

El concepto de modularización es ampliamente utilizado en el sector *Upstream* de la industria del gas y el petróleo; sin embargo, su aplicación en *Downstream* no es tan habitual. La mayor complejidad y el tamaño de las plantas de refinación desafían a esta técnica de desarrollo de proyectos.



# Aplicación de modularización en proyectos de refinería

Por *Hernán López*, *Julio Avilés* y *Lucas Reboredo* (Tecna)



La industria del gas y el petróleo demanda a las empresas de ingeniería y construcción una permanente optimización en los tiempos de ejecución de proyectos, buscando, al mismo tiempo, acotar los costos.

El sobrecosto y los retrasos en los que incurren en ocasiones los proyectos pueden rápidamente escalar, colocando a las contratistas y a sus clientes en complejas situaciones técnicas y/o económicas. Asimismo, la mejora en el flujo de caja por anticipar los retornos de las inversiones, impulsa la exigencia de reducir los tiempos desde la concepción de una planta de procesos hasta su puesta en marcha.

De las experiencias de la industria ha surgido con fuerza la modularización como una técnica que completa los proyectos en tiempo y costos, reduciendo asimismo los

riesgos asociados. Desde su origen, se ha innovado creativamente y sin pausa, expandido los límites y las aplicaciones de la técnica, logrando su aplicabilidad en proyectos cada vez más complejos y desafiantes.

Es importante distinguir entre dos conceptos: la modularización y la estandarización. Estos conceptos utilizados en conjunto se potencian mutuamente, ya que la modularización optimiza la etapa de montaje y construcción de las plantas, y la estandarización reduce los tiempos y costos de la ingeniería asociada. Sin embargo, un proyecto con requerimientos específicos, para el que no es posible aplicar la estandarización, o solo es posible parcialmente, captura importantes beneficios con la modularización. En estos aspectos se centra este trabajo.

## Definición de modularización

Técnica que permite realizar fuera del sitio de implantación, en un taller especializado, el montaje de equipos, cañerías, instrumentos, etc., en estructuras metálicas, de forma que puedan ser transportadas a la obra como un conjunto, con una entidad física definida.

Los módulos resultantes pueden tener distinto grado de complejidad y tamaño, estas características son definidas dentro de la estrategia de ejecución de los proyectos.

## Beneficios

La adopción de la estrategia de modularización transfiere horas-hombre de trabajo desde la obra hacia el taller, donde estas horas son más económicas y productivas. La opción de esta filosofía de desarrollo del proyecto se sustenta en sus importantes beneficios, entre los que se destacan como más importantes:

- Permitir el despliegue de varios frentes de fabricación: la demanda de reducir los tiempos de ejecución de los proyectos lleva a la maximización de la eficiencia de las tareas involucradas, con un lógico límite. Para continuar la reducción de tiempos, surge la necesidad de ejecutar tareas en paralelo.

En un mismo taller, o en varios, según la capacidad y la logística, los distintos módulos pueden comenzar su montaje en el mismo momento.

Asimismo, en el sitio de implantación, se podrán comenzar las obras de bases y fundaciones civiles para luego construir y/o montar equipos o cañerías que no resultan modularizables (por ejemplo, tanques de almacenamiento y columnas de destilación).

- Menor extensión de la obra civil y/o de estructuras en sitio: las estructuras metálicas que forman parte de los módulos y que reciben las cargas por peso, sismo, de los equipos y líneas contenidos en él, reducen la necesidad de que las mismas sean realizadas en obra, con menores productividades.
- Menor costo de mano de obra: la movilización de trabajadores al sitio de obra implica costos asociados. Estos pueden ser, por ejemplo, los que surgen de la instalación de obradores y otros edificios con diversos fines, dormitorios (en caso de tratarse de lugares remotos y alejados de poblaciones), movilización desde el sitio, gastos por expatriación y/o relocalización, entre otros.

Al reducir la cantidad de trabajadores en sitio, estos costos también se reducirán sensiblemente, trasladándose estas estructuras de apoyo de los trabajadores a los talleres, que constituyen sus lugares habituales de labores y que cuentan con una infraestructura desarrollada.

- Mayor productividad: relacionado con el ítem anterior, el trabajador que desarrolla sus tareas en el ámbito de un taller mejora sensiblemente su productividad, principalmente debido a:
  - Condiciones controladas climáticas, de control de calidad, de supervisión, de acceso a herramientas y

sitios, etcétera, lo que lleva a minimizar conflictos en la programación de tareas.

- Incremento en las posibilidades de implementar más de un turno diario de fabricación.
- Mejora en la calidad, debido a la utilización de procedimientos bien conocidos y ya establecidos, que aseguren la calidad.
- Mejor control de las materias primas: la reducción de la necesidad de almacenamiento en obra y las menores pérdidas por extravíos y errores en su utilización, llevan a una clara mejora en los costos del proyecto.
- Reducción en el impacto ambiental: un ambiente efectivamente controlado lleva a la reducción de desechos materiales, contaminantes del aire y del agua y de emisión de ruidos. Asimismo, se mejora en el rendimiento energético global, a pesar de que pueden existir mayores costos de fletes.
- Menor carga de trabajo para el cliente: al reducirse la cantidad de trabajadores en el sitio, proporcionalmente disminuye la cantidad de tareas administrativas (por ejemplo, gestión de permisos de trabajo y protección patrimonial) que los clientes deben realizar, especialmente si el lugar de implantación es una instalación que se mantiene en producción durante el montaje.
- Mayor seguridad laboral: al reducir la exposición a condiciones climáticas adversas y ambientes peligrosos y mejorar las condiciones de trabajo y ergonómicas, la iluminación y la ventilación.

## Desventajas

Las principales desventajas que han sido identificadas son las siguientes:

- Material adicional: desde que un módulo es un elemento que debe ser transportado como una unidad e interconectado con otros, se requerirá una cantidad extra de materiales. Estos pueden ser perfiles estructurales adicionales o más costosos, mayor cantidad de material de fijación utilizados durante el transporte de los módulos, bridas de límite del módulo, entre



Figura 1. Planta Sábalo.

otros. Estos materiales llevan asociado un esfuerzo laboral adicional.

- Mayores esfuerzos de planificación: la modularización exigirá una sucesión de trabajos definida con un mayor grado de detalle frente a la construcción tradicional. Posiblemente la fase de planificación del proyecto resulte más extensa en la construcción modular.
- Mayores esfuerzos en procura de suministros y logística: como se mencionó, la modularización traslada tareas desde la obra a talleres. Estas tareas realizadas fuera de sitio, implican que una mayor cantidad de proveedores (por ejemplo, los talleres) deban ser gestionados, e incluso desarrollados, por la empresa constructora. Asimismo, si la constructora realiza una compra centralizada de suministros, dicho de otro modo, que no queda a cargo de los talleres, los mismos deberán ser distribuidos a distintos centros productivos en diferentes localizaciones geográficas, mientras que en la construcción tradicional, su destino es solo uno.
- Requerimiento de una coordinación más efectiva: esta necesidad se ve incrementada especialmente en la coordinación con el cliente. En la construcción tradicional, la inspección y la visualización de todos los trabajos en desarrollo se encuentran acotados al sitio de implantación. En cambio, en la construcción modular, los módulos son fabricados seguramente en distintas locaciones y países, lo cual complica este proceso.



Figura 2. Planta de bio-oil de Guelph.

| Característica             | Sábalo                               | Guelph                     |
|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Capacidad                  | Gran tamaño                          | Pequeña                    |
| Mercado                    | Gas y petróleo                       | Biocombustibles            |
| Ubicación                  | Remota                               | En ciudad                  |
| Clima                      | Cálido y húmedo                      | Frío                       |
| Localización geopolítica   | País en vías de desarrollo (Bolivia) | País desarrollado (Canadá) |
| Criterio general de diseño | Diseño plano                         | Diseño en elevación        |
| CAPEX                      | 200 MMUSD                            | 20 MMUSD                   |
| Área de implantación       | 20 ha                                | 1 ha                       |
| Cantidad de módulos        | 200                                  | 20                         |

Tabla 1. Comparación entre ambas plantas.

## Exigencias a la ingeniería

Es fundamental que los proyectos adopten y definan tempranamente, al inicio del desarrollo de la ingeniería de detalle, si la construcción se realizará utilizando la estrategia de modularización, para evitar retrabajos e ineficiencias.

El equipo de ingeniería debe tener presente en sus desarrollos las dimensiones máximas de módulos, definida por estudios de accesibilidad al sitio de implantación y decisiones económicas. Por ejemplo, módulos de gran tamaño, que no son transportables en camiones, balancean los mayores costos asociados a la contratación de servicios logísticos especiales con ahorros en materiales. Para la determinación de las dimensiones máximas influyen, también, la disponibilidad de grúas y/o carretones para montaje.

Las distintas especialidades deben adaptarse a esta modalidad de trabajo, con particular interacción con la especialidad “cañerías”, que marca las restricciones físicas existentes que llevan a la búsqueda de soluciones adecuadas; por ejemplo, puede aparecer la oportunidad en que “instrumentación” seleccione para mediciones de flujo otros elementos distintos a placas orificios, que requieren importantes tramos rectos, no siempre posibles de desarrollar en una estrategia modular.

Los proyectos deben asumir mayores costos de ingeniería por modularizar las unidades por construir. Este costo es; sin embargo, retribuido por los ahorros en construcción, de acuerdo con lo desarrollado durante este trabajo.

Es interesante estudiar la posibilidad de pre-ensamblar módulos en un espacio cercano y más fácilmente accesible al sitio de implantación. Esto permite obtener módulos de mayor tamaño, no transportables fuera del sitio pero sí dentro de él, aumentando los frentes de trabajo en sitio y la productividad del proyecto.

Un énfasis especial se debe hacer en que las unidades modularizadas mantengan similares o mejores condiciones que plantas construidas tradicionalmente, respecto de la seguridad, mantenimiento y facilidad de acceso para operación habitual. Estos temas constituyen, habitualmente, las principales objeciones de clientes frente a sus contratistas. La ingeniería del contratista debe mostrar al cliente dichas facilidades; por ejemplo, con revisiones conjuntas de maquetas 3D, en distintos grados de avance.

## Exigencias a la gestión de proyectos

La gerencia de proyectos tiene desafíos específicos al desarrollar un proyecto modularizado. Un aspecto que asoma inicialmente es la resistencia cultural de los clientes a esta estrategia constructiva, especialmente en el ámbito de la refinación. Durante muchos años se ha asociado a unidades instaladas en áreas reducidas, diseñadas con poco énfasis en aspectos claves como contar con accesos adecuados y seguros a la planta para los operadores. Como se ha mencionado, diferentes instancias de revisión de



Figura 3. Módulos de la unidad CCR (*Continuous Catalytic Reformer*) - Gentileza Odebrecht.

maquetas virtuales donde intervengan fundamentalmente los futuros encargados de la operación de unidad, son útiles para despejar las dudas en este aspecto.

Deberá existir claridad en la gerencia para decidir, y atender bajo una mirada amplia y objetiva diversos aspectos de ingeniería, suministros, financieros y logísticos cuando convenga que un área o sistema de la unidad sea modularizado.

El grupo de manejo del proyecto debe ser especialmente consciente de las capacidades y las limitaciones de los talleres proveedores de módulos, entre otros elementos, para evitar retrasos en la ejecución. Según la localización y la envergadura del proyecto, es posible que la empresa constructora deba desarrollar proveedores locales, quizás con escasa experiencia en fabricación de módulos, lo que resultará ventajoso para ambas partes.

## Exigencias a la fabricación

Contar con frentes de fabricación en distintas locaciones lleva a una dispersión del esfuerzo, que debe ser atendida correspondientemente. Asimismo, los encargados de calidad deberán estudiar, aprobar y verificar el cumplimiento de diversos planes de calidad presentados por diferentes talleres.

Los supervisores de fabricación deben exigir a los constructores de los módulos una exacta planificación de los puntos de espera (*hold points*), que refiere a instancias en las que se debe detener la construcción hasta no tener la aprobación de la supervisión de la constructora y/o cliente final, lo cual es de suma utilidad para detectar observaciones en el momento adecuado, minimizando re-trabajos futuros. Sin embargo, debido a la naturaleza de los mismos, son una posible fuente de retrasos si la coordinación entre taller-constructora-cliente falla.

### Casos de proyectos modularizados

En esta sección se muestran dos casos muy diferentes, ambos llevados a cabo por TECNA mediante la modularización de equipos y sistemas.

#### Planta de tratamiento de gas Sábalo

La Planta de tratamiento de gas Sábalo está ubicada en

|                          | Modular      | Convencional   |
|--------------------------|--------------|----------------|
| Costos directos          | 55,40        | 72,02          |
| Costos indirectos        | 5,54         | 7,20           |
| Costos de hospedaje      | -            | 16,62          |
| Costos de traslados      | -            | 4,16           |
| <b>Subtotal</b>          | <b>60,94</b> | <b>100,00</b>  |
| Factor por clima         | 1,00         | 0,86           |
| Factor por productividad | 1,00         | 0,85           |
| Factor por imponderables | 0,99         | 0,97           |
| <b>Total</b>             | <b>61,4</b>  | <b>141,0</b>   |
|                          |              | <b>+129,6%</b> |

Tabla 2. Costos relativos entre ambas estrategias de construcción.

la región del Chaco en la selva boliviana y tiene una capacidad de 13.4 MMSCMD de gas en especificación, lo que la convierte en la planta de mayor capacidad en Bolivia y una de las de mayor capacidad en Sudamérica.

### Planta de producción de Bio-oil

Esta unidad tiene la capacidad para producir 200 toneladas diarias de bio-oil, a partir de aserrín y otros residuos de la madera, mediante un proceso denominado pirólisis rápida. Se encuentra ubicada en la ciudad de Guelph, provincia de Ontario, Canadá.

Las características principales de ambas plantas, resumidas en la tabla 1, muestran comparativamente la aplicabilidad de la modularización en proyectos de diferentes envergaduras y las situaciones de desarrollo de los proyectos.

### Módulos de gran tamaño

Las innovaciones en logística y transporte de materiales permiten desafiar las limitaciones físicas para el transporte de módulos. A continuación, en la Figura 3, se muestra un módulo de grandes dimensiones que está siendo transportado desde el Puerto La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina, hacia el Complejo Industrial Ensenada, de YPF, localizado cercano al puerto mencionado.

En estos casos, es habitual que surja de los estudios detallados de transporte que este tipo de logística requiera la necesidad de modificación y posterior reparación de espacios urbanos públicos, como plazas y rotondas, para permitir los ángulos de giro necesarios. En la figura 4 se muestra el momento del izaje de uno de los módulos para su posterior vinculación con otro. Esta planta en particular es un ejemplo de cómo se aplicó la técnica de modularización en el Regenerador de la unidad de CCR (que es el que se ve en las fotografías), obra llevada a cabo por Odebrecht Argentina para YPF, mientras que para la mayoría de la planta se utilizó una construcción tradicional.

### Comparativa de costos de la construcción tradicional versus modular

De lo expuesto en este trabajo surgen beneficios y desventajas de la construcción modular de proyectos de gas y petróleo, cuyas resultantes se pueden apreciar en la tabla 2, elaborada a partir de datos recolectados en TECNA.



Figura 4. Módulos de la unidad CCR siendo izado para su montaje - Gentileza Odebrecht.

## Conclusiones

A lo largo del trabajo se han identificados ventajas y desventajas de la modularización y los desafíos que presenta a las empresas de ingeniería y construcción a cargo de los proyectos.

La transferencia de trabajos desde el sitio hasta el taller conlleva desafíos, pero permite obtener beneficios para prácticamente todos los tamaños de unidades, en muy diferentes locaciones e industrias. Estos beneficios se potencian especialmente para ciertos contextos:

- Localización remota y sin infraestructura.
- Malas condiciones climáticas.
- Condiciones laborales deficientes y/o altos costos de mano de obra en sitio.
- Baja disponibilidad de mano de obra calificada en sitio.
- Sitios con alta conflictividad laboral y/o social.
- Unidades de proceso estandarizadas, con uno o más trenes de procesamiento.
- Proyectos que serán ejecutados por empresas de ingeniería y construcción con experiencia en esta estrategia.

Además emergen aspectos por desarrollar que colaborarán con la modularización en el futuro, entre los que podemos citar:

- Sistematización que permita desarrollar algoritmos que interpreten los diversos aspectos técnicos/económicos que intervienen en la identificación de la conveniencia de modularizar un proyecto, así como el alcance óptimo de la modularización.
- Desarrollo en los elementos de transporte de cargas terrestres extra-pesadas y/o sobre-dimensionadas, de forma de lograr movimientos de módulos más ágiles desde los talleres hasta el sitio de implantación, así como en las grúas para el montaje. ■

## Referencias

- De La Torre, M. L., "A review and analysis of modular construction practices" (1994). Theses and Dissertations. Paper 275, Lehigh University.
- Jameson P. H., C B &I, Tyler, Texas, "Is modularization right for your project?" (Diciembre de 2007), Hydrocarbon Processing.