



Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2023**
9º Congresso de Construção Metálica
21 de Setembro de 2023, São Paulo - SP, Brasil

Tema: estrutura de aço

VELÓDROMO DE SAN JUAN

Ing. Jose Gomez¹
Ing. Manuel Lucciano Müller²
Ing. Javier I. Perez³
Ing. Ezequiel M. Riguardi⁴
Ing. Hector M. Ruffo⁵

Resumen

En este reporte se resume el desarrollo de la ingeniería estructural y la posterior ejecución de la cubierta del nuevo velódromo de la provincia de San Juan en Argentina, que fue íntegramente realizada por la empresa Cinter, con base en Santa Fe.

La planta del edificio tiene forma de óvalo con un diámetro mayor de 140 metros y un diámetro menor de 115 metros. La cubierta tiene doble curvatura y la altura útil máxima del edificio es de aproximadamente 23 metros. Solo existen columnas en el perímetro del edificio y alcanzan los 30 metros de altura.

El diseño de esta estructura, materializada en acero, plantea un gran desafío por las grandes luces libres y su geometría particular. Se presentará el enfoque para el diseño estructural con especial énfasis en el análisis de la secuencia de montaje y se mostrarán los avances que tiene la construcción en el sitio.

El montaje de esta estructura es uno de los hitos más relevantes, se montaron módulos pre-armados de cubierta de hasta 140 toneladas de peso con vigas reticuladas de hasta 9 metros de canto en su sección central. Se realizó un análisis no lineal por etapas del montaje de la estructura y del desmontaje de los apoyos provisionarios para considerar los esfuerzos adicionales que puedan aparecer en etapas intermedias.

Palabras clave: Velódromo; Grandes luces libres; Análisis de la secuencia de montaje; Módulos pre-armados de cubierta

VELÓDROMO DE SAN JUAN

Resumo

Este relatório resume o projeto estrutural e a posterior execução da cobertura do novo velódromo na província de San Juan, na Argentina, que foi realizada integralmente pela empresa Cinter, com sede em Santa Fé.

A planta do edifício é oval com o eixo maior medindo 140 metros e o eixo menor medindo 115 metros. A cobertura tem dupla curvatura e a altura útil máxima do edifício é de aproximadamente 23 metros.

Existem pilares apenas no perímetro do edifício, e elas atingem 30 metros de altura.

Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2023**
9º Congresso da Construção Metálica
21 de setembro de 2023, São Paulo - SP, Brasil



O desenho desta estrutura, materializada em aço, constitui um grande desafio devido aos grandes vãos livres e à sua geometria particular. A abordagem do projeto estrutural é apresentada com especial ênfase na análise da sequência de montagem e será mostrado o andamento da construção no local.

A construção dessa estrutura é um dos feitos mais relevantes. Módulos de cobertura pré-montados com peso de até 140 toneladas foram montados com vigas treliçadas de até 9 metros de altura em sua seção central. Foi realizada uma análise não linear por etapas de montagem da estrutura e desmontagem dos apoios provisórios para considerar os esforços adicionais que podem surgir em etapas intermediárias.

Palavras-chave: Velódromo; Grandes vãos livres; Análise da sequência de montagem; Módulos de cobertura pré-montados

¹ Universidade Tecnológica Nacional FRSF, Engenheiro Mecânico, Engenheiro estrutural, Engenharia, CINTER SRL, Santa Fe, provincia de Santa Fe, Argentina.

² Universidade Tecnológica Nacional FRSF, Engenheiro Civil, Engenheiro estrutural, Engenharia, CINTER SRL, Santa Fe, provincia de Santa Fe, Argentina.

³ Universidade Tecnológica Nacional FRSF, Engenheiro Civil, Engenheiro estrutural, Engenharia, CINTER SRL, Santa Fe, provincia de Santa Fe, Argentina.

⁴ Universidade Tecnológica Nacional FRSF, Engenheiro Civil, Engenheiro estrutural, Engenharia, CINTER SRL, Santa Fe, provincia de Santa Fe, Argentina.

⁵ Universidade Nacional de Córdoba, Engenheiro Civil, Engenheiro estrutural, Engenharia, CINTER SRL, Santa Fe, provincia de Santa Fe, Argentina.

1 INTRODUCCIÓN

En este informe se desarrollará en detalle la estructura correspondiente al Velódromo de San Juan, su proceso de diseño estructural, cálculo, planificación de montaje, detallamiento y fabricación.

Se trata de una obra de gran envergadura que tuvo lugar en la ciudad de San Juan, planteada por su gobierno provincial y cuya estructura metálica fue llevada a cabo por la empresa CINTER S.R.L. de la ciudad de Santa Fe, Argentina.

El proyecto surge a partir del auge del ciclismo en la zona, teniendo como objetivo plantear un espacio para su práctica bajo cualquier condición climática, resultando un hito a nivel sudamericano, siendo el velódromo más grande del continente. El edificio se encontraba dentro de un master plan que proyectaba una futura ciudad deportiva.

El proyecto tenía como premisas iniciales una geometría en planta de sección ovalada, con un eje de columnas en el perímetro exterior de 144,00m de diámetro mayor por 117,00m de diámetro menor, generando una superficie de aprox. 15.000m², con una altura libre de 15,00m bajo vigas. La cubierta metálica es una cascara para albergar la pista de ciclismo de madera (de origen finlandés) y las tribunas, con una capacidad de 6000 personas sentadas. Como en todo proyecto arquitectónico, la visual resulta ser primordial y la imagen pensada en este caso se representaba mediante columnas circulares de diámetro 1,20m en forma de A, “perforando” la cubierta y encontrándose en punta a una altura de 31,00m. Desde sus extremos superiores se pensó en un emparrillado de cables tensores que dieran parte del apoyo a la cubierta en el sector central. (Figura 1)

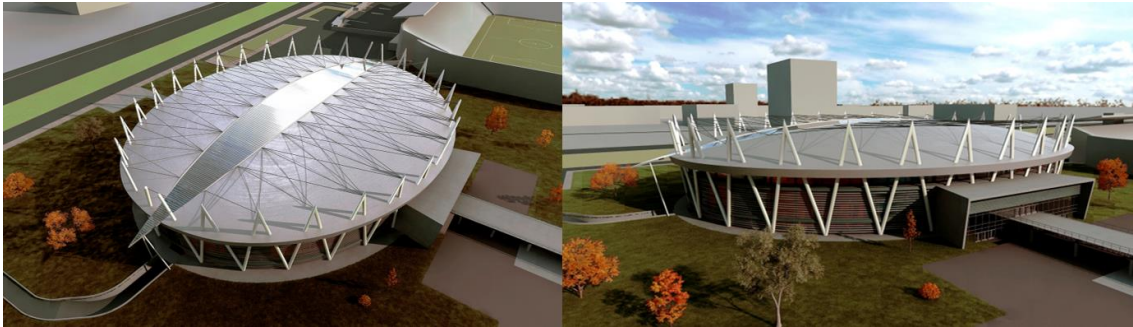


Figura 1. Imagen global del velódromo en etapa de proyecto

Sobre la cumbre se solicitó una raja en forma de “ojo” que pudiera materializarse mediante una cubierta traslúcida para aprovechar en el día la iluminación natural.

El proyecto completo incluía toda la obra civil de tribunas, fundaciones y accesos, junto con estructuras metálicas anexas, como fueron la gran marquesina de acceso principal, la plataforma y escaleras para ingresar a la misma, los accesos secundarios, salidas y escaleras de emergencia, pasarelas de servicio e iluminación interior, etc., así como la totalidad de las instalaciones del predio y la materialización de la cubierta y cerramientos. (Figura 2)

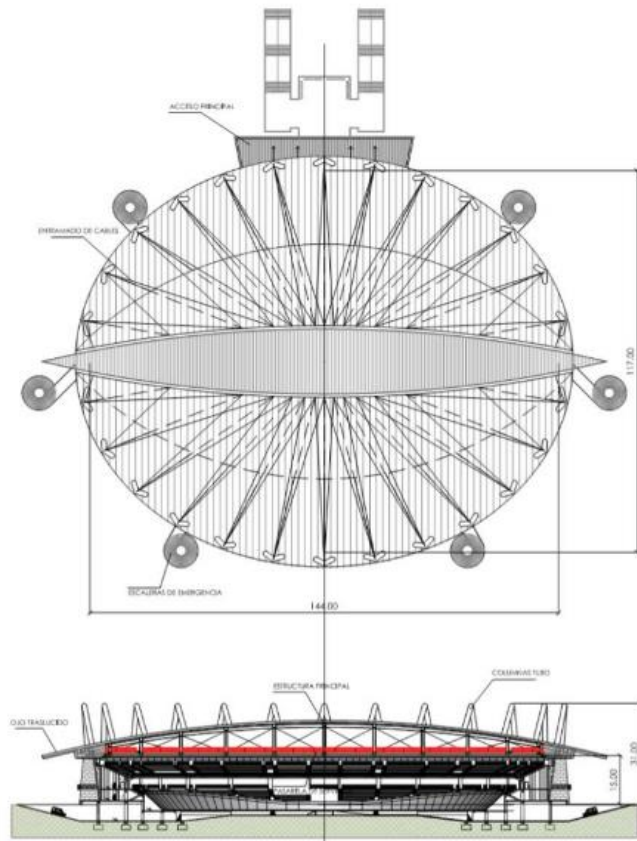


Figura 2. Imagenes previas del proyecto de pliego

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este proyecto se emplearon normativas nacionales e Internacionales aplicables a estructuras metálicas:

- ✓ CIRSOC 101: Cargas y sobrecargas gravitatorias para el cálculo de las estructuras de edificios.
- ✓ CIRSOC 102: Sismo
- ✓ CIRSOC 103: Acción de la nieve y el hielo sobre las construcciones
- ✓ CIRSOC 104: Acción térmica climática sobre las construcciones
- ✓ CIRSOC 107: Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de acero para edificios.
- ✓ CIRSOC 301: Fundamentos de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio.
- ✓ CIRSOC 302: Métodos de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio en las estructuras de acero
- ✓ CIRSOC 303: Estructuras livianas de acero.
- ✓ ASCE-SEI 7: Minimum Design Loads for Buildings and other Structures
- ✓ AISI 2001: Cold formed steel design manual.
- ✓ AISC 360-05: American Institute of Steel Construction; 9th Edition

Los materiales empleados fueron:

- *Chapas para perfiles electrosoldados, caños de columnas y placas* F - 24
F - 36

- Perfiles laminados en caliente:
 - Angulares / IPN / UPN F - 24
 - Perfiles W A - 572 Gr 50

- Perfiles delgados conformados en frío ZAR 340 galvanizado

- Bulones estructurales de alta resistencia: ASTM A – 325 / A490

- Bulones no estructurales: ASTM A - 307
(elementos secundarios no estructurales: correas, largueros, etc.)
- Bulones de anclaje: Calidad SAE 1010
Fu mín.: 365 MPa
Calidad SAE 1045
Fu mín.: 625 MPa

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la situación planteada en la introducción respecto al diseño del Velódromo, se desarrollarán a continuación las distintas etapas del proyecto, desde la elección de la estructura hasta la ingeniería, fabricación y montaje.

3.1 Diseño

3.1.1 Alternativas de diseño

A partir de las limitaciones impuestas por lo arquitectónico y tomando como base distintas obras similares llevadas a cabo por Cinter, se generó una primera propuesta de planteo estructural.

En este caso, se planteó la resolución de la estructura con vigas reticuladas empotradas en las columnas, que se intersectaban en el centro, generando una gran capacidad a flexión. (Figura 3)



Figura 3. Primera propuesta estructural

Este modelo, llevado a cabo anteriormente en el anfiteatro de Villa María, presentaba limitaciones geométricas y arquitectónicas debido a que en este caso se trataba de un óvalo con radios distintos, lo que significaba todas piezas diferentes entre sí. Además, si bien se obtiene una estructura eficiente y liviana en comparación a otras soluciones, se puede observar una gran densidad de estructura en el centro, donde se proyecta generar la lucarna para el ingreso de luz natural.

Debido a estas desventajas, se descartó este planteo estructural y se desarrolló uno distinto, partiendo de la base de generar un entramado de vigas que interfiera lo menos posible con el ojo central, respetando el condicionamiento de las columnas perimetrales en forma de A, de sección hueca.

De esta manera, surgió la segunda alternativa de solución, la cual se fue perfeccionando hasta convertirse en el proyecto definitivo. (Figura 4)

Se trataba de una solución simplificada, utilizando un emparrillado de vigas, formado por dos cerchas centrales en el sentido longitudinal del ovalo, y una serie de cerchas transversales entre el anillo de columnas exterior y las anteriores. En este planteo se consideró fundamental la necesidad de generar empotramientos entre la estructura de cubierta y las columnas perimetrales.

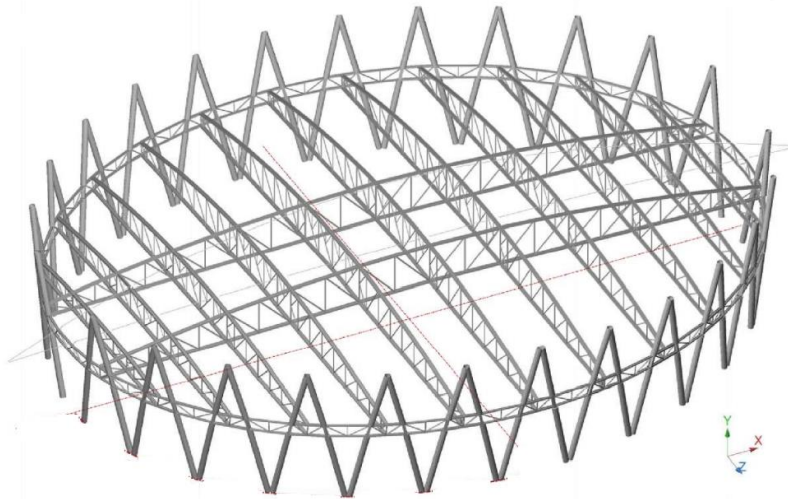


Figura 4. Segunda propuesta estructural

La primera concepción fue con vigas no paralelas, pasando luego a un esquema con vigas paralelas y modificación de la ubicación de columnas para lograr separaciones de vigas iguales entre sí. Estas variantes no fueron aceptadas por la arquitectura, lo que obligó a generar un emparrillado cuya geometría estaba gobernada por la cadencia de las columnas perimetrales.

Finalmente, se alcanzó la solución definitiva con cerchas paralelas entre sí, pero, con separación diferente entre ellas ya que están atadas al eje de cada conjunto de columnas, para facilitar la resolución de los empotramientos entre vigas y columnas.

3.1.2 Planteo definitivo

Como ya se mencionó anteriormente, luego de diversos intercambios y correcciones con los proyectistas de la obra, se arribó a la solución definitiva.

Se colocaron dos cerchas longitudinales de 8,35m de altura en el punto central. La ubicación de las mismas respondió a los ejes inamovibles de las columnas, lo que dio una separación central de 24,20m entre ejes. El resto del emparrillado se planteó en el eje de las columnas tipo "A", desde ellas hasta las vigas centrales, con una altura variable de elementos en ambas direcciones espaciales x e y. Las columnas perimetrales mantuvieron su geometría en punta, vinculándolas a nivel de cubierta con un anillo de compresión perimetral.

La tipología estructural se resolvió con cerchas reticuladas, cuyos cordones superior e inferior fueron perfiles tipo doble te, en posición horizontal, vinculados mediante diagonales y montantes de tipología doble o cuádruple ángulo L en cada ala del perfil, con soluciones completamente abulonadas para armar en obra.

Las columnas se mantuvieron en caños circulares de diámetro exterior 1200mm, con diferentes espesores rondando los 20mm, mientras que el anillo exterior de vinculación de columnas se realizó con la misma tipología que las cerchas principales, pero con menores dimensiones, diagonales centradas con el eje de los cordones y una altura final de 2,50m. (Figura 5)

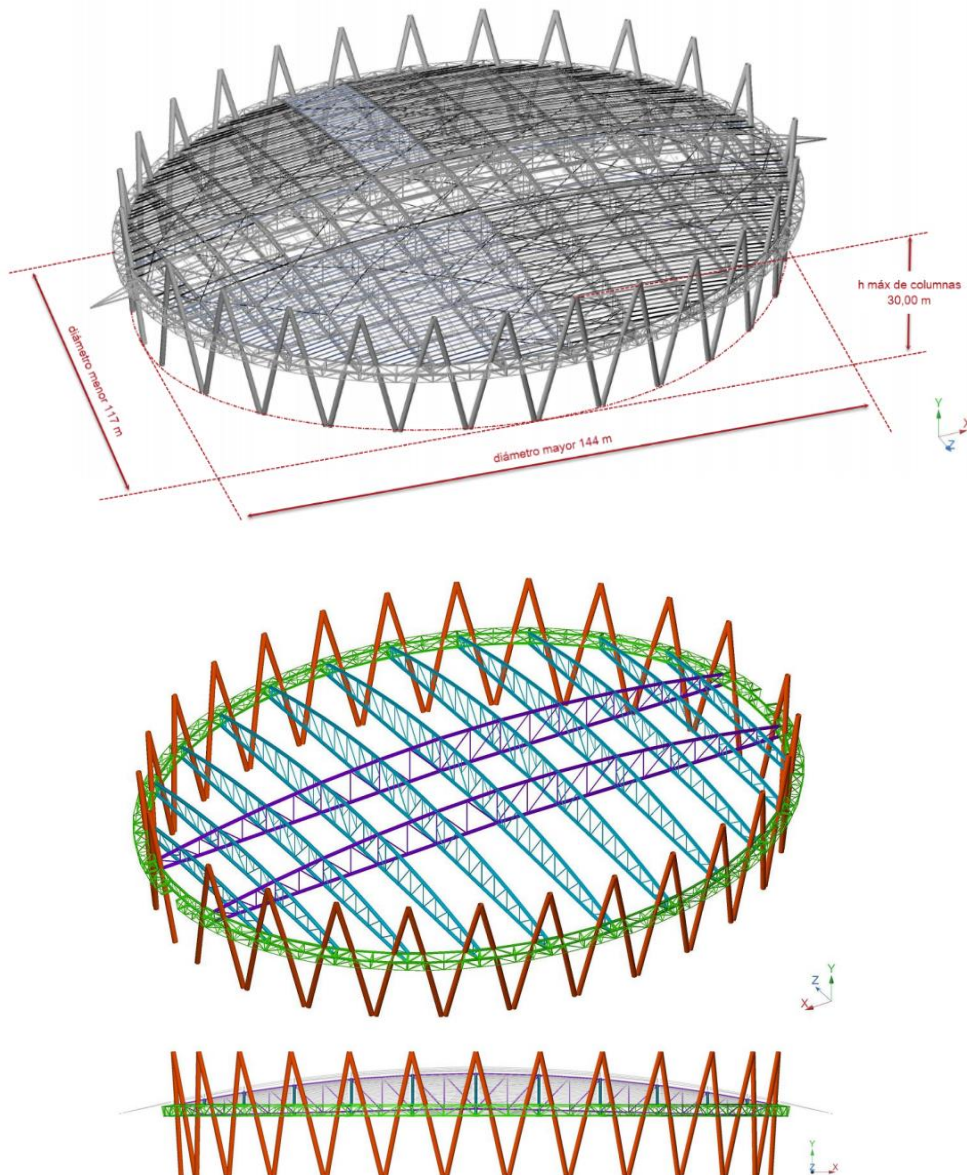


Figura 5. Estructura principal definitiva

3.2 Análisis estructural

El análisis de la estructura se realizó mediante software tridimensional trabajando en base a elementos finitos. Se utilizaron básicamente los programas Ram Elements y Sap. Además, se complementan los análisis con el uso de diferentes softwares para cálculo de uniones y otras especialidades. (Figura 6)

El modelo matemático se basó en un perímetro de columnas empotradas en sus bases, en forma de A, con una inclinación del perímetro vertical de 7° hacia afuera de la cubierta. El óvalo de columnas se cierra a nivel +15.00m mediante una viga reticulada y del mismo nivel se largan las vigas que forman el emparrillado de cubierta sin columnas interiores.

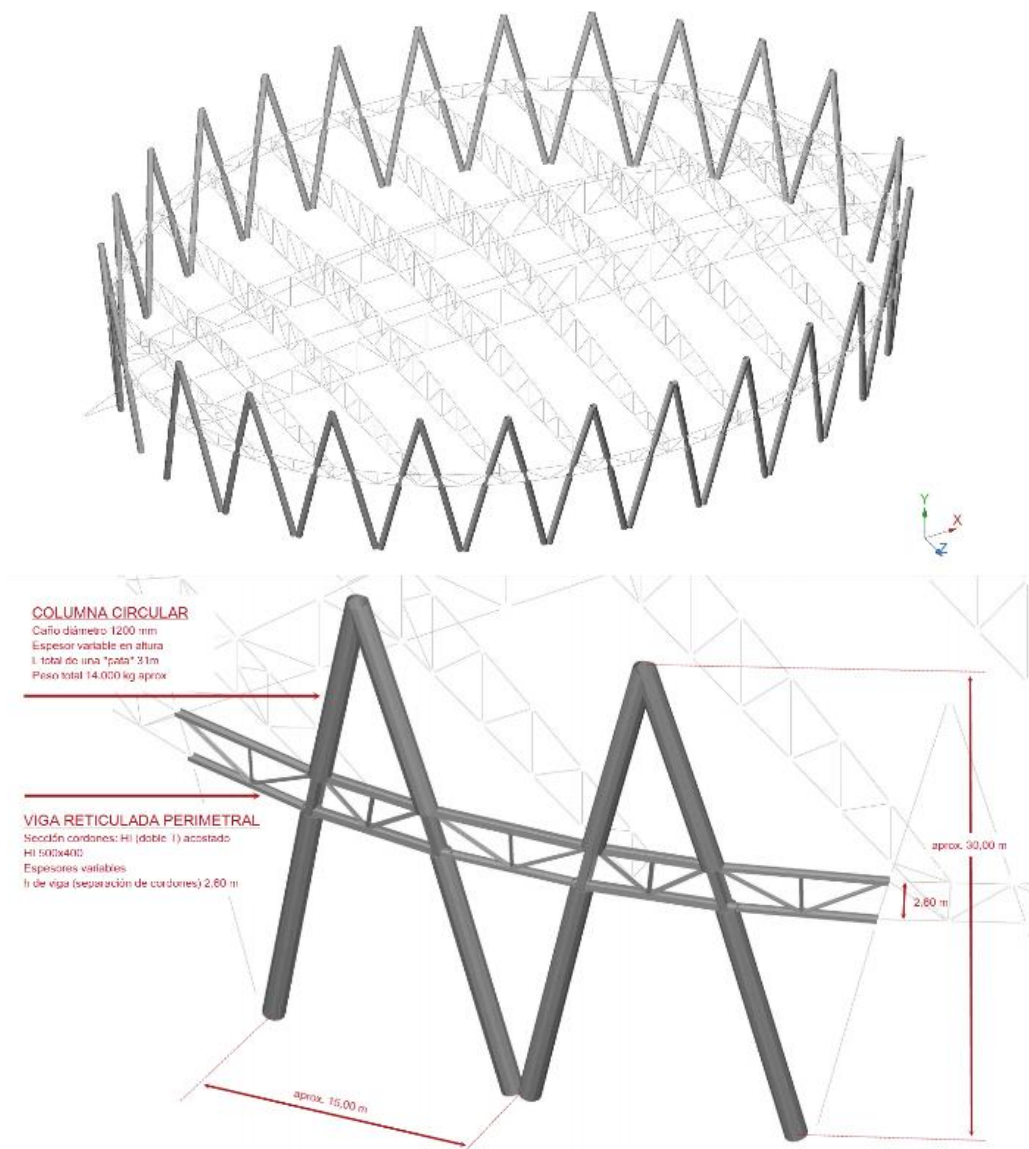


Figura 6. Imágenes modelo de análisis de elementos finitos

Longitudinalmente se dispusieron dos vigas, bordeando el sector traslucido central, separadas 24m entre sí, reticuladas de altura variable acompañando la pendiente de la cubierta, con un máximo de 8,35m. (Figura 7)

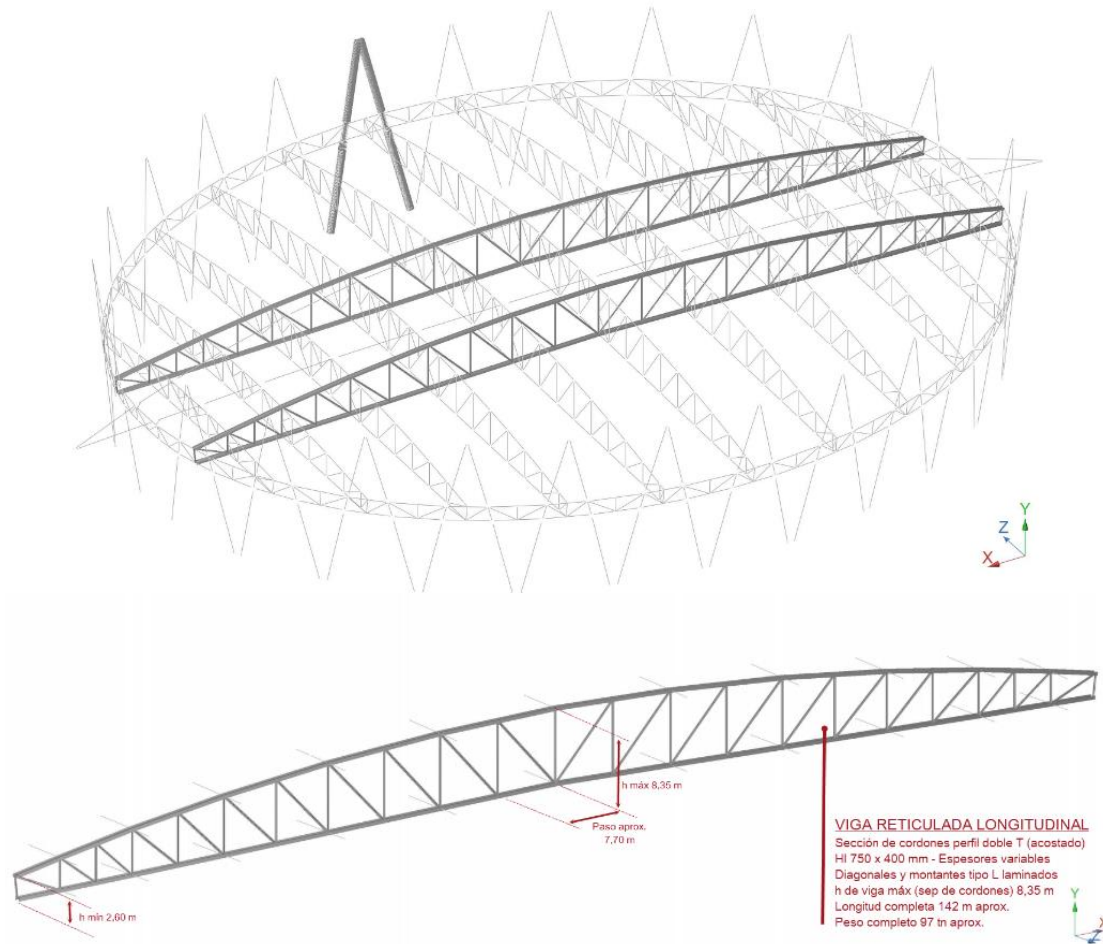


Figura 7. Esquema de vigas longitudinales

Las 11 vigas transversales del emparrillado también son reticuladas de altura variable acompañando la pendiente de la cubierta, con cordones tipo doble T acostados y diagonales y montantes de sección de ángulos abulonados a las alas de los cordones. La viga más corta tiene un largo total de 54m mientras que la más larga tiene 115m, la altura variará entre los 2,50m en el apoyo en columna y los 8,35m en el centro del tramo más alto. (Figura 8)

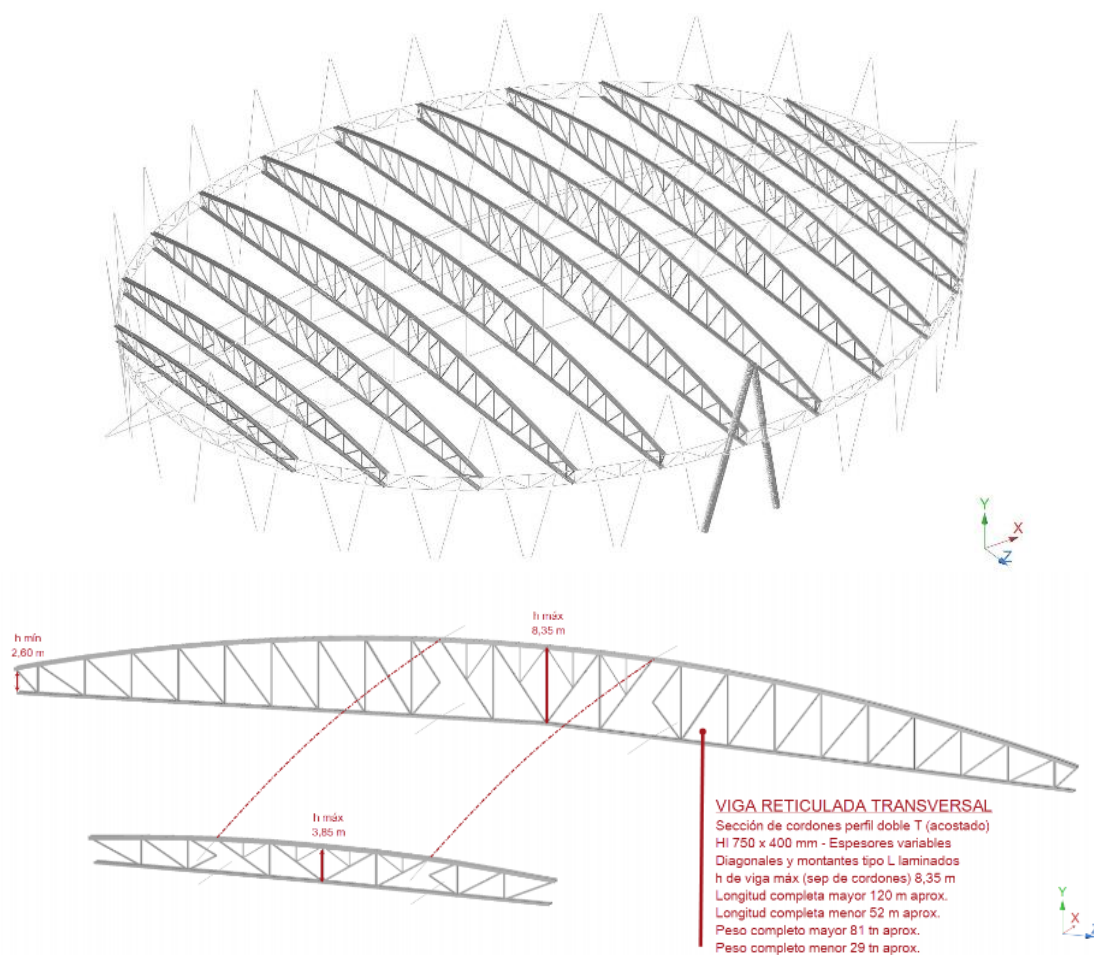


Figura 8. Esquema de vigas transversales

La estructura metálica es completamente independiente, no utiliza vinculaciones a la estructura de hormigón a excepción de los empotramientos a las fundaciones. La estructuración para esfuerzos horizontales, en este caso el viento y preponderantemente el sismo, se plantea en función de pórticos a flexión en dos sentidos ortogonales. Cada pórtico está formado por una viga reticulada y un conjunto tipo A de columnas en cada extremo. (Figuras 9 y 10).

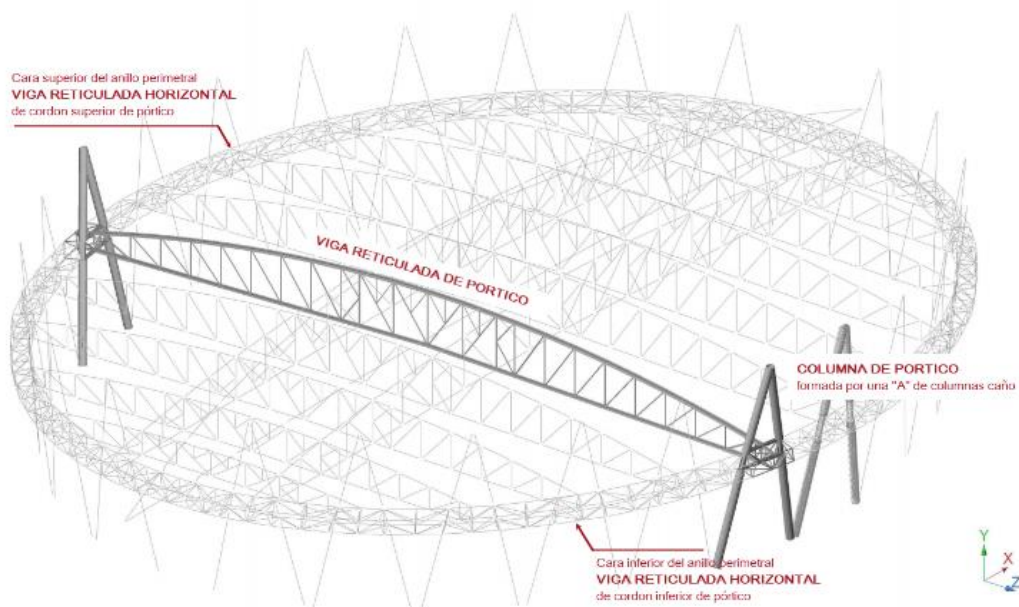


Figura 9. Vinculaciones de la estructura

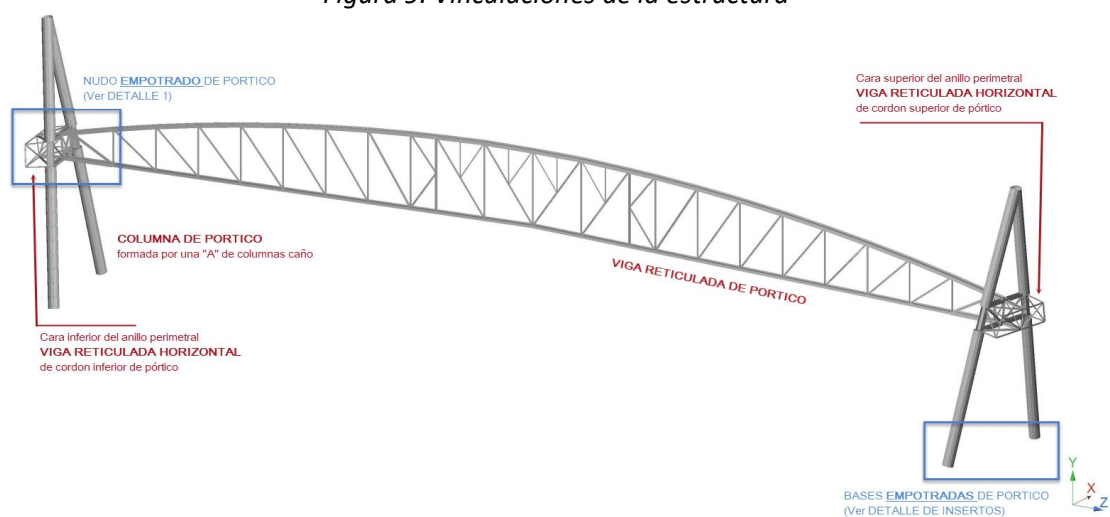


Figura 10. Pórtico transversal

Teniendo en cuenta que el eje de la viga coincide con el eje de simetría vertical del conjunto de columna, la viga perimetral hace las veces de nudo rígido entre columnas y viga del pórtico. A su vez, en los planos superior e inferior de la cenefa se materializan dos vigas horizontales, las cuales toman el par de esfuerzos horizontales del momento de nudo para generar el empotramiento. (Figura 11)

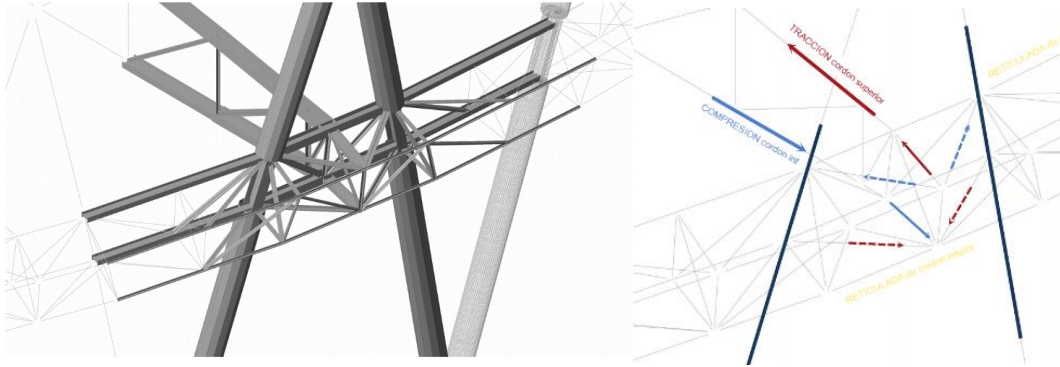
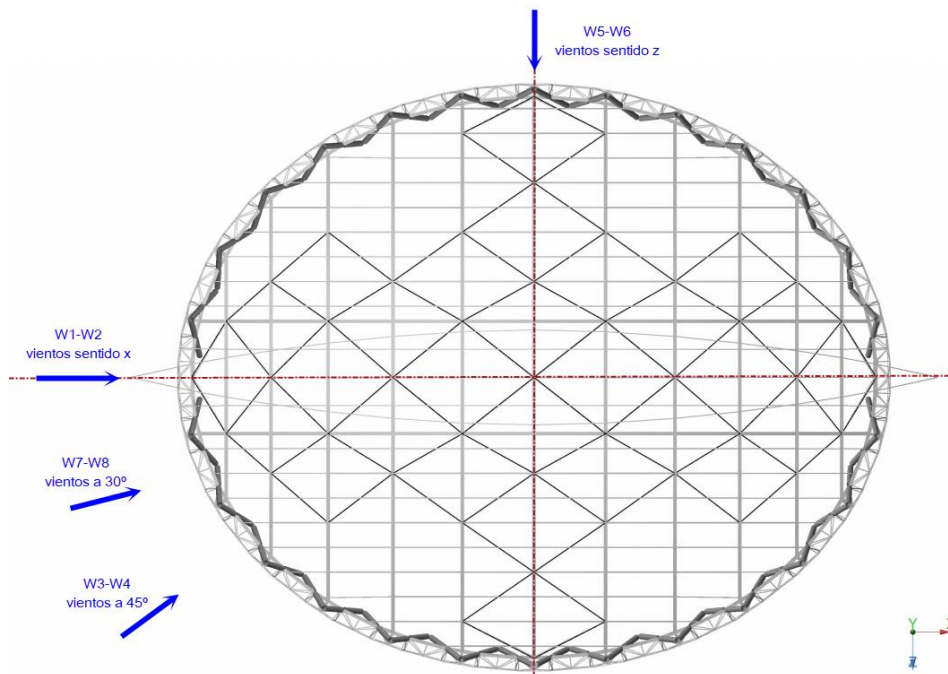


Figura 11. Detalle conceptual de empotramiento de vigas a conjunto de columnas

Al modelo tridimensional se le ingresan todas las acciones actuantes, así como los elementos externos o auxiliares que generan cargas adicionales, como ser las pasarelas de servicio, cargas de iluminación, instalaciones colgadas, e incluso se previó la posibilidad de la colocación de una pantalla gigante colgada en el centro de la superficie del techo. Las cargas ambientales dimensionantes, viento y sismo, se incluyeron como presiones distribuidas mediante áreas de carga en la cubierta. (Figura 12)



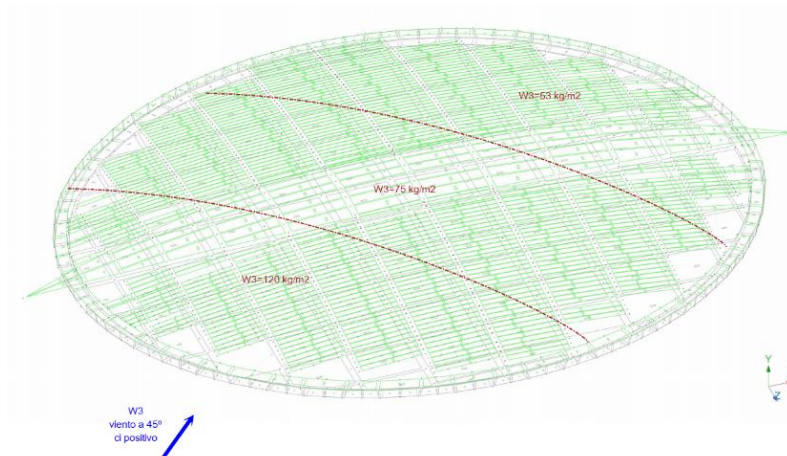


Figura 12. Cargas sobre el modelo

Una vez modelada la maqueta completa, se procede a los análisis clásicos de dimensionamiento de la totalidad de las piezas. Esta maqueta en particular requirió más de 6.000 elementos tipo barra, de los cuales se verifica sus estados tensionales, capacidad y deformaciones locales.

3.3 Ingeniería de detalle

Una vez que la etapa de dimensionamiento queda superada, más allá de los lógicos vaivenes que se seguirán presentando, se inicia el proceso de ingeniería de detalle, donde, mediante software especializado, se traduce la maqueta de cálculo directamente en una maqueta física a la que se le aplicarán los conceptos ideales de uniones y detalles pensados durante el cálculo.

Esta maqueta se convierte en una base de datos completa de la obra, donde cada pieza adquiere una entidad espacial, un nombre, sus características físicas (peso, largo, ubicación espacial, calidad, terminación) así como su situación en el tiempo (en proceso de emisión, o fabricación, envío, o en colocación en obra). A su vez mediante la misma se realizan los cómputos de materiales, burlonería, pinturas, etc., permitiendo la formulación de reportes detallados, planos de fabricación y de montaje. (Figuras 13 y 14)

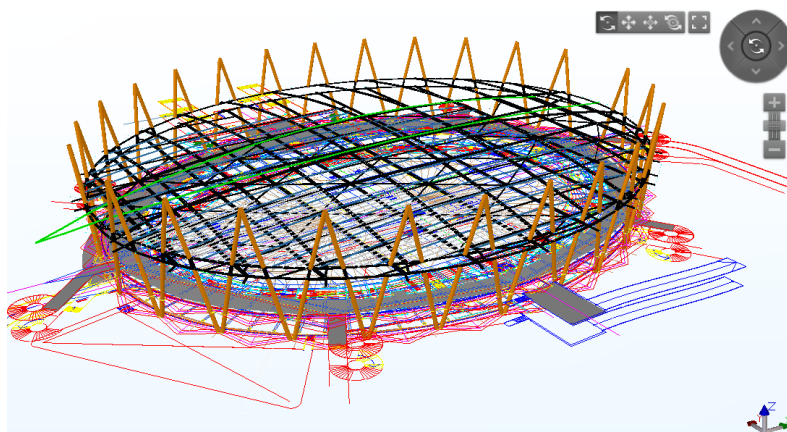


Figura 13. Vista de modelo BIM para el desarrollo de la ingeniería de detalle

El traspaso de información entre maqueta de cálculo y maqueta de detalle, así como luego el traspaso a las máquinas de fabricación, se da completamente en forma electrónica, mediante

archivos de control numérico, evitando o minimizando la intervención humana y los posibles errores que ello conlleva. En el proceso de detallamiento de la estructura se procede al ingreso de los detalles de vinculación, la bulonería adecuada a los esfuerzos, los procesos de soldadura de taller necesarios, verificación de coincidencia de ejes o excentricidades admitidas, etc.

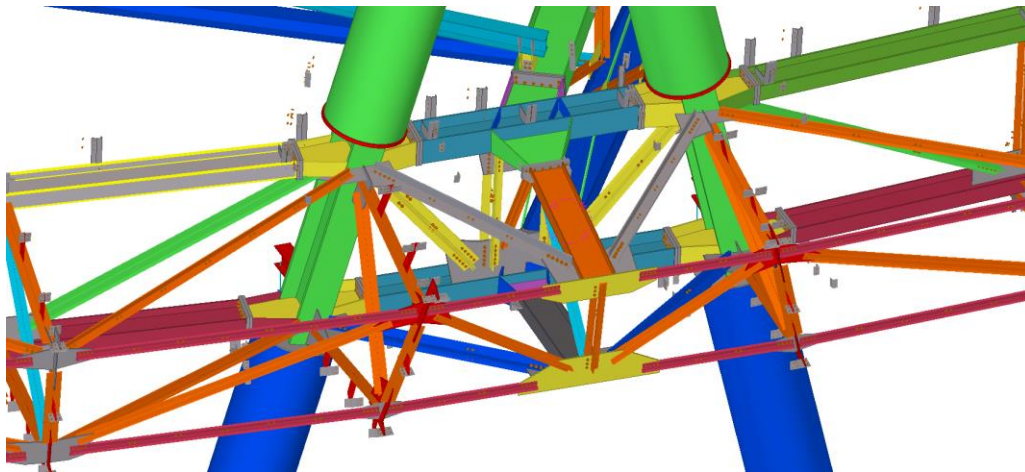


Figura 14. Detalle de nudo viga columna. Modelo BIM para detallamiento.

En el mismo modelo se incluyen todos los elementos auxiliares para montaje y todo lo necesario para la terminación completa de la obra, como ser chapas, canaletas y plegados de cierre, tornillería menor, etc.

Luego se procede a emitir planos de fabricación de la obra, los reportes de insumos y piezas y planos de montaje con las indicaciones necesaria para el armado de la obra.

Es importante destacar la importancia del trabajo coordinado con el equipo de proyectistas para facilitar y, asegurar, una solución estructural acorde con las funciones del proyecto y con los ideales estéticos. En este caso en particular, se trabajó en varias propuestas que se fueron puliendo hasta lograr los objetivos mencionados, logrando la satisfacción final de ambas partes.

3.4 Fabricación

La fabricación de la obra se repartió entre la ciudad de Santa Fe y la ciudad de San Juan. Como se indicaba anteriormente, los trasposos de información electrónica entre maqueta y equipos de fábrica acompañan a los clásicos planos de fabricación, asegurando la correcta interpretación de geometría y materiales.

Las columnas de caño, al ser las piezas más grandes y de mayor complejidad de transporte, se fabricaron en planta de San Juan (Figura 15), mientras que las piezas sueltas que conformaron las vigas de la cubierta, se fabricaron en planta de la ciudad de Santa Fe. Las columnas completas tuvieron un largo de 31m y un peso total de aproximadamente 15 tn cada una, aunque se fabricaron en 3 tramos y se terminaron de vincular en la zona de la obra.



Figura 15. Fabricación de columnas en A

Previo al armado en obra, las complejas geometrías del proyecto hicieron necesario el estudio de pre montajes en fábrica para asegurar la coincidencia milimétrica de las distintas piezas.

Las vigas, con alturas de hasta 8,50m, se enviaron completamente desarmadas y requirieron de un preciso proceso de armado en obra totalmente abulonado. (Figura 16)



Figura 16. Vigas armadas

En la planta de San Juan también se fabricaron todos los elementos auxiliares de montaje y armado, que fueron las 6 torres provisionarias de apoyo de la cubierta, bielas para retén de conjuntos de columnas, puntales, apoyos deslizantes para regulación de columnas, elementos auxiliares para descenso de torres, etc.

3.5 Montaje

Para el montaje de la estructura la misma se divide en módulos, secciones de la estructura que comprenden un grupo determinado de barras que se arman al pie de su posición final y luego son montados en conjunto (Figura 17). Toda barra que no pertenece a ningún módulo se monta individualmente.

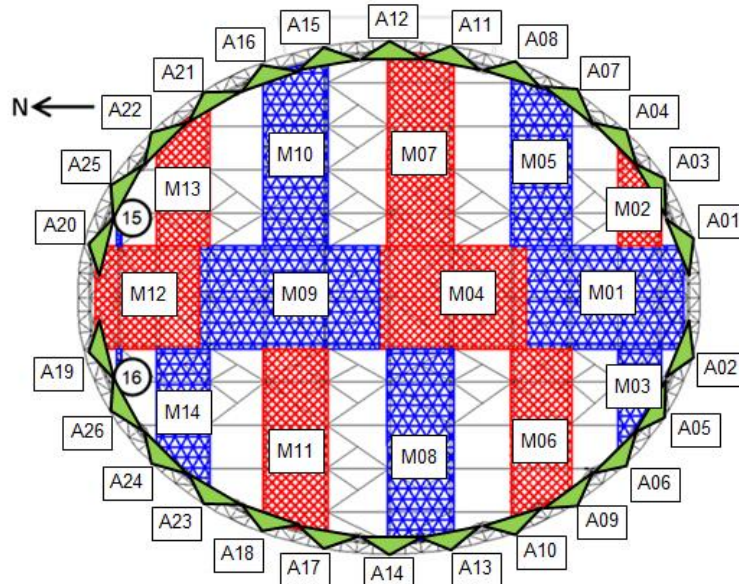


Figura 17: Módulos pre armados en los cuales se subdividió la estructura para su montaje

El montaje de la estructura se realizó desde el SUR hacia el NORTE por cuestiones de coordinación con otros rubros de la obra. La secuencia a seguir para montar los módulos está denotada por su subíndice y se fueron montando según lo requería el montaje de los módulos de cubierta. Según el esquema quedan definidos los siguientes módulos:

- 26 Módulos de columnas: de A01 a A26. Las vigas principales de la cubierta apoyan sobre la viga de apeo central del módulo arremetiendo a diferentes ángulos en cada módulo. Por lo tanto, solo los módulos diametralmente opuestos resultan iguales y se distinguen 13 tipos de módulos.
- 16 Módulos de cubierta: de M01 a M16. Se distinguen 4 módulos centrales, correspondientes a las vigas longitudinales, y 12 módulos laterales, los cuales pueden ser agrupados de a pares ya que comparten un eje de simetría.

3.5.1 Módulos de columnas

Para el montaje de las columnas se planteó el armado en el sitio de un conjunto estructural en forma de A, que se ensambló en posición horizontal, sobre el piso, y se elevó hacia su posición definitiva como un conjunto. (Figura 18)

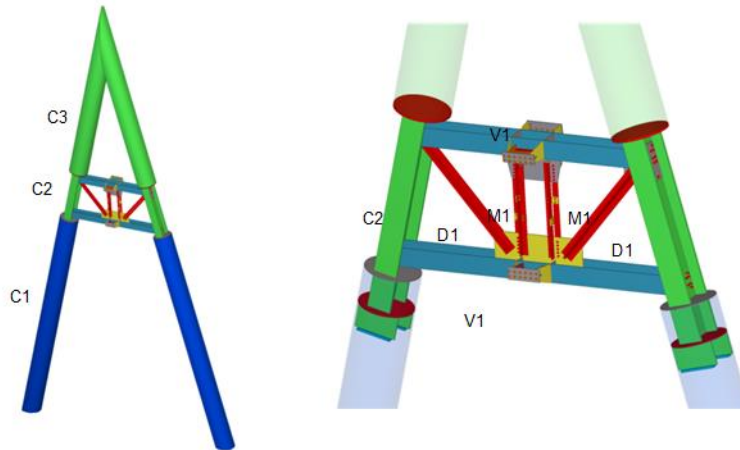


Figura 18. Módulo de columna

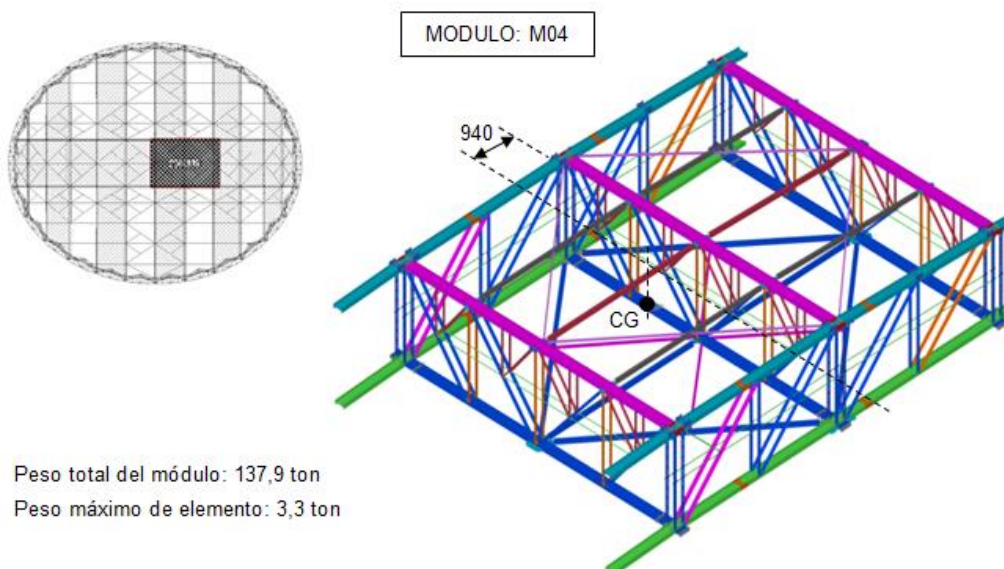
El peso de este conjunto completo es de 36.500 kg aproximadamente incluyendo accesorios. Los módulos son izados empleando una grúa mediante el uso de eslingas.

Una vez izado el módulo, la grúa lo transporta a su posición sobre sus respectivas placas base. El módulo se vincula a una biela de montaje, un elemento provisorio para proveer estabilidad durante la maniobra y para poder ajustar la posición del componente. La biela cuenta con un mecanismo en su base que le permite ajustar su posición. La misma se retira luego del montaje del módulo de cubierta que provee estabilidad lateral al módulo de columna.

Finalmente, una vez posicionado el conjunto en su ubicación de proyecto, se sueldan las columnas a las placas base. La verificación del posicionamiento de cada módulo se realiza mediante topografía con doble control.

3.5.2 Módulos de cubierta

Cada módulo de cubierta incluye un específico conjunto de barras por cuestiones de peso y de disponibilidad de grúas. (Figura 19)



Peso total del módulo: 137,9 ton
Peso máximo de elemento: 3,3 ton

Figura 19. Ubicación general en planta y vista 3d del módulo de cubierta M04.

Para el montaje de la cubierta se emplean seis (6) torres de apeo provisionarias (Figura 20). Fueron diseñadas para soportar el peso completo de la estructura y fuerzas horizontales para estructuras en construcción.

Se distinguen dos (2) tipos de torres, "C" y "G", ambas estructuras reticuladas con dimensiones generales en planta de 1.60x1.60m y soportadas lateralmente por cables (tensores). Los tensores permanecen colocados durante toda la etapa de montaje, y solo se permite quitarlos temporalmente durante algunas maniobras particulares.

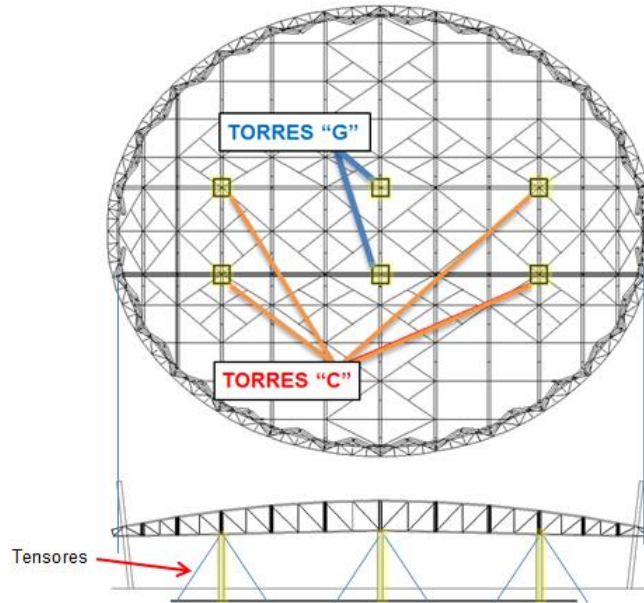


Figura 20. Esquema de ubicación de torres de apeo provisionarias

En la parte inferior de las torres se diseña un mecanismo simple para, una vez concluido el montaje de la estructura, liberar de carga a las torres para su remoción. El mecanismo consiste en una serie de pórticos apoyados sobre planchuelas. Las torres se levantan mínimamente empleando gatos hidráulicos y al retirar las planchuelas del apoyo se propicia un descenso parcial. (Figura 21)

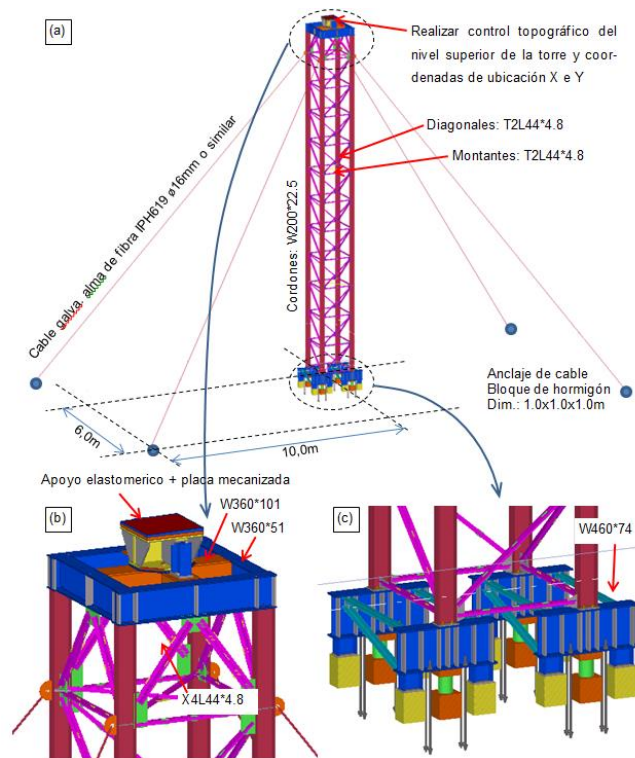
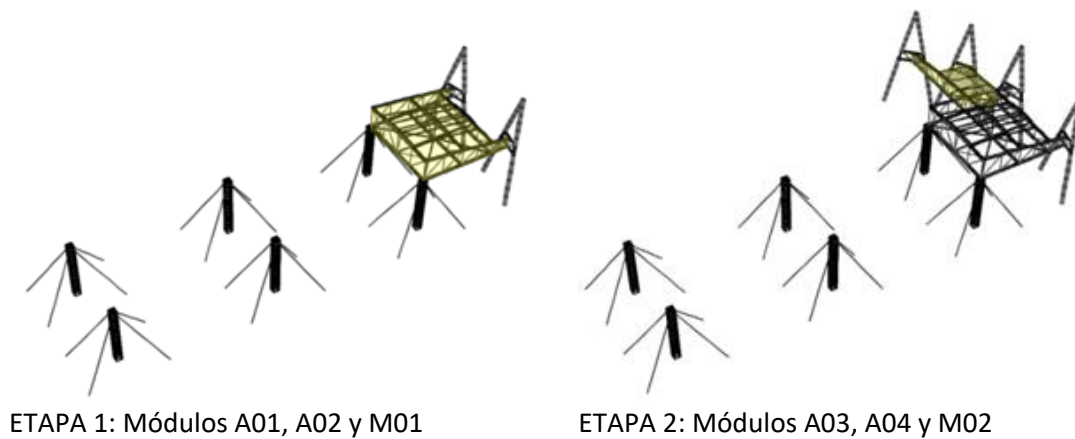


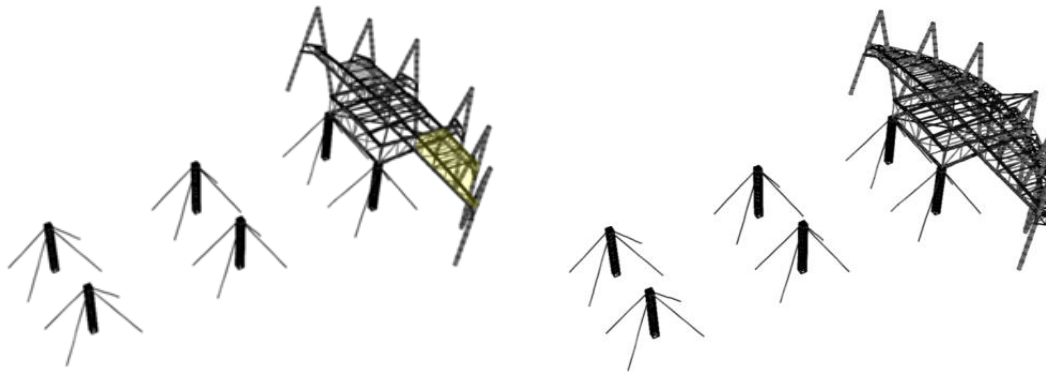
Figura 21. Torre de apeo provisoria tipo "C".

Las primeras etapas del montaje se muestran en la Figura 22. Las etapas sucesivas del montaje de la estructura, continúan hasta su finalización siguiendo la misma filosofía de las primeras etapas, se monta un módulo de cubierta central, luego los módulos adyacentes, para finalmente completar con el montaje individual de las barras faltantes.



ETAPA 1: Módulos A01, A02 y M01

ETAPA 2: Módulos A03, A04 y M02



ETAPA 3: Módulos A05, A06 y M03

ETAPA 4: Completar elementos faltantes

Figura 22. Primeras etapas del procedimiento de montaje

3.5.3 Análisis de las etapas de montaje

Debido a la complejidad del proceso de montaje y a la envergadura de la estructura se realiza un análisis del impacto del procedimiento de montaje en las solicitaciones observadas en los miembros de la estructura al terminar el montaje. Este tipo de análisis resulta relevante en el caso que se utilicen estructuras provisionarias de montaje, como es el caso de este proyecto. Para esto se emplea el software de análisis estructural SAP2000 que nos permite realizar un análisis de una construcción realizada por etapas (Figura 23). Tiene la particularidad que cada etapa comienza del estado deformado de la etapa anterior y por lo tanto considera la acumulación de las deformaciones y solicitaciones.

Se modelan las 25 etapas de montaje, y se observa que, al finalizar el montaje, los valores de interacción para los segmentos críticos del cordón superior de la cercha central longitudinal y para una combinación de cargas dada resultan entre un 8 a un 10 por ciento por arriba a los obtenidos aplicando un procedimiento tradicional de cálculo. El análisis inicial, en el que la estructura se modela enteramente en su lugar, sin considerar el efecto de utilizar estructuras provisionarias de montaje, y considerando que toda la carga para una determinada combinación se aplica conjuntamente y a la estructura no deformada, es deficiente en este caso donde los pesos propios son muy relevantes.

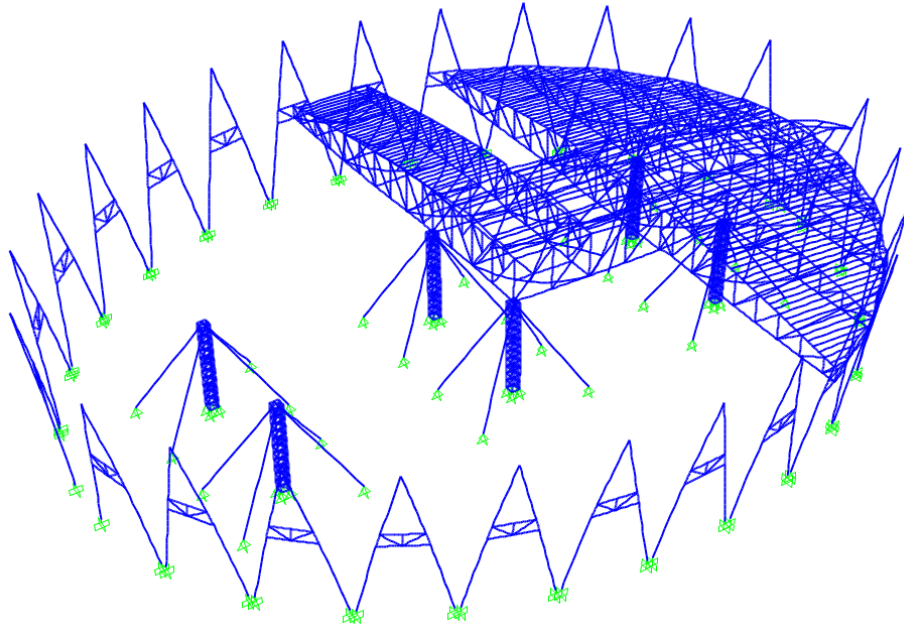


Figura 23. Etapa intermedia de montaje de la estructura. Modelo en SAP2000

3.5.4 Descenso de torres de apeo

Una vez montada la estructura se procedió a realizar el descenso de las torres de apeo para su remoción, utilizando el mecanismo mencionado con anterioridad.

De acuerdo al modelo de análisis estructural, se debía lograr un descenso teórico de 160mm en las torres de apeo centrales y 103mm en las torres laterales, para poder removerlas. Se prevé una pila de planchuelas de una altura acorde a los descensos esperados.

El descenso se realiza de a dos torres a la vez y de forma gradual, escalonado, para evitar sobrecargar las torres de apeo y distribuciones de esfuerzos en la estructura no deseadas. Para la maniobra se utilizan de 8 gatos hidráulicos de 100 toneladas de capacidad con una carrera mínima de 50mm, conectados a una central a través de un Manifold. (Figura 24)



Figura 24. Base de las torres de apeo (izq.) equipo de bombeo (der.)

Una vez que las torres se levantan mínimamente de sus apoyos se remueven planchuelas de los apoyos, y luego se liberan lentamente los gatos hidráulicos generando que las torres desciendan una altura igual al espesor de planchuelas removidas.

Las torres de apeo centrales dejaron de soportar la estructura de la cubierta luego de la maniobra de descenso número 19. En las maniobras sucesivas lo dejaron de hacer las torres laterales.

Luego de remover todas las torres de apeo los descensos medidos en sus posiciones fueron de 175mm para la ubicación de las torres centrales, 111mm para las torres laterales del sur y 103mm para las torres laterales del norte, valores muy cercanos a los teóricos.



Figura 25. Montaje de módulo de cubierta lateral



Figura 26. Estructura de la cubierta una vez finalizado el montaje y la remoción de las torres de montaje



4 CONCLUSIÓN

Este proyecto significó un gran desafío para la empresa Cinter debido a su magnitud, relevancia a nivel nacional, complejidad arquitectónica y tipología estructural resultante.

El éxito de la obra radicó en el trabajo comprometido y coordinado de todas las partes intervinientes: desde el diseño y dimensionamiento de la estructura teniendo en consideración todas las etapas intermedias hasta su disposición final; la ingeniería de detalle para convertir la idealización del cálculo en documentación apta para fabricar; la fabricación con sus estrictos controles de calidad y, por último, el montaje cuya complejidad implicó un seguimiento fiel al procedimiento preestablecido para evitar desvíos. Todo ello permitió concretar una estructura poco convencional y desafiante.

Agradecimientos

Es importante realizar un reconocimiento a todas las personas que colaboraron con su aporte para lograr la materialización de este enorme proyecto.