

INTEGRACION IV

Tecnología, Ingeniería Química e introducción a la Ingeniería de Procesos

Dr. Nicolás José Scenna

Dr. Nestor Hugo Rodríguez

Dr. Juan Ignacio Manassaldi

Dentro del contexto en el cual debe desarrollarse la asignatura, nos preguntamos, ¿Qué es la ingeniería?

Es una profesión, y como tal, en un marco colectivo o social, se define su campo de acción, ejercicio y aspectos de ética profesional; entre otras cuestiones relevantes para cada actividad. La sociedad reconoce a tal profesional como idóneo en los campos / áreas de incumbencia fijados, definiéndose un cuerpo normativo que regula el ejercicio profesional. La normativa difiere según distintos países o incluso en diferentes estados en el mismo país.

La ingeniería, como profesión, está íntimamente ligada a la tecnología

El ingeniero, es hacedor o gestor/operador de tecnologías.

En general podemos definir a la tecnología, en un sentido amplio, como una herramienta por medio de la cual se transforma el mundo natural en artificial

La tecnología es producto del conocimiento disciplinario (ciencia) en conjunción o fusión con la técnica, el juicio creativo y la experiencia (conocimiento tácito)

La tecnología en la actualidad evoluciona rápidamente, en una suerte de “aceleración histórica” cuyas consecuencias son difíciles de pronosticar.

La tecnología no es neutra como la ciencia (conjunto de conocimientos). Al operar sobre (y modificar) la realidad o el mundo natural, tiene impactos sociales, culturales, económicos, políticos, militares, éticos, etc.....

La tecnología es una actividad de conjunto. Multidisciplinaria, intradisciplinaria

La tecnología: Se crea (innovación), se proyecta (diseña), se adapta, se compra, se vende, se selecciona, se construye, se opera, se desmantela.....

Todas estas actividades son realizadas por técnicos, tecnólogos e ingenieros

Son las empresas, públicas o privadas, individuos o ciertas instituciones, las que siguiendo las reglas del mercado, o en el marco del mismo, producen, adaptan, compran y venden, usan u operan tecnologías. Es decir la tecnología es una “mercadería” mas....

Dado que siempre existe conocimiento (disciplinario o científico, técnico o derivado de la experiencia, incorporados en los aparatos, procesos, procedimientos de operación y logística, procesos, productos, modos de operación); las tecnologías, productos, marcas, procesos, son objeto de protección para asegurar una rentabilidad por medio de la exclusividad de la explotación por un tiempo determinado, según cada país disponga en su cuerpo normativo; aunque debe remarcarse que también existe normativa consensuada internacionalmente.

Entre otras, las formas clásicas de protección son las siguientes

Patentes

Marcas registradas

Propiedad intelectual

El mercado es el veredicto, para que una tecnología o producto sobreviva o sea reemplazada por otra. Lo normal es que periódicamente surjan nuevos procesos o productos, por presión de la competencia que deriva en innovaciones que a la larga, por ser más eficaces en algún aspecto, según la percepción del consumidor, desplazan a la tecnología existente.

Para permanecer en el mercado es necesario no solo producir, sino vender y obtener beneficios, para asegurar reinversiones, por lo que existen diversas actividades vitales tales como:

diseño, producción, publicidad, logística, distribución, compras, ventas, almacenamiento, control de calidad, seguridad, cuidado del ambiente, atención al cliente, posventa, etc.....

La clave actualmente es ser innovador. La innovación es la regla en la economía actual.....

No siempre un problema o necesidad puede resolverse con una sola tecnología. No existe una única tecnología para una dada demanda:

Influye la cultura, la región geográfica, la disponibilidad de materias primas, el entorno, la organización social y política, entre otros factores.....

existe una tecnología apropiada para cada necesidad

Es por ello que es importante diseñar, optimizar, modificar procesos y disponer de herramientas que permitan evaluar numerosas alternativas para tomar decisiones ante este mundo globalizado y con presión de la competencia creciente en todos los campos...Además, la aceleración de la conjunción ciencia – tecnología, o investigación, desarrollo e innovación, revoluciona aceleradamente el sistema socio-tecnico-cultural-económico.

Por ejemplo, la evolución de las herramientas para el cálculo numérico (del abaco a la primera computadora y los dispositivos actuales), o el surgimiento de tecnologías para el almacenamiento de datos y el procesamiento veloz de información y la comunicación, han sido acompañados por transformaciones que plantean nuevos enfoques...

Cobran una importancia fundamental en el aumento de la productividad (eficiencia, eficacia, optimización de recursos). Ya no basta con producir; debe hacerse a una relación costo/prestación mínima. De lo contrario, se es muy vulnerable

a la competencia, que siempre existe.

Al analizar la historia de la computación, predomina la historia de la ciencia o de la técnica?

Muy superficialmente, podríamos decir que existen épocas/generaciones en la historia del cálculo y las herramientas de cómputo:

Primera época: del ábaco a las máquinas de oficina.

Segunda: las computadoras.

Tercera: cálculo artificial /simbólico. Miniaturización, velocidad e interconectividad

En cuanto a las generaciones o tipificación de la herramienta computacional:

Primera generación

- Tubos de vacío
- Programadas en Lenguaje de máquina
- Grandes y muy costosas

Segunda Generación

- Circuitos de Transistores
- Programadas en lenguajes de alto nivel

Tercera Generación

- Circuitos Integrados
- Control a través de Sistemas Operativos

Cuarta Generación

- Microprocesadores
- Primeros Microcomputadores

Quinta Generación

- Microelectrónica.
- Competencia internacional por el dominio de la informática.
- Internet se masifica.
- Aparición de Computadores portátiles.
- Manejo de Lenguaje Natural e Inteligencia Artificial

Surgen las Tecnologías de la Comunicación (TICs):

Plantean nuevos enfoques que contemplan la tecnología de la información y comunicación como una actividad interpretativa, donde el significado, la comunicación, el lenguaje, las percepciones... cobran una importancia fundamental.

Se masifican los microcomputadores, con gran capacidad de procesamiento y cálculo. Se involucran como parte de la mayoría de los artefactos / tecnologías, tales como electrodomésticos, automóviles, estructuras edilicias, procesos, sistemas de control y supervisión y aún integrados a la vestimenta, accesorios y al cuerpo humano en sí.

Hoy en día son accesibles: PC, tablet, notebook, celular inteligente y dispositivos miniaturizados, como cualquier electrodoméstico.

Estos elementos cambian profundamente el modo de vida y de trabajo de los seres humanos. Una persona sin conocimientos informáticos ha llegado a ser considerada inculta (tecnológicamente).

El avance de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) revoluciona la forma en que se transmite, sistematiza, elabora y difunde la información y se organiza el trabajo, el modo en que se generan conocimientos y se diseña o se opera la tecnología, cómo crean los artistas y se vislumbra la estética en el diseño....

Esto es una revolución de alcance global. Este fenómeno es compartido y se realimenta en otras áreas de la ciencia (transdisciplinariedad).

Por ejemplo: Genética (clonación,), Biología molecular, Biotecnología (cultivo de células animales, tejidos, células madre.....), Neurociencias, nuevas drogas..., Bioelectrónica, biomecánica, híbridos (biochip, cybors.....)

Dado el estado de situación o evolución científico-tecnológica, puede proyectarse la modificación incluso de especies y de "La Especie" -la naturaleza humana, tal como la conocemos-. Solo basta tener en cuenta la evolución en el desarrollo de Bio-computadoras, neuro-computadoras, robótica e inteligencia artificial, cybor (fusión hombre-máquina), clonación, Superhombre..... ¿nueva especie?....

En las ciencias humanísticas se plantean nuevos dilemas:

¿Filosofía de lo natural o de lo artificial?

¿Humanismo o transhumanismo?

Si bien algunas postulaciones no pasan de la especulación, es interesante analizar ciertos hechos con base científica o en base a los hechos experimentales. Gordon Moore (19/04/65) publicó un artículo en el cual postulaba que la complejidad de los circuitos integrados se duplicaría cada año con una reducción de costo creciente. Se conoce ahora como la ley de Moore. El citado autor actualizó dicha "ley" en 1975 afirmando que el número de transistores en un chip se duplica cada dos años y esto se sigue cumpliendo hoy. La ley de Moore nos dice cómo aumenta la complejidad de los chips (transistores contenidos en un chip) y anticipa una disminución de costos asociada para lograr la misma tarea o eficiencia. En efecto, los microprocesadores en la actualidad se utilizan en todos los artefactos en los que sea posible, debido a su bajo costo relativo.

La ley de Moore no es una ley en el sentido científico, sino una observación empírica, que ha sido verificada hasta ahora experimentalmente, ya que durante los últimos 40 años la capacidad de los circuitos integrados se ha duplicado cada dos años. Sin embargo, varios factores amenazan la validez de esta regla en el futuro. Por un lado pueden citarse la cantidad de calor generado por los circuitos, el tamaño de

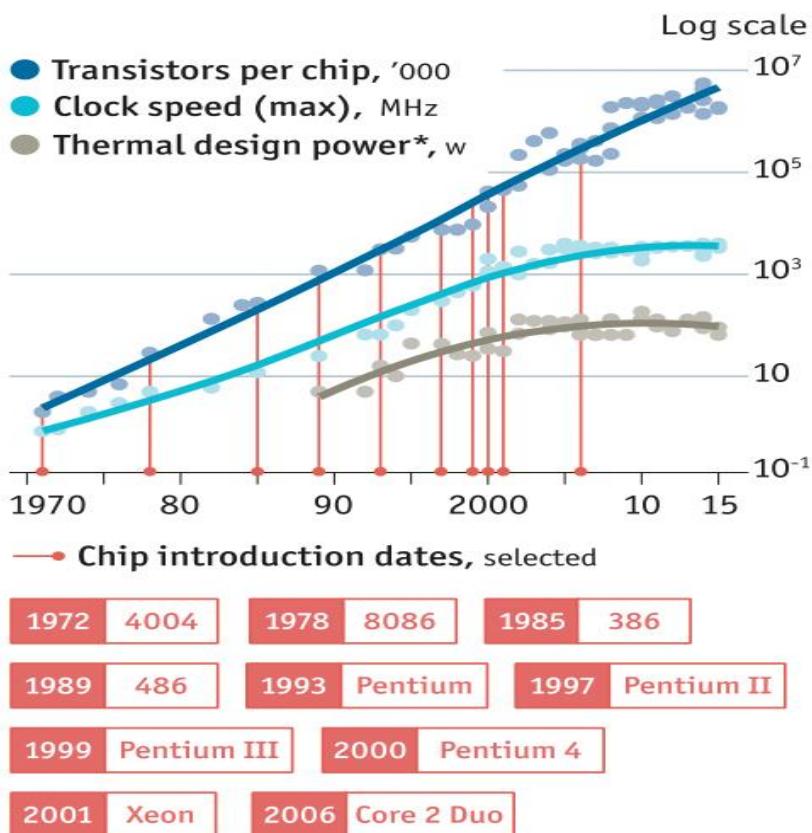
las conexiones -cuyo límite aceptado hoy es solo 10 átomos- y los efectos cuánticos - los transistores de última generación tienen un tamaño de unos 100 átomos y según se reducen se dificulta asociar un cambio de estado representando ceros y unos, las unidades básicas de cálculo binario-. Por otro lado, vencer estas limitaciones puede involucrar crecientes inversiones debido al costo del desarrollo, el cual luego debe ser amortizado mediante el retorno en ventas y su consecuente rentabilidad.

La investigación y desarrollo actual pasa por vencer estas problemáticas para asegurar un desarrollo del área que siga respondiendo a la ley de Moore. Existen diversas líneas bastante prometedoras.

En la figura siguiente se muestra la evolución de los parámetros asociados a la ley de Moore y los que se consideran su limitante.

Para ciertos autores, a pesar que el progreso tecnológico se ha acelerado, se ha visto limitado por la inteligencia básica del cerebro humano, que no ha tenido un cambio significativo durante los últimos milenios. Una alternativa sería el constante aumento del poder de cómputo de las computadoras y otras tecnologías, que probablemente puedan sentar las bases para la construcción de una máquina más inteligente que el ser humano.

Evolución del nro de transistores por circuito, velocidad reloj interno y consumo máximo de energía seguro. Se indica el momento de aparición de diversas generaciones de procesadores (fuente: The Economist).



Esto podría lograrse mediante un Híbrido (inteligencia sobrehumana mediante la amplificación de la inteligencia humana hibridizándola con la máquina) o bien a través de la inteligencia artificial (solo la máquina). Según esta corriente de pensamiento, se podría disponer de mayor capacidad para la resolución de problemas y habilidades inventivas respecto de la que los humanos actuales son capaces de lograr. Sería posible entonces construir una máquina capaz de auto-perfeccionarse rediseñándose, mediante sucesivas iteraciones, logrando un cambio cualitativo de consecuencias impredecibles.

Para algunos autores, como Ray Kurzweil, el punto en el tiempo en el cual (basándose en la ley de Moore y otras semejantes para diversas tecnologías) se logre que la potencia de cálculo de los ordenadores supere al de los cerebros humanos (inteligencia artificial sobrehumana), es muy importante (es llamado “la singularidad tecnológica”), ya que revolucionaría la vida y la organización socio-cultural-económica tal como la conocemos. No obstante, existen otras posturas que plantean dudas, dadas las limitaciones existentes a la validez futura de la ley de Moore; y por otra parte, a la dificultad de lograr aceleradamente los cambios tecnológicos integrales para que se hagan efectivas las condiciones asociadas a la “singularidad”. Postulan que el logro de tales condiciones es imposible, o bien que es solo posible en un futuro lejano.

Sea como sea, lo importante es notar que el avance de la tecnología en todas sus ramas es muy importante, e impacta en el desarrollo de todas las ramas de la ingeniería. Dado que la duración promedio de las carreras de ingeniería en nuestro país está en el orden de la década, no es menor esta cuestión. El estado tecnológico característico en un área dada, puede ser bastante distinto al egresar que al ingresar a la Universidad.

Conclusiones:

La aceleración del “tiempo histórico” es un hecho. El “driver” o fuerza impulsora es el avance científico y tecnológico. Surgen aceleradamente innovaciones, nuevas tecnologías. Aparecen nuevas “ingenierías” o bien se rediseñan las existentes.....y la formación general del ingeniero debe estar acorde con estas consideraciones.

En este punto es interesante remarcar la evolución de la ingeniería química. Como disciplina, en sus orígenes, era básicamente una extensión de la ingeniería mecánica aplicada a resolver los problemas de fabricación de sustancias y materiales químicos, tarea tradicional de la química industrial. En contraste, la ingeniería química moderna está estructurada alrededor de un sistema de conocimientos propio acerca de fenómenos y procesos vinculados con la producción de sustancias y materiales mediante cambios en las propiedades físicas, químicas, biológicas...

Algunos hitos importantes que se destacan en la bibliografía son los siguientes:

(1888)

L. M. Norton comienza un plan de estudios en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) orientado a Ingeniería Química.

(1901)

G. E. Davis publica el primer Manual del Ingeniero Químico.

(1908)

Se funda el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE).

(1915)

En el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), Walker, Lewis y McAdams introducen la primera versión del concepto de Operaciones Unitarias -serie de operaciones comunes a muchos procesos industriales- (transferencia de energía, destilación, flujo de fluidos, filtración, trituración, molienda y cristalización). Esto permitió sistematizar el análisis, caracterizar los tipos de fenómenos involucrados y por lo tanto obtener sustento científico y leyes generales asociadas a las diversas operaciones/procesos de la Ingeniería Química.

(1919)

Universidad de Concepción (Chile): Se inicia carrera de Ingeniero en Química y Químico analista.

Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Química Industrial y Agrícola, Santa Fe, Argentina -actual Facultad de Ingeniería Química (FIQ)-, inicia la carrera de Ingeniería Química.

(1922)

Se funda la Institución Británica de Ingenieros Químicos (IChemE).

(1923)

Primer libro de texto de esta disciplina “Principios de Ingeniería Química”, de Walker, Lewis y McAdams, MIT.

(1927)

Monografías sobre operaciones unitarias, como por ejemplo “Elements of Chemical Engineering” de Badger y McCabe

(1931)

Se publica el libro de texto “Industrial Chemical Calculations” de Hougen y Watson

(1935 al 1950)

Se edita la primera edición del “Handbook of Chemical Engineering” de Perry y col.

Se publican los libros “Thermodynamics” de Hougen, Watson y Ragatz, “Chemical Engineering Thermodynamics” de Dodge, “Ingeniería de las Reacciones Químicas, de Hougen y Watson, “Unit Operations of Chemical Engineering” de Brown. En esta obra las operaciones unitarias aparecen ya agrupadas según el tipo de magnitud transferida, materia, energía o cantidad de movimiento.

(1960-80)

En la década del 60 se consolida una nueva visión metodológica o paradigma: libro “Fenómenos de transporte” de R. B. Bird y col. Se sistematiza el modelado de los sistemas, procesos y operaciones en ingeniería química, rescatando el análisis y estudio de los fenómenos físico-químicos tanto a escala micro como en los fenómenos macroscópicos. Se resalta el estudio de los fenómenos de transporte enfatizando el tipo de transferencia o transporte resaltando las analogías y la metodologías comunes (cantidad de movimiento (Leyes de Newton), transferencia de calor (Leyes de Fourier) y transferencia de masa (Leyes de Fick)). Se sientan las bases sistemáticas para el modelado y el diseño en la ingeniería química.

Comienza, dado el crecimiento de la economía mundial y la demanda asociada, un sostenido aumento de la producción (que por la competencia debe siempre realizarse

a un menor costo). Se diversifica la demanda y en respuesta surgen y consolidan nuevos procesos (producción de fármacos, alimentos, agua potable, energía, entre otros) que además implican no solo el desarrollo sino la especialización de la ingeniería química en diversas áreas.

Surge otro nuevo paradigma dentro de la ingeniería química denominado ingeniería de procesos, consolidando una visión de análisis sistemático. Se incorpora a la visión del modelado centrado en los fenómenos de transporte, la capacidad y velocidad de cómputo acompañando la evolución de las tecnologías informáticas, que permiten sistematizar la tarea no ya de las operaciones unitarias, sino de las distintas clases de procesos que van surgiendo dentro del campo de la ingeniería química. Esto se realiza en el marco de una visión sistemática, integral, que permite sentar bases metodológicas para la generación de las estructuras de los procesos (diseño), y de sus condiciones de operación. Para ello son muy importantes la incorporación del cálculo numérico y la utilización de los avances de la mecánica estadística para formular modelos para la estimación de las propiedades físico-químicas de mezclas.

Se involucran nuevos conceptos y sistemas automatizados, (Ingeniería de control de procesos). Surgen los Controladores Lógicos Programables, PLC. Surge la Ingeniería en automatización y control industrial enfocado a la Industria Química y de Procesos. Hacia fines de la década del 70 surgen las primeras aplicaciones de sistemas de Control Inteligente, Sistemas Automatizados, Control Digital, Sistemas Instrumentados y de Adquisición de Datos, que despiertan la incipiente incorporación de tales tecnologías en la Industria Química, con el objeto de incrementar la producción y la calidad.

(1980 en adelante)

En este período se consolida y profundiza el método de análisis sistemático de los procesos químicos (llamado process system engineering, o diseño sistemático de procesos, o ingeniería sistemática de procesos), contemplando la síntesis estructural y la evaluación (simulación – optimización), mediante herramientas computacionales. Esta visión está hoy consolidada, sin grandes cambios hasta la actualidad. Se han desarrollado las herramientas computacionales ganando eficiencia, masificándose su uso, expandiéndose globalmente. Surgen los sistemas CAD/CAM (diseño asistido por computadora y manufactura asistida por computadora) en todas las ramas y actividades de la ingeniería en general.

Un análisis interesante es observar el impacto de la evolución arriba mencionada en el ejercicio de la profesión de ingeniero químico. Una forma de hacerlo es tomando como referencia al Manual del Ingeniero Químico, ya que es una base concreta de análisis de la variación de los contenidos y métodos asociados al ejercicio profesional a través del tiempo, reflejándose en el contenido de tal Manual según las distintas ediciones. Es claro que al proponerse nuevas visiones y nuevas metodologías teóricas, la difusión de tales procedimientos metodológicos lleva un tiempo, y si bien en la actualidad el mundo “está globalizado”, la dinámica de inserción internacional de los nuevos métodos o contenidos no es instantánea, ni homogénea, en el estado del arte del ejercicio profesional.

En general, el *Manual del Ingeniero Químico* se edita aproximadamente cada 10 años, elaborado por un conjunto de especialistas reconocidos en la profesión, que en el caso analizado se realizó bajo la dirección editorial de Robert H. Perry y Cecil H Chilton desde sus comienzos.

Si bien como se ha mencionado más arriba la primera edición se realiza en la década del 30, si nos centramos en la 5ta edición (década del 70) en forma muy sintética puede afirmarse que se aprecia una orientación estructural (la organización en capítulos) muy orientada a las operaciones unitarias, la presentación de datos fisicoquímicos y termodinámicos, de elementos de matemáticas (formulaciones y tablas), control, transporte fluidos en distintos estados y generación de energía y transferencia de calor, procesos de separación y otras operaciones unitarias, materiales y fundamentos para la construcción y un capítulo referido a datos y métodos de estimación de costos. Es decir, se incorpora la visión metodológica acerca de los fenómenos de transporte y las operaciones unitarias, el diseño de procesos y los sistemas de control. Se brindan bases para resolver la problemática para el acceso a los datos necesarios para el diseño, mediante la presentación de numerosas tablas y gráficas que permiten obtener datos de sustancias puras y de ciertas mezclas.

Paralelamente, no existen referencias concretas al diseño sistémico de procesos, o ingeniería sistémica de procesos, al igual que las tareas de síntesis, evaluación, simulación y optimización de procesos químicos. Por otra parte, no existen en el capítulo matemático una mención concreta al desarrollo de resolución de sistemas de ecuaciones por métodos del cálculo numérico, o bien la estimación de propiedades fisicoquímicas o termodinámicas por medio de ecuaciones específicas para tal fin; en particular para mezclas no ideales. Es decir, se depende en general de gráficas y tablas, más que de métodos de estimación generalizados que solo utilizan de uno a unos pocos parámetros, lo cual permite sistematizar computacionalmente su cálculo. Esto es así ya que como se ha comentado, si bien incipientemente ya eran conocidas y publicadas en esta década las bases para tales metodologías, la incorporación de las mismas en un manual estándar del ejercicio de la profesión, lleva un tiempo.

Si se analizan las ediciones del mismo manual, realizadas en las décadas del 80, 90 y 2000, se observan diversos cambios en el conjunto de temáticas y metodologías incorporadas. Se incorporan, desde la mención (y las respectivas referencias en el 80) hasta la incorporación de capítulos específicos para la simulación de procesos, el control avanzado y digital de procesos, los métodos de cálculo numérico (en la sección de elementos de matemática) y de métodos para el cálculo de propiedades termodinámicas y físico-químicas, en las últimas décadas mencionadas. Se incorporan además nociones de diseño seguro, sustentable, entre otros aspectos relevantes.

En este contexto, en el futuro mediato se esperan cambios muy profundos en cuanto al tipo de procesos y campos de acción de la ingeniería química; seguramente involucrando nuevas áreas de aplicación.

Hemos visto que hace varias décadas bajo el punto de vista sistémico, se ha introducido el término "operaciones unitarias" para sistematizar el conjunto de

equipos/dispositivos que se utilizan generalmente para producir las transformaciones deseadas en función de los materiales de partida y los objetivos del proceso. Es importante aclarar, en el marco evolutivo descrito, que dada la innovación de los procesos, surgen continuamente nuevas “operaciones unitarias”. Por ejemplo, una tendencia actual es la “simplificación” mediante la intensificación de los procesos. Para ello se recurre a “fusionar” distintas operaciones unitarias. Un caso típico es la separación y la reacción química. El clásico esquema de un sistema de reacción seguido de un sistema de separación, es posible “simplificarlo” en ciertos casos fusionándolos, realizando ambas tareas en el mismo equipo. Es decir, lograr la separación al mismo tiempo que se logra la conversión de los reactantes en productos. Así surgen por ejemplo la “destilación reactiva”, o bien el “flash reactivo”. Estos equipos pueden verse como un reactor en donde se lograr la separación, o bien un separador (columna o flash), donde la mismo tiempo ocurre una reacción. Esto implica simplificar el diseño, y abaratizar mucho los costos.

Como ejemplo de tales avances, puede citarse hace aproximadamente dos décadas la transformación (simplificación o intensificación) del proceso de producción de acetato de etilo (básico para la confección de películas para sistemas fotográficos y filmaciones) que involucraba etapas de reacción y diversos separadores, con múltiples reciclados para optimizarlo energéticamente. Al introducir la operación “destilación reactiva”, se logró simplificar al extremo el proceso, reduciendo así su costo de inversión y de operación. Un logro notable, impensable con las tecnologías disponibles (en cuanto al conocimiento de los fundamentos para el diseño de las operaciones) solo poco tiempo atrás. Paradójicamente, este ahorro no ha sido muy importante para las empresas relacionadas, ya que el avance de la fotografía digital, incorporada hasta en los celulares, minimizaron la importancia (poco tiempo después) de la obtención de materiales para la confección de rollos para filmar o registrar fotografías. Esto es un buen ejemplo de cómo la innovación y la aceleración del impacto en las tecnologías revoluciona el mundo socio-económico, ya que no existe como hace un siglo la estabilidad “casi permanente en una generación” de los procesos o tecnologías. Todos vemos, cada vez más, el cambio de las tecnologías para prestar el mismo servicio o producto, de formas radicalmente diferentes, y reemplazando integralmente a la tecnología anterior.

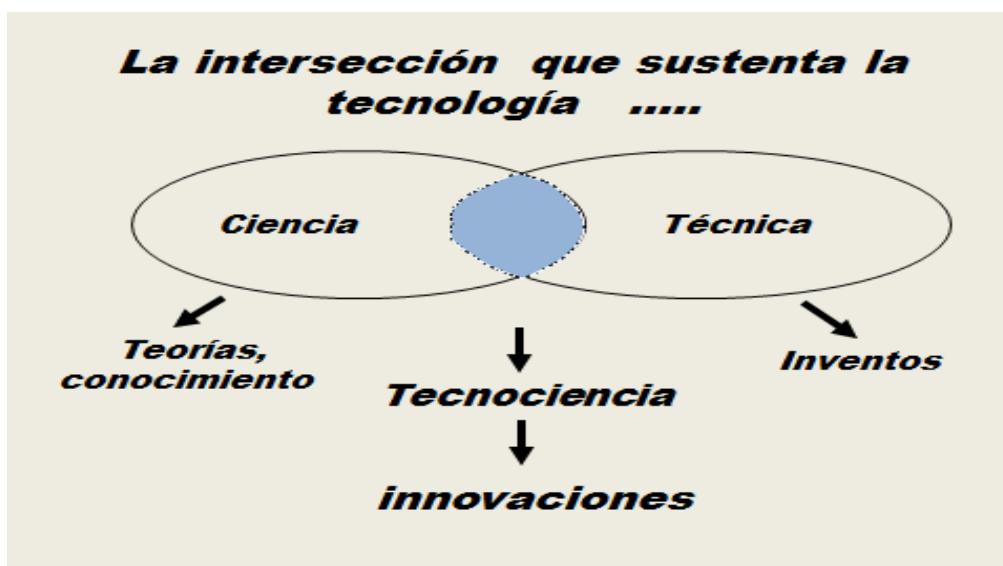
Dentro de este contexto, surgen nuevas filosofías de diseño, tales como diseño inherentemente seguro, diseño sustentable, entre otros. En todos los casos, se pretende en etapas tempranas de diseño del proceso, contemplar todos los factores (seguridad, daño al ambiente, etc.) contrariamente a como se hace habitualmente considerando tales factores cuando la etapa de la ingeniería conceptual está definida, lo cual implica luego modificaciones grandes que involucran altos costos y demoras en los proyectos.

Se vislumbra el nacimiento de nuevas ramas o especializaciones, tales como ingeniería molecular, o biomolecular. Todo indica que efectivamente tendrá mucho protagonismo este campo del saber y sus tecnologías asociadas en el futuro inmediato o mediato. Existen certezas respecto a la aplicación de nuevos materiales y los cambios de escala a niveles micro y nano, para el desarrollo de nuevos procesos

asociados a tal área de desarrollo tecnológico.

En cuanto a la operación de los procesos, la computación y la robotización facilitarán la tarea y aumentarán la productividad, permitirán e intensificarán la optimización de los sistemas y métodos de supervisión de los procesos, y por lo tanto la eficiencia y la seguridad.

En síntesis, existirán numerosas modificaciones e innovaciones que implicarán diversos procesos involucrando variedades de materiales, con el objetivo de lograr productos de distinta naturaleza... según evolucione la intersección entre la ciencia y la tecnología orientada a la generación de innovaciones, hoy llamada por muchos autores como tecnociencia.



Dentro de este contexto temporal, geográfico, disciplinario, multidisciplinario, aquí nos centraremos en los procesos químicos, teniendo en cuenta que en el futuro pueden surgir procesos no tan conocidos hoy....

¿Cómo formar al ingeniero?.

¿Cuál será el conjunto de demandas que el sistema socio-cultural-económico le planteará a la profesión?

¿Competencias, conocimientos?

La formación de los profesionales es una actividad central de las Universidades. Para ello se define una currícula y un plan de estudios, que tienen como objetivo definir el marco general y los objetivos, y con detalle las disciplinas necesarias a impartir, la proporción y ordenamiento con que se dictan, conformando el proceso de enseñanza – aprendizaje. Las disciplinas necesarias son diversas, aunque en general puede afirmarse que las que convergen a la formación de un profesional de la ingeniería se pueden clasificar en:

Disciplinas básicas (Matemáticas, Física, Química, Sistemas de Representación / Fundamentos de Informática, entre otras)

Tecnologías básicas (*Fenómenos de Transporte, termodinámica, Físico-química, entre otras*).

Tecnologías aplicadas (*Proyecto, Diseño de reactores, Tecnología Térmica, Operaciones, entre otras*)

También es importante distinguir entre conocimiento y competencias, ya que en el primer término englobamos los cuerpos de saberes disciplinares, mientras que en el segundo nos referimos a la adquisición de habilidades, capacidades para la resolución de problemas ingenieriles, modalidades de trabajo y de desempeño. Ambas componentes del “saber ingenieril” son básicas para el ejercicio profesional (práctica profesional). Obviamente, están íntimamente ligadas, aunque denotan un tipo de conocimiento o capacidades /habilidades diferentes

En nuestro país la CONEAU es la institución encargada de supervisar y evaluar la calidad de las instituciones universitarias y las carreras que se imparten en las mismas, aunque no es quien determina los estándares deseables o de referencia para cada carrera de ingeniería. Para normalizar y facilitar la unificación curricular, las disciplinas han sido agrupadas en: Ciencias Básicas, Tecnologías Básicas, Tecnologías Aplicadas y Complementarias. En los estándares para la acreditación en nuestro país se ha asignado una carga horaria mínima a cada bloque, y por lo tanto a la totalidad. Esto es, una carga horaria mínima (total) de 2075 horas distribuidas del siguiente modo: Ciencias Básicas 750 horas, Tecnologías Básicas 575 horas, Tecnologías Aplicadas 575 horas y Complementarias 175 horas. En las Ciencias Básicas, la mayor carga se centra en Matemáticas (400 horas) y Física (225 horas), mientras que a Química se le asigna 50 hs y a Sistemas de Representación / Fundamentos de Informática 75 horas. La formación práctica debe alcanzar una carga horaria mínima de 750 horas, consistentes en: formación experimental (200 horas), resolución de problemas de ingeniería (150 horas), actividades de proyecto y diseño (200 horas) y práctica profesional supervisada (200 horas).

En definitiva, queda claro el criterio que pretende dar respuesta a la problemática de amalgamar la tensión entre el conocimiento disciplinar vs. el perfil profesional al delinejar o cuantificar relaciones mínimas y porcentajes entre las distintas componentes disciplinares y cargas prácticas (tendientes a lograr competencias).

Dichas cargas y las proporciones que de ellas se derivan son una referencia, pautas mínimas, que pueden ser modificadas incrementando la carga total y la distribución relativa respecto del total de cada área disciplinar. Son las Universidades quienes proponen sus diseños curriculares y planes de estudio pudiendo ampliar con un criterio propio los mínimos aludidos. Considerando la cultura, la estructura y dimensión social de los actos ingenieriles (hacedores, gestores, operadores de tecnología en un entramado complejo socio-tecnico-cultural-económico) debemos admitir que los contenidos a impartir son muchos. Es evidente la cantidad de disciplinas o temas relevantes que deben contemplarse en el diseño del plan de estudios de cualquier carrera de ingeniería; tanto en lo disciplinar como en lo

complementario. Un dilema es definir la carga horaria total y su distribución para articular, entrelazar cada uno de los diversos conocimientos disciplinares en el proceso de la formación del ingeniero. Debe tenerse en cuenta que fijado institucionalmente un diseño curricular y un plan de estudios, se ha explicitado el ideal formativo para con el futuro profesional y los objetivos para el proceso de enseñanza – aprendizaje.

A modo de ejemplo, en la siguiente tabla se muestran los incrementos absolutos promediados (en relación con la carga mínima propuesta) de cada bloque, seleccionando aleatoriamente (websites) 24 carreras pertenecientes a diversas disciplinas y universidades. Se tomaron las resoluciones de la CONEAU de acreditación de dichas carreras: Ing. Mecánica, Civil, Electromecánica, Química, Eléctrica, Industrial; dictándose en la UNL, UNR, UNT, el Instituto Balseiro, UNNE, y distintas Regionales de la UTN, entre otras.

Bloques Curriculares Ing. Qca	Relación Respecto Carga Mínima CONEAU, Promedio carreras Ingeniería
Cs. Básicas	1,42
Tec. Básicas	1,63
Tec. Aplicadas	2,44
Complementarias	2,20
Total	1,82

A continuación se indican los porcentajes relativos de cada bloque curricular respecto al total según la distribución propuesta por el estándar (segunda columna) y la que surge en cada bloque según la información de la tabla anterior.

Bloque	% en carreras Ing.	% estándar CONEAU
Cs. Básicas	28,06	36,14
Tec. Básicas	24,71	27,71
Tec. Aplicadas	37,04	27,71

Complementarias	10,19	8,43
Total	100	100

Si bien se incrementan en términos absolutos las cargas horarias de todos los bloques, se aprecia que la proporción relativa entre los mismos se altera poco respecto de la que existe en el estándar. Esta disminución se corresponde con un incremento prácticamente similar del bloque de tecnologías aplicadas con respecto al total.

Aunque estos datos pueden ser poco representativos de la situación real -ya que debieran introducirse más casos para lograr significancia estadística-, nos permiten al menos inferir un estado de situación. De lo anterior se concluye que en promedio la proporción del bloque de tecnologías aplicadas obtiene un mayor incremento relativo que contrasta con el de ciencias básicas, que generalmente decrece en magnitudes similares. Puede afirmarse que en la mayoría de las carreras no se presentan distorsiones significativas respecto a las proporciones mínimas indicadas según los estándares.

Esto es importante, ya que según hemos visto ingeniería y tecnología están íntimamente vinculadas. Desde un punto de vista epistemológico, si se considera a la tecnología un saber, como tal no es más que otra disciplina que sustenta a la profesión ingenieril. Si prevalece la visión derivada de la racionalidad tecnológica, la actividad profesional consiste prioritariamente en la resolución de problemas aplicando el método científico-tecnológico. En el enfoque cognitivo se concibe principalmente a la tecnología como un conocimiento, y subsidiariamente como una acción. También existen tensiones cuando se prioriza la técnica o la tecnología como acción y subsidiariamente como conocimiento. Debido a esta ambigüedad que hace a la tecnología por un lado un saber, por otro una acción, podemos afirmar que se constituye en un componente clave de la profesión ingenieril en función de las disciplinas científico-tecnológicas que la sustentan. La simbiosis creciente entre ciencia y tecnología (y en forma semejante, entre conocimiento básico o aplicado) más que una contraposición, resulta en la actualidad el sustrato que relativiza la ambigüedad comentada y motoriza el avance de la profesión ingenieril.

En nuestro caso, es interesante en este marco, respecto de la asignatura Integración IV (que versa principalmente sobre el análisis y simulación de procesos químicos, y más específicamente sobre las herramientas de simulación de tales procesos por medio de sistemas computacionales); destacar las relaciones principales con las otras asignaturas del plan de estudios. Existe una vinculación directa con Termodinámica y Físico-química, dado que cualquier modelo de operaciones unitarias y la resolución de cualquier balance de materia, energía y cantidad de movimiento (operación aislada o un proceso completo) implica la estimación de propiedades fisicoquímicas. Cualquier simulador de procesos contiene un banco de datos y modelos para el cálculo de tales propiedades.

Por otra parte, la asignatura fundamental para la introducción al modelado de procesos es *Fenómenos de Transporte*; fundamental en nuestro caso, al pretender comprender la conformación de los modelos y luego la estrategia de resolución de los mismos, codificadas en el lenguaje apropiado seleccionado por cada empresa al diseñar y elaborar su simulador de procesos. Para comprender esto, y aún para elaborar herramientas de cálculo individual, o bien para incorporar nuestros propios modelos al simulador genérico que dispongamos, son importantes los conocimientos que se disponen provenientes tanto de Fundamentos de Informática como de Matemáticas (Cálculo numérico vs, cálculo simbólico o analítico). Por otro lado, dado que los modelos se refieren a operaciones unitarias, y un simulador genérico dispone de un banco de modelos de equipos con la mayor cantidad de operaciones unitarias posibles para obtener generalidad; todas las asignaturas que se refieran al diseño de operaciones unitarias (reactores, equipos para la generación de energía y transferencia de calor, sistemas de bombeo, compresores, expansores, equipos para separación de mezclas tales como columnas de destilación, separadores flash y contactores líquido-líquido, entre muchos otros), están íntimamente relacionadas.

Por último, dado que los simuladores abarcan tanto el comportamiento estacionario como el dinámico, para este último caso es importante analizar el comportamiento a lazo cerrado; esto es, con presencia de controladores en el proceso. Esto implica entonces, la vinculación íntima con Control de Procesos.

Además, dado que el simulador es una herramienta importante para la simulación y el diseño de procesos químicos, su relación con la asignatura Proyectos es obvia.

Nuestros Objetivos básicos, en este contexto:

Analizar, definir y contextualizar:

- Ingeniería de Procesos
- Diseño de Procesos
- Gerenciamiento de Procesos

En cuanto al Gerenciamiento de Procesos, o la operación de un proceso, existen numerosos aspectos a tener en cuenta, aunque aquí nos centraremos más en la actividad de diseño. Por ejemplo, tanto para la operación de los procesos como para su diseño, la computación como herramienta ha cobrado un rol progresivo y determinante. Se han acuñado los términos CAD/CAM (computer aided design y computer aided manufacturing), indicando las ramas de diseño asistido por computadora y la manufactura asistida por computadora. En el caso de la manufactura asistida por computadora, los cambios han sido notorios en todas las ramas de la ingeniería. Por ejemplo, en la ingeniería mecánica podemos citar al torno numérico, que ha revolucionado la mecanización y diseño/maquinado de piezas en forma radical.

En general, son conocidos los SGP (Sistemas de Gestión de Producción), que permiten organizar y sistematizar los procesos industriales para la gestión y mejora

(gestión de la calidad, mantenimiento, planos y archivos, inventarios y gestión de stock); mediante bases de datos soportadas por sistemas de cómputo que organizan la información pertinente para la operación y diseños de procesos y los equipos / componentes del mismo, a los efectos de organizar datos y obtener información para múltiples necesidades.

En el campo de los procesos en general y los químicos en particular, el surgimiento de los sistemas de adquisición de datos en tiempo real (SCADA - Supervisory Control and Data Aquisition) han significado un avance de mucha importancia para la supervisión y operación de los mismos. En efecto, estos sistemas consisten en un dispositivo computacional que mediante bases de datos y sistemas de medición y actuación sobre los dispositivos de control del proceso, pueden almacenar tiempo a tiempo el estado de todas las variables medidas, y disponer de dicho historial para su procesamiento. Paralelamente, a partir de dichas mediciones y mediante los lazos de control establecidos y definidas sus lógicas de control, es posible supervisar y controlar inteligentemente el proceso. Además, ante eventos de fallas, pueden programarse la activación de sistemas de alarmas, y si es necesario, de parada de planta.

Centrándonos en el análisis y el diseño de procesos, una cuestión importante es la respuesta a las siguientes preguntas:

¿Qué es un proceso químico?,
¿Qué es la Ingeniería de Procesos?.

Realizaremos el análisis en el marco de la visión sistémica del diseño y análisis de Procesos (Process System Engineering)

Proceso -orientándonos a los procesos químicos-

Sistema formado por dispositivos interconectados en forma organizada, que permiten cambios físicoquímicos, biológicos, o de otra índole, a nivel macro, micro o nano, para lograr productos o sistemas de interés.

Arreglo de aparatos / equipos, dispositivos, interconectados en forma estructurada con el objetivo de producir cambios físicoquímicos, biológicos, entre otros, para lograr productos de interés, a partir de materias primas adecuadas.

Sistema de procesamiento que por medio de transformaciones fisicoquímicas, biológicas u otras, convierte los materiales de partida en los productos deseados y/o especificados, operando en forma estacionaria, pseudo-estacionaria o batch

Conjunto de etapas, equipos, dispositivos, que permiten transformar materias primas en productos y subproductos, con el uso de servicios auxiliares y la adición o el secuestro de energía, mediante reacciones o cambios físicos, biológicos, químicos, u otro tipo, con el objetivo de agregar valor a un conjunto de materiales de partida (materias primas).

Variables a caracterizar

Estructura del proceso (diagrama de bloques o diagrama de flujos)

Variables intensivas y extensivas

Funcionales u Operacionales: Arranque y Parada, control, supervisión, seguridad

Tipo de variables involucradas:

- Estructurales (representación de la topología del proceso)

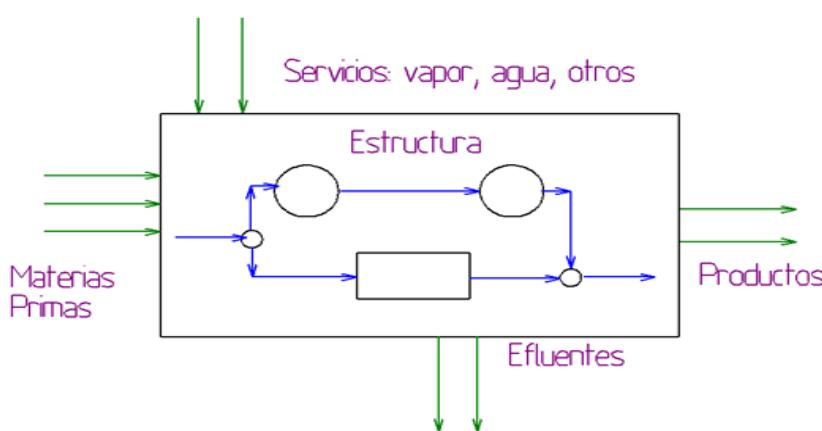
- Operacionales

 - Intensivas (T, P, \dots)

 - Extensivas (m, V, \dots)

Funcionales o representativas de los distintos modos de operación posibles del proceso.

Esquema tipo (caja negra) o representación por bloque de un proceso

Materias Primas

Elementos de origen natural o artificial, que alimentados a un proceso, mediante intercambio de energía, materia o cantidad de movimiento, son posibles de ser transformadas en los productos o subproductos objetivos de diseño.

Tipos de procesos y sus características básicasProcesos continuos vs. Discretos o batchEstado estacionario vs. Estado dinámico o transienteProcesos continuos, estacionarios, características básicas

Los materiales se procesan por medio de unidades especializadas. Cada una (y por lo tanto el conjunto o proceso) opera en estado estacionario y realiza una función determinada. Tanto los ingresos de materiales como la salida de productos son flujos continuos y estacionarios. Generalmente de producción masiva (petroquímica, alcohol, materias primas a granel) tienen un precio bajo por unidad de

producto (tonelada)

- Gran escala de Producción*
- Cada equipo realiza una operación o función específica*
- Calidad del producto constante*
- Velocidad de producción constante*
- Automatización y supervisión integral (sala de control)*
- No son intensivos en mano de obra*

Procesos Discontinuos o batch. Características básicas

El procesamiento se realiza en una secuencia de tareas o transformaciones que deben ser realizadas en un orden definido. La culminación de esta secuencia de pasos produce una cantidad especificada de producto final. Esta cantidad es lo que se denomina batchada. En general cada unidad opera en estado no-estacionario.

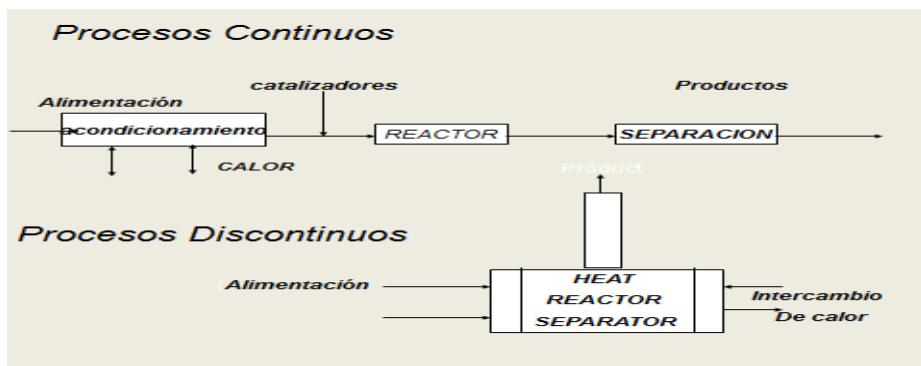
Dado que los procesos batch son esencialmente discontinuos y los materiales se procesan por lotes, si la cantidad especificada o requerida de producto es mayor que esta cantidad, la secuencia debe ser repetida (ciclos de producción o secuencia de batchadas). El tiempo total de producción se conoce como horizonte de tiempo de producción.

Escala de producción: desde kilogramos a toneladas anuales

De los productos de la química de las especialidades o química fina, la mayoría son producidos en modo batch, dado la baja escala de producción. Se caracterizan también por un valor de elevado a muy elevado por tonelada producida.

Otras características de los procesos batch son las siguientes:

- Tiempos de procesamientos o residencia relativamente mayores*
- Productos de calidad relativamente más variable*
- Mayor mano de obra (en relación a los estacionarios) por unidad de producto*
- Productos de alto valor y más ajustados a la necesidad del cliente (a demanda)*
- Flujos pequeños. Pequeña escala de producción*
- Funcionamiento intermitente. Ciclos de operación*
- Velocidad de producción variable (producción planificada y flexible)*
- Plantas flexibles, multiproducto y multi- propósito*
- Procedimientos de síntesis y diseño más complejos- Es muy importante la programación y planificación de la producción.*
- Condiciones de control muy estrictas. Dificultad para el control y la supervisión del proceso centralizada*



En la figura anterior se muestra sintéticamente una diferencia importante entre procesos continuos y batch. Mientras que en los primeros cada equipo está dedicado a una sola operación, en los procesos batch es posible, mediante secuencia de operaciones, utilizar el mismo tanque o recipiente para calentar, agitar y acondicionar los reactivos, luego realizar la etapa de reacción, luego la separación.... etc. Es decir, cada unidad de procesamiento (equipo) puede ser multipropósito.

En general, cada producto) involucra una secuencia de operaciones (receta de producción), por lo que se pueden (dada una planta fija) procesar un producto dado definiendo una receta de producción y un arreglo estructural (en la planta dada), que se corresponda con ella. También es posible utilizar otros equipos (en simultáneo) para producir otros productos, siguiendo para cada uno una receta y su correspondiente arreglo estructural, si se logran evitar usos simultáneos de equipos y recursos.

Esto implica una operación o gerenciamiento (y por lo tanto supervisión y control) bastante más complicada que en los procesos continuos (con pocos modos de operación posibles, y no simultáneos). Luego, si se produce un solo producto (monoproducto), o bien dos o más (multiproducto -con arreglos diferentes en la conexión estructural de los equipos, aunque no procesados simultáneamente-), o igualmente dos o más (multipropósito –multiproducto), considerando que además de utilizarse distintos arreglos estructurales para la producción de cada uno, la “receta” o secuencia de pasos en la producción de cada producto se implementa en forma simultánea para un grupo de ellos.

Es obvio que la complejidad tanto para la operación como para el diseño, es creciente a partir del proceso batch monoproducto, siguiendo por el multiproducto y finalizando con el multipropósito.

Existe una amplia variedad de procesos que utilizan el modo de operación batch, por ejemplo en la industria farmacéutica. Estas emplean un conjunto fijo de operaciones batch que se realizan en equipos estandarizados en plantas multipropósito. En general, las tres fases principales en la manufactura de los productos farmacéuticos son:

1. Síntesis
2. Purificación
3. Formulación/dosificación

Cada producto es generalmente fabricado por campañas, durante la cual una o más líneas de producción (de la planta general) son usadas por días, semanas o meses para fabricar la cantidad de la demanda proyectada. Luego del ciclo de limpieza posterior a cada ciclo de producción, los equipos estándares pueden ser usados para fabricar otro producto usando otras materias primas acuerdo a cada receta batch.

Métodos, estructuras y Características de Procesos Batch

Dadas las características de las plantas batch, (monoproducto , multiproducto, multipropósito), considerando que cada unidad batch se carga, descarga y procesa por lotes (reactor, columna batch, cristalizadores, otros), y que pueden existir unidades semicontinuas (operan en forma continua entre las operaciones batch, intermitentemente); hemos visto que no basta con el flowsheet del proceso y el valor establecido para las variables operacionales o funcionales para describir o especificar el comportamiento del mismo, sino que se necesita además una “receta de producción” y/o scheduling de programación de la producción (eventos discretos secuencialmente). Esto obviamente impacta en el diseño y modelado de tales procesos.

Resumiendo:

Políticas de operación

Monoproducto:

Se produce un solo producto con una secuencia definida, cíclicamente, siempre en igual forma, hasta finalizar la campaña.

Multiproducto:

A diferencia de la anterior, aquí se produce una serie de productos. Cada uno de ellos sigue una secuencia definida, cíclicamente, no superponiéndose las campañas

Multipropósito:

Se fabrican/procesan varios productos. La ruta a seguir para cada campaña es función de la disponibilidad de equipos y/o almacenamiento, por lo que pueden seguir distintos caminos de producción en cada campaña.

Modos de operación más comunes

- { Con solapamiento
- Sin solapamiento

Transferencia entre etapas

- { Con tiempo de espera nulo (ZW)
- Con almacenamiento entre equipos

Con almacenamiento intermedio

Modelado de procesos batch

{
 Equipo o unidades batch
 Proceso batch

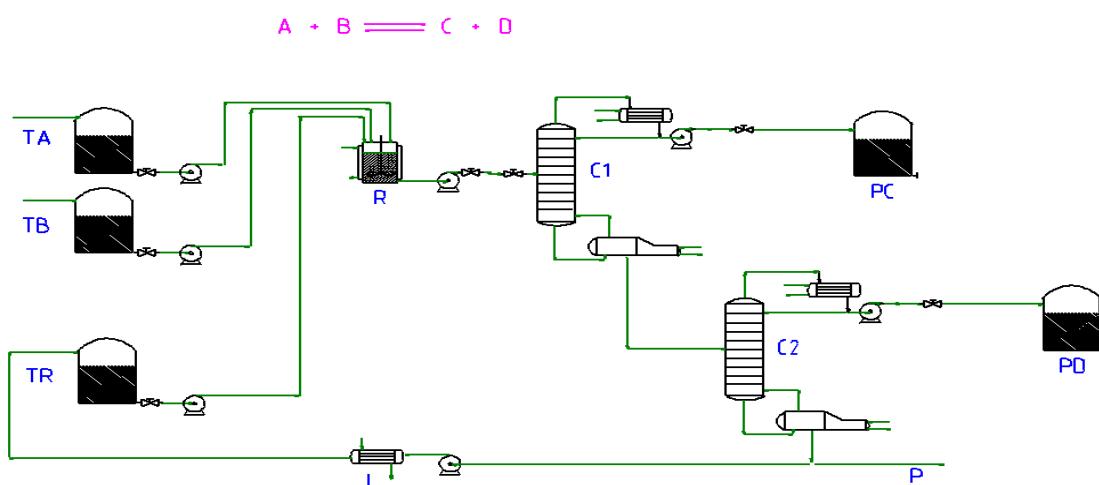
Un proceso se describe principalmente por la receta de producción; luego por el detalle de cada unidad de producción.

- Simulación Dinámica desacoplada mono y multiproducto
- Simulación Dinámica híbrida multiproducto

Simulación Dinámica Desacoplada.

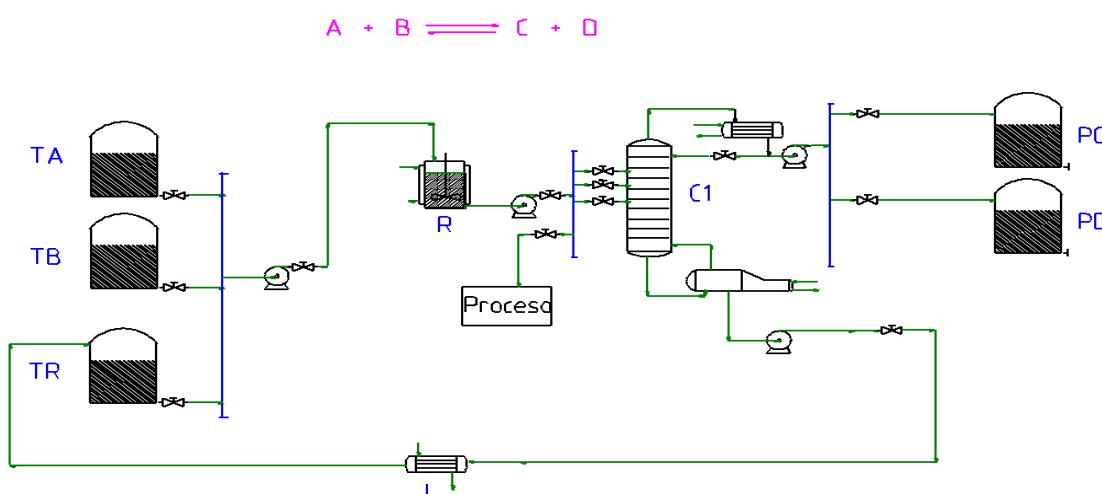
Las unidades batch se simulan en forma individual, por lo que si existen los módulos se puede utilizar un simulador general, en modo dinámico. Se obtienen así parámetros para el modelado del proceso/ programación de la producción. A modo de ejemplo se puede vislumbrar el mismo proceso en modo estacionario (las figuras siguientes) y operando en modo batch.

Supongamos de manera general un proceso para la producción de los productos PC y PD, a partir de la transformación de las materias primas de partida (A y B). La reacción es la indicada en la figura. El proceso estacionario propuesto es deducible de modo general con observar el diagrama de flujos, en el cual se indican los recipientes de almacenamiento de los reactantes A y B, las líneas de alimentación al reactor y los elementos de bombeo para A, B, y además para R, el reciclo, que involucra a los reactivos sin reaccionar, dado que la reacción es reversible.



La corriente de salida del Reactor R se alimenta al tren de separación conformado por dos columnas de destilación, C1 y C2. Por el tope de la primera se obtiene el producto C, y la corriente del fondo se alimenta a la columna C2. En ella, por tope se obtiene el producto D, y por fondo la mezcla no reaccionante se recicla al tanque TR y al reactor. El reciclo es acondicionado térmicamente, previo al depósito en el tanque TR. También se indica una corriente de purga, para evitar la acumulación de inertes en el proceso (P).

Esquema del proceso Batch

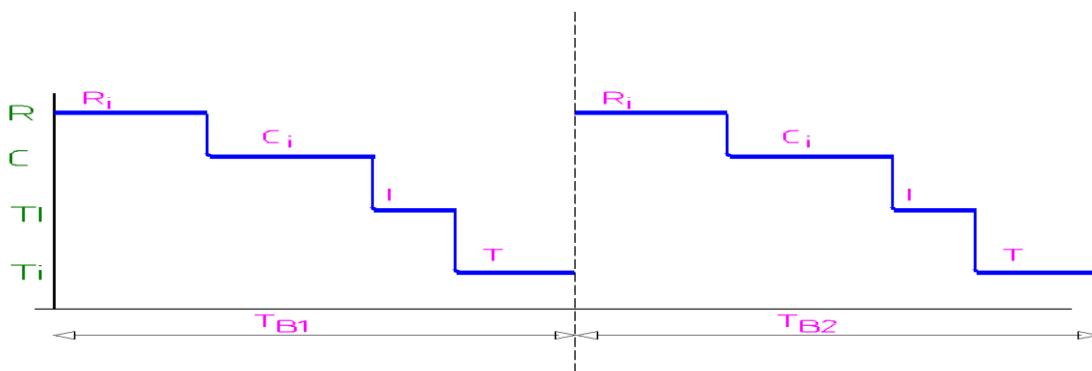


Como puede verse en el diagrama correspondiente al proceso batch, si bien la reacción entre reactivos para obtener el producto es la misma, el modo de producción no lo es. En el esquema no aparecen dos columnas, ya que al ser discontinuo el proceso, solo basta con una, ya que en cada tiempo asignado, en la misma columna se tendrán que producir las dos etapas de separación, si fuera el caso en función de la receta de producción. Es por ello que se indica con un rectángulo el “proceso”, en el sentido que no describe por si solo las operaciones y transformaciones necesarias para lograr los productos a partir de las materias primas. Aquí debe remarcarse que el diseño de una planta batch nunca se realiza para un solo producto, ni un conjunto específico, ya que a lo largo del tiempo cambiarán los requerimientos. Por ello se trata de un diseño flexible, robusto, apto para la producción de diversos conjuntos de productos. Es por ello también, que dada una planta existente, el problema más común es plantear la receta de producción en base a la planta existente, y el cronograma de producción establecido, que es generalmente función de las demandas del mercado, y cambia con frecuencias, a veces diarias....

Por lo general el proceso o planta industrial, junto con todas las conexiones y sistemas de bombeo son fijas, aunque pueden mediante válvulas o conexiones flexibles, habilitarse y/o anularse múltiples uniones entre cada uno de los equipos disponibles. Por ello, lo más importante no es la configuración de los equipos (esta

debe cambiar según cada producto a obtener) sino la receta de producción, que en definitiva la condiciona. Esta indica los equipos, el orden, los tiempos y secuencias para la producción.

Diagrama de Gant (secuencia temporal de tareas)



En el esquema se indica, para cada ciclo de producción o tiempo de bachada, $T_{B1}, T_{B2} \dots$ la secuencia de producción. En nuestro caso, y según esta "receta", en primer lugar se realiza la reacción (con tiempo de reacción R_1), luego el traslado o vertido a la columna de destilación (que aquí se supone instantáneo, al igual que los tiempos de carga de reactivos al reactor, A, B, y R –reciclo–). Otra manera es indicarlos explícitamente o bien incorporarlos en los tiempos de procesamiento de cada etapa /operación. Nótese que se indica con C_1 el tiempo involucrado en la destilación, que comprende en la primera etapa (destilación batch, composición que varía en el tiempo) la producción del componente más volátil (supongamos que los dos productos de la reacción son más volátiles, por lo en este caso, el primer producto es el que en el proceso continuo se extrae por tope de la primera columna -C-, el más volátil de todos); hasta que comienza a agotarse y luego empieza a salir por tope (en fondo no extraemos ningún producto durante la operación, y se van acumulando los pesados residuales en función del tiempo) el otro producto -D- (segundo más volátil).

Una vez verificado que la corriente de tope comienza a contaminarse con los pesados (A y B no reaccionados), debe interrumpirse nuevamente la operación para pasar a habilitar, desde el fondo de la torre, la línea de vaciado del líquido residual. Normalmente, lo que se hace es bombearla al tanque de recirculación TR, para cargar el reactor en el próximo ciclo. Dado que debe intercambiar calor en el intercambiador, aquí se indica la operación (que involucra activar la circulación del otro fluido en el intercambiador) con el tiempo I_1 en la figura.

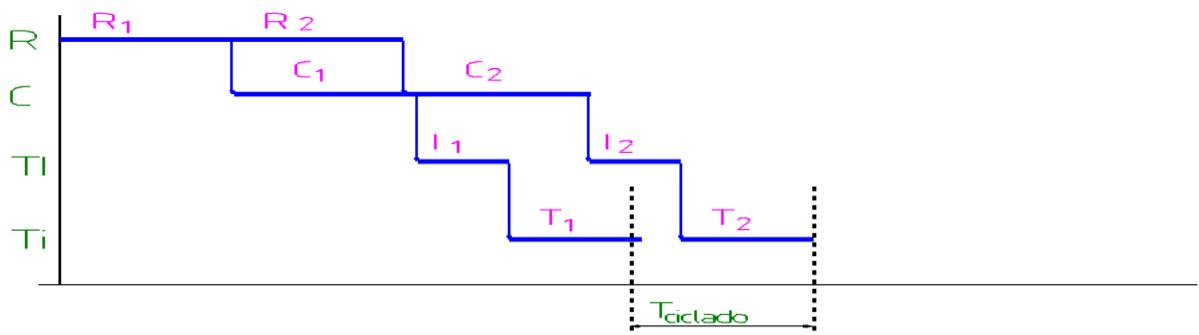
Por último, una vez que se ha cargado el tanque TR, y acondicionado nuevamente los equipos (limpieza si es necesario, verificaciones, etc., tiempo que se indica en el esquema con T) puede habilitarse el otro ciclo.

Comenzamos con la carga del resto no reaccionado del ciclo anterior, para luego llenar el reactor hasta el volumen correspondiente con una mezcla proporcional según diseño de los reactivos A y B para reiniciar el ciclo, tantas veces como sea necesario. Dado que el volumen producido por ciclo de producción es conocido, y la

producción total también, es fácil saber el número de ciclos/bachadas necesarios. Al finalizar, los productos A y B (y parte del reciclo no utilizado, si fuera necesario eliminar parte del contenido del tanque de reciclo TR -recordar la purga en el proceso continuo-), contendrán lo producido y el desecho a lo largo del horizonte de tiempo de producción batch.

Es importante notar que dado que existe el reciclo de la mezcla no reaccionada, a diferencia del proceso continuo, aquí existen variaciones entre cada ciclo de producción. Por ejemplo, en el primer ciclo no existe reciclo, salvo que se disponga una parte acumulada de ciclos anteriores, lo cual no es aconsejable dada la acumulación de inertes. La repetición exacta de las composiciones, temperaturas, caudales en cada ciclo se da a partir de un dado número de ciclos, ya que convergen las cargas y descargas entre cada etapa del proceso batch a lo largo del horizonte de tiempo (y es llamada convergencia a lo largo del horizonte de tiempo de la receta de producción). Por ello, cuando hablamos de control del proceso, debemos tener en cuenta que la calidad del producto (es decir la composición del mismo en las condiciones especificadas por diseño) debe contemplarse al final del ciclo total de producción, en el cual los tanques A y B contienen la acumulación de todas las bachadas, y por lo tanto es la composición del acumulado total la importante, y no la del primero, último, o las bachadas intermedias en particular.

¿Cómo reducir el tiempo de ciclado?. Mediante el solapamiento entre etapas o tareas

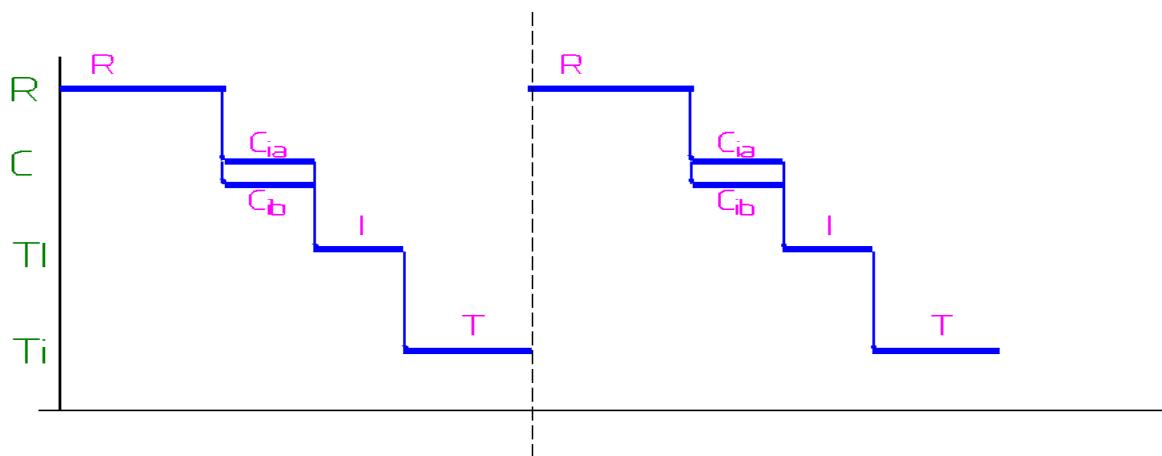


Manteniendo el mismo significado que en la figura anterior, aquí se nota que, dado que el reactor luego de finalizar la etapa de reacción en cada ciclo batch no se utiliza hasta el próximo, puede entonces -incluyendo los tiempos de carga de los reactivos en los tiempos de reacción indicados en la figura-, cargarse nuevamente en forma inmediata. Como se observa, dado que operan independientemente cada uno de los equipos durante la secuencia de bachadas, mientras no se utilice –según el programa de producción- simultáneamente el mismo equipo, tanque, línea de conexión o servicio, el programa de producción es factible.

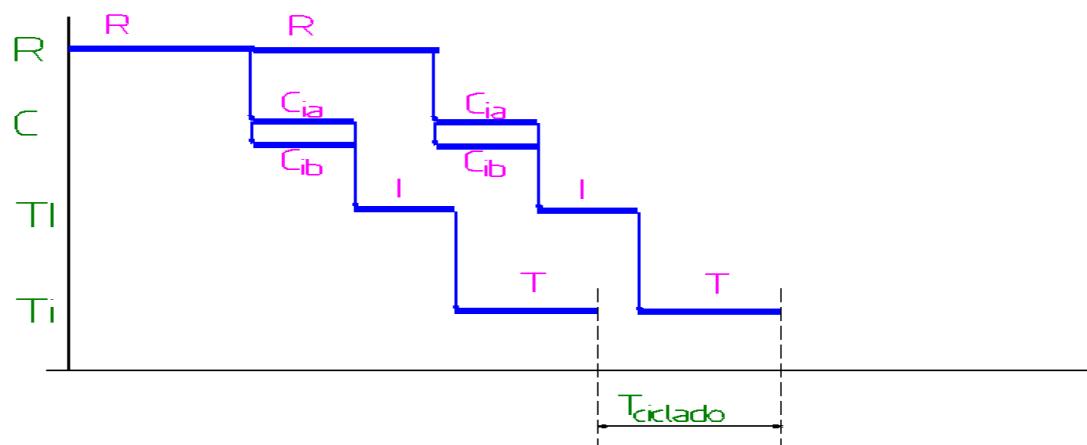
El efecto es complicar la secuencia de operación, pero al mismo tiempo disminuir sustancialmente el tiempo de ciclado (tiempo entre bachadas); y por lo tanto, el tiempo de producción total.

¿Cómo reducir más?. Mediante la utilización de unidades en paralelo:

Si asumimos que la separación es la más consumidora de tiempo, podemos recurrir al expediente de dividir en dos etapas en paralelo la operación de destilación. Obviamente ello implica que en la planta o proceso batch debe de haber disponible una nueva columna, para que ambas alimentadas simultáneamente, procesen en dicha etapa en paralelo el producido por la etapa anterior. En la figura superior se nota claramente que se reduce el tiempo de bachada o ciclado, comparado con la política que no recurre a solapamiento entre etapas.

Con solapamiento y etapas en paralelo

En la figura que sigue se muestra el modo de operación que recurre simultáneamente al solapamiento y operaciones en paralelo en algunas de las etapas del batch (como en la anterior, en la etapa de separación, utilizando dos en paralelo)



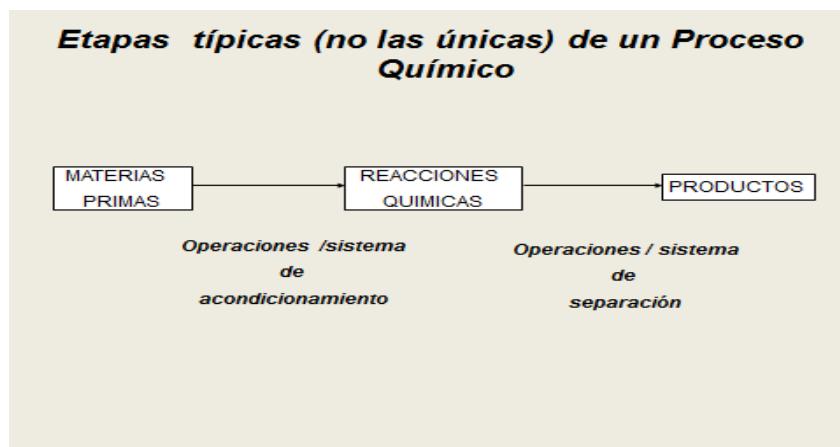
Resulta claro que esta planta arriba analizada es monoproducto, en el sentido que solo produce A y B como consecuencia de la única receta de producción establecida. Sin embargo, al optimizarla en función del horizonte de tiempo para la producción, aprovechando los recursos existentes, también se complica la operación del proceso y se ocupan más equipos/recursos en simultáneo. Mientras se produzca en serie cada campaña (receta de producción), una planta multiproducto no agregaría más complejidad operacional, salvo la multiplicidad de recetas a conocer por los operadores, la lógica de control y procedimientos operativos, etc. Finalmente, no podemos decir lo mismo en un modo de producción multipropósito, ya que al necesitarse superponer el uso simultáneo de los recursos (recetas simultáneas), y complicar los modos de producción para cada caso en particular –optimizando su horizonte de tiempo individual-, se comprende la magnitud del problema de optimización del programa de producción de plantas batch (tiempo del horizonte total de producción de la planta), y de cada uno de los productos / recetas en particular, que además cambia según la demanda puntual de cada producto, con frecuencia variable...

Procesos en Estado Estacionario

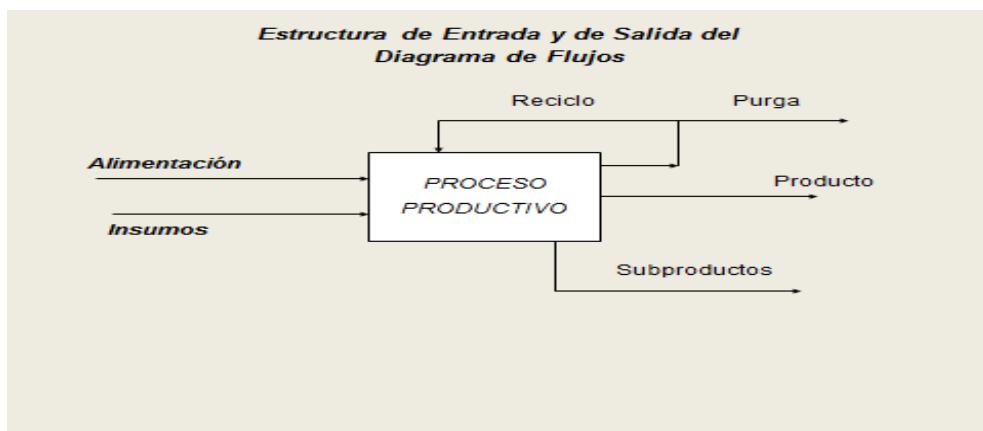
Los procesos más utilizados, dado la escala de producción general, son los estacionarios, ya que de esta forma se reducen costos gracias al factor de escala. Por lo tanto, se recurre a procesos batch cuando no es posible la producción continua. Aquí nos centraremos principalmente en las características típicas de un Proceso Químico continuo y estacionario

En general, un proceso típico al menos debe contemplar el acondicionamiento de las materias primas, las etapas de transformación (por ejemplo reacción química) y acondicionamiento de los productos (purificación, separación, etc).

Proceso Industrial Estructura de Entrada y de Salida



Debe tenerse en cuenta que además de las materias primas (alimentación convencional al proceso), son necesarios un conjunto de insumos y servicios. Se producen además del producto principal otros componentes que pueden ser útiles para la venta (sub-productos) o desechos (que deben ser tratados y acondicionados según la normativa previo al vertido al ambiente).



Pueden también generarse (o provenir con las materias primas o insumos) inertes o impurezas que se acumulan durante la operación del proceso, por lo cual deben tomarse las medidas necesarias para cumplir con las especificaciones de producto, la normativas relativas a los posibles desechos, las restricciones tecnológicas y las normativas generales existentes.

Normalmente deben contemplarse generalmente alternativas tales como corrientes de purga y/o reciclos. Los reciclos son necesarios entre otros motivos para reciclar los reactantes no convertidos, o bien para asegurar la purificación de los productos según las especificaciones requeridas. Pueden existir uno o varios reciclos, por ejemplo cuando se necesita recuperar calor entre una corriente que debe enfriarse con otra que debe calentarse, ahorrando así vapor de calefacción y agua de enfriamiento simultáneamente. Esto además de complicar la estructura del proceso, dificulta la resolución de los balances de materia, energía y cantidad de movimiento, ya que por lo general no podrán resolverse analíticamente, debido a la no linealidad que introducen los cambios estructurales introducidos por los reciclos.

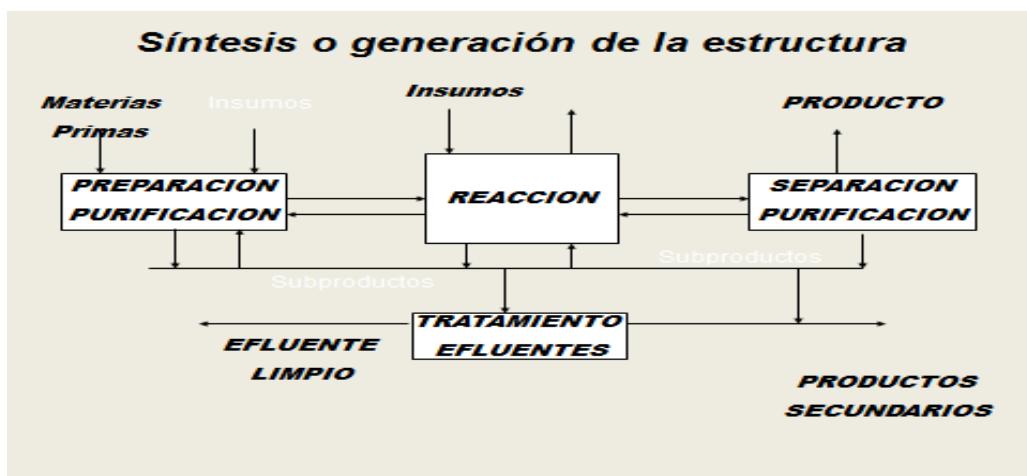
Ingeniería de Procesos

¿Cuál es el mejor proceso (óptimo)?. La respuesta es el objetivo de la tarea de Diseño del Proceso, tarea típica incluída en la ingeniería de procesos. Se plantea un problema complejo ya que debe optimizarse tanto la estructura como las condiciones de operación (T.P, caudales, etc)

Dentro de la ingeniería química existen diversas actividades o especialidades, tales como ingeniería de procesos, operaciones y logística, calidad, seguridad y medio ambiente, mantenimiento, instrumentación control y supervisión, servicios, entre otras.

En particular, todas se enfocan en el proceso, por lo que están íntimamente relacionadas y deben coordinarse. En organizaciones empresariales de cierto tamaño, existen grupos de cada especialidad compuestos por diversos profesionales que trabajan multidisciplinariamente. En general actúan bajo la supervisión de las distintas gerencias, y la gerencia general.

Los procesos, como hemos mencionado, se caracterizan por ser una combinación de equipos (operaciones unitarias) ordenados según una estructura o topología, que involucra la interconexiones entre las unidades de procesamiento y las corrientes que las vinculan, en arreglos de diverso tipo, por ejemplo en serie, serie-paralelo, con o sin reciclos, con repetición o no de ciertas unidades, según cada caso



particular.

En este contexto, diseñar significa:

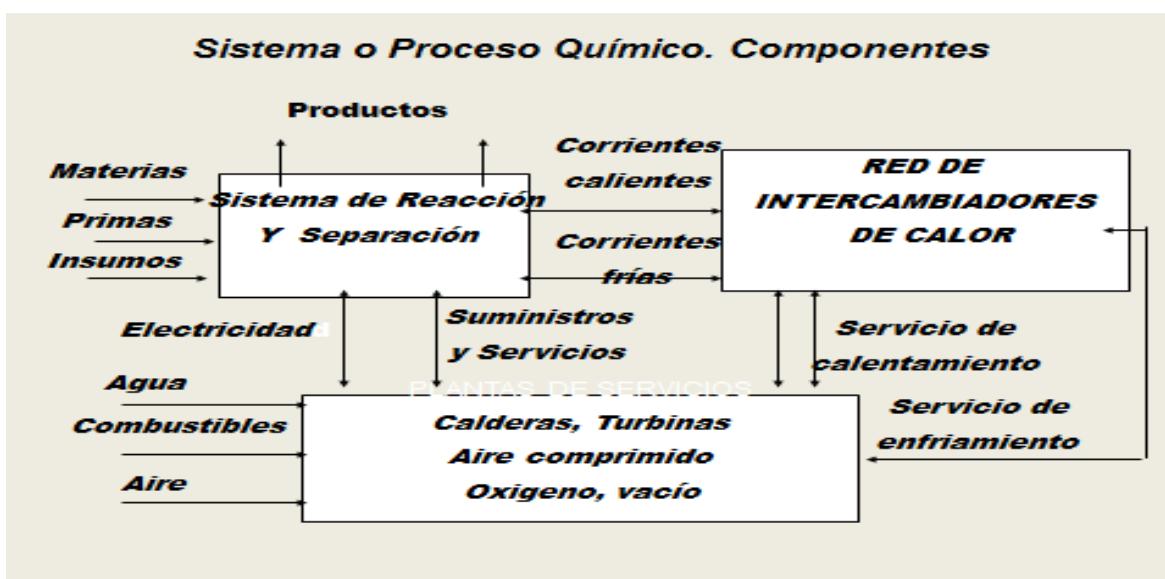
- 1) Proponer las operaciones unitarias necesarias
- 2) Definir una estructura o arreglo para el proceso y las condiciones de operación de cada unidad y del proceso en general

A medida que se seleccione un mayor número de operaciones unitarias (equipos, unidades de procesamiento, dispositivos), mayor será el espacio de alternativas estructurales posibles de definir y que deberían ser exploradas y evaluadas para compararlas y seleccionar la mejor u óptima (actividad llamada evaluación de alternativas). La herramienta utilizada para ello son los simuladores de procesos, que no son otra cosa que un software muy potente que permite, dados los datos necesarios, resolver los balances de materia, energía y cantidad de movimiento correspondientes.

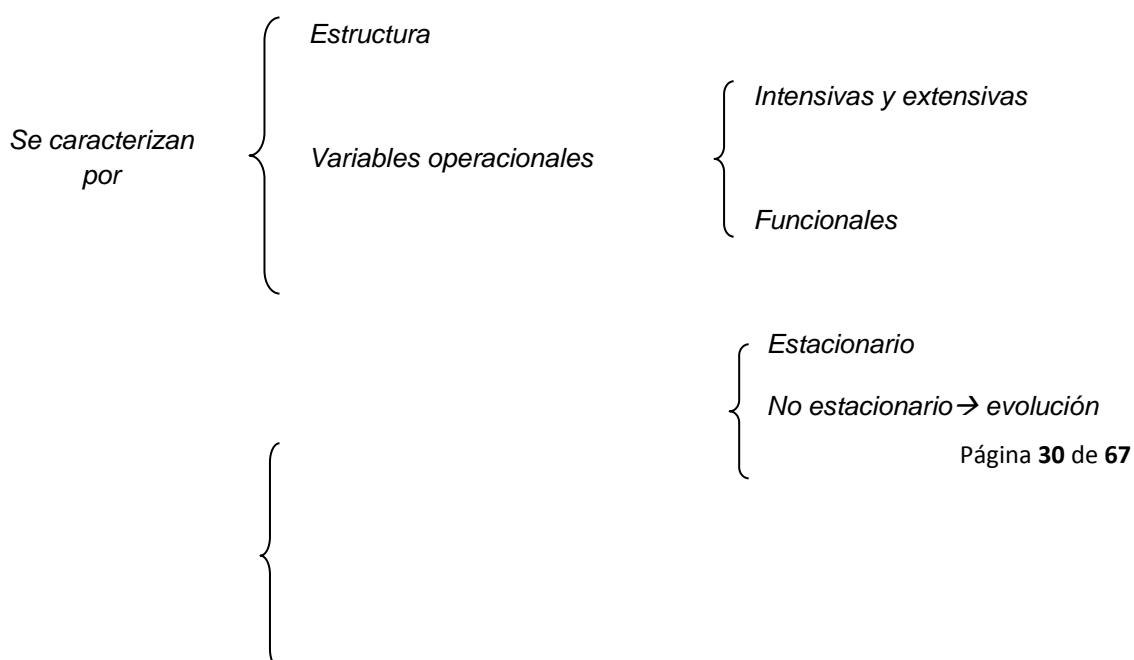
Específicamente, el ingeniero de procesos, en la etapa de diseño de procesos, se involucra en una tarea iterativa que se desarrolla por etapas, comenzando con la síntesis de estructuras posibles para el proceso, siguiendo con la evaluación –

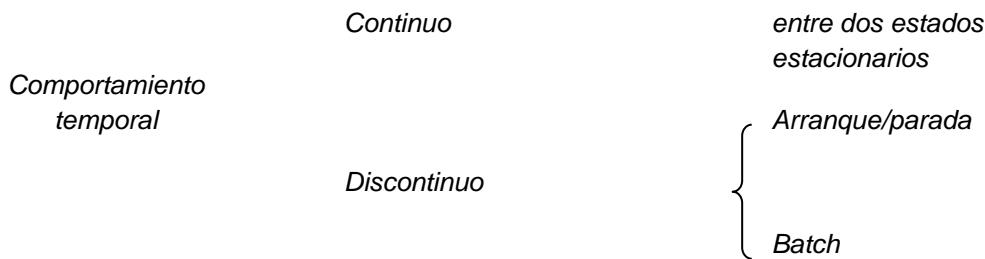
optimización (de la performance de cada estructura propuesta) minimizando costos o maximizando beneficios, para seleccionar la mejor estructura a partir del conjunto de análisis. Cuanto más exhaustiva sea la tarea de síntesis para generar estructuras adicionales, mayor es el número de alternativas evaluado, y mejor será la solución óptima hallada. Claro que también mayor será la tarea de evaluación de procesos alternativos.

Resulta evidente que es necesario contar con herramientas adecuadas para minimizar el tiempo de evaluación y si es posible, para la generación de estructuras, aunque esta tarea es un poco más difícil, ya que la generación es un acto creativo y no es tan fácil automatizar esta tarea mediante un algoritmo computacional. La tarea de evaluar la eficiencia de cada estructura generada se realiza normalmente, en la medida de lo posible, utilizando como se ha mencionado, la herramienta computacional llamada simulador de procesos químicos.



En síntesis, esquemáticamente, podemos entonces esquematizar la caracterización para el modelado de los procesos químicos:



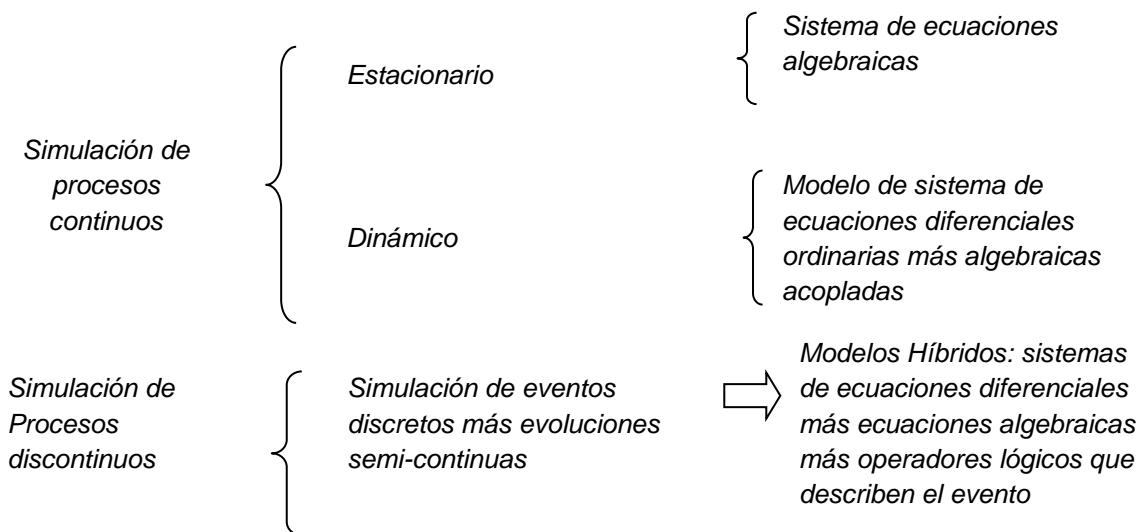


Se define en general,

Tarea de diseño: encontrar la estructura y conjunto de valores (especificar) para las variables operacionales y funcionales que satisfagan un criterio de óptimo y que cumplan con la restricción de sustentabilidad

Simulación: dada la estructura y los parámetros funcionales y valores de las corrientes de entrada al proceso (de manera de cumplir con los grados de libertad de los modelos que lo describen) resolver los balances de materia energía y/o cantidad de movimiento, de tal forma de calcular los valores de las corrientes de salida del proceso, y de todas las intermedias, al igual que los parámetros asociados a cada uno de los equipos.

En cuanto a los modelos asociados a cada equipo y al proceso completo, podemos encontrar, según las características o modos de operación, los siguientes tipos:



El problema se complica si tenemos en cuenta que (según ya hemos comentado), se deben incorporar los servicios, los cuales imponen además nuevas alternativas estructurales, por ejemplo el sistema de agua de enfriamiento, el de generación de vapor, energía eléctrica y potencia, el sistema de provisión de

combustibles, aire comprimido y gases inertes, sistemas de almacenamiento, playones de carga y descarga, puertos -si se encuentra la planta en la ribera de curso de agua-, entre otros. A modo general, y solo para mostrar la magnitud del problema que cada uno de los servicios puede agregar, en las secciones siguientes se exponen resumidamente características de los principales sistemas de utilidades o servicios.

Servicios Típicos

- Agua (proceso, refrigeración, calderas, limpieza, sanitaria, contra incendio)
- Vapor (alta, media o baja presión)
- Condensados, sistema de intercambio y recuperación calórica.
- Fluidos térmicos (aceite, sales, agua, vapor, otros), Sistemas de generación y/o provisión.
- Combustibles (carbón, fuel oil, gas oil, gas natural, otros), sistemas de provisión / almacenamiento.
- Electricidad, Vapor y energía mecánica, provisión, generación, conexiones a la red eléctrica.
- Aire comprimido (instrumentación, servicio)
- Gases (nitrógeno, oxígeno, otros)
- Efluentes (tratamiento "in situ"), distintos tipos de residuos

Esquema indicativo de una estructura general típica de sistemas de generación de vapor, energía eléctrica por cogeneración (turbina de gas y de vapor) y provisión de potencia mecánica (mediante turbinas de vapor)

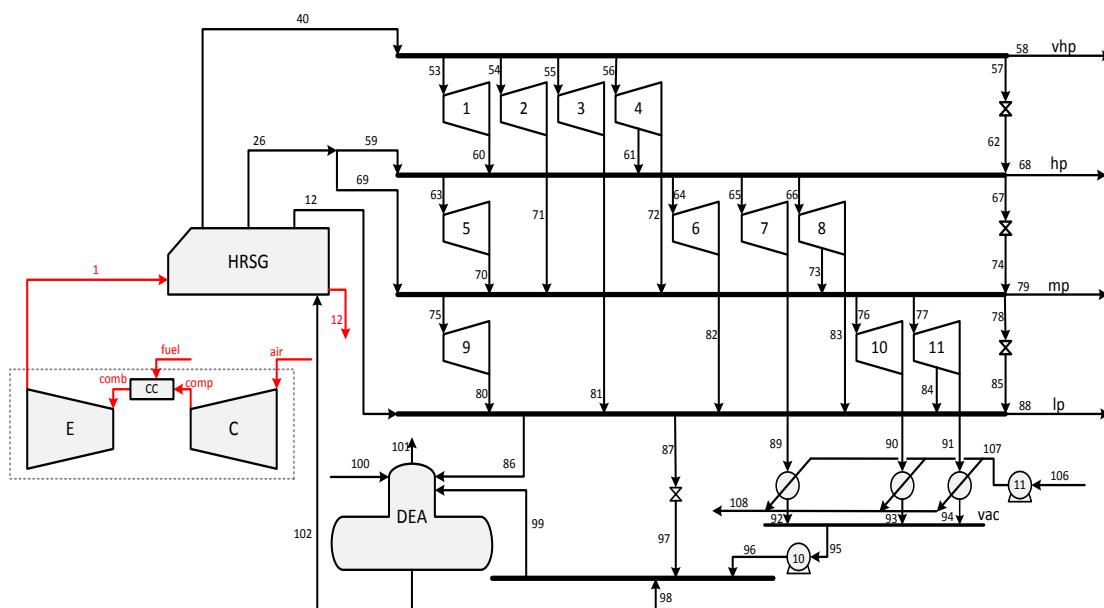
A modo de ejemplo a continuación desarrollaremos someramente algunas características de un proceso típico para la provisión de "utilidades" (vapor, energía eléctrica y potencia mecánica). La tarea de síntesis y diseño de tales sistemas, por ejemplo plantas de cogeneración de energía eléctrica, vapor y potencia mecánica en industrias de procesos; es uno de los problemas más interesantes y a la vez complejos de resolver debido a los diferentes trade-offs (contraposiciones) existentes entre las principales variables de tales sistemas.

En la literatura específica relacionada con la optimización de procesos químicos e industriales, se pueden encontrar diversos trabajos que abordan el estudio de configuraciones y condiciones de operación de sistemas de utilidades/servicios aplicando diferentes metodologías de resolución, considerando distintos casos de estudio y asumiendo diferentes hipótesis de modelado como así también niveles de detalles en la descripción de los equipos.

En la figura se presenta una estructura generalizada que incluye un ciclo combinado (equipos E y C) para la generación de energía eléctrica quemando gas natural, como parte de una planta de generación de servicios auxiliares (electricidad, potencia mecánica y vapor). Todos estos sistemas poseen al menos un recuperador de calor (gases de escape de la turbina de gas) para la generación de vapor. Este puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica (moviendo una turbina acoplada a un generador) o bien expandiéndolo en una turbina cuyo eje está acoplado a un motor (potencia mecánica). En general el vapor se genera a distintos niveles de

presión (uno a cuatro niveles de presión), siendo lo más común en plantas industriales tres niveles, y el menos común uno (por su ineficiencia).

En la figura el recuperador de calor (HRSG –Heat Recovery Steam Generator-) cuenta con cuatro posibilidades o niveles de presión. En general se recurre al recalentamiento de vapor para mejorar la eficiencia del sistema.



Estructura general indicativa de las alternativas posibles para una planta de servicios auxiliares.

En el esquema, se incluyen los distintos niveles de presión (muy alto -en la figura vhp o very high pressure-, alto -hp- medio -mp- y bajo -lp-) y diversas turbinas de vapor (numeradas de 1 a 11) a los efectos de proveer los requerimientos de vapor de intercambio de calor y vapor húmedo para las necesidades del proceso. Obviamente se incluyen a modo indicativo, ya que en el diseño final solo se adoptarán las necesarias para cubrir las demandas en el nivel de presión que corresponda y a las condiciones de operación que minimicen el costo de operación, según cada caso específico.

En cuanto a los otros equipos, siempre es necesario un desaireador (en la figura DEA), bombas para el movimiento de condensados y las alimentaciones, y condensadores correspondientes a las distintas corrientes de vapores de cada nivel de presión. Existen además las válvulas necesarias para los flujos de los fluidos en cada cañería. En particular, siempre se ubican válvulas para permitir la reducción de presión y el paso de vapor (para balancear las presiones en cada línea de vapor) entre las líneas de muy alta, alta, baja y muy baja presión, de existir, lo cual en principio es siempre necesario en la operación de cualquier proceso para balancear en cada tiempo las presiones correspondientes en cada línea de vapor.

En general, se contemplan en esta estructura generalizada diversos tipos de turbinas, según los modos de operación posibles:

1. *Turbina de contrapresión descargando a media presión,*
2. *Turbina de contrapresión descargando a baja presión,*
3. *Turbina de contrapresión descargando a media y baja presión,*
4. *Turbina de condensación,*
5. *Turbina de condensación con extracción de vapor para nivel de media presión,*
6. *Turbina de condensación con extracción de vapor para nivel de baja presión*

Nuevamente, en un diseño específico, y según las especificaciones y necesidades, solo algunas serán adoptadas en el diseño (son las adecuadas para cada caso particular). Pueden de igual manera ubicarse motores eléctricos o impulsados con vapor (descarga de una turbina de vapor) para satisfacer parcial o totalmente las demandas de potencia requeridas.

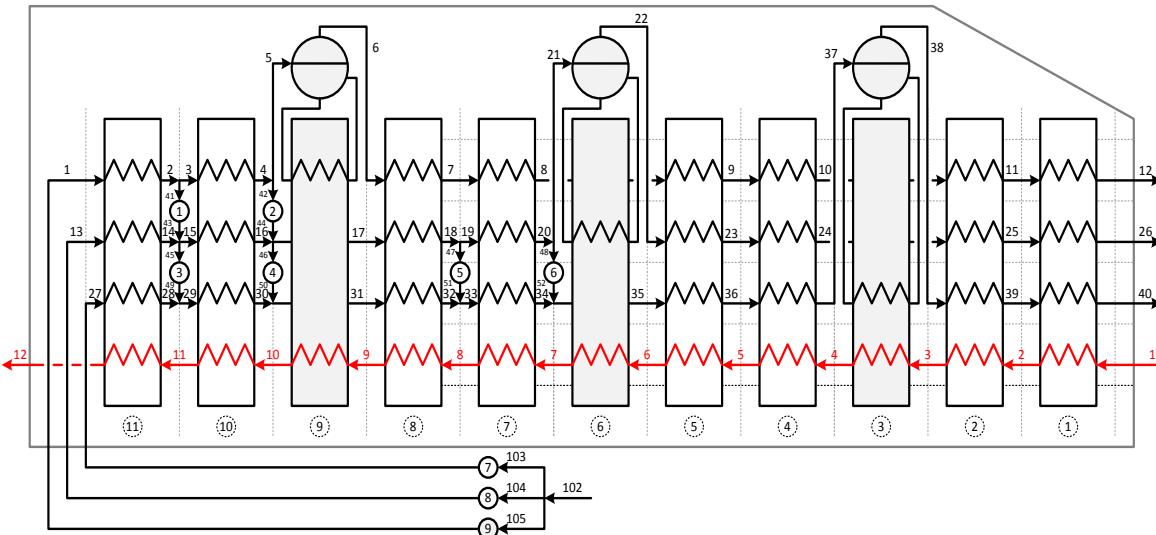
Este es justamente el problema de diseño, seleccionar la mejor opción entre todas las posibles. Es necesario determinar el número de calderas convencionales y turbinas de vapor considerando como función objetivo la minimización del costo total de operación. Las calderas deben ser modeladas en forma rigurosa considerando por ejemplo correlaciones para tener en cuenta la variación del coeficiente global de transferencia y las curvas de cargas-eficiencia en cada una de las calderas. También es necesario seleccionar las condiciones de presión y temperatura de los cabezales en las líneas de muy alta, alta, media y baja presión considerando como decisiones discretas equipos candidatos tales como motores eléctricos y turbinas de vapor.

En este caso se supone que el vapor es generado solamente a través del HRSG (a diseñarse para generar vapor a todos los niveles de presión) mediante la descarga de los gases de la turbina de gas del ciclo combinado (se llama así debido a que la energía eléctrica demandada se produce parte por la turbina de gas y parte por una o más turbinas de vapor que impulsan los correspondientes generadores asociados).

Se debe determinar no solo la configuración óptima, en especial la de HRSG, sino la del sistema en general (disposición de cada tipo de turbinas y válvulas de expansión). El problema que se propone resolver puede definirse de la siguiente manera: Dado un conjunto de demandas de vapor, energía eléctrica y potencia mecánica (parámetros del problema), seleccionar la configuración óptima a partir de considerar todas las alternativas que se encuentran embebidas en ambas figuras (una general y la otra representando la estructura interna del HRSG); y determinar las condiciones de operación y tamaños de los equipos, de tal manera que el consumo de combustible requerido por la turbina de gas resulte mínimo, o el costo total resulte mínimo.

Nótese que las demandas del proceso (que no están incorporadas en el diagrama) surgen de los balances de materia y energía que se resuelven en general en una etapa previa. Se disponen luego las demandas de energía térmica, eléctrica, mecánica, entre otras; a satisfacer mediante compra a la red de provisión eléctrica y/o

mediante generación propia, al igual que el vapor para calefacción. También debe optarse entre motores eléctricos, o en su defecto movidos por turbinas a vapor, según convenga en el diseño.



Desarrollo de las posibles estructuras para el HRSG indicado en la planta de servicios auxiliares.

Si bien la elección de cada alternativa estructural parece complicada, existen para cada tipo de operación o sistema, una serie de guías o heurísticos (principios genéricos) que permiten postular o fundamentar decisiones. Por ejemplo, la planta de servicios auxiliares debe satisfacer una demanda de electricidad y/o varios requerimientos de potencia mecánica. En general la potencia mecánica debe ser producida por una única turbina de vapor mientras que la generación de electricidad puede ser fruto de varias turbinas de vapor junto con la de gas (pueden sumarse sus potencias generadas). Es decir, si una turbina de vapor debe satisfacer una demanda de potencia mecánica su potencia debe ser exactamente la solicitada. Esto nos permite identificar el tipo de turbinas a ubicar, y su número, según las opciones que se van adoptando.

Por otra parte, en los casos del vapor, no conviene sobredimensionar la producción en los niveles superiores, ya que luego deberán pasar al nivel inferior expandiéndose en válvulas, sin producir trabajo alguno. Es conveniente el paso previo por una turbina para generar electricidad o bien para mover un dispositivo o motor.

Resulta muy importante, para la selección del tipo o estructura del sistema de generación de servicios a diseñar, el proceso al cual se acopla. Por ejemplo, no es lo mismo plantas con excedente de energía que aquellas con déficit. Es necesario considerar que para los procesos con reacciones exotérmicas, con mucha energía excedente, o debe utilizarse mucha agua de enfriamiento, lo cual tiene un costo, o bien se aprovecha dicho calor excedente para generar vapor para luego alimentar un sistema de generación como el de la figura. Esto también sucede en plantas de papel, o de caña de azúcar (quema de residuos como el bagazo, o madera, etc), entre otras. Por el contrario, en plantas donde se consume mucha energía eléctrica, el problema

está en el costo de generarla o comprarla a la red. En el caso de generación, debe diseñarse el sistema.

Debe notarse además, que en todos los casos, toda energía calórica en exceso debe luego ser degradada en el proceso, por lo que deberá utilizarse el sistema de enfriamiento. Esto implica un costo de combustible y otro de enfriamiento. Existen técnicas de análisis termodinámico del proceso para minimizar simultáneamente el gasto de vapor y otros fluidos de calentamiento y el gasto de agua y otros fluidos de enfriamiento. Esto se consigue maximizando el intercambio entre las corrientes de proceso, en los llamados sistemas de intercambio calórico, o redes de intercambio calórico del proceso. En particular, todas las corrientes en el proceso que deben enfriarse (llamadas corrientes calientes) y las que deben calentarse (llamadas corrientes frías) deben primero agotar el intercambio entre sí, para luego utilizar vapor o agua de enfriamiento.

Sistemas de Servicios de Enfriamiento

Los servicios de enfriamiento en procesos industriales pueden ser de diversa índole, en particular dependiendo del nivel de enfriamiento requerido. Mientras pueda utilizarse agua, por ser más barata, se habilitan circuitos con agua tratada adecuadamente. En general se utilizan torres de enfriamiento para enfriar el agua luego que ésta intercambie calor en los intercambiadores, enfriando las respectivas corrientes que deben ser acondicionadas por necesidades del proceso. Se pueden citar reacciones exotérmicas, acondicionamiento de productos, condensación de vapores en los topes de las columnas de destilación para producir el reflujo necesario para la separación, entre otros servicios.

El acondicionamiento del agua implica, luego de tomarla de los cursos linderos (ríos, lagunas o bien de pozo si no existen estos recursos) el filtrado, la floculación y decantación, y según el servicio requerido (por ejemplo para aguas de calderas debe demineralizarse), se deben realizar otras operaciones de acondicionamiento. Para evitar problemas por contaminación biológica, en particular en la torre de enfriamiento, se debe además adicionar una serie de aditivos al circuito de agua de enfriamiento. Esto implica, en principio, diseñar un circuito de agua de enfriamiento que como mínimo disponga de la toma de agua, la torre de enfriamiento (uno o varios cuerpos, de tiro forzado o natural, entre otras alternativas), los sistemas de acondicionamiento y de incorporación de aditivos mencionados; y obviamente, el sistema de intercambiadores de calor en los cuales el enfriamiento de las corrientes de proceso es realizado.

En general, esto define una red de intercambio calórico, en la cual todas las corrientes de proceso que lo necesiten intercambian calor con las corrientes de agua de enfriamiento. Dado que la temperatura a la que regresa el agua de enfriamiento es superior a la ambiente, la disponibilidad de agua a temperatura adecuada para el enfriamiento depende del buen funcionamiento de la torre, lo cual implica que está limitada a la temperatura que logre la misma, que depende de la estación del año - temperatura, humedad, presión- ya que el agua caliente que retorna del proceso se enfria en la torre intercambiando en contracorriente con una corriente de aire.

Al salir de la torre de enfriamiento la corriente de agua a temperatura adecuada debe ser impulsada a la red de intercambiadores, diseñada de tal forma que flujos y temperaturas intermedias sean las requeridas para lograr temperaturas adecuadas para el intercambio en cada corriente del proceso. Pueden bifurcarse corrientes, entre otras alternativas estructurales para lograr el enfriamiento requerido aún en las peores condiciones (verano, humedad y temperatura máxima en el ambiente) con el agua tratada en la torre de enfriamiento.

Si esto no es posible, por ejemplo por el nivel de temperatura requerido por algunas de las corrientes a enfriar, debe recurrirse a fluidos de enfriamiento especiales. Por ejemplo salmueras, que al agregar sales tienen un punto de congelamiento menor, y se puede entonces bajar la temperatura por debajo de los cero grado centígrados. Es necesario obviamente un sistema de refrigeración para lograr las temperaturas adecuadas. Si es más bajo el nivel requerido, puede recurrirse a circuitos de refrigeración con amoníaco. Si el nivel solicitado fuera más bajo aún, por ejemplo en la industria petroquímica, donde para la obtención de metano, etano o etileno deben en los topes de las torres de destilación lograrse temperaturas de -40 grados centígrados o menores, debe recurrirse entonces a hidrocarburos con adecuado punto de congelamiento, tales como etano, metano, etc. Por lo tanto, los sistemas de refrigeración o enfriamiento son complicados de diseñar ya que constituyen una parte importante del costo operativo y de inversión en el proceso, por lo que deben optimizarse, y además, modelarse rigurosamente para minimizar los errores de estimación.

Diseño Sistémico de Procesos. Ingeniería Sistémica de Procesos

En general, ya sea para un proceso, o para sus sistemas de provisión de servicios, la evaluación de cada alternativa implica resolver los balances de materia, energía y cantidad de movimiento. Esto permite verificar consumos energéticos, desechos, flujos de materiales y productos, y por lo tanto, el pre-diseño de equipos para estimar su costo de inversión.

De esta manera, se logran los datos para calcular los costos de operación y de inversión, y por lo tanto, la rentabilidad y el tiempo de recuperación de la inversión. Luego, se puede comparar las distintas alternativas posibles para el proceso en función de su tasa de retorno de la inversión. Por lo tanto, es posible, si se cumple con todas las restricciones legales y tecnológicas, seleccionar la solución (alternativa o estructura para el proceso) de menor tiempo de repago (o mayor rentabilidad) como base para el diseño definitivo.

De esta manera se finaliza la ingeniería conceptual para comenzar la ingeniería de detalle. Las tareas descritas más arriba conforman la llamada ingeniería conceptual. Se estiman con cierto margen de error los valores de los flujos, energías intercambiadas, temperaturas y composiciones de todas las corrientes que se involucran en el proceso, para la alternativa estructural o diagrama de flujos seleccionado para el proceso; así como también las fuerzas impulsoras y los consumos de energía involucrados en cada equipo. También se realiza un pre-diseño de los equipos y de los sistemas de almacenamiento, las cañerías y accesorios,

sistemas de bombeo, provisión de servicios y los sistemas de control, instrumentación y sistemas de supervisión, seguridad, mantenimiento, etc.

A partir de este punto, ya seleccionada la alternativa definitiva, se comienza con la consolidación de la ingeniería, profundizando y detallando el diseño de cada equipo, afinando los resultados para minimizar el error de estimación y por lo tanto los costos que se calculen. Se incorporan los detalles tales como dimensiones, accesorios, fundaciones, soportes, tipos de materiales, instrumentación detallada para el control, espacios para ingreso – egreso, dispositivos para la puesta en marcha y parada, para la toma de muestras, entre otros aspectos; para realizar la ingeniería de detalle, que es la base para la construcción de cada equipo y de la planta, y la guía para su posterior puesta en marcha y funcionamiento.

Es decir, se generan una serie de planos que evolucionan (según la etapa de diseño y grado de avance) conteniendo mayor información y detalles constructivos, desde el diagrama de flujo del proceso hasta una serie de planos detallados llamados P+I+D (diagrama de proceso, cañería e instrumentos). También se definen una serie de documentos tales como manuales de operación, de puesta en marcha, de control y supervisión, entre otros.

En la próxima sección se describirá en forma sucinta los distintos tipos de procesos químicos en función de la rama de producción asociada. Es sabido que existen un número muy grande de posibles procesos para obtener cada producto. Además, existen muchos (y cada vez más) productos en el mercado, creciendo su número exponencialmente debido a la innovación permanente.

Esto implica que es imposible enumerar y analizar cada caso particular, sino que se impone una visión sistemática de la ingeniería de procesos. En particular, rescatar los elementos comunes y los principios generales de diseño asociados a tales elementos, desde un punto de vista sistemático.

Hemos comentado que la tecnología se crea (innovación), se proyecta (diseña), se adapta, se compra, se vende, se selecciona. Hemos mencionado además la necesidad de un procedimiento sistemático de diseño, y herramientas adecuadas para realizarlo. Es por ello necesario definir los formalismos y documentos asociados que se esperan como resultado de tal tarea.

¿Cómo se “adquiere un proceso químico?

¿Será un listado, una idea, o bien el diagrama de flujos, y los P+I+D junto a toda la documentación descriptiva?.....

Cuáles son las etapas o fases de un proyecto para la instalación de una planta nueva? ¿se compra solo el “proceso”, planos, know-how, o también la planta y su instalación, con puesta en marcha o sin ella?

Puede ser que el vendedor solo transfiera los planos y manuales por un lado, y la construcción sea realizada por la empresa compradora, o encargada a un tercero?

Cómo se comunican entre sí?.

Cuál es la documentación oficial que se adopta?

En general, los siguientes son documentos típicos asociados a la caracterización y definición de una tecnología o proceso químico:

- Manuales descriptivos del proceso
- Manuales de su operación
- Manuales descriptivos de la Instrumentación y control
- Documentos de descripción y datos de equipos
- Manuales de puesta en marcha y parada y modos de operación del proceso
- P+I+D (diagrama de procesos, cañerías e instrumentos)

Caracterización y Representación de Procesos Industriales

Hemos visto que en la etapa de diseño conceptual y de detalle, se van generando distintos tipos de planos y documentos.

¿Cómo se representa un proceso químico?

Por planos que tienen distintos grados de complejidad y de profundidad de detalle (información del proceso). Existen distintos niveles o tipos de representaciones, asociadas a la etapa de diseño del proceso:

Diagramas en bloques

Diagramas de Flujo

Diagrama de proceso, cañerías, instrumentos (P&ID o P+I+D)

Diagrama Isométricos (cañerías y equipos)

Debe tenerse en cuenta que es imposible confeccionar los planos y documentos aquí referenciados (excepto el diagrama de bloques más sencillo) sin completar la etapa de síntesis y luego la simulación y análisis (optimización) del proceso, finalizando la etapa de la ingeniería conceptual (flowsheet o diagrama de flujos); y por último, agregando más detalle al diseño, al completar la ingeniería de detalle, se logra la confección de los P+I+D.

En la figura se indica la secuencia de tareas de diseño en la ingeniería de procesos.

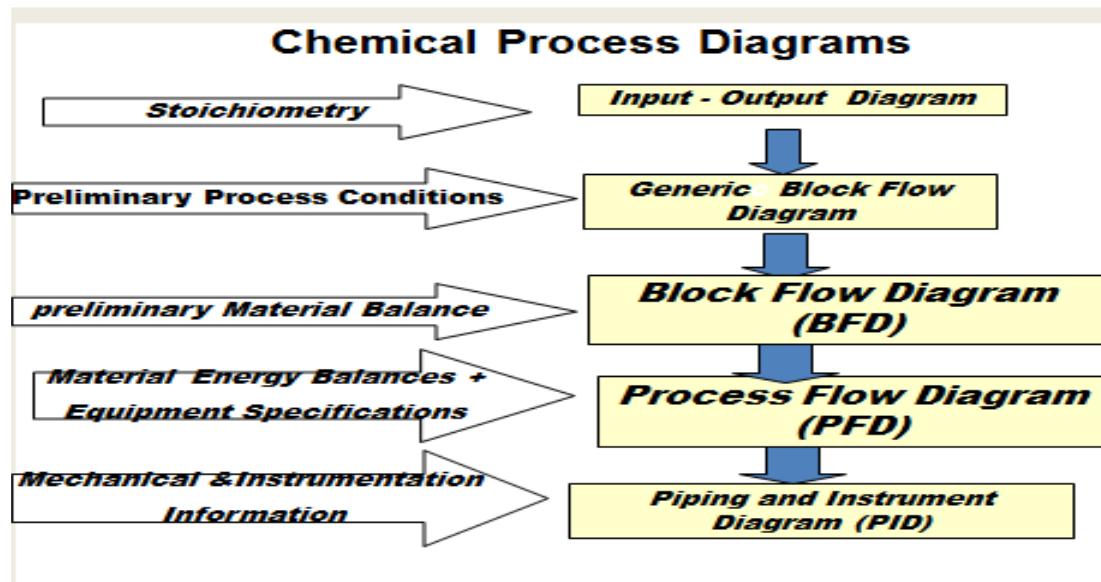


Diagrama en Bloques. Algunas Convenciones para los Diagramas de Bloques

Operaciones: se representan por bloques

corrientes de flujo principal: se representan por líneas orientadas en la dirección del flujo

Flujos: desde izquierda a derecha del diagrama

corrientes gaseosas: en la parte superior del diagrama,

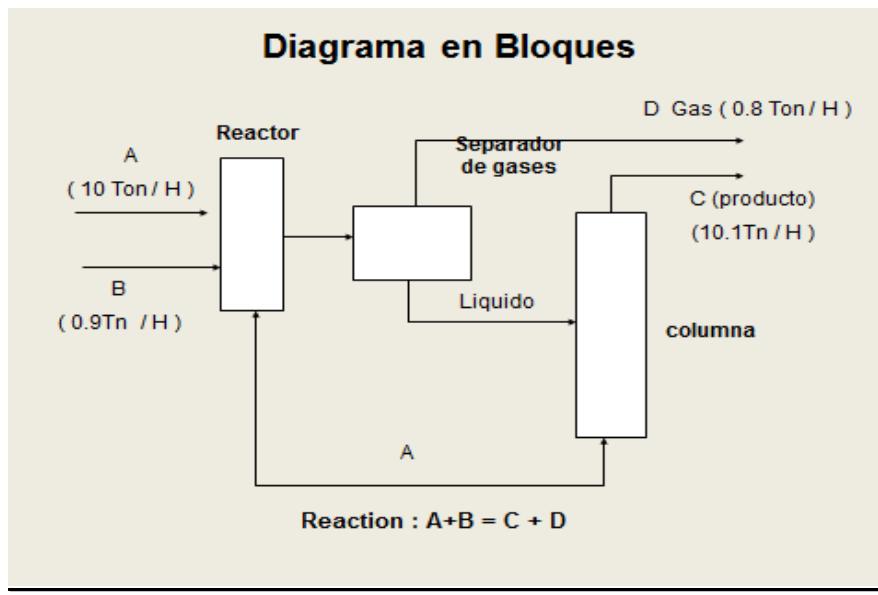
líquidos o sólidos: parte inferior (segregar por densidad).

Se incluye la información crítica para entender el proceso

Si las líneas se cruzan, las horizontales se mantienen y las verticales se cortan

Se incluye un balance de masas y energía simplificado en forma de una tabla.

Ejemplo típico de procesos representados mediante diagrama de bloques

**Diagrama de flujos de procesos. Algunas Convenciones**

Se deben representar todas las corrientes de servicios (vapor, aire, calefacción, etc.)

Indicar todos los servicios y las líneas asociadas. *Condiciones*

Se deben representar los lazos de control básicos que aseguran la estabilidad de las condiciones del proceso durante la operación normal. Definir las estrategias básicas de control, e indicar los lazos. *Identificarlos*

Se representan todos los equipos junto con su descripción. Numerarlos/codificarlos e identificarlos

Numerar / identificar las corrientes de proceso

Incluir las condiciones (temperatura, presión, flujos) y composición química ya sea en el diagrama o en una tabla adjunta.

A continuación se muestra un ejemplo de diagrama de flujos típico.

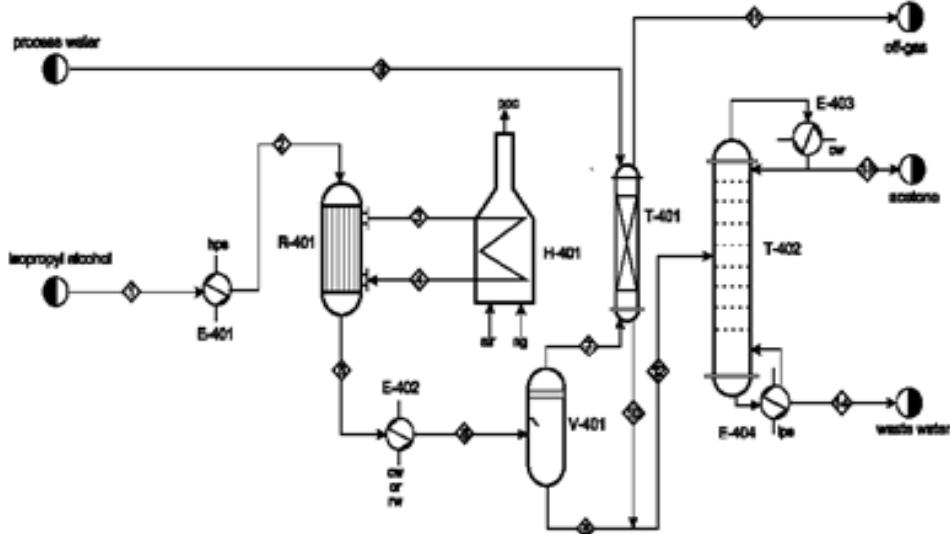


Figure 1: Process Flow Diagram for Acetone Production from Isopropyl Alcohol (Unit 400)

Diagrama P&ID. Algunas Convenciones

Los planos P&ID's representan el último paso en el diseño del proceso

Se parte del diagrama de flujo finalizado y definitivo del proceso

Los P&ID's son el documento principal, clave, para la construcción y operación de los procesos. La fuente de datos, además del diagrama de flujos del proceso, son la lista de instrumentos, la lista y detalle de todos los equipos, el piping y los isométricos, entre otros.

Son planos fundamentales para el análisis de peligros y riesgos (HAZOP), el arranque y parada, las operaciones rutinarias del proceso, para diagramar el mantenimiento, etc.

Error que se incorpore en el P&ID's puede trasladarse al diseño, construcción y operación del proceso.

Los P&ID incluyen los detalles y aspectos mecánicos relevantes de la planta.

Para cada plano (diagrama de flujo del proceso) pueden surgir (dado el grado de detalle) varios P&IDs.

Convenciones para la construcción de los P&IDs

Para los equipos debe mostrarse cada detalle incluyendo
Unidades en spare
Unidades en paralelo
Detalles relevantes de cada unidad

Para las líneas deben incluir detalles y drenajes, puntos de muestreo, conexiones, y deben especificarse:
tamaño (usar tamaños estándar)
schedule (espesor)
materiales de construcción
asilamiento (tipo y espesor)

Para los instrumentos especificar:
Indicadores
Registradores
Controladores
Líneas de instrumentos

Para las utilities identificar:
Entradas de las líneas de servicios
Líneas de salidas de servicios
Líneas de salida de los desechos y diagramas de las plantas de tratamiento

Procedimiento para la construcción de los P+ID's
Se comienza con los Diagramas de Flujos del proceso definitivamente aprobados y oficiales
Se debe tomar como referencia cada equipamiento mayor o principal en un plano separado.
Asignar a cada ítem un código o tag, por ejemplo si asignamos a los tanques la identificación T, al primer tanque podemos codificarlo como T-1
Desarrollar todas las líneas del flow sheet, y agregar las que correspondan al grado de detalle del P+I+D.
Ubicar las corrientes que entran desde la izquierda y desarrollar el plano hacia la derecha, ubicando allí las corrientes que salen
Asignar números / códigos a cada fuente, línea, plano, para establecer las conexiones entre cada uno.
Asignar en el plano para cada línea las características correspondientes (por ejemplo la primera línea desde el tanque T-1 puede ser codificada T1-1-3"-CS, la segunda T1-2-6"-316SS). Aquí vemos el espesor y el material, además de la codificación de la línea.

Es importante que el plano contenga como mínimo
Número / identificación de cada corriente/línea
Temperatura (°C)
Presión (bar)
Fracción vapor
Flujo total másico (Kg/h)
Flujo molar total (Kmol/h)
Flujo molar para cada componente (Kmol/h)

Muchas veces se incorpora además:

Fracciones molares de los componentes

Fracciones mísicas de los componentes

Flujo volumétrico

Propiedades físicas (densidad , viscosidad...)

Datos termodinámicos (calor específico, entalpía...)

Los planos P&ID son la última etapa del diseño y sirven como guía para quienes tengan que habilitar el diseño final y quienes toman a su cargo la construcción de la planta. En base a los planos P&ID:

Los ingenieros mecánicos y civiles diseñarán e instalarán las fundaciones y los equipos

Los ingenieros de instrumentación y control especificarán, instalarán y comprobarán el funcionamiento de los sistemas de control y los sistemas asociados

Se desarrollarán los sistemas de cañerías, los de bombeo, los isométricos, los diagramas en planta y los distintos cortes, y el layout de planta.

Algunos procesos

Químicos típicos

Existen numerosos tipos o “clases” de procesos en la ingeniería química. En general, puede clasificarse distintas ramas de la misma, tales como aquelloso derivados de la química inorgánica, orgánica, biológicos, alimenticios, entre otros. A continuación mencionaremos algunos procesos típicos, a modo informativo.

Procesos asociados a la química inorgánica

- Producción de sales, ácidos. Carbonato de sodio y otras sales, ácidos y bases
 - Minería, siderurgia, metalurgia. Acero y aleaciones, metales
 - Elementos puros, tales como Hidrógeno, cloro, oxígeno, otros....
 - Materiales tales como: cemento, cerámica, vidrio.....
 - Papel y celulosa
- Electroquímica industrial. Proceso de obtención de cloro e hidróxido de sodio, entre otros*

Procesos Químicos asociados a la Química Orgánica

- Petróleo y Petroquímica: Combustibles (nafta, diesel, gas natural, gasolina) lubricantes y derivados petroquímicos, asfalto, pigmentos,
 - Explosivos , Detergentes y jabones, Pinturas y pigmentos.
 - Plásticos , Textiles y Fibras sintéticas
-

Alimentos. Industrias de Procesos Químicos

carnes, bebidas, harinas y aceites,
Pesquera (harina y aceite de pescado, conservas, etc.)

.....
Biológicos, farmacéuticos y ambientales

Tratamiento de agua, efluentes y residuos
Biotecnología:
Fármacos
Química fina
Química de las especialidades
Oleoquímica (biomasa)
Nuevos materiales

.....
La Industria del Petróleo. Industria de industrias

Formación del petróleo y el gas natural

La formación tanto del petróleo como el gas es un proceso lento, natural, principalmente a partir de grandes cantidades de microorganismos acuáticos que luego de su muerte quedan atrapados entre los sedimentos del fondo de estuarios y pantanos, en un ambiente muy pobre en oxígeno.

Cuando estos sedimentos son cubiertos por otros que van formando estratos rocosos que los recubren, aumenta la presión y la temperatura y, en un proceso poco conocido, se forman el petróleo y el gas natural.

El gas natural se forma en mayor cantidad cuando las temperaturas de formación

son más altas.

El petróleo y el gas, al ser menos densos que la roca, tienden a ascender hasta quedar atrapados debajo de rocas impermeables, formando grandes depósitos.

La mayor parte de estos combustibles se encuentran en rocas de unos 200 millones de años de antigüedad.

Características de la industria petroquímica

- Es una industria que involucra multiplicidad de profesionales, ya que convergen muchas disciplinas para desarrollar tecnologías aptas y competitivas. Entre otros, podemos citar Geólogos, Geocientíficos, Ingenieros en perforación, Ingenieros de producción, Ingenieros en yacimientos, Químicos e ingenieros químicos, Ingenieros civiles, Ingenieros eléctricos, Ingenieros estructurales, Economistas, Ingenieros en medioambiente, Expertos en informática...
- La Industria del Petróleo explota un recurso no renovable, se extingue, aumenta de precio en función de su disponibilidad.....
- Es contaminante, ambientalmente riesgosa, tecnológicamente debe minimizarse el riesgo de accidentes mayores
Si se analiza la cadena de valor asociada a esta industria, podemos citar grandes segmentos tales como la Exploración, Explotación, Refinación, industria petroquímica en general, y Transporte
- Intensiva en Capital
- Intensiva en Tecnología
- Escalas económicas de producción grandes (commodities). Una especificación de producción típica es de 500.000 ton/ano
- Grandes inversiones en plantas productivas de alta capacidad

Mitos de la Industria petroquímica

- 1) El mundo se está quedando sin petróleo y sin gas.
"En 10 a 15 años se presentará una crisis petrolera de gran magnitud en donde los Países Árabes serán poseedores del 75% de las reservas petroleras"

Falso, existen muchas reservas, además puede recurrirse a la GASIFICACION DEL CARBON. Existen para ello muchas tecnologías en desarrollo. Además irrumpieron los recursos no convencionales, que prácticamente determinan un exceso de oferta y aseguran provisión por más de dos siglos, si se considera gas, carbón y petróleo.....

- 2) La Industria petroquímica genera mucha contaminación, y deben acoplarse procesos de tratamiento de efluentes importantes. Emiten SH₂ y CO₂, además de otros contaminantes, por lo que su futuro está cada vez más comprometido.
Falso. La contaminación por el quemado de combustibles fósiles no está solo relacionada a los países desarrollados; los que están en vías de desarrollo difieren mucho en cuanto a sus fuentes de energía y en su consumo medio de energía per cápita. La fuente suplementaria de energía más importante para los países en vías de desarrollo es la biomasa potencialmente renovable, especialmente la leña y el carbón

de leña (distintas fuentes de energía comercial dominante en los países desarrollados y en vías de desarrollo). Esto genera cuantiosos problemas de contaminación y de equilibrio en el ecosistema global.

Cambios en el consumo de fuentes de energía comercial en EEUU desde 1850 demuestran que el cambio de la madera al carbón y después del carbón al petróleo y al gas natural han llevado unos 50 años en promedio por cada uno de ellos.

La quema de combustibles fósiles es la causa principal de polución del aire y del calentamiento previsto de la atmósfera. Si bien estamos en el proceso de realizar nuevo cambio en nuestros recursos energéticos a lo largo de los próximos 50 años (energía sustentables). Esto solo es posible a muy largo plazo, ya que no es posible proveer toda la energía (mundial) necesaria. Las energías no convencionales (solar, eólica, geotérmica, etc.) son costosas y todavía tienen relativa eficiencia, por lo que dependeremos de los combustibles fósiles por muchísimo tiempo más.

El objetivo es lograr minimizar el impacto ambiental en función del tiempo, mediante cambios en la matriz energética que impliquen una mejora en la eficiencia de la energía y una utilización mucho mayor de la energía solar, hidrógeno, eólica, entre otras fuentes (Datos del Departamento de Energía de EEUU.). También se diseñan procesos para la captura de gases de efecto invernadero, por ejemplo acoplados a las plantas de generación de energía eléctrica que queman combustibles fósiles, de forma de mitigar el impacto al medio ambiente.

- 3) En la Industria Petroquímica La Innovación no es importante ya que son procesos maduros y las tecnologías están ya suficientemente desarrolladas y amortizadas.

Falso. Las empresas invierten en tecnología e innovación

-Contratan o realizan convenios con universidades
-Conocen y utilizan las fuentes de financiamiento disponibles para encarar proyectos de Innovación por ejemplo para lograr nuevos métodos de perforación, nuevos productos en las industrias satélites (árbol de la petroquímica), para lograr minimización de costos y contaminación ambiental, entre otros.

La industria se divide en dos grandes ramas: El petróleo y el Gas Natural

El gas natural está formado por un pequeño grupo de hidrocarburos: metano, y pequeña cantidad de propano y butano.

El propano y el butano se separan del metano y se usan como combustible para cocinar y calentar, distribuidos en bombonas.

El metano se usa como combustible tanto en viviendas como en industrias y como materia prima para obtener diferentes compuestos en la industria química orgánica y se distribuye por gaseoductos.

Son muy importantes los procesos de extracción y procesamiento, de almacenamiento / y transporte del mismo. El método de transporte más barato y utilizado desde los pozos de producción y plantas de acondicionamiento a los centros de distribución para consumo es por medio de Gasoductos

En los gasoductos existen plantas de recompresión del gas natural, cada cierta cantidad de longitud recorrido, debido a la pérdida de carga.

Gas Natural

Son importantes los procesos de obtención, acondicionamiento, procesamiento y los que obtienen subproductos de los principales componentes del gas natural, conformando una parte importante de la cadena o árbol de transformación de la petroquímica

Petróleo

El petróleo es un líquido formado por una mezcla de hidrocarburos

Son importantes en la cadena de valor la extracción del petróleo crudo., y su refinación posterior o procesamiento

También son muy importantes los procesos de almacenamiento y transporte, por ejemplo por oleoductos

Crudo: petróleo antes de su refinado. Existen distintos Tipos de crudo, por lo cual los procesos de refinamiento deben contemplar la naturaleza de los distintos tipos de crudo que se alimentan a la planta de refinación.

Refinación del petróleo

Los componentes se separan en función de su punto de ebullición, en una columna de destilación.

La composición de los crudos es muy variable dependiendo del lugar de procedencia / obtención. Esto implica, entre otras cosas, la existencia de diferentes proporciones en las fracciones de hidrocarburos que se obtienen al proceder a la refinación del crudo. También contiene distintas proporciones de azufre, nitrógeno y trazas de diversos metales.

Industria Petroquímica

Rama de la Industria Química que utiliza derivados del petróleo como materia prima
Definición “Operacional”

Cadena Productiva para la producción y utilización de los derivados del petróleo.
Por ejemplo Etileno y Propileno principalmente para producción de polímeros

Configuración Física

Polos Petroquímicos:

Refinería (proveedores de MP)

Central Petroquímica (productora de petroquímicos básicos)

Empresas de segunda generación (productores de resinas, elastómeros y otros derivados)

La petroquímica es una rama de la química basada en el petróleo, como la

sucroquímica se basa en las derivaciones de la fermentación del azúcar, o bien la alcoquímica, las biorefinerías, los productos de la transformación de la celulosa (madera), entre otros. Muchos productos pueden obtenerse por diversos caminos de reacción, siendo entonces necesario analizar la tecnología apropiada para cada lugar y tiempo histórico, ya que los costos, los impactos en cada lugar son factores contingentes y no universales.

De la infinidad de productos que se asocian al árbol de la petroquímica, podemos citar Acetaldeído, Éter Etílico e Acetatos

olefinas

etileno, óxido de etileno

cloruro de vinilo (materia prima del pvc)

etilbenceno (materia prima del estireno, se utiliza como solvente para combustibles)

propileno, poli-propileno, acrilonitrilo, oxido de propileno, etc....

Futuro de la industria en Argentina. SHALE

• *Argentina se posiciona como una potencia en shale junto con China y EE.UU.*

• *Con recursos técnicamente recuperables de gas distribuidos en la cuenca neuquina, cuenca del Golfo San Jorge, cuenca Austral y Cuenca Chaco-paranaense.*

• *El shale o roca de esquisto es una formación sedimentaria que contiene gas y petróleo (shale gas y shale/tigh oil).*

La característica definitoria del shale es que no tiene la suficiente permeabilidad para que el petróleo y el gas puedan ser extraídos con los métodos convencionales, lo cual hace necesario la aplicación de nuevas tecnologías. Las mismas consisten en inyectar agua a alta presión conjuntamente con la aplicación de agentes de sostén (arenas especiales). Esto permite que los hidrocarburos atrapados en la formación fluyan hacia la superficie. Para contactar con un mayor volumen de roca, a nivel mundial se realizan perforaciones de pozos horizontales.

Vaca Muerta

Es la principal formación de shale en la Argentina. Se encuentra en la Cuenca Neuquina, con una superficie de 30 mil km², de los cuales YPF posee la concesión de más de 12.000 km²,

Tiene un enorme potencial para la obtención de gas y que cuenta con importantísimos recursos de petróleo que alcanzan los 27 mil millones de barriles, según el último informe del EIA 2013, lo que significa multiplicar por diez las actuales reservas de la Argentina.

La formación tiene entre 60 y 520 metros de espesor, lo que permite en algunos casos el uso de perforación vertical, con lo que se reduce significativamente los costos de extracción y mejora la viabilidad económica para la extracción de estos recursos.

Tiene cuatro propiedades geológicas que la distinguen como una formación de shale única en el mundo:

importante cantidad de Carbón Orgánico Total (TOC), alta presión, buena permeabilidad y gran espesor.

se encuentra alejada de centros urbanos, lo que facilita notablemente las operaciones. Otra ventaja es que se encuentra a una profundidad mayor a los 2.500 metros, muy por debajo de los acuíferos de agua dulce, lo cual haría más segura su extracción y disminuye los riesgos ambientales.

Además, en esta región existe una importante actividad de producción de gas y petróleo convencional, por lo que se cuenta con la infraestructura necesaria para el desarrollo de los yacimientos extractivos.

PARTE PRACTICA.

SIMULACION DE PROCESOS INDUSTRIALES COMPLEJOS.

Dados los casos de estudio que se proponen, en general se pretende resolver las problemáticas planteadas según las consignas particulares de cada uno.

Debe presentarse un informe que incluya, para cada uno de los casos, los siguientes puntos:

- *Resumen ejecutivo*
- *Desarrollo*
- *Hipótesis asumidas*
- *Conclusiones*

CASO DE ESTUDIO – TRATAMIENTO DE GAS NATURAL Y PRODUCCIÓN DE LPG

1. MARCO TEÓRICO

El gas natural de pozos gasíferos, tal como se lo obtiene luego de una separación primaria, es una mezcla de hidrocarburos de diferentes encadenamientos cuyo principal componente es el metano (80 al 90%) y el resto son hidrocarburos más pesados. Se encuentra, además, saturado en agua y con diversos contaminantes tales como nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, disulfuros y mercaptanos. Por lo tanto, no debe ser utilizado como combustible sin tratamiento previo para evitar inconvenientes de flujo bifásico y corrosión en el transporte y consumo.

El tratamiento dependerá de los contaminantes presentes en el gas, del aprovechamiento y estabilización de los licuables comerciales y de las condiciones contractuales o especificaciones de venta.

Para cumplir con estas especificaciones y recuperar los hidrocarburos licuables se procede a realizar el tratamiento del gas proveniente de la separación primaria. Los procesos de tratamiento a los que se somete son:

- *Endulzamiento.*
- *Deshidratación.*
- *Ajuste de punto de rocío de hidrocarburos.*

1.1. Endulzamiento

El proceso de remover los componentes de azufre presentes en el gas se denomina endulzamiento. Estos contaminantes suelen estar presentes en la mezcla superando los valores admitidos por las normas de transporte o seguridad ambiental o personal. Por esta razón, y por los daños que producen en equipos y cañerías, al ser altamente corrosivos, es necesario removerlos. La selección de un proceso de endulzamiento, generalmente realizada dentro de un contexto de relación costo-beneficio, dependerá de varios factores:

- *Tipo de contaminantes a remover.*
- *Concentración de contaminantes y grado de remoción requerido.*
- *Selectividad requerida.*
- *En el caso de sulfuros, si se requiere la recuperación de azufre elemental (proceso Claus).*

Los procesos de endulzamiento más difundidos utilizan un solvente químico. Los componentes ácidos del gas reaccionan con un componente activo para formar compuestos inestables en el solvente utilizado. Estos componentes inestables se pueden descomponer mediante la aplicación de calor y/o reducción de la presión de operación para liberar los gases ácidos y recuperar el solvente.

Los solventes químicos más utilizados para la remoción de los gases agrios son soluciones de alcanolaminas y sales de carbonato de potasio. Las aminas genéricas más usadas son la monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA), diglicolamina (DGA) y metildietanolamina (MDEA). Existen aminas formuladas, ofrecidas por diferentes firmas de tecnología de procesos, preparadas en base a MDEA, que mejoran el rendimiento de las plantas de tratamiento.

1.2. Deshidratación

El agua presente en el gas, bajo ciertas condiciones de presión tales como baja temperatura, flujo en torbellinos y en presencia de algunos hidrocarburos más pesados, provoca la formación de hidratos.

Los hidratos son compuestos cristalinos de agua más hidrocarburos, que tienen la particularidad física de presentarse como sólidos a temperaturas aún superiores a 0°C. El hidrato no es el resultado de la congelación del agua existente en el gas. Se ha comprobado que los vapores de agua e hidrocarburos se combinan para formar el hidrato (relación cuatro a uno), en el que bajo ciertas condiciones puede formarse a temperaturas aún por encima del punto de congelamiento del agua.

Los hidratos ocasionan perjuicios en los conductos y válvulas pues producen taponamientos que disminuyen y hasta llegan a interrumpir completamente el pasaje de gas. No deben descartarse además, los graves inconvenientes que, la presencia de estos cristales puede ocasionar en los equipos rotantes como compresores o turboexpansores y puentes de medición.

Por lo expuesto, es que se debe proceder a la eliminación del agua. A grandes rasgos existen dos métodos de deshidratación:

- ***Por absorción.*** Consiste en poner en contacto al gas húmedo con un líquido que sea altamente higroscópico, como por ejemplo metanol, etanol o glicoles. Una vez que el alcohol tomó contacto con el gas y

absorbió el agua, el alcohol se regenera para su reutilización. Los glicoles más utilizados son monoetilenglicol, dietilenglicol y trietilenglicol.

- **Por adsorción.** Consiste en poner en contacto al gas húmedo con un adsorbente sólido con elevada relación área superficial-volumen. Se pueden utilizar varios productos adsorbentes cuya selección dependerá de las necesidades de agua removida y de las condiciones de operación. Los desecantes son generalmente silica-gel, alumina activada o tamices moleculares de zeolitas u óxido de zinc.

1.3. Ajuste de punto de rocío de hidrocarburos

Este tratamiento se realiza por necesidades de transporte y para la recuperación de hidrocarburos líquidos de mayor valor económico.

Las plantas de acondicionamiento de punto de rocío (conocidas como dew point) son las que acondicionan el gas solamente para su transporte y uso, evitando inconvenientes de formación de hidratos y condensación de líquidos.

Los sistemas de acondicionamiento más conocidos son LTS y LTE:

- *LTS – Low temperature separation: Este sistema isoentrópico realiza una separación a baja temperatura mediante el uso de circuitos de refrigeración.*
- *LTE – Low temperature expansion: Se basa en la expansión isoentálpica del gas con caída de temperatura por efecto Joule-Thompson.*

Cuando el objetivo de la planta es la recuperación de hidrocarburos líquidos de mayor valor comercial se utilizan procesos más complejos como el de turboexpansión. Esta operación es la que hace económico al proceso de separación de licuables a gran escala, dado que la evolución termodinámica del gas tiende a ser isoentrópica, permitiendo aprovechar el trabajo generado por el gas al hacer girar la rueda de expansión en una etapa de compresión posterior y alcanzar menores temperaturas respecto de una expansión isoentálpica por efecto Joule-Thompson producida en una simple válvula.

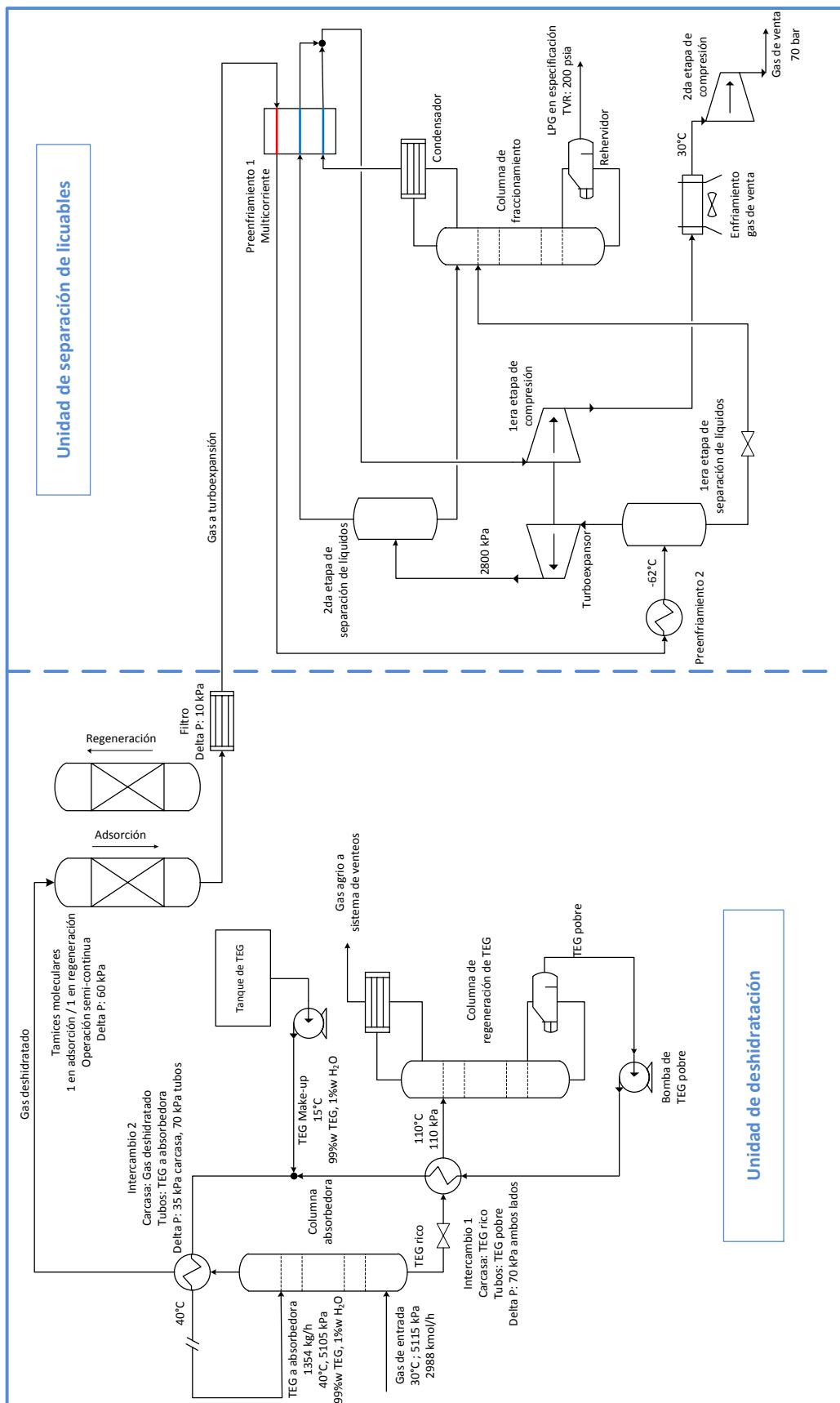
Una vez que los hidrocarburos líquidos han sido retirados de la corriente del gas deben separarse en productos aptos para ser vendidos. Las corrientes de productos más comunes son el C₃ (propano), C₄ (butano) y C₅₊ (pentanos y superiores). Por lo general, en la etapa de producción, el C₃ y el C₄ se encuentran combinados y se los llama gases licuados de petróleo (LPG).

2. ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Se solicita el modelado en HYSYS de una planta de producción de LPG por turboexpansión, utilizando Peng-Robinson como paquete de propiedades termodinámicas.

El gas natural de alimentación a planta proviene de una unidad de endulzamiento en la que no se lo ha deshidratado. Sus condiciones y composición son las siguientes:

Gas de entrada	
Temperatura	30°C
Presión	5115 kPa
Flujo molar	2988 kgmol/h
Composición – Fracción molar	
Nitrógeno	0,0010
Dióxido de carbono	0,0284
Metano	0,8980
Etano	0,0310
Propano	0,0148
i-Butano	0,0059
n-Butano	0,0030
i-Pentano	0,0010
n-Pentano	0,0005
Agua	0,0010
H ₂ S	0,0155



2.1. Unidad de deshidratación

Para lograr que el proceso de separación de licuables no se encuentre limitado por la temperatura mínima alcanzable, resulta de importancia significativa asegurar una adecuada deshidratación del gas de entrada. En este caso, el agua es removida en dos etapas, la primera de absorción con trietilenglicol (TEG) y la segunda de adsorción en tamices moleculares.

2.1.a. Columna absorbadora

El gas de entrada a planta es deshidratado por absorción con 1354 kg/h de TEG al 99%w en una columna absorbadora de 8 etapas teóricas que opera a una presión de 5115 kPa en fondo y 5105 kPa en tope.

Por el tope se obtiene el gas deshidratado que, previamente enfriado por la corriente de TEG, es enviado a la segunda etapa de deshidratación, mientras que por el fondo se obtiene una corriente de TEG rica en agua que debe ser regenerada para su reutilización en el proceso de absorción.

2.1.b. Columna regeneradora

La reducción del contenido de agua en el TEG rico proveniente de la absorbadora es realizada en una columna regeneradora que opera a baja presión. Las condiciones de alimentación a la misma son 110 kPa y 110°C, previo paso de la corriente por una válvula de reducción de presión y la carcasa de un intercambiador en el que se precalienta.

La columna regeneradora consta de 2 etapas teóricas, un condensador total y un reboiler. Con el objetivo de lograr en la corriente de fondo la concentración de TEG requerida para el proceso de absorción se debe operar la columna en las siguientes condiciones:

- Condensador: 101 kPa y 102°C.
-
- Reboiler: 103 kPa y 260°C.

De esta manera, por el tope de la columna se obtiene un gas agrio de escaso poder calorífico que debe ser enviado a quema en el sistema de venteos de la unidad y por el fondo la corriente de TEG regenerada en condiciones de ser reutilizada.

2.1.c. Recirculación de TEG regenerada y make-up

La corriente de fondo de la columna regeneradora es tomada por una bomba que le entrega un diferencial de presión de 5142 kPa y enfriada por la corriente de alimentación a la misma.

Debido a que una mínima parte del TEG se pierde por la corriente de gases agrios, es necesario incorporar de modo continuo una cierta cantidad de TEG fresco proveniente de tanque.

Finalmente, luego de un intercambio con el gas deshidratado, la corriente de TEG regenerada es alimentada a la columna de absorción.

En este punto se destaca que, para evitar referencias circulares y lograr la convergencia del modelo de simulación, **debe incorporarse bloque “reciclo” a la corriente de recirculación.**

2.1.d. Deshidratación en tamices moleculares

La corriente de gas deshidratada por absorción es alimentada a un lecho de tamices moleculares que opera de modo semi-continuo en ciclos de adsorción-regeneración. Allí, se elimina el 99,9% del agua remanente y el gas sufre una pérdida de carga de 60 kPa. Para la simulación de esta operación unitaria se sugiere el uso del bloque de HYSYS “component splitter”.

Finalmente, el gas libre de agua es filtrado para eliminar un posible arrastre de partículas del lecho de tamices moleculares y enviado a la unidad de separación de licuables.

2.2. Unidad de separación de licuables

2.2.a. Preenfriamiento inicial

Previo a su expansión, el gas natural deshidratado atraviesa dos etapas de enfriamiento:

- La primera en un intercambiador multicorriente de aluminio (*aluminium Plate-fin heat exchanger*), característico en procesos en los que se necesita un alto grado de integración energética. La operación unitaria a utilizar en el simulador es el intercambiador tipo LNG cuya especificación se hará del siguiente modo:
 - La caída de presión estimada en el equipo, tanto para la corriente caliente como para las dos corrientes frías, será de 20 kPa.
 - Las corrientes frías saldrán del equipo a la misma temperatura.
 - El approach de temperatura mínimo será de 10°C. Esto significa que la diferencia de temperatura entre la corriente caliente y las frías no podrá ser inferior a 10°C en cualquier punto del equipo.
- Y la segunda, en un equipo similar al anterior, pero en el que el gas es enfriado a partir de un circuito auxiliar de refrigeración con propano.
 - La pérdida de carga estimada en esta etapa será también de 20 kPa.
 - A la salida de este equipo, el gas de entrada habrá alcanzado una temperatura de -62°C.

2.2.b. Primera etapa de separación de líquidos

Una vez producido el preenfriamiento descripto, que genera la condensación de los componentes más pesados del gas de entrada, es necesario incorporar al proceso una primera etapa de separación de líquidos.

De esta forma, se alimentará al turboexpansor un vapor saturado sin presencia de componentes líquidos que arruinarían irreversiblemente la rueda de expansión. Por otro lado, la corriente líquida separada en esta etapa se alimentará, previo paso por una válvula de reducción de presión, directamente a la columna de fraccionamiento.

Lógicamente, la presión de alimentación de esta corriente a la columna deberá, en todo momento, ecualizarse con la presión de descarga del turboexpansor.

2.2.c. Turboexpansión

En la etapa de turboexpansión, se permite el descenso de presión del vapor saturado ya despojado de los componentes más pesados del gas hasta los 2800 kPa. Este descenso de presión, provocará una disminución de temperatura que permitirá la condensación de los componentes licuables que se desea separar. La eficiencia adiabática a considerar para diseño será de 75%.

2.2.d. Segunda etapa de separación de líquidos

Como fue mencionado, el enfriamiento producido por la expansión provoca la condensación de hidrocarburos, que serán separados otorgando tiempo de residencia a la corriente de descarga del turboexpansor. Para ello, se incorpora al proceso una segunda etapa de separación de líquidos.

El vapor proveniente de esta etapa constituirá parte del gas natural de venta (ya despojado de licuables) de nuestro proceso, que para poder ser alimentado al sistema de distribución y transporte de gas natural deberá ser posteriormente recomprimido.

Por otro lado, el líquido proveniente de esta etapa será alimentado a la columna de fraccionamiento.

2.2.e. Fraccionamiento. Obtención de LPG en especificación

En la etapa de fraccionamiento, se buscará despojar de sus componentes más livianos, metano y etano, a las corrientes líquidas provenientes de ambas etapas de separación, para obtener por tope un vapor saturado liviano que será enviado a la corriente de gas natural de venta y por fondo la corriente líquida de LPG en especificación que deberá poseer una TVR (tensión de vapor Reid) máxima de 200 psia.

La presión de fondo de la columna estará fijada en el mismo valor que la presión de descarga del turboexpansor y la presión de tope será 5 psi inferior a la presión de descarga del turboexpansor.

La columna de fraccionamiento tendrá 5 etapas teóricas, un condensador y un rehervidor. La corriente líquida más pesada proveniente de la primer etapa de separación será alimentada en el plato superior, mientras que la corriente líquida más liviana proveniente de la segunda etapa de separación será alimentada directamente al condensador y proveerá el enfriamiento requerido allí. Debido a ello, no será necesaria la extracción de energía en el condensador por algún medio auxiliar.

Cabe aclarar además, que no se obtendrán productos líquidos del tope de la columna; el producto condensado en el condensador de tope será reflujado por completo a la columna.

2.2.f. Recompresión del gas natural de venta

Los vapores livianos producidos en la segunda etapa de separación de líquidos y como producto de tope de la columna de fraccionamiento constituirán el gas natural de venta que será recomprimido de modo de ser inyectado al sistema de distribución y transporte de gas natural.

Para ello, en primera instancia se aprovechará su baja temperatura para enfriar el gas de entrada a planta y luego será comprimido en dos etapas:

- *Primero mediante el compresor asociado al turboexpansor. Considerar eficiencia adiabática del 75%.*
- *Y segundo mediante un compresor de exportación incorporado a tal fin que llevará el gas de venta a la presión de 70 bar. En este caso, también consideraremos una eficiencia adiabática del 75%.*

Debido al incremento de temperatura generado en la primer etapa de compresión, en su descarga se incluye un aeroenfriador que llevará a 30°C la corriente de alimentación a la segunda etapa. La pérdida de carga en este enfriador se estima en 0,2 bar.

3. EJERCITACIÓN COMPLEMENTARIA

Una vez completada la simulación se solicita:

a- *Responder las siguientes preguntas respecto de la unidad de deshidratación:*

a.1. *¿Qué porcentaje de agua es removido de la corriente de gas en la etapa de deshidratación con TEG?*

a.2. *¿Cuál es la pureza de la corriente de TEG antes y después de su regeneración?*

a.3. *¿Cómo varía la temperatura de formación de hidratos del gas a lo largo de su deshidratación? Indique el valor de esta propiedad para las corrientes de gas de entrada, de gas deshidratado por absorción y de gas deshidratado por adsorción.*

Para responder esta pregunta utilizar la herramienta de HYSYS “hydrate formation utility”.

a.4. *¿Cuáles hubieran sido las consecuencias de no incluir en el proceso la etapa de deshidratación por adsorción?*

a.5. *¿Cómo varía el punto de rocío de agua (water dew point) del gas a lo largo de su deshidratación? Indique el valor de esta propiedad para las corrientes de gas de entrada y de gas deshidratado por absorción.*

Para responder esta pregunta agregar la propiedad “water dew point” al listado de propiedades de la corriente correspondiente.

a.6. ¿Cuál es el punto de rocío de hidrocarburos de la corriente gas luego de la deshidratación con TEG?

a.7. Si no fuera económicamente viable la separación de licuables por turboexpansión, el gas sería enviado directamente a una planta compresora y de allí al sistema de transporte para posterior consumo industrial o domiciliario.

Considerando que el transporte y distribución se realiza a temperatura ambiente (mínima -15°C);

- ¿Resultaría necesario lograr objetivos de deshidratación de exigencia semejante a los del modelo de simulación?
- ¿Resultaría necesario enviar el gas a una planta de ajuste de punto de rocío de hidrocarburos previo a la compresora?

b- Responder las siguientes preguntas respecto de la unidad de separación de licuables:

b.1. El modo más común de definir la eficiencia de un proceso de separación de licuables es mediante el porcentaje de recuperación de propano. Esto es:

$$\text{Recuperación de C3} = \frac{\text{C3 en gas de entrada} - \text{C3 en gas de venta}}{\text{C3 en gas de entrada}} \times 100$$

Informar cuál es el porcentaje de recuperación de propano para el proceso simulado.

b.2. En paralelo a la recuperación de propano, resulta importante estudiar cuál será el costo operativo de nuestro proceso, que se encontrará definido, en mayor medida, por la energía que debamos entregar al gas de venta para recomprimirlo.

Informar cuál es la potencia que será necesario suministrar en la segunda etapa de compresión para el proceso simulado.

b.3. Indicar cómo variarán el porcentaje de recuperación de propano y la potencia a entregar en la segunda etapa de compresión ante modificaciones en la presión de descarga del turboexpansor. Estudiar el rango comprendido entre 20 y 36 bar considerando intervalos de 2 bar.

Se solicita analizar los resultados y establecer conclusiones al respecto.

b.4. Indicar cómo variará el porcentaje de recuperación de propano ante modificaciones en la temperatura de descarga de la segunda etapa de

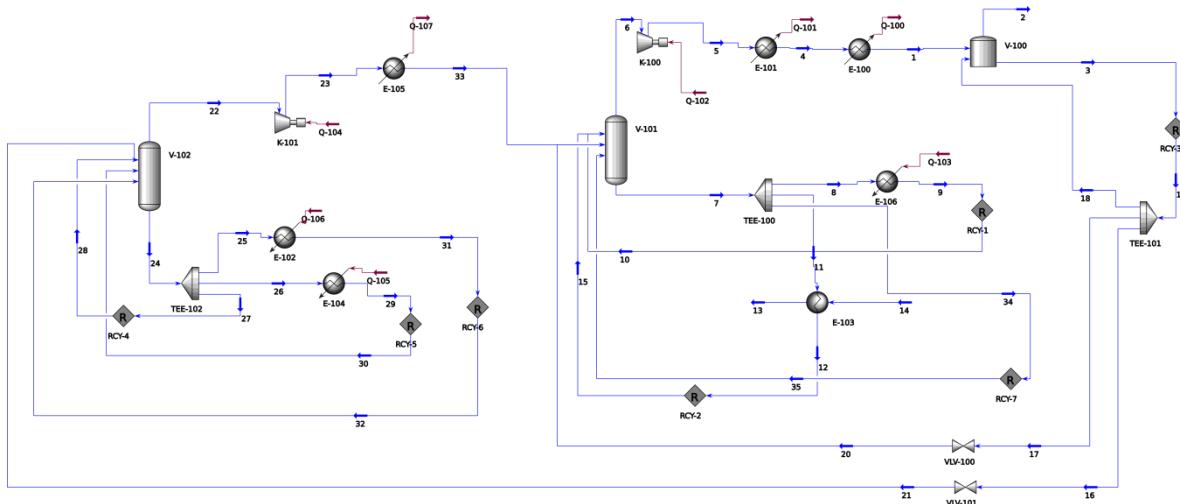
enfriamiento preliminar. Estudiar el rango comprendido entre -55 y -65 °C considerando intervalos de 1°C.

Se solicita analizar los resultados obtenidos y establecer conclusiones al respecto.

CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN. INDUSTRIA TÍPICA DE ALIMENTOS.

En el proceso manufacture de surimi, existe la necesidad de grandes cantidades de refrigeración, para enfriar agua de lavado de la masa procesada proveniente del pescado y por otro lado, la necesidad de alimentar las cámaras frigoríficas para el almacenamiento de dicha proteína.

El caso de estudio actual propone el cálculo de los balances de materia y energía del sistema de refrigeración para una planta de surimi. Este incluye el agua de enfriamiento y cámaras de refrigeración. En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo típico (caso implementado en HYSYS) de un proceso de refrigeración. Se puede apreciar que el sistema se encuentra dividido en 3 zonas fundamentales, una zona de baja presión a la izquierda, una zona de presión intermedia y una zona de alta a la derecha. La zona de alta presión opera a 1351 kPa (35°C), la de media presión a 2.918 bar (-10°C) y la zona de baja a 13.59 psia.



La planta cuenta con una cámara de refrigeración que demanda 51027 kJ/h, congeladores con una demanda de 120459 kcal/h y una cámara de congelación

para productos terminados con una demanda de 27256 kj/h. Las dos cámaras de congelamiento se operan a -20 °C como mínimo. Se recomienda una temperatura de amoníaco de -35°C.

Las especificaciones son:

- Corriente 10: 2.289 kmol/h; temperatura -10°C
- Corriente 19: 79.49 kmol/h; 35 °C
- Corrientes 28, 30 y 32: 1.4250, 2.95 y 1.133 kmol/h respectivamente, a una temperatura de -35°C.
- Corriente 35: 9978 kmol/h, -10°C
- La proporción que se deriva en la corriente 16 y 17 es 0.65 y 0.3 respectivamente.

El proceso requiere un flujo de agua de 462.2 kg/h a 5 °C, contando con agua de proceso a 28°C.

Se solicita los siguientes puntos:

- Realice un diagrama de flujos del proceso, a partir del esquema del caso implementado en hysys.
- Determine la demanda energética de los compresores.
- Determine la cantidad de energía a disipar en cada condensador
- Explique brevemente la función de los equipos v-101 y v-102.
- Determine el título de las siguientes corrientes: 4, 1, 20 y 21.
- Describa la característica de los equipos de condensación que son utilizados típicamente en este tipo de procesos. Elabore una conclusión en caso de contar con agua a 25°C para este proceso.
- Realice una análisis que contemple la capacidad calorífica de la zona de congeladores y la energía de compresión necesaria para dicha etapa del proceso ¿cuál es la etapa que requiere más energía?
- Qué cantidad de amoníaco es necesaria para las cámaras de congelación y para las cámaras de refrigeración.

Nota: recuerde que al colocar un reciclo debe especificar la corriente de salida, el simulador intenta determinar la corriente de entrada al reciclo para que cumpla con las condiciones de la corriente especificada.

PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE ETANOL

1. OBJETIVOS

- 1.1. *Simular un proceso con dos paquetes fluidos.*
- 1.2. *Utilizar el botón Sub-Flowsheet para simular una sección dentro de un proceso químico.*
- 1.3. *Simular una planta para la obtención de etanol puro a partir de una solución en agua a concentración azeotrópica.*

2. DESCRIPCION DEL PROCESO

El producto final de la destilación simple, a una atmósfera, del fermentado obtenido a partir de azúcar, es una mezcla azeotrópica de etanol y agua con una pureza límite del 88 % molar o 95 % en peso. Concentraciones mayores de etanol pueden obtenerse mediante la adición de un solvente o una sustancia que rompa la barrera azeotrópica.

En esta simulación, se producirá etanol anhidro puro a partir de una mezcla azeotrópica de etanol-agua, utilizando al benceno como agente de arrastre. Un rasgo importante de este proceso es que la economía y el impacto ambiental imponen que se haga una recuperación de benceno extremadamente alta.

El producto de cabeza de la columna deshidratadora o “T-100” es una mezcla de etanol, agua y benceno que se divide en dos fases líquidas por enfriamiento: una liviana y otra pesada. Para modelar este equilibrio líquido-líquido, se instalará un sistema denominado “Decantador” valiéndose del botón de HYSYS que permite construir un sub-diagrama de flujo.

En este sub-diagrama se utilizarán parámetros de interacción diferentes. La fase acuosa predominante denominada “Pesada” es procesada aún más en una columna de agotamiento, “T-101” cuyo producto de cabeza, “V-2” se mezcla en un recipiente “V-100” con la fase líquida liviana, “Liviana”, que sale del Decantador y, entonces, recirculada a la columna deshidratadora, sirviendo como el reflujo a dicha columna. Este caso se creará mediante sub-diagramas de flujo estándares y los resultados se transferirán al diagrama de flujo principal. HYSYS tiene la habilidad de resolver los procesos a través de varios niveles de sub-diagramas de flujo. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo final de la planta de deshidratación de etanol simulada.

3. PAQUETES FLUIDOS

Se requieren dos paquetes fluidos en este ejemplo. Ambos paquetes fluidos usarán el modelo de actividad NRTL, y contienen los componentes etanol, agua y benceno.

El primer paquete fluido nombrado como "VLE-BASIS" usará los parámetros de interacción binarios de la librería VLE que aparecen por defecto. El segundo paquete fluido nombrado como "LLE-BASIS" reemplazará aquellos coeficientes de interacción con coeficientes de interacción binarios estimados con UNIFAC-LLE.

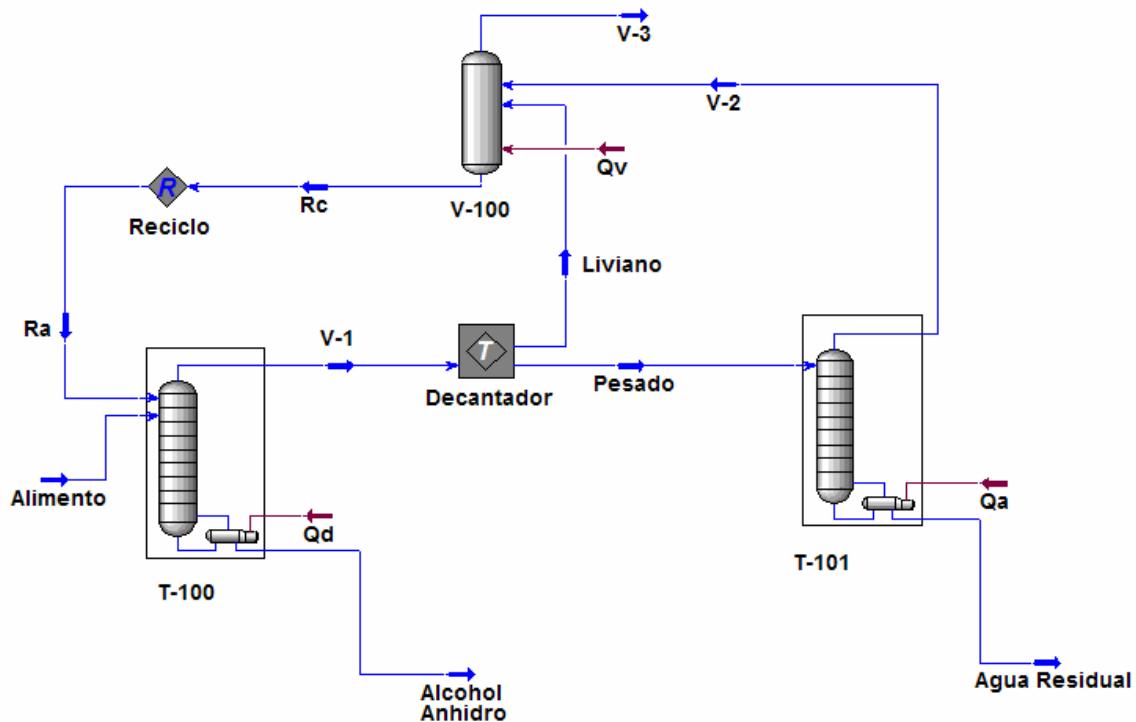


Figura 1. Planta de deshidratación de etanol