



MESA No : 5.- AHORROS DE ENERGIA

INSTITUCION : INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

PONENCIA : EMPAQUE ESTRUCTURADO : UNA OPORTUNIDAD PARA AHORROS DE ENERGIA

AUTOR(ES) : M. en C. ROSA HILDA CHAVEZ TORRES : ING. JAVIER DE JESUS GUADARRAMA GRANADOS

CURRICULUM VITAE :

Licenciatura en Ingeniería Química Industrial. en ESIQIE-IPN 1972-1977. Maestría en Ciencias en Ingeniería Química ESIQIE-IPN 1977-1981. Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química. Universidad La Salle 1992-1996. Actividades de Investigación : Vinculación con el Instituto Tecnológico de Toluca en la producción de agua pesada ; Empresa MERESA en manejo de desechos contaminantes.

RESUMEN :

Revisando información referente a plantas productoras de agua pesada, procesos petroquímicos y químicos en los que se involucran operaciones de separación, tales como la destilación y la absorción entre otras, se encontró como común denominador, que los procesos presentan baja eficiencia separativa y que tienen altos consumos energéticos. Lo anterior destaca la conveniencia del uso de los empaques estructurados para muchos procesos y para algunos la única alternativa de solución, por su gran capacidad separativa debido a las propiedades intrínsecas de estos materiales.

El empaque estructurado desarrollado por el ININ, posee alta eficiencia separativa y por sus características geométricas, permite reducir los tiempos de operación presentando ahorros energéticos en el proceso y abatiendo por consiguiente los costos de producción.

El ININ por sugerencia de la Secretaría de Energía, atiende dentro de sus líneas de acción los aspectos de ahorro energético a través de los empaques estructurados, como estudio de materiales.

La importancia del proyecto radica en la concurrencia de varios factores o circunstancias : casi no se utilizan los empaques estructurados en nuestro país, por desconocimiento de ellos. En otros países son reconocidas y exitosas sus bondades y beneficios. Frente a la exigencia de la competencia internacional y ante la promoción del desarrollo del mercado de tecnología, la Industria Química Nacional enfrenta el reto de mejorar su producción con mayor calidad, el aumento de volúmenes de producción y la disminución de costos de producción, y la reducción del consumo de energía en procesos de separación.

**We regret that
some of the pages
in this report may
not be up to the
proper legibility
standards, even
though the best
possible copy was
used for scanning**

EMPAQUE ESTRUCTURADO: UNA OPORTUNIDAD PARA AHORRO DE ENERGIA.

R. HILDA CHAVEZ T.* y JAVIER de J. GUADARRAMA G.**
INSTITUCION: *ININ, **ITT.

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Las industrias de los procesos químicos, incluyendo la petrolera y la química, consumen el 27% de energía para el sector industrial en los países desarrollados ⁽¹⁾. Los procesos de separación para recuperar y purificar productos, asciende al 40 % de la energía demandada por las industrias de los procesos químicos ⁽²⁾. Como se observa en la fig. 1, los procesos de separación incluyen remoción de impurezas desde la materia prima, productos y subproductos de crudos del reactor, y de contaminantes del agua y efluentes del aire. Ejemplos de tales procesos de separación incluyen la absorción, la adsorción, intercambio iónico, cromatografía, cristalización, destilación, secado, electrodiálisis, procesos electrolíticos, evaporación, extracción, filtración, flotación, membranas y desorción.

A través del tiempo, las columnas conteniendo lecho de empaque apilado al azar o con un arreglo geométrico han resurgido sobre una amplia escala en tareas de separación para la industria química. La tendencia fué iniciada hace más de 10 años por la primera crisis petrolera y por la demanda concomitante en el diseño y operación óptimos, a partir de aspectos de energía, en los procesos de separación con un alto consumo de combustible. Otro factor que ha contribuido hacia la amplia adopción de estos lechos de empaque en la industria ha sido el incremento severo de la legislación ecológica.

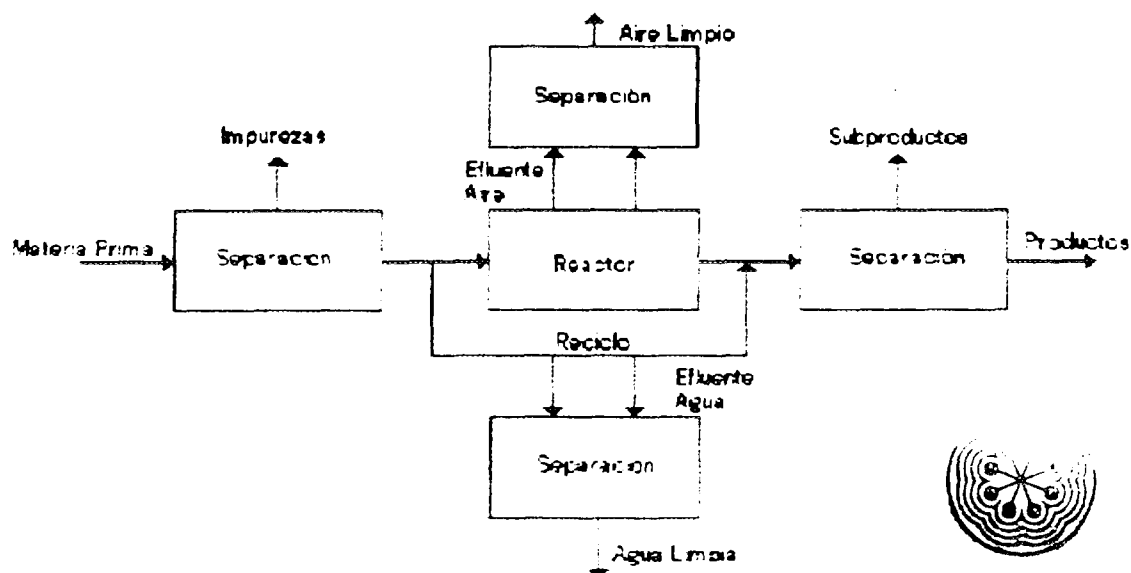


Figura 1. Procesos de separación de un ciclo de fabricación

Eficiencia Termodinámica de Separación.

La eficiencia de un proceso de separación puede tener un profundo impacto en el costo total de un proceso. La cantidad mínima de la energía termodinámica requerida para llevar a cabo una separación completa está dada por la ecuación 1.

$$W_{\min} = \Delta H - T \Delta S \quad (1)$$

donde: W_{\min} = cantidad mínima de un trabajo termodinámico para efectuar la separación; unidades de energía/masa;

ΔH = cambio de entalpía; unidades de energía/masa;

T = temperatura absoluta en °K o en °R y

ΔS = cambio en entropía, unidades de energía/masa/temperatura.

Para una mezcla ideal de dos componentes, la ecuación 1 puede expresarse como:

$$W_{\min} = -RT(X_1 \ln X_1 + X_2 \ln X_2) \quad (2)$$

donde: X_1, X_2 = fracciones mol de los componentes 1 y 2 en la alimentación;

R = constante de los gases

W_{\min} es un término termodinámico independiente de cualquier proceso particular. Procesos reales operan con fuerzas motrices finitas; ellas son irreversibles y consumen más energía que la mínima termodinámica expresada por la ecuación 2.

La eficiencia máxima termodinámica (E_{\max}) está definida como la energía mínima termodinámica (W_{\min}) dividida entre la energía mínima requerida por un proceso de separación (Q_{\min}), como se muestra en la ecuación 3.

$$E_{\max} = W_{\min}/Q_{\min} \quad (3)$$

Este término es importante, debido a que proporciona una base de comparación eficiente de los procesos.

Para la destilación, Q_{\min} es la energía mínima requerida de calentamiento. Con el uso del diagrama de McCabe-Thiele, Q_{\min} para una mezcla binaria puede mostrar ser función del calor de vaporización del producto de los fondos, la volatilidad relativa y la composición de alimentación. La relación está dada por la ecuación 4 :

$$Q_{\min} = \Delta H_B (1/(\alpha_{12} - 1) + X_1) \quad (4)$$

donde : Q_{\min} = Energía mínima requerida para la destilación, unidades de energía/masa de alimentación.

ΔH_B = Calor latente de vaporización del componente más volátil, unidades energía/masa.

$\alpha_{1,2}$ = Volatilidad relativa para una mezcla ideal ; es una relación de la presión de vapor de los compuestos claves a la temperatura promedio de la columna, adimensional.

X_1 = Fracción mol del compuesto más volátil en la alimentación.

La máxima eficiencia termodinámica para la destilación está expresada por la ecuación .

$$E_{max} = W_{min} / Q_{min} \quad (5)$$

Cálculos para aplicaciones industriales reales muestran que para separaciones fáciles, la eficiencia termodinámica máxima es del 5% al 10%.

En la Tabla 1 se muestran sugerencias para el ahorro de energía enfocada al proceso de destilación, para ejemplificar como mejorar los consumos de la energía.

Tabla 1. Sugerencias para incrementar la eficiencia separativa y los consumos energéticos en la operación de destilación.

Opciones	Tecnologías	Comentarios
Hacer la destilación más eficiente en la separación y en la disponibilidad de la energía.	Procesos de control avanzado ; Empaques de alta eficiencia (rellenos de columna); Métodos de integración de calor.	Esta aproximación debería ser considerada primeramente. Varias de estas tecnologías son disponibles comercialmente.
Incorporar a la destilación procesos avanzados para formar sistemas híbridos con alta eficiencia de energía.	Adicionar a la destilación procesos de adsorción, membranas, cristalización u otros para formar sistemas híbridos.	Se requiere hoy en día el desarrollo de nuevas membranas y absorbedores para extender las aplicaciones.
Reemplazar completamente a la destilación.	Adsorción, membranas, cristalización y otros procesos.	Se aplica únicamente cuando se considera una nueva instalación. No se justifica económicamente.

La figura 2, referente a las tendencias en el costo de capital para la destilación y otros procesos alternativos, muestra que la operación de destilación para flujos altos, resulta ser mas conveniente económicamente que los procesos alternativos que se muestran en la tabla 1, esto es en cuanto a la inversión del costo de capital total.

En la figura 3, en torno a la pureza del producto contra la relación del reflujo en la columna y el vapor empleado en la operación de destilación, se observa que el margen de seguridad que se le asigna a todo proceso conduce a mayor consumo de energía en el rehornador sin presentar ventaja alguna en la mejora del producto.

La figura 4, mostrando la energía gastada contra la pureza del producto en la operación de destilación, representa que a mayor pureza del producto en el proceso, provoca un mayor consumo de energía en éste.

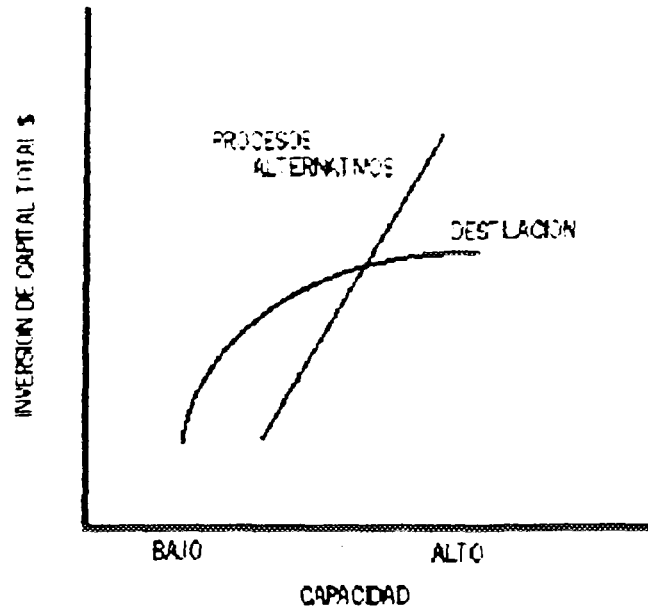


Figura 2. Tendencias en el costo de capital para la destilación vs procesos alternativos

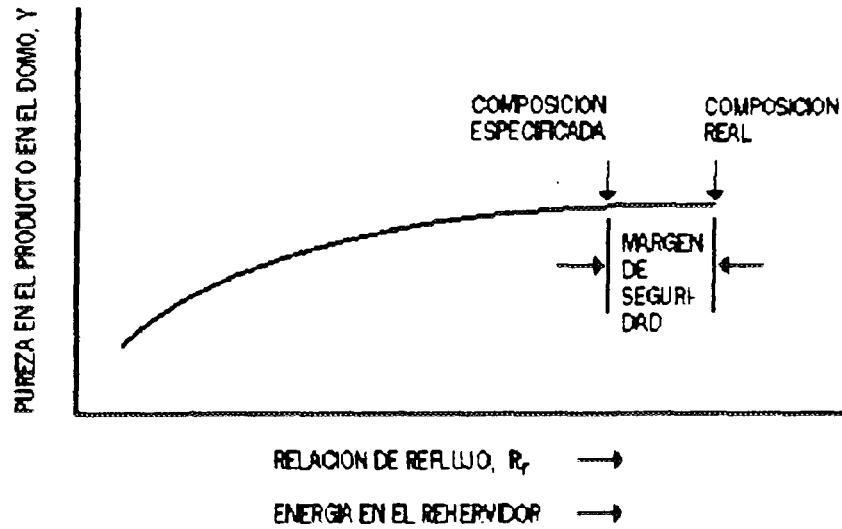


Figura 3 Pureza del producto vs relación de reflujo y vapor usado en destilación

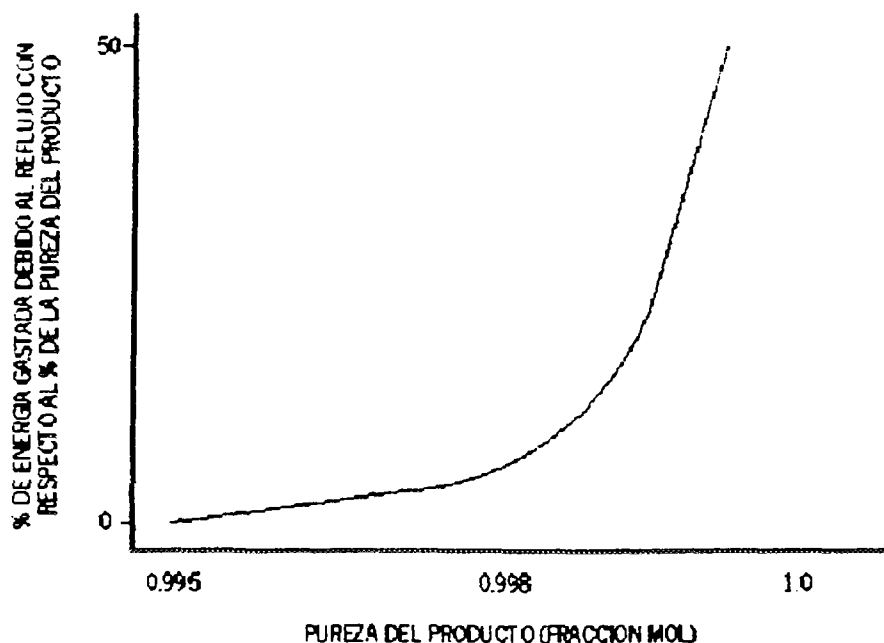


Figura 4. Energía gastada vs pureza del producto en la destilación.

OBJETIVO

Reducir pérdidas de energía en procesos de transformación de materia prima y de producción de bienes de capital industriales.

METODOLOGIAS PARA LA INTEGRACION TERMICA Y TECNICAS A UTILIZAR

La termodinámica proporciona los aspectos básicos para el ahorro y uso eficiente de energía ⁹. Considérese un sistema definido por fronteras reales que lo separan del exterior, el sistema puede ser un equipo, una sección de una planta, toda la planta completa o un complejo industrial. Este sistema intercambia materia con el exterior a través de las corrientes de proceso que cruzan la frontera. Además, puede existir intercambio de energía en forma de calor o trabajo. El trabajo puede adoptar cualquiera de las dos formas siguientes: a) trabajo de flecha; b) trabajo eléctrico.

En el primer caso deberá existir una flecha o eje que cruce la frontera del sistema, y en el segundo caso, cables eléctricos con una diferencia de potencial que cruzarán la frontera del sistema. El calor siempre está asociado a una diferencia de temperaturas, en este caso entre el sistema (T_{sist}), y el exterior (T_{ext}).

El calor y el trabajo no son energía de la misma calidad, ya que el calor solo puede ser parcialmente convertido a trabajo de acuerdo con la eficiencia de Carnot. Para comparar la eficiencia con que dos procesos diferentes utilizan la energía, se define el trabajo mecánico equivalente.

Si el trabajo mecánico equivalente mínimo es positivo, indicará que el proceso requiere como mínimo el valor encontrado, y si es negativo indicará que el proceso proporciona trabajo y el valor encontrado será el máximo disponible. Para el cálculo de ésta cantidad solo se requiere

la información de las corrientes que entran y salen del proceso y no de la estructura que tenga el sistema en su interior.

Un proceso real consumirá una cantidad mayor de energía que la proporcionada por el trabajo mecánico equivalente mínimo. A este excedente se le llama trabajo perdido y está asociado a la generación total de entropía.

La generación de entropía es debida a las irreversibilidades termodinámicas que se presentan. Para hacer un uso más eficiente de la energía, lo cual conlleva a un ahorro de energía, es necesario disminuir el trabajo perdido y por consiguiente la generación total de entropía. Para conseguir lo anterior será necesario disminuir las irreversibilidades, que ocurren en el proceso real que se está analizando, mediante modificaciones al proceso. La termodinámica no indica que modificaciones deben hacerse, solo proporciona las magnitudes del trabajo perdido. Para poder sugerir modificaciones es conveniente identificar el origen de las irreversibilidades termodinámicas.

La transferencia de calor, en general, es la fuente más importante de generación de entropía y por tanto, la integración térmica de procesos debe ser considerada con una alta prioridad cuando se identifican alternativas para mejorar el uso de la energía, y con ello ahorrar combustible.

El análisis termodinámico de procesos es la aplicación de las bases termodinámicas, para determinar la eficiencia con que se utiliza la energía en un proceso, y por ende, las oportunidades de ahorro de energía en el proceso. Este tema se conoce también como: análisis de segunda ley, análisis exergético o análisis termodinámico de disponibilidad.

Para ahorrar energía, será necesario incrementar el intercambio de energía entre las corrientes del proceso. El arreglo óptimo del proceso será aquel que reduzca el costo total (equipo + combustible). Entonces, el reducir el costo de energía puede traer aparejado una reducción en el costo de los equipos, disminuyendo por partida doble el costo total del proceso.

La integración energética de las corrientes del proceso tiene un límite ya que debe existir un gradiente de temperatura apropiado para llevar a cabo la transferencia de calor. El acercamiento mínimo de temperatura, es un parámetro importante en el diseño, ya que un valor pequeño redundará en un consumo menor de energía externa pero en un área mayor del equipo considerado⁴.

El ingeniero de proceso debe escoger un valor apropiado para el acercamiento mínimo de temperatura entre las corrientes frías y calientes del proceso que intercambian calor.

INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE EN EL ININ

Se cuenta con un Centro de cómputo mediante el cual se lleva a cabo simulaciones de procesos; tres columnas experimentales nivel laboratorio para realizar emulaciones indistintamente en procesos de destilación o de absorción, laboratorio de análisis químicos (elemental, cromatográfico, etc.), centro de maquinado mecánico, centro de información y documentación, laboratorio de metrología mecánica, entre otros. Se cuenta con una dotación de empaque estructurado construido en el ININ de material de malla de latón del No. 60, de 7.3 cm de diámetro y tres tipos de empaque estructurado comercial Sulzer: BX-64 de 7.3 y 10.2 cm, Mellapak N 250 Y de 10.5 cm y Melladur 450 Y de 10.5 cm.

RESULTADOS Y LOGROS ALCANZADOS CON EL USO DE UN EMPAQUE ESTRUCTURADO CONSTRUIDO EN ININ

Comparación de especificaciones de dos empaques probados para enriquecimiento de deuterio partiendo de H₂O por destilación a presión reducida. (Factor de separación 1.05).

	RASCHIG	ESTRUCTURADO
Caudal de alimentación, l/h	0.5	1.8
Concentración de alimentación, p.p.m.	145.0	145.0
Concentración producto, p.p.m.	189.0	223.3
Tiempo de operación, h/experimento*	36.0	10.0
Porosidad del empaque, %	74.0	96.6
Altura equivalente a un plato teórico, cm	40.0	20.0
Líquido retenido (holdup), %	66.0	5.0
Caída de presión, mm H ₂ O/plato	3.0	0.73
Relación de concentraciones obtenidas en la absorción del CO ₂ en agua**	1.0	1.46
Relación de concentraciones D ₂ O obtenidas en destilación**	1.0	1.74

Condición: A igualdad de concentración en el producto y a igualdad de caudal de alimentación en la columna, se tiene que:

Diámetro de columna, cm	15.0	7.6
Altura de columna, m	5.5	3.5
\$ columna	18 300.0	3 000.0
\$ empaque	2 000.0	17 000.0
Consumo de energía	4 180 KW x 36 h= 150 480.0 Kw h	4 180 KW x 10 h= 41 800.0 Kw h

* Se procesó 18.0 l/experimento para obtener 0.7l de producto enriquecido.

**Con relación a los anillos Raschig.

POSIBILIDADES DE CRECIMIENTO Y APLICACION

El seguimiento del proyecto, se dirigirá a la utilización de los resultados en la industria química mexicana frente a la competitividad internacional, así como el cumplimiento de normas establecidas por la Secretaría de Energía para el sector químico industrial de reducir los elevados consumos energéticos que éstos tienen y buscar soluciones que permitan tal fin.

PERSPECTIVAS DE INTERACCION CON OTROS INSTITUTOS

Interacción con el IMP en las siguientes áreas :

El IMP cuenta con grupos de especialistas en temas como : determinación de propiedades termodinámicas en equilibrio de mezclas químicas a distintas presiones, evaluadas teórica y experimentalmente. Experiencia en el manejo de varios simuladores entre los que se puede mencionar el PROII, para llevar a cabo simulaciones de procesos.

Interacción con el IIE :

Participación en el área de cuantificación en la generación de energía eléctrica y los consumos energéticos en los distintos sectores industriales y particularmente en el químico y en específico el de los procesos de separación.

REFERENCIAS

- 1.- Humphrey J. L., Separation Technologies : An Opportunity for Energy Savings, Chemical Engineering Progress, 1992.
- 2.- Humphrey J. L., Separation Techonologies : Advances and Priorities, U. S. DOE Final Report, Washington, DC, 1991.
- 3.-Timmerhaus K. D., Energy Conservation Through Use of Second Law Analysis, Sonderdruck, 1980.
- 4.-Tjaan N. Tjoe and Bodo Linnhoff, Using Pinch Technology for Process Retrofit, Chemical Engineering, 1986.