



Tema: Estruturas de aço e mistas de aço e concreto

ANÁLISIS DE MONTAJE NO CONVENCIONAL PARA CAMPANA DE EXTRACCIÓN DE HUMOS, DE 235 T DE PESO*

Ruffo, Hector Marcelo¹
Gomez, José²
Nieva, Pablo Martín³

Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar la implementación de un montaje no convencional de una estructura de acero, destacando las principales ventajas y recomendaciones desde el diseño, ingeniería de detalle, fabricación, costos y plazos de ejecución. El proyecto de una nueva acería en Argentina (4000 tn de acero) tiene una nave principal (longitud 150m; ancho 25m; altura 34m) en la cual se alberga el horno de reducción con su campana de extracción. La factibilidad de ejecución de esta nueva planta, dependía de lograr tiempos totales de obra muy reducidos evaluando la posibilidad de solapamiento entre distintas tareas. Es así como se detecta la necesidad de ejecutar el montaje de la campana, de 235 tn de peso, en simultáneo con las fundaciones del horno. La solución adoptada requiere el armado de la campana (longitud 40m; ancho 25m; altura 22m) por completo en el suelo y luego ubicarla en su posición definitiva mediante un primer izaje hasta el nivel de las vigas carrileras del edificio, un deslizamiento sobre dichas vigas hasta la ubicación en planta definitiva y un segundo izaje hasta su posición final. Todas estas maniobras se realizan utilizando como soporte la estructura del edificio y gatos hidráulicos para los movimientos. Utilizando este método de montaje se lograron reducciones de tiempo y costo, que permitieron garantizar la ejecución de la obra. Otro beneficio obtenido fue la minimización de los trabajos en altura. Ante proyectos de esas características, es importante evaluar las posibilidades de uso de métodos alternativos de montaje, que en el balance general, no implican un incremento notable en los costos, garantizando los tiempos de ejecución y mejorando la seguridad durante del trabajo.

Palabras-clave: Montaje; Izaje no convencional; Costos; Plazo de ejecución

ANÁLISE DE MONTAGEM NÃO CONVENCIONAL DE COBERTURA DE EXTRAÇÃO DE FUMOS DE PESO 235 T

Resumo

O objetivo deste trabalho é mostrar a implementação da montagem não convencional de uma estrutura de aço, destacando as principais vantagens e recomendações de design, engenharia de detalhe, fabricação, custos e prazos de execução. O projeto para uma nova fábrica de aço na Argentina (4000 toneladas de aço) tem uma nave principal (150m de comprimento, 25m de largura, altura 34m) em que está alojado o forno de redução com sua cobertura de extração de

* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



fumos. A possibilidade de implementar esta nova planta, dependia da obtenção de tempos totais de trabalho muito reduzidos, avaliando a possibilidade de sobreposição entre diferentes tarefas. Assim, é detectada a necessidade de executar a montagem da capa, de 235 t, e fundações, simultaneamente com o forno. A solução adotada exige a montagem do exaustor (40m de comprimento, 25m de largura, altura 22m) completamente no chão e, em seguida, colocá-lo em sua posição final por um primeiro levantamento a nível das vigas rolantes do edifício, deslizando sobre as referidas vigas até a sua localização definitiva em planta e uma segunda elevação para a sua posição final. Todas estas operações são realizadas utilizando como suporte a estrutura do edifício e macacos hidráulicos para os movimentos. Usando este método de montagem logrou-se reduções de tempo de instalação e de custos, que permitiram garantir a execução da obra. Outro benefício obtido foi a minimização do trabalho em altura. Em projetos com essas características, é importante avaliar a possibilidade de utilização de métodos alternativos de montagem, que no balanço geral, não implique em um aumento significativo dos custos, garantindo os tempos de execução e melhorando a segurança durante o trabalho.

Palavras-chave: Montagem; Içamento não convencional; Custos; prazo de execução

¹ Msc Mecánica de suelo y fundaciones, MBA, Ingeniero Civil, Gerente de Ingeniería, Cinter SRL, Santa Fe, Argentina.

² Ingeniero Mecánico, Calculista de estructuras, Oficina Ingeniería, Cinter SRL, Santa Fe, Argentina.

³ Msc Ciencias de la Ingeniería - Estructuras y Geotecnia, Ingeniero Civil, Calculista de estructuras, Oficina Ingeniería, Cinter SRL, Santa Fe, Argentina.

ANALYSIS FOR UNCONVENTIONAL MOUNTING BELL

FOR SMOKE EXTRACTION 235 T WEIGHT *

Abstract

The aim of this work is the implementation of an unconventional assembly of a steel structure, highlighting the main advantages and recommendations from design, detail engineering, manufacturing, costs and deadlines. The project for a new steel plant in Argentina (4000 tons of steel) has a main building (length 150m, width 25m, height 34m) in which the reduction furnace is housed with its hood. The feasibility of implementing this new plant, depended on achieving minimum total time of construction, evaluating the possibility of overlap between different tasks. Thus the need to run the assembly of the hood, 235 tn weight, foundations simultaneously with the furnace is detected. The adopted solution requires the assembly of the hood (length 40m, width 25m, height 22m) completely on the floor and then place it in its final position by a first lifting up the level of the runaway crane beams of the building, sliding on that beams until the final plant location and a second lifting to its final position. All these

* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



operations are carried out using as support the building structure and hydraulic jacks for movements. Using this method of installation time and cost reductions, which enabled guarantee the execution of the work achieved. Another benefit was obtained minimizing overhead work. Before any such projects, it is important to assess the possibilities of using alternative methods of assembly, which in the balance sheet, do not involve a significant increase in costs, ensuring execution times and improving safety during work.

Key words: Assembly; Unconventional mounting; Costs; Execution time



1 INTRODUCCIÓN

El caso de estudio que se presenta en este trabajo forma parte del proyecto de una nueva acería en Rosario, provincia de Santa Fe, Argentina. El proyecto comprende una primera etapa que consta de un edificio de acería, uno de colada continua, uno de palanquilla y uno de chatarra. La estructura principal es de acero y tiene un peso total aproximado de 4000 ton. En particular la nave de acería, donde se alberga el horno de reducción, tiene una longitud total de 150m, un ancho de 25m y una altura de 30m sin considerar la altura de la campana de extracción de humos. Los puentes grúas a disponer dentro de la nave tienen capacidades de hasta 220 ton con una alta intensidad de uso. En la Figura 1 se muestra el layout de la planta.



Figura 1. Esquema general de la planta de acería.

La factibilidad de ejecución de esta nueva planta, dependía de lograr tiempos totales de obra muy reducidos. La necesidad de contar con la planta en funcionamiento en muy poco tiempo, requirió de un análisis detallado de las diferentes tareas de la obra para evaluar la posibilidad cierta de solapamiento entre las mismas.

Es así como se detecta un conflicto entre el montaje de la estructura de acero y la ejecución de la fundación del horno de reducción. La cubierta sobre dicho horno es una gran campana (ver Figura 1) diseñada para la evacuación de los humos, que mide 40m de longitud, 25m de ancho y 22m de altura, con un peso total de 235 ton. Debido a la interferencia entre estos 2 frentes de trabajo, se plantea la necesidad de armar la campana de extracción por completo en el suelo y luego ubicarla en su posición definitiva.

En el ámbito de las obras civiles metálicas estamos acostumbrados a realizar en su mayoría montajes "convencionales", es decir utilizando grúas, ya sea sobre camión o torre y montando las piezas de manera individual o en algunos de los casos en módulo. Otra de las características de este tipo de montaje es que las piezas se montan ya en su lugar definitivo. Lo anterior no era aplicable de acuerdo a las necesidades del cliente.

Surge la necesidad de realizar un "montaje no convencional" para dar solución a dos condicionantes fundamentales: a) Seguridad y b) Simultaneidad de tareas en un mismo espacio físico. La selección de un método no tradicional para posicionar la campana en su lugar definitivo, altera desde un principio toda la idea de cómo resolver los detalles de esta

* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



estructura tan particular y, sobre todo, requiere un análisis más detallado del impacto que esta maniobra tiene sobre la estructura del edificio.

La solución adoptada requiere de un primer izaje hasta el nivel de las vigas carrileras del edificio, un deslizamiento sobre dichas vigas hasta la ubicación en planta definitiva de la campana y un segundo izaje hasta su posición final. Todas estas maniobras se realizan utilizando como soporte la estructura del edificio y gatos hidráulicos para los movimientos.

Este trabajo pretende resaltar la importancia que tiene la coordinación de las diferentes disciplinas en obras de magnitud, sobre todo, si lo que se requiere es el desarrollo de la misma en el menor plazo posible. Además, lo anterior se debe hacer con el tiempo suficiente dado que posiblemente genere modificaciones que pueden resultar sustanciales, en el desarrollo de la ingeniería ejecutiva del proyecto.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La estructura de la campana de extracción se compone de pórticos de perfiles doble T armados que se apoyan en su posición final sobre la estructura de cubierta. El peso total aproximado del conjunto es de unas 235 Ton (se incluye estructura y chapas de cerramiento) y sus dimensiones son 40m de largo x 25m de ancho y 22 m de altura.

2.1 Montaje no convencional

2.1.1 Descripción general del procedimiento de montaje

Como se muestra en la Figura 2, el montaje de la campana de extracción de humos se puede dividir en cuatro etapas: 1) Armado, 2) Primer Izaje, 3) Deslizamiento y 4) Segundo Izaje.

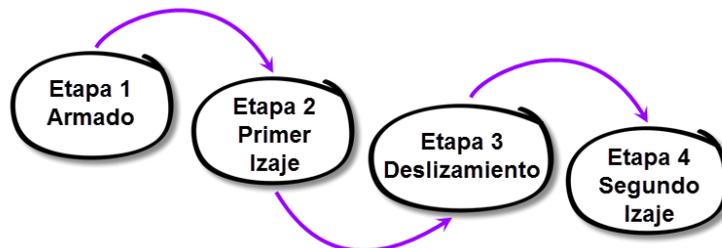


Figura 2. Etapas del montaje no convencional.

En líneas generales la Etapa 1 (Armado) consistió en montar la estructura completa a nivel +0.00. Se montaron los elementos de la estructura principal y secundaria, junto con el cerramiento interior y exterior de la campana como si esa fuera su posición final. Para esta etapa los equipos utilizados fueron grúas hidráulicas sobre camión, manipuladores telescópicos y plumas telescópicas con plataforma. El montaje en esta etapa en si fue el típico para las estructuras metálicas, colocando pieza por pieza o en los casos que se podía subiendo módulos de estructura. La particularidad de este armado de la campana es que se realizó en una posición en planta que no es la que iba a tener en su posición final. Se debió armar en la zona de los ejes 14 y 15A entre D y E desplazada de su posición final unos 42 metros. En la Figura 3 se muestra la posición en planta y vista lateral para la Etapa 1 de armado.

Luego en la Etapa 2 (Primer Izaje) se subió la campana tomada desde 4 puntos en zona de ejes 14 y 15A entre D y E. El izado se realizó desde el nivel +0.00 hasta el nivel +25.00 (nivel de apoyo por encima de la viga carrilera). Sobre cada columna del eje 14 se colocó una sola unidad de izado (gato hidráulico), mientras que para las columnas del eje 15A se colocaron dos unidades de izado por columna. Esta distribución de las unidades hidráulicas responde al hecho de que el centro de gravedad de los puntos de izado no coincidió con el centro de gravedad de la campana por lo cual las columnas del eje 15A se vieron más cargadas. La estructura una vez izada se apoyó sobre patines ubicados sobre carriles apoyados en la viga carrilera. En la Figura 4 se muestra un corte por el eje 15A de la nave en donde se puede ver los puntos de izaje de la campana de extracción.

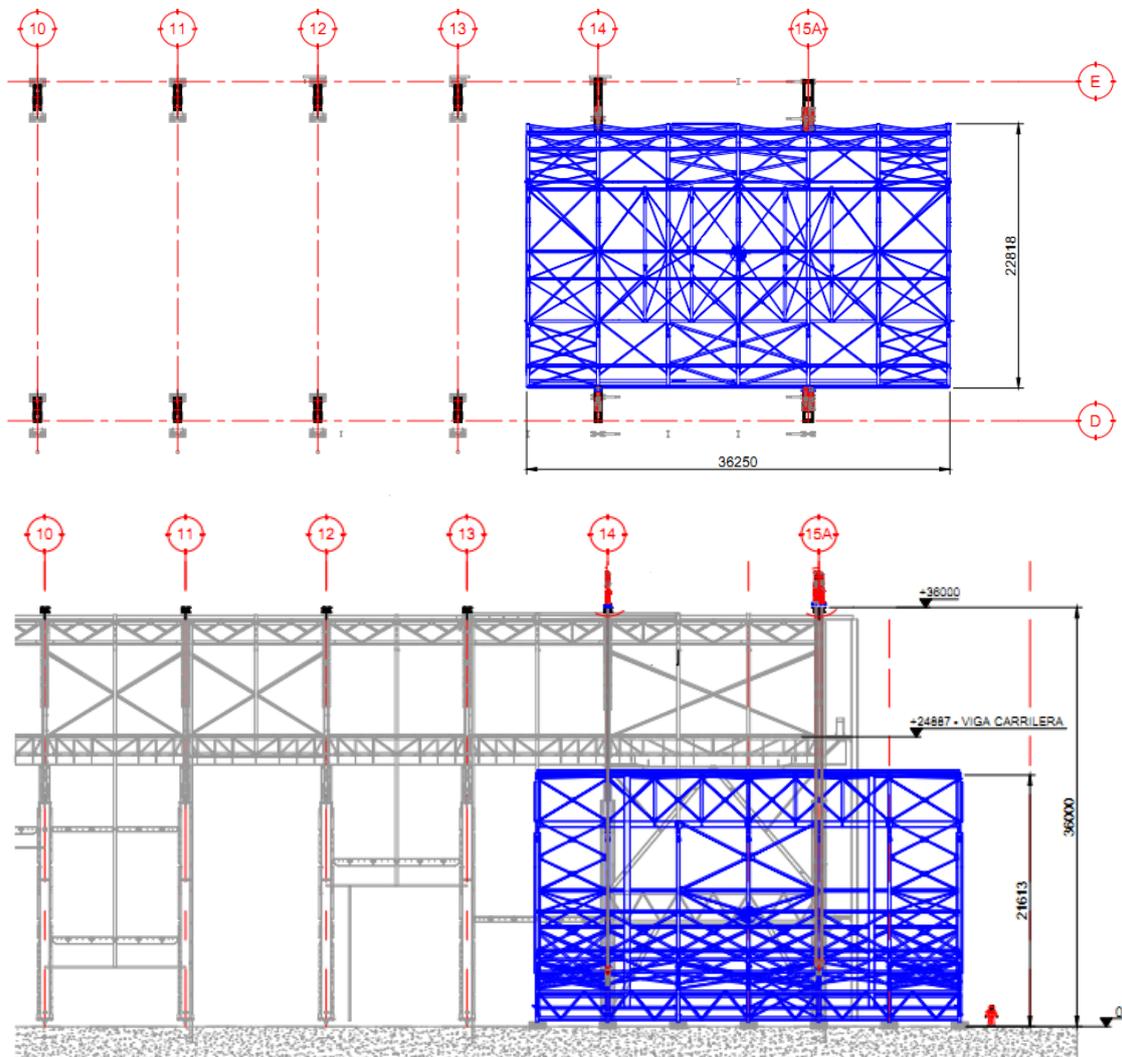


Figura 3. Ubicación en planta y vista lateral de la campana para el armado y primer izado.

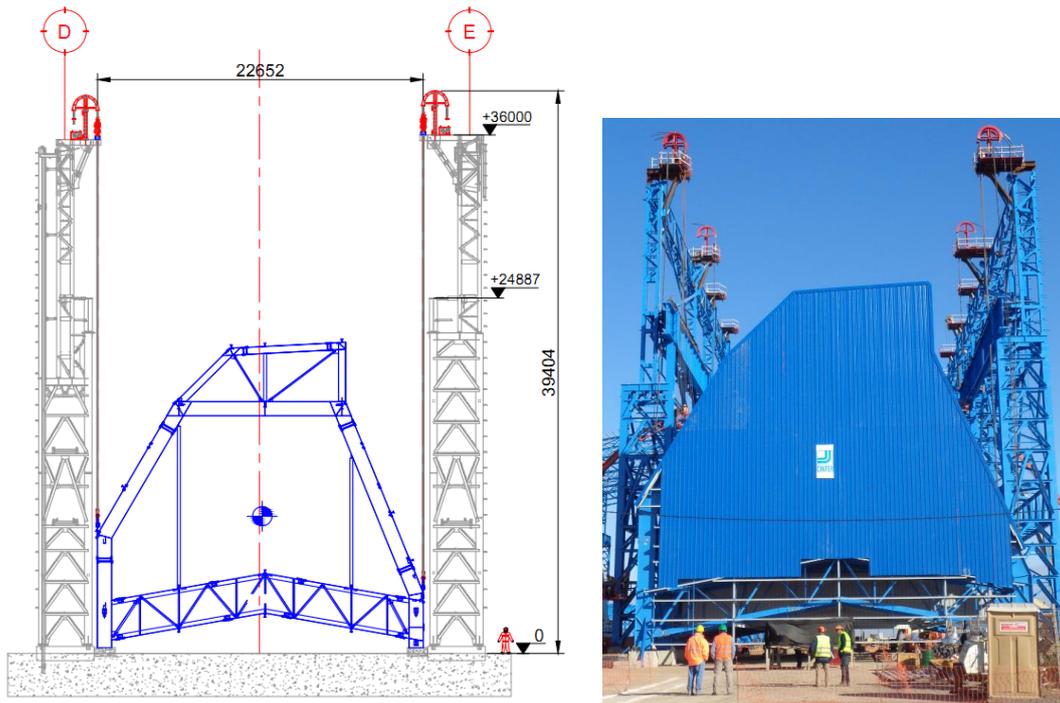


Figura 4. Primer Izado. Corte eje 15A.

En la Etapa 3 (Deslizamiento) la campana de extracción se deslizó por encima de la viga carrilera una longitud de 42 metros. El deslizamiento se realizó sobre 4 ménsulas apoyadas sobre patines de deslizamiento que circulan por rieles a lo largo de la viga carrilera. Una vez en la posición final del deslizamiento la campana quedó entre los ejes 10 y 13 entre D y E. En la Figura 5 y 6 se muestra la posición inicial y final luego del deslizamiento de 42 m.

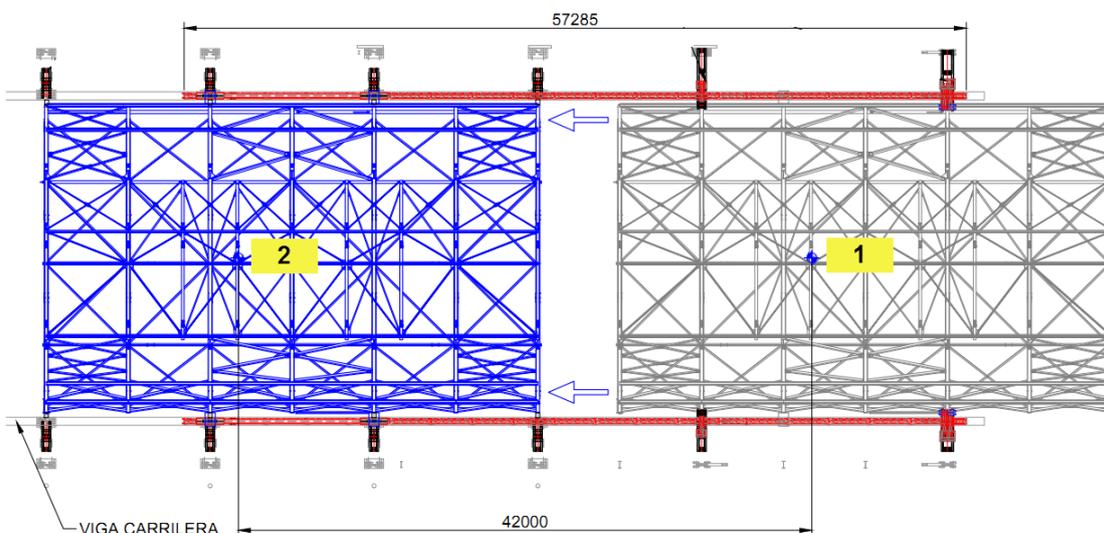


Figura 5. Etapa de deslizamiento. 1) Posición inicial deslizamiento.

2) Posición final deslizamiento.

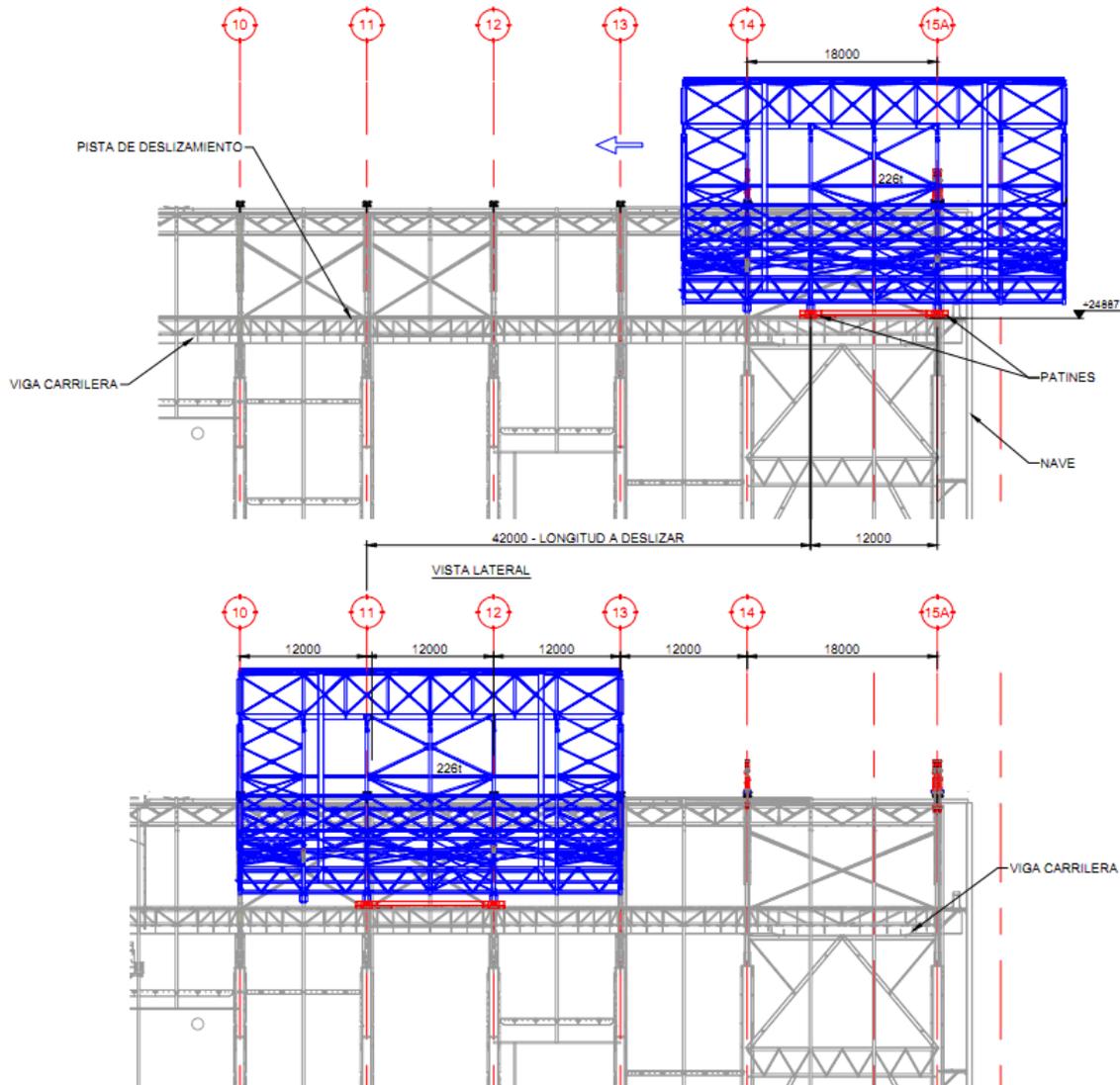


Figura 6. Etapa de deslizamiento. Vista lateral.

Finalmente, se realizó la Etapa 4 (Segundo Izaje) tomando la estructura desde 8 puntos, desde el nivel +25.00 hasta su posición final nivel +32.50 (nivel inferior de las patas de la campana). En la Figura 7 se muestra un corte por el eje 11 de la nave en donde se puede ver los puntos de izaje de la campana de extracción en la Etapa 4.



2.1.2 Etapa 1: Armado

El armado de la campana a nivel +0.00 responde a un tipo de montaje convencional por lo cual no se muestra de manera detallada. En la Figura 8 se muestran imágenes de esta etapa. Lo particular para el armado a nivel +0.00 fue que se tuvieron que diseñar y ejecutar bases provisionales especiales para que apoyen las columnas de la campana. Con las mismas se busco garantizar la estabilidad de estructura y conseguir un nivel uniforme para el apoyo de las patas. Se ejecutaron 14 bases superficiales sobre el nivel del terraplén existente. La condición de apoyo de la campana fue distinta para la Etapa 1 y Etapa 2 por lo cual las dimensiones de las mismas también fueron diferentes entre sí. Dichas bases contaban cada una con 4 pernos de anclaje que servían de vinculación entre la estructura de la campana y las fundaciones. Una vez terminado el montaje estas bases se destruyeron. En la Figura 9 se muestran fotos de las bases materializadas en la obra. La campana se completó con la estructura y el cerramiento para minimizar los trabajos en altura una vez ubicada en la posición definitiva. En la Figura 8 se muestra el plano de planta de las bases provisionales.

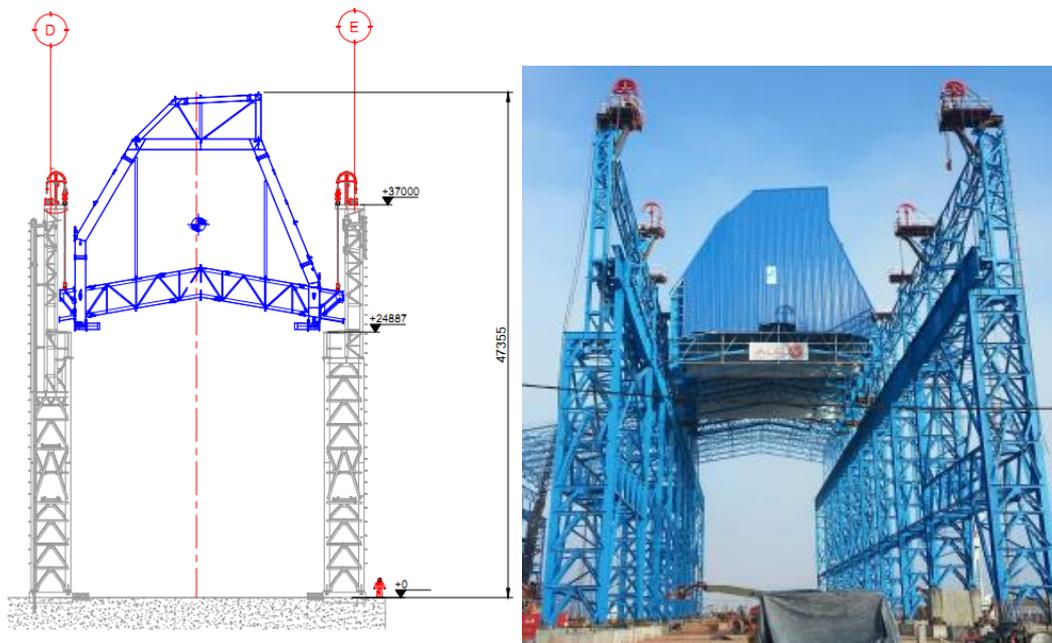


Figura 7. Segundo Izado. Corte eje 11.



Figura 8. Etapa 1: Armado. Bases provisórias, izado de las primeras columnas y vigas.

2.1.3 Etapa 2: Primer Izaje

Una vez finalizado el armado de la campana se dio comienzo a la Etapa 2 la cual se realizó en dos sub-etapas: la Etapa 2a y la Etapa 2b. Para ambas sub-etapas ya en la estructura de la nave se tenían montados elementos auxiliares como por ejemplo las consolas de izado. Estas consolas se anexaban a la estructura de la nave, de modo de dar soporte a las unidades de izado, palmeros y plataformas de acceso. En la Figura 10 se muestra el esquema de la consola de izado correspondiente a los lugares en donde se tenían dos unidades de izado. Para cada una de estas consolas se tuvo que proveer también plataformas adicionales para el trabajo de los operarios en caso del montaje de los cables (6 por unidad de izado) o en el caso de algún posible desperfecto. Las consolas se montaron armadas y con los cables para el izado ya enhebrados en las unidades de izado desde el nivel +0.00. Cada punto de izado contó con una consola. En la Figura 11 se puede ver la ubicación de la unidades de izado tanto para la Etapa 1 como la Etapa 2.

Cada unidad de izado puede levantar hasta 70 ton. La idea de disponer dos unidades en el eje 15A mediante un sistema de balancín nos permitió llegar a una capacidad de hasta 140 ton.

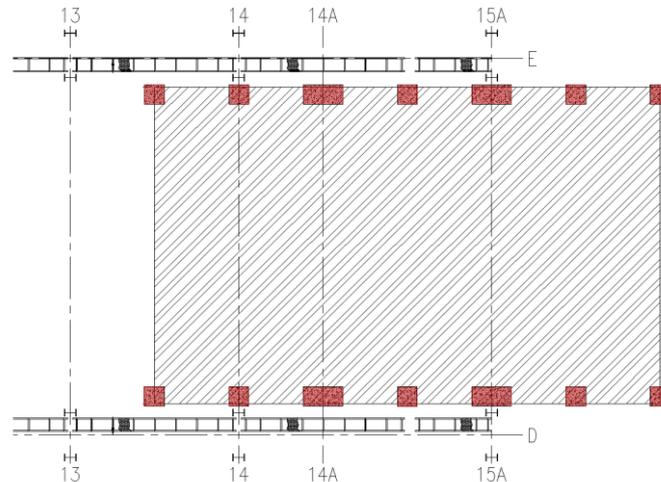


Figura 9. Planta con ubicación de las bases provisionarias.

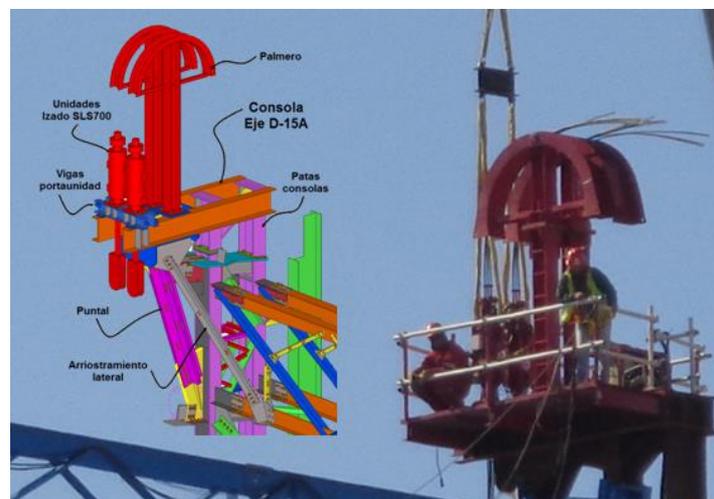


Figura 10. Esquema consola de izado.

La Etapa 2a en sí consistió en la liberación de las patas de la campana, un izado parcial de la estructura de 3.5 metros, la colocación de las ménsulas de tope y deslizamiento (ver Figura 12) y el descenso de la campana hasta su apoyo sobre picaderos con tacos de madera. En la Figura 13 se muestra la ubicación en planta de las ménsulas y en la Figura 14 una foto de las mismas. El propósito de estas maniobras fue la preparación de la estructura para el primer izaje de la Etapa 2b y la verificación y puesta a punto de los equipos y forma de trabajo de las personas involucradas.

La Etapa 2b consistió en el izaje completo de la estructura de la campana hasta apoyar la misma sobre los patines de deslizamiento ubicados por encima de las vigas carrileras de la nave. En toda la maniobra de izado se tuvo que ir modificando la posición (expandingo y/o retrayendo) las ménsulas de tope y deslizamiento para poder salvar las interferencias posibles de la estructura de la nave y fundaciones en el recorrido del izaje.



Figura 11. Ubicación de las unidades de izado. Sobre el eje 15A se usan dos unidades

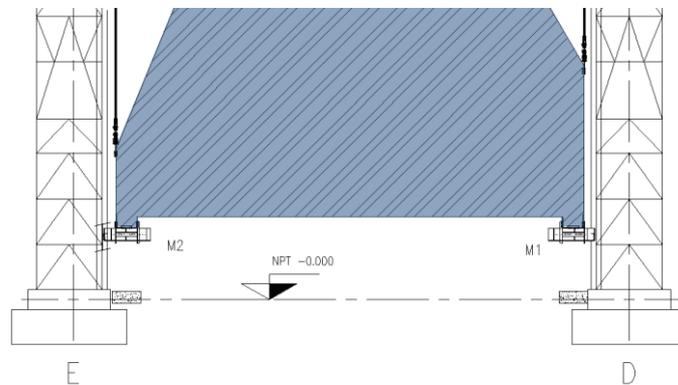


Figura 12. Ubicación de ménsulas de tope y deslizamiento.

Un aspecto importante a mencionar en esta etapa es el uso de las ménsulas de tope y deslizamiento. Estas piezas fueron diseñadas para cumplir con dos funciones, por un lado diseñadas como tope impidiendo el libre movimiento horizontal de la estructura en caso de la acción del viento. Con esto se cumplió con la limitación impuesta por el proveedor de los sistemas de izaje que el ángulo de los cables de izaje no supere un grado con respecto a la vertical. Se tiene que tener presente la importancia de verificar esta condición de borde en todo el recorrido del izaje ya que cuando más corto es el cable menos es la tolerancia permitida de movimiento horizontal. Se utilizó como guía para el izaje, el espacio entre ala y ala de las patas de las columnas de la nave de acrí.

El otro uso de estas ménsulas (en su posición extendida) es la de servir de extensión de las patas de la campana para el deslizamiento. Esto es necesario debido a que la dimensión transversal de la campana es mayor que el ancho libre entre columnas y para el primer izado se tuvo que plantear un "recorte" de ambos extremos. Esta estructura que se quito para el primer izado y deslizamiento se completa en parte antes de realizar el segundo izaje y al final del mismo. En la Figura 15 se puede observar la geometría de la campana en función de la etapa de montaje.

Una vez asegurado el apoyo de la campana sobre los patines se procedió a descargar los gatos hidráulicos y liberar los anclajes. La estructura de la campana queda apoyada plenamente en los patines de deslizamiento.

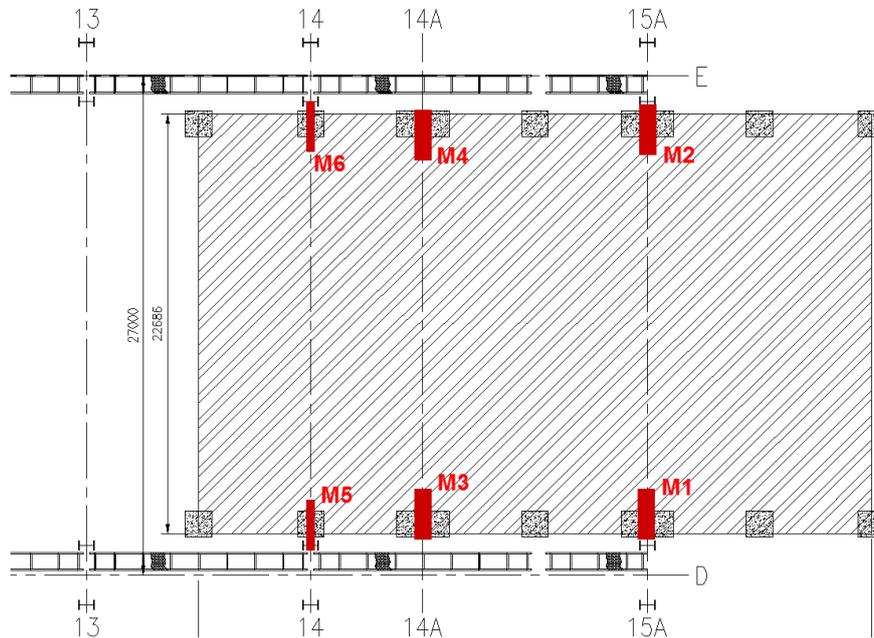


Figura 13. Ubicación en planta las de ménsulas de tope y deslizamiento.



Figura 14. Esquema de las ménsulas de tope y deslizamiento.

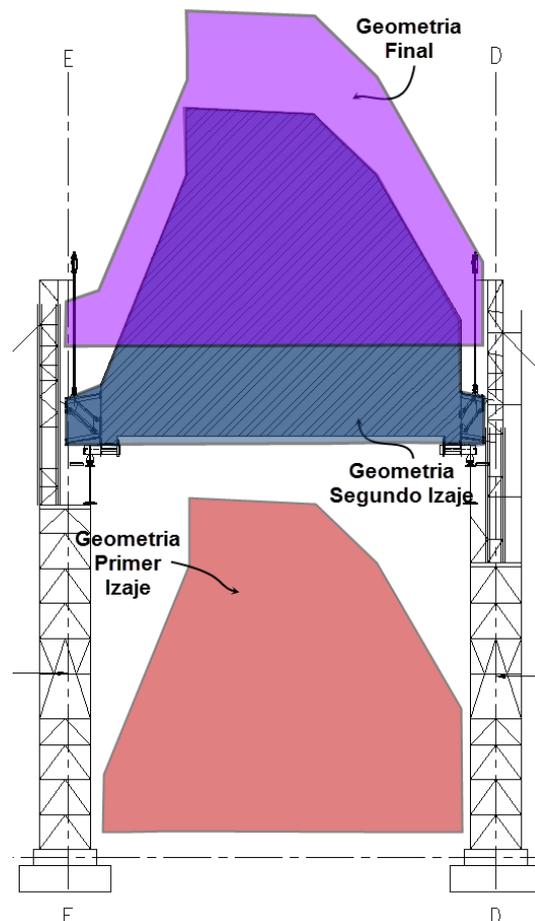


Figura 15. Geometria de la campana en función de la etapa de montaje.

2.1.4 Etapa 3: Deslizamiento

El deslizamiento de la estructura estuvo previsto realizarlo inmediatamente después del primer izaje, la hipótesis de cálculo consideraban que estas dos etapas se realizan el mismo día. Como se mencionó antes la estructura se desliza sobre cuatro patines. En la Figura 16 se muestra una imagen con la campana en la posición de deslizamiento inicial y final.

Una vez liberados los anclajes (y previo agregado de la estructura auxiliar necesaria, como arriostramientos, tornapuntas, etc.) de la estructura de la campana, se empezó el deslizamiento sobre los carriles ubicados en las vigas carrileras de los ejes D y E. Entre el patín y el carril se colocaron teflones para garantizar el desplazamiento. En la Figura 17 se muestran estos carriles dispuestos sobre la viga carrilera. Ya en su posición final de deslizamiento la campana se ancló, tanto en el sentido transversal como longitudinal.



Figura 16. Posición inicial y final de deslizamiento.



Figura 17. Carriles para el deslizamiento sobre viga carrilera.

2.1.5 Etapa 4: Segundo Izaje

Una vez terminado el deslizamiento, la campana debe ser izada hasta la posición final. La Etapa 4 consiste, en términos generales, en levantar la estructura desde el nivel +26.2 hasta el nivel +32.3. Para dicha maniobra se utilizarán 8 unidades de izado sobre las columnas ubicadas en los ejes 10, 11, 12, 13 sobre los ejes D y E. Para el momento del comienzo de esta etapa ya se habían montado las ménsulas para el deslizamiento ver Figura 18. Estas ménsulas completan parte de la estructura de la campana recortada para el primer izaje y deslizamiento y a su vez sirven de punto de colgaje para el segundo izaje.

* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

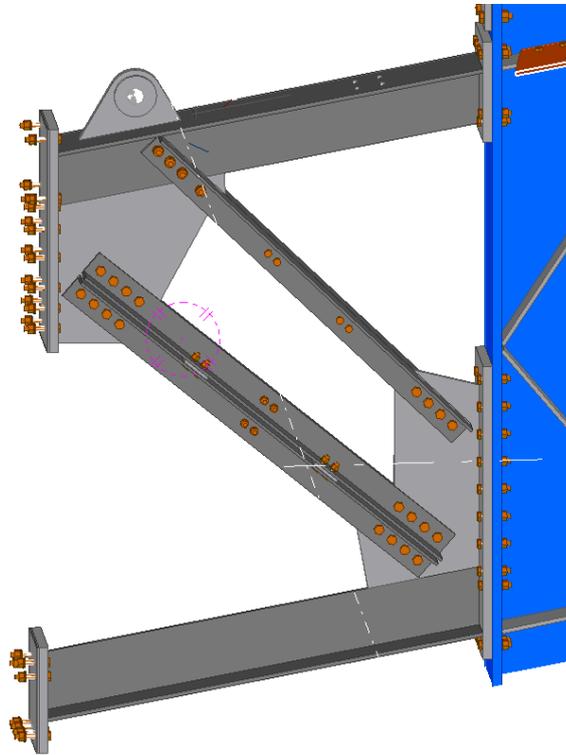


Figura 18. Ménsulas segundo izado.

Antes de realizar el izado se debió realizar el venteo de la estructura de la nave. Esto consistió en realizar una deformación previa controlada a las columnas que soportan los gatos de manera de mantener la geometría teórica al momento del izaje. La maniobra se realizó mediante cables y Tirfors como se muestra en la Figura 19. Se requirió un riguroso control topográfico de cada uno de estos puntos antes de comenzar con la maniobra.

Predeformadas las columnas de la estructura se procede a liberar la campana. Es decir se sueltan los topes transversales y longitudinales, arriostramientos entre patas de la campana y tornapuntas de ménsulas.

Luego se procedió a levantar la campana hasta alcanzar el nivel final a +32.3. A continuación se vincularon las ménsulas a las columnas de la nave a través de bridas como se muestra en la Figura 20. Se previeron shims tipo peine para garantizar el contacto entre placas. El huelgo dejado entre las bridas por diseño fue de 10 mm.

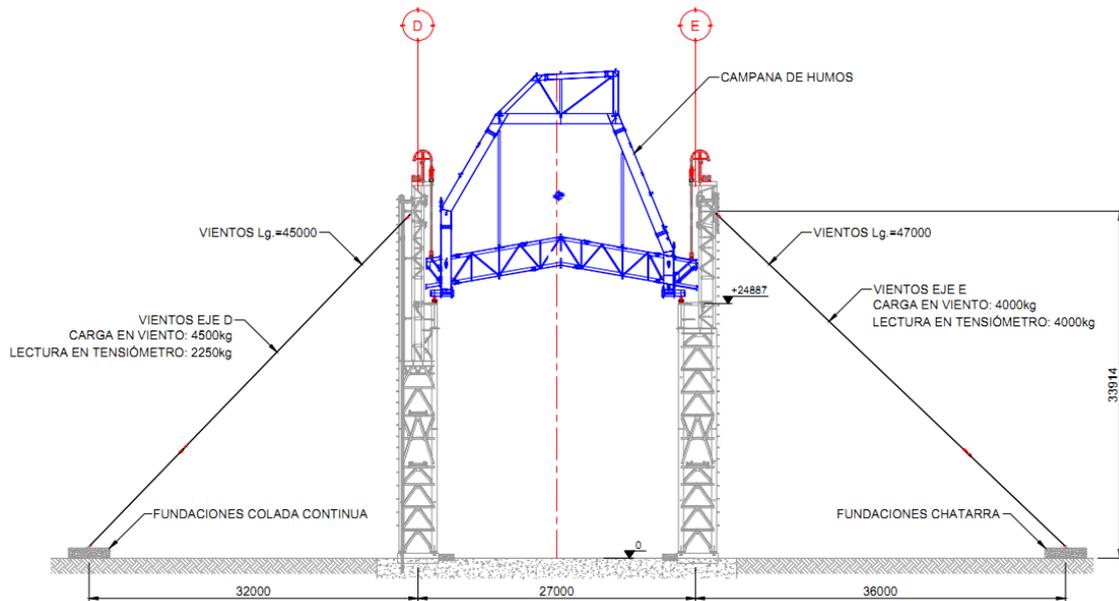


Figura 19. Esquema de venteo de columnas. Corte Eje 11.

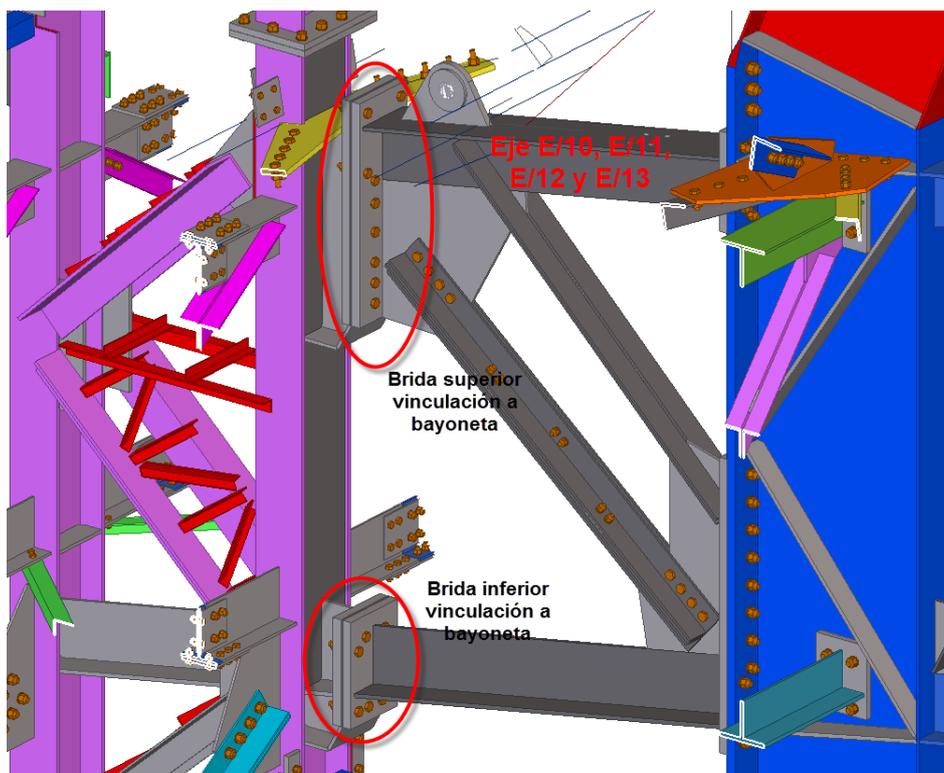


Figura 20. Vinculación a estructura de la nave mediante bridas abulonadas.



Una vez vinculada toda la campana a la estructura de la nave se procedió a soltar la carga de los gatos y liberar anclajes. Finalmente la estructura quedo apoyada plenamente en la estructura de la nave de Acería. Luego se terminó de completar la estructura con los elementos secundarios que unen la campana con la nave (arriostramientos, puntales, correas de cerramiento, etc.).

2.2 Diseño y Cálculo

Desde el diseño y cálculo se realizó no solo la verificación de la estructura de la campana de extracción en las distintas etapas de izado y deslizamiento sino que también se tuvo que verificar la estructura de la nave de acería y los elementos auxiliares para el montaje.

Para los cálculos se consideró el peso propio de la estructura y el viento sobre la misma. En cuanto al peso propio se tuvo en cuenta el peso de los elementos estructurales junto con cierre hidráulico, aislación y accesorios. Todo lo anterior incrementando en un 15% para considerar las incertidumbres previas de los pesos totales y un 5% debido a las hiperestaticidades.

Luego el efecto del viento se tuvo en cuenta según las normas CIRSOC 102 - 2005: Acción de Viento Sobre las Construcciones y CIRSOC 108 -2007: Reglamento Argentino de Cargas de Diseño para las Estructuras durante su Construcción.

Se consideraron dos velocidades de viento para los cálculos. Un viento denominado de Operación (viento de 20 m/s) y un viento de Contingencia (viento de 35 m/s) para la etapa de deslizamiento sobre la viga carrilera.

El software utilizado para los cálculos es RAM Elements V8i. En la Figura 21 se muestra el modelo 3d modelado. Se uso la norma AISC (2010) para el diseño y verificaciones.

Junto con las tolerancias geométricas dadas en el diseño de la estructura y que son relevantes a la hora de hacer coincidir en el montaje todos los elementos, existieron limitaciones dadas por el proveedor del sistema de izaje y deslizamiento, como por ejemplo que el ángulo del cable de izado no podía superar el grado de inclinación con respecto a la vertical.

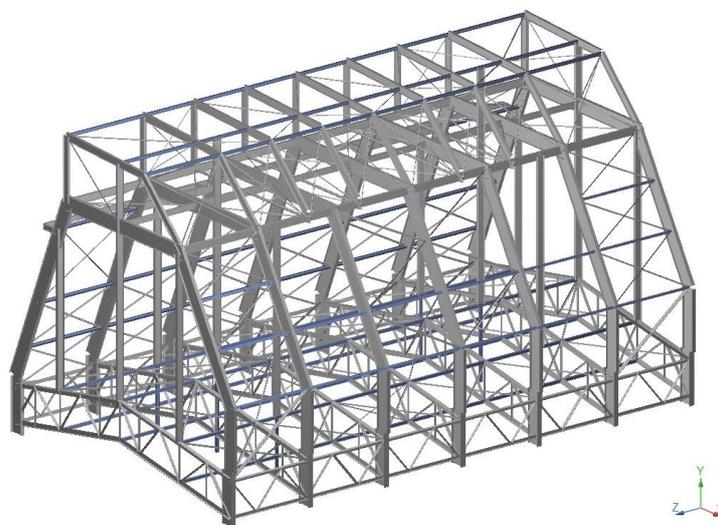


Figura 21. Modelo de cálculo 3D.



Otro aspecto importante que se tuvo presente y verificó es cómo se modificaba el estado de cargas en caso de que los puntos de izado suban con algunos milímetros de diferencia. Se fijo como límite para las maniobras de izado una diferencia de 5 mm entre los puntos de anclaje. El análisis realizado con este valor de desplazamiento de apoyo dio como resultado un incremento en las reacciones del 3% para el caso del primer izado, y un 45% para el caso del segundo izado. Estos incrementos no presentaron inconvenientes para la estructura de la campana, ni para los elementos estructurales auxiliares necesarios como las consolas, cáncamos, etc.

La velocidad de izaje depende mucho de este valor máximo de desplazamiento de apoyo. Cuanto mayor es el número de puntos de izado menor es la velocidad con que se sube la estructura ya que el sistema tiene más puntos que controlar.

Tener presente el hecho de que a mayor hiperestaticidad más difícil fue controlar las deformaciones de la estructura.

2.2.1 Estructura campana de extracción

Se realizó la verificación de la estructura de la campana para cada etapa del montaje. Se uso para las etapas de armado, primer izaje y segundo izaje el viento de operación y para la etapa de deslizamiento el viento de operación y de contingencia.

Se tuvo que tener especial atención en los refuerzos de la estructura de la campana ya que el funcionamiento estructural en su posición final es totalmente distinto al funcionamiento en las distintas etapas del montaje. Por ejemplo se tuvo que reforzar una viga que originalmente era para dar estabilidad en el sentido perpendicular al de los pórticos de la campana ya que durante el montaje esta viga servía de apeo para el resto de la estructura. Los extremos de la campana, al levantar la misma de 4 puntos, se colgaban de esta viga de apeo funcionando la misma como una viga en voladizo como se puede observar en la Figura 22.

En la Figura 23 se muestra las distintas condiciones de apoyo y reacciones de la campana de extracción durante el montaje.

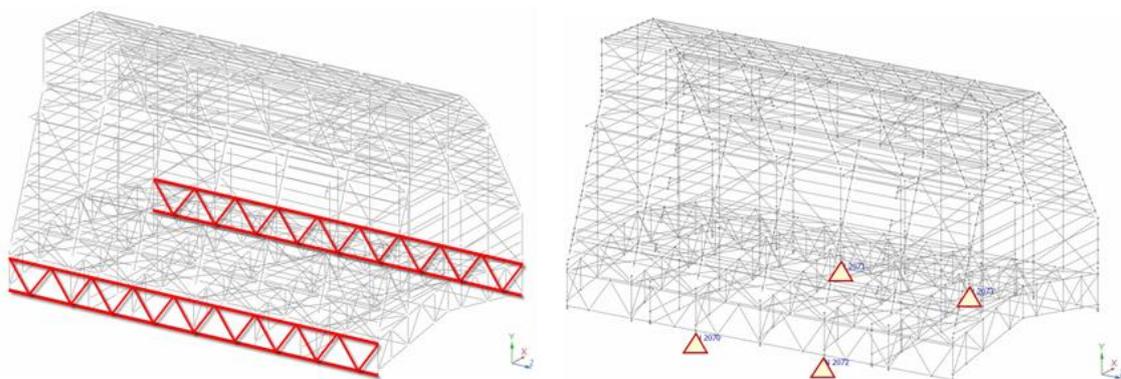


Figura 22. Viga de apeo. Esquema de apoyo para el caso de la etapa de deslizamiento.



2.2.2 Estructura nave acería

Para la nave de acería se verificaron aquellos elementos y partes de la estructura que se vieron afectadas por la maniobra de montaje. Por ejemplo se verificaron las bayonetas de la estructura para el primer y segundo izaje y las vigas carrileras utilizadas para realizar el deslizamiento de la campana. Ver Figura 24.

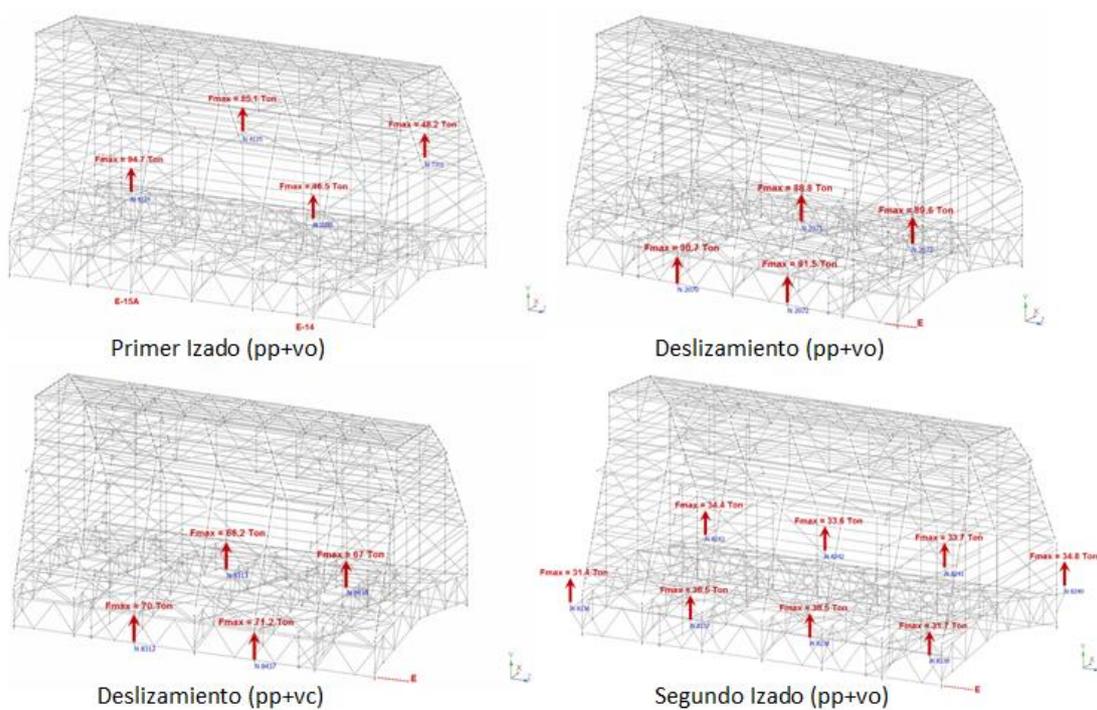


Figura 23. Condiciones de apoyo y reacciones para las distintas etapas de montaje (pp = peso propio; vo = viento operación; vc = viento de contingencia)

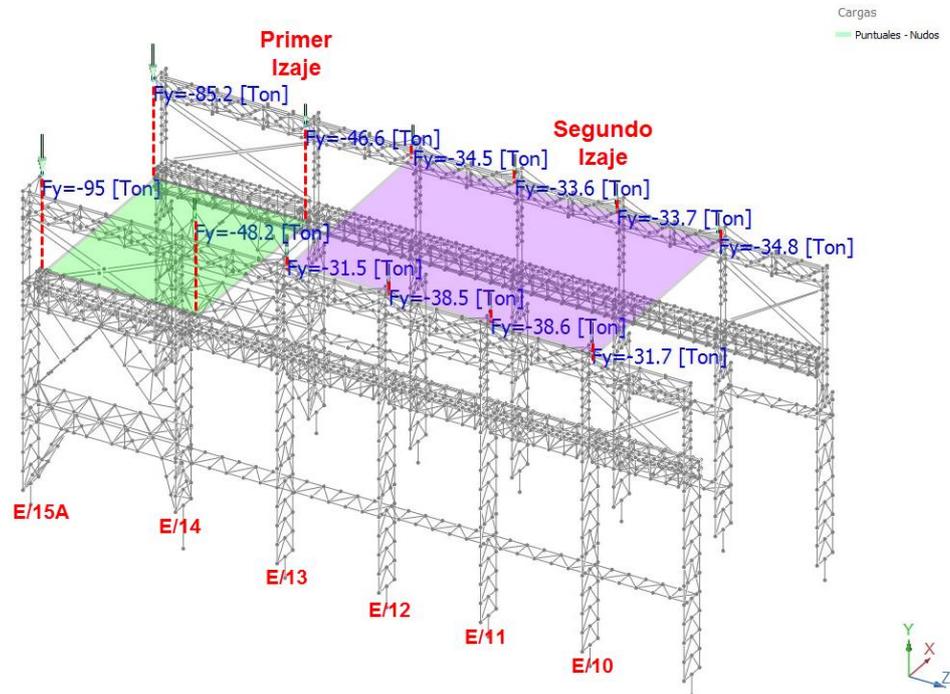


Figura 24. Esfuerzos aplicados en estructura de la nave de acería debido al primer y segundo izaje de la campana de extracción.

2.2.3 Estructura auxiliar para el montaje

Para todas las etapas se requirieron elementos estructurales auxiliares. Entre otros elementos se realizó la verificación de las consolas de izado, cáncamos, ménsulas de tope y deslizamiento, topes transversales, topes longitudinales, balancín, arriostramientos provisorios, tornapuntas, vigas refuerzo de patines de deslizamiento, vigas de vinculación entre patines, accesorios, pasarelas, etc. En la Figura 25 se muestra una imagen del cáncamo y balancín.



Figura 25. Detalle de câncamo y balancín.

2.3 Ingeniería de detalle

La ingeniería de detalle se realizó sobre la base de un modelo tridimensional generado con el software Tekla Structures. El modelo básico se importó desde el programa de elementos finitos mediante un archivo tipo SDNF (Steel Detail Neutral File), a través del cual se transfirió toda la información referida a geometría, secciones, calidad de acero, etc.; tanto de estructura de la campana en si misma, la estructura de la nave de acería y los elementos auxiliares para el montaje.

En el modelo tridimensional se detallaron todas las conexiones de los elementos estructurales, con la bulonería correspondiente. A partir de este modelo se emitieron los planos de fabricación, como un reflejo del mismo. Cada pieza tuvo a su vez, un archivo CNC (control numérico) asociado que puede ser interpretado por las máquinas de la fábrica.

Otro tema importante que se verificó durante el desarrollo de la ingeniería de detalle fueron las interferencias posibles durante toda la maniobra. A partir de los hallazgos de interferencias se plantearon soluciones y/o modificaciones que garantizaron el éxito de la maniobra de montaje. En la Figura 26 se muestra parte de la maqueta 3D de detallamiento.

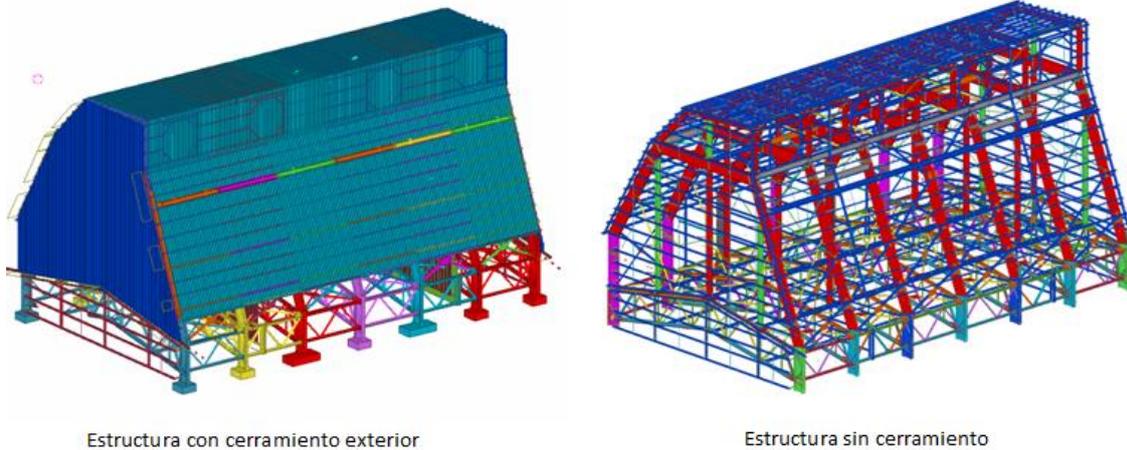


Figura 26. Maqueta de detallamiento 3D.

2.4 Fabricación

La fabricación de la estructura se ejecutó con materiales de calidad ASTM A572 Gr50 para los perfiles armados y los laminados pequeños (en su mayoría de producción nacional). También se utilizaron, en algunos casos particulares, perfiles W con calidad de acero ASTM A572 Gr50. La fabricación se realizó siguiendo las especificaciones de fabricación de las normas AISC (American Institute of Steel Construction) y AWS (American Welding Society). Las correas de techo y cerramientos laterales se materializan con perfiles de sección delgada conformados en frío.

Los procesos de fabricación de los perfiles soldados fueron: corte a pantógrafo a control numérico a plasma u oxiacetileno, 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 epoxi. Todas las máquinas CNC poseen software de intercambio de información electrónica con ingeniería.

En cuanto a las estructuras de perfiles conformados en frío (correas), el proceso de fabricación se ejecuta con una máquina que realiza los procesos de planchado, punzonado, corte y conformado en línea. La producción se ejecutó en la planta industrial de Cinter SRL en Santa Fe, Argentina.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante ambas etapas de izado es fundamental contar con controles topográficos de manera permanente en la obra. Básicamente se requiere controlar que las deformaciones reales que se producen al cargar la estructura de la nave con el peso de la campana se encuentren dentro de las tolerancias respecto de las previstas en los cálculos, y que los descensos relativos de los distintos puntos de izaje no superen lo establecido como máximo.

La velocidad lograda en los izajes fundamentalmente depende de diversos factores como ser: las condiciones climáticas, la cantidad de puntos de izaje, imprevistos, el comportamiento de la estructura, etc. De estos nos parece importante remarcar, el hecho de que cuanto mayor sea

* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



el número de puntos de izado, menor es la velocidad que se logra en el avance, una de las razones por ejemplo es que se tienen más puntos que controlar topográficamente.

Las hiperestaticidades se deben considerar desde el inicio en el diseño y cálculo de todas las estructuras involucradas en el montaje. A mayor hiperestaticidad (es decir más puntos de izaje) los descensos relativos entre puntos de la estructura a montar pueden producir incrementos importantes en los esfuerzos. En nuestro caso de estudio estos incrementos variaban desde el 5% al 40 %. Estos valores fueron ampliamente superiores a los establecidos como típicos para este tipo de maniobras (5%).

La cantidad de elementos auxiliares a diseñar y calcular en este tipo de montajes es muy superior a lo que tienen en un montaje convencional.

Las condiciones climáticas juegan un rol importantísimo en este tipo de montaje. Poder definir una ventana climática óptima en donde no se tenga lluvia, vientos fuertes, etc. nos garantiza que el montaje se empieza y no se para por estos motivos. En este tipo de montaje no es aconsejable dejar la estructura a la mitad de las etapas, ya que para estas posiciones no se tienen todos los anclajes y topes como para que la estructura suspendida sea segura para condiciones climáticas que sean más desfavorables que las adoptadas en el diseño.

Al no ser un montaje convencional y no tener generalmente los montajistas experiencia en este tipo de maniobra es fundamental la capacitación del personal. Mostrar los conceptos generales en que se basa el montaje, cuales son los puntos críticos, los cuidados y peligros asegura que los tiempos y calidad del trabajo sea la óptima.

Los trabajos en sí de primer izado y deslizamiento se pensaron de manera continua y a realizar en dos turnos de 12h. Por lo mencionado antes se tuvo que prever sistemas de iluminación artificial para los trabajos nocturnos. Otro aspecto fue el solapamiento de los turnos en los operarios de modo que el cambio de turno no sea de manera abrupta y el trabajo no se detenga.

Para el segundo izado también el trabajo se hizo de forma continua, es decir se comenzó en la posición inicial y se terminó con la campana en su posición final asegurada.

La limitación de inclinación máxima de los cables de izado con respecto a la vertical fue uno de los condiciones de borde más importantes a la hora de diseñar los refuerzos de la estructura de la nave para el primer izado y el planteo de cables tensionados para la aplicación de deformaciones previas en la estructura de la nave en el segundo izaje.

Las ventajas de este tipo de montaje fueron principalmente las siguientes: se logró realizar la fundación del horno de reducción y montaje de la campana de extracción en simultáneo; los trabajos en altura se redujeron considerablemente. En lugar de montar 1500 elementos a más de 36 metros de altura, los mismos se montaron a nivel del suelo.

Desde el punto de vista del cálculo se debe destacar que debido a que la de estructura de la campana es "liviana" y muy flexible, el efecto del viento es muy importante. Si no se prevén dispositivos de retención y topes, los desplazamientos transversales y longitudinales superan ampliamente a los permitidos.

En las Figuras 26, 27 y 28 se muestra en imágenes y a modo de resumen final la secuencia de montaje tomada desde distintos puntos.

* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

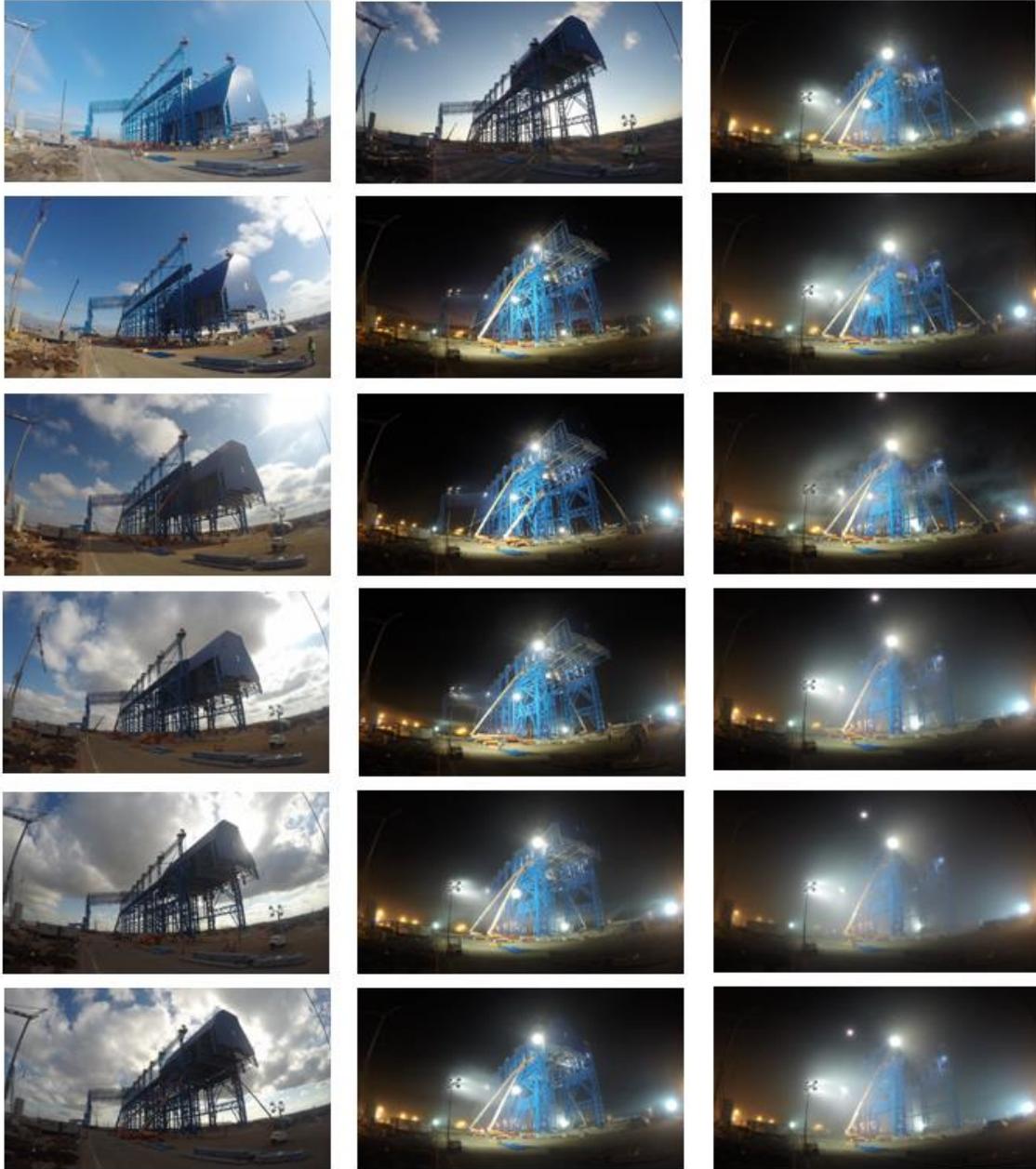


Figura 26. Sequencia de fotográfica del montaje. Posición 1.

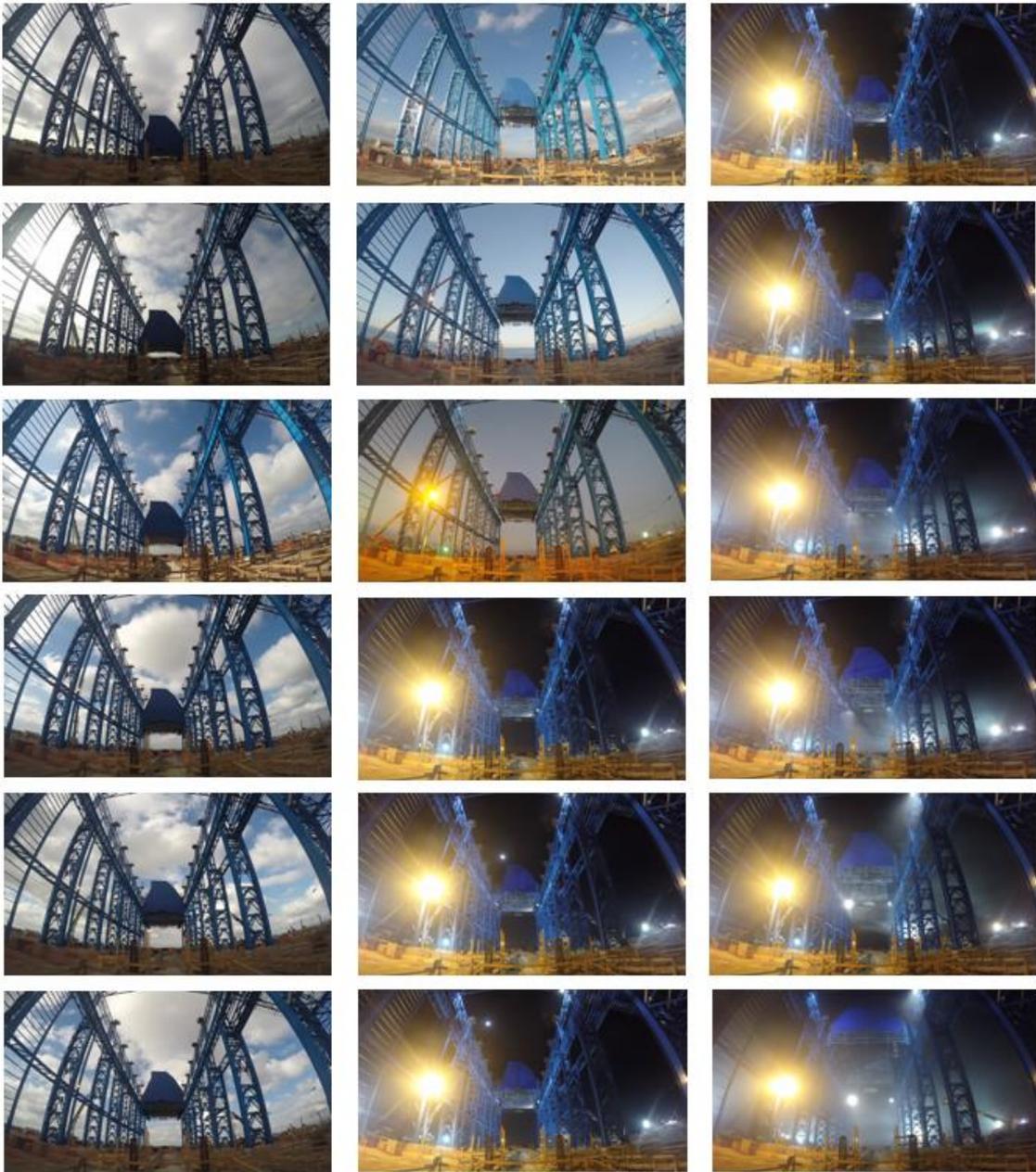


Figura 27. Sequencia de fotográfica del montaje. Posición 2.

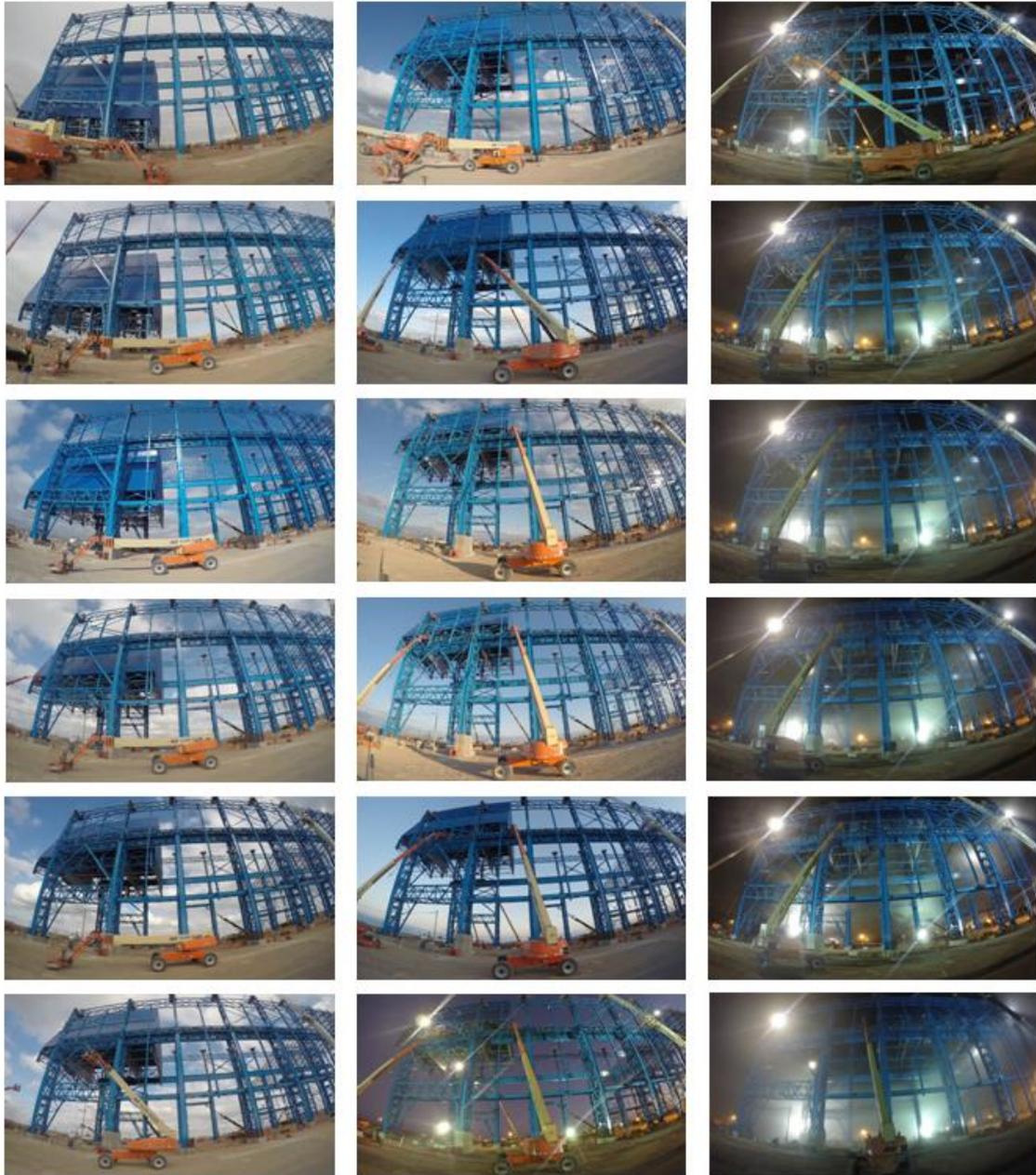


Figura 28. Sequencia de fotográfica del montaje. Posici3n 3.



4 CONCLUSIÓN

El montaje de las estructuras metálicas es tan importante como el resto de las etapas de un proyecto. Pensar esta etapa desde el inicio nos garantiza un resultado favorable en cuanto al cumplimiento de los objetivos. En el sector de las obras civiles metálicas estamos acostumbrados a realizar en su mayoría montajes "convencionales", es decir, utilizando grúas, ya sea sobre camión o torre y montando las piezas de manera individual o en algunos de los casos en módulo. Otra de las características de ese tipo de montaje es que las piezas se montan ya en su lugar definitivo.

Utilizando este método de montaje no convencional en donde se monta toda la estructura completa con la ayuda de gatos hidráulicos y utilizando como soporte la estructura del edificio se logró reducir el tiempo y costo, lo cual permitió garantizar la ejecución de la obra. Otro beneficio obtenido fue la minimización de los trabajos en altura. Ante proyectos de estas características, es importante evaluar las posibilidades de uso de métodos alternativos de montaje, que en el balance general, no implican un incremento notable en los costos, garantizando los tiempos de ejecución y mejorando la seguridad durante del trabajo.

Si bien los conceptos usados de izaje y deslizamiento son simples en esencia, la maniobra requiere una coordinación, seguimiento y conocimiento del procedimiento al detalle.

Agradecimientos

Queremos agradecer el trabajo de todo el equipo operativo de Cinter (Ingeniería, Logística, Fábrica, Terceros y Obras) que llevó adelante este desafío, logrando un resultado final exitoso.

REFERENCIAS

AISC 2010, Steel Construction Manual, 13th Ed., American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

CIRSOC 102 - 2005: Acción de Viento Sobre las Construcciones.

CIRSOC 108 -2007: Reglamento Argentino de Cargas de Diseño para las Estructuras durante su Construcción.