

# INTEGRACIÓN DE DISCIPLINAS DE LA INGENIERÍA DURANTE EL DESARROLLO DE LA FASE CONCEPTUAL Y BÁSICA DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE FACILIDADES DE SUPERFICIE PARA EL TRATAMIENTO DE CRUDO EXTRA-PESADO

María Ysabel Vilchez\*

## Resumen

En este ensayo se ilustra cómo ocurre la sinergia entre distintas disciplinas de la ingeniería para dar vida a un proyecto que tiene por función extraer y acondicionar el petróleo extrapesado para su posterior procesamiento en centros de Mejoramiento de Crudo o en Refinerías. La definición del sitio de construcción, la selección de la tecnología, el dimensionamiento de los equipos y servicios industriales, la automatización, los sistemas de protección y parada de emergencia, en definitiva, el diseño de una instalación de esta naturaleza, requiere que la generación de los productos de ingeniería de las diferentes disciplinas se enlacen de manera coordinada para lograr el desarrollo del proyecto con calidad, eficiencia y en el tiempo pautado.

## Summary

This essay illustrates the relationship between different engineering disciplines during the development of a project for an Extra Heavy Oil Treatment Facility, where the required specification of the crude oil is reached before sending it to

Downstream Upgrader Plants or Refineries. Details such as construction site location, technology selection, equipment and offsites sizing, automation, process control, emergency shutdown system, in other words, the designing of such installations, require that the deliverables of each discipline are linked together in a coordinated manner to achieve successful completion of a project with quality, efficiency and within schedule.

## Introducción

La ingeniería juega un papel fundamental en la construcción y operación de los distintos complejos donde se llevan a cabo procesos industriales transformadores de materias primas en productos o servicios de consumo. Pero esa etapa de construcción y operación es antecedida por una fase de conceptualización, diseño y selección de tecnología que, no solo es muy importante, sino que define en gran medida el éxito de las etapas posteriores.

En este artículo compartiremos, a grandes rasgos, cómo intervienen y se integran diferentes disciplinas de la ingeniería para, en este caso, generar un diseño

de las Facilidades de Superficie requeridas para la extracción y el tratamiento del crudo extrapesado.

Para empezar, es oportuno definir qué se entiende por crudo extrapesado.

El crudo extrapesado es un hidrocarburo cuya gravedad API es inferior a 10°API<sup>1</sup>. Como dato ilustrativo, se puede mencionar que la gravedad API del agua es 10, por ello, este hidrocarburo, en vez de sobrenadar en el agua, iría al fondo por ser más pesado que ella. Normalmente este tipo de hidrocarburo posee una viscosidad muy elevada (> 7.000 cP<sup>2</sup> a 100 F vs 1 cP del agua a la misma temperatura) por lo cual, su transpor-

\*Ingeniero Químico egresada de la Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, con Maestría en Refinación, Gas y Petroquímica de la Universidad Metropolitana en convenio con el Instituto Francés del Petróleo, Caracas. Más de 28 años de experiencia en el sector energético, específicamente en refinerías de petróleo, mejoradores de crudo y consultoras de ingeniería para el desarrollo y coordinación de proyectos del área petrolera.

<sup>1</sup> Gravedad API: Forma de expresar la gravedad específica de los hidrocarburos. La fórmula utilizada para el cálculo de la gravedad API es:  $API = \frac{141.5}{SG} - 131.5$ , donde  $SG = \frac{\rho_{hidrocarburo}}{\rho_{agua}}$ , siendo, SG: gravedad específica y  $\rho$  la densidad.

<sup>2</sup> cP (centiPoise), medida de la viscosidad cinemática =  $10^{-3}$  Pa.s, donde, Pa (Pascal) =  $\frac{kg}{m \cdot s^2}$ , siendo Kg, Kilogramo, m, metro y s, segundo.



te se hace prácticamente imposible por la vías tradicionales, de ahí que se deba emplear un agente diluyente que facilite su extracción y distribución. Usualmente se utiliza una Nafta de 45°API para formar un crudo diluido de 16°API, más fácil de transportar. Adicionalmente, el crudo extrapesado contiene elevados niveles de contaminantes, tales como azufre (4%pp<sup>3</sup> vs < 0,5 % pp -típico en crudos livianos-), sales y otros metales. Es por esto que los equipos utilizados en su transporte y procesamiento, deben construirse con materiales resistentes a este tipo de contaminantes para evitar el deterioro prematuro de dichos equipos por corrosión, erosión, etc. Así mismo, se requieren consideraciones especiales en el ámbito de la seguridad, la salud industrial y el cuidado del ambiente.

Es igualmente oportuno mencionar que este hidrocarburo, por las características antes señala-

das, suele tener un precio de venta muy bajo, en razón de lo cual requiere que, una vez extraído y tratado, se le someta a procesos posteriores para mejorar su viscosidad, gravedad específica y niveles de contaminantes, de forma de incrementar así su valor comercial.

Es también conveniente explicar a grandes rasgos en qué consiste el proceso de extracción y tratamiento de este hidrocarburo.

Al crudo extrapesado, contenido en el yacimiento que está en el subsuelo, se le accede mediante pozos de extracción. Estos se agrupan en conjuntos de 8 a 16 pozos en instalaciones llamadas macollas o cluster; la cantidad de macollas se establece en función de la extensión del yacimiento. Cuanto más macollas existan, más complejas serán las redes de tuberías para su transporte.

En estas instalaciones, se procede a inyectar el diluyente en el pozo (como ya se mencionó, nor-

malmente el diluyente es una nafta de unos 45°API), extraer la mezcla mediante el uso de bombas de cavidad progresiva y posteriormente transferir la referida mezcla multifásica, constituida por: el crudo diluido (crudo extrapesado y nafta), el agua de formación y el gas asociado al crudo, con una presión suficiente para que llegue hasta el Centro Operativo.

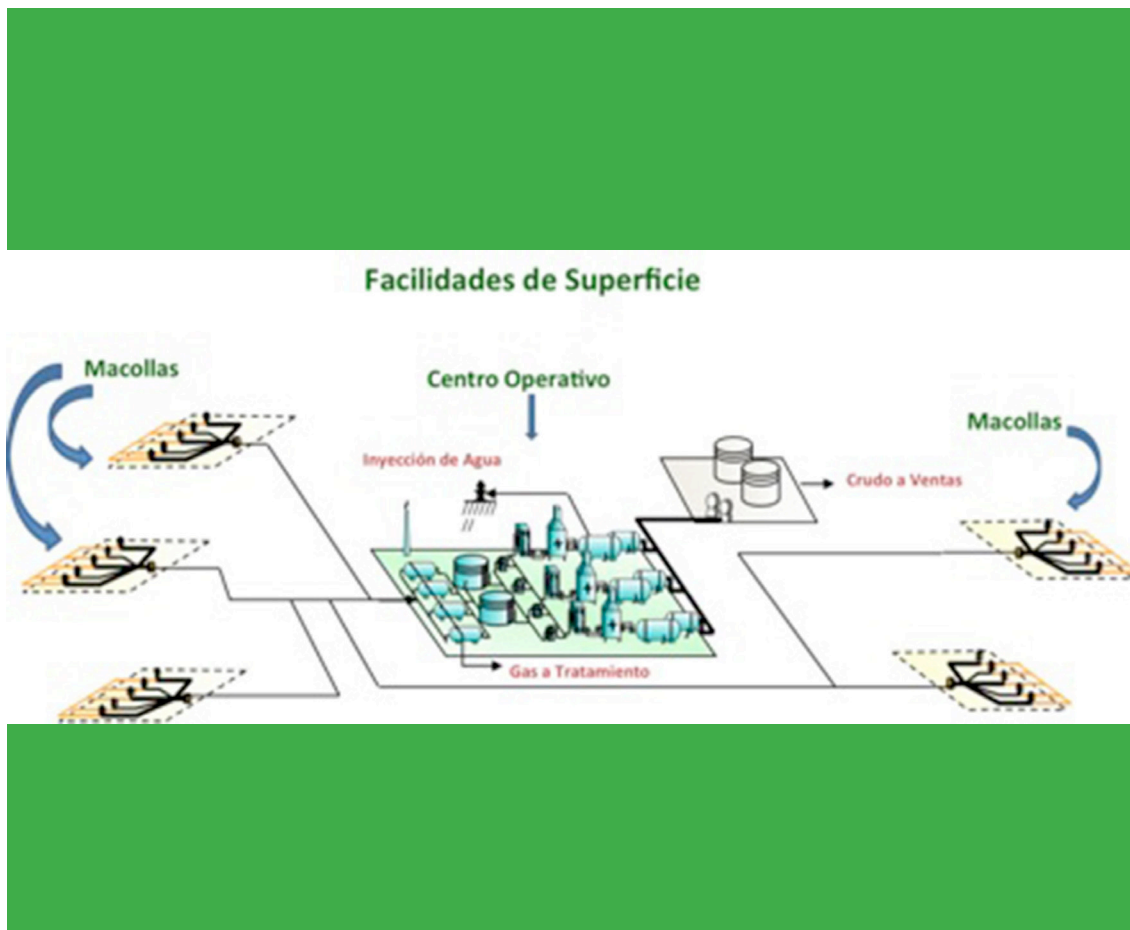
El Centro Operativo es el lugar donde la mezcla será tratada para removerle el gas asociado (estabilización), el agua libre y emulsionada (deshidratación) y las sales (desalación). Esto convertirá a la mezcla en un hidrocarburo diluido y estabilizado que será almacenado y posteriormente enviado al Mejorador de Crudo o a la venta a clientes, según sea el acuerdo comercial.

También en el Centro Operativo se le da la disposición apropiada a los subproductos generados durante los procesos antes mencionados. En ese sentido, se realiza el tratamiento e inyección del agua de formación, la recuperación del gas, la disposición de los lodos generados, entre otras actividades.

Los equipos, instalaciones y redes de tuberías requeridas para llevar a cabo los procesos antes descritos, se denominan Facilidades de Superficie, y están conformadas por las macollas, las redes de distribución y recolección y por el Centro Operativo.

A continuación un esquema simplificado de las Facilidades de Superficie para la extracción y acondicionamiento del crudo extrapesado.

<sup>3</sup> pp: porcentaje en peso.



**Desarrollo**

La sinergia e interacción de las diferentes disciplinas de la ingeniería puede ilustrarse en un proyecto de esta naturaleza. Para el desarrollo del mismo, una de las primeras actividades consiste en definir el **lugar en el cual se construirá el Centro Operativo**. Definir el sitio es una labor que suele liderar el *Ingeniero Civil* con fuerte apoyo del *Ingeniero Ambiental* y el *Ingeniero Eléctrico* considerando, entre otras cosas,

1.- La ubicación de las macollas, del Centro Operativo y del sitio hacia donde se despacha el producto final (hidrocarburo diluido estabilizado y tratado) pues se intenta minimizar los trayectos entre suplidores (macollas), Centro

Operativo y clientes (Mejorador del Crudo o Terminal Petrolero, según corresponda).  
 2.- La cercanía a fuentes de suministro de servicios (agua, electricidad, manejo de desechos, terminales marinos si se va a exportar el hidrocarburo, entre otros).

3.- La topografía del terreno y el tipo de suelo, toda vez que eso influye de manera importante en los costos de construcción en razón de movimientos de tierra, deforestación, rellenos, mejoramiento de suelos, etc.

4.- El impacto ambiental dado que, en zonas ambientalmente sensibles, no se permite la construcción o se requiere de

consideraciones especiales o medidas de mitigación para minimizar los daños al ecosistema.

5.- La afectación en el ámbito socio-económico y de seguridad, en caso de existir comunidades cercanas.

En paralelo a la selección del lugar donde se realizará la construcción, es imperativo decidir el **tipo de tecnología que se empleará para los distintos procesos** a los cuales el hidrocarburo será sometido, el tamaño de los equipos y las redes de tuberías de recolección y distribución necesarias, pues esta información incide en el tamaño del terreno que se requiere, su ubicación, etc. Esta actividad es liderada por el

*Ingeniero Químico o de Procesos* y toma en consideración, entre otros, los siguientes aspectos:

1.- Con base en la composición del hidrocarburo extrapesado (ensayo o "assay" del crudo), se determina el esquema de producción para que este alcance las especificaciones requeridas para su comercialización. Típicamente, se trata de transformar un crudo con una gravedad API cercana a 8°API, contenido de agua superior a 20%pp y relación gas/petróleo superior a 350 pie<sup>3</sup>/bbl<sup>4</sup>, en un hidrocarburo de 16°API, contenido de agua menor a 1%pp y contenido de gas, expresado como presión de vapor Reid<sup>5</sup> (RVP), menor a 11 psi.

Se evalúan las tecnologías disponibles en el mercado y se comparan entre sí utilizando matrices de evaluación técnico-económica o cualquier

otra herramienta de comparación válida para seleccionar la más apropiada para cada etapa: medición de pozos, desalación y deshidratación del crudo, tratamiento del agua de formación, separación y acondicionamiento del gas, etc.

2.- Se modela el comportamiento de los fluidos a lo largo de su recorrido mediante simulaciones computacionales. Esto permite definir el tamaño y condiciones de diseño de las diferentes tuberías y equipos, estimar los flujos de alivio en caso de emergencia, los rendimientos esperados de hidrocarburo, gas y agua y establecer el diseño más económico en inversión inicial y en costos de operación y mantenimiento, así como afinar los números para el estudio de factibilidad económica, entre otras cosas.

3.- Al predimensionar los equipos y tuberías, se podrá conocer el espacio que ocuparán y los servicios industriales que requerirán. También permitirá la colocación de las órdenes de requisición de los Equipos de Largo Tiempo de Entrega (ELTE).

4.- Elaboración de Diagramas de Flujo de los Procesos, que contienen los balances de masa y energía (DFP) y los Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI) que muestran esquemáticamente tuberías, equipos, instrumentos y lazos de control.

<sup>4</sup> pie<sup>3</sup>/bbl = pie<sup>3</sup> standard de gas/barril de crudo extrapesado

<sup>5</sup>RVP: es la presión mínima que se debe ejercer en la superficie de un líquido a 100F para evitar su evaporación.



Una vez definidos el sitio y la tecnología a emplear, tareas estas que requieren, como ya se mencionó, el estudio sistemático de opciones mediante un análisis multidisciplinario, se inicia la elaboración del **Plano de Planta de las Instalaciones (Plot Plan)**, producto este que define el espacio final de la instalación luego de la ubicación de los equipos de acuerdo a las prácticas y normas vigentes de separación entre ellos, ubicación óptima, aspectos de seguridad y ambiente. Esta actividad es liderada normalmente por el *Ingeniero Mecánico*.

El plano generado por la disciplina Mecánica, es utilizado como base para el resto de las disciplinas que colocarán sobre él las instalaciones civiles, eléctricas, de instrumentación y de control, de seguridad y protección contra incendios, así como las edificaciones necesarias para alojar a los trabajadores administrativos y operativos.

Igualmente será empleado por los ingenieros químicos o de procesos para afinar los cálculos hidráulicos y las simulaciones de procesos y establecer con mayor precisión las propiedades de los fluidos a las temperaturas y presiones de operación.

Esta información es insumo que permite a los *Ingenieros Electrónicos e Instrumentistas* seleccionar y dimensionar los instrumentos, válvulas, actuadores, sistemas de protección y parada de emergencia y demás elementos de indicación, protección y control, así como definir los lazos y la filosofía de operación normal y de emergencia. También es utilizada por los *Ingenieros Eléctricos* para evaluar las opciones de suministro del fluido eléctrico, hacer el estimado de cargas, determinar las rutas de las líneas eléctricas, dimensionar y ubicar la Planta de Generación Eléctrica,



en caso de auto generación, o las instalaciones que se contratarán a la Compañía Suplidora de Electricidad.

A medida que el proyecto avanza, los primeros productos de ingeniería generados, tales como Planos de Ubicación Geográfica, DTI, PFD, Plot Plan, Filosofía de Operación y Control, Descripción del Proceso, etc, son empleados para comprobar y reforzar, en reuniones multidisciplinarias, la seguridad del diseño

mediante los análisis de riesgos tales como APP<sup>6</sup>, Hazop<sup>7</sup>, ACR<sup>8</sup> entre otros, y para continuar con las distintas fases del proyecto hasta la generación de los cálculos y planos finales de todas las disciplinas, así como la requisición de los diferentes equipos, tuberías, instrumentos y materiales y la preparación de los paquetes

<sup>6</sup> Análisis Preliminar de Peligros

<sup>7</sup> Hazard and Operability Study

<sup>8</sup> Análisis Cuantitativo de Riesgos



para la construcción de las Obras Civiles, Eléctricas, Mecánicas y de Instrumentación (OCEMI).

Para que el proyecto se realice en el tiempo, calidad y costos esperados, es imprescindible el concurso de otras ramas de la ingeniería vinculadas a la planificación, las finanzas, la calidad y a la gerencia. Su rol de planificación lógica de las actividades y la emisión de productos de ingeniería en calidad y tiempo, así como el seguimiento estrecho al avance del proyecto, el estudio de la factibilidad económica, el plan de ejecución y de constructibilidad del mismo, son vitales para el éxito.

### Conclusión

Mediante la narración de este proyecto se busca ilustrar cómo ocurre la sinergia entre distintas disciplinas de la ingeniería para dar

vida a un proyecto que tiene por función extraer y acondicionar el petróleo extrapesado para su procesamiento posterior en centros de Mejoramiento de Crudo o en Refinerías. El éxito del proyecto está en relación estrecha con el entendimiento de todas las disciplinas involucradas (Procesos, Civil, Mecánica, Tuberías, Electricidad, Instrumentación, Control, Materiales, Planificación, Seguridad, Ambiente, Gerencia, entre otras), no solo de la importancia de la calidad y oportunidad que debe haber en la emisión de los productos propios de su disciplina, sino en la necesidad que otras disciplinas tienen de los productos generados por ellas para avanzar en la completación del proyecto de manera eficaz y eficiente.

---

### Referencias

- William L. Leffler, PennWell "Petroleum Refining for the non-technical person" Books Division of PennWell Publishing Company 1421 S. Sheridan Tulsa, Oklahoma 74112
- "Engineering Data Book" Gas Processors Suppliers Association, eleven edition - 1998