

Diseño e instalación de nueva planta modularizada de producción de propelente

Por *Agustín Daona, Sebastián Olcese y Federico Padilla* (Raízen Argentina)

Raízen Argentina identificó una oportunidad de negocios en la producción de propelente a partir de una mezcla de propano y butano. Para ello, lanzó un proyecto que consiste en proveer a la Refinería Buenos Aires de las instalaciones industriales para producirlo, almacenarlo y despacharlo en camiones.

1. Introducción

1.1. Presentación general del proyecto

Raízen Argentina (anteriormente denominada Shell CAPSA) identificó una oportunidad de negocios para producir propelente de aerosoles a partir de una mezcla de propano y butano, que hasta 2020, fundamentalmente, se comercializaban para consumo como gas envasado. En consecuencia, decidió lanzar un proyecto cuyo objetivo es proveer a la Refinería Buenos Aires (RBA) de las instalaciones industriales necesarias para producirlo, almacenarlo y despacharlo en camiones.

La falta de experiencia en la producción de este producto, dentro del vasto historial del grupo Shell, impulsó el desarrollo de este proyecto desde una concepción primaria.



- Evaluación y selección de las tecnologías disponibles.
- Evaluación y selección de las corrientes apropiadas.
- Definición de la capacidad de planta (según las li-

mitaciones propias de la refinería y el mercado disponible).

- Evaluación y definición de los medios para el almacenamiento y el despacho.
- Definición de la estrategia de ejecución más adecuada.

1.2. Breve descripción del proceso

La unidad PFU (*Propellant Filtering Unit*) es alimentada por dos corrientes independientes, una de propano y una de butano, que se mezclan cuando ingresan al recipiente de alimentación del módulo.

La proporción de ingreso es determinada por las propiedades y las composiciones de las corrientes individualmente, con el fin de obtener la mezcla apropiada para obtener el producto en especificación.

Una vez dentro del módulo, la mezcla de alimentación es tratada, en fase líquida, a través de una serie de lechos de adsorción. Estos lechos retienen los contaminantes responsables del olor que despiden el producto. Debido a que el material de los lechos es del tipo regenerable, se dispone de un circuito para su regeneración.

La regeneración de los lechos de adsorción se hace a demanda cuando llegan a su punto de saturación. Este proceso no interrumpe la producción de la planta.

El propelente producido es almacenado en esferas, desde ahí se despacha y se comercializa en camiones cisterna (Figura 1).

La ubicación para la nueva unidad fue seleccionada por encontrarse relativamente cerca de las corrientes de alimentación y de las instalaciones de almacenamiento.

Con la definición de la tecnología y el proceso productivo, se determinaron los equipos y las instalaciones necesarias para la producción de propelente.

En función de ello, se determinaron las áreas o subunidades productivas:

- Sistema de alimentación.
- Lechos de adsorción.
- Sistema de regeneración.
- Sistema de almacenamiento.
- Despacho a camiones.

De estas facilidades, las únicas en RBA con potencial de utilización eran las correspondientes al almacenamiento y despacho. En vista de ello, se consideró cambiar el servicio de las actuales facilidades de propano (esferas, bomba y línea de despacho) y equipar una de las islas de carga de camiones de GLP (Gas Licuado de

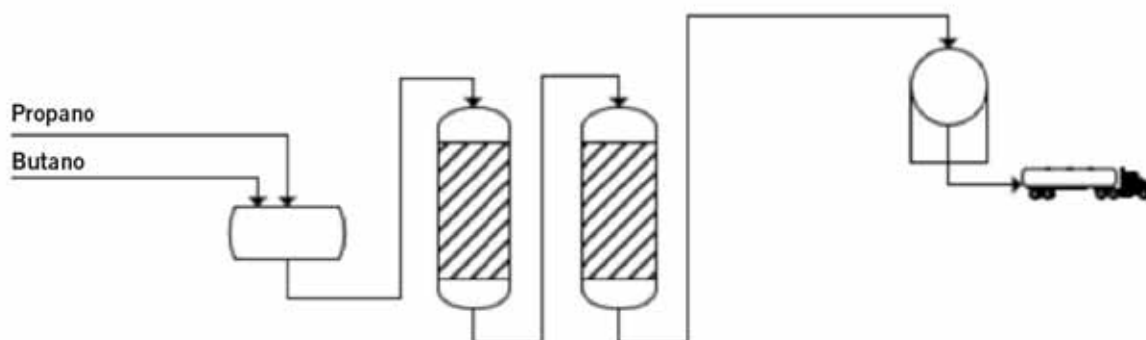


Figura 1. Esquema simplificado de procesos.



Figura 2. Instalación de prueba *batch*.

Petróleo) con un brazo de carga dedicado a propelente, de esta manera un sistema queda exclusivamente para este nuevo producto.

1.3. Ingeniería conceptual

Durante esta fase se evaluaron diversas tecnologías disponibles para el tratamiento de una corriente de GLP. Se encontró en la adsorción la alternativa más adecuada para nuestras instalaciones, requisitos y restricciones.

Una vez definida la tecnología, comenzó una etapa experimental en la que se estudió el funcionamiento de diversos materiales adsorbentes. Inicialmente se realizaron ensayos del tipo *batch*, mediante los cuales se pudieron cotejar y comparar distintas eficiencias de remoción de contaminantes. Las condiciones de estos ensayos no representaban las futuras condiciones de procesos, ya que se realizaron sin circulación de fluido y con tiempo de residencia “infinito”. Sin embargo, esta etapa permitió acotar el espectro de tecnologías en la remoción de contaminantes, dado que muchos proveedores no te-

nían suficiente experiencia en la producción de propelentes a partir de GLP.

Luego, se continuó con una fase experimental mediante pruebas extendidas en el tiempo. Para ello se construyó una planta piloto (Figura 2).

1.4. Planta piloto

Con el objetivo de profundizar el conocimiento sobre el funcionamiento de los materiales adsorbentes, como así también la potencialidad de utilizar algunas de las corrientes de proceso preseleccionadas, se procedió a la instalación de una planta piloto. Este módulo fue ubicado dentro de la refinería en las cercanías de algunas de las corrientes por tratar.

El diseño del módulo privilegiaba una construcción rápida y simple, que permitiera el ensayo de diversas corrientes mediante el uso de diferentes materiales adsorbentes (Figura 3).

Con estas pruebas se profundizaron los conocimientos sobre el funcionamiento de los materiales adsorbentes y la obtención de información crítica para el diseño de la planta final. Las principales conclusiones fueron las siguientes:

- Tiempo de residencia mínimo requerido para obtener el producto en especificación para los distintos materiales adsorbentes.
- Eficiencia de remoción de compuestos azufrados de cada material adsorbente.
- Autonomía hasta saturación de cada material adsorbente.
- Elección del material adsorbente o conjunto de materiales por utilizar en la PFU.
- Determinación de los residuos sólidos generados en cada reemplazo del material adsorbente agotado para la elaboración de procedimientos de manipulación y disposición final.



Figura 3. Planta piloto para prueba de adsorbentes.

1.5. Ingeniería básica y de detalle

Una vez concluida la etapa de ensayos, se continuó con las etapas de Ingeniería básica y, luego Ingeniería de detalle.

Ingeniería básica

Se decidió utilizar como corriente de alimentación de propano la producción de tope de la columna depropanizadora C-1502, que pertenece a la Planta de separación de gases 2 (PSG2).

Con esa definición, se incorporó al sistema un control que permitiese regular el caudal de propano enviado a la PFU, y el excedente distribuirlo entre la producción de propano/propileno del Complejo de Craqueo Catalítico (CCU), respetando el máximo admitido por su especificación y la red de *fuel gas* de la refinería. Para ello se incorporó un evaporador de propano que permitiese lograr esta distribución (Figura 4).



Figura 4. Evaporador de propano E-2101.

Se decidió obtener la corriente de butano del fondo de la columna C-601 (correspondiente a la unidad de polimerización). La C-601 es utilizada como una columna fraccionadora de butanos. Se obtiene una corriente rica en i-butano por el tope, que es destinada a la alimentación de la unidad de alquilación; y una corriente rica en n-butano por el fondo, que es destinada a la venta como butano envasado.

Se debió incorporar un sistema de control que permita desviar parte de la corriente de fondo de la C-601 hacia la PFU.

Las especificaciones de calidad de propelente se definieron sobre la base de los requerimientos de los potenciales clientes, como criterio conservador se adoptó el más restrictivo de cada uno.

1.6. Panel olfativo

La especificación más crítica del propelente es el olor, que tiene como causas más frecuentes los compuestos azufrados, olefinas o hidrocarburos pesados (C_{5+}). Si estos contaminantes están presentes en el propelente, le otorgan un olor inaceptable para los fines (y clientes) previstos.

Desde el punto de vista de su determinación, esta especificación es la más complicada y, dentro del ámbito de una refinería, la más inusual.

Entre los diversos productos que pueden encontrar en una refinería, se percibe habitualmente un olor característico a hidrocarburos que, en ocasiones, incluso es deseable o requerido (por ejemplo, el GLP despachado debe odorizarse a fin de detectar posibles pérdidas). Este factor conspira contra la potencialidad de confirmar la falta de olor de un producto o, en su defecto, caracterizar el contaminante presente para trabajar en su remoción.

Una lección clave aprendida durante la fase experimental en la planta piloto fue la confirmación de que no hay tecnología disponible para la caracterización de aquellos contaminantes que aportan olor cuando la concentración es menor a 1 ppm (1 parte por millón). Este valor es suficientemente bajo para no ser detectado analíticamente; sin embargo, es factible determinar su presencia cualitativamente mediante una prueba olfativa. Esto se debe a que los cromatógrafos de uso habitual tienen una determinación de ppm, mientras que el olfato humano puede detectar aromas en concentraciones significativamente menores (en algunos casos hasta dos órdenes de magnitud menor).

Con este aprendizaje y, a fin de disponer de un control de calidad adecuado, se debió conformar un panel olfativo que determine la aptitud del propelente producido.

Las personas que conforman este panel transitaron un proceso de capacitación para adquirir las habilidades y competencias necesarias.

Como se mencionó, dentro de la refinería no se contaba con la experiencia y los conocimientos adecuados, por ello se recurrió a un servicio de soporte externo para el desarrollo de las herramientas necesarias. El largo proceso de entrenamiento se puede sintetizar de la siguiente manera: el personal preseleccionado para esta actividad participó de varias jornadas de capacitación, en las cuales se les instruyó la forma correcta de transferir la muestra al papel secante especial (*blotter*), la técnica adecuada para olfatear el propelente y la metodología que permite la apreciación, la distinción y la identificación de los aromas foráneos al propelente. Se dedicaron numerosas horas a la ejecución de los procedimientos mencionados y a la comparación de diversas muestras frente a patrones, con el fin de lograr la identificación de los olores y apreciar su intensidad. Además, debieron capacitarse en poder transmitir esas apreciaciones, especialmente cuando la intensidad de uno de los aromas pudiese encubrir otros.

De esta forma se armó un equipo debidamente capacitado no solo para confirmar la aptitud de la calidad del producto, sino también para brindar soporte durante la fase de puesta en marcha y producción. Este grupo se encargó de validar cada muestra tomada de producción antes de su liberación para despacho (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Panel olfativo durante su capacitación.

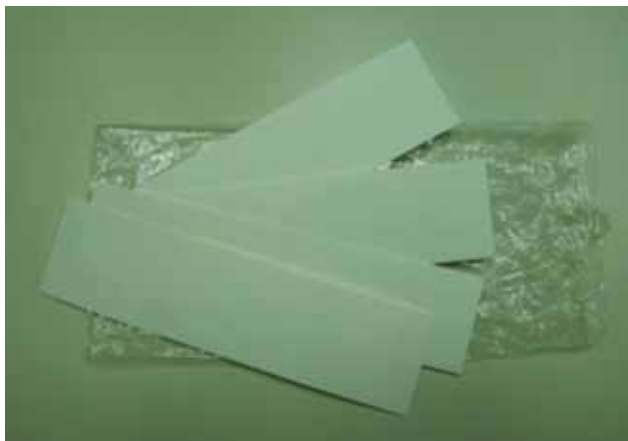


Figura 6. Blotters utilizados por el panel olfativo.

2. Constructibilidad y Plan de Ejecución del proyecto

2.1. Constructibilidad

Otro gran desafío de este proyecto fue la ejecución simultánea en distintos frentes de trabajo, debido a la necesidad de la intervención en varias áreas. A modo de referencia, se listan las locaciones afectadas que ayudan a contextualizar los temas de constructibilidad desarrollados más abajo:

- U-800: Área de implantación de la PFU.
- U-9900: Área de implantación del nuevo brazo de carga.
- U-2100: Área de implantación del evaporador de propano.
- Tie-Ins y tendidos de cañerías (U-300, U-400 y U-600).
- SS5B (*Sub-station* 5B) y canalización eléctrica a la U-800.
- SS6 (*Sub-station* 6) y canalización eléctrica a la U-700.
- Sala FAR (*Field Auxiliary Room*) y canalización de instrumentos a U-800.

2.1.1. Evaluación de la estrategia de diseño

Luego de un extenso análisis, por el cual se revisaron las condiciones de seguridad y de conveniencia geográfica, se decidió instalar la nueva unidad de producción dentro del complejo CCU. Allí antiguamente se emplazaba una unidad de tratamiento de motogasolina fuera de servicio identificada como U-800 (nomenclatura que adoptó la nueva planta PFU) (Figura 7).

La complejidad de ejecutar la construcción de esta nueva planta en un sector operativo de la refinería, condujo a que se estudiaran distintas alternativas de diseño que permitieran minimizar los plazos y los riesgos asociados a la construcción.

A continuación, se describen los principales ejes de discusión que se abordaron para definir este diseño, analizados en el contexto de la ubicación y el espacio disponible. Cada uno de estos ejes presentaba distintos riesgos



Figura 7. Área de implantación del módulo PFU.

o amenazas relacionadas a fuentes de ignición o puntos calientes, posibles escapes de hidrocarburos y sustancias perjudiciales para la salud, entre otros. Todos ellos fueron sumados al solapamiento con las tareas habituales de mantenimiento y operación, como así también a la Inspección General (IG) de la CCU planificada para 2019, la cual representa una actividad de gran complejidad, riesgo y alcance.

Los ejes evaluados fueron los siguientes:

- Económico
- Mano de obra
- Entorno
- Manejo del cambio
- Flexibilidad
- Logística de traslado y montaje

Económico. Por un lado, se identificó una ventaja orientada a la productividad de fabricación y montaje en un taller externo frente a la construcción dentro de la refinería: los tiempos de autorización diaria para la realización de trabajos en refinería suelen requerir de un mayor análisis de riesgos que en un espacio dedicado exclusivamente a la construcción. Adicionalmente, existen numerosas tareas no planificadas que surgen en la operación de las unidades de refinería, las cuales pueden interrumpir el trabajo, como rotura de equipos y/o situaciones anormales en la operación; incluso las condiciones meteorológicas pueden ser un condicionante para la ejecución de los trabajos en campo.

Por otro lado, se evaluó la disponibilidad de proveedores de módulos con capacidad y antecedentes, locales

y extranjeros, que pudieran atender las necesidades del proyecto teniendo en cuenta la disposición geográfica de los principales proveedores de materiales y equipos, y analizando los potenciales orígenes de materiales complejos.

En función de ello se evaluó la locación de mayor conveniencia para efectuar la construcción, ya que, frente a una gran dispersión geográfica de los suministradores, optar por un centro de fabricación central distinto al sitio de la obra potencialmente redundaría en beneficios a la ejecución.

Finalmente, luego de analizar diferentes empresas para la ejecución modular, tanto en el ámbito local como en el internacional, se detectaron varios interesados en realizar la construcción. Ello permitió disponer de una mayor cantidad de propuestas, así se obtuvo una mejor comparativa y competencia de tiempos, costos y ejecución del proyecto.

Mano de obra. Considerando la IG programada para 2019 y teniendo en cuenta que los recursos de mano de obra disponibles durante la ejecución y en los meses previos de este trabajo se encontrarían comprometidos, se identificó una ventaja en descomprimir los trabajos con los contratistas habituales de refinería y trasladar parte de la ejecución del proyecto a un taller externo.

Entorno. Se evaluó el entorno del área donde se decidió emplazar la instalación, se identificaron los riesgos para las personas e instalaciones, y se determinó la estrategia que permita una menor exposición a los factores detectados externos al proyecto.

Los factores identificados como riesgos o amenazas para las personas o instalaciones objeto del proyecto fueron los siguientes:

- Trabajos con cargas suspendidas en altura.
- Contaminación acústica y vibraciones.
- Carga térmica asociada al entorno.
- Explosión o incendio en instalaciones cercanas.
- Venteos o efluentes de sustancias peligrosas de instalaciones aledañas.

Adicionalmente, se consideró que un proyecto *stick built* implicaría una cantidad importante de trabajadores realizando tareas simultáneas en espacios reducidos, lo cual incrementaría los riesgos de accidentes, debido a una elevada superposición de tareas, mientras que una estrategia modular reduciría la densidad de operarios.

Otro punto analizado es que el espacio seleccionado para la nueva unidad limita con una de las calles de acceso a la planta, desde donde era posible izar los módulos sin la necesidad de pasar por encima de otras instalaciones, como equipos o parrales en servicio. Por lo tanto, la logística del proyecto podría contemplar el transporte hasta la obra de módulos de gran envergadura y posterior montaje sin necesidad de modificaciones adicionales a las instalaciones existentes.

Manejo del cambio. Considerando que el diseño y/o alcance puede sufrir modificaciones, sería ventajoso no modularizar, dado que, para este tipo de esquema es necesario tener cerrados aspectos de ingeniería y de diseño de equipos en etapas iniciales, lo cual vuelve más rígida la alternativa de modularizar, sin poder capturar —con un bajo impacto— mejoras o cambios. Sin embargo, a partir de los estudios realizados en la planta piloto y la ingeniería básica desarrollada, no era de esperar que, en la etapa de Ingeniería de detalle, se presentasen grandes modificaciones en el diseño, por lo que la opción de modularizar la planta continuaba siendo atractiva. Las principales diferencias esperables se centraban en los ruteos y canalizaciones por realizar en las unidades exter-

nas al módulo (identificadas en el proyecto como OSBL —*Out-Side Battery Limits*—) y que serían ejecutadas por empresas contratistas que habitualmente trabajan en refinería bajo la modalidad *stick built*.

Flexibilidad. Se evaluó la flexibilidad del diseño en relación con las futuras modificaciones o adiciones, que determinó que un diseño compacto de equipos y cañerías, como el modular, permitiría contar con el espacio suficiente para incorporar, en el futuro, más filtros de material adsorbente (junto con algunas otras modificaciones y verificaciones) y de esta forma aumentar la capacidad de producción de la planta.

En proyectos con grandes equipos que no se pueden modularizar, debido a sus dimensiones y, por lo tanto, concentran la mayor parte de la mano de obra en el montaje y la construcción modular, podría presentar desventajas significativas, ya que quedaría restringida a áreas más pequeñas. No obstante, a partir de la ingeniería básica realizada se pudo confirmar que las dimensiones de los equipos no resultaban una restricción para la modularización de la unidad.

Finalmente, se observó que, atendiendo a futuros negocios de expansión, puede resultar de utilidad contar con una unidad modular relativamente fácil de desmontar y montar en otra locación, de esta manera se cubrirían necesidades con costos aprovechados al máximo.

Logística de traslado y montaje. Se ejecutó un estudio sobre la existencia de vías de transportes desde los puntos de fabricación o entrega en la Argentina hasta la locación de la nueva instalación. El estudio no se limitó solo al análisis de vías terrestres (rutas y ferrocarriles), sino que también se consideraron vías fluviales, marítimas, aéreas o bien una combinación de estas. En todos los casos se tuvo en cuenta el estado de las vías, sus variaciones en función de la estacionalidad (rutas de montaña, niveles de ríos, etc.) y las capacidades de los puntos de carga y descarga.

Se validó que, tanto para la opción de proveedores internacionales como nacionales, existiesen vías de acceso aéreas, marítimas y/o terrestres para el traslado de los materiales o módulos, con el fin de evitar inconvenientes en esos accesos particulares.

No obstante, en todos los casos para el transporte de los grandes equipos y módulos hacia la refinería fue necesario considerar las gestiones necesarias relacionadas con los permisos de circulación, cortes de calle, instalaciones aledañas e interferencias, entre otros.

Algunas de estas cuestiones se indican a continuación.

- Influencia de los costos de transporte (por ejemplo, sobremedidas, aranceles, etc.).

Los principales costos de transporte considerados para seleccionar una estrategia que permita obtener la mejor relación costo-beneficio para el movimiento de los elementos del proyecto fueron:

- Estudios de vías de transporte.
- Transporte de los elementos.
- Permisos de circulación.
- Acompañamientos policiales.
- Gestión de interferencias.





Figura 8. Módulo de la unidad de PFU en transporte.

- Facilidad en la obtención de permisos de circulación para transporte sobremedidas.

En el transporte por una vía pública, una carga de gran tamaño o con sobrepeso es aquella que excede el tamaño legal estándar y/o los límites de peso para que un camión lo transporte en una parte específica de la ruta, autopista u otra infraestructura de transporte, como el transporte aéreo o marítimo.

Para el transporte de un vehículo que excede las dimensiones legales es necesario un permiso especial, que puede implicar el pago de tarifas adicionales y el cumplimiento de requisitos específicos para que el vehículo de gran tamaño/sobrepeso viaje legalmente por las rutas definidas. Esto debe evaluarse independientemente para cada una de las jurisdicciones que se atraviesan. En la mayoría de los casos, el permiso especifica la ruta exacta que debe tomar un vehículo e incluye advertencias de autorización.

- Riesgos de pérdida o daños durante el transporte. Se contemplaron los riesgos relacionados con la carga, el transporte y la descarga de materiales.
- Disponibilidad de equipos de izaje y transporte en la zona de influencia de la obra. Se analizaron los izajes críticos definidos por los equipos principales de montaje, y se determinó una estrategia que se adapte a la disponibilidad de estos a la necesidad del proyecto.

Se evaluó la disponibilidad de los equipos requeridos en la zona de ejecución, y se debió ampliar el radio de cobertura geográfica, con el fin de encontrar su disponibilidad, incluso evaluando la contratación de equipos en el exterior si fuese necesario.

- Interferencias existentes en las posibles rutas dentro/ fuera del lugar de obra. Al haber realizado un estudio de rutas desde los puntos de entrega hasta la locación de la obra, identificamos que el traslado en camiones era la estrategia que mejor se adaptaba a las interferencias detectadas.

Adicionalmente, se analizó la viabilidad técnica

y económica asociada con las interferencias que se presentaban a lo largo del recorrido (Figura 8).

2.1.2. Diseño Modular de PFU

Teniendo en cuenta el análisis de estos principales ejes de decisión, se llegó a la conclusión de que la estrategia de modularización resultaba más atractiva que la modalidad de *stick built*, ya que, presentaba una ventaja orientada a la productividad de fabricación y montaje, como así también a la obtención de mejores costos, debido a la existencia de un vasto mercado de proveedores de esta tecnología tanto en el nivel nacional como internacional.

A su vez, esta estrategia permitiría descomprimir los trabajos por realizar con los contratistas habituales de la refinería, dado que la ejecución del proyecto coincidiría con la preparación y la ejecución de la IG de CCU (planta alemana) y, además, generaría una menor exposición de los trabajadores a los factores detectados externos al proyecto, pero inherentes a su entorno.

Otra ventaja relevante del diseño modular radicaría en la flexibilidad para futuras modificaciones y/o traslados de la planta.

Finalmente, se concluyó que la estrategia de modularización y traslado en camiones sería viable en función de las dimensiones de los elementos por transportar, considerando que no se detectaron interferencias no gestionables, es decir aquellas que pueden limitar las dimensiones máximas de transporte.

- Ventajas materializadas de la implementación modular:
 - Ahorro en costos de construcción.
 - Ahorro en plazos de construcción. Los módulos se fabrican fuera del sitio, lo que permite que el desarrollo de la ingeniería de detalle, el desmontaje de la antigua planta de motogasolina y la construcción de los cimientos para la nueva unidad procedan simultáneamente con su construcción.

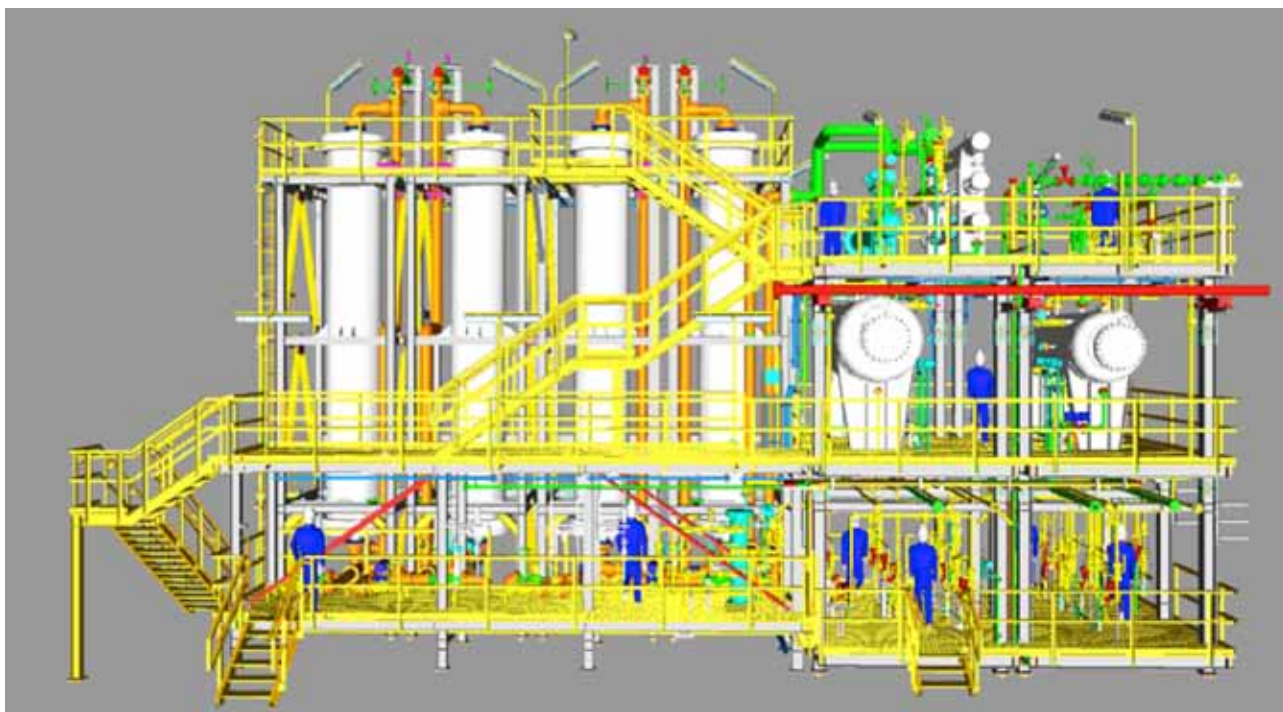


Figura 9. Vista frontal en maqueta 3D de la PFU.

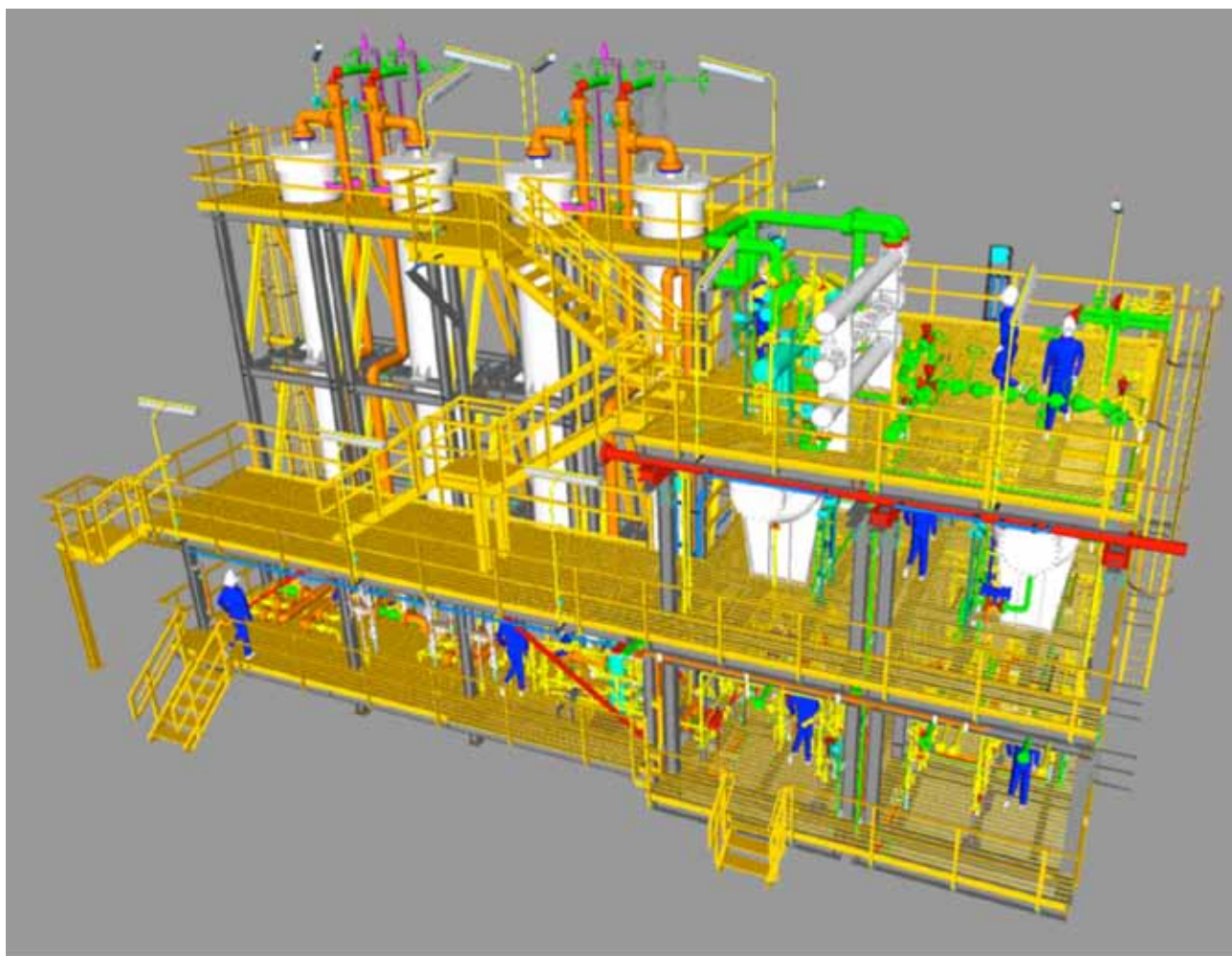


Figura 10. Vista superior en maqueta 3D de la PFU.

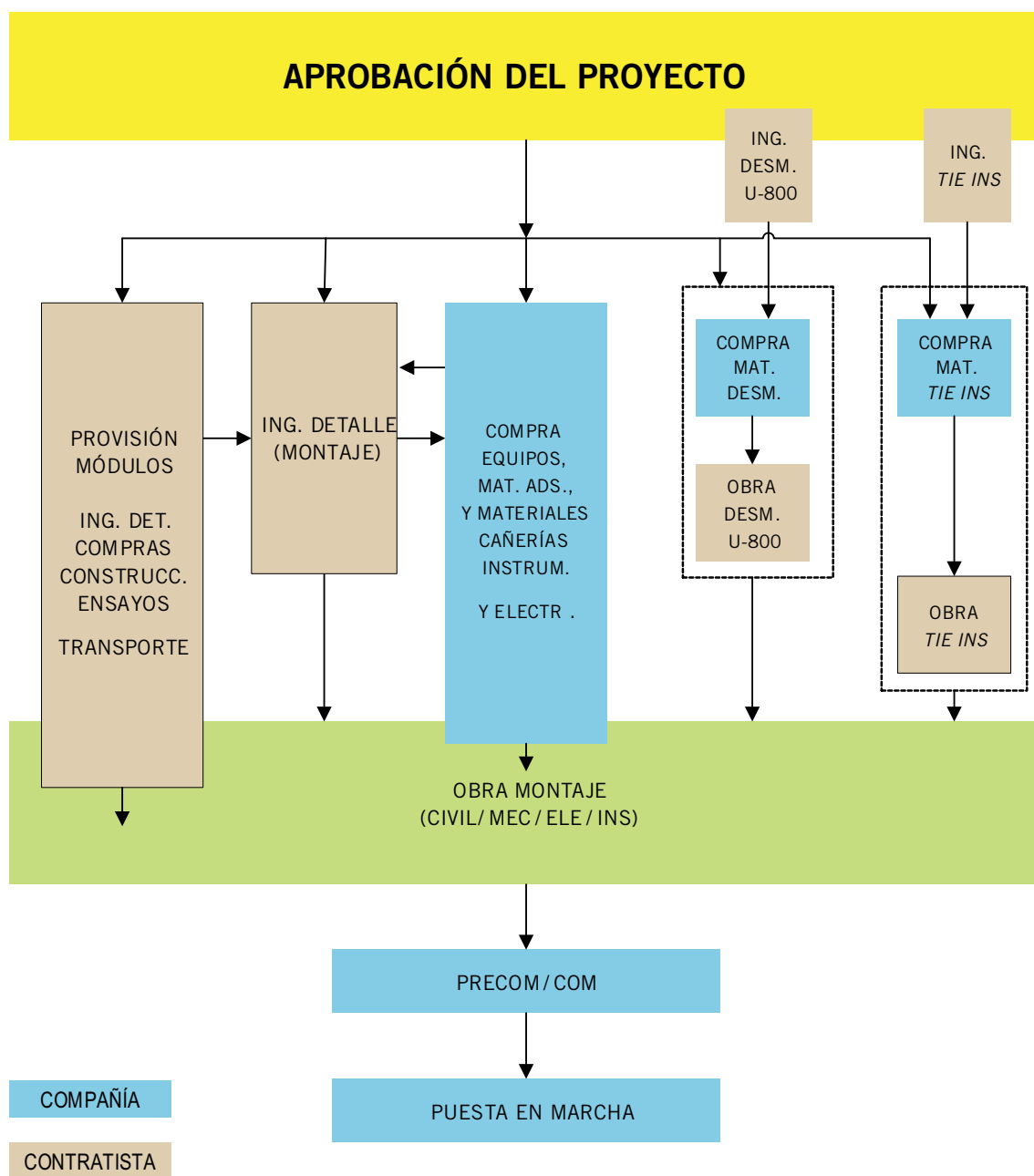


Figura 11. Plan de Ejecución del proyecto.

- Ejecución de 48.500 HH en taller externo sin accidentes registrables.
- Se ejecutó en paralelo la IG de Craqueo Catalítico sin interferencias por parte del proyecto.
- Los módulos fueron fabricados por una empresa local y transportados a Refinería de acuerdo al plan previsto.
- Ajustes mínimos en campo para la conexión de la planta con otras unidades de procesos y servicios.
- Aprendizajes y oportunidades de mejora del diseño modular:
 - El ensamblaje final en taller externo solicitado al fabricante de los módulos fue una buena práctica para evaluar inconsistencias/faltantes con lo solicitado y realizar ajustes de cañerías.
 - La etapa de adjudicación de la obra se extendió más de lo previsto por los tiempos que conllevó realizar una licitación en el nivel internacional. Esto implicó la traducción de los documentos de ingeniería básica, los pliegos de licitación y el aseguramiento de una correcta interpretación y entendimiento de las reglamentaciones locales de construcción.
 - La etapa de desarrollo de ingeniería se extendió más de lo previsto, debido a la incorporación y la adaptación de la empresa adjudicada para su desarrollo y posterior construcción modular.
 - El proceso de izaje de los módulos en refinería se interrumpió por un error de diseño de las perchas fabricadas. Esto se pudo haber evitado si se pre-

senciaban las pruebas de izaje en el taller externo, algo que no fue posible debido a la pandemia (Figuras 9 y 10).

2.1.3. Trabajos con potenciales fuentes de ignición

La mayor parte de los trabajos con potenciales fuentes de ignición del proyecto estuvieron relacionados con soldaduras de cañerías. Para estos trabajos se buscó equilibrar los riesgos de construcción (por ejemplo, trabajos en caliente) frente a los riesgos de fugas que pudiesen presentar las conexiones bridadas (prefabricados bridados) durante la vida de las instalaciones. Luego de analizar cada caso, se decidió aplicar algunos de los siguientes lineamientos generales:

- Durante la IG CCU 2019 (planta parada) se ejecutarían los trabajos con potenciales fuentes de ignición asociados al tendido de las cañerías por parrales de las áreas afectadas por el proyecto (U-300, U-400, U-600 y U-800) y ejecución de *tie-ins*.
- En las áreas en servicio permanente, se realizaría el tendido de cañerías de interconexión mediante prefabricados con extremos bridados, minimizando, en la medida de lo posible, la cantidad de uniones.

La construcción modular de la PFU permitió reducir la cantidad de trabajos con potenciales fuentes de ignición en la U-800.

Complementariamente, se minimizó la cantidad de *tie-ins* soldados, utilizando conexiones disponibles o con el reemplazo de un tramo de cañería bridado por uno nuevo prefabricado con la conexión requerida, con el objetivo de reducir el tiempo de preparación y montaje y los riesgos involucrados.

2.1.4. Ejecución de *tie-ins*

Se realizó la ejecución de *tie-ins* de cañerías con el cumplimiento de las siguientes premisas:

- Minimizar necesidad de paro de planta.
- Minimizar trabajos de preparación de instalaciones existentes (por ejemplo, inertizado de líneas).
- Minimizar *tie-ins* soldados.
- Minimizar cantidad de uniones bridadas nuevas.
- Planificar ejecución de *tie-ins* por grupos (por ejemplo, los que requieran el mismo tipo de preparación de línea por intervenir).

2.1.5. Subestaciones y canalización eléctrica

Los nuevos consumidores eléctricos del proyecto fueron alimentados desde subestaciones ubicadas en planta. Se intervinieron los tableros eléctricos de estas subestaciones para equipar sus cubicles con los circuitos de alimentación y comando de los nuevos consumidores eléctricos. La ejecución de estos trabajos se llevó a cabo sin necesidad de desenergizar los tableros eléctricos.

El tendido de nuevos cables de alimentación y comando a nuevos consumidores se realizó por los canales de cables existentes (junto a otros cables en servicio).

2.2. Plan de Ejecución del proyecto

Al igual que la etapa de diseño, la ejecución del pro-

yecto fue un punto desafiante para nuestra compañía. La ejecución de actividades en simultáneo permitió acortar los plazos globales del proyecto pero, a su vez, demandó mayor coordinación por la simultaneidad de contratos (por ejemplo, coordinación de interfaces entre proveedores y contratistas) (Figura 11).



Figura 12. Desmontaje de antigua U-800.



Figura 13. Pilotaje de la PFU.



Figura 14. Construcción de nueva platea para la PFU.

A continuación, se desarrollan brevemente los “bloques” del proyecto con las interfaces y las interacciones entre ellos.

2.2.1. Aprobación del proyecto

La aprobación del proyecto de inversión permitió avanzar con las siguientes tareas:

- Contratar la provisión de los módulos a instalar en la PFU (Ingeniería de detalle, compra de materiales mayores, construcción, ensayos y transporte a RBA).
- Comprar el equipamiento y los materiales principales y a granel para los montajes no comprendidos dentro del alcance de los módulos.
- Contratar la Ingeniería de detalle de montaje para las tareas que estuviesen fuera del alcance de los módulos.

2.2.2. Desmontaje de antigua U-800

Se elaboró un paquete de Ingeniería de detalle específico, se enumeró los materiales y las tareas para permitir el desmontaje de primitiva U-800 de modo que, una vez aprobado el proyecto, fuera posible:

- Comprar los materiales (principales y a granel) para desmontaje de la U-800 existente.
- Contratar la obra de desmontaje de la U-800 (Figuras 12, 13 y 14).

2.2.3. Ejecución de *tie-ins* y tendido de líneas de interconexión

Se elaboró un paquete de Ingeniería de detalle en el cual se especificaron los materiales y las tareas para practicar algunos *tie-ins* y permitir el tendido de líneas de interconexión por parrales y sendas que implicaran trabajos en caliente, durante el paro de planta previsto para 2019, de modo que, una vez aprobado el proyecto, fuera posible:

- Comprar los materiales (principales y a granel) para la ejecución de los *tie-ins* de cañerías y el tendido de las líneas de interconexión.
- Incluir las tareas de ejecución de *tie-ins* y el tendido de las líneas de interconexión entre los trabajos previstos durante la IG CCU 2019.

2.2.4. Provisión de los módulos

A partir de la aprobación del proyecto fue posible contratar la provisión de los módulos a instalar en la PFU.

Se realizó la construcción en taller externo de los módulos transportables de la PFU, los cuales serían montados definitivamente e interconectados con la RBA.

El alcance del Contrato Provisión de Módulos contempló:

- La Ingeniería de detalle de los módulos que componen la unidad.
- La compra de materiales y equipamiento.
- La fabricación de los módulos.
- Los ensayos acordados (entre los cuales se encontraba el de prueba de montaje e interconexión entre ellos).
- El transporte de los módulos hasta la RBA.

2.2.5. Compras

Con la aprobación del proyecto se inició la compra



Figura 15. Montaje del primer módulo de la PFU.



Figura 16. Montaje del recipiente acumulador de la PFU.

de equipos y materiales (principales y a granel) para la obra de montaje a partir de las hojas de datos y requisiciones de materiales de la Ingeniería básica extendida realizada:

- Los equipos a instalar fuera de los módulos.
- Los materiales para interconexión de cañerías, instrumentos y electricidad fuera de módulos.
- El material para relleno de los lechos.

2.2.6. Ingeniería de detalle de montaje

Se contrató el desarrollo del paquete de Ingeniería de detalle para la obra de montaje, con la que fue posible:

- Comprar los materiales complementarios a los definidos en las ingenierías anteriores.
- Contratar la obra de montaje.
- Este paquete de Ingeniería de detalle fue realizado sobre la base de la Ingeniería básica extendida desarrollada, ajustándola y guardando consistencia con la información que surgió en paralelo de:
- El desmontaje de la antigua U-800.
- La ejecución de los *tie-ins* y tendido de las líneas de interconexión.
- La Ingeniería de detalle de los módulos.
- Los detalles del equipamiento comprado por la Raízen.



Figura 17. Planta modular de producción de propelente (PFU).

2.2.7. Obra montaje

Con el paquete de Ingeniería de detalle montaje terminado fue posible contratar la obra de montaje que consistió fundamentalmente en lo siguiente:

- La obra civil (fundaciones y pavimentos) para la instalación de los módulos y otros equipos comprados por la compañía (fuera de los módulos).
- El montaje y ensamblado de los módulos y otros equipos sobre sus bases.
- El tendido de las líneas de interconexión y ejecución de los *tie-ins* complementarios a lo construido durante la IG CCU 2019 y desmontaje de la U-800.
- El montaje de instrumentos fuera del módulo y la interconexión, a SIS (*Safety Instrumented System*) y DCS (*Distributed Control System*), de todos los instrumentos del proyecto, la configuración de los lazos de control y seguridad y las modificaciones de sistemas (hardware y software).
- El montaje del nuevo equipamiento eléctrico y la canalización de cables entre las subestaciones y los nuevos consumidores (Figuras 15 y 16).

2.2.8. Precom/Com

Entre las tareas de precomisionado y comisionado de las nuevas instalaciones del proyecto, realizadas por la compañía con la asistencia de contratistas, se procedió al llenado de los lechos previo a la introducción de gas. Se revisó el montaje de las instalaciones y las cañerías, comparándolos contra los planos y los diseños previstos. Se verificó el correcto funcionamiento de todos los elementos posibles, instrumentos, válvulas manuales y actuadas, bombas; como así también los elementos del sistema contra incendios.

2.2.9. Puesta en marcha

Debido a las particularidades del proceso, la puesta en marcha de la unidad se realizó en tres etapas.

En una primera etapa, se ejecutó la puesta en marcha del evaporador de propano, que permitió el avance hacia la puesta en marcha de la unidad modular de propelente sin parar unidades aguas arriba del proceso.

En una segunda etapa, se realizó el ajuste de los parámetros y rangos operativos del sistema de adsorción de los lechos hasta alcanzar una operación estable. Se hicieron los ensayos en conjunto con el panel olfativo para determinar que el producto de la unidad estuviese en especificación. Finalmente, en una tercera etapa, se realizó la puesta en marcha del sistema de regeneración, que incluyó la prueba del calentador eléctrico, con el fin de garantizar la vida útil de los lechos.

La planificación de la puesta en marcha desde la etapa de Ingeniería básica permitió contar con las facilidades en la unidad para minimizar el impacto en las unidades externas.

El ajuste final de los parámetros y rangos operativos se realizó durante las maniobras de puesta en marcha hasta haber alcanzado la operación estable de las instalaciones del proyecto (Figura 17).

2.3. Contexto de pandemia por COVID-19

Transcurridos los primeros seis meses luego de la adjudicación de la construcción modular a una empresa local, ocurrió la pandemia por COVID-19. Este evento impactó y, en muchos casos, paralizó las obras que se llevaban adelante en todos los rubros de la industria.

Ante este impredecible escenario, la estrategia de modularización cobró mayor significancia, ya que, a partir de los protocolos implementados en el taller externo, la construcción pudo seguir su curso; lo que derivó en un impacto en el plazo de finalización mucho menor al que hubiese tenido de ejecutarse dentro de la refinería. En este marco, con el fin de garantizar una operación segura, el cuidado del personal operativo prevaleció frente a la ejecución de trabajos en campo. Estos trabajos se postergaron para evitar la aglomeración de personal y cumplir con los protocolos de sanidad establecidos.

En este contexto global, la importación de equipos y materiales también se vio afectada. Por ejemplo, uno de los equipos que conforman la planta: un calentador eléctrico fabricado en Europa sufrió un atraso significativo en su plazo de entrega. No obstante, el diseño modular una vez más permitió sortear con éxito este escollo, ya que se pudo avanzar con el montaje y la conexión de los módulos restantes. Finalmente, al recibir el equipo, se concluyó con la construcción del módulo, luego se trasladó a la refinería para el ensamblaje final con el resto de la planta.

Conclusiones

Con la finalización del proyecto y habiendo realizado el ejercicio de lecciones aprendidas correspondiente, podemos afirmar que la decisión de adoptar una estrategia de construcción modularizada fue un factor de éxito determinante.

El concepto de planta modularizada simplificó, agilizó y redujo los riesgos inherentes del montaje y construcción de la planta, que efectivamente redundó en una disminución de los costos generales de construcción y montaje.

Desde el punto de vista de la seguridad, la simplificación de las tareas en la refinería permitieron el desarrollo de la IG CCU 2019 prevista, sin interferir con los frentes del proyecto. Además, posibilitaron optimizar los recursos disponibles, con el fin de concentrarlos y focalizarlos en las actividades críticas de mantenimiento e inspección, indispensables para el correcto y seguro funcionamiento de las unidades del Complejo de Craqueo Catalítico.

Asimismo, y con el advenimiento de los confinamientos obligatorios y protocolos del contexto de pandemia por COVID-19 se pudo obtener un inesperado beneficio frente a la situación de haber optado por un esquema *stick built*. El hecho de que los módulos en fase de construcción se encontraran en un taller externo, minimizó la cantidad de personal trabajando simultáneamente dentro de la refinería y favoreció el cumplimiento de los protocolos de distanciamiento y cuidado. Con ello se pudieron mantener operativas las unidades productivas sin interrumpir o demorar de manera significativa el avance del proyecto.

A su vez, el taller contratista, también pudo, con los protocolos correspondientes, continuar con la fabricación del módulo PFU dentro de sus propias instalaciones.

Aunque los plazos originales tuvieron que adecuarse, debido a las restricciones impuestas y las afectaciones de entrega de materiales en el nivel global, esta estrategia de fabricación permitió continuar con el proyecto aún en los momentos más críticos.

Otro factor de éxito fue la realización de una extensa y minuciosa fase de ingeniería conceptual, que incluye el uso de la planta piloto. Esta experiencia, aunque inicialmente generó la necesidad de plazos más extensos para la determinación del proceso productivo, permitió anticipar y corregir una gran cantidad de inconvenientes o situaciones que deberían haber sido resueltas al comienzo del diseño de detalle de los módulos. De esta manera, los cambios o adecuaciones que debieron realizarse durante la fase de Ingeniería de detalle o aún más crítica de construcción resultaron mínimos.

Bibliografía

Herramienta para análisis de modularización de un proyecto. 2021. IAPG.



CABLES DE ACERO
ESLINGAS
ACCESORIOS

Crosby® Distribuidor oficial
para Argentina y Brasil

 American Petroleum Institute
API Monogram. License 9A -0018.

 **IPH**®

 (5411) 4469-8100
www.iphglobal.com