

## **DESAFIOS CIVILES EN PROYECTOS INDUSTRIALES DE REVAMPING**

Alonso, Francisco Martín; Martín Arévalo, Gilmer Fernando;  
Rowell, Agustín; Muñoz, Sergio Andrés.  
Ingenieros Civiles

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se exponen algunos de los desafíos más relevantes que suele enfrentar la disciplina civil en los proyectos industriales de revamping (renovación/ampliación de plantas).

En primer lugar, resulta importante mencionar las múltiples condiciones de borde de una planta industrial existente y en funcionamiento; los complejos y dinámicos requisitos interdisciplinarios; las estrategias constructivas y los ajustados plazos con que suele contarse. Cada uno de estos factores puede condicionar el diseño civil y estructural.

Para abordar esta temática, se describen algunas de las obras de ingeniería civil realizadas para un proyecto de reacondicionamiento de una unidad industrial existente en una refinería argentina. En este sentido, se desarrollan criterios de diseño, factores técnicos y constructivos contemplados en algunas estructuras proyectadas y ejecutadas en el proyecto.

### **ABSTRACT**

*This work involves some of the most relevant challenges that civil engineers usually face during industrial revamping projects.*

*First, it is important to mention the multiple edge conditions of an existing and working industrial plant; the complex and dynamic interdisciplinary requirements; the constructive strategies and the tight deadlines usually available. Each of these aspects may influence the civil and structural design.*

*To address this issue, some of the civil engineering works carried out for a revamping project of an existing unit of an argentinian refinery are described. This way, some of the design criteria, technical and construction factors contemplated in structures planned and executed in the project are developed.*

Organiza:

## 1. INTRODUCCIÓN

El “revamping” de las plantas industriales consiste en la renovación, readecuación o ampliación de las instalaciones existentes, ya sea para mejorar su productividad, adecuar su funcionamiento a nuevas condiciones del producto o nuevos requisitos legales, ampliar la capacidad de producción/tratamiento, incorporar o mejorar procesos, ampliar su vida útil, u otros fines.

En este tipo de trabajos, confluyen en un mismo proyecto una gran cantidad de requisitos de distintas especialidades (generalmente, otras disciplinas de ingeniería), que se superponen con condiciones de borde muy exigentes, en general ligadas tanto a los plazos disponibles para la construcción y puesta en marcha, como a las necesidades de continuidad de funcionamiento de la propia planta, a su estado de conservación, y a la capacidad disponible (portante o geométrica) de las instalaciones y estructuras existentes para recibir modificaciones o agregados. La interacción entre las distintas partes se vuelve rápidamente compleja e iterativa. Las necesidades o ajustes de cada una de ellas impactan en el resto y viceversa, haciendo que el proceso se vuelva cada vez más complejo e interdependiente. Así, nos enfrentamos a múltiples desafíos de ingeniería sumados, lo que fuerza al máximo los diseños, requiriendo adaptabilidad e imaginación para buscar alternativas viables.



*Figura 1. Maqueta 3D. Vista General de la Unidad.*

Organiza:

### **1.1. Alcance**

La intención de este trabajo no es ofrecer soluciones estructurales o diseños ejemplificadores, sino advertir al profesional de algunas situaciones que pueden surgir durante el desarrollo de proyectos de ampliaciones industriales, a efectos de anticiparse a las mismas y planificar en consecuencia actividades preventivas iniciales de relevamiento y diseño de ingeniería, desde la perspectiva de las obras civiles.

A continuación, en base a experiencias recopiladas, se enumeran algunas recomendaciones iniciales generales, y luego se presentan algunos desafíos puntuales de diseño estructural recabados durante un revamping recientemente construido, para dar marco a la situación.

Resulta oportuno indicar que, al momento de inicio, el proyecto de referencia contaba con una ingeniería de detalle con un grado avanzado de desarrollo, por terceros. Este avance limitaba el ajuste de algunos de los diseños aquí presentados como ejemplo, los que pudieron haber resultado superadores o más eficientes, en el caso de haberse analizado en etapas tempranas de la ingeniería, o de haberse tenido en cuenta las recomendaciones. Por tal motivo, se sugiere cautela al profesional, quien deberá evaluar si los mismos resultan efectivamente útiles o aplicables a otros casos.

### **1.2. Recomendaciones iniciales**

La primera recomendación para evitar que los revampings resulten extremadamente complejos de materializar, sería tratar de diseñar las plantas industriales previendo suficiente capacidad de ampliación para futuras mejoras, basado en el plan de desarrollo del cliente y las posibilidades mismas del proceso. Esto, si bien parece algo lógico e intuitivo, difícilmente logre suponer adecuadamente la totalidad de las necesidades futuras de un modo lo suficientemente preciso o completo. Las reservas habituales para ampliaciones en general no cubren las necesidades efectivas, ni pueden prever tantas variables. Por el contrario, los espacios de reserva suelen resultar tan escasos que terminan sin ser utilizados, o resultan poco eficientes desde el punto de vista estructural cuando efectivamente se ocupan. Es decir, una previsión completa para posibles ampliaciones resulta en general antieconómica o poco sustentable.

A su vez, desde la especialidad civil no solemos intervenir en las previsiones de futuras ampliaciones de procesos, sino que nos limitamos a diseñar estructuras para la capacidad adicional solicitada.

Sin embargo, la situación más frecuente no es encontrarnos con el diseño de una planta totalmente nueva, sino con la ampliación de una planta (o sector de esta) con varios años de funcionamiento. En ocasiones, estas plantas cuentan con reservas de ampliación bastante limitadas. Algunas veces, ya utilizadas por completo en ampliaciones anteriores o inclusive más allá de su previsión original.

Organiza:

Si bien se podrían efectuar una serie de recomendaciones, posiblemente tan o más amplias que los requisitos del proyecto mismo, aquí nos limitaremos a enfocarnos en una variable que consideramos fundamental y que nos ayudará a acotar la incertidumbre en este tipo de desarrollos. Esto es, centrarnos en la recopilación del estado de situación del sitio durante etapas tempranas del diseño.

Al recabar la información disponible al inicio del proyecto, morigeramos el riesgo de encontrarnos con situaciones no previstas en el diseño, durante la etapa de la propia construcción. Este tipo de situaciones resultan las más indeseables, ya que nos encuentran con nuevas limitantes y condiciones de borde, ya fijadas por el avance propio del diseño o la construcción, y por plazos más acotados para efectuar ajustes y/o aprovisionamiento de recursos específicos no previstos (materiales, equipos, etc).

### **1.3. Recopilación del estado de situación del sitio**

La recopilación de datos del sitio incluye evaluar la necesidad de efectuar actividades del siguiente tipo:

- Recopilación de documentación existente disponible.
- Recopilación de acontecimientos y antecedentes de relevancia (patologías o inconvenientes detectados en estructuras).
- Relevamiento geométrico/topográfico/escaneo 3D de los sitios de intervención.
- Relevamiento de estructuras e instalaciones existentes (visibles).
- Relevamiento y/o prospección de instalaciones existentes (no-visibles).
- Recopilación de los condicionantes de diseño propios de la planta, y de la ampliación.
- Necesidad de aprovechamiento de estructuras existentes o de espacios de reserva disponibles.
- Necesidad de ensayos sobre las estructuras existentes.
- Evaluación de durabilidad, vida útil remanente, plan de mantenimiento o puesta en valor de estructuras existentes.
- Evaluación desde el punto de vista constructivo (constructibilidad).
- Análisis de plazos del proyecto y flujo de datos.
- Efectuar diseños preliminares tempranos, de aproximación sucesiva.
- Otras.

Esta recopilación o caracterización del sitio, puede efectuarse en distintas instancias del desarrollo de la ingeniería, pero se recomienda que se realice en las etapas más tempranas del proyecto, ya sea durante la ingeniería básica, o mejor aún, desde la ingeniería conceptual. El grado de detalle o extensión de estas evaluaciones, deberá ser acorde al de cada etapa de ingeniería, pudiendo luego profundizarse o ampliarse secuencialmente con cada una de las etapas subsiguientes.

La importancia de la instancia inicial radica en que algunos de estos factores, de no ser correctamente evaluados (tal como el lector podrá imaginarse), pueden desechar algunas alternativas técnicas o estructuras inicialmente proyectadas.

Organiza:

## 2. INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EXISTENTES

### 2.1. Introducción y alcance

Uno de los casos más representativos y de interés para el presente trabajo, entre las estructuras metálicas existentes comprendidas dentro del alcance del proyecto en cuestión, lo constituye la denominada “Estructura D-1801”.

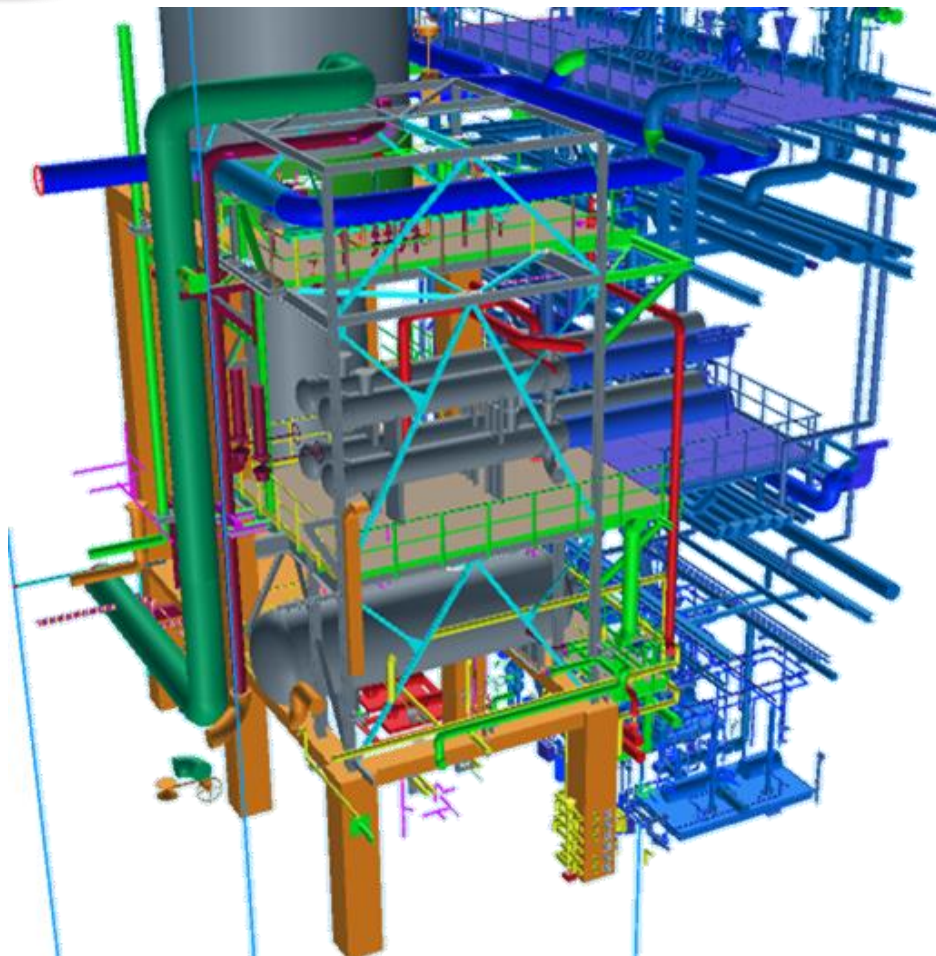
Se trata de una estructura metálica construida durante el año 1974, consistente en cuatro niveles de estructura soportada por 6 columnas (dos de las cuales llegan hasta nivel de pavimento existente y cuatro apoyan un nivel más arriba en una estructura de hormigón que da soporte a diversos equipos). En ambas direcciones horizontales se cuenta con sistemas resistentes frente a acciones horizontales conformado por pórticos arriostrados.

Como parte del proyecto debió analizarse la factibilidad de desmontar parte de la estructura, por interferir con tareas de pilotaje y con la futura ubicación otra estructura metálica nueva (“Parral Secundario”). Las zonas por desmontar únicamente cumplían funciones de acceso y circulación, las cuales debían ser restituidas mediante la inclusión de voladizos en cada nivel.



*Figura 2. Estructura existente. Sectores por desmontar.*

Organiza:



*Figura 3. Maqueta 3D. Situación final con “Parral Secundario”*

## **2.2. Desafíos**

### **2.2.1. Información disponible de estructura existente**

Se contó con algunos documentos originales, correspondientes al desarrollo de la ingeniería de la estructura en cuestión, que contenían información respecto a la perfilería que conforma la estructura. Con los sucesivos relevamientos, pudo constatar que, en algunos casos, la perfilería existente no se correspondía en tipo ni dimensiones con lo especificado en los documentos originales.

Por otro lado, en estos documentos no se encontró ninguna especificación respecto a la calidad del acero existente, ni tampoco detalles de las uniones de los elementos metálicos los cuales eran, en prácticamente todos los casos, abulonados.

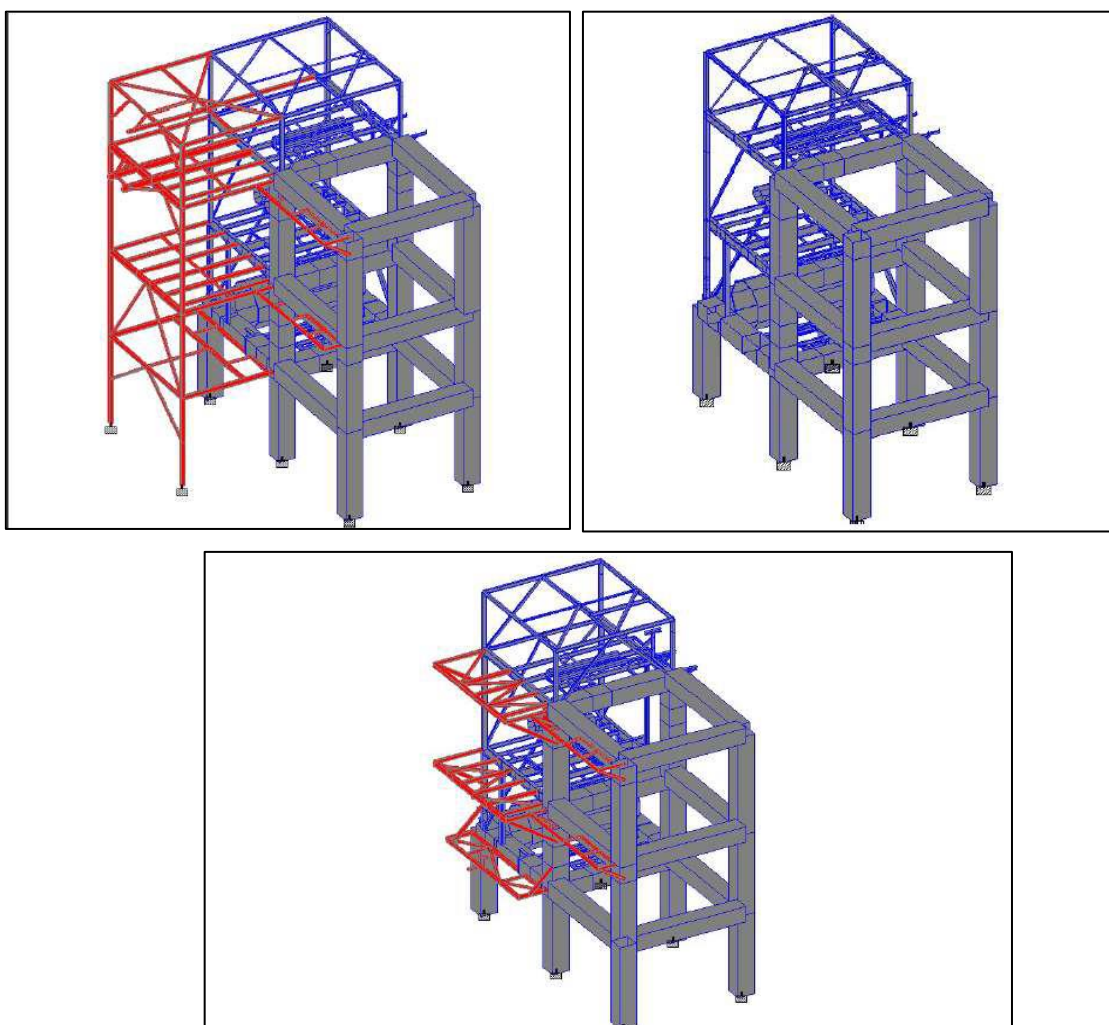
Tratándose de un proyecto EPC, y por contar con recursos destinados a oficina técnica en obra de forma temprana, se llevó a cabo una minuciosa tarea de relevamiento de estos detalles, a fin de evaluar su capacidad para resistir las acciones calculadas.

Organiza:

### 2.2.2. Situaciones estructurales transitorias y definitiva

Debió trabajarse en conjunto con el departamento de construcciones, identificando las secuencias constructivas y situaciones estructurales transitorias, determinando estados intermedios de la estructura que debían ser también estudiados en cuanto a su comportamiento. La porción de la estructura a retirar era justamente la que contaba con arriostramientos en planos horizontales que aportaban rigidez a cada uno de los niveles. Esto resultó en el diseño de refuerzos, que debieron ser ejecutados previo a las tareas de desmontaje.

También las necesidades de reemplazo de arriostramientos resultantes del punto a continuación determinaron la materialización de arriostramientos provisionales mediante cables-tensores.



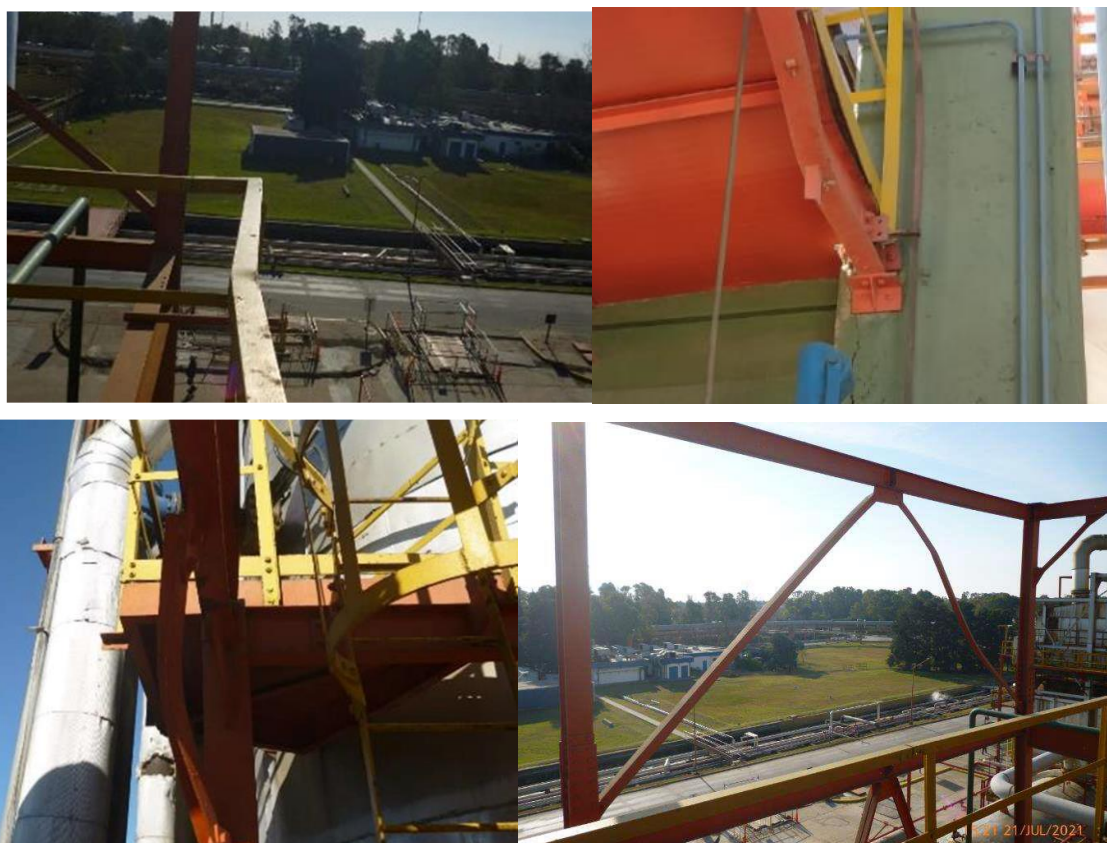
*Figura 4. Modelos de cálculo. Situación existente, Intermedia y final.*

Organiza:

### 2.2.3. Estado de conservación de la estructura

Las inspecciones visuales arrojaron resultados satisfactorios en lo que respecta a la ausencia de evidencias de algún grado significativo de deterioro del material de los perfiles metálicos por fenómeno de corrosión.

Por otro lado, la presencia de diversos elementos estructurales visiblemente deformados, motivaron diversas consultas respecto al conocimiento de algún evento que pudiera haber causado este fenómeno.



*Figura 5. Ejemplos de elementos existentes deformados. Columnas, vigas, arriostramientos, tornapuntas.*

En etapa avanzada de ingeniería de detalle, cerca del cierre de esta, se consiguieron reportes de un siniestro (incendio) ocurrido en las cercanías de esta estructura en el año 1975, no logrando recopilar información respecto a magnitud, duración o efectos registrados sobre la estructura.

Organiza:

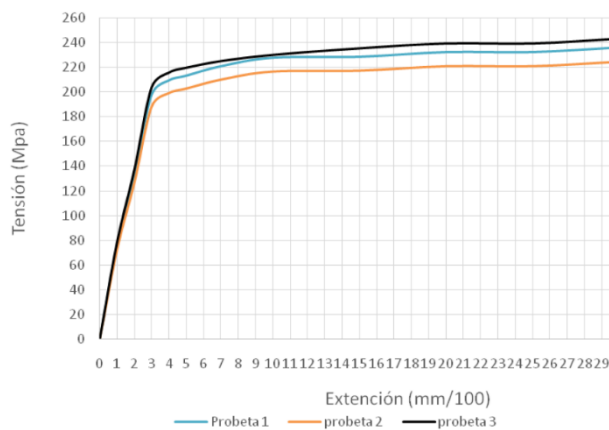
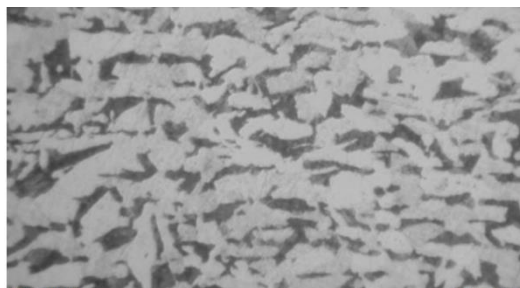
### 2.3. Análisis de estructura expuesta a incendio

Por tratarse de un trabajo muy específico se decidió contratar a un consultor externo, de probada experiencia y conocimiento, apuntando a realizar un estudio integral de la estructura, de su estado de conservación, calidad y posible deterioro del material; así como también la validación de los métodos de análisis estructural utilizados, parámetros y criterios adoptados, etc.

Se acordó, de forma conjunta, realizar los siguientes ensayos y tareas:

- Inspección visual de estado de conservación
- Ensayos de tracción a probetas extraídas de ciertos lugares específicos de la estructura y a bulones.
- Análisis químico de las muestras extraídas.
- Análisis metalográfico sobre dichas muestras para constatar estado de conservación.
- Ensayos de dureza Brinell en banco sobre estas muestras
- Ensayos de dureza in-situ.
- Realización de un informe con conclusiones y recomendaciones.

| ENSAYO DE TRACCION |                      |                      |              |    |
|--------------------|----------------------|----------------------|--------------|----|
| MUESTRA / PROBETA  | $\sigma_{0.2}$ (Mpa) | $\sigma_{max}$ (Mpa) | $\delta$ (%) |    |
| MUESTRA T01        | Probeta 1            | 209                  | 430          | 40 |
|                    | Probeta 2            | 203                  | 434          | 39 |
|                    | Probeta 3            | 212                  | 445          | 39 |



| Elemento[%] | C    | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Mo | Cu   | S    | P    |
|-------------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|
| Muestra T05 | 0.25 | 0.10 | 0.75 | 0.05 | 0.01 | -  | 0.02 | 0.03 | 0.02 |

| Durezas en Brinell (HB 2.5/187.5) |          |          |          |          |          |          |     |     |       |                     |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|-----|-------|---------------------|
| Muestra                           | 1ra Toma | 2da Toma | 3ra Toma | 4ta Toma | 5ta Toma | Promedio | Max | Min | Rango | Desviación Estandar |
| T05                               | 151      | 148      | 153      | 150      | 149      | 150,20   | 153 | 148 | 5     | 1,44                |

| Muestra               | Metalografía | Microestructura                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Muestra T05<br>Perfil | T05          | Microestructura Ferrítico-Perlítica.<br>Granos irregulares.<br>Distribución irregular de la Perlita<br>Porcentaje de perlita ≈35%<br>No se observan daños microestructurales.<br>No se observa transformación o envejecimiento microestructural debido a exposición a temperatura. |

Figura 6. Resultados de Ensayos de Materiales.

Organiza:

## 2.4. Comentarios finales sobre la estructura reforzada

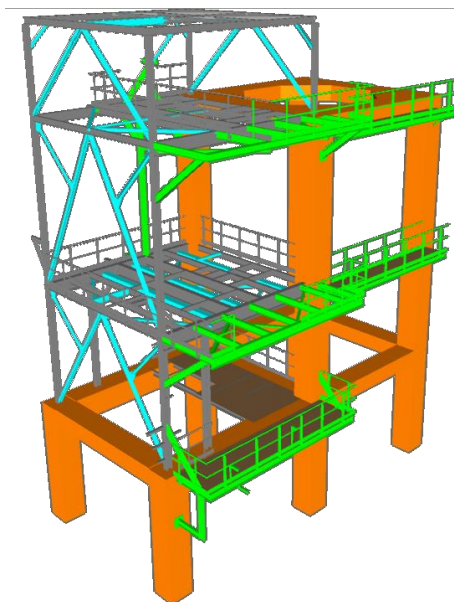
Los estudios realizados sobre la estructura y el análisis llevado a cabo por el consultor externo permitieron inferir que no se evidenciaron cambios a nivel microestructura, fragilización o mermas de resistencia como resultado del incendio informado.

Por otro lado, esos análisis llevados a cabo permitieron ajustar algunas hipótesis de partida respecto a la calidad de los materiales inicialmente supuesta. Debido a la escasa trazabilidad de materiales usual en la época de construcción, y por la disponibilidad de aceros de “calidad comercial”, en combinación con ciertos perfiles normalizados importados, se observó una importante dispersión en los resultados de resistencia obtenidos. Esto llevó a adoptar una calidad equivalente a acero F-20 para las verificaciones.

Para los elementos deformados se realizaron verificaciones en segundo orden, con la consideración de deformaciones impuestas, de valores determinados mediante relevamientos con estación total.

En cuanto a las tareas de campo a realizar en la estructura previo al desmontaje y adaptación, se reemplazaron todos aquellos elementos con mayor deformación y se reforzaron los elementos con deformaciones menores y aceptables.

Se estudió la implementación de elementos de refuerzo y nuevos perfiles que se puedan ejecutar en los espacios disponibles, en una planta en funcionamiento, y mediante la incorporación de uniones a los perfiles existentes con soluciones que presenten un adecuado margen de ajuste en campo.



*Figura 7. Situación final con refuerzos pre-desmontaje (celeste) y agregados posteriores (verde).*

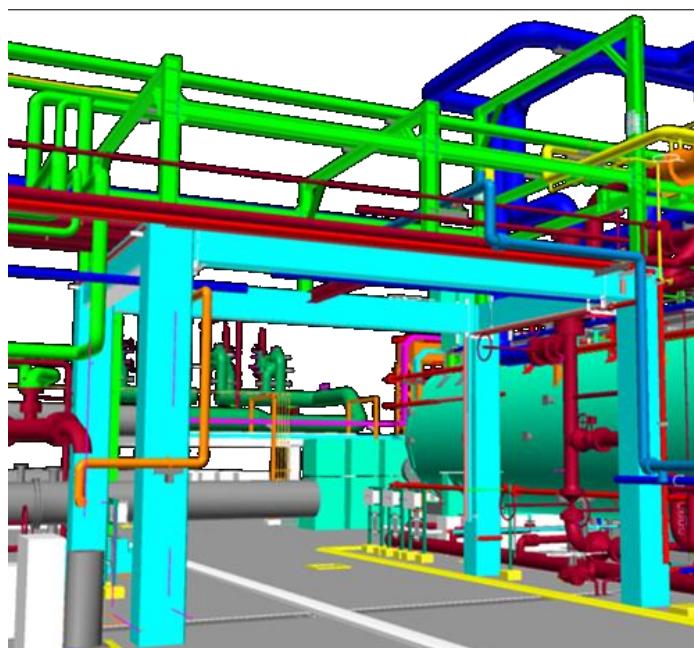
Organiza:

### 3. INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EXISTENTES

#### 3.1. Introducción

En el proyecto se realizaron varias intervenciones en estructuras existentes, en particular, la utilización de un cruce de calle llamado “parral desalador”.

Para la ejecución del proyecto se plantea el uso de dicha estructura para el paso de las líneas de las nuevas instalaciones. Para esto se requiere la intervención de la estructura, que implica la utilización de esta y la colocación de nuevos soportes metálicos ubicados en su parte superior, apoyándose sobre la estructura en cuestión.



*Figura 8. Imagen de la Estructura en Maqueta.*

En principio, se identificaron los siguientes desafíos a resolver: relevamiento de interferencias; relevamiento estructural (geometría y materiales); incorporación de un nuevo nivel de estructura; verificación estructural (bajo la normativa actual); estudio de etapas transitorias; extensión de la durabilidad estructural. A continuación, se desarrollan las tareas y soluciones para abordar dichos desafíos.

#### 3.2. Relevamiento estructural (geometría) e instalaciones existentes

Dado que no se disponía de documentación antecedente (memorias, planos, otros) perteneciente a esta instalación, fue necesario realizar un relevamiento de su geometría (fundaciones y estructura) para poder determinar la capacidad portante y el estado actual de conservación actual.

Organiza:



*Figura 9. Imagen de la Estructura en la Planta.*

En la Figura 9, se puede ver una imagen tomada en el relevamiento general. Se nota gran cantidad de instalaciones a ser removidas o reemplazadas para poder realizar la intervención estructural. Cabe destacar que, estas instalaciones son críticas para el funcionamiento de la planta.

En las siguientes Tablas se resumen las secciones de los elementos estructurales. Asimismo, fueron relevadas las dimensiones de la estructura. En el caso de las fundaciones, se realizaron prospecciones para determinar longitudes, secciones y niveles de los cabezales y los pilotes existentes.

| Elemento               | Ancho (m) | Altura (m) |
|------------------------|-----------|------------|
| Columnas (L=5,5m)      | 0,35      | 0,35       |
| Vigas Transv (L=4,7m)  | 0,25      | 0,40       |
| Vigas Long (L=7,2m)    | 0,25      | 0,45       |
| Perfil IPN200 (L=4,7m) | 0,10      | 0,20       |

*Tabla 1 - Sección transversal de cada elemento (Estructura).*

| Elemento          | Espesor (m) | Lado 1 (m) | Lado 2 (m) |
|-------------------|-------------|------------|------------|
| Cabezales         | 0,45        | 1,80       | 2,00       |
| Elemento          | Lado (m)    | CPP (m)    | Cantidad   |
| Pilotes (L=4,85m) | 0,40        | 94,00      | 2          |
| Pilotes (L=4,85m) | 0,30        | 94,00      | 1          |

*Tabla 2 - Sección transversal de cada elemento (Fundaciones).*

Organiza:

### 3.3. Relevamiento estructural (materiales)

Se realizó una inspección visual y un relevamiento detallado para poder registrar el estado de conservación de la estructura (vigas, columnas y fundaciones). En la Figura 10, se muestran algunas imágenes obtenidas de la inspección visual.



*Figura 10. Imágenes de la Inspección Visual.*

Como resultado del presente relevamiento detallado, se detectan singularidades que se describen a continuación:

- Deterioros de grado leve. Fisuras localizadas en sectores donde se incorporaron anclajes o insertos en segunda etapa, tanto en vigas como en columnas.
- Deterioros de grado moderado o medio. Se detectan sectores localizados donde las barras han perdido su recubrimiento por desprendimiento de este, observándose algún grado de oxidación en las mismas, tanto en vigas como en columnas.
- Deterioros de grado medio o alto. Múltiples fisuras en las vigas, de espesores variables y en distintos planos y direcciones, tanto en la parte superior en el tramo de vigas, como oblicuas en los tercios medios y paralelas en los planos inferiores, en especial en sectores de recubrimientos desprendidos.

Debido a que, un porcentaje significativo de las armaduras (en especial de las vigas) pudieran encontrarse comprometida su durabilidad por corrosión por la pérdida de los recubrimientos, se notan las siguientes recomendaciones:

- La estructura en su configuración actual (sin incorporar nuevas instalaciones), debería resultar estudiada, reparada o reforzada, a modo de poder garantizar la vida útil remanente para su funcionamiento.
- Dado la imposibilidad de realizar los ensayos al efecto de poder determinar el grado de corrosión en las armaduras para evaluar la posible vida útil remanente de la misma esta, se desestima la armadura existente en la verificación.
- La estructura deberá ser reparada, con un procedimiento adecuado que garantice la interrupción del proceso de corrosión de las armaduras, y recomponiendo el espesor de protección (recubrimiento) necesario de las mismas de tal forma de

Organiza:

evitar el ingreso de aire, agua u otros agentes ambientales agresivos que puedan entrar en contacto con las armaduras.

### 3.4. Verificación y diseño estructural

En principio, se realizó una comparación entre el estado de carga actual del parral existente y el estado de cargas para la fase posparo, en la cual se incorporan nuevas cañerías (y sus soportes metálicos) sobre la estructura.



*Figura 11. Esquema de la Estructura.*

En la comparativa se observó un incremento de las cargas, en situación de posparo de planta (Estado E1) con respecto al existente (Estado E0), superior al 10% (establecido como límite admisible de aumento de cargas). Por lo tanto, se concluye que es necesario realizar la verificación de la estructura del parral existente y analizar la necesidad de un refuerzo adicional.

Para la verificación inicial de la estructura se utilizó el "Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón" (PRAEH), por tratarse de la referencia para el diseño, vigente a la fecha de construcción de la estructura existente. Posteriormente, para la verificación de la estructura reforzada se utilizó el "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón" (CIRSOC 201 - 2005), por incorporarse modificaciones o ampliaciones de la estructura existente.

| Elemento      | Seccion definitiva | Armadura de ref. principal | Armadura de ref. estribos |
|---------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| Columnas      | 55x55              | 12 Ø 20                    | 8 c/15                    |
| Vigas Transv  | 45x50              | 4 Ø 16 (inf/sup)           | 8 c/15                    |
| Vigas Long    | 45x55              | 4 Ø 16 (inf/sup)           | 8 c/15                    |
| Perfil IPN200 | IPN200+2*PL9.5     | -                          | -                         |
| Cabezales     | Original           | -                          | -                         |
| Pilotes       | Original           | -                          | -                         |

*Tabla 3 - Refuerzo de Secciones.*

Organiza:

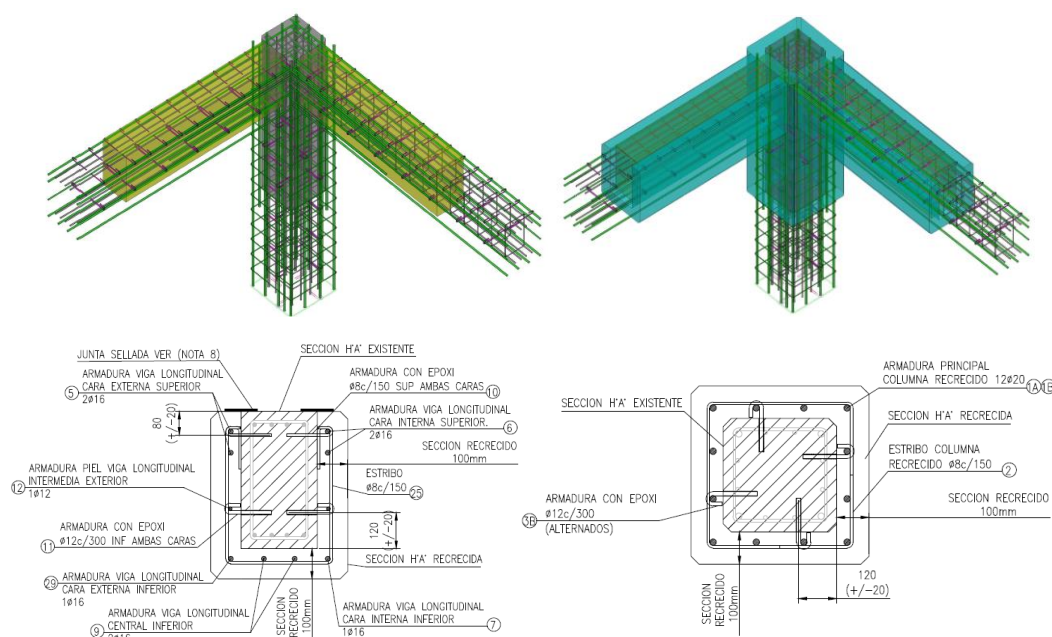
En la Tabla 3, se listan todos los elementos estructurales y se indica la necesidad de refuerzos para la etapa definitiva, a partir de los resultados obtenidos.

Para asegurar la durabilidad de la estructura y protección de las armaduras, se desprendieron los recubrimientos dañados, dejando la superficie rugosa para asegurar la adherencia del hormigón nuevo a colocar. Además, se reconstituyó el recubrimiento con mortero en las porciones (superficies) afectadas de la superestructura que queden expuestas al medio ambiente.

Para concluir, se lograron resolver los desafíos planteados, pudiendo reforzar la estructura en un contexto de grandes interferencias con instalaciones críticas. En las siguientes Figuras, se muestran imágenes del detalle de los refuerzos y su ejecución.



*Figura 12. Imágenes de la Ejecución de Refuerzos.*



*Figura 13. Esquema de Refuerzos en Vigas y Columnas.*

Organiza:

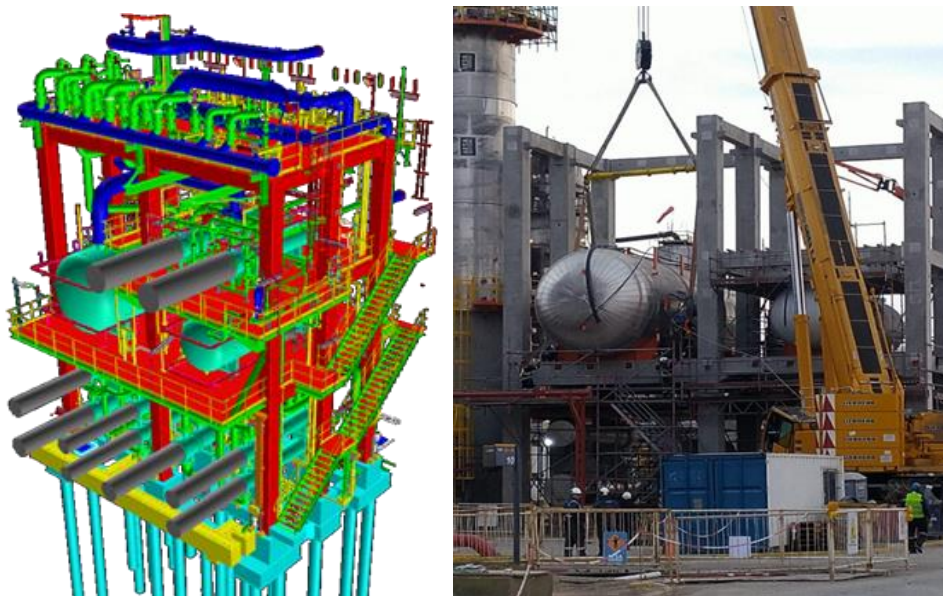
## 4. ESTRUCTURAS PREMOLDEADAS NUEVAS

### 4.1. Objeto

Durante las diferentes etapas de maduración de la ingeniería del proyecto, una de las premisas fundamentales que marco claramente el desarrollo del proyecto ejecutivo, fue la de la reducción a su mínima expresión la ejecución de actividades in-situ. Al tratarse de un revamping de una unidad operativa, las soluciones de ingeniería tuvieron que ser concebidas para ser ejecutadas sin la interrupción de la producción del complejo. El mecanismo que permitió optimizar al máximo las tareas en campo fue el de la proyección de estructuras premoldeadas, prefabricadas en taller y dispuestas para ser armadas in-situ.

### 4.2. Tipologías estructurales

Las tipologías se plantearon con pórticos tridimensionales de hormigón y combinados hormigón-acero, para las estructuras del tipo parral o de soporte de equipos en altura, con sus respectivas fundaciones. Uno de los casos más representativos, entre las estructuras premoldeadas, lo constituye la denominada “Estructura A”.



*Figura 14. Modelo 3D e Imagen. Estructura A.*

### 4.3. Desafíos

#### 4.3.1. Transporte de los elementos premoldeados

Por tratarse de estructuras de gran porte (dimensiones y pesos finales de elementos individuales relevantes), sus características geométricas deberían permitir la maximización del aprovechamiento del espacio para ser transportados desde la planta de premoldeado hasta la refinería.

Organiza:

### 4.3.2. Modulación de estructuras premoldeadas

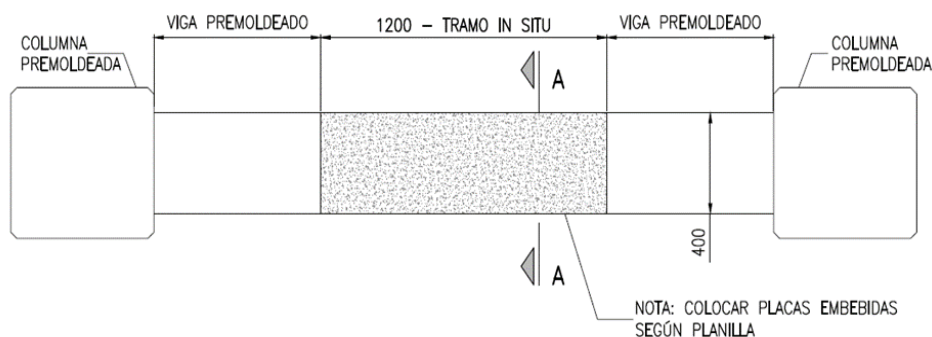
El criterio general adoptado para las estructuras fue, acorde a las limitaciones de transporte de carga (dimensiones máximas y pesos), separar los componentes principales columnas y vigas (principales y secundarias), para ser transportados como piezas sueltas y posteriormente armadas in situ.

### 4.3.3. Diseño de conexiones de los elementos premoldeados

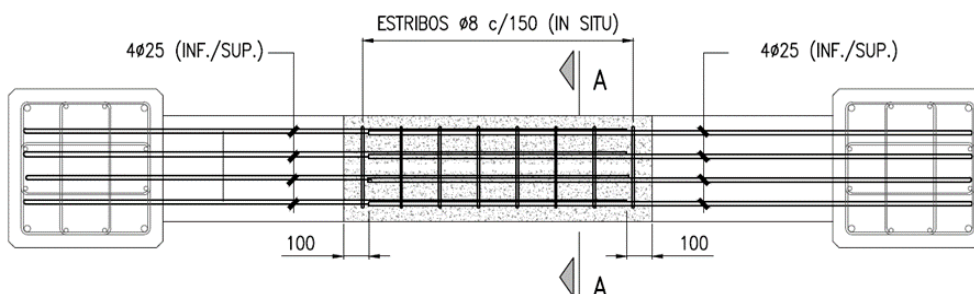
En línea con la modulación previamente definida, la naturaleza del tipo de vinculación entre elementos principales (columnas y vigas), ya sean articulaciones o empotramientos, previstos en la etapa de diseño, se tendrían que garantizar (materializar) con la alternativa propuesta a ser ejecutada en obra. De esta manera, se desarrollaron las siguientes tipologías de vinculación de elementos premoldeados.

- **Uniones in-situ vigas premoldeadas transversales cortas (luces menores a 4,00 m):**

Compuestas por hormigonado in-situ de tramos intermedios (longitud de hormigonado igual a longitud de empalme del acero de los elementos a unir) para vincular armaduras en espera de elementos premoldeados (pequeños tramos de viga monolíticos con las columnas premoldeadas).



*Figura 15. Viga premoldeada tipo "corta". Encofrado.*



*Figura 16. Viga premoldeada tipo "corta". Armadura.*

Organiza:

- **Uniones in-situ vigas premoldeadas longitudinales y transversales largas (luces mayores a 4,00 m):**

Compuestas por hormigonado in-situ de extremos de vigas premoldeadas con armadura en espera “tradicional” del lado de la viga y, del lado de las columnas, empalmes mecánicos roscados embebidos, para dar continuidad a las armaduras y a su vez, evitar barras en espera que dificultarían las maniobras de transporte e izaje.

En zonas de empalme columna-viga, se reemplazó acero ADN-420S por acero de alta calidad SAE-4140 (en barras, en acoples y en anclajes embebidos), atendiendo a requerimientos normativos respecto a la resistencia de este tipo de mecanismos (CIRSOC 201-2005 Artículo 12.14.3. - Resistencia > 125%  $F_y$ ), lo que a su vez permitió reducir tanto la cantidad de barras finales como las longitudes de empalme.

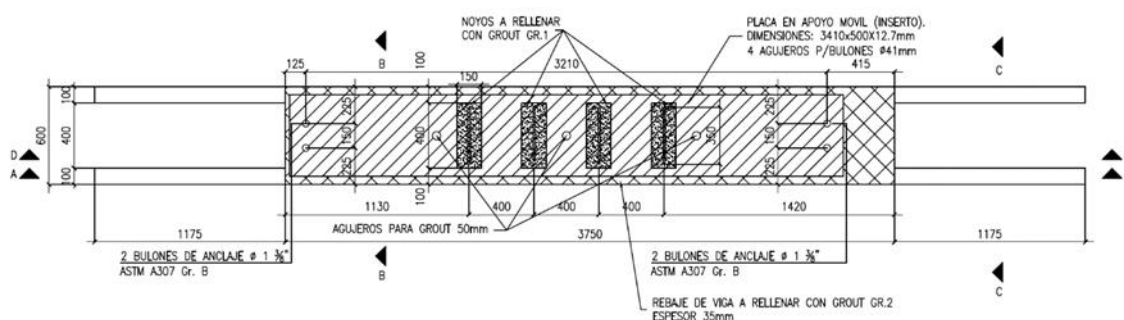


Figura 17. Viga premoldeada tipo “larga”. Apoyo de equipos. Encofrado.

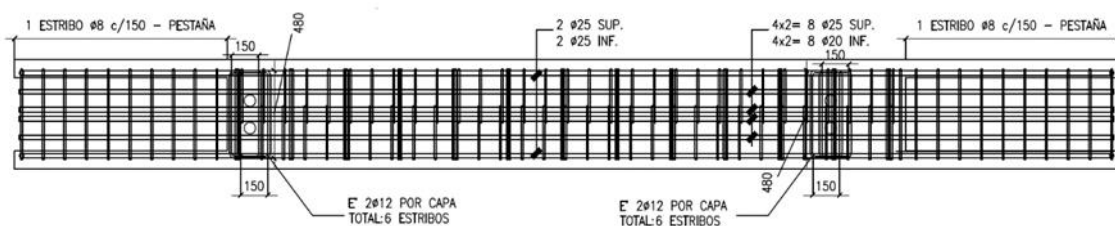
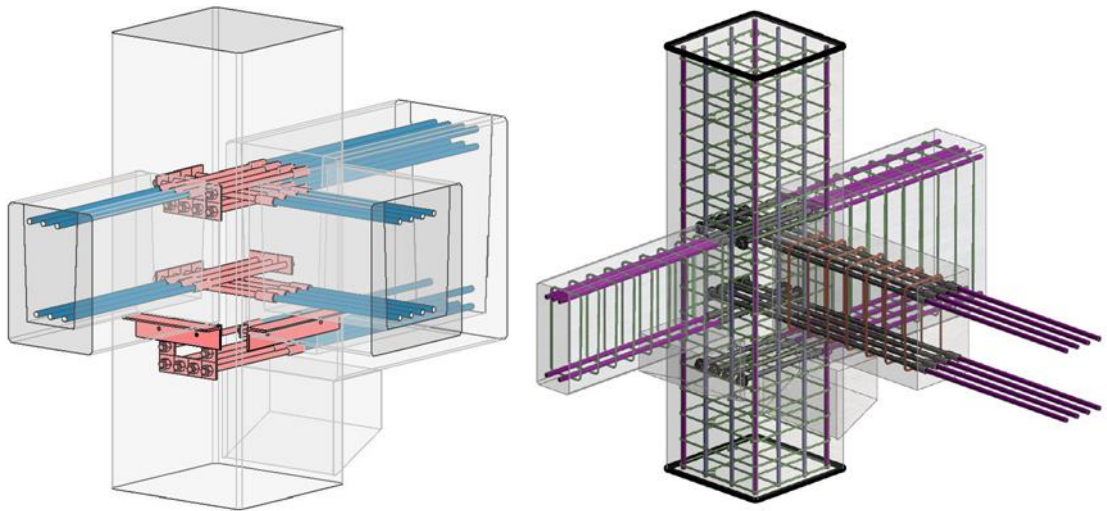
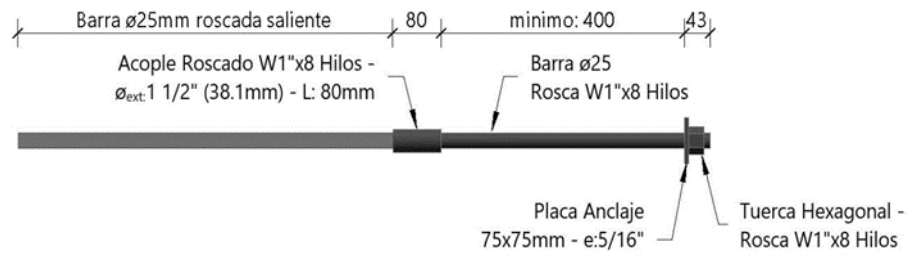


Figura 18. Viga premoldeada tipo “larga”. Apoyo de equipos. Armadura.

Organiza:



**28°**  
JORNADAS  
ARGENTINAS  
**DE INGENIERÍA  
ESTRUCTURAL**  
18 al 21 de septiembre de 2024 / CABA



*Figura 19. Estudio interferencias propuesta anclajes embebidos con unión mediante acoples y barras roscadas.*

Organiza:



Tel/Fax: [+54] 11 5252.8838 | Whatsapp: [+54 9] 11 3180.3746 | Hipólito Yrigoyen 1144 Piso 1° - Of. 2 | Buenos Aires  
Horario de atención: de lunes a viernes de 13:00 a 18:00 hs. | Mail: [info@jornadasaie.org.ar](mailto:info@jornadasaie.org.ar) - [www.jornadasaie.org.ar](http://www.jornadasaie.org.ar)

## 5. CONCLUSIONES

Para elaborar diseños estructurales en proyectos de revamping se deben considerar múltiples requerimientos de distintas especialidades, que suelen sufrir ajustes periódicamente conforme al avance de la ingeniería, y que deberán compatibilizarse con condiciones de borde limitantes impuestas por las estructuras e instalaciones existentes, o por los propios procesos de producción y operación de la planta.

Por tratarse de ampliaciones o readecuaciones, en general estas obras implican la intervención o aprovechamiento de estructuras existentes, de las que no siempre se cuenta con la documentación respaldatoria necesaria para efectuar las verificaciones de cálculo correspondientes. A su vez, el estado de conservación y la vida útil remanente de las mismas resulta un factor importante a analizar.

Debe considerarse que los reglamentos de acero y de hormigón argentinos de la serie CIRSOC indican las pautas necesarias para los casos de verificación de estructuras existentes, pero éstos no siempre resultan del todo específicos o representativos de las tareas a desarrollar para estos casos en edificios industriales, por lo que pueden complementarse con otras bibliografías o normas extranjeras.

Asimismo, es importante analizar la factibilidad de la construcción en sitio y las estrategias de avance del proyecto, que serán factores muchas veces determinantes para la elección de los diseños estructurales.

Por los motivos indicados, se recomienda seguir una estrategia de diseño que priorice la obtención de los datos necesarios en etapas tempranas del desarrollo, en especial los que requieren actividades de relevamiento y ensayos en sitio, que implican plazos considerables en un plan de trabajos generalmente acotado. Finalmente, resulta conveniente considerar los diseños que permitan cierta flexibilidad para adaptarse a variaciones en los requisitos, surgidas del propio desarrollo, de pedidos del cliente, o de ajustes necesarios para la materialización en campo.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Al resto del equipo de trabajo de la Especialidad Civil y Estructuras que colaboró en este Proyecto: Macarena Luengo, Daiana Soledad Vergagni, Justina Montone, María Carmen Torrejón, Cecilia Carolina Izaguirre, Andrea Lucía Aristi, Julio Esteban Genco, Juan Miguel León Malave, Juan Luis Mata García, Fernando Ramiro Nuñez, Sergio Anibal Calcagno, Matías Ricardo Nuñez, Mario José Acosta, Hernán Lionel Temiño y Miguel Ángel Escalante.

Organiza: