

SOLUCIONES de PREFABRICACIÓN, PREARMADO y MODULARIZACIÓN de INSTALACIONES de REFINO

Ing. Gabriel Telechea PMP
AES A S.A. / YPF S.A.
gabriel.telechea@ypf.com

▪ **Sinopsis**

Contexto: Proyecto Nuevo Coque A. Complejo Industrial La Plata. Año 2013/2014/2015. Empresa responsable del proyecto EPCF (Ingeniería, Compras, Construcción y Fabricación): AES A S.A., Cliente YPF S.A. Estrategia inicial para reducir plazos de construcción y montaje.

Principal Objetivo: reducir el plazo del proyecto a través de modularizar las más de 5.000 toneladas de estructuras metálicas, equipos y cañerías, partiendo de una ingeniería de una planta diseñada para ser construida y montada en forma convencional.

Desarrollo: se trabajó en conjunto entre Ingeniería y Construcciones en una estrategia para montar todas las estructuras metálicas en partes o módulos. Así se disminuyeron las tareas de armado y montaje en campo ya que el trabajo se realizó fuera de planta, se mejoraron los rendimientos de la mano de obra y la calidad. Adicionalmente se realizaron trabajos en paralelo. Todo esto contribuyó a mejorar la seguridad para los trabajadores.

Por la naturaleza de las estructuras, el trabajo se dividió en dos grandes grupos:

Módulos sin equipos, la estructura metálica que rodea a las Cámaras de Coque se dividió en 8 módulos que van desde 126 a 444tn y sus dimensiones máximas en planta son 17x43 y 15 metros de alto. Esta estructura completa supera las 2.000 toneladas. Su montaje se inició a 30 metros y alcanzó los 120 metros de altura con respecto al pavimento.

Módulos con montaje de equipos, cañerías, electricidad/instrumentos, plataformas y escaleras. Se construyeron en paralelo más de 20 módulos. La suma de todas estas estructuras también supera las 2.000 toneladas.

Esta estrategia permitió construir cada elemento metálico (perfiles, chapas) en distintos talleres y transportarlos como elementos lineales, para luego realizar las tareas de prearmado y modularizado en distintas locaciones. En algunos casos estas tareas se realizaron dentro de la refinería en un radio de 650 metros de su destino y en otros casos, en talleres para luego ser transportados y montados en la Planta.

Conclusión: modularizar es la solución adecuada cuando se quiere reducir plazos, mejorar la calidad, la seguridad, cuando la mano de obra en sitio es escasa o cuando las condiciones climáticas del sitio son rigurosas.

■ Introducción

La modularización de grandes estructuras para luego ser transportadas y montadas en el sitio de operación es una práctica que va en aumento en todo el mundo.

Este caso de estudio se sitúa en La Plata, Buenos Aires, Argentina, más precisamente en la Refinería que YPF opera en dicha ciudad. A principios del año 2013 el cliente (YPF) nos adjudicó un proyecto EPCF para una nueva Unidad de Coque. Esta unidad debería incrementar la producción de naftas y gasoil en 600 millones de litros por año. Los equipos principales de la unidad son 3 Cámaras de Coque de 40 metros de alto soportadas a más de 30 metros de altura. Estas cámaras están revestidas por más de 2.000 toneladas de estructuras metálicas que alcanzan una altura de 120 metros con respecto al pavimento.



Tabla comparativa de alturas – figura 1

Las principales voces civiles para esta obra fueron: 70.000 horas de ingeniería, 80.000 m3 movimientos de suelo, 915 pilotes, 1.300m3 pavimentos, 22.000m3 de hormigón in situ, 3.700m3 de hormigón pre moldeado, 2.500 m2 Edificios, 9.000 m2 ignifugado y 5.000 toneladas de estructura metálica. A partir de ahora este trabajo se focaliza en las estructuras metálicas que fueron las que permitieron el modularizado.

El cliente, a través de una empresa de ingeniería del exterior que tenía experiencia en el proceso de plantas de coque, aportó la ingeniería básica y parte de la ingeniería de detalle para el proyecto. Esa ingeniería planteaba realizar la construcción de la estructuras metálicas bajo metodología Stick built, lo que significa montar elemento por elemento en sitio.

Al poco tiempo de comenzado el proyecto ocurre un evento inesperado en la refinería que deja fuera de servicio una de las dos unidades de coque que estaban en funcionamiento. A partir de ese momento se comienza a trabajar junto con el cliente sobre un Plan de Aceleración del Proyecto que permita reducir los

plazos de las tareas de construcción principales. El modularizado de todas las estructuras metálicas aparece como una estrategia válida para reducir el plazo de finalización del proyecto.

▪ Desarrollo

Para lograr que la tarea de modularizar sea exitosa se trabajó en equipo involucrando desde el principio a todos los interesados: Cliente, Ingeniería, Construcciones, Compras, Fabricación y RRHH. Se definieron necesidades y objetivos (de plazos, costos, etc), se analizaron las limitaciones del entorno, espacios disponibles, capacidades de grúas disponibles y necesarias, se evaluaron alternativas y se tomaron decisiones, a partir de esto se definió la estrategia de modularizado.

Definición de módulo

Un módulo consiste en un volumen formado por elementos estructurales, que soportan componentes fácilmente integrables en una planta de procesos. Los módulos contienen componentes prefabricados o pre-ensamblados y son construidos fuera de planta.

El peso y el tamaño de los módulos es esencialmente determinado por las instalaciones fabriles, transporte y logística, facilidades para carga y descarga, equipos de izaje pesado, soluciones técnicas, mantenimiento y operación, limitaciones del sitio y especificaciones del cliente.

Tipos de modularizado

- Skid
 - a. Estructuras de elevación simple diseñadas para soportar equipos de proceso más elementos de cañerías, electricidad e instrumentación
 - b. Se transportan en camiones o trenes
- Módulos de Procesos o PAU (Pre-assembled Unit)
 - a. Estructura en 3D que soporta equipamiento en diferentes niveles
 - b. Puede ser una parte o el todo de una unidad de producción probada y aceptada, lista para ser comisionada después de la conexión
 - c. Pueden pesar hasta 1.000 toneladas
- Módulos de Cañerías o PAR (Pre-assembly Rack)
 - a. Subconjunto o conjunto de soporte esencialmente para cañerías
 - b. Diseñados para conectar unidades dentro y fuera de las plantas de procesos (in-site)
- Sendas de Cañerías o PAT (Pre-assembled Track)
 - a. Subconjunto de soporte para cañerías en un solo nivel
 - b. Diseñados para conectar unidades generalmente fuera de las plantas de procesos (off-sites)
- Equipos vestidos
 - a. Conjunto de grandes torres o recipientes de procesos con sus elementos secundarios montados. Ej: cañerías, plataformas, barandas, escaleras

En este proyecto se utilizaron los 5 tipos de modularizado. En este trabajo se analizaron solo los dos más significativos.

Estrategia de modularizado

En líneas generales la estrategia de modularizado consistía en:

La Ingeniería Civil debía realizar una serie de tareas como ser: a. verificar las estructuras para las condiciones de prearmado, pesaje, transporte, izaje y montaje. b. diseñar las Mesas de Apoyo para prearmado y transporte. c. diseñar los refuerzos de los módulos para izaje y acople. d. determinar peso y centro de gravedad teórico de cada módulo. e. realizar documentación para aprobación del cliente y para certificación de elementos críticos que intervienen en el izaje. f. diseñar el camino para el transporte de los módulos. g. diseñar paquete de suelo para apoyo de la grúa principal en zona de pre armado y zona de montaje. h. brindar asistencia en todas las etapas hasta la finalización de los montajes.

La fabricación de las estructuras metálicas (perfiles y chapas) debía realizarse en talleres externos y transportar a la obra como elementos lineales (sin ningún pre armado). Estos elementos debían venir cortados, agujereados, las chapas de uniones y placas base soldadas a los perfiles, los elementos debían estar pintados con sus esquemas adecuados e inequívocamente identificados. En obra solo debían hacerse tareas de montaje, abulonado e ignifugado. La mayor parte de estas estructuras debían fabricarse en la provincia de Santa Fe.

Dentro de la Refinería (pero fuera de áreas de procesos) se dispuso de diferentes espacios que YPF habilitó para acopio de los materiales metálicos.



Acopio de perfiles en helipuerto – figura 2

La mayoría de los módulos se prearmaron sobre un gran pavimento de hormigón, donde alguna vez funcionó un helipuerto, este lugar, del tamaño de 3 canchas de fútbol, estaba situado a 650mts de la Planta (sitio final de montaje). En los módulos se montaron inclusive los elementos secundarios como ser plataformas, piso rejilla, escaleras y barandas de manera tal de minimizar los trabajos en sitio. Para esto hubo que realizar un trabajo de planificación, para definir la ubicación donde se pre armarían los módulos de manera que no se estorben entre sí durante el armado y el posterior traslado. En este lugar se armaron más de

una docena de módulos al mismo tiempo. También se tuvo en cuenta que al terminar un módulo y transportar al sitio, quedaba un espacio que permitía comenzar con el armado de otro módulo.



Prearmado de módulos en helipuerto – figura 3

Una vez que cada módulo y el sitio final estuvieron preparados, que las condiciones climáticas fueron las adecuadas y que se cumplieron todas las formalidades con el cliente, se transportaron estos módulos hasta la futura Planta de Coque. Estos transportes, dentro de refinería (no salían al espacio público) se realizaron en grandes Carretones Hidráulicos que recorrían lentamente los 650 metros por calles acondicionadas especialmente para ese fin.



Transporte de módulos – figura 4

En sitio los módulos fueron recibidos por un gigante que hacía posible todo lo que venía después, una grúa Liebherr LR11350 con capacidad de 1.350 toneladas y una altura máxima de 170 metros bajo gancho en su configuración más grande. Esta grúa fue importada temporariamente para este proyecto y es la grúa más grande que ha ingresado al país hasta el momento.

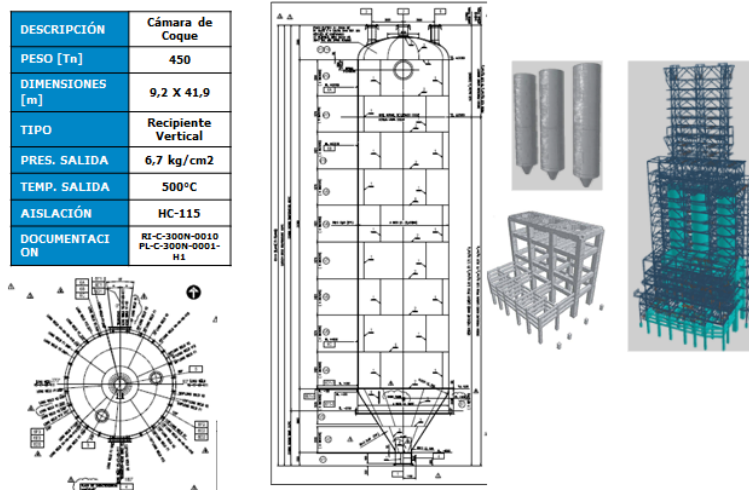


Liebherr LR11350 – figura 5

Soluciones de Prefabricación, Prearmado y Modularización de
Instalaciones de Refino

Ing. Gabriel Telechea PMP

Se debe tener en cuenta que aunque no se hubiera pensado en modularizar, esta grúa era necesaria para izar cada Cámara de Coque a más de 100mts de altura. Cada Cámara pesa 436 toneladas, 41,9 metros de largo y 9,20 metros de diámetro.



Esquema Cámaras de Coque – figura 6



Cámaras de Coque – figura 7

Desde Ingeniería

Por la naturaleza de las estructuras, el trabajo se dividió en dos grandes grupos, por un lado las Estructuras que rodean las Cámaras de Coque las llamaremos Módulos Metálicos de las Cámaras de Coque y por otro las estructuras que soportan equipos más elementos de cañerías, eléctricos y de instrumentación, a estos los llamaremos Módulos de Procesos y Módulos de Parrales

Módulos Metálicos de las Cámaras de Coque



Izaje Módulo – figura 8

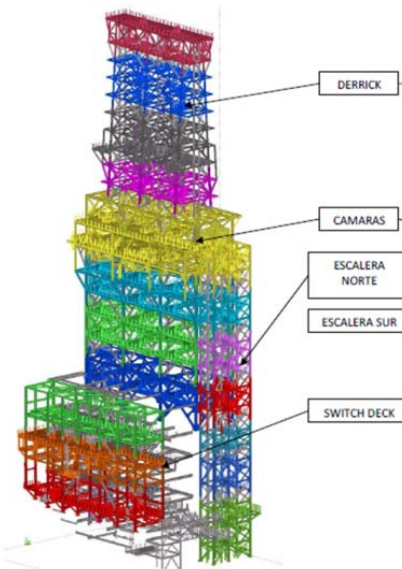
Para el modularizado de los Módulos Metálicos de las Cámaras de Coque se estudiaron diferentes situaciones relativas al armado, pesaje, traslado y montaje de los mismos. Las estructuras metálicas tienen un peso de más 2.000 toneladas. Estas estructuras fueron separadas en 8 módulos principales y otros secundarios. Los pesos de los módulos iban de 126 toneladas hasta 444 toneladas y dimensiones por ejemplo de 17x43x15 de alto o 12x27x20 de alto.

Pesos y dimensiones Módulos					
item	Nombre	Peso con refuerzos (tn)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Alto (mm)
1	Modulo Inferior Switch Deck	237	9610	39300	17000
2	Modulo Superior Switch Deck	127	12350	38850	9700
3	Modulo Inferior Camaras	224	11650	41650	10800
4	Modulo Intermedio Inferior Camaras	219	11350	41400	10800
5	Modulo Intermedio Superior Camaras	206	15400	41700	10800
6	Modulo Superior Camaras	444	17200	43200	15100
7	Modulo Inferior Derrick	171	12800	27700	20800
8	Modulo Intermedio Superior Derrick	140	7500	30100	19800

Tabla pesos y dimensiones de Módulos – figura 9

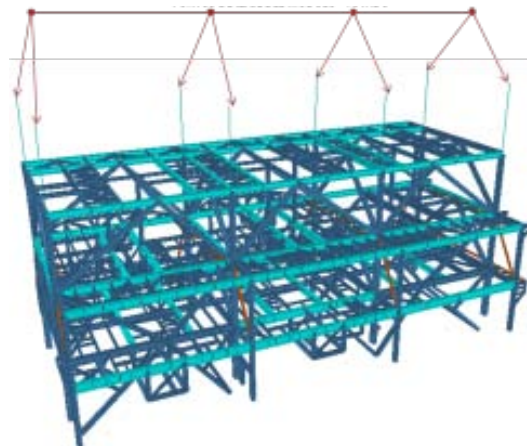


Soluciones de Prefabricación, Prearmado y Modularización de
Instalaciones de Refino



Módulos de las Cámaras de Coque – Figura 10

Cada estructura se modeló en un programa de cálculo y se verificó para distintos estados relativos al transporte y montaje. Se tuvo en cuenta que los estados a verificar producen esfuerzos sobre la estructura distintos a los que fueron considerados para la etapa operativa de la estructura.

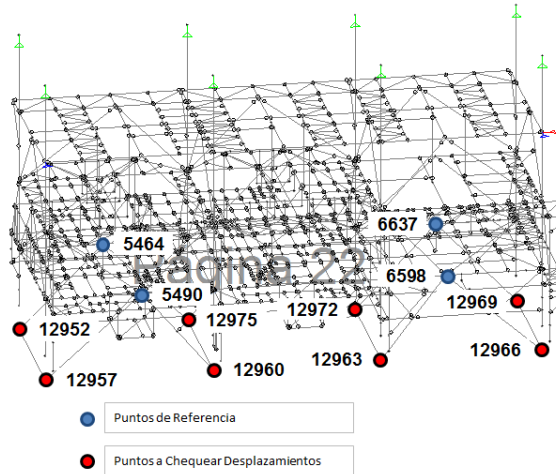


Vista renderizada del Modelo – Con eslingas de Izaje – figura 11

Otra situación a tener en cuenta es que las columnas, principalmente aquellas que hacían de acople entre módulo y módulo, no podían desplazarse más de 2mm para cada lado, en función de la tolerancia de los agujeros. Teniendo en cuenta las dimensiones de los módulos, los modelos exigieron mucha precisión detallando elementos que usualmente no se detallan. Se consideró el peso en su ubicación exacta, de ignifugado, el piso rejilla, plataformas, escaleras y barandas. Se consideró el efecto sobre la estructura debido a una posible diferencia entre las longitudes de eslingas, también el alargamiento y acortamiento del par de eslingas. Se tuvo en cuenta el incremento de la carga vertical por impacto debido al izaje. Se incrementó la carga debido a elementos que no se modelan como plataformas temporarias (necesarias para el acople de un

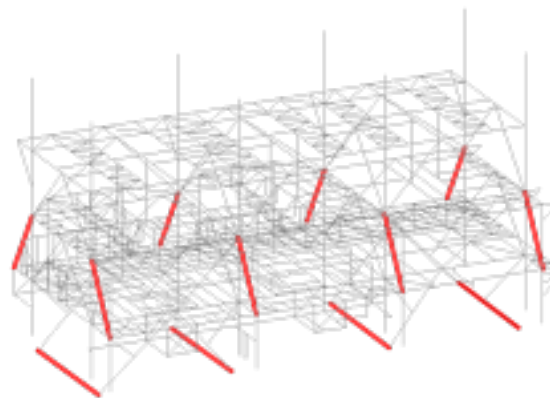


módulo con el otro) y elementos de unión. Se aplicó un factor de consecuencia sobre elementos de vital importancia en la etapa de montaje.



Desplazamientos a nivel de Unión con Módulo Inferior – figura 12

Como se dijo, al transportar o izar la estructura aparecen esfuerzos diferentes a los que la estructura recibirá en su vida operativa, por tal motivo son necesarios refuerzos para que no se alcance ningún estado límite, ya sea último (por resistencia) o de servicio (deformaciones). Estos refuerzos debían diseñarse de manera de que no modifiquen a la estructura original para que la misma puede soportar los estados de operación. Por los plazos cortos que existían desde su diseño hasta su montaje se debían utilizar perfiles de fácil obtención y con métodos sencillos de unión a las estructuras originales que además permitan luego ser desmontados una vez que la estructura quede en su posición final.



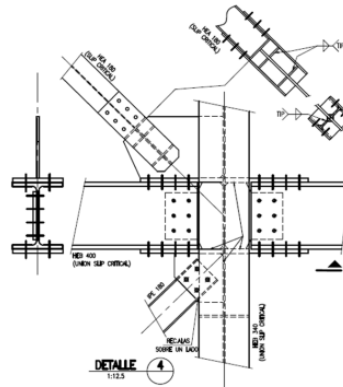
Vista global de los refuerzos – figura 13



Soluciones de Prefabricación, Prearmado y Modularización de
Instalaciones de Refino

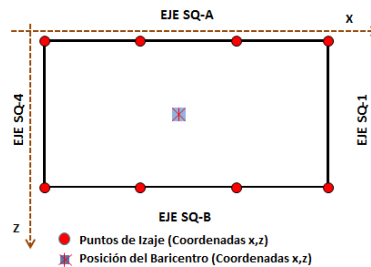
Ing. Gabriel Telechea PMP

Se verificaron las uniones abulonadas y soldadas entre vigas, columnas y diagonales para las condiciones antes mencionadas.



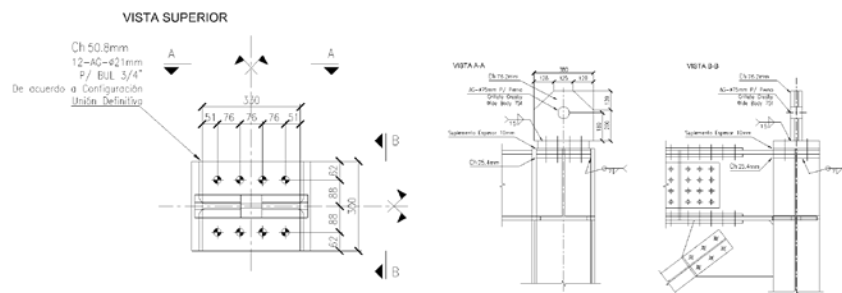
Unión Pretensada – Articulada de Arriostamiento doble ángulo – Figura 14

De cada módulo se determinó peso completo, reacción en cada punto de izaje y centro de masa. Con esta información se determinaron las perchas y lingas de izaje. Luego esta información fue confirmada o superada con el pesaje en campo.



Ubicación de CG – figura 15

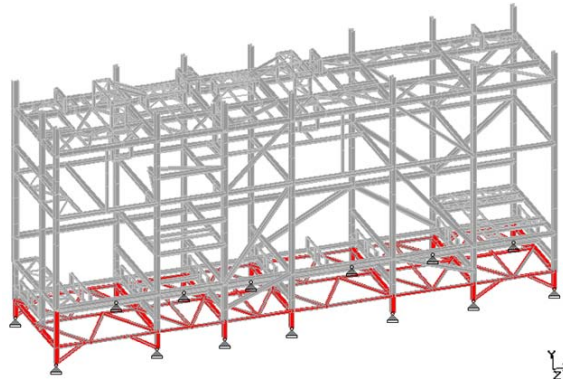
Se diseñaron los cáncamos de izaje para la carga última incluyendo impacto. Se verificaron los bulones a tracción, la chapa a flexión teniendo en cuenta los ángulos de las eslingas, la soldadura entre chapa de cabeza y oreja.



Croquis Cáncamos de Izaje – Figura 16

Mesas de apoyo para prearmado y transporte

Al modularizar las estructuras, aparece la necesidad de diseñar un bastidor inferior que permita prearmar los módulos y además que le de sustento y rigidez al conjunto para poder ser transportado sobre los carretones hidráulicos.



Mesa de Apoyo – figura 17

Las estructuras al ser divididas en partes, no podían apoyar directamente sobre el pavimento por tal motivo hacía falta diseñar un bastidor metálico que compensara eso. A este bastidor metálico lo llamamos Mesa de Apoyo.

Las mesas fueron el nexo de soporte entre los módulos y los carretones hidráulicos, estas debían tener la rigidez suficiente para soportar el peso del módulo una vez que el conjunto se apoyaba sobre el carretón ya que en muchos casos el ancho del módulo superaba por mucho el ancho del carretón. Además las mesas debían tener una altura determinada de manera que el carretón ingresara por debajo, luego el carretón a través de su sistema hidráulico toma altura y levanta los módulos, esta maniobra tenía menos de 80mm de huelgo.

Una vez que el conjunto llegaba al sitio, el módulo quedaba apoyado nuevamente sobre la mesa esperando que las condiciones estén dadas para ser izado y montado en su ubicación de operación.

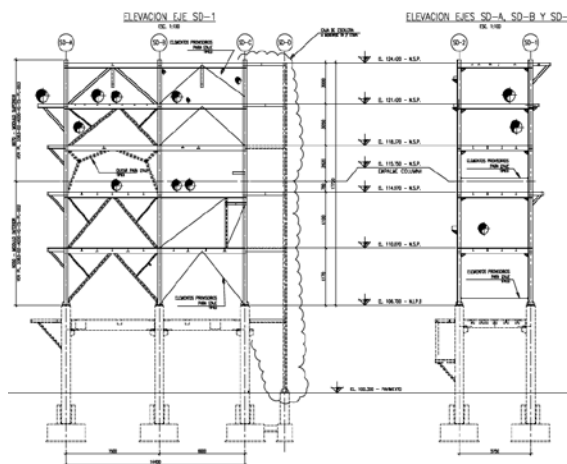
Las mesas se verificaron para cada módulo y en algunos casos las configuraciones sirvieron para más de un uso.

Módulos de Procesos y Módulos de Parrales



Módulo de Procesos – figura 18

Para las restantes estructuras (que no conforman los Módulos de las Cámara de Coque) también se planteó modularizarlas, pero en estos casos se montaron e instalaron equipos, cañerías, bandejas eléctricas y de instrumentos además de plataformas, pisos rejilla, barandas y escaleras. Estas estructuras quedaron en 10 módulos (PAU + PAR) y 11 módulos de plataformas y escaleras. La suma de todas estas estructuras también superan las 2.000 toneladas. Para el montaje de estos módulos se usaron diferentes grúas con capacidades desde 55tn a 1350tn.



Croquis Módulo Inferior y Superior - Figura 19

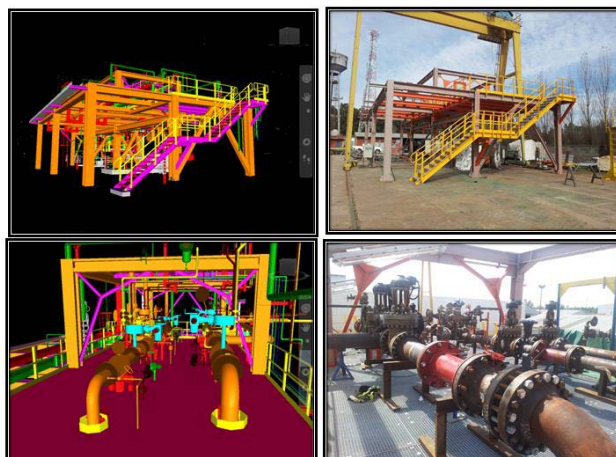
La estrategia de modularizado fue similar a la utilizada para los Módulos de las Cámaras de Coque con algunas diferencias como por ejemplo, algunas módulos se prearmaron completos en los talleres de AESA en Canning, Ezeiza y luego fueron transportados por rutas y avenidas públicas hasta la refinería.



Módulos de procesos prearmados en Canning – figura 20

Se modeló la estructura considerando los pesos de cada elemento para la condición de prearmado, transporte e izaje.

Se analizó en modelos 3D las interferencias entre cañerías, plataformas y bandejas con los nuevos refuerzos y la deformación del conjunto.



Maqueta 3D y fotos – figura 21

Ventajas y desventajas de modularizar (desde la óptica del proyecto global)

Ventajas de la Modularización	
Reducción de plazo	Aumento de la seguridad para las personas
Aumento de la calidad	Zonas más controladas
Reducción del impacto social/medioambiental	Reducción en los costos de la mano de obra
Reducción del impacto climático	Realizar mayor cantidad de tareas en paralelo

Desventajas de la Modularización	
Aumento en esfuerzo de ingeniería	Aumento en los costos de estructuras
Aumento en los costos de transporte	Mayor necesidad de infraestructura
Impactos de contenido locales	

■ Conclusiones

Modularizar es la solución adecuada cuando se quiere reducir plazos, mejorar la calidad, la seguridad, cuando la mano de obra en sitio es escasa o cuando las condiciones climáticas del sitio son rigurosas.

Para lograr el éxito con los modularizados se deben involucrar a todos los interesados, definir necesidades y objetivos (de plazos, costos, etc), analizar las limitaciones del entorno, espacios disponibles, capacidades de grúas, evaluar alternativas, tomar decisiones adecuadas en los momentos que corresponden, definir una estrategia, tener coraje y un buen equipo.

En este proyecto, gracias a la estrategia de modularizar se logró trabajar en paralelo en varias locaciones distintas, se redujo el impacto que genera el clima por días improductivos, se mejoró la calidad y la seguridad para las personas, se redujo el plazo para las tareas de montaje en campo, y se logró el reconocimiento y satisfacción del cliente.



Equipo de Ingeniería – figura 22

Gracias Gabriel Telechea.

▪ Bibliografía y referencias

- Principales desafíos resueltos por Ingeniería en el proyecto Nueva Unidad de Coque A – Ing. Damián Correa - Jefe de Ingeniería de Coque
- Peso y Dimensiones Estructuras Modularizadas – Ing. Sebastián Afonso – Líder Civil Ingeniería Coque
- Recomendaciones sobre Modularizados – Ing. Micaela Hatanaka – Líder Civil Oficina Técnica Coque
- Refuerzos Cámaras de Coque Módulo Superior – Memoria de Cálculo – AESA y Quasdam Ingeniería
- Estructura Soporte Prearmado Switch Deck – Memoria de Cálculo – AESA Ingeniería
- Achieving Project Success Through Modular Construction – Mauro Mancini – Politecnico de Milano
- Modular Experiencie – Jef Verdickt – Cofely Fabricom Oil, Gas & Power

▪ CV resumido

Gabriel Telechea, 36 años, casado, dos hijas.

Estudios universitarios completos, con título de Ingeniero Civil egresado de la Universidad Tecnológica Nacional.

Certificación internacional en gestión de proyectos con título de *Project Management Professional* emitido por *Project Management Institute*

Actualmente Jefe de Ingeniería Civil, Estructuras Metálicas & Arquitectura en AESA para proyectos de Downstream y Upstream en Argentina y Latinoamérica.

Algunos proyectos realizados bajo este cargo: Plantas de Hidrotratamiento de Naftas, Plantas Tratamiento de Crudo, Plantas Tratamiento de aguas, Plantas de Inyección de Aguas, Baterías Convencionales y No Convencionales, Unidad de Coque, Planta de GLP, Planta de Separación de Líquidos

Previamente Líder de ingeniería Civil en diversos proyectos de Petróleo y Gas

Algunos proyectos realizados bajo este cargo: Planta de Fraccionamiento de Líquidos y Gas, Gasoil y Gasolina de Bajo Azufre, Planta de Inyección de Propano Aire, Planta LTS, Acueductos, Gasoductos, Skids de procesos

Especialista en Petróleo y Gas con más de 11 años de experiencia

AESA S.A. empresa de Ingeniería, Construcción, Fabricación y Servicios en el rubro Petróleo & Gas perteneciente al grupo YPF S.A.