

# DISEÑO E INSTALACIÓN DE NUEVA PLANTA MODULARIZADA DE PRODUCCIÓN DE PROPELENTE

DAONA, Agustín, Raízen Argentina S.A.U., [agustin.daona@raizen.com.ar](mailto:agustin.daona@raizen.com.ar)  
OLCESE, Sebastián, Raízen Argentina S.A.U., [sebastian.olcese@raizen.com.ar](mailto:sebastian.olcese@raizen.com.ar)  
PADILLA, Federico, Raízen Argentina S.A.U., [f.padilla@raizen.com.ar](mailto:f.padilla@raizen.com.ar)

## 1. SINOPSIS

Raízen Argentina identificó una oportunidad de negocios para producir Propelente a partir de una mezcla de propano y butano, que hasta el año 2020 se comercializaban fundamentalmente para consumo como gas envasado, y decidió lanzar un proyecto para proveer a la Refinería Buenos Aires (RBA) de las instalaciones industriales para producirlo, almacenarlo y despacharlo en camiones.

Con el objetivo de captar dicha oportunidad se llevó a cabo un proceso de evaluación, selección y diseño de la tecnología y procesos de control más adecuados para este nuevo producto para la industria del cuidado personal.

El producto, sin historial previo de producción dentro de nuestro grupo empresario a nivel mundial, posee una característica sumamente particular: el mismo debe ser inodoro. Esta particularidad nos impulsó a desarrollar tareas como construir una Planta Piloto para ensayos específicos y capacitar un panel olfativo para control y certificación de este nuevo producto.

Los ensayos realizados en planta piloto en las etapas iniciales del proyecto fueron fundamentales para validar la efectividad de las tecnologías estudiadas y permitieron dimensionar las instalaciones de la unidad.

Luego de analizar las restricciones para la ejecución de los trabajos en el sitio se decidió avanzar con una estrategia constructiva de dos fases:

- Unidad de producción de Propelente. Completamente modularizada y fabricada en taller externo.
- Instalaciones para la alimentación, almacenaje y despacho. Con una ejecución de trabajos *in situ*, para permitir la interconexión de la nueva planta con las instalaciones y servicios existentes.

La estrategia de modularización permitió disminuir las tareas de armado y montaje en campo, así como también mejorar los rendimientos de la mano de obra y la calidad del trabajo trasladando las tareas a un taller externo con un ambiente controlado. Esta decisión contribuyó además a mejorar la seguridad de los trabajadores dado que se eliminaron los riesgos propios de realizar tareas en campo con plantas aledañas en marcha y la superposición con otros trabajos de mantenimiento que se encontraban planificados en la zona donde se decidió emplazar esta nueva unidad de producción.

El contexto de pandemia por COVID19 y sus restricciones al transporte, personal y de aglomeraciones fue un inesperado escollo que pudimos sortear con éxito gracias a la acertada estrategia constructiva seleccionada.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. INTRODUCCIÓN GENERAL AL PROYECTO

Raízen Argentina (anteriormente Shell CAPSA) identificó una oportunidad de negocios para producir Propelente de aerosoles a partir de una mezcla de propano y butano, que hasta el año 2020 se comercializaban fundamentalmente para consumo como gas envasado. En vista de ello, decidió lanzar un proyecto para proveer a la Refinería Buenos Aires de las instalaciones industriales para producirlo, almacenarlo y despacharlo en camiones.

La falta de experiencia previa en la producción de este producto, dentro del vasto historial del grupo Shell, nos impulsó a desarrollar el proyecto desde su concepción más primaria.

- Evaluación y selección de las tecnologías disponibles.
- Evaluación y selección de las corrientes apropiadas.
- Definición de la capacidad de planta (en función a las limitaciones propias de la Refinería y mercado disponible).
- Evaluación y definición de los medios para almacenamiento y despacho.
- Definición de la estrategia de ejecución más adecuada.

### 2.2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La unidad PFU (*Propellant Filtering Unit*) es alimentada por dos corrientes independientes, una de propano y una de butano; las cuales son mezcladas al ingreso del recipiente de alimentación del módulo.

La proporción de ingreso es determinada por las propiedades y composiciones de las corrientes individualmente, a fin de obtener la mezcla apropiada para finalmente disponer del 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 los cuales retienen los contaminantes responsables de incorporar olor al producto. El material de dichos lechos es del tipo regenerable, por lo que a su vez se dispone de un circuito de regeneración para los mismos.

La regeneración de los lechos, para remoción de los contaminantes retenidos, se realiza a demanda frente a la saturación de estos, pudiendo ser ejecutada sin interrumpir la producción de la planta. El Propelente producido es almacenado en esferas desde las cuales se despacha y comercializa vía camiones cisterna.

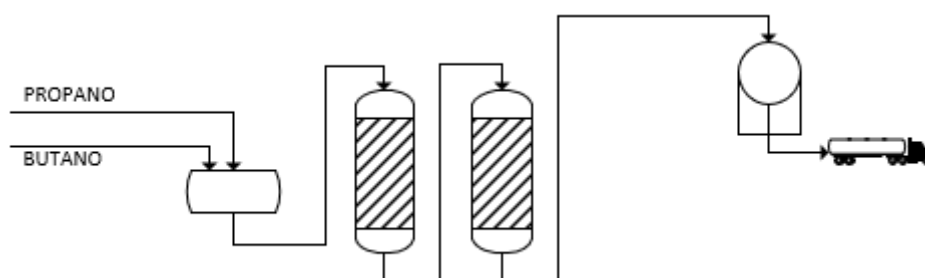


Ilustración 1 - Esquema simplificado de procesos.

La ubicación para la nueva unidad, fue seleccionada de forma de encontrarse relativamente cerca de las corrientes de alimentación e instalaciones de almacenamiento.

Con la definición de la tecnología y proceso productivo, se determinaron los equipos e instalaciones necesarias para la producción de Propelente.

En función a ello, quedaron definidas áreas o subunidades productivas:

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

De estas facilidades, las únicas existentes 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 Petróleo) con un brazo de carga dedicado a Propelente, quedando de esta manera un sistema completamente segregado e independiente exclusivo para este nuevo producto.

### 2.3. INGENIERÍA CONCEPTUAL

Durante la fase de Ingeniería Conceptual 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, se comenzó una etapa experimental para estudiar el funcionamiento de diversos materiales adsorbentes.

Inicialmente se comenzó con ensayos del tipo *batch*, mediante los cuales se pudo cotejar y comparar distintas eficiencias de remoción de contaminantes. Las condiciones de estos ensayos no representaban las futuras condiciones de procesos dado 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 de los proveedores de estas no tenían suficiente experiencia en la producción de propelentes a partir de GLP.

Luego de ello, se continuó con una fase experimental mediante pruebas extendidas en el tiempo. Para ello se construyó una Planta Piloto.



Ilustración 2 - Instalación de prueba *batch*.

## 2.4. 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 previamente preseleccionadas, se procedió a la instalación de una Planta Piloto. Dicho módulo fue ubicado dentro de la Refinería en las cercanías de algunas de las corrientes a tratar.

El diseño del mismo privilegiaba una construcción rápida, simple y que posibilitara el ensayo de diversas corrientes mediante el uso de diferentes materiales adsorbentes.



Ilustración 3 - Planta Piloto para prueba de adsorbentes.

Con dichas pruebas fue posible profundizar el conocimiento sobre el funcionamiento de los materiales adsorbentes, y la obtención de información crítica para el posterior diseño de la planta final. Las principales conclusiones alcanzadas se listan a continuación:

- 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 a 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.



## 2.5. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE

Concluida la etapa de ensayos, se procedió con las etapas de Ingeniería Básica y posteriormente Ingeniería de Detalle.

### 2.5.1. Ingeniería Básica

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

Con dicha definición se debió incorporar al sistema un control que permitiese regular el caudal de propano enviado 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 decidió incorporar un evaporador de propano que permitiese lograr esta distribución.



Ilustración 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, obteniendo una corriente rica en i-butano por el tope, destinada como alimentación a la unidad de alquilación; y una corriente rica en n-butano por el fondo, la cual es destinada a la venta como butano envasado.

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

Las especificaciones de calidad de Propelente se definieron en función a los requerimientos de los potenciales clientes, adoptando el más restrictivo de cada uno de estos, como criterio conservador.

## **2.6. PANEL OLFATIVO**

La especificación más crítica del Propelente es el olor; la cual tiene como causas principales más frecuentes a los compuestos azufrados, olefinas o hidrocarburos pesados ( $C_5+$ ). Estos contaminantes, de encontrarse presentes en el Propelente, le otorgan un olor el cual resulta inaceptable para los fines (y clientes) previstos.

A su vez, esta especificación es la más complicada desde el punto de vista de su determinación, como así también la más inusual dentro del ámbito habitual de una refinería.

En los diversos productos que pueden encontrarse en una refinería, se percibe habitualmente un olor característico a hidrocarburos el cual, en ciertas ocasiones es incluso deseable o requerido (p.ej.: el GLP despachado debe odorizarse a fin de detectar posibles pérdidas). Esto es un factor que conspira con la potencialidad de confirmar la falta de olor de un producto, o en su defecto caracterizar el contaminante presente para poder trabajar en su remoción.

Una lección clave, aprendida durante la fase experimental con la planta piloto, fue la confirmación de que no hay tecnología disponible para la caracterización de aquellos contaminantes que aportan olor, cuando la concentración de éstos es menor a 1 ppm (1 parte por millón). Dicho 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 habituales tienen una determinación de ppm, mientras que una nariz humana puede detectar aromas en concentraciones significativamente menores (en algunos casos hasta 2 órdenes de magnitud menor).

Con dicho aprendizaje, y a fin de poder disponer de un control de calidad adecuado, se debió conformar un panel olfativo el cual determina la aptitud del Propelente producido.

Las personas que constituyen dicho panel transitaban un proceso de capacitación a fin de adquirir las habilidades y competencias necesarias.

Como se ha indicado, dentro de la Refinería no se contaba con la experiencia o conocimientos adecuados, por lo que se recurrió a un servicio de soporte externo que nos posibilitase desarrollar las herramientas necesarias. El largo proceso de entrenamiento puede sintetizarse 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, distinción e identificación de los aromas foráneos al propelente. Numerosas horas fueron dedicadas a la ejecución de los mencionados procedimientos y la comparación de diversas muestras frente a patrones, a fin de lograr no solo identificar los olores, sino también poder apreciar su intensidad. Adicionalmente, debieron capacitarse en poder transmitir dichas apreciaciones, especialmente cuando la intensidad de uno de los aromas pudiese encubrir otros.

De esta forma se llegó a conformar un equipo debidamente capacitado no solo para confirmar la aptitud de la calidad del producto, sino también brindar soporte durante la fase de puesta en marcha y producción. Encontrándose este grupo, encargado de validar cada una de las muestras tomadas de producción, validando de esta manera el producto previo a su liberación para despacho.



Ilustración 5 - Panel olfativo durante su capacitación.

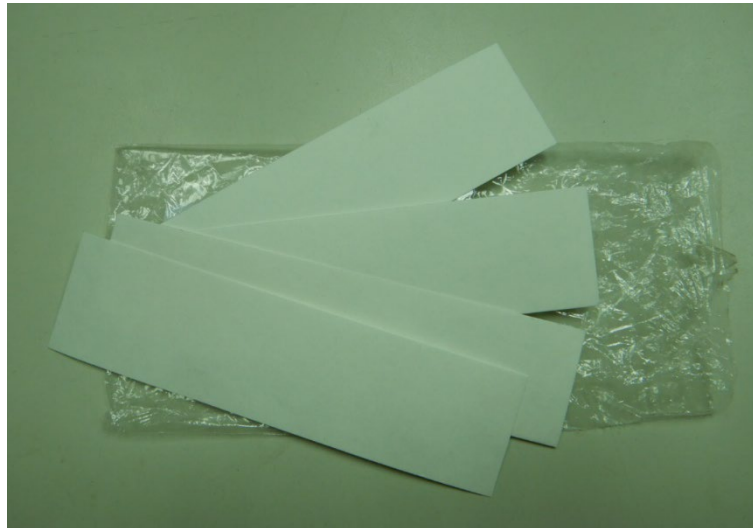


Ilustración 6 - *Blotters* utilizados por el panel olfativo.

### 3. CONSTRUCTIBILIDAD Y PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

#### 3.1. CONSTRUCTIBILIDAD

Otro gran desafío de este proyecto fue la ejecución en simultáneo en distintos frentes de trabajo, debido a la necesidad de intervención en varias áreas. A continuación, se listan a modo de referencia, las locaciones afectadas por el proyecto, las cuales 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.



### 3.1.1. Evaluación de la estrategia de diseño

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



Ilustración 7 - Área de implantación del módulo PFU.

La complejidad de ejecutar la construcción de esta nueva planta en un sector operativo de la Refinería, llevó a que se estudiaran distintas alternativas de diseño que permitieran minimizar los plazos y 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 espacio disponible. Cada uno de estos ejes presentaba distintos riesgos o amenazas relacionadas a fuentes de ignición o puntos calientes, posibles escapes de hidrocarburos, sustancias perjudiciales para la salud, entre otros; todos ellos 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 por si sola.

Los ejes evaluados son:

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

#### 3.1.1.1. Económico

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, tales como rotura de equipos y/o situaciones anormales en la operación; o incluso las condiciones meteorológicas que pueden ser también 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, -tanto locales como extranjeros- que pudieran atender las necesidades del proyecto, teniendo en cuenta la disposición geográfica de los principales proveedores de materiales y equipos, analizando también 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 y distinto al sitio de la obra potencialmente redundaría en beneficios a la ejecución.

Finalmente, luego de analizar distintas 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 mayor cantidad de propuestas permitiendo obtener una mejor comparativa y competencia de tiempos, costos y en la ejecución del proyecto.

#### 3.1.1.2. Mano de Obra

Considerando la IG programada para el 2019, y teniendo en cuenta que los recursos de mano de obra disponibles no solo durante la ejecución de este trabajo sino también en los meses previos se encontrarían muy comprometidos, se identificó una ventaja en optar por descomprimir los trabajos a realizar con los contratistas habituales de Refinería y trasladar parte de la ejecución del proyecto a un taller externo.

#### 3.1.1.3. Entorno

Se evaluó el entorno del área donde se decidió emplazar la instalación, identificando en la zona los riesgos para las personas e instalaciones, y con ellos determinar la estrategia que permita una menor exposición a los factores detectados los cuales son externos al proyecto.

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

- 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 considerable de trabajadores realizando tareas simultáneas en espacios reducidos, incrementando los riesgos de accidentes por elevada superposición de tareas mientras que una estrategia modular reduciría esta densidad de operarios.

Otro punto adicional 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 que la logística del proyecto podría contemplar el transporte hasta la obra de módulos de gran envergadura y posterior montaje de estos sin necesidad de modificaciones adicionales a las instalaciones existentes.

#### 3.1.1.4. Manejo del cambio

Desde esta perspectiva, considerando que el diseño y/o alcance pueda sufrir modificaciones, puede ser ventajoso no modularizar dado que para este tipo de esquema es necesario desde etapas iniciales tener cerrados aspectos de ingeniería, diseño de equipos, entre otros. Los cuales hacen 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 resultando atractiva.

Las principales diferencias esperables en la etapa de Ingeniería de Detalle se centraban en los ruteos y canalizaciones a realizar en las unidades externas 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*.

#### 3.1.1.5. Flexibilidad

Se evaluó la flexibilidad del diseño con relación a futuras modificaciones o adiciones determinando que un diseño compacto de equipos y cañerías como es el modular podría permitir 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 por sus dimensiones no se pueden modularizar y concentran la mayor parte de la mano de obra en su montaje, la construcción modular podría presentar desventajas significativas ya que quedaría restringida a áreas más pequeñas. No obstante, a partir de la Ingeniería Básica realizada pudimos confirmar que las dimensiones de los equipos no resultaban ser una restricción para la modularización de la unidad.

Finalmente, se visualizó que, dependiendo de futuros negocios de expansión, puede resultar de utilidad contar con una unidad modular que pueda ser relativamente fácil de desmontar y montar en otra locación, cubriendo necesidades con costos aprovechados al máximo.

#### 3.1.1.6. Logística de traslado y montaje

Se ejecutó un estudio sobre la existencia de vías de transportes desde los puntos de fabricación o entrega en Argentina, hasta la locación de la nueva instalación. El estudio no se limitó al análisis de vías terrestres únicamente (rutas y ferrocarriles); se consideraron también vías fluviales, marítimas, aéreas o bien una combinación de una o más de éstas; y 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, para 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 permisos de circulación, cortes de calle, instalaciones aledañas, interferencias, etc.

Algunas de estas cuestiones se indican a continuación:

- Influencia de los costos de transporte (p.ej.: 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.

- Facilidad para 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 también los riesgos de pérdida o daños relacionados a la carga, transporte y 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, determinando una estrategia que se adapte a la disponibilidad de estos al momento de necesidad del proyecto.  
Se evaluó la disponibilidad de los equipos requeridos en la zona de ejecución, debiendo ampliar el radio de cobertura geográfica a fin de poder encontrar la disponibilidad de estos, incluso evaluando la contratación de equipos en el exterior si fuese necesario.
- Interferencias existentes en las posibles rutas dentro/fuera del lugar de obra.  
Habiendo realizado un estudio de rutas desde los puntos de entrega hasta la locación de la obra, identificamos que el traslado en camiones resultaba ser la estrategia que mejor se adaptaba a las interferencias detectadas y que debieron gestionarse.  
Adicionalmente, se analizó la viabilidad técnica y económica asociada a las interferencias que se presentaban a lo largo del recorrido.



Ilustración 8 - Módulo de la unidad de PFU en transporte.

### 3.1.2. Diseño Modular de PFU

Teniendo en cuenta el análisis de estos principales ejes de decisión, pudimos llegar a la conclusión de que la estrategia de modularización resultaba más atractiva que la modalidad de *stick built*. Por

un lado, la misma presentaba una ventaja orientada a la productividad de fabricación y montaje, como así también a la obtención de mejores costos por existir un vasto mercado de proveedores de esta tecnología tanto a nivel nacional como internacional.

Adicionalmente esta estrategia permitiría descomprimir los trabajos a realizar con los contratistas habituales de Refinería, dado que la ejecución del proyecto coincidiría con la preparación y ejecución de la IG de CCU (planta aledaña) y generaría además una menor exposición de los trabajadores a los factores detectados que son externos al proyecto, pero inherentes al entorno de este.

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

Finalmente, se concluyó además que la estrategia de modularización y traslado en camiones sería viable en función de las dimensiones de los elementos a transportar, considerando que no se detectaron interferencias no gestionables, que son las que pueden limitar las dimensiones máximas a transportar.

- 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 la construcción de estos.
  - 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 ensamble 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 a nivel internacional, lo que implicó la traducción de los documentos de Ingeniería Básica y 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 adaptación de la empresa adjudicada para su desarrollo y posterior construcción modular.
  - El proceso de izaje de los módulos en Refinería se vio interrumpido por un error de diseño de las perchas fabricadas para este fin. Esto pudo haberse evitado presenciando las pruebas de izaje en taller externo, algo que no pudo llevarse a cabo por el contexto de pandemia.



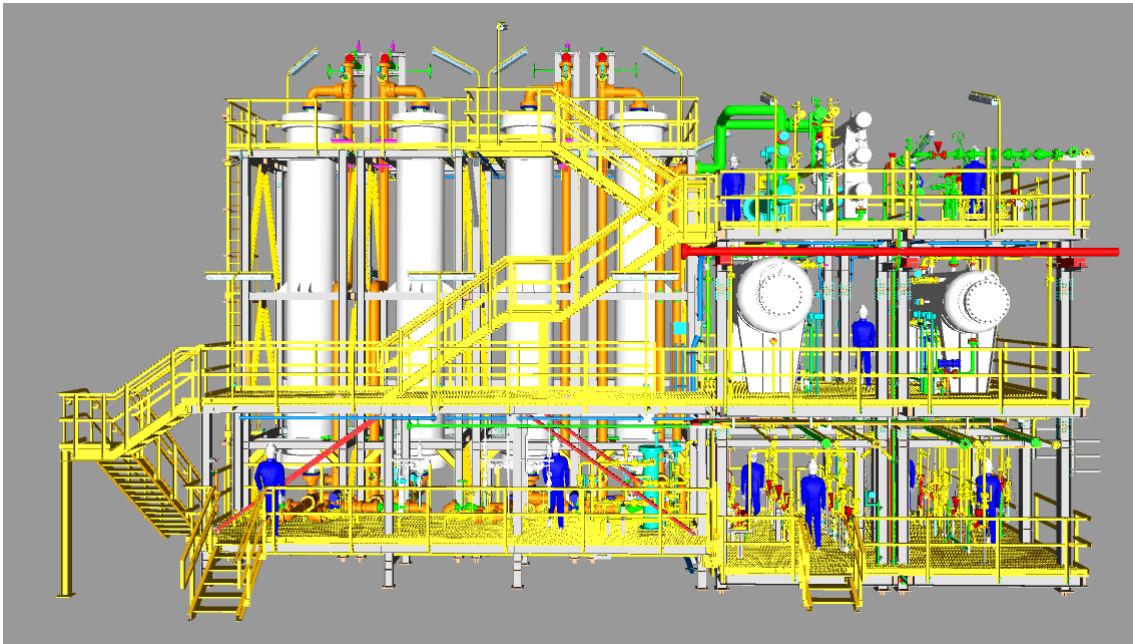


Ilustración 9 - Vista frontal en maqueta 3D de la PFU.

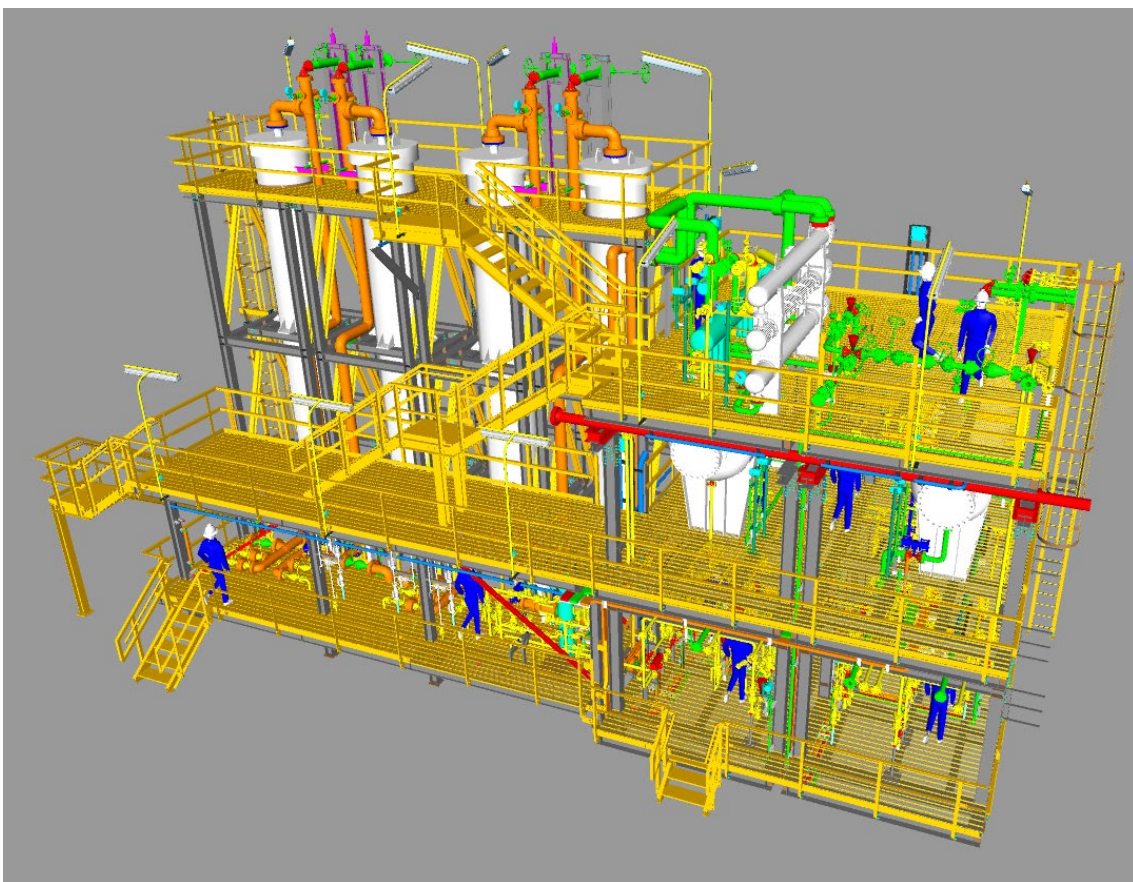


Ilustración 10 - Vista superior en maqueta 3D de la PFU.

### 3.1.3. 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 (p.ej.: 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 lineamientos generales como los presentados más abajo:

- 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.

Adicionalmente se minimizó la cantidad de *Tie-ins* soldados, utilizando conexiones disponibles, o reemplazando un tramo de cañería bridado por uno nuevo prefabricado con la conexión requerida, a fin de reducir el tiempo de preparación y montaje como así también los riesgos involucrados.

#### **3.1.4. Ejecución de *Tie-Ins***

Se realizó la ejecución de *Tie-ins* de cañerías cumpliendo con las siguientes premisas,

- Minimizar necesidad de paro de Planta.
- Minimizar trabajos de preparación de instalaciones existentes (p.ej.: inertizado de líneas).
- Minimizar *Tie-ins* soldados.
- Minimizar cantidad de uniones bridadas nuevas.
- Planificar ejecución de *Tie-ins* por grupos (p.ej.: los que requieran el mismo tipo de preparación de línea a intervenir).

#### **3.1.5. 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).

### **3.2. PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO**

Al igual que la etapa de diseño, la ejecución del proyecto también fue un punto desafiante para nuestra compañía. El mismo se encuentra esquematizado en la *Ilustración 11*.

La ejecución de actividades en simultáneo permitió acortar los plazos globales del proyecto, pero a su vez demandando mayor coordinación por la simultaneidad de Contratos (p.ej.: Coordinación de interfaces entre Proveedores y Contratistas).

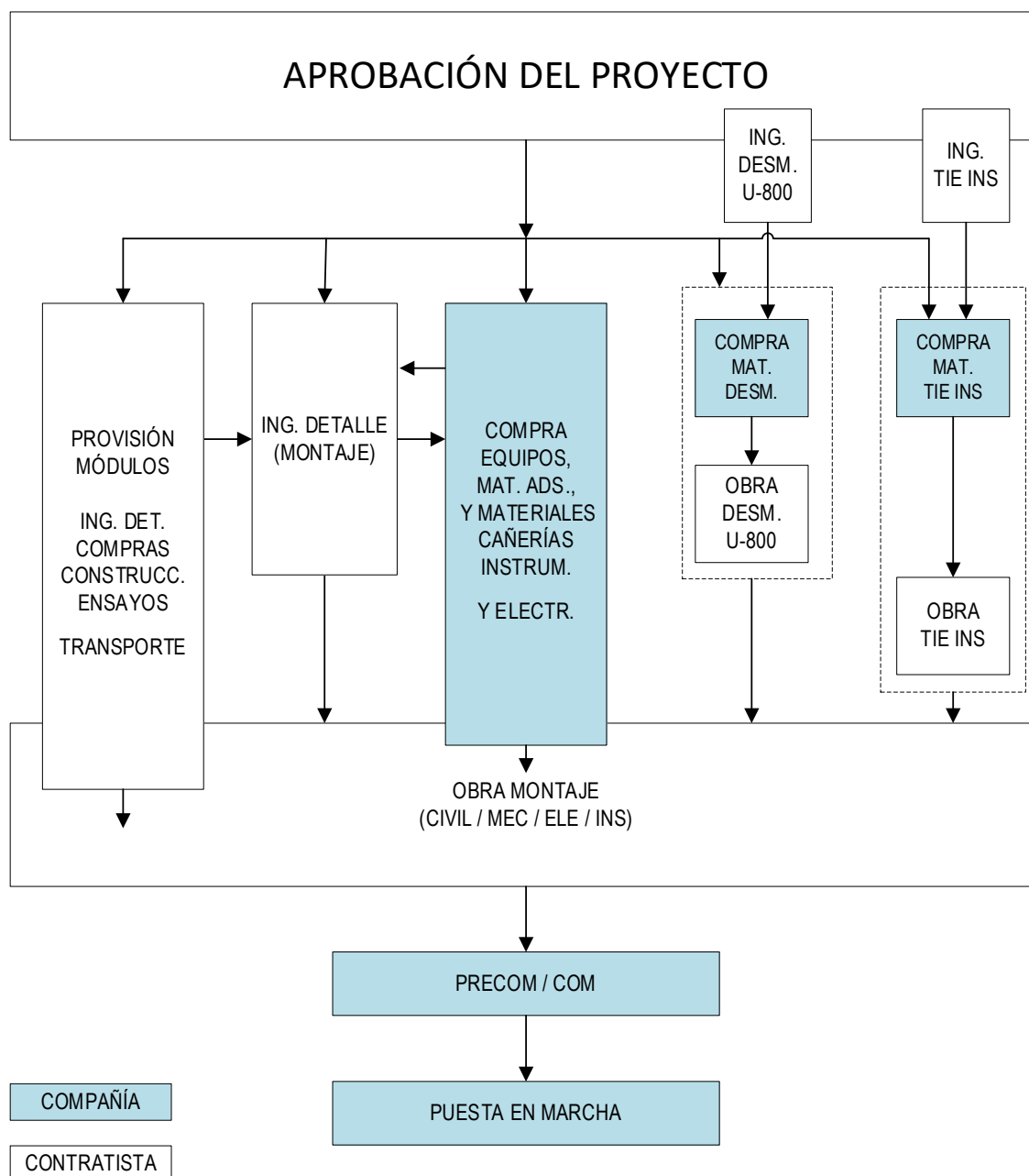


Ilustración 11 - Plan de Ejecución del proyecto.

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

### 3.2.1. 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 fuera del alcance de los Módulos.



### 3.2.2. Desmontaje de antigua U-800

Se elaboró un paquete de Ingeniería de Detalle específico, enumerando los materiales y tareas para permitir el desmontaje de primitiva U-800 de modo tal 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.



Ilustración 12 - Desmontaje de antigua U-800.



Ilustración 13 - Pilotaje de la PFU.



Ilustración 14 - Construcción de nueva platea para la PFU.

### 3.2.3. Ejecución de *Tie-ins* y tendido de líneas de interconexión

Se elaboró un paquete de Ingeniería de Detalle especificando los materiales y tareas para poder 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 el 2019, de modo tal 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.

### 3.2.4. 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 luego 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 los mismos).
- El transporte de los Módulos hasta la RBA.

### 3.2.5. Compras

Con la aprobación del proyecto se inició la compra 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, como ser:

- 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.



### 3.2.6. 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 desarrollado sobre la base de la Ingeniería Básica Extendida desarrollada, ajustándola y guardando consistencia con la información que en paralelo fue surgiendo 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.

### 3.2.7. Obra Montaje

Con el paquete de Ingeniería de Detalle Montaje terminado fue posible contratar la Obra de Montaje que consistió fundamentalmente de:

- 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.



Ilustración 15 - Montaje del primer módulo de la PFU.



Ilustración 16 - Montaje del recipiente acumulador de la PFU.

### **3.2.8. 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 cañerías, comparándolos contra los planos y 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.

### **3.2.9. Puesta en marcha**

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

En primer lugar, 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 realizaron los ensayos en conjunto con el panel olfativo para determinar que el producto de la unidad estuviese en especificación. Finalmente se realizó la puesta en marcha del sistema de regeneración que incluyó la prueba del calentador eléctrico, a fin de poder 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 poder 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.





Ilustración 17 - Planta modular de producción de Propelente (PFU).

### 3.3. CONTEXTO DE PANDEMIA COVID19

Transcurridos los primeros 6 meses luego de la adjudicación de la construcción modular a una empresa local, se presentó un contexto de pandemia, por COVID19, a nivel mundial. Dicho evento no fue considerado en ningún análisis realizado, impactando y en muchos casos paralizando las obras que se llevaban adelante en todos los rubros de la industria.

Frente a 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. Donde el cuidado del personal operativo, buscando garantizar la segura operación de la misma, prevaleció frente a la ejecución de trabajos en campo que debieron postergarse para evitar la aglomeración de personal y cumplir con los protocolos de sanidad establecidos.

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

#### 4. CONCLUSIONES

Con la finalización del proyecto, y habiendo realizado el ejercicio de lecciones aprendidas correspondiente al mismo, estamos en condiciones de 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 misma. Lo 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. Y permitieron optimizar los recursos disponibles a fin de concentrar y focalizar los mismos en las actividades críticas de mantenimiento e inspección, indispensables para el correcto y seguro funcionamiento de las unidades del Complejo de Craqueo Catalítico.

Adicionalmente, y con el advenimiento de los confinamientos obligatorios y protocolos devenidos del contexto de pandemia COVID19 se pudo obtener un inesperado beneficio -frente a la situación de haber optado por un esquema *stick built*-. Al encontrarse los módulos en fase de construcción en un taller externo, nos permitió minimizar la cantidad de personal trabajando simultáneamente dentro de la refinería, y el cumplimiento de los protocolos de distanciamiento y cuidado determinados. Con ello que se pudieron mantener operativas las unidades productivas sin interrumpir o demorar de manera significativa el avance del proyecto.

A su vez el taller contratista, pudo también -mediante 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 afectaciones de entrega de materiales a nivel global, esta estrategia de fabricación permitió continuar con el proyecto aún en los momentos más críticos.

Otro factor de éxito que encontramos, fue la realización de una extensa y minuciosa fase de Ingeniería Conceptual, incluyendo el uso de la Planta Piloto. Dicha experiencia, aunque inicialmente generó la necesidad de plazos más extensos para la determinación del proceso productivo, nos permitió luego anticipar y corregir una gran cantidad de inconvenientes o situaciones que deberían haber sido resueltas de forma previa 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.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

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

## 6. NOMENCLATURA

|       |                                                                                   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| CAPSA | Compañía Argentina de Petróleo S. A.                                              |
| CCU   | <i>Catalytic Cracking Unit</i><br>Unidad de Craqueo Catalítico                    |
| DCS   | <i>Distributed Control System</i><br>Sistema de Control Distribuido               |
| FAR   | <i>Field Auxiliary Room</i><br>Sala Auxiliar de Campo                             |
| GLP   | Gas Licuado de Petróleo                                                           |
| IG    | Inspección General                                                                |
| PFU   | <i>Propellant Filtering Unit</i><br>Unidad de Filtrado de Propelente              |
| ppm   | partes por millón                                                                 |
| OSBL  | <i>Out-Side Battery Limits</i><br>Fuera de Límites de Batería                     |
| PSG2  | Planta de Separación de Gases 2                                                   |
| MDMT  | <i>Minimum Design Metal Temperature</i><br>Mínima Temperatura de Diseño del Metal |
| RBA   | Refinería Buenos Aires                                                            |
| SIS   | <i>Safety Instrumented System</i><br>Sistema Instrumentado de Seguridad           |
| SS    | <i>Sub Station</i><br>Sub Estación                                                |

## 7. AUTORES (POR ORDEN ALFABÉTICO)

DAONA, Agustín

Ingeniería Química – Universidad de Buenos Aires.

Tecnólogo de Proyectos, Refinería Buenos Aires, Raízen Argentina S.A.U.

TECNA Estudios y Proyectos de Ingeniería S.A., Ingeniero de Procesos.

Idenor Ingeniería S.R.L., Ingeniero de Aplicaciones.

OLCESE, Sebastián

Ingeniería Química – Universidad de Buenos Aires.

Coordinador de Proyectos de Tecnología, Refinería Buenos Aires, Raízen Argentina S.A.U.

MEIP Ingeniería, Coordinador de Ingeniería.

Fluor Daniel South America, Ingeniero de proyectos y procesos.

Flargent S.A., Ingeniero comercial.

Axón Control y Automatización, Pasante.

PADILLA, Federico

Ingeniería Industrial – Pontificia Universidad Católica Argentina.

Project Manager Certification – APM Project Management

Ingeniero Sr. de Proyectos, Refinería Buenos Aires, Raízen Argentina S.A.U.

Shell, Coordinador de Confiabilidad y Especialistas.

Telecentro, Planificador de obras.

AR Zinc, Analista de higiene y seguridad.