

CUBIERTA METALICA

ESTADIO CUBIERTO ORFEO - CIUDAD DE CORDOBA

José A. GOMEZ

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar el proceso de diseño estructural, la fabricación y montaje de una de las cubiertas metálicas más grande del país.

La misma se trata de un estadio cubierto con capacidad para 7000 espectadores sentados. Las dimensiones máximas en planta y luces libres del mismo son 96 metros de largo por 74 metros de ancho.

La estructura de cubierta fue diseñada íntegramente de acero. La misma consta de un marco de vigas reticuladas principales cruzadas de 5 y 6 m de altura, que cubren las luces máximas antes mencionadas y sirven de apoyo a un sistema de vigas secundarias también reticuladas de una altura máxima de 3m. Toda la estructura secundaria de cubierta apoya perimetralmente al estadio sobre un muro de hormigón armado.

Es interesante destacar la diferente tipología de las vigas. Mientras las vigas principales se generan con cordones de perfiles doble T armados, de 1 metro de alto por 50cm de ancho de ala, y diagonales con perfiles ángulo, las vigas secundarias están compuestas por elementos de secciones delgadas conformadas en frío. Los dos tipos de vigas se arman mediante abulonado. En el caso de las vigas principales el armado se realiza en obra, condición indispensable del proyecto para facilitar el transporte desde el lugar de fabricación en Santa Fe hasta la ciudad de Córdoba. Las vigas secundarias son transportadas armadas en tramos de 12 metros de longitud.

El análisis estructural se realizó mediante el modelado de la cubierta completa en 3D, con un software comercial de elementos finitos. Para el dimensionamiento se siguieron los lineamientos de AISC (ASD) y, de AISI, para el caso de las secciones delgadas.

Autor:

José A. GOMEZ

Personal de Cinter que participó de la obra:

Arquitectura: Arq. Rolando Bucci

Cálculo: Ing. Héctor Ruffo

Ingeniería de detalle: Ing. Pedro Rosa, Héctor Taboga

Fabricación: Ing. Mario Amer

Montaje: Ing. Gabriel Garro, Juan Pobor

Desarrollo del proyecto:

- 1- Diseño
- 2- Cálculo estructural
- 3- Ingeniería de Detalle
- 4- Fabricación
- 5- Montaje

1- Diseño:

El proyecto nace de un pedido de cotización realizado por el comitente, el grupo empresario cordobés Dinosaurio S.A.. La estructura originalmente proyectada poseía una cubierta formada por un doble domo.

Dadas las condiciones económicas del país que se venían deteriorando, Cinter se abocó a estudiar una estructura que, satisfaciendo los requerimientos arquitectónicos exigidos por el cliente, resultara económicamente competitiva y asegurase poder competir en plazos y costos.

La estructura además estaba condicionada por el avance de la obra de hormigón armado, que a esa altura de los acontecimientos estaba en ejecución, y había sido dimensionada para tomar las reacciones de la cubierta originalmente propuesta en pliego y que básicamente constaba de dos grandes vigas longitudinales de aproximadamente 100 metros de luz, sobre la que se apoyaban vigas transversales simplemente apoyadas.

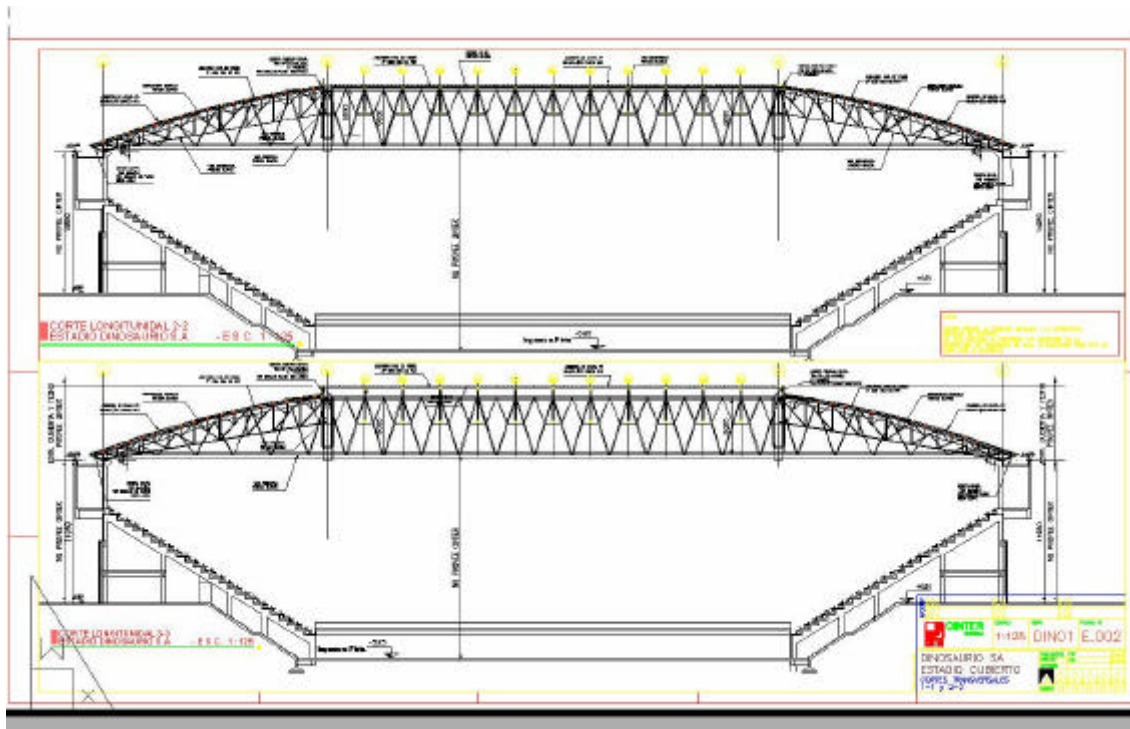
Para lograr una estructura competitiva desde el punto de vista económico, se planteó una solución sobre la base de 4 vigas cruzadas (los que originaba reacciones en zonas no previstas sobre el hormigón) complementada por vigas transversales livianas.

Tratado este tema con el ingeniero calculista de hormigón de la obra, surgió la posibilidad de reforzar 4 zonas en las paredes longitudinales, para poder tomar reacciones del orden de las 100 tn. A partir de este condicionante, y dado que la reacción total de cargas muertas y vivas estaba en el orden de las 800 tn, se tuvo que dimensionar las vigas de la estructura que forman un conjunto hiperestático, de manera que las más cortas, que tenderían a tomar mayor reacción por ser más rígidas, no sobrepasaran las cargas permitidas.

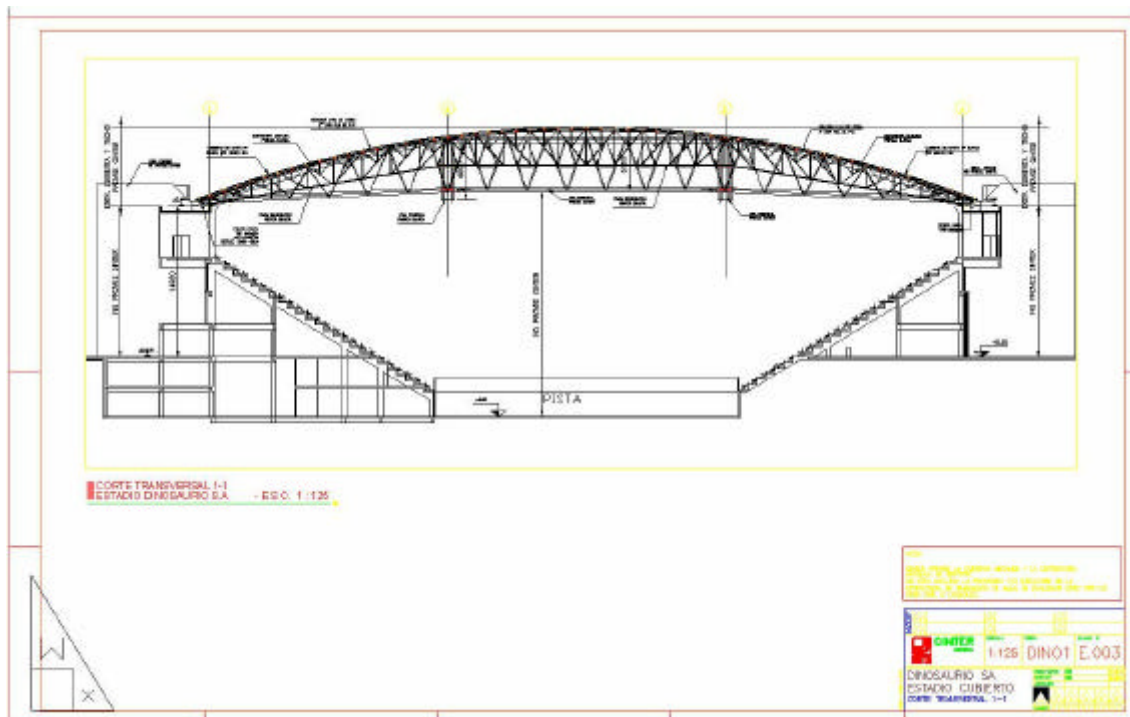
Para lograr esto se realizaron las vigas más largas con una altura de 6 metros y las cortas con una de 5 metros, con lo que se obtuvieron rigideces acordes con lo requerido, lo que se complementó con el hecho de hacer colaborar las vigas transversales secundarias para soportar las vigas principales, tomando parte de la reacción total.

Con este esquema se logró llevar las reacciones a los valores admisibles por las estructuras de hormigón ya ejecutadas.

Arquitectónicamente se resolvió la estructura en forma tal que se aproximase lo más posible a una bóveda, aunque sin serlo formalmente, con lo que se cumplió también con un tema importantísimo: la faz estética.



1 - Corte Longitudinal

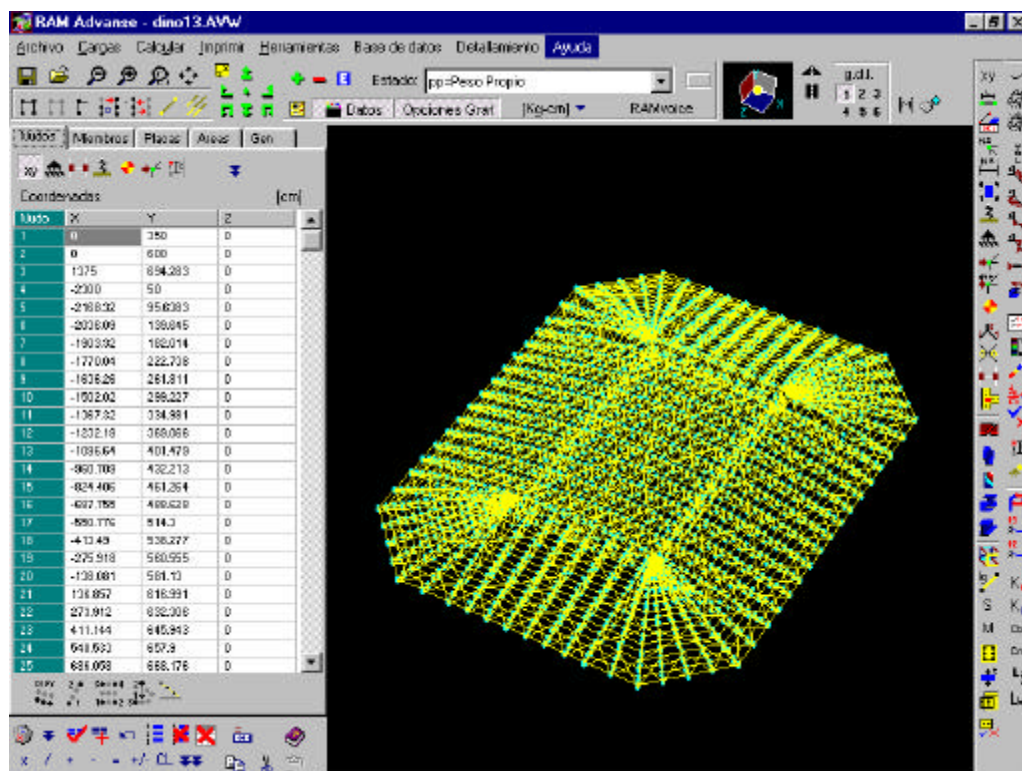


2- Corte transversal

2- Cálculo estructural

El análisis estructural, se realizó sobre un modelo en 3D en el que se modelaron todos los elementos de la estructura, con sus correspondientes vínculos, secciones y dimensiones, utilizándose el programa Ram Advance.

El modelo realizado consta de aproximadamente 12.000 elementos, y permitió un análisis detallado de las solicitaciones sobre cada uno de los componentes, en los distintos estados y combinaciones analizados, sobre la base de las cuales se procedió al dimensionamiento según los lineamientos de AISC/ASD, coincidentes con la nueva reglamentación propuesta por Cirsoc.



3- soft de cálculo 3D – Ram advance

Constructivamente, las vigas principales longitudinales de 96 metros de luz y transversales de 76 metros de luz, se diseñaron en función de las posibilidades constructivas y de transporte de la empresa, realizándose una estructura que recurre a soluciones inéditas en el mercado.

Dado su altura (6 metros) se optó por una solución reticulada, con cordones, diagonales y montantes totalmente abulonados.

Los cordones, que toman esfuerzos del orden de las 500 tn, se realizaron de sección TT soldada, de 1000 mm de alma y 500 mm de ala, en espesores de 19 y 25.4 mm,

en tramos del orden de los 12 metros, por razones constructivas y de transportes, abulonados entre sí mediante uniones por rozamiento (slip critical).

Las diagonales y montantes se realizaron en base a doble ángulo, abulonadas a cada una de las alas de los cordones, con rompetramos que aseguran su estabilidad.

Las vigas secundarias de 75 metros de luz quedaron divididas en 3 tramos, por razones de transporte, y se llevaron a la obra pre armadas. Tienen una altura máxima de 3.6 metros y se construyeron con cordones, diagonales y montantes de perfiles conformados en frío, en nuestra empresa, siendo un diseño estructural propio de Cinter.

Las vinculaciones de los distintos elementos de las estructuras son totalmente abulonadas, con bulonería ASTM A 325.

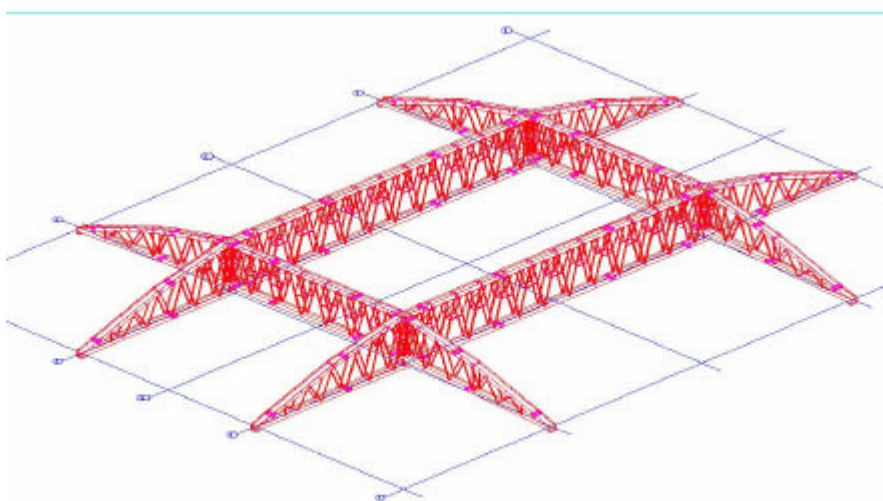
La estructura, tanto en las vigas principales como secundarias posee patines de apoyos que permiten cambios de longitud debidas a las acciones térmica y climáticas, realizados en teflón/acero inoxidable.

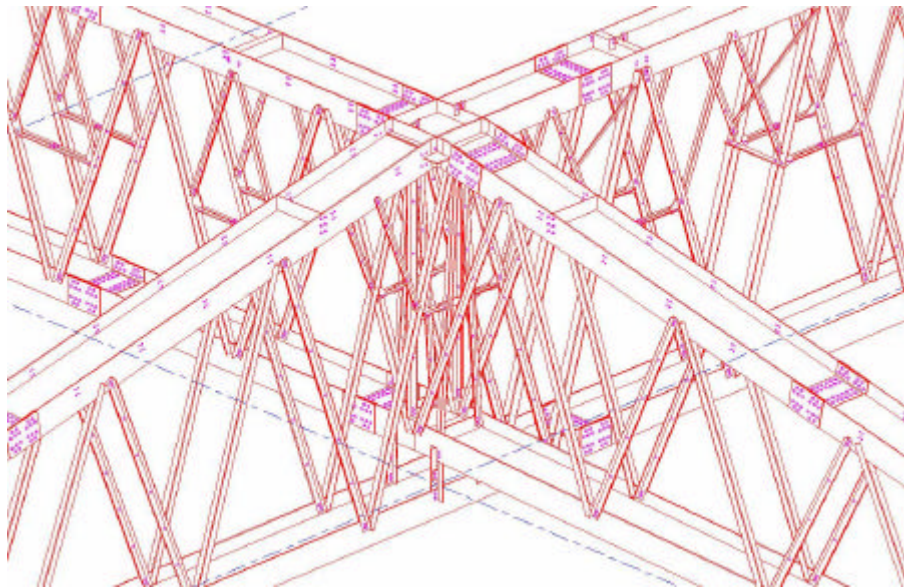
3- Ingeniería de Detalle.

Para realizar la ingeniería de detalle de la estructura principal se utilizó el software de Tekla Inc "X-Steel 6.0" sobre plataforma Windows NT.

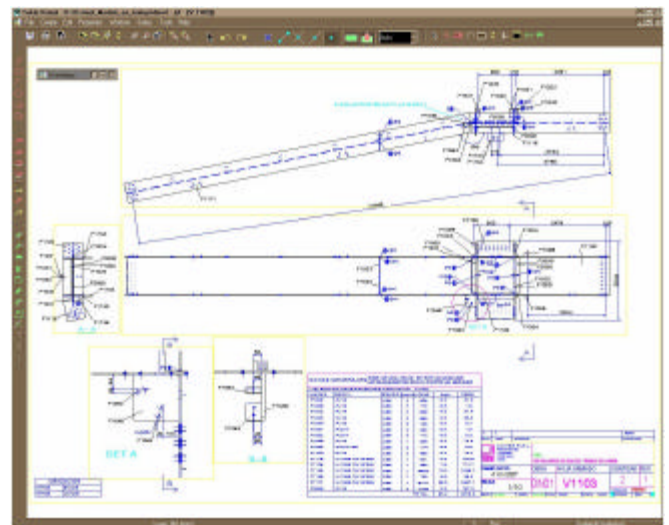
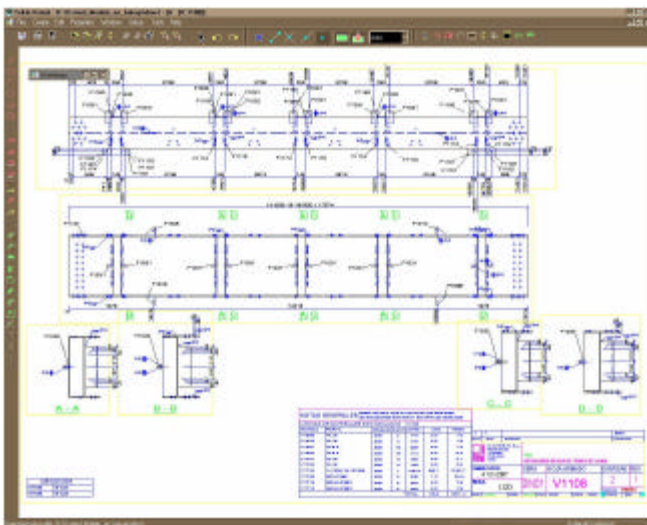
La geometría de la estructura se importó directamente desde el software de cálculo "RAM Advance" y se modeló la estructura íntegramente en 3D.

Una vez completado el modelo 3D, se obtuvo en forma automática los planos de fabricación de las partes, los planos de armado, los archivos CNC para perforado de perfiles, lista de materiales, lista de bulones, y se realizaron los planos de montaje, en vistas, plantas, detalles e isometrías.





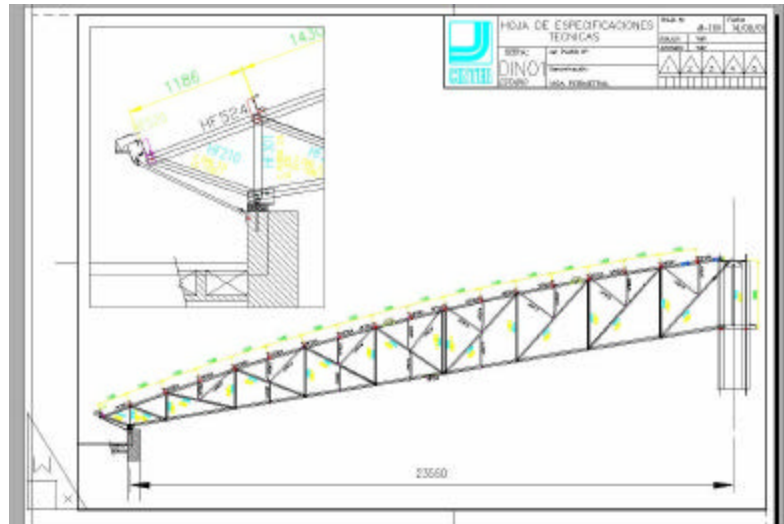
5- Detalle cruce vigas principales



6- Ejemplo de planos automáticos generados con X-Steel

La estructura secundaria se detalló con Autocad 2000 + TecnoMetal (de Steel & Graphics) en 2D, generando además los archivos CNC para el punzonado de cordones omega, diagonales, puntales y correas de cubierta.

La cubierta de chapa y los detalles de montaje de cubierta fueron realizados en AutoCad.



7- Viga secundaria típica – plano Autocad

4- Fabricación

La fabricación de la estructura se ejecutó con materiales de calidad ASTM A36 (o IRAM-IAS F26) y siguiendo las especificaciones de fabricación de las normas (AISC y AWS).

Parte de la materia prima fue chapa en hojas para la fabricación de perfiles doble T soldados y parte fleje para el conformado en frío de perfiles delgados.

Los procesos de fabricación de los perfiles soldados fueron: corte a pantógrafo a control numérico a plasma u oxiacetilénico, soldadura automática de arco sumergido para el armado del perfil, soldadura de accesorios y placas, corte a sierra de perfiles, punzonado o agujereado de perfiles y placas en máquinas de control numérico, granallado de piezas y recubrimiento final de pintura. Todas las máquinas CNC poseen software de intercambio de información electrónica con ingeniería.

En cuanto a las estructuras de perfiles conformados en frío (vigas reticuladas y correas), el proceso de fabricación consistió en: conformado del perfil en frío a partir de fleje, punzonado mediante punzonadora CNC, tratamiento superficial y pintura en polvo termoconvertible y prearmado. En el caso de los perfiles laminados (angulares) el proceso es idéntico salvo que no se conforman.

La producción se ejecutó en la planta industrial de Cinter en Santa Fe, la cual cuenta con el siguiente equipamiento:

Corte por Plasma y Oxicorte.

Esta etapa del proceso de los perfiles soldados se efectúa en una máquina automática para corte de alta calidad mediante los procedimientos de plasma y oxicorte.



Soldado de Perfiles SAW

Esta etapa del proceso se efectúa en una máquina para soldadura de alma y dos alas, con el alma vertical, sin pre-punteado, y con dispositivo de post-deformación incorporada. El proceso utilizado es SAW (submerged arc welding)



Corte con sierra sinfín

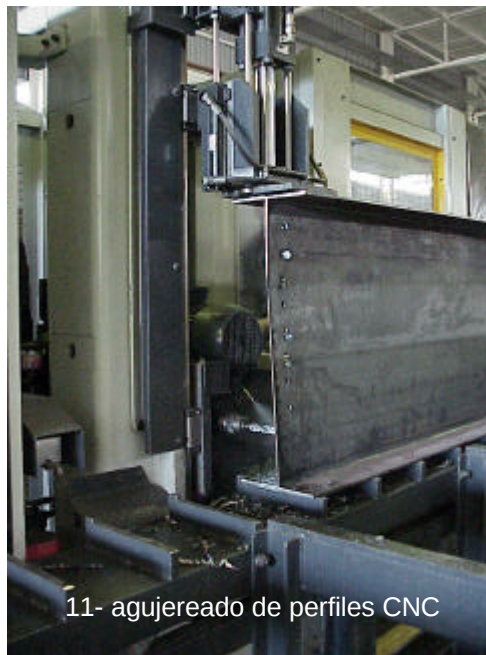
Aquí los perfiles ya armados se cortan a medida y se despuntan.



10- Sierra sinfín

Perforado de perfiles CNC

Una vez que el perfil está cortado a medida, se pasa a la perforadora CNC. Esta máquina permite agujereado de vigas, perfiles U, ángulos, placas, tubos.



11- agujereado de perfiles CNC

Granallado y pintado

Esta etapa del proceso se efectúa en una máquina granalladora automática con sistema de recuperación de polvos y granalla, destinada a la eliminación de impurezas, óxidos, imperfecciones superficiales, residuos de soldadura, etc. en la

superficie de los perfiles fabricados, de modo de alcanzar para ésta el grado de desbaste y limpieza previos a la aplicación de una película de protección sobre las piezas.



El tratamiento superficial de las vigas se realiza en una cabina para pintado de piezas con transportador elevado.

Luego, las piezas se pasan por un horno de curado con termopaneles para asegurar calidad homogénea de terminación.

Conformado Perfiles

Los perfiles conformados a frío se produjeron en la conformadora de perfiles tipo .



Punzonado de perfiles

Una vez conformado los perfiles, pasan a la punzonadora a control numérico para perfiles delgados apta para trabajo CAD-CAM.

Los angulares son agujereados en la Punzonadora a control numérico para angulares. Apta para trabajo CAD-CAM.

Pintura (en polvo, electrostática)

Este equipo está compuesto de cubas de tratamiento superficial.

Luego del tratamiento superficial, se llevan las piezas a través de las cabinas de pintura. En estas últimas, por medio de una pistola triboeléctrica, se aplica el revestimiento en polvo electrostáticamente, para pasar luego al horno de polimerización en el que la pieza alcanza una temperatura de 190/200°C, momento en el que la pintura gelifica y se amarra a la superficie metálica tratada.



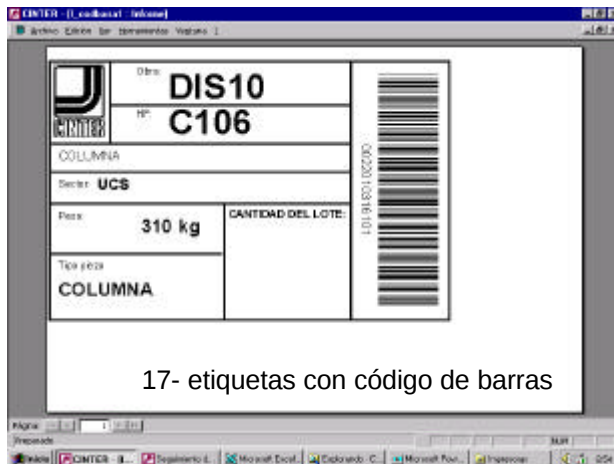
Pre-armado de vigas reticuladas

Las piezas una vez pintadas pasan al sector de armado, donde mediante Torquadoras automáticas se realiza el armado de las vigas tipo "Cinter".



Logística e Identificación de piezas

Cinter cuenta con un sistema de base de datos de los elementos que se envían a la obra. Para ello tiene implementado un sistema de identificación con código de barras con el cual se identifican todos y cada uno de los elementos de una obra.



El sistema posee gran confiabilidad y los remitos se confeccionan electrónicamente, dando de baja los elementos de la base de datos general.

Extrayendo datos de esta base de datos, se concluye que en este proyecto se emplearon 9850 piezas, 380 fueron piezas distintas, que totalizaron 390 toneladas.

El envío a obra se realizó en 40 viajes de camiones tipo semirremolque y carretón.

5- Montaje

El montaje requirió de un detallado estudio, para lograr que las condiciones de diseños se vean reflejadas en la realidad, por tratarse de una estructura totalmente hiperestática.

Al efecto de verificar los elementos estructurales principales, se realizó un pre-armado en fábrica a cargo del mismo equipo de montaje que haría posteriormente el montaje de obra (foto 19).

Los elementos componentes de la estructura, por razones de transporte llegaron a la obra en piezas individuales que se vinculan entre sí mediante uniones abulonadas.

A los fines del montaje, la estructura se subdividió en 12 tramos, correspondiente 8 de ellos a los encuentros de las esquinas, 2 a los lados largos y 2 a los lados cortos.

Los empalmes de los cordones fueron abulonados e inspeccionados al 100%, por ser uniones por rozamiento.

Los tramos se armaron en posición horizontal (acostados) dentro de la pista del Estadio, vinculando los cordones superior e inferior mediante las diagonales correspondiente, materializándose la unión mediante bulones calidad ASTM A-325, que se llevan al apriete correspondiente una vez que todos los elementos del tramo hayan sido perfectamente alineados y verificados en cuanto a material y dimensiones.

Esta tarea limitaba mucho el espacio disponible en dicho sector, era una tarea que marcaba los tiempos de montaje. Un equipo de personal realizaba armado de tramos y simultáneamente otro equipo con grúas realizaba el montaje. El mismo se realizaba también desde la pista, por lo tanto y para cumplir los plazos de obra, fue en algún momento necesario armar tramos en turno noche.

Fue uno de los puntos de partida del montaje la optimización al máximo los espacios y circulaciones interiores del Estadio, teniendo siempre prioridad nuestras tareas sobre las del resto de los gremios.

En la secuencia de montaje se consideró primero montar las vigas de las ochavas (fotos 20, 21 y 22) y luego las vigas centrales (foto 23), para esto se utilizaron cuatro torres provisionarias de caño reticuladas de 22 metros de alto, que dieron apoyo a las vigas de las ochavas con una capacidad de 80 tn, provista de un dispositivo de nivelación mecánico - hidráulico, que permitió una vez montadas las partes de la estructura principal y secundaria que formaban el conjunto hiperestático, llevarlas a la geometría requerida por los cálculos, previo al ajuste de todos los elementos.

Las cuatro vigas se fijaron a unas vigas de hormigón en ocho puntos mediante pernos de anclaje y posteriormente se realizó un grouting (el apoyo es deslizante, con placa de teflón y patín de acero inoxidable). La estructura se completó con vigas tipo Cinter de perfiles conformados, con cordón superior de forma curva.-



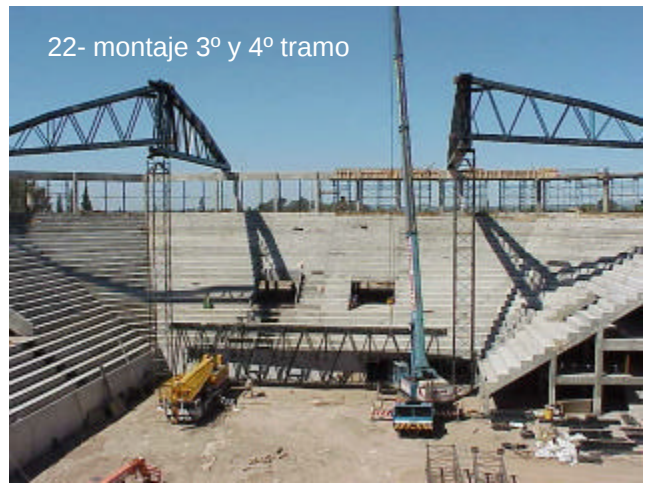
20- montaje 1º tramo



21- montaje 2º tramo



22- montaje 3º y 4º tramo



23- montaje tramo central





24- montaje de vigas secundarias



25- montaje vigas perimetrales



26- montaje vigas centrales y correas

Las 34 vigas laterales (foto 24 y 25) se abulonaron en un extremo a la viga principal y en el otro a un muro perimetral mediante brocas químicas (con apoyo de grillón) y el posterior grouting.

Las 11 vigas centrales (foto 26) en tres tramos que se empalmaron en obra y se abulonaron a las vigas principales con suplementos para ajustar la longitud.

Las 28 vigas de las cuatro ochavas fueron también de longitud y altura variable. Se tomaron en un extremo a la viga principal por medio de un apeo quebrado y en el otro extremo para regular la longitud y la variación de ángulos se soldaron los apoyos a unas platinas que se fijan al muro perimetral con brocas químicas igual que las vigas laterales.

Una vez completada la estructura, se desafectaron las 4 torres provisionales, valiéndose de los gatos hidráulicos previstos al efecto, a fin de lograr un descenso controlado de la estructura hasta que las torres quedaron completamente descargadas, verificándose que las deformaciones elásticas originadas por las cargas presentes hasta el momento, estaban acordes a lo previsto en el cálculo, cuestión que corroboró lo correcto de los procedimientos empleados.

Por último se montaron las correas de techo tipo C, tilladas al medio con barras redondas roscadas empalmadas sobre las vigas. Existieron arriostramientos horizontales en el cordón superior, tillas entre cordones inferiores de vigas y arriostramientos verticales (foto 27).

Todas las estructuras fijadas al hormigón, se completaron con un grouting posterior. En obra se realizó limpieza y retoques de pintura debido a los daños ocasionados durante transporte y montaje.



Cubierta

La cubierta del estadio es de 95 x 75 metros más una nariz perimetral de 1 metro tiene cuatro esquinas para dar la forma de octógono de 7100 metros cuadrados, proyectada en planta. La configuración del techo está resuelta en el sector central según una curva continua de lado a lado.

-

Adyacentes a dicha cubierta principal se desarrollan los sectores laterales y las esquinas del tipo cola de pato, con la misma curvatura resultante del sector central, lo cual permite unificar los encuentros entre faldones.

La cubierta se compone por un sistema de chapa de acero al carbono BWG calibre 22, prepintada y conformada en obra según un perfil tipo "Cinter 610" continua, sin solapes, no perforada y con doble engrafado (foto 28).

Inmediatamente por debajo de las chapas de cubierta se dispone de aislación térmica compuesta por lana de vidrio de 3" de espesor, con un film de polipropileno sostenido por alambre (foto 29).

La intersección de la cubierta principal curva con los sectores laterales, da como resultado sendos tímpanos los cuales están resueltos con chapa de cerramiento vertical y sus correspondientes accesorios.

Los tímpanos están resueltos con chapa T98 prepintada, por detrás de la cual se dispone la misma lana de vidrio descripta anteriormente.



28- montaje de chapa de cubierta



29- montaje de lana de vidrio

30- vista interior de la cubierta terminada

