exhaustivos para poder dar solución a las necesidades del acelerador y poderse anticipar a cualquier problema que pudiera surgir durante la ejecución.

El complejo del Alba se sitúa en una parcela de 61.185,63 m² ubicada dentro del Parque Tecnológico del Vallés, una de las zonas tecnológicas y empresariales más avanzadas de Europa que reúne también la Universidad Autónoma de Barcelona y el Parque de Investigación de la UAB.

EL SINCROTRÓN

Con la puesta en marcha definitiva del Alba, prevista para finales del año 2010, se abren infinitas puertas a la investigación. La instalación se puede entender como un microscopio





a la primera luz del día, la que nos permite dejar atrás la penumbra y nos permite descubrir el nuevo día; el mismo efecto que tendrá la luz sincrotrón Alba ya que permitirá realizar importantes descubrimientos científicos.” Una ventaja añadida muy importante es que el sincrotrón no solamente ofrece una imagen instantánea de las moléculas, como podrían hacer los rayos X, sino que ofrece una visión continua del fenómeno en estudio permitiendo introducir el factor tiempo en las investigaciones.

La importancia de esta nueva herramienta recae en el hecho de que al tratarse de la luz más brillante y pura producida nunca por el hombre le confiere extraordinarias propiedades para analizar las estructuras hasta ahora invisibles de los materiales.

pio gigantesco de rayos X que permitirá descubrir los secretos de átomos y moléculas para poder avanzar en campos tan diversos como pueden ser la medicina, estudiando los virus y bacterias y desarrollando nuevos tratamientos para luchar más eficazmente contra las enfermedades; el estudio de la estructura interna de los materiales, creando nuevos materiales; diseñar objetos nanoscópicos, como pueden ser componentes electrónicos o implantes quirúrgicos; la química y la biología entre muchos otros. “Alba hace referencia

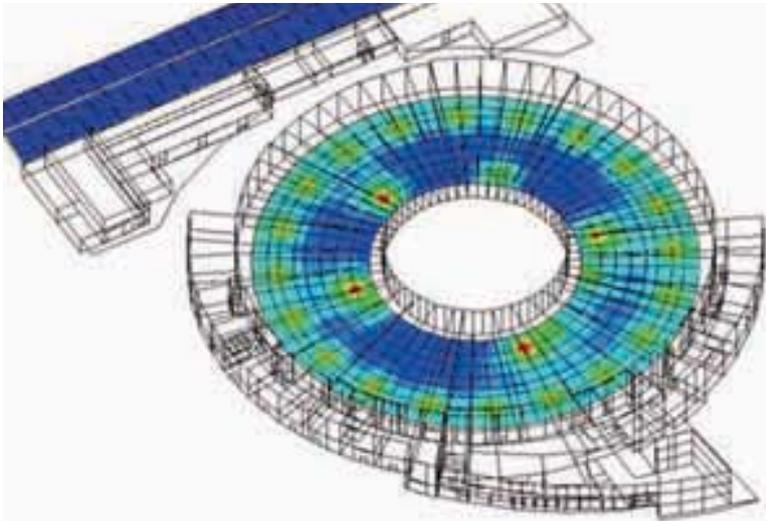
Arriba, vista aérea panorámica del Sincrotrón. Debajo, área crítica y exterior del túnel Alba.

El complejo esta formado por tres aceleradores: el acelerador lineal (Linac), el anillo acelerador (Booster) y el anillo de almacenamiento (Storage Ring).

En el cañón de electrones se genera el haz inicial mediante un tubo de rayos catódicos. Posteriormente éstos se pre-aceleran mediante campos magnéticos en el acelerador lineal (Linac) hasta los 100 MeV.

A continuación los electrones son transfe-





- Proyecto Sincrotrón ALBA:
- Análisis experimental de las características dinámicas del terreno
 - Cálculo de la respuesta vibratoria de la losa de soporte del sincrotrón
 - Especificación del aislamiento vibratorio de la maquinaria
 - Estudio acústico de todos los edificios que albergan el sincrotrón

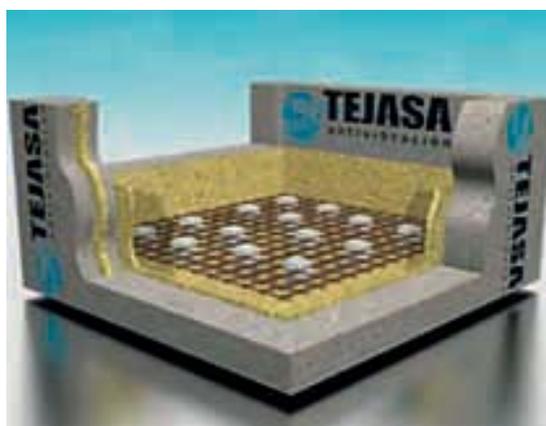


PREVISIÓN DEL RUIDO Y LAS VIBRACIONES GENERADOS Y TRANSMITIDOS POR LAS INFRAESTRUCTURAS

C/Berruete 52, 08035 Barcelona

Tel/Fax, 93 428 6339

www.icrsi.com / icr@icrsi.com

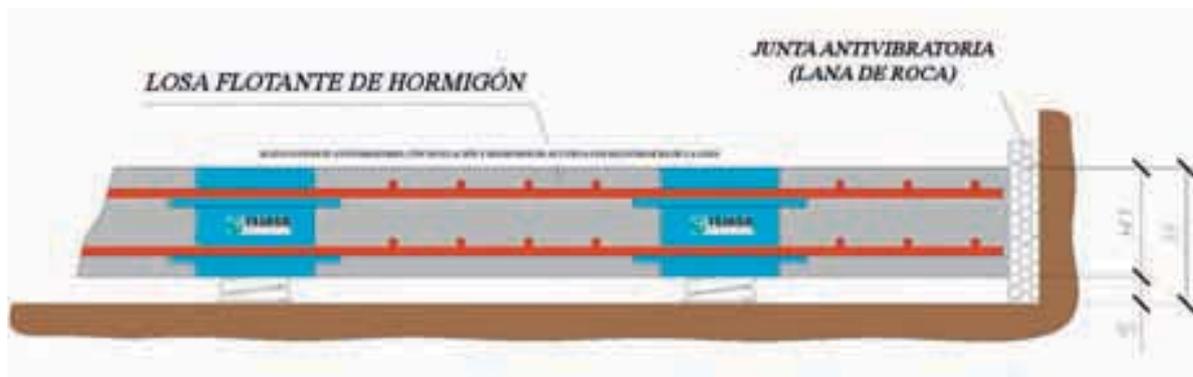


AISLAMIENTO DE VIBRACIONES RUIDOS Y CHOQUES



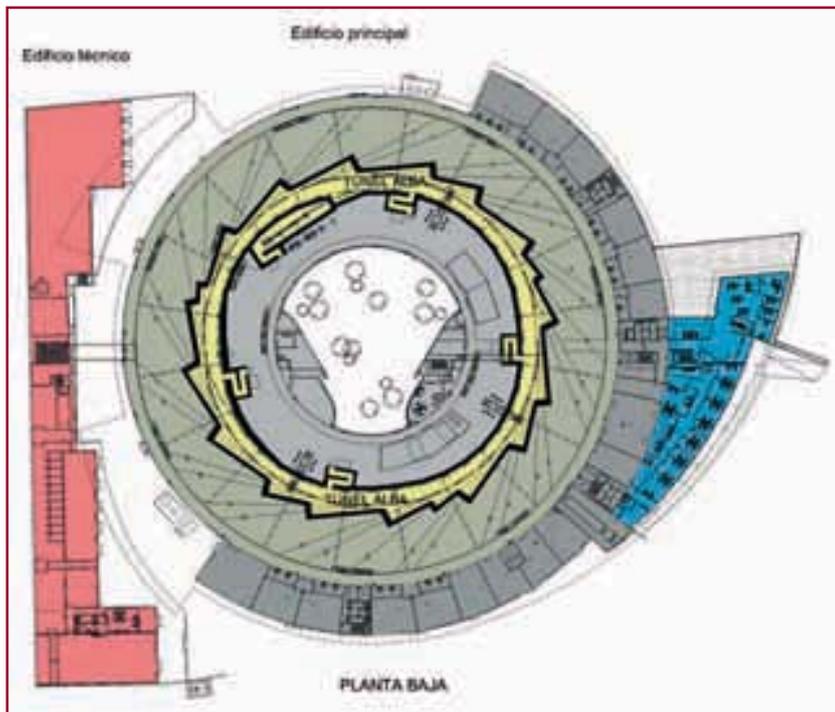
LOSAS FLOTANTES ANTIVIBRATORIAS REGISTRABLES SILENTFLEX®

En el Sincrotrón hemos instalado más de 20 losas flotantes antivibratorias registrables SILENTFLEX®



Bancada en Sincrotrón





ridos a un acelerador circular (*Booster*) donde son acelerados hasta niveles altísimos de energía (3GeV) alcanzando prácticamente la velocidad de la luz. Para acelerar y modificar la trayectoria de los electrones se utilizan potentísimos campos magnéticos, 20.000 veces superiores al campo magnético terrestre.

Una vez alcanzado el nivel energético requerido, los electrones son transferidos al anillo de almacenaje (*Storage Ring*). Estos electrones emiten una luz de gran intensidad, más brillante que el sol: la luz sincrotrón. Mientras que los electrones son desviados para que describan una trayectoria circular, la luz sigue una trayectoria rectilínea por lo que se separa del haz de electrones. Ésta es dirigida hacia las líneas de investigación (*Beam Lines*) situadas a continuación del túnel a través de las aperturas de los muros prefabricados, donde se les hace incidir sobre los materiales que se quieren estudiar.

DESCRIPCIÓN GENERAL

La implantación se organiza en dos cuerpos principales ubicados en la mitad superior de la parcela: el edificio principal y el edificio técnico. En la parte sur se encuentra la zona de aparcamiento y almacenes.

El edificio principal, de planta circular alberga todas las actividades científicas, de oficinas y zonas sociales, recogidas por una gran cubierta con forma de concha helicoidal, formada por grandes sectores de altura y geometría variable, que permiten la entrada de luz natural, al tiempo que evitan la insolación directa. El edificio es una construcción de hormigón, acero y vidrio de 140 m de diámetro que recuerda la forma de una caracola enterrada.

El edificio se divide en dos zonas. En el perímetro exterior está la zona de oficinas vertebrado a través de un atrio central que permi-

Arriba, planta general del Sincrotrón Alba. Debajo, vista aérea de la construcción de la losa crítica por pastillas y de los muros del túnel Alba.

te la entrada de la luz solar. En la parte interior del anillo, desvinculada del resto del edificio y aislada de las vibraciones exteriores, encontramos la denominada “área crítica” donde se sitúan el complejo de aceleradores y las líneas de luz asociadas. Esta área debe cumplir requerimientos muy estrictos en cuanto a estabilidad mecánica, a deformaciones y vibraciones a corto y largo plazo. Remarcar que la sensibilidad en la alineación del haz de electrones del acelerador se encuentra en el orden de la décima de milímetro. Junto con el túnel Alba son dos de los elementos más complejos y críticos de la instalación. Esta condición de contorno marca profundamente el diseño de toda la obra.

Para evitar cualquier afectación de la cimentación o elementos estructurales del edificio principal al “área crítica”, se adopta el criterio de construcción de dos sistemas estructurales totalmente independientes, evitando el contacto directo entre ambos para impedir la transmisión de esfuerzos o vibraciones. Por un lado el “área crítica” (túnel Alba y zona experimental) y por el otro el resto de edificios del complejo.

La cimentación del área de laboratorios y del acelerador se soluciona mediante la llamada “losa crítica”, una losa de hormigón circular monolítica de 1m de canto y 60 m de diámetro que descansa sobre un lecho de gravas graníticas de 1,7 m de espesor. Conceptualmente la losa “flota” sobre un mar de gravas que la aísla de las vibraciones producidas por el mundo exterior.

Los edificios perimetrales se sustentan mediante zapatas y pilotes en las zonas próximas al área crítica. Éstos permiten transmitir las cargas y las vibraciones por debajo de la losa evitando posibles afecciones.

Encima de la losa se construye el túnel Alba. En él se sitúa el generador de luz, es decir, la





▲ Campus Universitario de Brno. República Checa



▲ Autopista Litoral Sul . Brasil



▲ Viaducto Bicentenario en D.F. México



▼ Laboratorio de Luz Sincrotrón Alba. Barcelona

Soliderez de futuro

La **fuerza** de un **gran grupo internacional**
de construcción y concesiones



OHL

www.ohl.es



máquina Alba propiamente dicha. Adosado a él, por la parte interior, se encuentra el búnker del Linac.

Las características de los elementos que conforman los cerramientos del túnel Alba, tanto su espesor como su composición, se definen en función de la protección requerida contra la radiación. En este aspecto un sincrotrón es como un microondas, cuando está funcionando emite radiación pero cuando está parado es inocuo. Su geometría y trazado vienen determinados por los equipos que contiene y la disposición de las diferentes líneas experimentales. La longitud aproximada del túnel es de unos 268 m con un radio medio de 42 m y ancho variable entre cuatro y ocho metros. La solución desarrollada con-

Arriba, hormigonado de la Losa Crítica (encofrados especiales con el hierro pasante). Sobre estas líneas, ejecución de los muros del túnel Alba. Debajo, sección longitudinal del complejo del Alba.

siste en la construcción de los siguientes elementos:

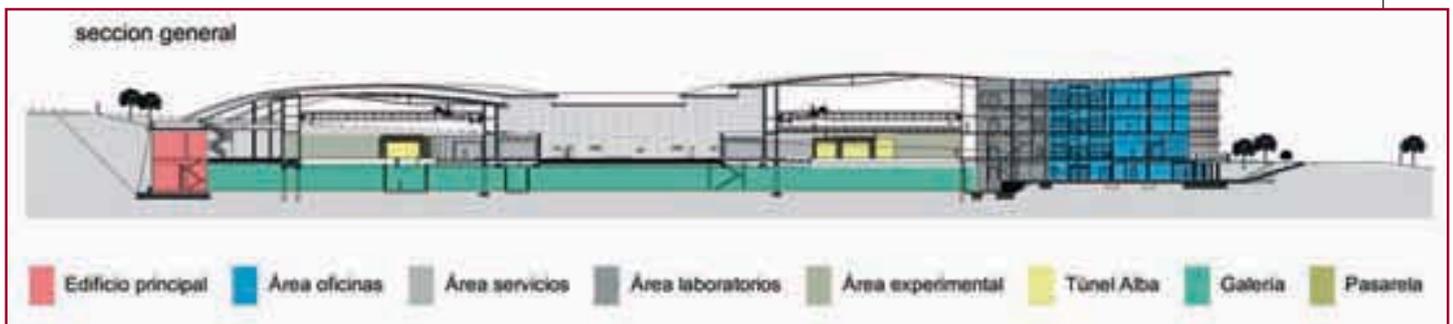
- **Muros de hormigón *in situ*.** Siguiendo un trazado circular mediante tramos poligonales cierran el túnel por ambos lados. Los muros tienen espesores comprendidos entre 1,00 m y de 1,65 m. Algunos tramos están realizados con hormigón pesado de densidad superior a los 3.200 Kg/m³ en fresco.
- **Techo del túnel Alba.** Formado por dos o tres capas losas de hormigón prefabricadas. La dimensión de cada una de las piezas prefabricadas que forman el techo es variable y ajustada a su posición sobre el túnel.
- **Front Walls.** Muros laterales exteriores de hormigón prefabricado desmontables que cierran el túnel entre los tramos de muro *in situ* y forman los frontales de las líneas de experimentación. La densidad del hormigón de alta densidad en fresco para estos elementos prefabricados es de 32 kN/m³. Todos los prefabricados de la obra fueron suministrados por la empresa Pacadar.

En la zona superior del la parcela se encuentran las áreas de instalaciones agrupadas bajo una cubierta vegetal, que preserva el perfil topográfico original minimizando el impacto ambiental al quedar enterrado. Esta edificación recibe el nombre de edificio técnico. Esta zona de instalaciones esta conectada al edificio principal subterráneamente mediante la galería de servicio.

LOSA CRÍTICA

Las altas exigencias en la planimetría y altimetría de la losa crítica unido al canto de un metro de espesor y la necesidad de monolitismo absoluto han convertido a la losa crítica en un elemento singular y de compleja ejecución. Estas circunstancias obligaron al equipo de obra a trabajar conjuntamente con varios industriales del sector de pavimentos, encofrados y hormigones para desarrollar un sistema constructivo que permitiera garantizar el correcto resultado.

El Sincrotrón se encuentra situado en un terreno arcilloso. Para evitar que las arcillas entren en contacto con el agua y se produzca un hinchamiento que podría afectar a la planimetría de la losa, se programa la excavación con el compromiso de que en un mismo día toda la zona excavada quede protegida



por una protección de hormigón y un sistema de drenaje.

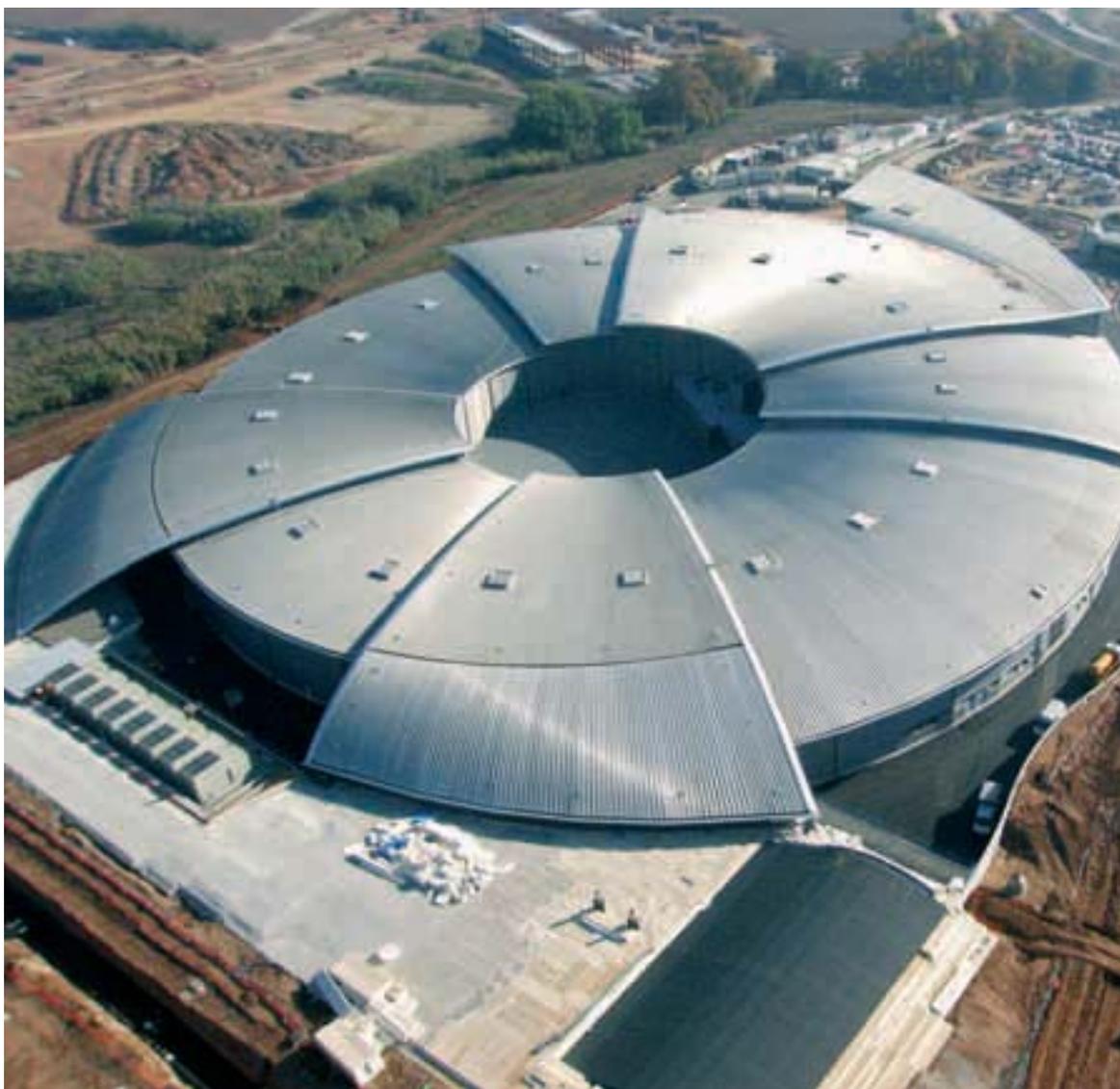
Para su ejecución, la losa se dividió en 20 partes las cuales tenían el hierro pasante en tres capas entre pastillas consecutivas y se utilizaron retardadores del fraguado en el perímetro con el fin de poder garantizar el monolitismo de ésta, que era una de las condiciones de diseño.

En primer lugar, hubo que desarrollar una dosificación específica de hormigón que permitiera un equilibrio entre reducir la reacción exotérmica del fraguado con la velocidad de fraguado adecuada para el proceso de planimetría, minimizando las pérdidas de volumen.

El segundo problema que hubo que resolver fue el desarrollo de un sistema de guiado y nivelación para realizar el vertido, reglado y fratasado que permitiera cumplir las exigencias de proyecto: horizontalidad de +/-15 mm y una planeidad de 1/1.000 con regla de 3 m, ambos para toda la superficie de la losa. Para ello, fue necesario construir una estructura metálica independiente y estable para apoyar los regles de diseño específico sobre los cuales se desplazaban los regles vibrantes que daban cota al hormigón. Para que esta solución se pudiera aplicar, hubo que utilizar niveles láser de alta precisión que permitieran garantizar una perfecta instalación altimétrica de los raíles con precisión de décimas de milímetros.

Para poder garantizar la planimetría de la losa era imprescindible que los encofrados no sufrieran desplazamientos ni flecharan ya que se traduciría en un descenso de la cota del hormigón fresco. Así, se diseñó una tipología específica de encofrado para esta obra, que permitía dejar tres capas de armadura pasante y a la vez aseguraba una absoluta estabilidad. Fue necesario combinar tres tipologías de encofrado distintas y desarrollar soluciones específicas en las uniones y en el paso de las capas de armadura.

Se ha trabajado intensamente en desconectar la losa crítica del resto de instalaciones utilizando materiales innovadores de última generación, algunos de ellos no disponibles en el mercado español y que ha sido necesario importar de otros países. Se ha tenido que realizar una profunda investigación y búsque-



Vista panorámica del complejo del Alba.

EL COMPLEJO DEL "ALBA" SE SITÚA EN UNA PARCELA DE 61.185,63 M² UBICADA DENTRO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DEL VALLES, UNA DE LAS ZONAS TECNOLÓGICAS Y EMPRESARIALES MÁS AVANZADAS DE EUROPA

da de materiales aislantes. Además, se han realizado numerosas bancadas antivibratorias para albergar todos los equipos necesarios para el funcionamiento del laboratorio.

MUROS *IN SITU* TÚNEL ALBA

Los exigentes requerimientos de proyecto, tolerancias de +/-2 mm y geometría laberíntica, unido a los condicionantes de la ejecución de la obra, hacían imposible la utilización de los sistemas de encofrado convencionales. Para garantizar la estanqueidad frente a la radiación se tuvo que descartar la utilización de sistemas de encofrado con barras *diwidag* pasantes. La falta de espacio hacía imposible la utilización de sistemas de encofrado a una cara.

En los muros *in situ* de hormigón pesado se añadía además la dificultad sobrevenida por el aumento de la presión de la mezcla fresca sobre los encofrados.

Finalmente, se adaptó a la obra un sistema inspirado en los encofrados trepantes, utilizando conos de estanqueidad recuperables y dejando las barras *diwidags* de unión entre conos de caras opuestas perdidas. Además se dobló el sistema de estabilización del encofrado y el número de *diwidags* para hacer frente al incremento de presión.

Para garantizar un correcto aislamiento



radiológico, se dimensionaron muros de grosores comprendidos entre 1,00 m y 1,65 m. Aún así, en las zonas con más radiación se incrementó la densidad del hormigón de los muros hasta un mínimo de 3.200 Kg/m³ en fresco.

LOSAS DE TECHO

El cubrimiento del túnel Alba se realizó mediante losas prefabricadas de hormigón armado de 50 cm de espesor. Dado la irregularidad en planta del túnel, la limitación de peso y el nivel de protección radiológico requerido fue necesaria la construcción de 477 elementos totalmente distintos dispuestos a matajuntas y en dos o tres capas en función del nivel radiológico. El tamaño de las piezas viene condicionado por el peso máximo que pueden levantar los puentes grúas orbitales (12 t) que serán los responsables de llevar a cabo los movimientos de éstas durante la fase de explotación.

Ha sido todo un reto conseguir que piezas totalmente distintas se pudieran encajar en un proceso de producción industrial sin disminuir las altas exigencias geométricas (tolerancia +/-2 mm) y cumplir con los plazos establecidos.

Para facilitar las posteriores manipulaciones de las piezas y mejorar la explotación, se dise-

Atrio de la zona de oficinas del edificio principal.

ñó el sistema de izado con sólo dos bulones, consiguiendo que la pieza de forma irregular se levantara completamente horizontal y estable.

“FRONT WALLS”

Los *Front Walls* son muros laterales exteriores de hormigón prefabricado desmontables que cierran el túnel entre los tramos de muro in situ y forman los frontales de las líneas de experimentación. Los muros frontales se dividen en dos capas de 0,75 m de espesor cada una colocadas a matajuntas entre si y con los muros de hormigón in situ. La distribución de las piezas que forman este cerramiento incorpora los huecos por los cuales se conducirá la luz sincrotrón desde el interior del túnel Alba hasta las líneas experimentales. La densidad del hormigón de alta densidad para estos elementos prefabricados es de 32 kN/m³ en fresco.

Una de los retos más exigentes fue garantizar que la posición de los huecos de los frontwalls estuviera en planta y alzado en su posición exacta. Por eso, una vez construidos los muros, se realizó un levantamiento del estado de los muros y de la planimetría de la losa y se volcó la información recopilada a los planos de taller haciendo posible el ajuste solicitado.

EL EDIFICIO ES UNA CONSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN, ACERO Y VIDRIO DE 140 METROS DE DIÁMETRO QUE RECUERDA LA FORMA DE UNA CARACOLA ENTERRADA



tecnología

Soluciones innovadoras para la Ingeniería Civil

El cumplimiento de los plazos de ejecución de obra con todos los requisitos de seguridad y fiabilidad se alcanza confiando en productos y servicios profesionales que aporten tecnología y calidad, con un alto grado de innovación en todas las fases del proyecto.



Sika, S.A.U. Tel.: 916 57 23 75
info@es.sika.com · www.sika.es

Química para la Construcción e Industria

Innovation & Consistency | since 1910

F I C H A T É C N I C A

Fue especialmente complejo conseguir la exactitud y tolerancia (+/-2 mm) para que las ventanas telescópicas de las distintas piezas prefabricadas coincidieran, puesto que en definitiva estas son los huecos de salida de los haces de luz.

HORMIGÓN PESADO

El hormigón de alta densidad tiene un carácter muy especial en el contexto de la obra civil y la edificación, lo que, unido a la propia singularidad y significación de esta obra, exigió un estudio detallado y el diseño de un hormigón específico para este proyecto. En este proceso se ha contado con la colaboración del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

Condiciones de diseño eran garantizar densidades iguales o superiores a 3.200 Kg/m³, que el hormigón fuera bombeable, debido al gran espesor de los muros había de ser de bajo calor de hidratación, se había de garantizar una densidad homogénea y la consistencia había de ser blanda para reducir al mínimo el vibrado de los muros ya que puede producir una disgregación del árido pesado. Garantizar estos parámetros es fundamental ya que la instalación ha de ser aprobada por el CNSN.

La solución óptima, tras estudiar y descartar diversas dosificaciones y tipos de materiales, fue un hormigón cuyo esqueleto granular se compuso íntegramente de árido pesado barítico. Debido a la necesidad de conseguir una barita de elevada pureza, densidades elevadas y en volúmenes muy importantes, fue necesario importar el mineral desde Marruecos. Una vez en nuestro país, se sometió a la barita al tratamiento necesario para obtener un árido con un huso granulométrico adecuado para la fabricación del hormigón.

También fue necesario el empleo de cementos con bajo calor de hidratación, con objeto de reducir los problemas de retracción debido a los elevados gradientes térmicos obtenidos en hormigones baritados con muros de hasta 1,60 metros de grosor. Ade-

Nombre de la obra
LABORATORIO DE LUZ SINCROTRÓN ALBA

Promotor
CONSORCIO PARA LA CONSTRUCCIÓN, EQUIPAMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LABORATORIO DE LUZ SINCROTRÓN (CELLS)

Jefe División Ingeniería CELLS
LUIS MIRALLES VERGES, Ingeniero Industrial

Autor del Proyecto y Dirección de la Obra
MASTER, S.A. DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Director del Proyecto y de la Obra
ANTONIO MERINO PONS, Ingeniero Industrial

Empresa constructora
OHL

Delegado de Obra
CARLOS GISPERT DE CHIA, ICCP

Jefe de Obra
JUAN JOSÉ GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, ITOP

Jefe Oficina Técnica
XAVIER ARA SALDAÑA, ICCP

Control de Calidad
APPLUS

Presupuesto
26,9 millones de euros

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Excavación a cielo abierto	226.023,86 m ³
Pilotes CPI-8	4.190,61 ml
Acero B-500 S para armaduras	1.581.474,14 kg
Hormigón HA-25	16.085,15 m ³
Hormigón alta densidad (dmín=3,2 t/m ³)	676,61 m ³
Losas prefabricadas (477 losas distintas de 12 t)	4.299,49 m ²
Muros prefabricados con hormigón de alta densidad	444,02 m ²

Interior del túnel Alba.



más se puso especial hincapié en el curado del hormigón, manteniendo la superficie húmeda durante 7 días.

Para garantizar la correcta ejecución se optó por control del 100% de las amasadas tanto en origen como en destino. Para ello se contó con dos laboratorios móviles, uno situado en la planta de hormigón y otro en la obra. Además, durante los vertidos, la planta estaba exclusivamente dedicada a la fabricación del hormigón pesado, de manera que se evita la contaminación con hormigones de densidades normales, lo que repercutiría en la disminución de la densidad final alcanzada por el hormigón suministrada a obra.

ACTUACIONES MEDIOAMBIENTALES

Tanto en la fase de redacción del proyecto como durante la ejecución de la obra se han aplicado criterios de construcción sostenible y ecológica, poniéndose un especial énfasis en el respeto y compromiso con el Medio ambiente.

Dada la proximidad del Sincrotrón al Parque Natural de Collserola se ha optado por enterrar parte de los edificios, disminuyendo el impacto visual del complejo en este entorno tan sensible. Además las aguas pluviales son reutilizadas para el riego de las zonas ajardinadas. ▲