

ESTRUCTURA METÁLICA DE CUBIERTA ESTADIO MULTIPROPÓSITO C.A.R.D. DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE.

Gómez, José; Ingeniero Mecánico; Cinter SRL. (jose.gomez@cinter.com.ar)

Rigiardi, Ezequiel; Ingeniero Civil, Esp.Ing.Est.; Cinter SRL. (ezequiel.rigiardi@cinter.com.ar)

Lucciano Müller, Manuel; Ingeniero Civil; Cinter SRL. (manuel.muller@cinter.com.ar)

Erck, Pablo; Ingeniero Civil; Cinter SRL. (pablo.erck@cinter.com.ar)

Palabras clave: estructura metálica, vigas reticuladas, contraflecha.

RESUMEN

La estructura forma parte de la cubierta del nuevo Estadio Multipropósito del Centro de Alto Rendimiento Deportivo (CARD), de la ciudad de Santa Fe. Sede de los XIII Juegos Suramericanos (ODESUR).

Se trata de una cubierta metálica de grandes luces y una superficie interior sin columnas con 75.20 m de longitud por 52.45 m de ancho con una altura libre interior de 11.45 m. La estructura está compuesta por dos vigas reticuladas principales de apeo, dispuestas longitudinalmente, con una luz de 57.40 m y voladizos de 8.80 m en ambos extremos. Estas transmiten los esfuerzos verticales y horizontales hacia los únicos cuatro puntos de apoyo de toda la cubierta, resueltos como columnas de hormigón de Ø1.20 m. En sentido transversal, se disponen vigas reticuladas secundarias de 37.40 m de luz con un paso típico de 5.00 m, y voladizos asimétricos de 6,30 m y 9,15 m.

Para ejecutar el montaje se evaluaron alternativas de distinta complejidad. Se optó por el izaje individual de las vigas principales en una sola maniobra mediante dos grúas de 100 t, previendo en el armado una contraflecha para contrarrestar la deformación a causa del peso propio. El resto de la estructura se montó en módulos.

ABSTRACT

The structure is part of the roof of the new Multipurpose Stadium of the Sports High Performance Center (CARD), in Santa Fe. This building will host the XIII South American Games (ODESUR).

It is a steel roof with large spans and an interior surface free of columns, measuring 75.20 m in length by 52.45 m in width, with an interior clear height of 11.45 m. The structure consists of two main longitudinal transfer trussed beams, with a span of 57.40 m and 8.80 m cantilevers at both ends. These transmit vertical and horizontal loads to the roof's only four support points, designed as Ø1.20 m concrete columns. In the transverse direction, secondary trussed beams with a 37.40 m span are arranged at a typical spacing of 5.00 m, featuring asymmetrical cantilevers of 6.30 m and 9.15 m.

Different complexity alternatives were evaluated for the erection process. The team decided to lift the main beams individually in a single maneuver using two 100 t cranes, including a pre-camber to counteract deflections caused by their own self-weight during this stage of construction. The rest of the structure was assembled in modules.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

La cubierta del estadio multipropósito CARD de la ciudad de Santa Fe, ubicado en la capital provincial, es un proyecto de envergadura nacional, que se inició por parte de la administración provincial para dar respuesta al evento deportivo de los Juegos Sud-americanos ODESUR del año 2026.

Se trata de un espacio cubierto pensado para la práctica de múltiples disciplinas deportivas olímpicas de tipo indoor, con sus respectivas infraestructuras para tribunas, palcos, cabinas de transmisión y dependencias para los eventos deportivos, como así también un amplio rango de usos recreativos, culturales y educativos. Las dimensiones de la arena central permiten su uso como estadio de basquetbol, handball y voleibol. Sobre el perímetro del campo se ubican gradas y palcos con un aforo total de 3472 espectadores, con accesos de emergencias en el sector norte y 4 núcleos de circulación vertical en los vértices del proyecto. Toda esta infraestructura es de hormigón.

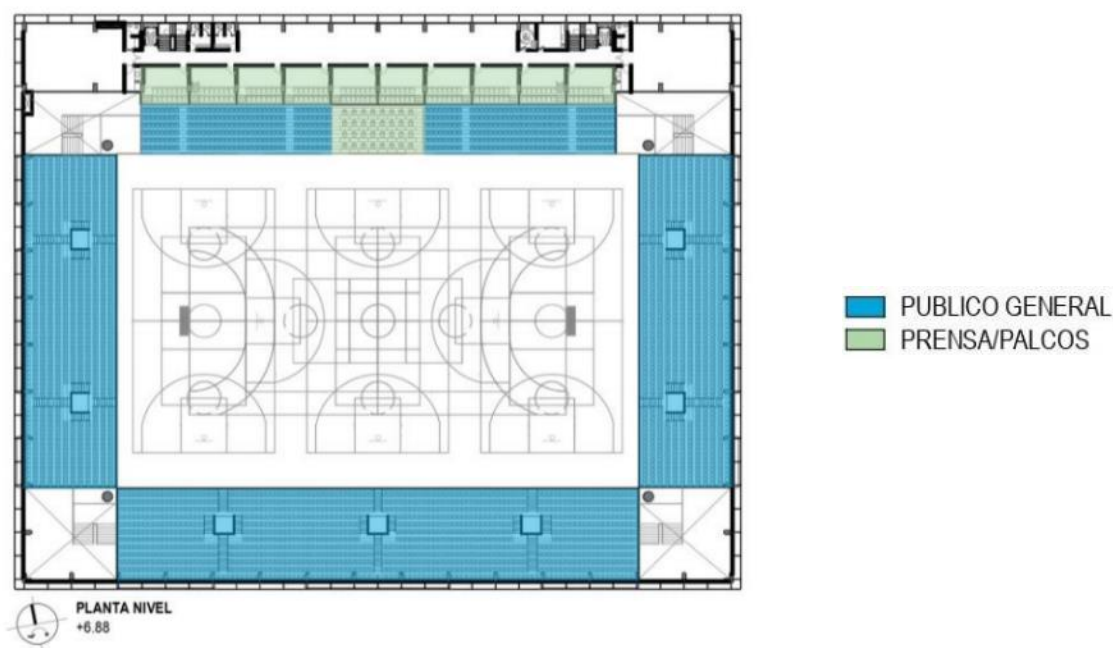


Figura 1. Planta del campo de juego y ubicación de gradas

El presente trabajo se centra en la descripción del proceso de ingeniería, fabricación y montaje de la estructura de acero de la cubierta, que tiene una superficie total aproximada de 8.000 m²

ANTECEDENTES

La propuesta de la cubierta definida por el pliego original partía de un anteproyecto, cuyas hipótesis básicas debían respetarse. A partir de esas premisas, se diseñó una nueva estructura metálica conservando la ubicación de los apoyos principales, pero modificando la concepción estructural inicial para optimizar su fabricación y montaje.

La solución adoptada permitió aprovechar técnicas de fabricación más industrializadas y materiales disponibles en la región. Como resultado, se obtuvo una propuesta más liviana, rentable y económica, que contribuyó a la competitividad del proyecto y a la obtención de la licitación pública.

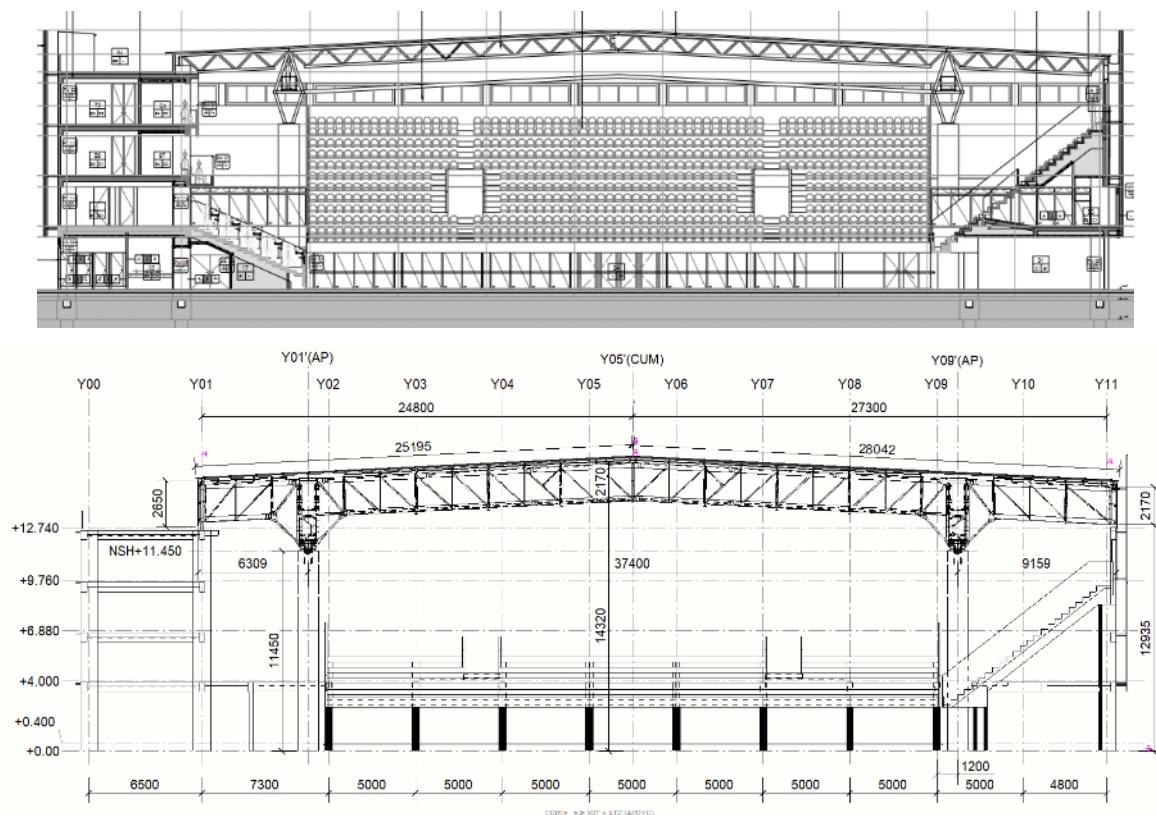


Figura 2. Estructura de cubierta de pliego y nueva estructura diseñada

DESARROLLO DE LA INGENIERIA

Definición de la tipología de los elementos estructurales

Las estructuras de hormigón correspondientes a gradas y entresijos se desarrollan sobre el perímetro del campo de juego y alcanzan el nivel de cubierta. Por esta razón, en la etapa inicial se evaluó la posibilidad de utilizar estos elementos como apoyo para la estructura metálica. Sin embargo, como criterio de diseño se decidió independizar la cubierta del avance de montaje de la obra civil, evitando así condicionamientos constructivos asociados a las estructuras de hormigón.

A partir de esta decisión, la premisa principal fue respetar la posición de los puntos fijos definidos para la cubierta, materializados por las columnas circulares de hormigón. Con esta condición, se adoptaron dos vigas principales de apeo dispuestas en sentido longitudinal, encargadas de recibir las vigas transversales de la cubierta. Debido a las luces involucradas en ambos sentidos, la solución mediante vigas reticuladas resultó la alternativa más eficiente.

Organiza:

La geometría de las vigas principales respondió a dos condicionantes: garantizar la visibilidad hacia el campo de juego desde los palcos y permitir la correcta vinculación con las vigas transversales. Por ello, las vigas de apeo mantienen una altura constante de 3,62 m entre apoyos y presentan altura variable en los voladizos, hasta alcanzar 2,00 m en los extremos. Las vigas transversales, por su parte, tienen una altura constante de 2,00 m, acompañan la pendiente de la cubierta y se proyectan de forma continua sobre las vigas de apeo, con voladizos de 9,15 m y 6,30 m.

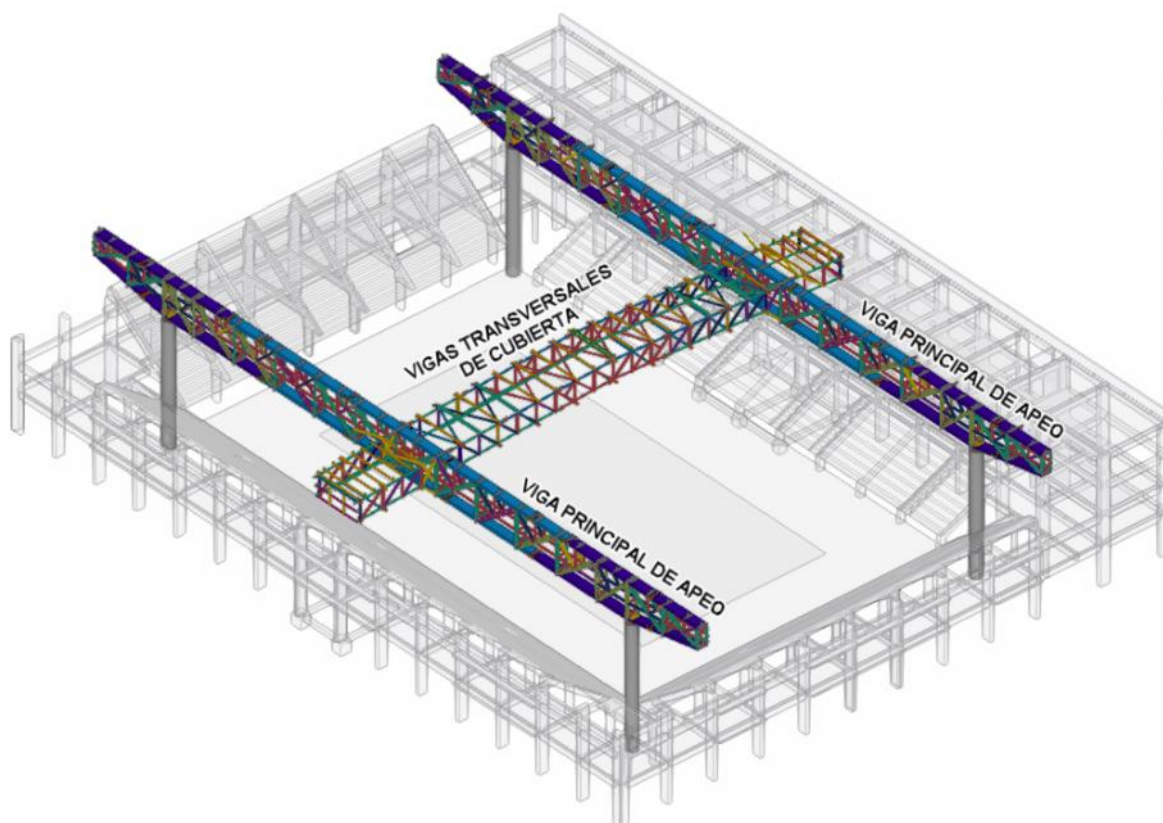


Figura 3. Vista de vigas principales de apeo y secundarias de cubierta

Uno de los aspectos más relevantes en este tipo de estructuras, y sobre todo en este caso en particular en el que se debe trabajar en un entorno ya construido, es el estudio del armado de las piezas en sitio y la ejecución del montaje. Está claro que, con las dimensiones de estas vigas, el transporte de las mismas completamente armadas a la obra no es viable.

Por lo tanto, para las vigas principales de apeo, se optó por un sistema de reticulado con cordones de sección doble T, disponiendo el alma en posición horizontal, de forma de dotar a los cordones de una buena rigidez fuera del plano, pensando en las instancias intermedias de montaje. Las diagonales y montantes se desarrollan en los planos de las alas de los cordones doble T y se materializaron mediante perfiles L laminados, dobles o cuádruples presillados.

Para las vigas secundarias se optó por un sistema de viga reticulada similar donde los cordones son de sección T, con el alma dispuesta hacia adentro permitiendo la conexión de las diagonales y montantes, para estos últimos se respeta la misma geometría con perfiles L. Sobre el ala del cordón superior se colocan los soportes de correa de cubierta, los cuales se conectan de forma abulonada con el fin de facilitar la fabricación al no adicionar elementos soldados y únicamente realizar agujeros sobre las piezas.

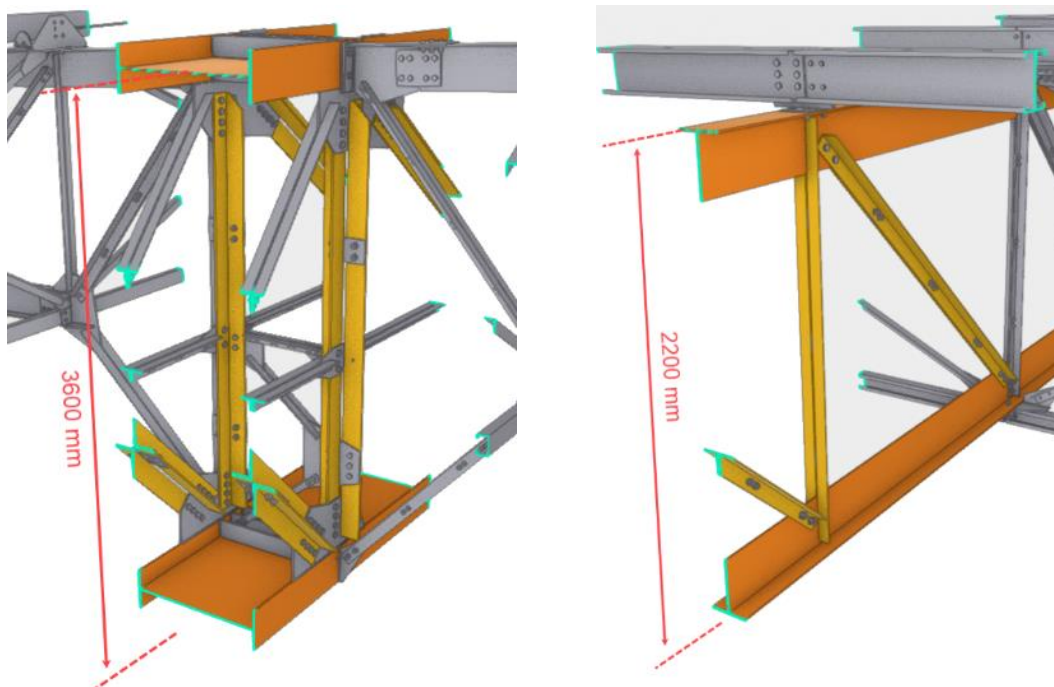


Figura 4. Geometría viga de apeo. Geometría viga transversal

En la Figura 5 se observa un esquema de la geometría típica de las vigas transversales que se disponen con una separación entre ellas de aproximadamente 6.00m, lo que genera la posibilidad de disponer correas conformadas tipo C cada 2.00m para dar soporte al paquete de cubierta, coincidiendo con el paso entre montantes del reticulado. Estas se proyectaron con el objeto de transportarlas de forma pre armada, con el fin de reducir el trabajo en obra. Esto es posible dado que las dimensiones adoptadas resultan compatibles con las condiciones de transporte.

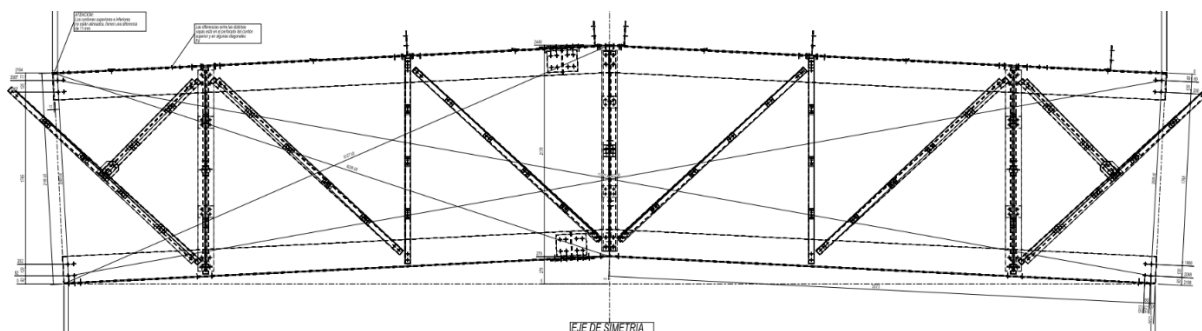


Figura 5. Esquema típico del pre armado de vigas transversales

Análisis estructural

El análisis de la estructura se realizó mediante un modelo de elementos finitos con el uso software tridimensional. Se utilizó RAM Elements, y se complementaron los análisis con el uso de diferentes softwares y planillas de cálculo para el dimensionamiento de conexiones y otras especialidades.



Figura 6. Modelo estructural en elementos finitos.

Como particularidad en el análisis, es correcto considerar a las vigas de apeo como un elemento tridimensional al estar sus diagonales y montantes conectadas a las alas del cordón que se encuentra dispuesto de manera horizontal. Por lo tanto, un análisis como elemento tipo barra puede estar dejando de lado esfuerzos no considerados debido a excentricidades, por este motivo se modelaron los cordones de una de las vigas con elementos tipo placa para estudiar correctamente su comportamiento tensional y contrastar los esfuerzos con el modelo de barras.

El análisis de los nudos y empalmes más importantes se realizaron mediante Idea StatiCa, un software especializado en conexiones metálicas.

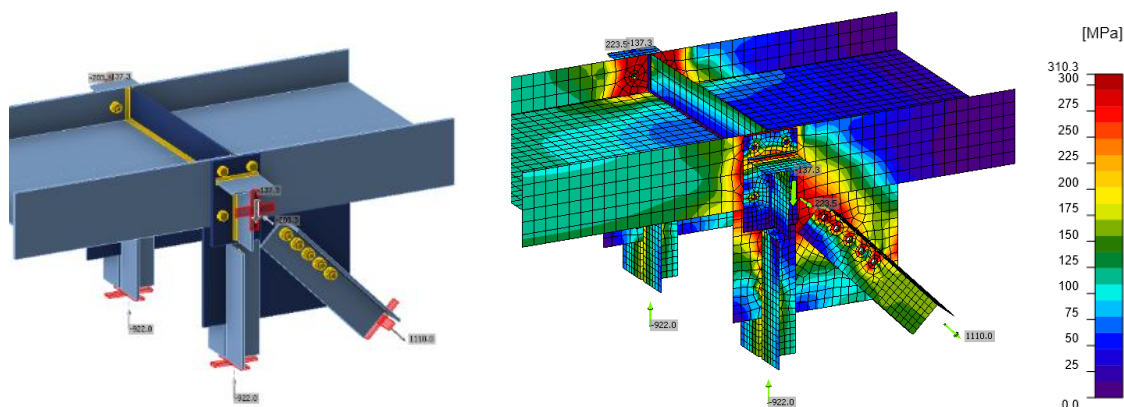


Figura 7. Modelo de cálculo de un nudo de viga de apeo. Resultados de tensiones en placas

Otro de los aspectos fundamentales tiene que ver con el análisis de las etapas de montaje previstas para asegurar, por un lado, que no se genere un impacto determinante en las relaciones de esfuerzos finales y, además, asegurar la estabilidad lateral de los elementos durante todas las instancias de montaje.

Para el montaje de las vigas de apeo se estudiaron dos variantes, en un primer planteo se propuso izar la misma en 2 etapas utilizando una torre provisoria, la cual fue descartada debido a las interferencias adicionales al ejecutar las fundaciones para dichas torres.

Finalmente, como solución definitiva, se decidió ejecutar el izaje de la viga completa de 75.00m. Para esto se analizaron diferentes utilajes provisorios de montaje, soportes sobre las columnas de hormigón para retener lateralmente el cordón superior de las vigas, arriostramientos y tensores provisorios, y cáncamos especiales. Esto se detalla con más profundidad en el apartado destinado al montaje.

Ingeniería de detalle

Finalizada la etapa de dimensionamiento, más allá de los ajustes e iteraciones en función de las soluciones constructivas, se inició el proceso de ingeniería de detalle, donde, mediante software especializado, se traduce la maqueta de cálculo directamente en una maqueta tridimensional de elementos sólidos, a la cual se aplicaron 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 realizaron los cómputos de materiales, bulonería, pinturas, etc., permitiendo la formulación de reportes detallados, planos de fabricación y de montaje (Figura 8).

El traslado de toda la información de diseño desde el software de elementos finitos utilizado (RAM Elements) y el software de detallamiento (Tekla Structures) se realizó mediante un archivo de intercambio neutro de extensión .sdn (Steel detail neutral file).

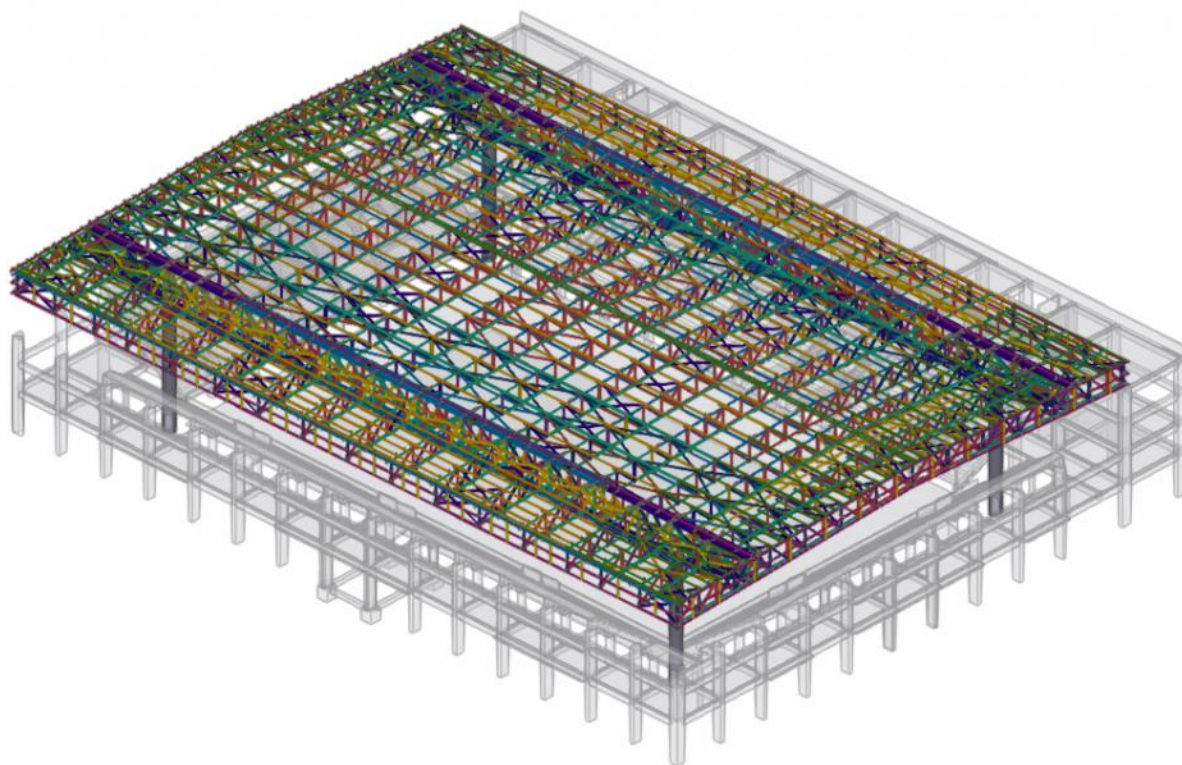


Figura 8. Modelo BIM para el desarrollo de la ingeniería de detalle

El traspaso de información entre modelo de cálculo y maqueta de detalle, así como luego el traspaso a las máquinas de fabricación, se produjo completamente en forma electrónica mediante archivos de control numérico, evitando o minimizando la intervención humana y los posibles errores que esto conlleva. En el proceso de detallamiento de la estructura se procedió 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. En la Figura 9 se puede observar el apoyo de la viga de apeo sobre las columnas de hormigón y el encuentro con las vigas transversales de cubierta, realizado en el modelo tridimensional para detallamiento.

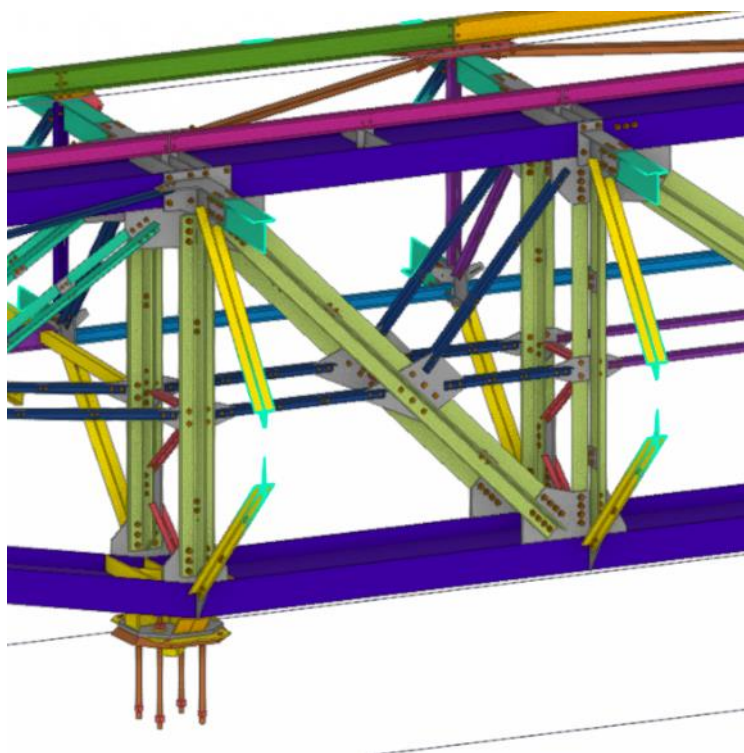


Figura 9. Detalle de nudo. Modelo BIM para fabricación

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

Una vez finalizado el modelado se emitieron los planos de fabricación de la obra, los reportes de insumos, piezas y planos de montaje con las indicaciones necesarias para el “armado” de la obra.

Es importante destacar la importancia del trabajo coordinado con el equipo de arquitectura y de revisión del ente provincial para facilitar y asegurar una solución estructural acorde con las funciones del proyecto y con los ideales estéticos. En este caso en particular, la geometría final surge de limitaciones funcionales, por ejemplo, las vigas de apeo poseen la altura limitada por la visibilidad al campo desde los palcos.

FABRICACION

La fabricación de la obra se desarrolló en la planta ubicada en el parque industrial de Sauce Viejo, Santa Fe.

Las vigas secundarias se fabricaron y armaron en el taller en longitudes de hasta 14m que permiten un fácil transporte, con el objeto de entregar a obra un producto armado, disminuir los trabajos en sitio y reducir el número de piezas individuales sueltas. Los empalmes entre tramos, para lograr las longitudes de vigas definidas en el proyecto, se realizaron mediante cubrejuntas y bulones pretensados, es por esto que las zonas de empalme se enmascararon y revistieron con pintura epoxi especial, de esta manera se obtiene una superficie con recubrimiento Clase B.

Además, con el objeto de reducir las deformaciones por peso propio durante el estado de montaje, se generó una contraflecha sobre estas vigas, la misma se logró produciendo un quiebre en los diferentes puntos de empalme de los cordones.



Figura 10. Pre armado en taller de vigas secundarias

Las vigas principales de apeo, que se componen de cordones de sección doble T armados mediante el soldado de 3 chapas y diagonales y montantes en base a perfiles doble ángulo presillados, se fabricaron por partes en el taller y se enviaron a obra en donde, previo a la maniobra de izaje, se armaron mediante uniones abulonadas. Los cordones de las vigas reticuladas son perfiles doble T de 1000mm de canto y 300mm de ancho de alas. Los espesores de ala y alma van variando según varían los esfuerzos normales que solicitan al reticulado. El armado de estos perfiles se realizó en una máquina especial que suelda de forma simultánea ambos cordones de soldadura que conectan el alma con cada ala. La soldadura se realiza mediante un procedimiento de arco sumergido y bajo estrictos controles de calidad. La misma, tiene la capacidad de ajustar las deformaciones en las alas que se generan por el aporte de calor debido al proceso de soldadura.

Organiza:

Al igual que las vigas transversales, las zonas de empalme se enmascararon y pintaron para lograr una superficie Clase B, esto puede notarse con un color diferente en la Figura 11. Además, se repitió el proceso de generar una contraflecha sobre los cordones.



Figura 11. Sección de empalme en cordones de vigas de apeo

MONTAJE

Al momento de comenzar con los trabajos de armado a pie de obra, la superestructura con las columnas de hormigón se encuentra ejecutada, a la espera del apoyo de la cubierta, y a su vez parte de los sectores de tribuna e infraestructura de usos se encuentran en pleno desarrollo, lo cual dificulta los trabajos de montaje al limitarse los espacios para ubicar las grúas.



Figura 12: Estado de la obra al momento del comienzo de los trabajos de armado

La secuencia de montaje tiene la premisa de garantizar en todo momento la estabilidad de los elementos a medida que avanzan las maniobras de izaje. Por lo tanto, una vez montadas las vigas de apeo, se continuó con la colocación de un módulo central de cubierta, luego el avance es simétrico hacia ambos extremos, completando por último con los módulos correspondientes a los voladizos. Estos módulos se conformaron mediante dos vigas secundarias vinculadas entre sí por las correas de cerramiento, puntales, arriostramientos y elementos provisionarios de estabilización lateral.

En la siguiente figura se muestra la secuencia enumerada prevista para el izaje de módulos de cubierta.

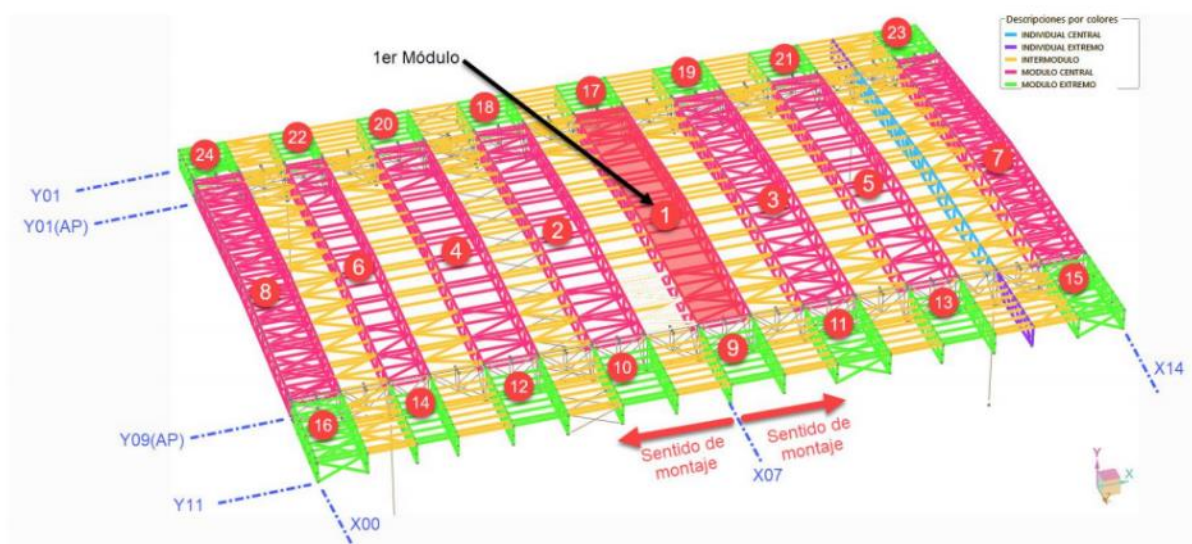


Figura 13. Secuencia general de montaje

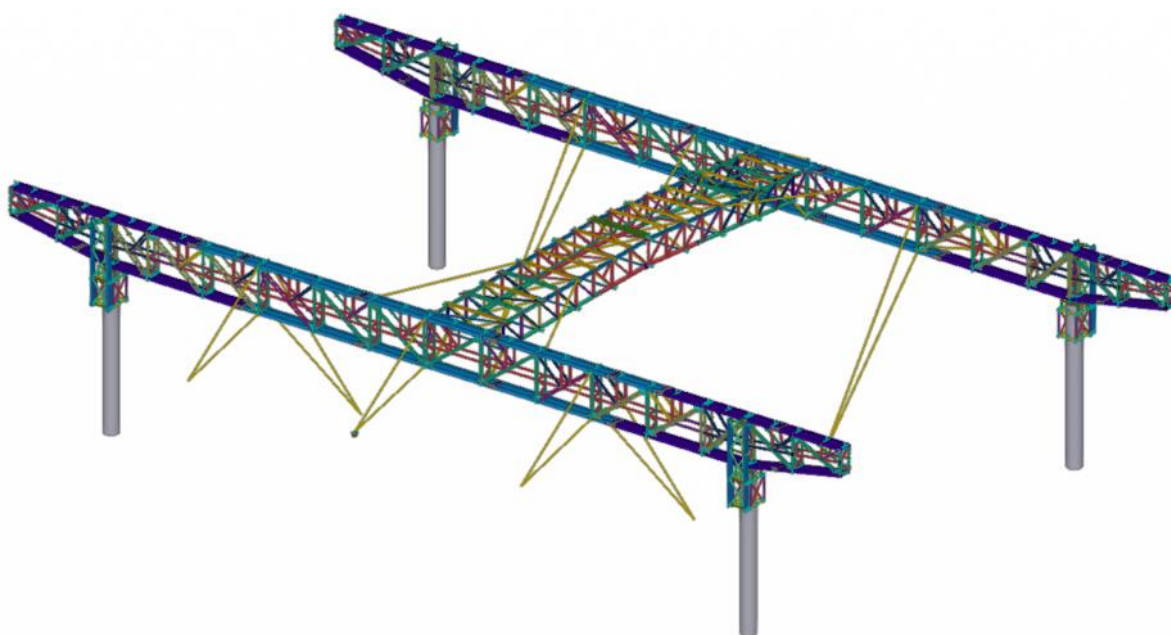


Figura 14. Secuencia inicial de montaje de vigas de apeo y primer módulo de cubierta

Armado y montaje de vigas principales de apeo

En primer lugar, las vigas se armaron a nivel de piso en tramos entre 10m y 15m, en posición horizontal sobre caballetes metálicos, luego se verticalizaron reteniéndolas lateralmente mediante tensores provisionarios anclados al suelo. El armado en posición vertical debe contemplar la contraflecha necesaria, para esto se realizó un estudio detallado de piezas especiales para que la viga genere la curvatura necesaria, ayudándose de la regulación en altura que permiten los caballetes de apoyo y verificando la misma mediante topografía. Los bulones de los cubrejuntas de empalme se pretensionaron mediante llave neumática y método reglamentario del giro de la tuerca.

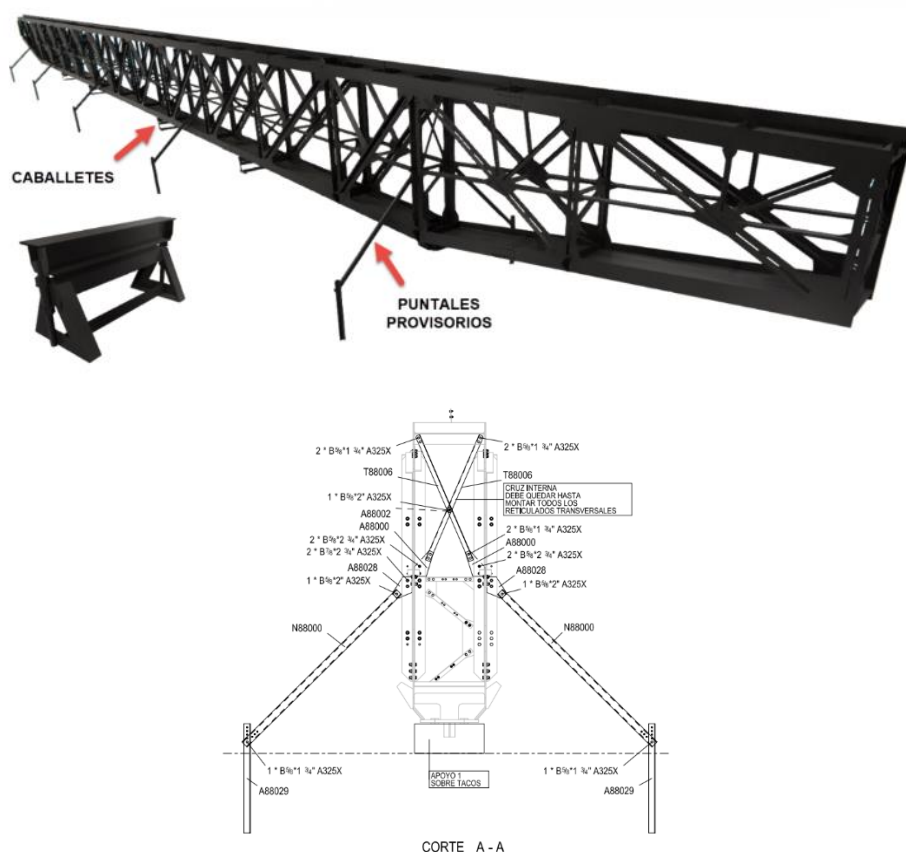


Figura 15. Accesorios provisionarios para verticalización de viga de apeo

Con el fin de retener lateralmente el cordón superior una vez que se encuentren montadas, se diseñaron y colocaron mediante anclajes químicos, soportes metálicos ubicados sobre las columnas de hormigón, los mismos permiten regulación tanto en vertical como en horizontal. Las vigas se montaron en una sola maniobra mediante la utilización de dos grúas de 100 toneladas cada una.

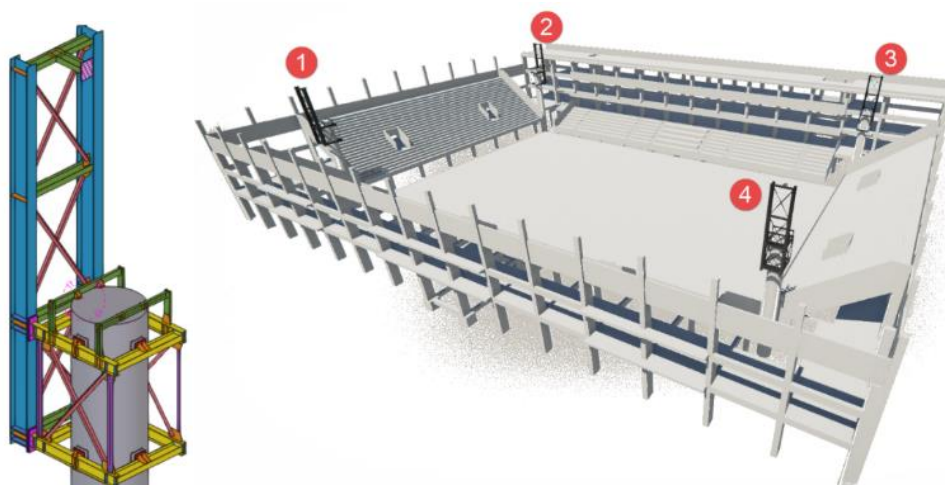


Figura 16. Soporte provisorio para retener lateralmente las vigas de apeo



Figura 17. Armado y verticalización de vigas de apeo



Figura 18. Izaje de la primer viga de apeo mediante dos grúas

Armado y montaje de módulos de cubierta

Como se indicó anteriormente, las vigas secundarias se trasladaron a obra parcialmente armadas, divididas en tres tramos. Una vez allí, se ensamblaron entre sí y se conformaron módulos compuestos por dos vigas, con el fin de garantizar su estabilidad durante el montaje. El armado de estos módulos se realizó en posición vertical sobre caballetes que poseen regulación en altura para controlar la contraflecha prevista para estas vigas.

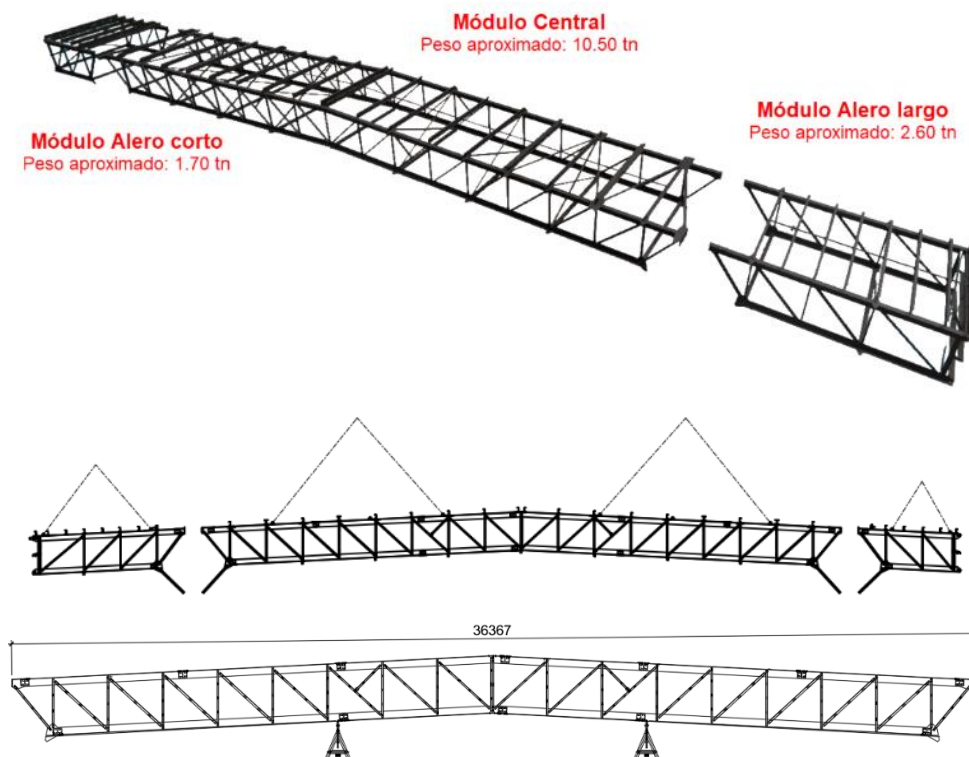


Figura 19. Esquema de armado de módulos a nivel de piso



Figura 20. Armado de módulos en obra



Figura 21. Montaje del primer módulo de cubierta

Relevamiento fotográfico



Figura 22: Montaje de segunda viga de apeo



Figura 23. Estado luego de la primer instancia crítica de montaje



Figura 24. Montaje de módulos 2 y 3 de cubierta

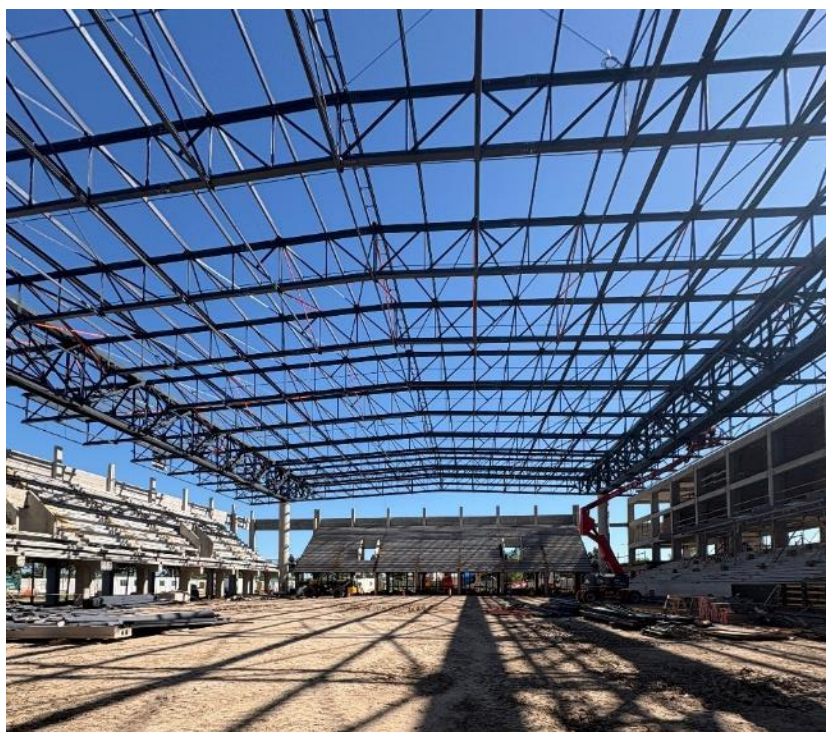


Figura 25. Estructura principal terminada y completamiento de elementos menores



Figura 26. Vista aérea de la estructura de cubierta con avance de paneles de cerramiento

Colaboradores:

Ing. Civil Candela Solia y Darío Bregains por el desarrollo de la ingeniería de detalle.