

Proyecto ITER – Diseño de detalles y construcción de los pilares de hormigón armado en el edificio de criogenización (Cryoplant building)

ITER Project – Detailed design and construction of the reinforced concrete columns of the Cryoplant building

Jose Miguel GOMEZ RODRIGUEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ferrovia Agroman
Coordinador de Diseño
jmgomez@ferrovial.com

Sandra ALVAREZ GUTIERREZ

Ingeniero de la edificación
Fhecor Ingenieros consultores.
Ingeniero de Proyecto
sag@fhecor.es

Ainhoa TORRES GOMEZ

Ingeniero de la edificación
Fhecor Ingenieros consultores.
Ingeniero de Proyecto
atg@fhecor.com

Blanca VEGAS GARCIA DE YEBENES

Arquitecto
Ferrovia Agroman
Cordinadora de diseño
bvega@ferrovial.com

Carlos Anibal RODRIGUEZ PARDO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ferrovia Agroman
Jefe de obra
c.rodriquez@ferrovial.com

Ruben CASTILLO PALAZON

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ferrovia Agroman
Jefe de Producción
rcastillo@ferrovial.com

RESUMEN

El edificio de Criogenización forma parte del proyecto de investigación sobre la energía de fusión ITER. Albergará los equipos de producción de frío que se encargaran de refrigerar el núcleo del reactor nuclear. Se trata de una gran nave con pilares de hormigón y cubierta metálica. Los pilares tienen unas dimensiones de 120cm x 120cm y se encuentran altamente armados. En esta ponencia se trata de hacer hincapié, mediante la presentación de diversos ejemplos reales, de la importancia de los detalles constructivos para la correcta ejecución de los pilares y la interrelación entre el proceso constructivo y el diseño.

ABSTRACT

The Cryoplant building is part of the ITER project dedicated to the research in the fusion nuclear energy field. The building will host the pieces of equipment that will refrigerate the core of the nuclear reactor. It is a large industrial building with reinforced concrete columns and steel roof structure. Column's dimensions are of 120cm x 120cm and they are heavily reinforced. This presentation will focus, by the presentation of real examples, on the importance of the constructive details in the right execution of the columns and the interrelation between the construction process and the design.

PALABRAS CLAVE: Pilares, Placas embebidas, Coordinación, Hormigón armado, Detalles constructivos

KEYWORDS: Columns, Embedded plates, Coordination, Reinforced concrete, Constructive details.

1. El proyecto ITER y el edificio de criogenización.

“ITER (“El Camino” en latín) es hoy uno de los más ambiciosos proyectos energéticos en el mundo.

En el sur de Francia, 35 países colaboran para construir el tokamak más grande del mundo, un dispositivo magnético de fusión que ha sido diseñado para demostrar la viabilidad de la fusión a gran escala y como una fuente de energía sin emisiones de CO₂ basada en el mismo principio que alimenta el sol y las estrellas.

La campaña experimental que se llevará a cabo en ITER es crucial para el avance de la fusión y preparar el camino para las centrales de fusión de mañana.

ITER será el primer dispositivo que producirá energía neta. ITER será el primer dispositivo que mantendrá el proceso de fusión por largos periodos de tiempo. E ITER será el primer dispositivo de fusión que pondrá a prueba las tecnologías integradas, materiales y leyes de la física necesarios para la producción comercial de electricidad basada en la fusión.” [1]

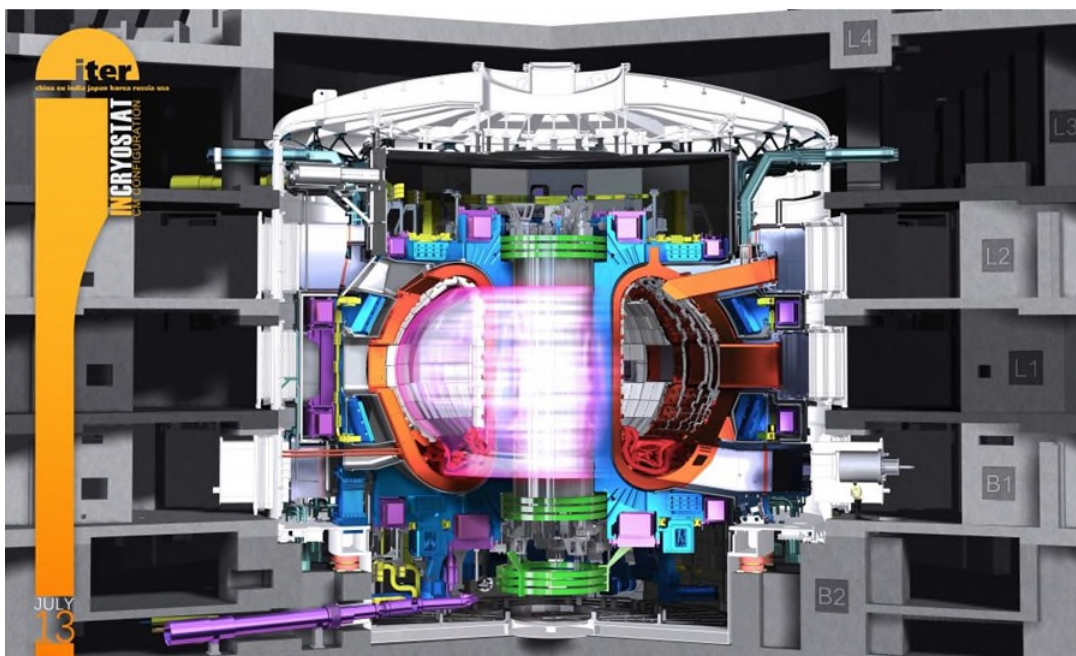


Figura 1. Reactor de fusión nuclear Tokamak de ITER. [1]

El edificio de criogenización forma parte del complejo ITER y alberga los equipos de producción de frío más grande del mundo y que refrigeraran las altas temperaturas (150.000.000°C) producidas en el núcleo del reactor. Se trata de una gran nave industrial de 20 metros de alto, 45 metros de ancho y 120 metros de largo. Se encuentra dividida en dos mediante una junta de dilatación con pilares dobles. Se compone de pórticos de hormigón armado cada 7.5 metros, soportando celosías metálicas que configuran la cubierta. La sección típica de los pilares es de 120x120cm².



Figura 2. Vista general de la obra en construcción.

2. El proceso constructivo

El proceso constructivo es fundamental a la hora de definir los distintos detalles constructivos. En el caso de este edificio y tras analizar distintas alternativas se decidió que la secuencia óptima para reducir los plazos, era priorizar la construcción de los pilares de hormigón con el fin de poder comenzar el montaje de la estructura metálica de cubierta lo antes posible, para posteriormente seguir con los trabajos de hormigón en niveles inferiores simultáneamente al desarrollo de la estructura metálica.

Asimismo, se optó por realizar los pilares in-situ con hormigón autocompactable. Debido a las grandes dimensiones de estos pilares, unido a los altos empujes del hormigón fresco se decidió el empleo de unos encofrados metálicos a medida.



Figura 3. Encofrado de pilares.

El uso de estos encofrados, condicionó el desarrollo de todos los detalles constructivos en las uniones de estos pilares con cualquier otro elemento, ya que el encofrado no permitía de ninguna manera que nada sobresaliera de la escuadría de los pilares.

Para la colocación de la armadura se utilizó una plataforma basculante, de modo que el pilar se montaba tumbado, lo cual facilitó el montaje de la armadura y gran número de placas y otros

elementos embebidos que en muchos casos tenían dimensiones muy importantes. Una vez montado el conjunto, la plataforma basculaba hasta posicionar el pilar sensiblemente vertical y desde ahí era izado y transportado mediante una grúa fija a su posición definitiva.



Figura 4. Plataforma basculante de preparación de armado del pilar.



Figura 5. Rotación del armado del pilar y transporte a su posición final.

3. Detalles constructivos particulares

Se describen a continuación los detalles de ejecución de las principales conexiones características de los pilares de este edificio.

3.1. Conexiones entre elementos de hormigón

3.1.1. Juntas horizontales entre tramos de pilar

Las juntas horizontales se diseñan interrumpiendo el armado vertical y solapando las barras con las provenientes del siguiente tramo. El número de barras es alto y de acuerdo al ser zona

sísmica, la separación entre cercos se reduce a 100 mm de acuerdo al Eurocódigo 8. Para facilitar el montaje se grifan barras del tramo superior para que el solape no se produzca en la misma capa.

Como se ha comentado con anterioridad, esta junta viene condicionada por el proceso constructivo y de montaje de la armadura del pilar. Cada nuevo tramo de armado se prefabrica fuera del pilar y es transportado a su posición final mediante grúa fija; y una vez en su posición, es enhebrado, de modo que las barras verticales del nuevo tramo se encajan en su posición mientras es descendido y con ayuda de manera manual de diversos operarios que supervisan la operación.



Figura 6. Colocación de armado de pilar en junta de hormigonado.

3.1.2. *Conexión con losa de planta baja*

La conexión entre pilar y losa de planta baja es una unión rígida con transmisión de momentos. La armadura de la losa es pasante a través del pilar. Estas barras deben coordinarse con la abundante armadura vertical del pilar, lo cual condiciona el replanteo de las mismas. También hay que tener en cuenta que el empleo de los encofrados impide que estas barras sobresalgan de la

sección del pilar. El detalle se resuelve instalando las barras con conectadores en ambos extremos dentro del pilar. Posteriormente cuando se construya la losa, se roscarán los extremos de las barra y se solaparan con la armadura de la losa.

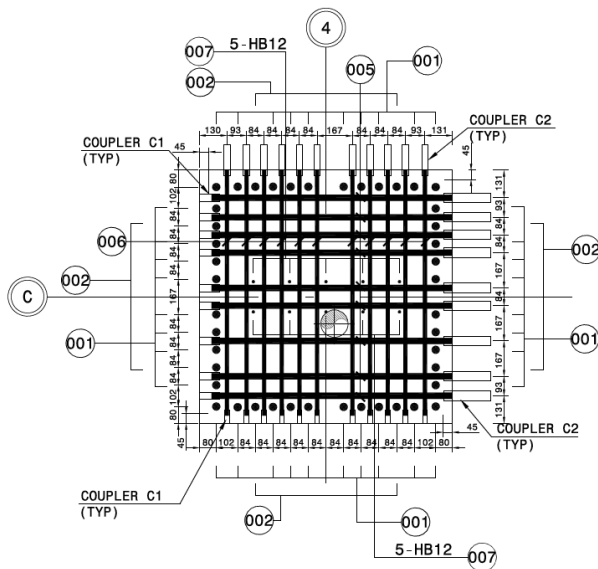


Figura 7. Sección del pilar en zona de conexión con la losa y foto de obra.

3.1.3. Conexiones con muro de hormigón

En la fachada norte existe un muro de hormigón alineado a cara de fachada con todos los pilares. Este muro tiene como función principal el arriostramiento del edificio y de transmisión de cargas horizontales impuestas a cimentación. Dado la secuencia constructiva, este muro se realiza en una fase posterior a los pilares por lo que han de dejarse previsión de todas las conexiones necesarias. Al igual que en el caso de la conexión con las losas, esta se diseña mediante barras embebidas en el pilar con conectadores en ambos lados.

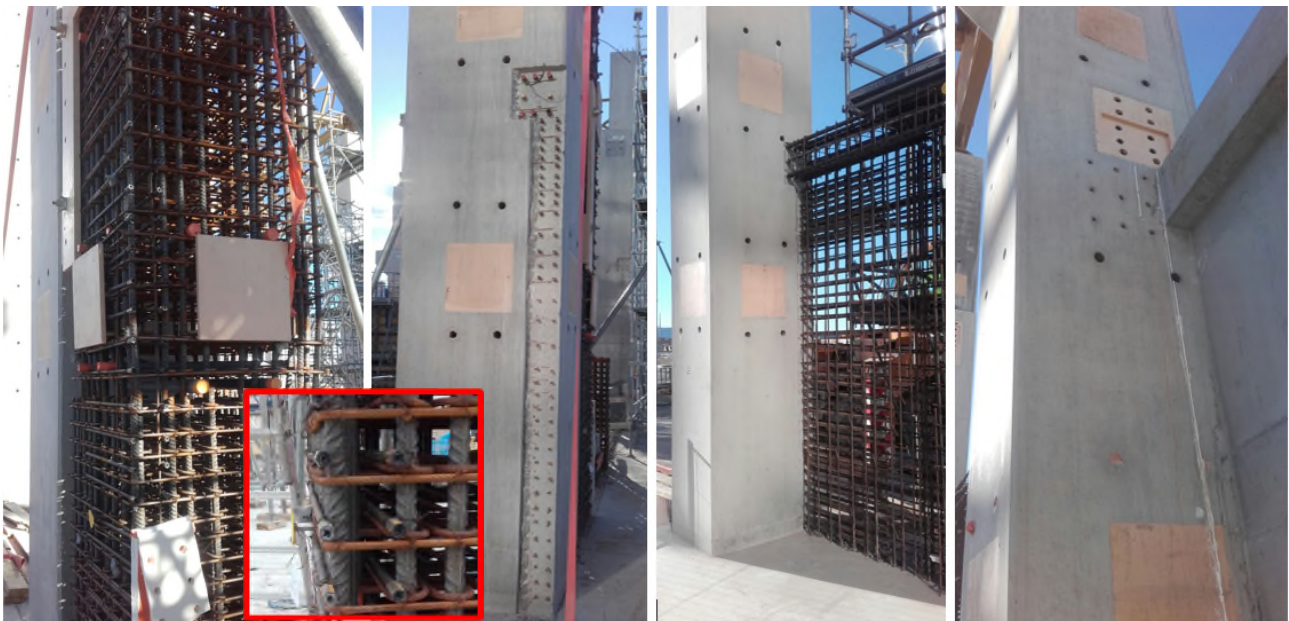


Figura 8. Fases constructivas de los pilares y el muro en la fachada norte.

3.2. Conexiones con estructura metálica

Las conexiones con estructura metálica han respetado en la medida de lo posible dos condicionantes fundamentales: Ningún elemento embebido en el pilar puede sobresalir de la cara del pilar debido al encofrado a medida utilizado; y evitar uniones soldadas en la medida de lo posible, por razones de coste y plazo así como las conexiones con taladros a posteriori.

3.2.1. *Conexiones con estructura metálica principal*

Las conexiones con la estructura principal se producen en coronación de pilares, donde apoyan las celosías de cubierta y en las caras de los pilares con las vigas metálicas que conforman el arriostramiento del edificio. Este segundo es el más interesante debido al alto valor de cortante que las diagonales transmiten a la unión. Siguiendo el criterio de evitar las soldaduras, la unión se diseña con unas placas embebidas que incorporan una llave de cortante. Una serie de arras pasantes y conectadores tipo Nelson se encargan de anclar estas placas embebidas y de transmitir los esfuerzos a la sección del pilar.



Figura 9. Colocación de armado de pilar en junta de hormigonado.

3.2.2. *Placas embebidas para conexiones a realizar por otro contratista*

El cliente solicita la instalación de placas a cuatro niveles en cada cara de los pilares dándole flexibilidad para posteriores conexiones. Las placas incluían pernos en posiciones fijas que hubo que coordinar con el armado de los pilares. Estas placas se instalan en el recubrimiento del hormigón para dejarlas dentro de la sección del pilar cumpliendo con el condicionante de los encofrados.

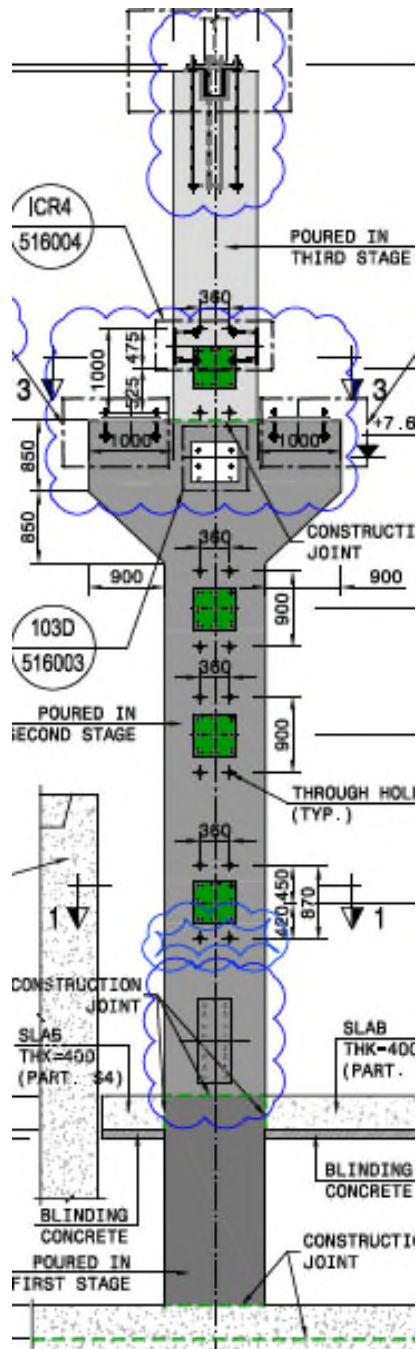


Figura 10. Placas embebidas solicitadas por el cliente para futuras conexiones.

3.2.3. Conexiones con estructura metálica secundaria

Para el resto de conexiones, como por ejemplo con vigas y brochales para conformar huecos en la fachada para puertas o ventanas, se emplea un sistema alternativo, mucho más flexible, basado en la colocación de piezas especiales para anclajes roscados. Se opta por este sistema por su flexibilidad y facilidad de montaje dado que en muchos casos la posición definitiva de las vigas no se fija hasta con tiempo suficiente para poder ser integrado en el diseño del pilar. Las cargas que han de soportar no son elevadas y su colocación es sencilla, aunque debe adaptarse a la armadura ya montada. En todas estas conexiones habrá que tomarse un replanteo definitivo de los anclajes una vez instalados puesto que no siempre se pueden colocar con plantilla.



u :

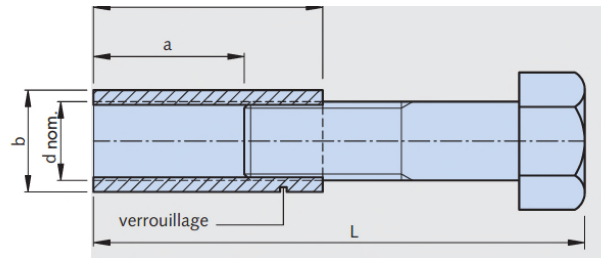


Figura 11. Anclajes para fijacion de tornillos en conexiones de estructura secundaria.



Figura 12. Anclajes para fijacion de tornillos instalados con la armadura.

3.2.4. Conexión con bandejas de fachada

La fachada del edificio va fijada a los pilares por medio de unas bandejas metálicas. De acuerdo a la normativa francesa no es aceptable la fijación de las bandejas mediante tornillos al recubrimiento de hormigón de los pilares y como alternativas se ofrece la posibilidad de poner fijaciones a través de railes metálicos embebidos en la cara del pilar.

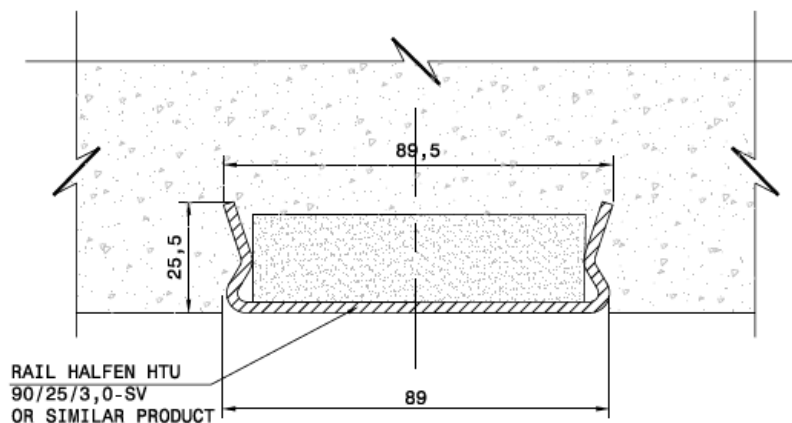


Figura 13. Railes para fijación de bandejas de fachada.

4. Conclusiones.

El diseño de detalles constructivos se convierte en una parte fundamental del diseño y es altamente condicionado por factores externos al diseño en sí mismo y que en muchos casos no se pueden concretar hasta etapas mucho más tardías. La involucración de los agentes que intervienen en la construcción incluidos subcontratistas con anticipación suficiente a la construcción en si es fundamental para la realización de un trabajo limpio y con un número mínimo de problemas de última hora. La coordinación entre todos los elementos y agentes intervinientes es muy importante y la mejor manera de reducir costes y controlar plazos. Por último hacer hincapié en el hecho de que el diseño de cualquier estructura debe hacerse siempre teniendo en cuenta su construcción. La estructura ha de ser construible.

Agradecimientos

El proyecto ITER ha sido y es un gran reto y ha sido posible gracias a la intervención de numerosos profesionales de Ferrovial Agroman, Fhecor ingenieros y Arup Ingenieros España en la producción del diseño; Fusion for Energy (F4E) e Iter Organization (IO) como cliente; Engage, Energhia, Apave como supervisores y el consorcio VFR (Vinci – Ferrovial Agroman – Razel) que realizó los trabajos de construcción.

Referencias

[1] www.iter.org – Website de ITER Project Organization.