

15  
ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

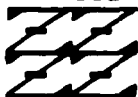
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

**PROGRAMA PARA EL USO EFICIENTE DE LA  
ENERGIA EN TRENES DE INTERCAMBIO DE CALOR  
PARA PLANTAS DE DESTILACION PRIMARIA**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
R A U L G U Z M A N D I A Z

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LO QUE ES  
DE ESTUDIOS SUPERIORES

ASESOR: ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS

1987

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



LIBERTAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA QUIMICA**

**OF/IQ/JU/082/027/96**

**C. Raúl Guzmán Díaz**  
**P r e s e n t e .**

**En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, les comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:**

- Presidente:** *Ing. Miguel José Flores Galaz*
- Vocal:** *Ing. Fernando Herrera Juárez*
- Secretario:** *Ing. José Benjamín Rangel Granados*
- Suplente:** *Ing. Roberto Ramírez Torres*
- Suplente:** *Ing. Flora Antor Hernández*

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

**México, D.F., 9 de Octubre 1996**

**Ing. Magín Enrique Juárez Villar**  
**Jefe de la Carrera**

**UN CORDIAL Y PROFUNDO AGRADECIMIENTO A TODAS AQUELLAS  
PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA CONTRIBUYERON A LA  
REALIZACION DE ESTE TRABAJO; EN ESPECIAL A MIS PADRES.**

## RESUMEN

La presente información tiene como finalidad, proponer un método para el cálculo de los factores de incrustación de los trenes de precalentamiento de petróleo crudo en una planta de Destilación Primaria, localizada en la refinería Miguel Hidalgo. El método propuesto consiste en un programa de computación basado en las principales ecuaciones de la transferencia de calor, y el cual calcula algunas variables de los equipos de transferencia; como el calor transferido, el coeficiente global de transferencia, y el factor de incrustación con el que se encuentra operando cada intercambiador de los trenes de precalentamiento.

El trabajo tiene como objetivo además, proporcionar información básica para el uso eficiente de calor en las plantas industriales. Primeramente se exponen las perspectivas de la energía, dando a conocer la importancia que esta tiene en la actualidad debido a los altos costos que involucra la adquisición de la misma; lo que trae como consecuencia la implementación de medidas para el uso adecuado del calor involucrado en algunos equipos de proceso, tal como se expone en algunos capítulos.

Posteriormente, se explica la importancia que tiene en la actualidad la computadora como una herramienta en el desarrollo de las técnicas para el ahorro de energía; así como los beneficios que trae como consecuencia la recuperación del calor residual de algunos equipos importantes del proceso. Los equipos principales para la recuperación del calor residual, y de los cuales se puede lograr un ahorro significativo de energía, se trata en el quinto capítulo, y en él se explica la forma en que se puede ahorrar energía en base a la implementación de medidas que algunas industrias han implementado en sus procesos.

Finalmente se definen los términos que intervienen en el programa desarrollado, exponiendo además las principales ecuaciones en las cuales se basa el mismo para la evaluación final de los factores de incrustación. La descripción de la planta en donde aplica el programa, y la presentación de una corrida del mismo con datos de operación de la planta, se desarrollan en los capítulos finales. Para que el usuario del programa propuesto, cuente con un procedimiento para correr el programa, se desarrolló un capítulo sobre el uso del programa; llamado manual de usuario.

## CONTENIDO

|  | <u>pag</u> |
|--|------------|
| Objetivos del presente trabajo .....   | 1          |
| Introducción .....   | 3          |
| Planteamiento del problema .....   | 5          |
| <b>CAPITULO I    PERSPECTIVAS DE LA ENERGIA</b>  |            |
| 1.1 Situación energética .....   | 8          |
| 1.2 Fuentes disponibles de energía .....   | 10         |
| 1.3 Petróleo .....   | 11         |
| 1.4 Carbón .....   | 13         |
| 1.5 Gas Natural y Gas Licuado del Petróleo (L.P.G.) .....  | 15         |
| <b>CAPITULO II    CONSERVACION Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA<br/>                  EN FORMA DE CALOR</b> |            |
| 2.1 Importancia de la conservación de la energía .....   | 18         |
| 2.2 Principios de la conservación de la energía .....  | 20         |
| 2.3 Perdidas de calor .....  | 21         |
| 2.4 Fuentes y usos de calores residuales .....   | 25         |
| 2.5 Determinación de los requerimientos de calor<br>de desperdicio .....                                 | 29         |
| 2.6 Organización de un programa de administración<br>de calor residual .....                             | 39         |
| <b>CAPITULO III    LAS COMPUTADORAS Y EL AHORRO DE ENERGÍA</b>   |            |
| 3.1 Conservación y ahorro de energía empleando las<br>computadoras .....                                 | 46         |
| 3.2 La gestión de la energía .....   | 47         |
| 3.3 La información energética como base de cualquier<br>programa de ahorro .....                         | 52         |
| 3.4 Sistemas de control en programas de ahorro de<br>energía .....                                       | 54         |

**CAPITULO IV ECONOMIA DE LA RECUPERACION DEL CALOR RESIDUAL**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.1 | Introducción  | 61 |
| 4.2 | Costos y beneficios de la recuperación                                      | 62 |
| 4.3 | Concepto de la modernización de las instalaciones para el ahorro de energía | 70 |
| 4.4 | Determinación de parámetros económicos                                      | 72 |
| 4.5 | El ahorro energético en términos económicos                                 | 74 |

**CAPITULO V EQUIPOS PARA LA RECUPERACIÓN DE CALORES RESIDUALES**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 5.1 | Hornos   | 78 |
| 5.2 | Chimeneas  | 80 |
| 5.3 | Incineradores  | 81 |
| 5.4 | Torres de enfriamiento                                 | 82 |
| 5.5 | Calderas   | 84 |
| 5.6 | Equipo eléctrico y trampas de vapor                    | 86 |
| 5.7 | Procesos generales de calentamiento                    | 88 |
| 5.8 | Tanques de almacenamiento y aditivos para combustibles | 90 |
| 5.9 | Sistemas de combustión                                 | 92 |

**CAPITULO VI DEFINICION DE LOS TERMINOS QUE INTERVIENEN EN EL PROGRAMA**

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 6.1 | Aparatos de transferencia de calor                          | 99  |
| 6.2 | Tipos de cambiadores  | 100 |
| 6.3 | Cálculos para intercambiadores de calor                     | 103 |
| 6.4 | Diferencia de temperatura y media logarítmica               | 105 |
| 6.5 | Diferencia verdadera de temperatura (corrección de la MLTD) | 107 |
| 6.6 | Coefficientes totales de transferencia de calor             | 108 |
| 6.7 | Factores de ensuciamiento                                   | 109 |

|                      |  |            |
|----------------------|--|------------|
| <b>CAPITULO VII</b>  | <b>DESCRIPCION DE LA PLANTA Y EVALUACIONES DEL PROGRAMA CON DATOS REALES DE LA MISMA</b> |            |
| 7.1                  | Concepto de una refinería integrada  | 113        |
| 7.2                  | Servicios generales de una refinería   | 117        |
| 7.3                  | Los procesos de transformación en una refinería  | 119        |
| 7.4                  | Transformación primaria del petróleo   | 124        |
| 7.5                  | Descripción de la planta en donde programa apica   | 128        |
| 7.6                  | Evaluación y análisis de los cambiadores de la planta en base al programa                | 130        |
| <b>CAPITULO VIII</b> | <b>MANUAL DE USUARIO</b>   |            |
| 8.1                  | Descripción del programa   | 145        |
| 8.2                  | Pantalla de mensaje  | 146        |
| 8.3                  | Menú principal   | 147        |
| 8.4                  | Entrada de datos   | 148        |
| <b>CONCLUSIONES</b>  |  | <b>152</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>  |  | <b>154</b> |



## OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO

La refinería Miguel Hidalgo, es una de las regiones de mayor trascendencia tecnológica dentro de la industria petrolera mexicana, al ser la primer refinería planeada en forma integral, en la cual se han construido diversas plantas de proceso de hidrocarburos de gran capacidad y complejidad. En esta refinería y en muchas otras, los diferentes procesos que la conforman requieren de grandes cantidades de energía para la operación de todas las plantas que transforman el petróleo y sus derivados.

La política de la refinería en la actualidad es la de producir productos derivados del petróleo de alto valor energético, generados con calidad, seguridad y preservando en todo lo posible el Medio Ambiente; tomando en cuenta además la operación de sus diferentes procesos para que estos se desarrollen con bajos costos, mediante la utilización adecuada de la energía que cada uno de ellos involucra en la transformación de sus productos.

El presente trabajo fué realizado en la refinería antes mencionada en el sector No. 1, al que corresponden las plantas Destilación Atmosférica, Planta al Alto vacío y Reductora de Viscosidad; teniendo como finalidad la de conocer el estado energético en que se encuentran operando los diferentes equipos de transferencia de energía, en particular los intercambiadores de calor.

El trabajo consiste básicamente en la elaboración de un programa computacional de cálculo, el cual se desarrolló con la finalidad de saber la cantidad de calor que se transfiere en los diferentes intercambiadores que constituyen los trenes de precalentamiento de petróleo crudo de la Planta Atmosférica. Los cálculos que realiza el programa están basados en las ecuaciones que forman parte de la transferencia de calor, y para la ejecución del mismo se requiere la alimentación de los datos de proceso que se mencionan en algunos capítulos finales de este trabajo.

El objetivo del programa, es el cálculo de la energía que se está intercambiando en cada uno de los cambiadores de los trenes de precalentamiento de crudo en la planta Atmosférica, de tal forma que se pueda sugerir que cambiadores son los que deben salir a mantenimiento debido a la disminución en la transferencia de calor, como consecuencia de la obstrucción que presentan estos equipos.

Lo anterior se venia realizando en base a la caída de presión que presentaba cada uno de los cambiadores; esto es, se tomaba la presión en campo de los indicadores respectivos tanto a la entrada como a la salida del cambiador, con lo cual se tenia una caída de presión, y esta se comparaba con la caída sugerida en el diseño del equipo. Con las diferentes caídas de presión con que estaban operando los cambiadores, se sugería que equipos debían salir para ser limpiados, ya que debido al proceso y a la política de la refinería, sólo pueden dejar de operar, no más de cuatro cambiadores de los dos trenes.

Con el programa realizado en este trabajo se persigue la misma finalidad que el parrafo anterior, solo que en vez de realizarse tomando en cuenta las caídas de presión, se base en el calculo de los factores de incrustacion que presenta cada uno de los cambiadores de calor de los dos trenes de precalentamiento. Comparando los factores de incrustacion con que estan operando los equipos, con los de diseño se puede sugerir cuales de esos ultimos deben salir para ser limpiados.

El trabajo puede ser importante para muchos consumidores industriales de energía, principalmente para aquellas industrias con mayor consumo de esta, y que tienen dentro de sus procesos diferentes cambiadores de calor, ya que se ha visto que las medidas de conservación de energía son un elemento necesario en el desarrollo de las técnicas de producción.

Otro de los propósitos de este trabajo es la de presentar informacion sobre la manera de utilizar el uso eficiente de la energía, mencionando algunas sugerencias que algunas industrias han llevado a cabo, de tal manera que resulte útil para las personas responsables del uso de la energía en la organizacion industrial en la que forman parte.

No se presenta al trabajo como una guía del uso eficiente y conservación de la energía; sin embargo se pretende presentar informacion general sobre ciertos aspectos de utilización adecuada de la energía. El trabajo trata de orientar al personal interesado en el ahorro de energía hacia la información correcta, con la finalidad de que se propongan medidas propias, sin la necesidad de realizar grandes inversiones para llevarlas a cabo. El programa se presenta precisamente como una de las medidas desarrolladas en este sector, para ahorrar energía en los cambiadores de calor.

## INTRODUCCION

Toda economía prospera de un país o industria química, depende en gran medida de la disponibilidad de fuentes de energía a bajo costo; no obstante, en la actualidad los precios en la adquisición de combustibles energéticos son muy elevados. Sin embargo, estos pueden ser accesibles si se toma en cuenta todas las medidas posibles para evitar el desperdicio y uso innecesario de la energía, analizando y estudiando cuidadosamente los requerimientos totales de energía en las plantas industriales.

El uso eficiente de la energía es de vital importancia, ya que se pronostica que en los próximos años se incremente constantemente el precio de los combustibles básicos.

En los últimos años el ser humano se ha dado cuenta con mayor preocupación, que los recursos naturales disponibles en el planeta se agotan con mayor rapidez que en otros tiempos; lo que ha hecho necesario realizar un sin número de acciones, no sólo para encontrar nuevas fuentes de energía, sino también se ha cobrado mayor conciencia en cuanto a la disminución del consumo de energía tanto en la industria como en otras áreas.

Esto se relaciona con el aumento continuo de la población y el estado de avance de la tecnología, lo que hará evidente que las cifras estimadas de reserva de fuentes de energía pronto resulten subestimadas. Demandas muy grandes requeridas en los próximos años, ejercerán una fuerte presión sobre las limitadas fuentes de energía del mundo.

Se debe considerar la posibilidad de utilizar toda fuente disponible de energía a fin de determinar su disponibilidad; determinando a la vez su procedencia en cantidades suficientes para recurrir a ellas en un futuro próximo, lo cual significa que se debe investigar para utilizar otras fuentes de energía diferentes a las conocidas.

Los países altamente desarrollados son los que más invierten en la búsqueda de nuevas fuentes de energía, debido a que consumen más energía que los países en vías de desarrollo; ya que la prosperidad de cada nación esta relacionada directamente con el consumo per cápita de la misma.

En la industria, la mayor parte de la energía que se desperdicia al Medio Ambiente, es en forma de calor, conocida por la manera en que se disipa, como calor residual o calor de desperdicio.

Como resultado de las campañas para ahorrar energía, y lograr un aumento general en el desarrollo e implementación de tecnología nueva para resolver el problema de la energía; ya no son sólo los Ingenieros térmicos y científicos los únicos preocupados en adquirir conocimientos respecto al calor y a la transferencia del mismo, sino que cada día la preocupación de este tema alcanza a mayores personas que trabajan con la cuestión del ahorro de energía.

El uso eficiente de la energía, es un punto importante que están tomando muy en cuenta los Ingenieros responsables de las plantas industriales. En muchos países se están invirtiendo grandes cantidades de dinero con la finalidad de buscar y desarrollar nuevas alternativas de energía.

En las industrias con mayor consumo de energía siempre se han visto las medidas de conservación como un elemento necesario en el desarrollo de las técnicas de producción. El incremento constante de los costos de la energía, provoca que muchas industrias utilicen de manera adecuada la energía involucrada en sus procesos.

El consumidor, ante el constante incremento de los costos de la energía, puede reducir sus gastos por medio del aislamiento, o bien sustituir algunos de los combustibles que utiliza por otros más baratos; también se puede adquirir equipo nuevo en caso de que esta operación sea factible. Un método alterno para equilibrar el presupuesto es la reducción directa en el consumo de energía de acuerdo a su conveniencia o comodidad.

En la mayoría de las ocasiones, al implementar las medidas de ahorro de energía por parte de un sector industrial en particular, existen otros sectores que pueden beneficiarse de las técnicas que se aplican por parte de los primeros.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía de los combustibles impulsa a las civilizaciones actuales. Estas dependen de diferentes combustibles para satisfacer sus diferentes necesidades de transporte, calefacción y de transformación de las diferentes materias primas. Las naciones dependen en gran medida de la capacidad para satisfacer los requerimientos de energía de la industria, por lo que la demanda de esta es cada vez mayor; ocasionando una drástica disminución en las reservas tanto de petróleo como de gas.

El comprender la situación energética actual conduce a la implementación de medidas para la conservación de la energía por parte de las industrias. La conservación de la energía, significa la reducción del desperdicio de energía o una mayor eficiencia de su utilización; y es un término que difiere del racionamiento de la energía. Con frecuencia es posible mantener o aumentar las utilidades, mejorando adecuadamente el calor que se encuentra implicado en los procesos industriales.

Las acciones que deben implementarse en este contexto para aumentar las utilidades, implican tomar conciencia de la importancia del problema y llevar a la práctica acciones específicas de administración del uso de la energía.

Estas medidas, traerán como consecuencia un programa sistemático útil para identificar y corregir el desperdicio en las plantas industriales. Por ejemplo, se puede formar un comité de conservación de energía con el apoyo de la gerencia, en el cual se realicen auditorías de energía en los procesos que se llevan a cabo en la planta; localizando las zonas que impliquen mayor consumo de energía para su conservación y que esto se refleje en mayores utilidades para la empresa.

El programa debe medir el consumo continuo de la energía y en base a los balances de energía en cada uno de los sistemas del proceso, se deben tomar las medidas pertinentes en caso de detectar algún desperdicio considerable de la misma; lo cual implica, mejorar la medición y control de energía.

Uno de los objetivos al implementar un programa de administración adecuada de energía, es la identificación de las áreas de mayor consumo de la misma tales como los hornos, las torres, reactores, cambiadores, etc; en los cuales se puedan obtener buenas ganancias al aplicar medidas sencillas y rutinarias, quedando bajo

responsabilidad de los administradores, la implementación e inversión en adquirir tecnología o equipo nuevo para lograr los objetivos de ahorro de energía.

El uso eficiente de la energía en las industrias es muy importante debido principalmente a que las empresas tienen que comprar los combustibles, y al irse agotando estos últimos, los costos para adquirirlos aumentan continuamente.

El costo de operación, mantenimiento y adquisición de materias primas, influyen en algunas decisiones importantes que toma la gerencia; debido a que estos factores contribuyen a las buenas finanzas de la empresa. Tomando en cuenta los costos anteriores, los industriales se preocupan cada vez más por hacer un correcto uso de la energía, así como el aumento de la eficiencia de sus equipos.

En la responsabilidad, que cada uno de los grandes consumidores industriales adquiere, puede ser que este influenciado por diferentes factores que lo conminan a implementar algún programa. Estos factores pueden ser, debido a los elevados costos de combustibles, por presiones sociales o por su gerente de energía.

Independientemente de la razón por la que los industriales adquieren responsabilidad para ahorrar energía, estos deben estar al tanto de las técnicas y equipos que se encuentran disponibles en el mercado, de tal forma que le permitan implementar un buen programa de conservación de energía.

El cuestionamiento acerca de si debe implementarse un programa puede basarse en una serie de preguntas elementales, como las siguientes:

- 1.- ¿Qué equipos de la planta son los que consumen mayor energía?
- 2.- ¿En la planta se está utilizando eficientemente la energía?
- 3.- ¿Existen posibilidades de mejorar el consumo de energía?
- 4.- ¿Cuáles son las medidas más pertinentes para la anterior pregunta?
- 5.- ¿Qué ahorros de energía se obtendrían?
- 6.- ¿Quién puede dar asesoría o implementar las mejoras necesarias?
- 7.- ¿Cuál es el costo de dichas medidas?

Las fuentes de energía de origen natural son indispensables para la generación de fuerza motriz, por lo que al estar generando esta última, el agotamiento de las fuentes se acelera de manera preocupante.

**CAPITULO I**

**PERSPECTIVAS  
DE LA ENERGIA**

---

## 1.1 SITUACION ENERGETICA

Al inicio de la evolución del ser humano en el planeta, existían básicamente dos fuentes principales de obtención de energía para el hombre, las cuales provenían de los rayos solares y de la combustión de la madera.

Durante el siglo XII, las necesidades energéticas fueron satisfechas en base a la quema de combustibles fósiles formados en las capas de la tierra, debido a la descomposición de los restos de animales y vegetales que bajo ciertas condiciones químicas, se transformaron en combustibles fósiles a lo largo de millones de años.

Las cantidades utilizadas de combustibles fósiles durante el primer millón de años de evolución del hombre fue casi insignificante, ya que a partir del siglo XII se comenzó a utilizar en gran escala la energía proporcionada por el carbón. Al principio este combustible se utilizó sólo para satisfacer necesidades de calor; sin embargo con la llegada de la revolución industrial adquirió una mayor importancia a partir de esa época, debido al invento de las máquinas de vapor que utilizan el calor del carbón para convertirse en energía mecánica y eléctrica.

Desde la invención de la máquina de vapor, los combustibles fósiles han adquirido una mayor importancia en la vida cotidiana del ser humano, y debido a los grandes adelantos que provocó la revolución industrial, así como a la necesidad o deseo de una vida mejor, se ha generado una utilización cada vez mayor de energía.

Actualmente se estudian algunos procesos alternos de fuentes de energía existentes, con el propósito de hacer que estos sean factibles económicamente. Algunas de las fuentes alternativas o existentes con sus ventajas y desventajas son: *La energía solar, energía de la marea, energía geotérmica, la fusión nuclear, etc.*

La situación energética de 1978 trajo como consecuencia una enorme evolución en el desarrollo de nuevas formas de energía, dejando a un lado el uso exclusivo de recursos petroleros, y disminuyendo la dependencia que tenía el mundo con este recurso energético.

Además, durante los últimos 15 años se ha creado en los consumidores una mayor conciencia activa en los energéticos, al encarecer drásticamente los precios



de la energía. Posteriormente se informó adecuadamente de la escasez de reservas petrolíferas, lo cual contribuyó a que los consumidores adquirieran una valoración en la cuestión del ahorro de energía, y de esta manera se sensibilizó al mundo industrial para ajustar medidas tendientes al ahorro de energía.

Por ello, hoy en día los técnicos en cualquier de los niveles en que se encuentran, son conscientes del valor de la energía y a la vez responsables frente a la manera de consumirla. Se tiene una mayor preocupación por la conservación de la energía; debido a que es un bien que hay que conservar, al menos cuando los recursos existentes sean fósiles, y por tanto difícilmente renovables.

Por otra parte, en los últimos años se han presentado fuertes alteraciones de los precios energéticos, que antes tenían una fuerte incidencia sobre los costos industriales de producción y sobre los costos de explotación. Esta experiencia ha servido para aprender a valorar económicamente la energía y las medidas a implantar para aminorar su costo.

Por lo tanto, de aquí a un siglo la energía hidráulica no podrá satisfacer ni siquiera una fracción de las necesidades energéticas del mundo. Como las fuentes convencionales de energía resultarán totalmente insuficientes en un corto plazo, es necesario que se dirijan esfuerzos hacia la utilización de las fuentes primarias de energía, es decir, la energía solar directa y la energía nuclear; así como las fuentes de energía que pueden ser consecuencia directa o indirecta de la energía solar, nuclear o gravitacional.

## 1.2 FUENTES DISPONIBLES DE ENERGIA

El principal suministro de energía en todo el mundo hasta ahora, procede de la combustión de combustibles fósiles agotables. Estos combustibles disponibles en la naturaleza se encuentran en las formas sólida, líquida y gaseosa.

El combustible sólido es el carbón o el lignito, el combustible líquido es el petróleo y el combustible gaseoso es el gas natural. Estos combustibles han sido las principales fuentes de energía en el mundo, ya que más del 95 % de la energía total procede todavía de estas fuentes.

Las principales fuentes de energía en el mundo, que actualmente se encuentran disponibles, se pueden dividir básicamente en dos categorías: energía solar directa y energía nuclear. El término energía solar abarca tanto la energía solar directa (la energía del sol incidente sobre la tierra), como las formas acumuladas de energía indirecta, tales como la energía de los combustibles fósiles, energía hidráulica, energía procedente de la vegetación y la energía eólica.

Las principales fuentes de energía comúnmente empleadas por la industria, ya sea en forma directa o indirecta, y a través de las compañías estatales productoras de energía eléctrica, tienen una vida determinada.

El uranio y otros combustibles para reactores nucleares que en alguna ocasión se consideraron fundamentales debido a que podían resolver todas las dificultades asociadas a las fuentes de energía de los combustibles de origen fósil, y que proporcionarían al mismo tiempo energía eléctrica a bajo costo; están sujetos a un agotamiento de sus reservas.

De los combustibles fósiles que tienen mayor potencial a largo plazo de manera sorprendente, es el carbón mineral el que tiene las mejores posibilidades. Por medio de procesos de gasificación y licuefacción del carbón se puede obtener combustibles semejantes al petróleo y al gas natural.

En 1960, hasta un 98% de la energía total producida fue generada por los combustibles fósiles, y el resto se le atribuye a la energía hidráulica. Aun en 1973, el porcentaje de la energía mundial obtenida de combustibles fósiles era de aproximadamente del 95%.

### 1.3 PETROLEO

El petróleo es un mineral combustible líquido, constituido por una mezcla compleja de sustancias de composición química variable, por su aspecto exterior el petróleo es un líquido fluorescente a la luz; su color depende del contenido y de la estructura de las sustancias resinosas que lo constituyen.

El petróleo es más ligero que el agua y casi no se disuelve en esta, la viscosidad se determina por su composición y en todos los casos es mucho más alta que la del agua.

El petróleo es un material combustible, su calor de combustión supera el de los minerales combustibles sólidos (carbón principalmente), constituyendo cerca de 42 MJ/Kg. A diferencia de los minerales combustibles sólidos, el petróleo contiene poca ceniza.

Los principales constituyentes del petróleo son hidrocarburos e hidrógeno; así como también impurezas en forma de pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno y oxígeno combinados. Se estima que, aunque sólo se han identificado unas cuantas sustancias del petróleo, este contiene varios miles de componentes.

Los compuestos del petróleo varían en composición desde un átomo de carbono hasta más de 200. Los que contienen hasta cuatro átomos de carbono son gases, entre cinco y dieciséis son líquidos y los que contienen diecisiete o más son sólidos.

La importancia del petróleo desde el punto de vista energético, el transporte y las diferentes ramas de la industria es extraordinariamente grande; a partir de él se producen todos los tipos de combustibles líquidos:

Gasolina, Queroseno, Diesel, Aceites lubricantes y especiales; Lubricantes plásticos, Parafina, Betunes, Coques de petróleo, y otros productos comerciales.

Por su composición química, los petróleos crudos se dividen en las siguientes clases: alifáticos, nafténicos, aromáticos, alifático, nafténicos, asfálticos, aromático-asfálticos, nafténico-aromático-asfálticos, según la predominancia o el equilibrio de diversos hidrocarburos o estructuras de hidrocarburos.

Los tipos de compuestos presentes en el petróleo son:

- 1.- Hidrocarburos parafínicos, de cadenas rectas o ramificada; los cuales pueden ser gaseosos, líquidos o sólidos (ceras), dependiendo de la estructura y del peso molecular.
- 2.- Hidrocarburos nafténicos. Estos son hidrocarburos saturados que poseen una estructura de anillo que generalmente contiene entre cinco y seis átomos de carbono.
- 3.- Hidrocarburos aromáticos. Son compuestos caracterizados por estar formados por anillos de seis átomos de carbono.
- 4.- Hidrocarburos cíclicos de anillos múltiples. Son compuestos nafténicos y aromáticos que contienen más de un anillo en su estructura.
- 5.- Hidrocarburos olefinicos. Dado que estos compuestos son muy reactivos existen en cantidades pequeñas, aunque se pueden obtener en grandes cantidades por descomposición térmica (cracking) de otros compuestos.
- 6.- Compuestos de azufre. El petróleo suele contener azufre combinado en proporción de hasta 6%, y las formas más usuales son sulfuro de hidrógeno y tiofenos, pero también pueden estar presentes otros, tales como mercaptanos y sulfúros.
- 7.- Compuestos de oxígeno. El oxígeno existe en el petróleo en forma de alcoholes, fenoles, resinas y ácidos orgánicos.
- 8.- Compuestos de nitrógeno. Entre estos se encuentran las piridinas, las quinolinas, los indoles, los pirroles, etc.
- 9.- Compuestos inorgánicos. Los más comunes son las sales de salmuera y las arcillas, arena y compuestos similares asociados con el petróleo.

La mayoría de estos compuestos son hidrocarburos con una proporción de hidrógeno a carbón bastante uniforme, el análisis elemental de todos los crudos queda dentro de límites relativamente estrechos:

| Elemento  | %         |
|-----------|-----------|
| Carbón    | 83 - 87   |
| Hidrógeno | 11 - 15   |
| Azufre    | 1.0 - 6.0 |
| Nitrógeno | 0.1 - 1.5 |
| Oxígeno   | 0.3 - 1.2 |

#### 1.4 CARBON

Los diferentes tipos de carbón varían en textura, pureza, contenido de agua y composición, así como en propiedades físicas. La parte combustible del carbón contiene hidrocarburos, algún carbón libre y hasta pequeñas cantidades de azufre, mientras que los ingredientes no combustibles son en su mayoría materiales minerales como cenizas junto con vapor de agua. A menudo se encuentran pequeñas cantidades de nitrógeno en los carbones.

El carbón fué la fuente de energía más importante durante la revolución industrial, y de manera inevitable declino su popularidad como energético a mediados del presente siglo. Comparado con los consumos de gas natural y petróleo, la tendencia descendente en el uso del carbón es una característica general muy notable

Las principales desventajas del carbon, como combustible industrial derivan de las dificultades que se presentan al extraerlo de la mina por los métodos tradicionalmente empleados, de su manejo y posterior distribución, comparado con la facilidad de manejo de los combustibles líquidos y gaseosos.

Sin embargo, el carbón puede transformarse en un combustible fácil de emplearse en plantas acondicionadas para consumir petróleo o gas natural. En varios países se investiga y desarrollan activamente los procedimientos para licuar y gasificar el carbón.

Otra de las razones de la disminución en el uso del carbón, es la falta creciente de competitividad comparada con otros combustibles; esto debido a las pocas inversiones destinadas a la investigación de nuevas técnicas de extracción.

Las leyes encaminadas a proteger el ambiente de los efectos nocivos de la combustión han propiciado una demanda de combustibles que no producen humo y tanto el coque como el carbón de alta calidad han resultado poco competitivos en ese aspecto contra el petróleo y gas natural. La evidencia más notable es el abandono del carbón para calefacción doméstica.

Los principales constituyentes del carbón mineral son; el carbono y el hidrógeno, aunque también tiene otros elementos como el oxígeno, azufre y nitrógeno, así como una pequeña proporción de una variedad de minerales, generalmente descintas como cenizas. El poder calorífico del carbón depende de su calidad, así como de la proporción de material volátil con relación al contenido de carbono y al tamaño de las partículas.

El intervalo de valores, del poder calorífico bruto mayor de 32500 KJ/Kg son rcos en carbón y contienen poco material volátil; también se encuentra carbón de partícula pequeña y gran contenido de matena volátil, cuyo poder calorífico bruto es tan bajo como 23200 KJ/Kg.

Otra propiedad importante del carbón es su habilidad para compactarse o formar una torta, que es la tendencia que presentan las partículas de carbón a fusionarse en una sola masa cuando son calentados, fenómeno que se acompaña con la expansión de dicha masa. Además de identificarse por su rango, puede clasificarse en grados de acuerdo al tamaño de sus partículas.

Las características mencionadas, afectan su comportamiento en la combustión. Un alto contenido de volátiles facilita la ignición del carbon, pero estos carbones de bajo rango tienen la desventaja de producir gran cantidad de humo, y se tiene que quemar todo el contenido de volátiles si se quiere evitar una contaminación considerable.

## 1.5 GAS NATURAL Y GAS LICUADO DEL PETROLEO ( L P G )

El gas natural es una fuente de energía muy atractiva por varias razones. Se considera un combustible limpio que no produce residuos indeseables durante su combustión. Su distribución a todos los usuarios es relativamente fácil, y no requiere de instalaciones intermedias de almacenamiento.

Los gases combustibles naturales están constituidos generalmente de metano, etano, propano, butano, incluyendo en ocasiones impurezas de hidrocarburos líquidos. Los yacimientos de los gases combustibles naturales se subdividen en gaseosos, en los cuales la acumulación de los gases no está relacionada con otros minerales.

Los gasíferos-petrolíferos donde los hidrocarburos gaseosos están disueltos en petróleo o se encuentran sobre el depósito de petróleo, y en los condensados de gas en los cuales el gas viene enriquecido de hidrocarburos líquidos.

Los gases combustibles naturales se extraen de la tierra a través de una red de pozos, y por lo general para extraerlos se requiere algún método de flujo natural. Para que el gas comience a salir a la superficie, es suficiente abrir el pozo perforado en un extracto gasífero.

La explotación de un depósito de gas dura de 15 a 20 años, y en este plazo se extrae de 80 a 90% de sus reservas. Los gases combustibles naturales se aplican ampliamente como combustibles en centrales eléctricas, la industria metalúrgica, de cemento y de vidrio, durante la producción de materiales de construcción y para las necesidades de los servicios comunales, incluyendo los domésticos.

En base al gas natural está organizada la producción del amoníaco, del alcohol metílico, del aldehído acético, del ácido acético, así como del acetileno, etileno y propileno.

Se ha hecho necesario recomprimir el gas natural procedentes de los pozos lejanos, localizados costa afuera para enviarlos a los consumidores por medio de compresores centrífugos accionados con turbina de gas. También es muy recomendable licuar el gas natural en las plataformas de producción para transportarlo posteriormente en buque-tanque hasta los centros de distribución en tierra firme.

A medida que pasa el tiempo la extracción de gas en pozos perforados en aguas poco profundas es cada vez menor, por lo cual deben realizarse extracciones a mayor profundidad y, para lo cual se requiere de una alta tecnología. Aunque es un tanto difícil predecir los precios del gas natural en un futuro, se considera que el costo de gas producido en pozos perforados en mar profundo sea del orden del 75% del que actualmente tienen el obtenido de pozos perforados en aguas de 150 metros de profundidad.

Se han desarrollado algunas técnicas para la industria del gas natural, tales como la proliferación del uso de instalaciones para almacenar gas natural licuado: almacenando grandes cantidades de gas natural en estado líquido a bajas temperaturas, ya que se ocupa un volumen relativamente más pequeño.

Actualmente es muy conveniente almacenar gas natural a altas presiones, para lo cual las cavernas naturales, localizadas en domos salinos profundos resultan adecuados. Rellenar los pozos agotados localizados relativamente cerca de la costa con gas procedente de pozos ubicados en aguas lejanas y profundas es muy conveniente.

Se han desarrollado técnicas para el proceso de gasificación del carbón mineral para obtener gas sintético similar al natural. También puede usarse el petróleo como base para obtener un gas sintético por medio de un proceso conocido como gas nco catalizado. El proceso consiste en producir bióxido de carbono y metano mediante una reacción entre fracciones ligeras del petróleo y vapor de agua a 450 °C, en presencia de un catalizador.

El gas licuado procede de tres fuentes principales: el que se desprende del crudo al salir del pozo a la superficie; a partir del gas natural que se encuentra asociado con el crudo en el yacimiento; el que se obtiene en las refinerías como subproducto en los procesos de destilación, desintegración y reformación catalítica.

Es más conocido por sus dos componentes propano y butano, el primero se encuentra en mayor proporción. Durante muchos años, el gas licuado ha sido materia básica en la industria de los plásticos. Entre sus usos se encuentran, secadores, calefacción por calentamiento (calentadores), y en el transporte. La industria del gas generalmente utiliza grandes cantidades en los nuevos procesos de producción.



# CAPITULO II

## CONSERVACION Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA EN FORMA DE CALOR

## 2.1 IMPORTANCIA DE LA CONSERVACION DE LA ENERGIA

El objetivo de diseño básico de todas las plantas de proceso es la producción confiable con bajos costos iniciales y de operación, así como el cumplimiento de las normas en materia ambiental. Para el logro de estos objetivos se requiere vigilar de cerca la aplicación de los principios básicos de ingeniería a fin de compensar las amplias variaciones en las necesidades ambientales, los costos, disponibilidad de la energía, complejidad y capacidad de la planta.

En lo que se refiere a economía actual y a corto plazo, una de las necesidades más críticas es minimizar el consumo de energía; esto puede realizarse efectivamente, aplicando las medidas más convenientes en el diseño de una nueva planta, entre las cuales se encuentra la elección del combustible disponible que se empleará a fin de proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de la planta.

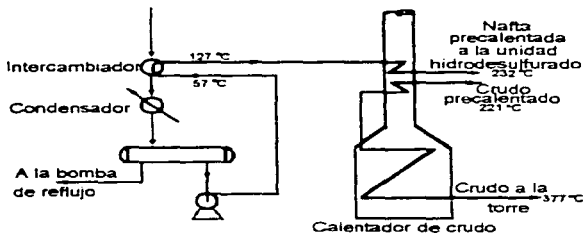


Figura 2-1 Recuperación de calor de proceso en un calentador.

Deben analizarse las diversas ideas que se tenga sobre el ahorro de energía y de los sistemas de proceso que puedan emplearse para ahorrar energía. Después es conveniente realizar una evaluación de los métodos, tanto tradicionales como nuevos, referentes a la conservación de la energía y que se encuentran disponibles.

En los años recientes, se ha comentado bastante acerca del agotamiento acelerado en los recursos naturales. Ante esta situación, deben realizarse esfuerzos no sólo para encontrar reservas nuevas de carbón mineral, petróleo crudo y para el empleo directo de la energía solar; sino también para disminuir el consumo de energía, principalmente en la industria; ya que la mayor parte de la energía empleada y desperdiciada es en forma de calor.

Como resultado de esta iniciativa para ahorrar energía y del aumento general en el interés sobre asuntos técnicos; ya no son sólo los ingenieros térmicos y los científicos los interesados en adquirir conocimiento respecto al calor; sino que actualmente también los gerentes de las industrias químicas se preocupan por la economía de la empresa en base al ahorro de energía.

El uso eficiente de energía, es de vital importancia, ya que se estiman aumentos constantes en el costo de la energía primaria o básica. Aun cuando se proporcionará gratuitamente la energía, sería necesario elaborar un programa de conservación, a fin de no agotar las actuales fuentes de energía con mayor velocidad que la que permite encontrar nuevos recursos energéticos o introducir nuevas técnicas. Sin embargo la energía no es gratuita y forma parte importante de los costos de manufactura y distribución en las industrias.

El uso eficiente de la energía, es un tema que esta atrayendo de manera creciente la atención de todos los sectores de la sociedad por diversos países. En estos, se invierten grandes sumas de dinero, en la búsqueda y desarrollo de nuevas fuentes de energía con el objetivo de lograr la autosuficiencia en materia energética.

El consumidor, ante el constante incremento de los costos de la energía, ha implementado medidas para reducir los gastos por medio del aislamiento o bien cambiar a combustibles más baratos o comprando equipo nuevo si su funcionamiento es aceptable. El mantenimiento constante y adecuado de los equipos de proceso en las plantas industriales es importante, principalmente aquellos que involucran una cantidad considerable de calor; ya que esto logrará que dichos equipos operen de manera más adecuada con pérdidas de energía inferiores.

## 2.2 PRINCIPIOS DE LA CONSERVACION DE ENERGÍA

A cualquier forma de energía pueden aplicarse un conjunto de principios generales para su tratamiento y manipulación con la finalidad de ahorrar energía, y si se pretenden obtener resultados considerables, estos principios de tipo general pueden enunciarse de la manera siguiente:

- a) Debe analizarse y comprobarse la forma y extensión de cualquier uso de la energía, incluyendo la versatilidad del tipo de proceso y el tamaño de la aplicación que se considera. Deben tomarse en cuenta los beneficios y perjuicios que pueden originarse.
- b) Siempre que sea posible deberá realizarse el trabajo útil al nivel energético (en general evaluando a través de una temperatura o una presión definida), adecuado a cada aplicación. La mayor parte de la energía se pierde en el Medio Ambiente en forma de calor, y debe tenerse el máximo cuidado de que este trayecto realice el mayor trabajo posible.

Es decir, la energía no se crea ni se destruye, simplemente se transforma, y a lo largo de la transformación se degrada hasta convertirse en calor que de alguna forma va finalmente al ambiente que nos rodea.

Así, cualquier proceso industrial que requiere una aportación de energía eléctrica, convierte esta energía eléctrica en calor (calor en los motores eléctricos), y finalmente este pasa a la corriente de aire.

- c) No puede ahorrarse energía, sino se conoce cuanta energía es la que se está utilizando; esto quiere decir que deben calcularse los requerimientos de energía empleada en el sistema.
- d) El calor residual que se recupera debe ser utilizable en alguna aplicación, antes de considerarse su posible recuperación. Desde luego en una situación normal del mercado energético el valor del ahorro debe ser superior al costo de la recuperación.

A menudo conviene pensar en la aplicación del calor residual a otros procesos distintos del que lo origina, incluso si tales procesos no pertenecen al propio

usuano o generador de tal calor. De esta forma se puede establecer la posible venta de excedentes a usuarios externos al proceso.

Es conveniente, incluir el principio de aprovechar los excedentes energéticos en la forma más sencilla posible, aunque los ahorros absolutos no sean muy buenos. Generalmente la solución más sencilla es la más rentable económicamente.

- e) Deben examinarse con atención, los ahorros económicos aparentes con el fin de estar seguros de que no se originará un incremento del costo de otros procesos o sistemas contiguos o cercanos al cual se le aplica el ahorro de energía.
- f) Como principio general debe establecerse, la reducción al máximo de los desechos industriales de cualquier tipo. Esto adquiere mayor importancia cuando los costos energéticos de los desechos son potencialmente elevados. Así, el vidrio, el plástico, el papel, los metales y los materiales aislantes son ejemplos de productos con alto contenido energético, por lo que es necesario evitar el consumo de tales productos en el proceso de diseño, ya que de esta forma se contribuye a la conservación de la energía, y a la vez, se contribuye al mejoramiento del Medio Ambiente.

### 2.3 LAS PERDIDAS DE CALOR

En los distintos procesos industriales, se pierde parte de la energía involucrada en ellos. La energía térmica perdida comienza a dispersarse en el proceso durante la generación de calor; posteriormente aparecen pérdidas cuando el calor generado se transporta a los puntos de consumo mediante el transporte de fluidos en tuberías. La disminución de estas pérdidas, o sea, el ahorro energético térmico, debe hacerse a lo largo de toda la cadena de uso térmico.

A lo largo de las redes de transporte, la forma más inmediata e importante de ahorro, es la constituida por la implantación de un aislamiento adecuado en las tuberías. Esto quiere decir que, la adición a la tubería de un material con una conductividad más baja que la del material de dicha tubería, genera entre el fluido y el aire del Medio Ambiente un flujo de calor inferior al que se tiene con la tubería sin aislar o mal aislada.

El vapor de agua es uno de los fluidos térmicos muy utilizado en la industria, ya que en la mayor parte de los procesos se utiliza vapor saturado a diferentes presiones dependiendo del uso al cual se destina dicho vapor. Este vapor debe transportarse a los equipos que lo requieren, mediante tuberías, que deben estar perfectamente aisladas; para evitar pérdidas de energía del fluido.

El no aislar perfectamente las tuberías y equipos que involucren altas temperaturas, implica la pérdida de una cierta cantidad de calor, tal como lo muestra el diagrama de Sankey, representado en la figura 2-2.

El material de recubrimiento de las tuberías o mejor conocido como aislante, debe ser un material que tenga una conductividad sumamente baja; así, se asegura un aislamiento idóneo y con muy pocas pérdidas de calor, tales materiales que presentan dicha característica son: la fibra de vidrio y el corcho, principalmente.

Una vez elegido el material aislante por sus características físicas adecuadas, debe calcularse el espesor más idóneo para el aislante, lo que resulta en un problema de optimización si se hace un planteamiento económico de la situación, es decir se enfoca como se ha dicho antes, el aspecto básico del ahorro energético.

Dicho planteamiento, debe hacerse tomando en cuenta que cada vez que se incrementa el espesor del aislante, se aumenta el costo de la inversión a realizar; pero por otra parte se disminuye el costo de la energía térmica perdida.

De lo anterior se deduce, que para un espesor definido de aislamiento se tiene un determinado costo de inversión, al que debe añadirse el costo de la energía térmica perdida con tal espesor para obtener una idea del costo global en la implementación del sistema de aislamiento.

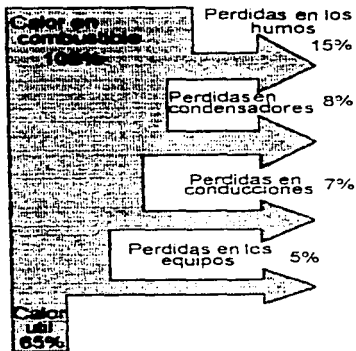


Figura 2-2 Diagrama de Sankey de las pérdidas de calor en la generación y distribución de vapor en una industria.

Para evaluar este costo global hay que decidir como se va a contabilizar el costo de la inversión, es decir, si se va a considerar que la inversión a realizar será amortizada con los ahorros obtenidos a lo largo de la vida útil del aislamiento, o se va a contabilizar la tasa interna de retorno de la inversión a efectuar dándole un valor mínimo definido.

En cualquier caso el problema a resolver desde un punto de vista matemático es el de encontrar un espesor de aislamiento que haga mínima la suma de costos indicados. Este mínimo existe, ya que el costo de la inversión es una función creciente del espesor, mientras que el costo de explotación o costo de la energía pérdida, es una función creciente de aquel.

La resolución del problema no es difícil, sólo hay que considerar un número considerable de elementos, entre los que destacan: el rendimiento de generación térmica, el precio del combustible utilizado, la valoración económica que se hace de la inversión, y el tipo de aislante; entre otros. Lo anterior puede observarse en la gráfica que a continuación se presenta.

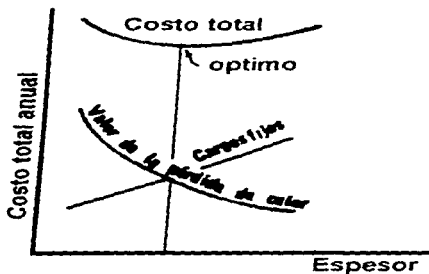


Figura 2-3 Espesor de aislamiento óptimo.

Otra fuente importante de pérdidas térmicas, la constituyen los valores residuales producidos en los distintos procesos. A efectos de ahorrar energía es importante proceder, siempre que sea posible, a su parcial recuperación para aprovecharlos al máximo en otros procesos o en fases previas de los mismos en que tiene lugar la generación de calor residual.



## 2.4 FUENTES Y USOS DE CALORES RESIDUALES

¿Que se entiende por Calor Residual? Los calores residuales existen en todos los procesos industriales, y es aquel no recuperado en un proceso determinado, y que no es aprovechado en el mismo o en otro proceso que se encuentra cercano al que genero el calor residual. Es decir, aquel calor generado y a la vez rechazado en un proceso a una temperatura superior a la del Medio Ambiente, con un margen suficiente que permita al ingeniero aprovechar parte de ese calor.

Las fuentes de energía de calores residuales se pueden definir según su temperatura, en tres rangos

El rango de alta temperatura, es aquel que involucra algunas fuentes de energía superiores a los 1200 °F.

El rango de temperatura media se encuentra entre 450 °F y 1200 °F.

Mientras que el rango de temperatura baja, implica aquellas fuentes de energía inferiores a los 450 °F.

El calor residual (de desperdicio) a temperaturas altas y medias se puede utilizar para generar vapor de proceso. Si se cuenta con calor residual a alta temperatura, en lugar de producir vapor directamente debe considerarse la posibilidad de usar la energía de alta temperatura para hacer trabajo útil antes de extraer calor de desperdicio. Las turbinas tanto de gas como de vapor, son máquinas empleadas en muchas industrias, y en ellas es posible recuperar calor residual.

En el rango de baja temperatura se puede utilizar energía residual (que de otra manera se desperdiciaría) aplicándola a trabajo mecánico por medio de un dispositivo que se llama bomba de calor. Una aplicación de esta se observa en la destilación del petróleo, en donde el fluido de trabajo de la bomba de calor puede ser el líquido que se esta destilando.

*Fuentes de calor residual.* La combustión de los hidrocarburos genera gases en el rango de alta temperatura. La máxima temperatura posible en quemadores atmosféricos se encuentra cerca de los 3500 °F, en tanto que la temperatura de flama que se ha medido en algunos quemadores es inferior a los 3000 °F.

Con frecuencia se requiere aire secundario o algún otro diluyente en el quemador para reducir la temperatura de los productos a la temperatura requerida en el proceso; por ejemplo para proteger el equipo, reduciendo así, el valor práctico de la temperatura del calor residual.

La tabla 2-1; proporciona las temperaturas de gases de desperdicio de algunos hornos industriales en el rango de alta temperatura, y todos estos casos resultan de procesos de combustión directa.

TABLA 2-1

| TIPO DE EQUIPO                             | TEMPERATURA °F |
|--|----------------|
| HORNO DE CALENTAMIENTO DE RESIDUO PRIMARIO | 730-780        |
| HORNO DE CALENTAMIENTO DE PETROLEO         | 730-780        |
| HORNO DE CALENTAMIENTO DE GASOLINA         | 600-640        |
| HORNO DE REFINACION DE ALUMINIO            | 1200-1400      |
| HORNO DE REFINACION DE ZINC                | 1400-2000      |
| HORNO DE REFINACION DE COBRE               | 1400-1500      |
| HORNOS DE CALENTAMIENTO DE ACERO           | 1700-1900      |
| HORNO DE CEMENTO                           | 1150-1350      |
| HORNO PARA FUSION DE VIDRIO                | 1800-2800      |
| PLANTA DE HIDROGENO                        | 1200-1800      |

Adaptación de Guía para el aprovechamiento del calor de desperdicio Kenneth G. Kreider y Michael B. McNeil traducción de SPEI, México 1982.

En la tabla anterior las temperaturas son las que tienen los gases de combustión directa, al pasar estos por la chimenea.

En la tabla 2-2 se presentan las temperaturas de gases de desperdicio obtenidos con equipos de procesos en el rango de temperatura media. La mayor parte del calor residual en este rango proviene de los escapes de las unidades de proceso de combustión directa. El calor de desperdicio a temperatura media, aún es suficiente para considerar la extracción de trabajo mecánico por medio de una turbina de vapor o de gas.

En algunos casos pueden utilizarse económicamente turbinas de gas con presiones de entrada en el rango de 15 a 30 lb/in<sup>2</sup>. Se puede generar vapor casi a cualquier presión que se desee, utilizando turbinas cuando esto resulte económico.

TABLA 2-2

| FUENTES | TEMPERATURA °F |
|---------|----------------|
|---------|----------------|

| FUENTES   | TEMPERATURA °F |
|---|----------------|
| ESCAPES DE CALDERA DE VAPO                                | 450 - 900      |
| ESCAPES DE TURBINA DE GAS                                 | 700 - 1000     |
| ESCAPES DE MAQUINAS RECIPROCANTES                         | 600 - 1100     |
| ESCAPES DE MAQUINAS RECIPROCANTES<br>(CON TURBOGENERADOR) | 450 - 700      |
| CRACKING CATALITICO                                       | 800 - 1200     |

(Adaptación de Sullivan para el aprovechamiento del calor de desecho, Kenneth G. Kreider y Michael B. McNeil, traducción de SPEI, México, 1982)

En la tabla anterior las temperaturas son las que tienen los fluidos calientes que salen de estos equipos o procesos en una refinería típica.

La tabla 2-3, señala algunas fuentes de calor en el rango de baja temperatura. En este rango no es práctico extraer trabajo de la fuente, aún cuando no deba excluirse completamente la producción de vapor, si existe la necesidad de vapor de baja presión.

El calor residual a baja temperatura se puede utilizar en forma suplementaria, para precalentamiento. Tomando un ejemplo común, es posible usar económicamente la energía de un condensador de aire acondicionado, que opera alrededor de 90 °F, para calentar agua de uso doméstico.

Como la temperatura del agua caliente debe ser de aproximadamente 160 °F; es evidente que la descarga del acondicionador no tiene la temperatura suficiente; sin embargo el agua fría entra al sistema doméstico a unos 50 °F, por lo que se puede tener un intercambio de energía en el que se eleve la temperatura del agua muy próximo a los 90 °F.

Dependiendo de la cantidad de calor del aire acondicionado y de los

requerimientos del agua caliente, es posible rechazar cualquier exceso de calor del condensador, alimentando la energía adicional que requiere el agua por medio de un calentador ordinario, eléctrico o de combustión.

TABLA 2-3

| FUENTE | TEMPERATURA °F |
|--------|----------------|
|--------|----------------|

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| LIQUIDOS CALIENTES DE PROCESO        | 32 - 230  |
| SOLIDOS PROCESADOS EN CALIENTE       | 200 - 450 |
| CONDENSADO DE VAPOR DE PROCESOS      | 130 - 190 |
| AGUA DE ENFRIAMIENTO EN CHUMACERAS   | 90 - 190  |
| COMPRESORES DE AIRE                  | 80 - 120  |
| BOMBAS                               | 80 - 190  |
| CONDENSADORES DE AIRE ACONDICIONADO  | 90 - 110  |
| CONDENSADORES DE DESTILACION LIQUIDA | 90 - 190  |

Adaptado de Guía para el aprovechamiento del calor de desperdicio, Kenneth G. Kreider y Michael B. McHugh, traducido de SPPA, México, 1982.

Para utilizar el calor de desperdicio de fuentes como las descritas arriba, con frecuencia se desea transferir el calor existente de un fluido a otro (por ejemplo de gas de tobera al agua de alimentación o aire de combustión), al dispositivo que efectúa esta transferencia se le llama cambiador de calor.

El equipo que se usa para recuperar el calor residual puede variar de algo tan simple, como un tubo o ducto, hasta algo más complejo como las calderas de calor de desperdicio.

A continuación se presentan algunas sugerencias para el aprovechamiento del calor de desperdicio y que han sido empleadas por muchas industrias.

- 1) Los gases de escape a temperatura alta y media puede usarse para precalentar aire de combustión en :
  - a) calderas que utilizan precalentador de aire
  - b) hornos que usan recuperadores

c) turbinas de gas que usan regeneradores

- 2) Los gases de escape de temperaturas bajas a medianas se pueden usar para precalentar el agua de alimentación de las calderas.
- 3) Los gases de escape y el agua de enfriamiento de los condensadores, se pueden utilizar para calentar insumos líquidos o sólidos en los procesos industriales. En este caso se emplean cambiadores de calor de tubos con aletas y de tubos con coraza.
- 4) Los gases de escape se pueden usar en calderas de calor de desperdicio, para generar vapor, y producir potencia eléctrica, mecánica o vapor de proceso, o bien cualquier combinación de ellas.
- 5) El calor de desperdicio puede ser transfendo a unidades de procesos líquidos o gaseosos, directamente por medio de tubos, o indirectamente a través de un fluido secundario, tal como el vapor o aceite.
- 6) El calor de desperdicio puede ser transfendo a un fluido intermedio por medio de cambiadores de calor o calderas de calor de desperdicio, o bien puede ser aprovechado circulando el gas caliente de escape a través de ductos. El calor de desperdicio se puede usar para operar una unidad de enfriamiento por absorción, para acondicionamiento de aire o para refrigeración.

## 2.5 DETERMINACION DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALOR DE DESPERDICIO

La recuperación del calor de desperdicio depende principalmente de los siguientes factores.

Primero. Debe existir una demanda para el uso del calor residual.

Segundo, debe haber una cantidad adecuada de calor residual; para estimar la cantidad de calor residual disponible, utilizando la primera ley de la termodinámica para ello.

Tercero, el calor debe ser de la calidad adecuada para el objetivo en cuestión; por

ejemplo si se dispone de calor a 300 °F, no se puede emplear para calentar vapor a 400 °F. Los problemas de disponibilidad y calidad del calor se tratan empleando la segunda ley de la termodinámica.

Cuarto, el calor debe ser transferido de la corriente de desperdicio a la pieza de trabajo o material donde deba usarse.

Quinto, el calor residual debe usarse de manera que sea rentable.

#### *Primera ley de la termodinámica.*

La cantidad de calor residual disponible, se determina de los balances térmicos de las unidades de proceso, de plantas completas, o de grupos de plantas. La base de las ecuaciones del balance térmico es la primera ley de la termodinámica, y para los objetivos de la ingeniería, no se tomará en cuenta la conversión de la energía en masa o viceversa.

La conservación de la energía se ha demostrado en diversos experimentos, mediante el cálculo del equivalente mecánico del calor, basándose en estudios de la expansión de algunos gases. James P. Joule midió el equivalente mecánico del calor con gran exactitud y además demostró que ese equivalente es una constante.

En uno de sus experimentos, Joule estudio el aumento de temperatura producido en una cierta cantidad de agua, por el movimiento de un agitador operado mediante la caída de una pesa. Como el sistema estaba aislado térmicamente, el proceso era adiabático y se requerían 772 libras-pie de trabajo para elevar un grado Fahrenheit, la temperatura de una libra de agua.

Después, experimento diferentes formas de trabajo mecánico para conseguir el mismo ascenso de temperatura en el agua. Por ejemplo aplicó trabajo mecánico a una máquina eléctrica y la corriente producida la paso por un alambre sumergido en el agua. La cantidad de trabajo por grado y por libra de agua fue de 838 libras-pie.

En otro experimento, utilizó trabajo mecánico para comprimir un gas dentro de un cilindro, mientras este se encontraba sumergido en el agua. El resultado en este caso fue de 795 libras-pie. También empleó trabajo mecánico para frotar entre si dos

trozos de hierro dentro del agua y requirió 775 libras-pie de trabajo para producir la misma elevación de temperatura por libra de agua.

Finalmente, adicionó calor mediante un dispositivo que combustionaba un gas, logrando con esto un incremento en la temperatura de la masa del agua, y observó que la cantidad de energía calorífica era muy parecida a las libras-pie requeridas en los otros experimentos.

La conclusión a la que llegó Joule, es que en condiciones adiabáticas, una cantidad determinada de trabajo, siempre producirá el mismo efecto en un sistema, independientemente del tipo de trabajo.

Esta conclusión es en realidad una de las maneras de expresar la primera ley de la termodinámica: si un cuerpo o sistema que se encuentra aislado térmicamente, se hace pasar de un cierto estado inicial a otro estado final distinto, la cantidad de trabajo requerido es la misma, independientemente del camino seguido.

Una de las formas en que esta ley puede enunciarse es la siguiente:

"El aumento neto en el contenido de energía de un sistema en particular, en un período dado, es igual al contenido de energía del material que abandona el sistema, más el trabajo efectuado sobre el sistema, más el calor agregado al mismo."

Por ejemplo, si se tiene agua con un contenido calorífico de 100 Btu y 3000 Btu de calor sensible, ambos entrando a un sistema, y este último desarrolla 200 Btu de trabajo y entrega vapor con un contenido calorífico de 2000 Btu; se tiene entonces  $3100 - 2200 = 900$  Btu a través de pérdidas por contactos y descargas de fondos. Para estimar la cantidad de calor residual, se considera un sistema de volumen conocido (por ejemplo una caldera, a la cual entran y de la cual salen materiales).

Si  $U_{en}$  denota la energía interna del material que entra al sistema,  $U_{sal}$  la energía interna del material que abandona el sistema,  $Q$  es el calor agregado al sistema y  $W'$  el trabajo efectuado por el sistema, la primera ley de la termodinámica, se puede entonces escribir:

$$Q - W' = U_{en} - U_{sal} \quad (1)$$

En la ecuación anterior se han despreciado varios términos de energía, tales como energía cinética, energía eléctrica, energía magnética y energía gravitacional, que pueden ser importantes en algunas aplicaciones, pero no se consideran en ingeniería generalmente.

Es conveniente trabajar en función del tiempo, de manera que el término  $W'$  pueda descomponerse en dos términos:  $W''$ , que representa el trabajo efectuado para mover volúmenes dentro y fuera del sistema contra presión, y  $W$ , que es todo el trabajo restante.  $W''$  es igual al término  $(PV)_{sal} - (PV)_{en}$ .

Usando los cambios, se puede escribir la ec. 46 como sigue:

$$Q - W = U_{en} - U_{sal} + (PV)_{sal} - (PV)_{en} \quad (2)$$

Aquí el término  $(PV)_{en}$  representa la rapidez del trabajo que debe efectuarse sobre el sistema para introducir un flujo de volumen de entrada  $V$ , al mismo; y  $(PV)_{sal}$  es la rapidez con que el sistema desarrolla trabajo sobre sus alrededores, empujando material de salida con la rapidez volumétrica  $V_{sal}$ .

Si se define al término  $U+PV$ , como la entalpia, representada por la letra  $H$ ; entonces la ec. 47 se convierte en:

$$Q - W = H_{en} - H_{sal} \quad (3)$$

Si se supone que el sistema se encuentra en un estado permanente, es decir, que la rapidez de flujo de masa que entra al sistema, es la misma que la rapidez de salida y, se define a  $q$  como  $Q$  dividida por la masa circulante y similitamente se definen a  $w$  y  $h$ , se tiene:

$$q - w = h_{en} - h_{sal} \quad (4)$$

Esta última ecuación, describe la rapidez con que se agrega entalpia por libra al material que pasa a través del sistema, en función del calor agregado a una libra de flujo y el trabajo efectuado por libra de flujo.

La primera ley de la termodinámica no impone limitaciones sobre la fracción de la



energía disponible, que se puede utilizar en una forma específica deseada.

*Segunda ley de la termodinámica.*

Esta ley indica que la entropía de un sistema aislado no puede disminuir, esto es, en un sistema aislado las fuerzas y las diferenciales de temperatura tienden a dispersarse y en cualquier caso no crecerán espontáneamente. Por ejemplo, la primera ley de la termodinámica permitiría emplear vapor de salida a 250 °C para fundir acero. La segunda ley indica que es imposible, a menos que se introduzca energía al sistema en conjunto; el calor fluiría del acero caliente al vapor tibio y no al contrario.

En la mayor parte de las aplicaciones de Ingeniería de calor de desperdicio, esta comprensión cualitativa es todo lo que se requiere. Sin embargo para algunos casos especiales es útil efectuar un "análisis de disponibilidad". El concepto de disponibilidad es una herramienta que se utiliza para analizar la utilidad de la energía, en este caso el calor residual, en función de la segunda ley de la termodinámica.

Suponiendo que se pueden despreciar las contribuciones a la energía provenientes de la velocidad, de la gravitación, radiación, eléctricas, etc. según esto:

$$B = H - T_0 S \quad (5)$$

Donde B, es la disponibilidad, H la entalpía; S la entropía y  $T_0$  la temperatura del depósito de que se dispone para enviar el calor. Para la mayor parte de los objetivos  $T_0$  es la temperatura ambiente o la temperatura de un tanque de enfriamiento. La ecuación anterior puede escribirse como una ec. de velocidad de cambio:

$$B' = H' - T_0 S' \quad (6)$$

En base unitaria por libra, puede escribirse la rapidez de cambio de disponibilidad como:

$$b' = u' + pV' - T_0 s'$$

donde las letras minúsculas denotan cantidades unitarias (por libra), y el símbolo ' indica el ritmo de cambio en el tiempo.

La disponibilidad tiene un significado particular debido a que el cambio en la disponibilidad de algo (por ejemplo una libra de vapor), en un proceso dado es el máximo trabajo útil o calor posible que puede ser extraído de ese algo en el proceso en cuestión.

Para examinar la utilidad de este concepto, considerar un sistema en el cual se tiene  $m$  libras por unidad de tiempo que pasan por algún dispositivo, que tiene como finalidad recuperar energía útil, y se desea saber, cual es la máxima potencia que se puede desarrollar.

Si se denota esta potencia como  $W_{max}$ , entonces se tiene.

$$W_{max} = -m(b_{sal} - b_{en}) \quad \text{ó} \quad W_{max} = B_{sal} - B_{en} \quad (7)$$

Desarrollando la ec. anterior:

$$W_{max} = m[ U_{en} + (PV)_{en} - T_0 S_{en} - U_{sal} - (PV)_{sal} + T_0 S_{sal} ] \quad (8)$$

Esta ecuación muestra que mientras más grande sea la energía interna específica de un sistema y la presión en la entrada, mayor es la cantidad de trabajo posible; en tanto que se produzca más entropía dentro del sistema, menor será el trabajo posible.

Así, la alta calidad de la energía se caracteriza por una alta energía interna y alta presión; pero la calidad se reduce al aumentar la entropía. La energía interna es una función de la temperatura, de manera que las altas temperaturas representan altas energías internas.

La mayor parte de los requerimientos de energía, se resuelve quemando combustibles fósiles a la presión atmosférica. Cuando se mezcla la cantidad químicamente correcta de aire con los hidrocarburos, la temperatura resultante se encuentra amba de los 1100 °C.

### *Derivación del balance térmico*

Un balance térmico, es un análisis de un proceso que muestra, de donde viene el calor y a donde va. Esto es importante ya que establece condiciones monetarias de las pérdidas de calor y de los proyectos de utilización del calor residual.

Este balance, debe derivarse a partir de mediciones hechas durante periodos efectivos de operación; las cuales se realizan con instrumentación disponible, y estas mediciones incluyen: entradas de energía, pérdidas de energía al Medio Ambiente y descargas de energía.

#### *Entradas de energía*

La energía entra a la mayor parte de los equipos de proceso ya sea como energía química en forma de combustibles fósiles, en forma de entalpia sensible de fluidos en movimiento o calor latente en corrientes de vapor o bien como energía eléctrica.

Para cada entrada, es necesario medir la cantidad de flujo de fluido o de corriente eléctrica, esto significa que si se desea obtener resultados precisos, se requiere la medición de cada flujo. No es necesario medir continuamente cada uno de los flujos parciales, ya que las instalaciones temporales pueden proporcionar la información suficiente.

En el caso de hornos y calderas que utilizan controladores de combustión de relación de presión, se pueden utilizar los medidores de flujo de control para obtener la información correcta. Debe también recordarse que para hornos y calderas sólo se necesita medir la entrada de combustible. Las pruebas de los productos de salida dan información suficiente para derivar el flujo de oxidante (aire) si se tienen disponibles datos exactos sobre el flujo de combustible.

Además de medir el flujo para cada corriente de entrada, es necesario saber la composición química del caudal correspondiente. Para aire, agua y otras sustancias puras, no se requieren pruebas de composición; pero en el caso de combustibles fósiles, debe determinarse la composición por medio de análisis químicos o bien obtenerla del proveedor del combustible.

Para vapores, debe conocerse la calidad, esto es, la fracción de masa de vapor presente en la mezcla de vapor y gotas. La medición de la calidad se hace con un calorímetro de vapor que requiere sólo una pequeña muestra del vapor.

Otras mediciones requeridas son las temperaturas del caudal del fluido de entrada, las presiones del mismo y otras propiedades físicas del fluido. Lo anterior implica la inversión de tiempo, esfuerzo y gasto; sin embargo son necesarias para tener análisis precisos, constituyendo el elemento crítico en los análisis de ingeniería y económicamente requeridos para tomar decisiones en la inversión de equipo de recuperación de calor residual.

#### *Pérdidas de energía*

Las pérdidas de energía calórica del equipo de proceso al Medio Ambiente generalmente se efectúan por los mecanismos de radiación y convección. El primer mecanismo se presenta cuando el calor pasa a través del espacio, de un cuerpo de temperatura superior, a otros de temperatura inferior, situados a cierta distancia, sin que necesariamente eleve la temperatura del medio que ocupa el espacio. La radiación calórica puede efectuarse a través del vacío y, a través de ciertos gases

La transferencia de calor por convección que tiene lugar a través de gases calientes en la superficie del material caliente, que son desplazados por gases más fríos, se pueden analizar empleando la ley de enfriamiento de Newton:

$$q = hA(T_s - T_o) \quad (9)$$

donde

$q$  = rapidez de pérdida de calor en unidades de energía Btu/h

$h$  = coeficiente de transferencia de calor en  $\text{Btu/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$

$A$  = área de la superficie que pierde calor en  $\text{ft}^2$

$T_s$  = temperatura de la superficie

$T_o$  = temperatura ambiente

Aún, cuando existan medidores de flujo de calor, generalmente es más fácil medir las cantidades indicadas arriba y derivar las pérdidas de calor de las ecuaciones. El problema de esto, radica en medir la temperatura de la superficie y encontrar valores

precisos para el coeficiente de transferencia de calor.

Sin embargo la distribución de temperatura sobre la superficie de una unidad de proceso puede no ser uniforme, de manera que una estimación del promedio general puede resultar difícil.

El coeficiente de transferencia de calor no sólo es una fuerte función de las temperaturas de superficie y ambiente, sino que también depende de consideraciones geométricas y condiciones de la superficie. Así, una placa vertical plana, tendrá valores diferentes de  $h$ , que una placa horizontal o inclinada.

#### *Descargas de energía*

La composición, rapidez de descarga y temperatura de cada salida de la unidad de proceso son necesarias para completar el balance térmico. En el caso de la unidad que quema combustible, sólo se requiere la composición de los productos de escape, la temperatura del gas producto de la combustión y el régimen de entrada de combustible a la unidad para derivar:

- 1) gasto de entrada de aire
- 2) gasto del gas de escape
- 3) descarga de energía por la chimenea de escape.

La composición de los productos de escape se puede determinar por medio de un análisis Orsat, una prueba cromatográfica o con una menor exactitud obteniendo la fracción volumétrica de oxígeno o bióxido de carbono. En la figura 2-4 se muestra un ejemplo de un balance térmico para un generador de vapor.

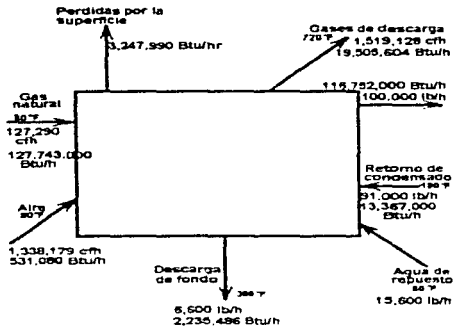


Figura 2-4 Balance térmico de un generador de vapor

En la figura anterior se puede observar la forma en que se puede realizar la derivación de un balance térmico para un generador de vapor, en él se presentan los valores para las entradas y salidas de energía.

## 2.6 ORGANIZACION DE UN PROGRAMA DE ADMINISTRACION DE CALOR RESIDUAL

Toda planta tiene durante la operación de su proceso, algo de calor de desperdicio, esto es; un estudio sistemático de las fuentes de calor residual de una planta, y las oportunidades para utilizarlo, generalmente forma parte de un programa más amplio de conservación de energía.

La organización y administración de un programa de recuperación de calor residual es una parte integral del programa general de conservación de energía, pero el esfuerzo de ingeniería y la inversión de capital necesario para la recuperación de calor residual son considerablemente mayores que las necesarias para la mayor parte de otras oportunidades de ahorro de energía.

Los gastos necesarios para los estudios de ingeniería y los análisis económicos son sustanciales, por lo que se demanda la obtención de una mayor ventaja en la utilización óptima de la energía.

Por otra parte, el ahorro obtenido por los costos reducidos de la energía puede ser mayor y esto constituye uno de los incentivos más importantes para invertir en la recuperación del calor residual. Los primeros pasos que deben darse, implica la revisión de unidades de proceso de la planta, con objeto de descubrir oportunidades para recuperar y usar el calor residual. El siguiente paso es analizar el diagrama de flujo de proceso y sus balances térmicos para determinar en donde existen posibilidades mayores de recuperar calor residual.

Después, se evalúan en forma resumida los resultados de estudios técnicos y económicos para cada unidad de proceso, usando información adicional apropiada, así, como propuestas de fabricantes de equipos de recuperación de calor residual.

Siempre que sea posible, los procesos individuales deben estar sujetos a la medición de su consumo de combustibles e instrumentados de manera que se pueda vigilar el comportamiento del equipo. Es esencial, si se desea obtener el máximo beneficio de la inversión de capital, que el equipo se mantenga en condiciones óptimas de operación, lo cual se puede asegurar por medio de una adecuada instrumentación y un programa activo de pruebas.

El buen éxito de un programa de conservación de energía, implementado en una industria depende principalmente de los siguientes factores:

- 1) Identificación de los departamentos que involucran o están relacionados con la energía; principalmente aquellos que pertenecen a la auditoría energética.
- 2) Incorporación de los ahorros de energía en el diseño de nuevas opciones.
- 3) desarrollo de nuevos procesos que empleen menos energía.

#### *Organización en la planta*

Existen diferentes formas de organizar un programa de conservación de la energía; por ejemplo se puede asignar a una persona responsable que se encargue de promover las ideas para el ahorro de energía, siguiendo muy de cerca los logros obtenidos, y concientizando a los demás en base a los costos y oportunidades que presenta el ahorro de energía.

El ingeniero asignado como coordinador del programa de ahorro de energía en la planta, deberá dedicar parte de su tiempo al desarrollo de dicho programa. También el coordinador, reportará constantemente los resultados obtenidos, a un director con el cual se coordinará.

Una de las características importantes del coordinador, es que debe estar actualizando constantemente los temas relacionados sobre ahorro de energía; lo cual implica que participará en conferencias sobre la conservación de la energía. En la mayoría de los casos, la eficiencia del programa de conservación de energía, depende de la dedicación y el tiempo que el coordinador proporcione a las distintas etapas del programa.

El coordinador de la división encargado de la conservación de la energía, en base al programa implementado, proporcionará el material, las ideas y los lineamientos a seguir y normalmente se relacionará con un comité estar integrado por personal seleccionado de la planta, y participarán en él, personal de mantenimiento, representantes de ingeniería, de sistemas de energía, producción, publicidad, etc.



Todos ellos, se reunirán periódicamente para analizar y revisar los resultados obtenidos en el programa implementado; así como los estatutos que rigen el mismo, de tal forma que se discutan los medios con los cuales se continuara el desarrollo del ahorro de energía.

El comité, también tendrá la iniciativa de estimular, alentar y motivar al personal de la planta sobre el ahorro de energía, mediante:

- publicidad
- pláticas periódicas con los jefes de las diferentes superintendencias
- información de la energía, presentada a todos los supervisores y operadores, monitoreando mensualmente los reportes sobre el uso de la energía de todos los departamentos

El análisis del potencial en la conservación de la energía, ayudará a establecer un programa en cada departamento; y todos los coordinadores de los distintos departamentos, se reunirán periódicamente para discutir los programas e ideas de sus departamentos.

Con la finalidad de realizar con mayor eficiencia el programa, se nombra generalmente un supervisor en cada departamento, el cual generalmente es un ingeniero con conocimientos en temas relacionados con la energía, el cual será el responsable directo para los objetivos del programa de conservación de energía en su departamento.

El representante del departamento, es el primer contacto que tiene el comité de conservación de energía; ya que, ambos tienen una constante comunicación, y para el comité dicho representante es muy importante, debido a que este último se encuentra directamente trabajando con el personal del departamento de materiales, operación y mantenimiento.

Otra de las tareas que realiza el representante del programa energético, en un determinado departamento es:

- participar en el desarrollo de ideas
- realizar balances exactos en las unidades de proceso más importantes

- asignarsele en proyectos de conservación de energía
- reporta el consumo y costo de la energía
- publica los aspectos más importantes del programa de conservación
- se relaciona con todo el personal de su departamento

Además, es muy importante que el representante del departamento, disponga de suficiente tiempo para dedicar parte del mismo al programa; ya que la obtención de buenos resultados, se debe al trabajo realizado por representante de la conservación de la energía. Para auxiliar al representante del departamento, en la obtención de los datos completos que se requieren en el programa, se nombra un auxiliar operador.

#### *Metas en el ahorro de energía.*

Todos los departamentos deberán establecer las metas fijadas anualmente, sobre los millones de Btu de energía que serán ahorrados en cada departamento.

El departamento de mantenimiento, debe estar constantemente participando en el programa, ya que tiene representatividad en el comité de la planta. En cada área de mantenimiento, se designa un ingeniero responsable, que se encarga de llevar a la práctica los objetivos del plan de ahorro de energía; y se forma un subcomité con la finalidad de desarrollar e implementar actividades específicamente diseñadas para el personal del departamento.

Algunas de las actividades que pueden llevarse a cabo, incluyen la inspección y reparación de las fugas de vapor, de aceites, optimización en el consumo de lubricantes mediante el control en los flujos alimentados, y el uso adecuado de los materiales.

#### *Reporte.*

Cada operador de departamento, debe reportar periódicamente los logros alcanzados en el programa de ahorro de energía. Este reporte incluirá una lista de las acciones implementadas, y los ahorros obtenidos en cada uno de ellos se expresan por lo regular en dólares, como millones de Btu ahorrados.

Todos los reportes de los departamentos de una planta, se comparan entre si, y

posteriormente se intercambian las ideas con los reportes de otras plantas. Las plantas en base a los resultados de los análisis de cada reporte propiciado por los departamentos, tendrán la capacidad para modificar o implementar nuevas medidas para el ahorro de energía en base a los ahorros obtenidos y la energía utilizada.

#### *Programas en plantas*

Los programas en plantas están principalmente orientados a la optimización de los usos de la energía en los procesos industriales existentes en las mismas. Lo anterior puede llevarse a cabo de diferentes formas tomando en cuenta que deben tenerse bajos costos en las medidas implementadas, y las modificaciones realizadas al programa serán proporcionadas por la auditoría energética, que planteará sus resultados en base a un estudio detallado de los usos de la energía.

Una auditoría energética, es un estudio y evaluación de los consumos de energía en un sistema previamente definido, por un equipo de trabajo que está integrado por ingenieros competentes y experimentados, con el propósito de optimizar la eficiencia en el uso de la energía. El sistema puede ser, desde una torre de destilación, hasta todos los equipos que constituyen el proceso.

#### *Motivación en la Organización que trabaja en la ejecución del programa de ahorro de la energía*

Es importante saber la forma de motivar a la organización, para generar e implementar los proyectos de conservación de energía; además, los resultados dependen en gran medida de la motivación que tengan los integrantes del programa.

Algunas de las acciones que deben tomarse en cuenta para lograr el interés y entusiasmo en el desarrollo del programa, son:

- 1.- Completa comunicación entre la gerencia y el comité de conservación de energía, en todos los niveles jerárquicos.
- 2.- Intensa publicidad relacionada con la conservación de la energía. En esta actividad, se publica información internamente; presentaciones de los usos sobre energía, costos y proyecciones a todos los supervisores, distribución de folletos a

todo el personal de la planta; letreros, símbolos, pláticas, circulares mensuales, competencias sobre ideas en la conservación de energía, etc.

Reunión periódica de todos los representantes, con el objetivo de escuchar de cada uno de ellos sus ideas sobre el ahorro energía. Visitas del coordinador al cuarto de control de la planta, con la finalidad de platicar personalmente con el operador y personal de la misma, comentando ahí mismo los méritos para los integrantes de la planta que han contribuido de manera significativa al programa.

- 3.- Las metas difíciles en la conservación de energía, se pueden establecer individualmente, por departamentos. Los reportes mensuales o trimestrales del sistema sirven como base para analizar los progresos logrados en las metas fijadas.
- 4.- El factor de energía por libra de producto, se expresa en Btu/lb, en todos los departamentos, y se calcula mensualmente como una gráfica que muestra los resultados positivos del programa. Esta gráfica reflejará los esfuerzos del departamento en la conservación de energía y por lo tanto será visto por el personal del mismo como una acción estimulante.
- 5.- Fomentar razonablemente, competencias entre los diferentes departamentos de la planta, y publicar los resultados e ideas de a cuerdo a los parámetros establecidos por la gerencia; por ejemplo Btu ahorrados.
- 6.- Proporcionar ideas e información sobre las diferentes formas de consumir decaidamente la energía, estimulando al personal de diferentes formas, al llevar a cabo de la manera más eficaz algunas de estas ideas, checando regularmente las áreas a considerar para la implementación de las ideas de conservación de energía.
- 7.- Realizar balances de calor, alrededor de los diferentes sistemas considerados prioritarios, como son las áreas de intercambio de energía intensa.
- 8.- Uso adecuado de los costos de energía para justificar y proporcionar incentivos en el proyecto de conservación de energía.

# **CAPITULO III**

## **LAS COMPUTADORAS Y EL AHORRO DE ENERGIA**

### 3.1 CONSERVACION Y AHORRO DE ENERGIA POR MEDIO DE COMPUTADORAS

Los fabricantes de equipo tienen una importancia relevante en la conservación de energía; ya que muchos equipos y sistemas fabricados por ellos consumen y transforman la energía. El ahorro de la energía, está relacionado en cierta manera con el concepto económico; ya que por ejemplo un equipo consume mas energía cuando está trabajando mas tiempo.

La diferencia entre la conservación y el ahorro de energía es el siguiente: el ahorro de energía es un concepto ligado estrechamente a consideraciones económicas; mientras que la conservación de la energía, es una idea más genérica que considera la limitación de recursos energéticos de que se dispone

Al hablar de la relación entre el ahorro de energía y las computadoras, hay que entender las posibilidades que estos equipos ofrecen, incluyendo los microprocesadores, no sólo en lo que respecta a la gestión de energía, sino también en aplicaciones directas del control de instalaciones que consumen energía.

Estas instalaciones pueden ser desde equipos de combustión, o de alta sofisticación cuando se instalan extensos complejos industriales. En estos casos la moderna tecnología electrónica y la informática, aportan importantes acciones que ayudan al ahorro y conservación de la energía.

En el terreno industrial, la noción de la centralización del control o supervisión de los procesos ha sido de aplicación directa a los equipos de proceso. Por lo tanto, las computadoras son una herramienta fundamental para la realización de estas tareas, dada la facilidad y versatilidad de programación de cálculo que poseen al instruírlas.

El empleo de microprocesadores por parte de los ingenieros encargados del ahorro de energía, es de suma importancia; ya que se puede instruir a una computadora para alimentarle directa y continuamente los datos que representan los parámetros energéticos que son necesarios en los cálculos de los balances energéticos, y la presentación de la información exigida por la gestión energética establecida.

### 3.2 LA GESTION DE LA ENERGIA

Al crecer los costos de la energía, y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a mediano plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Se necesita conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas, no solo a nivel de valores globales, sino también de los distintos procesos.

De ahí, que sea posible predecir los incrementos de energía usada que se producirán al aumentar la capacidad de producción industrial, o es posible fijar las medidas de contención del costo a través de un programa inteligente de ahorro. El objetivo de un plan de gestión energética encaminado a la conservación y ahorro de energía, debe estructurarse tomando en consideración algunas cuestiones, tales como las siguientes:

- a) Debe conocerse la cantidad total usada de cada tipo de energía, es decir, electricidad, gas, combustible líquido, etc.
- b) Debe conocerse el costo de cada forma de energía en unidades comunes de energía, en valor absoluto y en relación con años anteriores
- c) Hay que establecer una estimación de los ahorros que pueden obtenerse al aplicar medidas correctivas de tipo inmediato sin gastos de inversión.
- d) La gestión de la energía, debe alcanzar también, la producción propia de la planta industrial en el sentido de conocer el contenido energético (poder calorífico propio y energía necesaria para su fabricación) de las materias primas empleadas.

Un objetivo importante de una buena gestión de la energía, lo constituye la elaboración de los productos partiendo de materias primas seleccionadas entre las energéticamente baratas y que ellos mismos incorporen un valor añadido al proceso industrial. Como ya se ha comentado, la gestión energética debe involucrar al propio personal de la industria.

En los esfuerzos de conservación y ahorro de la energía, debe participar todo el personal de la planta; ya que este puede aportar ideas a través de sugerencias y actividades llevadas a cabo colectivamente o individualmente. Una medida de ahorro

de energía trae como consecuencia una disminución del potencial contaminante de algunos desechos, lo cual contribuye a mejorar la calidad del medio ambiente.

Una gestión energética bien conducida, también contribuye a mejorar los niveles de higiene y seguridad, ya que genera un trabajo importante de medición y control de los procesos, y estas medidas permiten detectar situaciones anómalas y peligrosas para la higiene y la seguridad.

Toda reducción en los costos de los energéticos, repercute en una mejora económica para la empresa. Este aspecto debe ser convenientemente expuesto al personal, para que se sientan motivados a actuar con responsabilidad y optimismo.

También puede educarse al personal, exponiendo ejemplos de la vida normal que impliquen el ahorro de energía. En una empresa importante, la gestión energética se lleva a cabo estableciendo un comité o grupo energético que trabaje a distintos niveles, para impulsar y comprobar los planes aprobados por el mismo. Al frente del comité, existirá un gestor energético, que coordinará y llevará la dirección de las acciones, siendo el máximo responsable de la gestión energética.

En industrias pequeñas, el papel del gestor y del comité será desempeñado por una sola persona responsable de la gestión, que generalmente, contará con el consejo de un consultor externo especializado en cuestiones energéticas y dedicará a la gestión parte de su tiempo. En este caso los trabajos de medición y auditoría serán efectuados por personas ajenas a la plantilla de la empresa, y pertenecientes a empresas consultoras o ingenierías especializadas.

#### *GESTOR ENERGETICO*

En una empresa industrial es importante, que el gestor energético sea un técnico calificado con experiencia profesional en temas energéticos, y métodos de valoración financiera de proyectos. En cualquier caso, sin embargo, el gestor energético (GE) debe tener un amplio espíritu crítico y alta capacidad tanto técnica como profesional.

La dirección de la empresa de la que el GE dependiera, debe definir claramente los límites de actuación, en particular los que se refieren a la autoridad delegada en materias energéticas, tanto a niveles servicios generales como a nivel de departamentos de producción. Es decir debe quedar bien claro si la función del GE



es un papel ejecutivo o simplemente consultivo. Es importante que el GE dependa directamente de un sólo director y que tenga libre acceso a todo tipo de información relativa a temas energéticos.

Una auditoría debe comenzar por el establecimiento de los balances de energía (no balances de potencia) de puntos específicos de la planta o equipos, de modo que se llegue fácilmente a cubrir con ello un elevado porcentaje del consumo total de energía. El comienzo de una primera auditoría, no debe ser muy compleja ni pretender profundizar demasiado en los detalles para hacerla muy precisa.

El objetivo inmediato, es el de detectar resultados a la mayor brevedad, con una visión global de la situación que permita, en ocasiones futuras, profundizar en determinados aspectos que salgan a la luz de dicha primera auditoría. Con toda probabilidad, una primera auditoría, pondrá de manifiesto inexactitudes de medición y evaluativas; este hecho hasta cierto punto positivo, permitirá la introducción inmediata de medidas correctivas.

Al realizar las primeras mediciones y comprobaciones, se detectarán situaciones de pérdidas de energía; por lo que se deberán atenderse a ellos de modo inmediato, ya que unos pocos resultados positivos de ahorro sirven para demostrar y justificar la importancia del trabajo realizado en la auditoría. En lo que se refiere al periodo de tiempo durante el cual debe realizarse la auditoría, no se tiene que dejar pasar ninguna situación posible. Las mediciones y análisis se realizarán de día y de noche, en periodos de actividad normal y durante los fines de semana.

La preparación de los balances energéticos se realiza en base a la medición de las distintas variables que intervienen en los procesos: flujos, velocidades, temperaturas, presiones, viscosidades, densidades, etc. Cada empresa industrial, debe implementar los mecanismos para recabar la información necesaria, mientras que los balances deben tomar en cuenta la energía entrante al proceso y la energía que sale del proceso.

Las responsabilidades del GE son vanadas y dependerán del tipo de organización de la empresa; sin embargo se pueden generalizar algunas de ellas, como las siguientes :

- a) Mantener al día la información básica de consumo, existencias y compras de productos energéticos.
- b) Revisar regularmente los parámetros relativos al uso y consumo de la energía, así como prever las tendencias que se tiene, informando adecuadamente a la dirección.
- c) Coordinar los esfuerzos de todos los implicados directamente en el uso de la energía, colaborando con ellos para fijar objetivos claros y realistas. Debe dar soporte técnico e información relativa a sistemas y equipos para el ahorro de energía, o suministrar ayuda y guía para la aplicación de técnicas probadas.
- d) Crear interés en el personal sobre la conservación de la energía, manteniendo tal interés con nuevas ideas y actuaciones. Dentro de esta característica del GE, destaca la organización de recursos internos de formación y el fomento de la asistencia a conferencias y cursos externos.
- e) Conocer las áreas de actuación que exigen trabajo y estudios detallados, concentrando los esfuerzos necesarios en ellas y supervisando el desarrollo de dichos estudios.
- f) Crear y mantener en la práctica un manual o conjunto de ideas e instrucciones sobre el buen uso de la energía. Estas informaciones pueden salir de material publicado en libros y revistas o pueden prepararse a base de experiencias de la propia empresa de modo que en cualquier caso se cubran las necesidades.
- g) Orientar a los departamentos de compra, planificación y producción sobre las tendencias a largo plazo relacionadas con el ahorro y conservación de energía.
- h) Asegurar que al llevar a cabo mejoras o aplicar sugerencias sobre temas energéticos, no se comprometan la seguridad ni la higiene o bienestar del personal.
- i) Establecer relaciones con otras empresas dentro del mismo o diferente sector, siempre de acuerdo con las normas de la propia dirección, para intercambiar ideas y experiencias relacionadas con técnicas de ahorro o planes energéticos.

- j) Mantener contactos con la administración y con grupos de investigación para ayudar a establecer planes de formación a mediano plazo; así como mejorar las acciones o conocer cuales son los mecanismos de ayuda o estímulos existentes.
- k) Mantenerse al día sobre la información que se genere a nivel mundial sobre desarrollos y tendencias en asuntos energéticos.

Para cumplir con todas estas obligaciones, hay que considerar la conveniencia de requerir las consultas de un experto energético exterior, ya que el especialista externo aportara nuevas y recientes ideas que pueden ayudar a resolver los problemas concretos del GE.

Ademas, puede ser de gran ayuda la supervisión y comentarios de tal especialista sobre el desarrollo y la implementación de programas emprendidos, ya que a menudo la visión de problemas desde el exterior, ayuda a resolverlos de una manera muy eficaz.

#### *AUDITORIA ENERGETICA*

Una auditoria energética consiste básicamente en el análisis de la situación energética a lo largo de un periodo de tiempo dado, con el fin de determinar como y donde se utiliza la energía en sus distintas formas. Toda empresa industrial conoce perfectamente, cuanta energía consume en un periodo determinado; sin embargo, en muchos casos no se conoce de modo exacto como se gasta la energía a lo largo de los procesos productivos, y donde se producen los mayores derroches.

El conocimiento del como y donde son fundamentales para la iniciación de un programa de ahorro energético. En consecuencia, antes de llevar a cabo tal programa es preciso realizar el análisis o auditoria correspondiente. Conviene recordar, que la realización de una auditoria es una condición previa para que la administración considere la posibilidad de conceder los recursos necesarios, para invertir en programas y acciones relacionadas con el ahorro de energía.

### 3.3 LA INFORMACION ENERGETICA COMO BASE DE CUALQUIER PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA

Como paso previo al empleo de las computadoras y la informática en el ahorro de energía, debe realizarse un ordenamiento preciso en la recopilación de la información detallada que día a día se presenta en los procesos industriales.

En primer lugar, se presenta la necesidad de contar con una información confiable de la manera más sencilla, sobre las magnitudes y variables que se relacionan con el consumo de energía.

Entre estas variables que constantemente se están controlando se encuentran: la temperatura, flujos, presiones, gravedad específica, composición química, etc.; y que sirven para la preparación previa de los balances de energía. La medición confiable, constante y exacta de las variables que involucran el proceso es de vital importancia para cualquier programa de ahorro de energía.

La medición de las variables físicas se puede realizar de distintas formas, ya sea mediante el empleo de instrumentos portátiles, mediante el uso de instrumentos fijos de tipo indicador, por medios más sofisticados que permitan un registro continuo o una medición acotada a intervalos de tiempo definidos que pueden ser enviados a distancia para su análisis.

Desde luego, la electrónica, mediante los microprocesadores o los ordenadores, permite la adquisición de esta información de una forma confiable, y en la cantidad que se estime conveniente, de modo que puede almacenarse en memorias adecuadas para su manipulación y tratamiento posterior.

Sin el empleo de estos medios, la recopilación de datos (medición de variables) resulta más complicado y menos exactos, y precisamente esta facilidad de obtener las magnitudes de las variables es lo que ha hecho tan interesante la aplicación de los microprocesadores en una amplia gama de aplicaciones, entre las que destaca el ahorro de energía en plantas industriales.

La realización de balances energéticos a partir de los datos energéticos recopilados, proporciona una información que es fundamental para el control de la gestión energética. A través de los balances energéticos, que cambian con el tiempo,

es posible comprender como varían los consumos de energía de los distintos procesos. Esta variación se toma en cuenta como base en la aplicación de medidas correctoras o de contraste para verificar que las variables de proceso se encuentran dentro de los rangos permisibles en el proceso.

De lo anterior se infiere, que entre mas precisa sea la información obtenida sobre los parametros, serán mas representativos para la realización de los balances del proceso, y mejor serán las decisiones energéticas tomadas. También se logra una mayor exactitud al evaluar las consecuencias de las medidas de ahorro que se hallan tomado.

Los ordenadores son hoy en día, una de las herramientas más importantes en la industria, debido a la facilidad y versatilidad para la realización de un sin número de operaciones programables de cálculo. Lo anterior se demuestra, al comentar el hecho de poder alimentar al ordenador directa y continuamente, los datos de los parametros energéticos con la finalidad de calcular de la manera mas precisa los balances energéticos, y presentar la información que requiere la gestión energética establecida.

Además, los ordenadores son herramientas indispensables para llevar al día la contabilidad energética representada por las atribuciones de costos energéticos a las distintas fases del proceso. Lo anterior no solamente desde el punto de vista de los costos energéticos específicos, si no incluso desde el punto de vista de la aplicación de los costos de producción.

### 3.4 SISTEMAS DE CONTROL EN PROGRAMAS DE AHORRO DE ENERGÍA

El concepto de controlar los equipos de un proceso desde una posición central o centro de control, es en la actualidad una característica fundamental y necesaria de casi todas las plantas químicas. Con los avances tecnológicos en procesos industriales, y con los avances acelerados en informática, así como las exigencias cada vez más estrictas en control ambiental y la imperante necesidad de optimizar recursos; las plantas de proceso han tenido que modernizar sus instalaciones mediante la instalación de centros de control automático.

En los últimos años, las instalaciones de las industrias han incrementado su nivel de complejidad, aumentando con esto el consumo energético en algunas áreas del proceso, por lo que se le ha dado mayor importancia a los conceptos de seguridad en caso de incendios. También se han diseñado sistemas sofisticados para las comunicaciones o sistemas de ordenadores para el tratamiento de la información exigida en el desarrollo de los procesos propios de cada industria química.

Esta situación en evolución, ha exigido un cambio en los primeros sistemas de seguimiento, los cuales se han sofisticado cada día más, aumentando con esto su utilidad al posibilitar no solo el seguimiento del funcionamiento de una instalación, sino también la medición y distribución de los consumos energéticos.

La identificación de áreas de consumo de energía con pérdidas de la misma, y mediante la capacidad de programación existente en el sistema de control, se pueden realizar simulaciones en el funcionamiento de las instalaciones para mejorar los consumos energéticos.

La incorporación de los ordenadores ha hecho que un sistema de control tenga capacidad para realizar cálculos muy complejos de la manera más precisa, de tal modo que dicho sistema es capaz de cuantificar los consumos energéticos, optimiza recursos y realiza una explicación sistemática del funcionamiento de las instalaciones.

Los fabricantes de los sistemas de control de instalaciones o de automatización de las mismas, establecen generalmente cuatro niveles de complejidad creciente que pueden servir para clasificar la capacidad de los sistemas:

- 1) Seguimiento centralizado y control arranque/paro del equipo de la instalación. Permite que el operador del sistema conozca y pueda cambiar el estado de cualquier punto de la instalación o recibir una alarma cuando el equipo se para o arranca de forma no deseada.
  - 2) El sistema de control puede leer valores analógicos tales como temperaturas y presiones, permitiendo el ajuste de puntos del tipo analógico y posibilitando el establecimiento de alarmas analógicas y de una programación con un horario específico.
  - 3) El sistema puede ser versátil, en el sentido de que puede ampliarse su capacidad.
  - 4) Existencia de un ordenador. En algunos sistemas el ordenador puede añadirse a lo existente. En otros sistemas la existencia de un ordenador es algo inherente al diseño básico del proceso.
- En su mas alto nivel de complejidad, un sistema de control central informatizado puede realizar gran número de acciones, como pueden ser:
- a) Arranque/paro de grupos de enfriamiento, bombas, compresores, torres, etc.
  - b) Seguimiento de las características de funcionamiento de los grupos de enfriamiento y equipo de condensación (temperaturas, presiones, consumo de motores, eficiencia, etc.).
  - c) Cuantificación de la cantidad de energía consumida por motores eléctricos de bombas y de los ventiladores.
  - d) Control de flujos de bombas, torres, cambiadores, calentadores, etc.
  - e) Estado de limpieza de filtros de aire.
  - f) Registro del consumo general de energía eléctrica y del estado de los interruptores principales del sistema eléctrico.
  - g) Encendido y apagado por zonas de acuerdo con un programa preestablecido.

- h) Supervisión del sistema de regulación y control de temperatura. En algunos sistemas esta función es realizada por el propio ordenador, apoyado en microprocesadores distribuidos en las instalaciones.
- i) Con respecto a la seguridad, el sistema de control central adquiere información relacionada con los sistemas o instalaciones de protección contra el fuego y contra parámetros no factibles para el proceso.

Esta información se refiere a la supervisión de la alimentación eléctrica, al estado de funcionamiento o paro de los grupos de emergencia (bombeo y electrogenos), al seguimiento de los niveles en los depósitos de agua de reserva y de combustible para el grupo electrogeno, a la supervisión de la presión en la red de abastecimiento de agua, etc. También es conveniente que el sistema de control central de instalaciones, opere en sus sistemas el control de la seguridad de la construcción.

Los sistemas de control central de instalaciones incluyen diversos componentes básicos, tales como los elementos necesarios para que el operador tenga acceso al sistema. Un componente fundamental, es la unidad de proceso que suele ir acompañada de diversos microprocesadores para la realización de trabajos rutinarios programados, como cálculos energéticos, optimización de substancias, determinación de los rendimientos de los equipos, preparación de los perfiles de consumo o establecimiento de planes de mantenimiento, etc.

En un sistema de control de instalaciones para el sector industrial, se presentan tres niveles de control diferentes, los cuales se implantan en función de las características de control requeridas por el proceso.

Cuando las características del proceso no son muy complejas, puede utilizarse un sistema de *control local* con un grado automatizado de control sencillo. En este tipo de control, se instalan en las diferentes áreas, controladores locales que son independientes entre sí. Por ejemplo, pueden existir relojes programadores para puesta en marcha y parada de los equipos.

El ajuste de los puntos de consigna debe hacerse localmente, y la supervisión del mantenimiento debe hacerse sistemáticamente con ayuda de un programa escrito cuyo cumplimiento se sigue mediante la toma manual de datos y la confirmación



también manual de las operaciones previstas. El sistema de *control local* es representativo en una diversidad de procesos industriales no muy complejos.

En algunas instalaciones industriales, y particularmente en las industrias químicas o de proceso, desde hace tiempo se viene empleando el sistema de *control manual centralizado*. Este sistema, aplicado generalmente a partes importantes del proceso, aunque no abarca todas las instalaciones de la industria, permite un control y un funcionamiento de las instalaciones a partir de un centro de control regido por un operador.

Dado que las órdenes de ejecución de actuaciones se dan manualmente, la efectividad del sistema como elemento para el ahorro de energía depende totalmente de la capacidad de decisión del operador a distancia de los puntos de ajuste, posibilita la lectura a distancia de datos analógicos y permite percibir alarmas debidas al mal funcionamiento de sistemas distantes. Este sistema permite el arranque y paro de equipos a distancia, con ciertas limitaciones, el operador puede proceder a la optimización de ciertos procesos.

Con un sistema de *control central automatizado* las funciones de control se realizan mediante una programación preestablecida que funciona gracias a los elementos de hardware y software incorporado al sistema. En este tipo de control central existe un centro de control desde el que el operador puede actuar manualmente si lo considera necesario, con lo cual el operador actúa como un supervisor del sistema.

En muchos sistemas automáticos se dispone de miniordenadores para funciones básicas de programación, junto con microprocesadores que, al no admitir un cambio fácil en su programación, ejecutan funciones rutinarias o de segundo orden.

Desde el punto de vista del ahorro de energía, pueden considerarse tres funciones básicas que realiza el sistema automático de control.

- arranque/parada a distancia
- optimización
- mantenimiento

El arranque/parada a distancia es útil tanto para el ahorro de energía como para liberar esfuerzos de mantenimiento. El operador que se encuentra en el centro de control puede activar las funciones de arranque/parada o, si existe la adecuada programación tales funciones pueden realizarse de forma automática, incluso en relación con programas de optimización.

Los programas de optimización permiten incrementar el rendimiento de los equipos al eliminar buena parte de las pérdidas de energía, y en cierto modo, disminuyen los costos de operación de las instalaciones: entre los programas de optimización más importantes, se encuentran los siguientes.

- optimización de arranque y paro
- optimización de la entalpia
- optimización de los grupos de enfriamiento de agua
- optimización de la demanda eléctrica

El programa de arranque y paro permite ahorrar energía para calefacción y refrigeración, al regular la operación diaria de los equipos en función de la situación térmica de los mismos. Es decir, el programa decide avanzar o retrasar el arranque de la calefacción y de la refrigeración como respuesta a la temperatura interior (baja o alta) y a la temperatura exterior. Este programa requiere que el operador tenga una cierta experiencia de la forma en que térmicamente se comportan los equipos del proceso.

En el caso del programa de optimización de la entalpia, el ahorro energético se obtiene al comparar en cada momento los valores del calor total (entalpia) contenido en el aire que proviene del exterior (ventilación), y el aire que sale del sistema. El programa considera cual de los dos aires es más importante desde el punto de vista térmico, es decir, cual es el que exige menos energía para su tratamiento previo a la introducción en el circuito de climatización.

El programa de optimización de los grupos de enfriamiento de agua se aplica a grupos de compresores centrífugos trabajando en paralelo. Los programas de optimización de la demanda eléctrica actúan como limitadores de punta para evitar penalizaciones en la facturación eléctrica.

Establecen prioridades en el funcionamiento de los equipos y maquinaria, de modo que en ciertos momentos algunos de estos salen fuera de operación para evitar consumos excesivos de energía. También actúan, en las secuencias de arranque para suavizar las puntas instantáneas del arranque de grupos de motores.

Los sistemas de control automático suelen rentabilizarse por ellos mismos en un corto periodo de tiempo, y contribuyen al ahorro energético y de mantenimiento con porcentajes que van del 7 al 15 %. Considerando los anteriores porcentajes, el usuario debe considerar, en función de sus criterios financieros, cual debe ser el nivel de su inversión que destinará.

En general, el costo de la inversión depende de algunos factores que pueden ser datos del tipo analógico o digital, y entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- número de puntos seguidos o controlados.
- tipo de puntos a controlar.
- funciones exigidas.
- número y tipo de instalaciones a controlar.

# CAPITULO IV

## ECONOMIA DEL AHORRO DE ENERGIA

#### 4.1 INTRODUCCION

Existen diversos conceptos y técnicas analíticas que pueden servir como base para los gerentes de plantas industriales, para que fomenten la iniciativa de invertir en programas de ahorro de energía, analizando por sí mismo el método alternativo más conveniente para evaluar y comparar inversiones en ahorro de energía.

Los métodos existentes para evaluar métodos de inversión en programas de ahorro de energía, varían desde técnicas muy elementales, tales como determinación del período de recuperación, a técnicas más completas, como el análisis de costo-beneficio, análisis del costo de tiempo de vida útil, y el método de la tasa interna de recuperación; métodos muy conocidos en Ingeniería y que no serán tratados en este trabajo.

La forma de invertir por parte de una empresa industrial, depende del análisis financiero que cada compañía realiza. Los procedimientos generales y los tipos de datos utilizados, serán esencialmente uniformes para muchas industrias o firmas de Ingeniería que en determinado proyecto evaluarán una inversión de recuperación de calor de desperdicio.

Los métodos de evaluación antes mencionados, son utilizados en diferentes problemas de inversión de diferente complejidad. En el caso que sólo exista un equipo de recuperación de calor de desperdicio, adecuado para la aplicación específica y que también se tenga que el mismo equipo no presenta muchas variaciones en su elección, la decisión sobre la inversión es simplemente: ¿Se compra el equipo o no se compra?

En el caso de que existan más alternativas en el uso de equipo así como diferentes tamaños del mismo, la pregunta será no solamente si debe comprarse el equipo sino también que tipo y tamaño del mismo debe adquirirse en base al análisis realizado.

La discusión de técnicas de evaluación de inversión presupone que un objetivo fundamental de un negocio, es la maximización de la utilidad. Una inversión adecuada en la recuperación de calor de desperdicio generalmente aumenta las utilidades reduciendo los costos de combustible, y en algunos casos, obteniendo ingresos adicionales.

#### 4.2 COSTOS Y BENEFICIOS

La principal motivación que tienen las empresas industriales para invertir en programas de recuperación de calor, es el hecho de que esperan que las ganancias o beneficios resultantes de la inversión sean superiores a esta última. Los factores que han contribuido a que las empresas realicen inversiones en este rubro son varias y entre las que destacan se encuentran:

- Elevación de los costos de los combustibles
- Reducción de las fuentes de energía de origen natural
- Drásticas medidas sobre contaminación
- Utilización de otras fuentes de energía

La reglamentación contra la contaminación y los costos cada vez mayores de la mano de obra inciden en las utilidades y hacen que las firmas comerciales consideren más cuidadosamente las formas en que pueden controlar los costos. Más adelante se presentan las ventajas que tiene la recuperación de calor de desperdicio, las cuales han sido sugeridas en base a la aplicación de las mismas en diversas plantas, donde se encontró que el ahorro de combustible es el más común.

Los otros beneficios, ahorros en capital, costos en mantenimiento del equipo existente, reducción de la contaminación, ahorro de salarios, mejoramiento del producto y recuperación por las ventas del calor recuperado, parecen limitados a ciertas aplicaciones.

*TABLA 4.1 Posibles beneficios de la recuperación de calor de desperdicio*

- 
- 1.- Ahorro de combustible
  - 2.- Reducción de tamaño, en consecuencia, costo de capital más bajo del equipo de calefacción
  - 3.- Minimización de los costos de mantenimiento para el equipo existente.
  - 4.- Reducción de los costos de mano de obra en la producción.
  - 5.- Reducción de la contaminación.
  - 6.- Incremento de la calidad del producto.
  - 7.- Ingresos por la venta de calor o energía recuperada.
-

Los beneficios anteriores no todos son alcanzados por la inversión llevada a cabo en la recuperación de calor residual; ya que en muchas ocasiones sólo el ahorro de combustible puede ser el único beneficio de muchas aplicaciones.

El ahorro de combustible se obtiene cuando se recupera calor residual y se usa en sustitución de calor o energía que de otra manera se compraría. Por ejemplo, el calor de los gases de salida de una chimenea se puede recuperar por medio de un economizador y se puede usar para calentar el agua de entrada, reduciendo así la cantidad de combustible necesaria para la generación de vapor.

Es posible efectuar ahorros en costo de capital para ciertos elementos del equipo existente, si el calor recuperado reduce la capacidad necesaria en hornos u otros equipos de calefacción. La reducción en el mantenimiento y reparación de ciertas partes del equipo existente puede en algunos casos, considerarse como un beneficio adicional de la inversión en la recuperación de calor residual.

Lo más importante sobre el mantenimiento del equipo existente tendrá que provenir de las fases de planeación, ingeniería e instalación de la inversión en recuperación de calor residual, cuando el equipo existente y los procesos de la planta son sometidos a un análisis e investigación. Las fallas existentes pueden ser identificadas y corregidas; y las mejoras en las prácticas de mantenimiento se pueden extender al equipo existente.

Aunque estos mismos efectos se pueden lograr independientemente de la recuperación del calor de desperdicio, en base a una inspección aislada del equipo existente, la planeación para recuperar calor residual se convierte en una motivación para las inspecciones. Además, el costo de la información probablemente se reduce significativamente cuando la inspección se efectúa conjuntamente con la planeación para la recuperación de calor residual.

Hay otros efectos sobre la recuperación de calor de desperdicio, que pueden reducir los costos de mantenimiento; por ejemplo, una disminución en la temperatura de los gases de escape de la chimenea.

Otro tipo de beneficio, que puede resultar de la inversión en recuperación de calor residual, es el ahorro en costos de mano de obra. Este ahorro de mano de obra

puede deberse a una reducción en el tiempo de cambio de régimen del horno ( es decir, el tiempo necesario para alterar las temperaturas del horno que se requieran para un cambio en utilización dentro de la producción) precalentando el aire de combustión con calor de desperdicio.

También pueden obtenerse ahorros derivados de arranques más rápidos en el horno, logrados por medios similares. Al reducir la cantidad de tiempo muerto, los costos unitarios de mano de obra se reducen.

La reducción en la contaminación es un beneficio marginal que puede resultar de la recuperación de calor residual. Por ejemplo, la reducción de contaminación en plantas textiles, con frecuencia se facilita por la recuperación de calor residual. Los contaminantes que generalmente son plastificantes, se recolectan circulando el aire de los hornos a través de precipitadores electrostáticos. Sin embargo, el aire debe enfriarse para lograr colectar los contaminantes.

En el ejemplo anterior, existe un impacto doble en el uso de combustible en la aplicación de recuperación de calor. Los efectos marginales de la reducción de la contaminación representados por el ejemplo se distinguen del uso de sistemas para recuperar calor de un proceso de reducción de contaminación, en el cual la recuperación de calor no contribuye por si misma a la reducción de la contaminación.

Por ejemplo, la reducción del calor residual de la incineración de algunos contaminantes es un método para reducir el costo de disminución de la contaminación, obteniéndose un subproducto útil, proveniente del proceso de reducción. Sin embargo, la recuperación del calor de desperdicio no contribuye por si misma al proceso de reducción de la contaminación y por lo tanto sus beneficios no son múltiples; el único beneficio es el valor del ahorro de combustible proveniente del uso del calor recuperado en otros procesos.

El mejoramiento del producto es un efecto subsecuente potencial, proveniente de la recuperación del calor de desperdicio; por ejemplo, al lograr una temperatura más estable en el horno y una reducción en la aeración del mismo, el uso de un recuperador para precalentar el aire de combustión puede reducir la formación de escamas indeseables en productos metálicos. En ausencia de aire de combustión precalentado, sería necesario invertir en mejorar los controles de horno o en algún



otro medio para evitar la formación de escamas, para asegurar la calidad del producto.

En este caso, el beneficio potencial es la generación de ingresos, y sus efectos serían medibles como ingresos adicionales recibidos por venta. Para evaluar la conveniencia de una inversión, se necesitan mediciones de costos para comparar con los beneficios. La tabla 4.2 muestra el tipo de costo que puede darse en relación con la recuperación de calor de desperdicio.

En la tabla, se observa que los costos pueden empezar aún antes de que el sistema de recuperación de calor residual sea instalado; extendiéndose a lo largo del periodo de operación continua de la planta. En la mayoría de los casos, la solución principal de costo lo más probable es que sea la adquisición e instalación del cambiador de calor.

Los costos y beneficios que están relacionados directamente con la inversión, son los únicos que deben considerarse en el análisis. Por ejemplo, si en una planta es necesario agregar un aparato de control de contaminación, la decisión de agregar un sistema de recuperación de calor residual al control de contaminación, no debe estar influida por los costos del sistema de control de contaminación.

Un beneficio potencial de gran importancia como consecuencia de la recuperación del calor residual, es la generación de ingresos adicionales provenientes de las ventas por calor y energía residuales recuperados. En algunos casos, el calor de desperdicio recuperable no puede ser usado en su totalidad dentro de los límites de batería de la planta, y sin embargo, la recuperación del calor sigue siendo ventajosa si existen plantas adyacentes dispuestas a comprar el calor recuperado.

La administración de la energía de un programa de conservación de la misma en una empresa industrial, debe desarrollarse en función de las técnicas económicas básicas que tome en cuenta una evaluación de la inversión, contra los beneficios obtenidos.

El consejo de administración de la empresa, esta encargada de tomar las decisiones administrativas sobre un programa de ahorro de energía, así como de la responsabilidad de la implementación y desarrollo del programa.

**TABLA 4.2 Costos potenciales a considerar al invertir en recuperación de calor residual**

| Tipos de costos   | Ejemplos de costos   |
|---|--|
| 1.- Costos de preingeniería y planeación  | Honorarios de consultores en ingeniería; costos internos de personal y materiales para determinar tipo, tamaño y localización del cambiador de calor   |
| 2.- Costos de adquisición del equipo de recuperación de calor.                              | Costos de compra e instalación de un recuperador.  |
| 3.- Costos de adquisición de los accesorios necesarios al equipo existente.                 | Costos de compra e instalación de nuevos controles, quemadores, controles de tiro de chimenea y ventiladores para proteger el horno y el recuperador de las temperaturas más elevadas en el horno, debidas al precalentamiento del aire de combustión. |
| 4.- Costo de sustitución.   | Costos de sustitución de la cubierta interior del recuperador en N años, neto al valor de rescate de la cubierta existente.  |
| 5.- Costo de modificación y reparación del equipo existente.                                | Costos de reparación de las puertas del horno para resolver las mayores pérdidas de calor que resulten del aumento de temperatura, producido por el precalentamiento del aire de combustión.   |
| 6.- Costos de espacio.  | Costo de espacio de piso útil ocupado por el generador de vapor de calor de desperdicio; costo del espacio útil en la parte superior del equipo ocupado por el evaporador.   |
| 7.- Costos de tiempos de suspensión de producción durante la instalación.                   | Pérdida de potencia de salida por una semana, neto al ahorro asociado a costos de operación.   |
| 8.- Costos de ajustes (eliminación de problemas durante la puesta en servicio).             | Disminución en producción; costos de mano de obra de eliminación de los problemas de puesta en servicio.   |
| 9.- Costos de mantenimiento del nuevo equipo.   | Costos de servicio del cambiador de calor  |
| 10.- Impuestos sobre la propiedad y/o equipo, aplicados al equipo de recuperación de calor. | Impuesto adicional de propiedad aplicado al valor capitalizado del recuperador.  |
| 11.- Cambio en los costos de seguros por riesgos.   | Tasas más altas de seguros, debidas a mayor riesgo de incendio. Aumento en el costo de accidentes debidos a la existencia de mayor número de puntos calientes de un espacio estrecho.  |

Es importante mencionar, la importancia que tiene el apoyo amplio y firme de la gerencia de la planta al programa de ahorro de energía, ya que sin el apoyo de esta es difícil que los empleados responsables en otros niveles tengan un gran desempeño en el programa implementado.

El programa energético puede llevarse a cabo por medio de la asignación de un gerente de energía, que pueda formar un buen equipo de trabajo en todos los niveles de la planta, además; debe tener facultades para contratar si es necesario, a personal especializado que no pertenece a la plantilla de la empresa y tendrá que coordinar las actividades de todos los elementos que trabajaran en el programa.

Lo ideal es que el gerente de energía, cuente con recursos económicos que le permitan desarrollar un programa de mantenimiento adecuado y otras tareas semejantes, según las observaciones de sus auxiliares en el campo. El presupuesto asignado al programa debe ser suficiente para realizar consultorias externas, que le ayuden a la realización de auditorias de energía y en la obtención de equipo de diseño más especializado.

Generalmente la energía consumida en los procesos por los equipos, es más difícil de cuantificar que otros tipos de energía implicada en la empresa. Así, los costos globales de la energía, tales como la eléctrica, el consumo de agua, o el gas se obtienen más fácil, que la relacionada en los equipos, ya que muchas veces la eficiencia de estos dentro de la planta en la mayoría de las veces es desconocida.

Sin embargo, el conocimiento de esta eficiencia es un dato importante para la auditoria energética, y en muchas ocasiones el conocer este dato puede representar un gran problema.

La mayoría de las empresas, clasifican sus requerimientos energéticos por áreas para actividades productivas o de fabricación. La primera categoría se refiere a la energía relacionada con la iluminación, calefacción o acondicionamiento de aire, servicio de agua caliente dentro de oficinas, áreas de producción o almacenes.

La segunda categoría, implica los consumos de energía del equipo de proceso, tales como el calor, consumo de energía eléctrica por los motores, compresores de aire y otros equipos utilizados dentro del proceso de producción.

Los factores de carga que varían de acuerdo a la estación del año, no influyen determinadamente dentro del área de proceso, mientras que la carga de iluminación, calefacción y aire acondicionado tendrán fuertes variaciones de acuerdo a las estaciones del año que se presente.

Es muy simple establecer un control sobre el consumo de energía en iluminación y aire acondicionado; pero se recomienda que esto se realice con mucho cuidado para establecer un control semejante para los consumos de agua y combustible, durante el período inicial de la "auditoria energética".

Con la gran variedad de factores involucrados, tales como la relación aire-combustible, viscosidad del combustible, temperatura del gas de deshecho, etc., se pueden requerir varios equipos de medición, de ahí; que sea conveniente contemplar la posibilidad de hacer una " auditoria energética " mediante un contrato con una firma de ingeniería consultora.

La auditora debe dedicar más importancia a los equipos de gran consumo de energía dentro de la planta, y si esta se desarrolla en forma adecuada, debe capacitar a la gerencia a identificar cualquier ineficiencia y desperdicio de energía que se este presentando en algún equipo, el cual debe ser corregido de acuerdo a la capacidad y recursos con que cuenta la industria.

Con esto se lograrán ahorros significativos con inversiones relativamente bajas, sin embargo a largo plazo la efectividad dentro del proceso de planeación y pronósticos de la demanda de energía, serán los precios los que determinen los montos de la inversión en una nueva planta o modificación de la existente.

La inversión del capital necesario, en función de un estudio financiero bien planteado, traerá como consecuencia recuperación del capital en cortos plazos, pero depende de las políticas de la compañía. Sin embargo existen otras implicaciones de mayor alcance dentro de los programas de ahorro de energía, que deben tomarse en cuenta por la gerencia, ya que afectarán su política por periodos de tiempo, que pueden repercutir, en periodos de tiempo hasta de 10 años.

Entre los aspectos más importantes del análisis a largo plazo, se encuentra la predicción de los cambios que se pueden presentar dentro de la tecnología de los

procesos básicos dentro de una industria en particular; esto quiere decir, que se deben realizar las modificaciones sugeridas por las investigaciones realizadas sobre el proceso que la planta maneja.

Esto requiere de fuentes de información fuera de la compañía y son de interés las investigaciones que se desarrollan, relacionadas con el proceso en cuestión. Se debe tomar en cuenta también los cambios tecnológicos asociados con un producto en particular, así como el impacto de la utilización de la energía y el patrón de producción de la compañía, que se genera por la diversificación en la producción.

Por ejemplo, si hay un cambio en el combustible utilizado, tal como el cambio de combustible por gas natural para la operación de un calentador, lo cual de antemano está contemplado como un beneficio diversificado.

El gerente de energía tiene otras características importantes bajo su responsabilidad, las cuales son:

- 1.- Debe tener un objetivo real y definido para lograr el ahorro de energía, basado en los resultados de la auditoría energética y la cooperación de los integrantes del programa.
- 2.- Con gran responsabilidad debe motivar a todos los demás integrantes en el programa de ahorro de energía, de tal forma que la participación de estos últimos sea vea motivada por incentivos y sugerencias, o bien algunos otros factores que reflejen el beneficio que recibe un empleado por su buena participación en el programa implementado por la compañía.

El gerente de energía, será la figura central dentro de la industria, a medida que el costo de la energía se incrementa y que esta tenga influencia en el costo de producción (incluyendo las materias primas), a un nivel semejante al valor dado a los materiales de desecho.

La empresa industrial que sea capaz de hacer buen uso de la energía implicada en sus sistemas, se considera una compañía competitiva.

#### 4.3 CONCEPTO DE LA MODERNIZACION DE LAS INSTALACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGIA

El objetivo de diseño básico de todas las plantas de procesamiento integrado, es la producción confiable con bajos costos iniciales y de operación, así como el cumplimiento de las normas en materia ambiental. Lo anterior se puede cumplir si los ingenieros aplican los principios elementales de ingeniería básica con el propósito de tomar muy en cuenta las amplias variaciones de requerimientos ambientales, los costos y disponibilidad de energía, así como la flexibilidad del proceso con que trabaja la planta.

Una de las preocupaciones actuales en relación con la economía en todas las plantas industriales, es la de minimizar el consumo de energía; lo cual puede lograrse implementando un programa integrado de la misma. Esto quiere decir que debe seleccionarse como uno de los primeros pasos, la elección de los combustibles disponibles que se consumirán en la planta, siendo de vital importancia para el objetivo de ahorrar energía, seleccionar el más adecuado y el que sea más barato para el funcionamiento de la planta.

El primer paso en el proceso de la implementación de un programa total de energía, es determinar si se ampliarán o modernizarán o ambas situaciones las instalaciones ya existentes, o bien si se construirá una nueva planta integrada. Para llevar a cabo tal determinación se debe analizar cuidadosamente las ventajas y desventajas que puedan existir entre una y otra decisión, tal como lo muestra la tabla 4.3 que más adelante se muestra.

En dicha tabla se resumen algunas de las ventajas y desventajas al tomar cualquiera de las decisiones, y se puede observar que cuando se dispone de espacio para la expansión-modernización de las instalaciones existentes y si el proceso se puede flexibilizar debidamente, la modernización resulta ser económica y ambientalmente atractiva.

Las industrias de refinación del petróleo, plantas petroquímicas, plantas químicas y algunas plantas de proceso semejante, son las que mejor pueden aceptar las comparaciones realizadas en la tabla 4.3; ya que otras industrias como las generadoras

de energía eléctrica y del gas natural, tienen otras perspectivas debido a que el principal factor de costo no es el capital, sino el de materias primas y combustibles.

*TABLA 4.3 Comparación entre modernizar-ampliar las instalaciones existentes o construir una nueva planta.*

| M O D E R N I Z A C I O N - A M P L I A C I O N D E L A S I N S T A L A C I O N E S      |  |
|--|--|
| VENTAJAS   | DESVENTAJAS  |
| 1.- Se requiere menos capital por unidad de combustible                                  | 1.- Se presentan mayores costos de operación   |
| 2.- Existe mayor recuperación de la inversión  | 2.- Existe menor flexibilidad en el proceso a futuro                                       |
| 3.- Se presentan menores problemas de asentamientos                                      | 3.- No es fácilmente adaptable a las leyes ambientales                                     |
| 4.- Las auditorías ambientales son menos restrictivas                                    | 4.- Disponibilidad limitada de servicios   |
| 5.- Adecuada organización del personal de operación. Requiere aumentos de materia prima. | 5.- Terreno limitado   |
| 6.- Sólo se requieren aumentos en el producto  |  |
| C O N S T R U C C I O N D E U N A N U E V A P L A N T A                                  |  |
| VENTAJAS   | DESVENTAJAS  |
| 1.- Mayor eficiencia y menores costos de operación                                       | 1.- Se presentan generalmente mayores costos de capital                                    |
| 2.- Existe gran flexibilidad en el proceso   | 2.- Mayores problemas de asentamiento  |
| 3.- Mayor producción por unidad de materia prima   | 3.- Se requiere nuevo personal operativo para la planta                                    |
| 4.- Puede ubicarse más cerca de los mercados deseados                                    | 4.- Puede haber desempleo debido a posible suspensión de operaciones de plantas existentes |

#### 4.4 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS ECONOMICOS

El siguiente paso en la aplicación del concepto total de energía es determinar los parámetros económicos que han de convertirse en las bases para subsecuentes evaluaciones. Estos factores pueden ser:

- 1) Valores asignados o calculados de los servicios, considerando los costos futuros de energía esperados.
- 2) Bases para estimaciones de costo, incluyendo aspectos tales como el tiempo del proyecto, localización del proyecto, costos de la mano de obra en la zona en que se realizará la construcción, métodos de contabilidad, tiempo de vida esperado de la tecnología utilizada en la planta.
- 3) Valor del dinero en ese momento.
- 4) Velocidad esperada de la inflación para la energía.

Después de que se han establecido los parámetros económicos, el siguiente paso es seleccionar el esquema de flujo más efectivo entre las combinaciones de procesamiento, que se encuentran como alternativas disponibles, cada una de las cuales puede cumplir los objetivos globales deseados. Al hacer esta selección, también deben considerarse los planes para conservar energía.

Algunos cuestionamientos importantes que contribuyen al diseño conceptual de un sistema total de energía son los siguientes:

- 1.- ¿Debe ser autosuficiente la planta en cuanto a servicios?, ¿O es posible adquirir económicamente electricidad y combustibles?
- 2.- ¿Cuál es la dependencia que se tiene de electricidad y combustibles de fuentes externas?
- 3.- ¿ Permitirán las normas locales quemar combustibles con ciertas características de composición?



Otras cuestiones relativas a capacidad, complejidad y unidades de procesamiento de la planta en conjunto son:

- 1.- ¿Qué servicios hará disponibles la recuperación de energía dentro de las unidades?
- 2.- ¿En caso de que se genere combustóleo, ¿cuál será la cantidad?. ¿puede dicho combustóleo aplicarse en turbinas de gas u otros dispositivos como combustibles, o debe conservarse para fabricación de otras sustancias, o bien quemarse en calentadores de proceso crítico?

Con respecto a la operación, deben plantearse las siguientes preguntas:

- 1.- ¿Pueden aplicarse ordenadamente los procedimientos de inicio y detención para el sistema integrado propuesto de recuperación y aporte?
- 2.- ¿Se ha dado suficiente flexibilidad a las operaciones diarias?

Considerando el grado de integración de la energía en la planta, deben hacerse los siguientes planteamientos:

- 1.- ¿Entre que unidades debe permitirse el intercambio de calor?
- 2.- ¿Son justificados estos arreglos desde el punto de vista de recuperación de calor?
- 3.- ¿Hay disponibles procesos operacionalmente simples que conserven energía, aunque puedan ser nuevos para el personal de diseño de la planta?

El problema global no puede resolverse inmediatamente debido a que las preguntas antes mencionadas requieren ser contestadas primero individual y después colectivamente. El desarrollo de un equilibrio de energía debe ocurrir simultáneamente con otras fases del proyecto a través de los periodos de planeación y diseño

#### 4.5 EL AHORRO ENERGETICO EN TERMINOS ECONOMICOS

Para la evaluación del ahorro de energía en términos económicos, debe hacerse la estimación del ahorro en función de unidades energéticas. Las unidades energéticas más empleadas en los estudios de ahorro de energía son el kilovatio-hora (Kw-h), la tonelada equivalente de petróleo (Tep), la termia de gas (termia) o en el sistema inglés se tienen las unidades típicas de Btu/hr.

Tomando en cuenta cualquiera de las unidades anteriores, es posible evaluar los resultados positivos al implementar alguna medida de ahorro de energía; esto se realiza tomando en cuenta la situación energética antes de aplicar alguna medida y después que esta ha sido llevada a la práctica.

La diferencia de consumos antes y después de la medida dará una idea del ahorro a obtenerse en términos energéticos, de acuerdo a las unidades elegidas. Para conocer el verdadero ahorro en términos económicos, debe aplicarse a todos los sistemas el costo económico de la unidad elegida a la tarifa vigente en cada caso.

Lo anterior es importante tomarlo en cuenta, cuando la medida de ahorro de energía implementada implica un cambio de fuente energética; ya que los precios de la unidad de energía antes y después de la medida serán distintos según las tarifas a aplicar. Por ejemplo al diversificar el uso de la energía pasando del empleo de electricidad al empleo de combustibles fósiles.

Aunque la conservación de la energía es de antemano un objetivo primordial desde varios puntos de vista, para los consumidores industriales lo más importante es el ahorro económico que representa la implementación de las medidas de ahorro energético. Es importante saber con detalle la información relacionada a como se distribuye los costos de cada unidad energética utilizada.

Sin embargo, la información anterior exige el esfuerzo que probablemente no podrá justificarse económicamente. De hecho muchas veces es mejor disponer de una información aproximada pero fiable que de ninguna idea respecto de los costos. Uno de los primeros datos a conocer son las tarifas y precios de compra de la energía. Posiblemente un buen análisis de estas tarifas permitirá establecer negociaciones a nivel de gestión de compra energética para obtener buenos resultados.

Es conveniente estudiar las tarifas actuales, analizando a la vez la posible aplicación de otras más ventajosas. Con respecto a los combustibles comprados, principalmente los líquidos y gases; conviene valorar minuciosamente su costo real a nivel de utilización, tomando en cuenta algunos parámetros como:

- Capital inmovilizado
- Amortización de instalaciones de almacenaje (terreno, tanques, etc.)
- Energía necesaria para su preparación (calentamiento)
- Costos de aditivos y productos similares
- Costos de la mano de obra de construcción y mantenimiento

La aplicación de una medida de ahorro de energía, implica la inversión en materiales y equipo, en mano de obra y en servicios de ingeniería o estudio. Al tratar el ahorro energético como una cuestión de índole económica, se presentan inmediatamente las cuestiones ¿Será rentable la medida?, ¿Como se valorará esta rentabilidad?.

Desde luego, cada organización es libre de valorar esta rentabilidad de la forma que le parezca más adecuada a los recursos financieros y económicos de que disponga. En este sentido no hay reglas fijas que permitan decir que una medida adoptada es cien por ciento rentable o no es rentable.

De todas formas, se puede afirmar que en todos los casos la rentabilidad de una medida se mide por comparación entre el ahorro económico directo anual producido por la medida implementada y el costo originado por su implantación. Es decir, no suele calificarse la rentabilidad de la medida en función únicamente del ahorro económico absoluto obtenido de la medida.

Una medida muy práctica de la rentabilidad es la que proporciona el *tiempo de retorno simple*, es decir:

$$\frac{\text{Costo de la medida (\$)}}{\text{Ahorro económico anual (\$)}}$$

Se considera que las medidas adoptadas con tiempos de retorno de hasta tres años son los más recomendables, mientras que los tiempos de retorno entre 3 y 5 años se consideran aceptables si los niveles de inversión a realizar no son importantes, aunque se sugiere realizar estudios de viabilidad de las soluciones a niveles más precisos para

asegurar la estimación del ahorro y su costo.

El criterio anterior suele ser válido en casos de medidas de ahorro sencillas y que no involucren altos costos; ya que si las condiciones son las contrarias a las antes expuestas, es mejor analizar la rentabilidad a través de otros instrumentos, el más común de los cuales suele ser el de la tasa interna de retorno (TIR).

El TIR significa, contrastar los beneficios obtenidos de la medida de ahorro energético con los que se obtendrían con la actividad normal de la empresa, si los recursos destinados en la realización de la medida de ahorro se aplicaran directamente a dicha actividad.

En cualquier caso, puede decirse que la medida más rentable no es necesariamente la que más ahorro energético supone.

**CAPITULO V**  
**EQUIPOS DE**  
**PROCESO**  
**CONSIDERADOS**  
**PARA EL AHORRO DE**  
**ENERGIA**

## 5.1 HORNOS

Un horno consume grandes cantidades de energía, y está considerado como uno de los equipos de proceso con mayor consumo de energía; lo cual lo hace ser el primero en ser analizado con el objetivo de ahorrar energía en la planta. De ahí, que los sistemas de recuperación de calor para hornos, han recibido la mayor atención, ya que el calor residual se puede utilizar para diversas aplicaciones, tal como el precalentamiento de aire de combustión, precalentamiento de algún fluido a utilizar en el horno, generación de agua caliente y vapor, o el calentamiento de fluidos térmicos.

El calor de alto grado que se genera en un horno y que se encuentra disponible para su recuperación, está considerado como calor de alto rango, debido a las temperaturas que presenta y no existe otra fuente de calor residual semejante a el que se genera en los hornos de los procesos industriales.

El aislamiento de un horno es otra medida para ahorrar energía en estos equipos, y representa una inversión menor en la recuperación del calor residual. Las pérdidas de calor dependen de las capas aislantes del horno, y esta capa junto con las puertas deben tener un mantenimiento adecuado para un ahorro de energía efectivo.

El aislamiento del horno se realiza mediante material aislante fabricado de refractarios de baja conductividad térmica, el cual consiste en fibras cerámicas a base de alumina o sílice; aunque es posible considerar otros tipos de materiales aislantes.

Este material aislante, se encuentra disponible en una variedad de formas que van desde lana y cuerda, hasta grandes piezas en forma de cobertor, y su efectividad es elevada, ya que una capa de 100 mm de espesor equivale a una capa de 300 mm, fabricada con ladrillo refractario cocido a fuego directo, con aislamiento de baja y alta temperatura, resistiendo temperaturas de hasta 1600 °C.

Los refractarios cerámicos se aplican ampliamente en hornos eléctricos, especialmente los que operan en forma intermitente, y se pueden obtener ahorros del 50%, y si se comparan con los hornos de aislamiento convencional construido con ladrillo refractario, se tienen ventajas similares en hornos que trabajan a fuego directo.

# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

79

El trabajo de un horno se debe programar cuidadosamente para reducir las cargas y en consecuencia el consumo de energía en los periodos de recalentamiento, pero si el horno esta parado por periodos considerables, la temperatura a que se mantiene debe ser la más baja posible. De igual manera el precalentamiento de los hornos al entrar en operación, se debe mantener únicamente durante el tiempo necesario.

En los grandes hornos industriales, el control de presión asegura un egreso mínimo de la flama y una entrada mínima de aire frío a través de las aberturas del horno. Por norma general se mantiene una presión interna ligeramente más alta, y la uniformidad de la presión dentro del horno, también auxilia en el calentamiento de la carga. El control de los parámetros importantes de un horno (y de otros equipos de combustión), así, como un mantenimiento correcto, son fundamentales para la operación eficiente.

Con la ayuda de un diagrama de control de eficiencia, en donde se muestra el exceso de aire con la temperatura de los gases en la chimenea, se puede relacionar el funcionamiento del horno, y los operadores pueden ajustar rápidamente el flujo de aire para lograr una operación eficiente del equipo.

Con respecto al mantenimiento de un horno, los depósitos en el sistema de calentamiento pueden disminuir la eficiencia, y el control de oxidación es un auxiliar que puede eliminar esta condición. La vida útil del horno y en particular la del material refractario, se puede acortar si la temperatura se altera frecuentemente, por lo que es conveniente implementar un programa de mantenimiento que disminuya esta situación, por medio de una programación de las jornadas de trabajo.

Cuando se utiliza un horno de fundición, es ventajoso efectuar la carga del mismo a través de los conductos de los gases de combustión, ya que se aprovecha el calor residual para precalentar la carga por medio de un cambiador de calor. Las altas velocidades de los gases de combustión dentro de los hornos (en oposición al fuego indirecto o a la baja velocidad de las flamas), puede mejorar la transferencia de calor.

Sin embargo, el comportamiento de los quemadores de baja velocidad en hornos con tiro natural, es desventajoso; y se ha demostrado en muchas ocasiones que la causa de un funcionamiento ineficiente en un horno, es debido a un mantenimiento

inadecuado en los quemadores del horno.

Los registros de aire también pueden bloquearse por el depósito de combustóleo; algunas compañías realizan un programa de mantenimiento y reposición de los extremos de los quemadores en muchas refinerías, y los estudios en una de ellas, deben conducir a la eliminación del bloqueo en los registros de admisión de aire.

Gran parte del equipo necesario para cargar y descargar un horno, así como su cámara, pueden ser una fuente de pérdida en la energía.

## 5.2 CHIMENEAS

La función primordial de las chimeneas es conducir los gases de combustión a un punto suficientemente alto para poder descargarlo a la atmósfera, y mantener a través del sistema, la velocidad de salida del gas, denominado tiro. Una chimenea puede operar con tiro natural o mecánico, y este último puede ser natural o forzado.

En los sistemas de tiro natural, que son más susceptibles de ser afectados por la contaminación, el interior y las condiciones de la parte superior de la chimenea son particularmente importantes. Si la parte superior de la chimenea está incrustada con depósitos de alquitrán u hollín, puede perder más del 50% de su área efectiva, afectando seriamente su habilidad para mantener un tiro suficiente; por lo que es importante realizar inspecciones regulares para conocer el estado de las chimeneas de la planta y efectuar la limpieza cuando sea necesario.

El tiro puede incrementarse, aumentando la altura de la chimenea y de esta forma se logra un mejoramiento en el funcionamiento del equipo; principalmente en las chimeneas de sección transversal relativamente grandes con bajas velocidades de gas, ya que de otra manera la caída de la presión resultaría no muy conveniente. Otra forma de mejorar el funcionamiento de un tiro natural, es instalar un control barométrico de tiro, o colocar en la parte superior de la chimenea inductores de tiro para aumentar su capacidad.

El tiro mecánico es recomendable cuando se aumenta el tamaño de una instalación, y se requiere mayor producción en una planta determinada o cuando hay equipo de recuperación de calor dentro de la chimenea, y se espera que por alguno



de los motivos anteriores existirá una mayor caída de presión.

El sistema ideal es una combinación de tiro inducido y tiro forzado, conocido con el nombre de tiro combinado. El ventilador que produce el tiro forzado, suministra aire primario para el proceso de combustión y aire secundario para quemar la materia volátil; y la única función del tiro inducido es desalojar los productos de combustión de la planta.

Si estos sistemas operan con ventiladores, la temperatura en la base de la chimenea es aproximadamente un 40% menor que en las chimeneas que tienen tiro natural, con una reducción proporcional en las pérdidas de los gases de combustión.

Hasta un 25% del calor del sistema se puede disipar en los gases de escape, cuando el tiro natural está en malas condiciones, y si la parte superior y el interior de la chimenea tiene incrustaciones, las pérdidas de calor pueden ser del 50% mayores que si el sistema de tiro natural estuviera en buenas condiciones de mantenimiento.

### 5.3 INCINERADORES

En las industrias muchas veces se descuida la operación de un incinerador, debido al criterio de que, como va a quemar material de desperdicio, no se considera como parte integral de los elementos productivos y esenciales de los procesos de producción.

Pero en la actualidad los incineradores están adquiriendo gran importancia, debido a que son capaces de eliminar líquidos, sólidos y gases, y su operación económica sólo se presenta si se adoptan algunas normas adecuadas, similares a las que se realizan en la operación de las calderas y hornos.

La aplicación de la incineración para control de la contaminación ambiental, adquiere cada día mayor importancia; los incineradores de vapor son muy apropiados en esta área. Se han puesto a la venta algunos incineradores de vapor, que utilizan un proceso catalítico para controlar la calidad de su efluente.

Todo material de desperdicio que se procese en un incinerador produce calor, y es conveniente aplicar métodos de recuperación de calor en estos sistemas, y las prácticas de funcionamiento industrial son similares a las que se aplican a otros equipos de combustión que se encuentran en los procesos industriales.

Entre estas prácticas se encuentra la de precalentar el aire de combustión, la instalación de aislamiento térmico adecuado, la elección de un buen diseño del quemador que permita utilizar un combustible adecuado a este servicio, y un control de temperatura de combustión, para asegurar que la temperatura mínima de incineración no se exceda demasiado; todos estos factores pueden contribuir a la reducción del costo de operación.

Si se compra un incinerador sin el equipo de recuperación de calor, es importante que se analice la posibilidad de que en un futuro se pueda agregar un cambiador de calor, con el propósito de utilizar el calor de desecho cuando sea posible y utilizarlo en otro servicio, o bien para contrarrestar el precio de los combustibles. Es recomendable que antes de incinerar un material, se considere su utilización directa como combustible.

#### 5.4 TORRES DE ENFRIAMIENTO

La función principal de las torres de enfriamiento, es la de reducir la temperatura en el agua que ha ganado calor en los intercambiadores que se encuentran en el área de proceso, de tal manera que esta misma agua pueda ser utilizada nuevamente en los equipos de intercambio de calor, antes de ser descargada al drenaje cuando se encuentra sumamente contaminada. Se considera que una torre pierde entre un 5 y 7% del agua que se recircula de la torre al área de proceso, y estas pérdidas son por lo general debidas a la evaporación y a las purgas de agua.

En otros tiempos, las plantas industriales desechaban al drenaje el agua que pasaba por los equipos de intercambio de calor, sin embargo; con las nuevas disposiciones ambientales y el creciente elevado costo de la misma han hecho que las plantas que poseen torres de enfriamiento, consideren la necesidad de ahorrar al máximo el agua involucrada en sus torres de enfriamiento.

Estos equipos por naturaleza desperdician energía calorífica, aunque este calor es de bajo rango de temperatura, tiene un valor y en algunos casos puede recuperarse, ya sea directamente con el empleo de cambiadores de calor o por medio de una bomba de calor. Cuando el agua alimentada a la torre de enfriamiento tiene temperaturas mayores a los 30 °C, es recomendable utilizar un método de enfriamiento alterno para aprovechar este calor. Si la bomba de calor usa esta agua como fuente de calor, la puede enfriar aun más, reduciendo así, la carga de la torre de enfriamiento.

Con respecto al funcionamiento normal de la torre de enfriamiento, una operación eficiente depende de las condiciones de su empaque, y puede ser ventajoso reemplazar el empaque existente con algunos de los nuevos tipos de empaque a base de plástico. Esto puede mejorar el funcionamiento y la capacidad de la torre de enfriamiento dentro de su misma carga original.

Se deben revisar las pérdidas excesivas de agua, e instalar eliminadores de niebla, para reducir las excesivas pérdidas por arrastre de vapor. Cualquier contaminación puede inferir con el funcionamiento adecuado de la torre, y se debe asegurar un mantenimiento preventivo para que las condiciones de operación de la torre estén en un estado que sea el más óptimo para la empresa.

Algunas industrias petroquímicas han analizado cuidadosamente sus procesos, que incluyen varias torres de enfriamiento, y se han dado cuenta que la potencia empleada por estos equipos es elevada y puede representar hasta la tercera parte del consumo total de la energía eléctrica. Por lo que han buscado la manera de reducir la energía en la misma, minimizando el flujo de agua de enfriamiento en el sistema, colocando registradores de temperatura a la salida del agua enfriada.

También han instalado registradores de temperatura en algunos puntos estratégicos, válvulas controladas termostáticamente a la salida de las torres de enfriamiento, de los condensadores y en los enfriadores, para obtener un control automático de los flujos. Cuando existen tres o más sistemas de circulación de agua de enfriamiento, se puede emplear para cada uno de ellos bombas de velocidad constante.

Al enlazar dos de los sistemas, e instalar una bomba de velocidad variable, fue posible reducir sustancialmente los costos de bombeo. Las fluctuaciones normales en la demanda de agua de enfriamiento, se abastecen con la bomba de velocidad variable y las fluctuaciones de la demanda, se satisfacen usando las bombas de velocidad constante, las que se conectan o desconectan, según lo requiera el caso. Se estima que al implementar estas medidas en la planta, se logran ahorros de energía de aproximadamente 2 Mw.

## 5.5 CALDERAS

Por su naturaleza, las calderas se utilizan conjuntamente con diversos equipos complementarios, como las trampas de vapor, las cuales pueden resultar mejores, mediante un buen mantenimiento preventivo, un buen aislamiento y otras medidas de bajo costo que evitan el desperdicio de energía.

Si el sistema que integra una caldera esta generando vapor o agua caliente, se recomienda el aislamiento cuando menos de las líneas principales y las fugas se deben reparar al ser detectadas; mientras que las trampas de vapor se tienen que checar regularmente con la finalidad de que su funcionamiento sea el correcto. El uso de tanques de almacenamiento para recibir agua caliente fuera de las horas de demanda máxima puede aumentar el ahorro de energía.

El mantenimiento de los componentes de la caldera es de vital importancia para el ahorro de energía, tales como la limpieza de la carcasa y de los tubos, ya que la eficiencia de combustión puede ser afectada por los depósitos que se forman y que reducen la velocidad del calentamiento.

La humidificación del aire de combustión suministrado a la caldera puede ser un factor que evita la formación de depósitos en el interior, y se recomienda utilizar de 12 a 20 Kg de agua por cada 1000 kg de aire de combustión.

Las calderas pueden desperdiciar cantidades apreciables de calor, y una de las medidas para evitar esto, consiste en registrar constantemente la temperatura de los gases de chimenea, ya que si esta temperatura es muy elevada es un indicio de que se esta desperdiciando una cantidad excesiva de calor hacia la atmósfera.

La recuperación de calor en los gases de combustión puede representar un 10% del consumo de combustible, aun cuando la temperatura de los gases sea relativamente baja, y siempre que sea posible debe regresarse el condensado de la caldera como agua de alimentación, y se debe recuperar el calor del condensado antes de descargarlo al drenaje.

El agua de alimentación a la caldera generalmente tiene que ser de alta calidad, como su condensado, y entre mas alta sea la temperatura del agua de alimentación, menor sera la cantidad de combustible requiendo para producir vapor. Las purgas de la caldera también son una fuente de calor recuperable, y este se debe recuperar en un cambiador de calor especial donde se descargan las purgas; y es muy conveniente cuando la calidad del agua es tan baja, que se requiere purgar con frecuencia.

El vapor generado al despresionar una línea de alta presión, o por el método de evaporación instantánea (flasheo), también puede considerarse como una opción para aplicar técnicas de recuperación.

Si una caldera proporciona calor para procesos y para calefacción, es recomendable tener presente la posibilidad de que opere durante los meses de verano a media carga y por lo tanto a una eficiencia menor. Puede resultar económicamente, la elección de dos unidades pequeñas para cada uno de estos servicios.

Existen algunos dispositivos para aislar los gases de la caldera durante periodos en los cuales el quemador no funciona, aprovechando así, la capacidad íntegra de almacenamiento térmico de la caldera. Durante la operación normal de la caldera, el tiempo de encendido del quemador se reduce, produciendo economías substanciales de combustible; mientras que por la noche y fin de semana, el calor que escapa por la chimenea es mínimo, con lo que se ahorra energía.

Una de las opciones para la reducir las pérdidas de calor en las calderas, es la de adquirir aisladores capaces de abrir o cerrar la línea de los gases de combustión automáticamente, cuando el quemador entre en operación o deje de funcionar; estos equipos se encuentran disponibles en el mercado en diversos diseños.

## 5.6 EQUIPO ELECTRICO Y TRAMPAS DE VAPOR

Una de las formas de reducir los costos de operación de los equipos eléctricos, tales como los motores; es mediante un diseño adecuado de sus dimensiones, ya que los motores más grandes consumen una cantidad mayor de energía, y por lo tanto su mantenimiento será más costoso; de ahí la importancia de adquirir un motor con características particulares para una determinada aplicación.

Las variaciones en el voltaje, es un factor que contribuye a:

- a) la reducción de la vida útil del equipo eléctrico
- b) reduce el factor de potencia
- c) aumenta la corriente de arranque

Se debe considerar la utilización de un equipo para estabilizar el voltaje, en caso de que existan fluctuaciones elevadas en la red. Todo el equipo eléctrico (incluyendo el de oficina) se deben desconectar cuando no se están utilizando; ya que el consumo de energía eléctrica representa un gasto considerable si no se economiza en ella, tal como sucede en otros servicios de la planta como son el agua, el gas y las comunicaciones.

En muchos casos la estructura de las tarifas es muy complicada, debido a los numerosos factores que se requieren para fijarla, estos factores incluyen la renta del medidor, el precio de la energía suministrada en horas fuera de la demanda máxima, el costo de la energía en horas restringidas, la tasa máxima de suministro y la demanda máxima anual.

Es recomendable que las compañías revisen las cuotas de la tarifa que se están generando en la misma por sus servicios, incluyendo la electricidad, para procurar que sean muy bajas.

Una trampa de vapor es una válvula automática que se instala en una línea de vapor para eliminar el condensado y el aire. Las trampas de vapor pueden actuar de varias maneras, las de operación termostática, responden a las diferencias de temperatura entre el vapor y el condensado que está más frío, y las trampas termodinámicas reaccionan con un cambio de fase.

Las trampas mecánicas o de flotador actúan cuando la densidad del medio cambia, indicando la presencia de condensado o de aire. La confiabilidad de las trampas de vapor es esencial y el condensado en los calentadores reduce su efectividad al disminuir la superficie interna de intercambio de calor. El aire y otros gases no condensables tienen un efecto similar; tanto el dióxido de carbono como el oxígeno en el vapor pueden causar corrosión en la tubería, lo que conduce a una reducción en la vida útil del calentador.

La falla de una trampa de vapor puede originar serios problemas, ya que si una trampa de vapor falla en su mecanismo de cerrado, impide el paso de vapor en el procedimiento de calentamiento, y esto se puede contrarrestar usando una derivación alrededor de la trampa, pero si la válvula de esta derivación se deja abierta durante largos periodos, la función de la trampa no se realiza, lo que disminuye gradualmente la eficiencia.

A menos que se repare rápidamente, la disminución en el funcionamiento conduce a un consumo excesivo de vapor y una baja en la eficiencia del proceso, y si la trampa de vapor falla en posición de abierto resulta más difícil de detectar. Sin embargo, se puede decir que el costo de una trampa abierta es bastante alto; pero una trampa que opera a una presión de 30 a 150  $\text{KN/m}^2$ , con un orificio cuyo diámetro varía de 9 a 12.5 mm, puede desperdiciar entre 500 y 100 L.M., mensuales de combustible.

Aún, si la trampa está funcionando, pero se encuentra sucia y no opera a su máxima eficiencia, origina un aumento de un 20% en el consumo de combustible. Como ejemplo en el ahorro de energía que se puede lograr al implementar algunas medidas pertinentes en las trampas de vapor, se comentará la siguiente medida.

La compañía Standard Oil implementó un programa de mantenimiento preventivo contra fugas de vapor en las trampas, obteniendo como resultado, que el consumo de vapor en sus instalaciones se redujo en más 30 Kg/s de vapor. En otras instalaciones industriales, en las cuales hay 2500 trampas de vapor en operación, el programa de mantenimiento incluye la comprobación y servicio general cada mes.

Al aplicar el anterior programa este representó un 50% del ahorro de vapor en toda la planta; lo cual se logró mediante la inspección cada tres meses de las

trampas, y se detectaron fallas entre un 10 y 15 %, lo que indicó un chequeo más regular de las trampas.

Otras empresas, utilizan con éxito detectores ultrasónicos para examinar el funcionamiento de sus trampas de vapor, y han sido capaces de mostrar y explicar la operación, instalación correcta y detección de fallas en las trampas de vapor, lo cual sirve como base a varios ingenieros y supervisores de otras plantas industriales.

### 5.7 PROCESOS GENERALES DE CALENTAMIENTO

Algunas características comunes y fáciles de llevar a cabo en las industrias en las aplicaciones de procesos de calentamiento, se explican a continuación :

- 1) Si el control térmico de un sistema se extiende al ambiente exterior, el sistema debe estar térmicamente separado del resto del medio.
- 2) Usar escudos reflectores para asegurar que el calor se quede dentro del área de proceso.
- 3) Reemplazar todos los procesos de calentamiento intermitente, si se justifica un proceso continuo por el volumen de la demanda; de esta forma la productividad se incrementará y se consumirá menos energía para precalentar las unidades, a medida que la carga se alimenta al sistema.
- 4) Considerar la posibilidad de adaptar un control automático al proceso, si es que esto aumenta la eficiencia.
- 5) Siempre que sea posible utilizar un adecuado aislamiento, y el material aislante debe ser a prueba de agua.
- 6) Los sistemas con opción para utilizar dos combustibles tienen la ventaja de aprovechar los precios y sus tarifas fluctuantes.
- 7) En algunos casos, el calor de las reacciones, endotérmicas o exotérmicas, puede eliminar la necesidad de calor externo, y puede actuar como fuente de calor.



- 8) Verificar que en los equipos que utilizan combustible, este sea el más idóneo para cada uno de ellos.
- 9) Si cambian los requerimientos del proceso, y si la carga de calentamiento no se requiere en algún punto particular, comprobar que todas las tuberías que ya no transportan vapor, aire o agua caliente al área de proceso, estén debidamente cerradas. Es frecuente encontrarse con pérdidas de calor en líneas de servicio cuando no existe necesidad de calor, y estas líneas tienden a olvidarse.
- 10) Los procesos continuos, tales como el tratamiento térmico o el secado, pueden involucrar pérdidas considerables de calor al entrar o salir de las cámaras de tratamiento. Para evitar esta pérdida se pueden utilizar cortinas de aire, las cuales mejoran el ambiente del operador e incrementan la longitud efectiva del horno.

#### *SISTEMAS LOCALES DE AGUA CALIENTE*

Hay un considerable número de aplicaciones, que pueden lograr ahorros significativos en sistemas de agua caliente, y entre las cuales se encuentran:

- 1) Reducir unos cuantos grados la temperatura máxima del agua de lavado; y esto difícilmente puede causar algún inconveniente y se puede hacer fácilmente si el sistema general de calefacción está separado del agua caliente para proceso.
- 2) Usar válvulas de cierre automáticas cuando falla su control, estas válvulas ahorran agua, tanto caliente como frías.
- 3) Aislar los tanques de almacenamiento del agua caliente, y los tramos de tubería que los conducen hasta las válvulas.
- 4) Comprobar que la capacidad del sistema de agua caliente no sea mayor de la necesaria. Los requerimientos de agua caliente pueden haber cambiado desde que se instaló el sistema.
- 5) Considerar la posibilidad de aprovechar el calor residual del sistema de calefacción o del agua de proceso, para precalentar el agua caliente para usos generales. Colocar los calentadores y tanques de almacenamiento de agua caliente, en un punto muy cercano a su lugar de uso.

## 5.8 TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y ADITIVOS PARA COMBUSTIBLES

Si un material se almacena a una temperatura superior a la ambiente (o inferior), o si se calienta en un recipiente, se pueden tomar varias medidas para reducir la pérdida de calor (o ganancia), o para mejorar los rangos de transferencia de calor; y entre estas medidas se encuentran las siguientes:

- 1) Los tanques de almacenamiento y las tinas se deben aislar y cubrir con una tapa.
- 2) Si el recipiente produce una cantidad considerable de gases, como es el caso de un recipiente de cobre en una cervecera, resulta benéfico instalar equipos de recuperación de calor.
- 3) El calentamiento en recipientes, se puede realizar de mejor manera usando elementos de calentamiento por inmersión, en lugar de aplicar calor por debajo y en el exterior del recipiente. Aun cuando el aislamiento resulte inadecuado, se pueden emplear protecciones para los calentadores; y en algunos casos es conveniente utilizar los quemadores sumergidos.
- 4) Los elementos de calefacción por inmersión se deben revisar periódicamente para asegurar que sus superficies estén limpias, ya que un tubo con muchas incrustaciones se puede quemar.
- 5) En los sistemas de calefacción para recipientes de almacenamiento, se deben incluir termostatos para asegurar que la temperatura no se eleve por encima del mínimo necesario.
- 6) Si se dispone de un efluente caliente, puede circularse a través de un serpentín sumergido en el tanque de almacenamiento, para proporcionar al menos algo de calor requando.

Un número creciente de compañías, están ofreciendo aditivos para combustible, que se agregan al combustible o a otro tipo de combustible, utilizado en las calderas, hornos y otros equipos de proceso. Los fabricantes afirman que estos aditivos pueden solucionar bastantes problemas mejorando la eficiencia de combustión, y de esta forma se logra reducir los costos de operación y mantenimiento; reduciendo a la vez la contaminación.

Un producto que se agrega al tanque de almacenamiento de combustóleo, puede ofrecer los siguientes beneficios:

- 1) Evita la formación de depósitos en el fondo del tanque, y reduce al mínimo el coque en el quemador.
- 2) Mejora la eficiencia de combustión.
- 3) Reduce el hollín y la corrosión producida por temperaturas altas.
- 4) Controla la emisión de gases corrosivos y de humo excesivo.

Hay otros aditivos disponibles en el mercado que se pueden agregar al combustóleo o al gas natural, para evitar la formación de escamas en las piezas metálicas sometidas a tratamiento térmico.

La viscosidad es un problema asociado con el uso de los combustóleos residuales, y se ha comprobado que una alta viscosidad puede causar la formación de depósitos grasos, tanto en el tanque del combustóleo, como en las líneas que alimentan a los quemadores.

Los aditivos pueden solucionar este problema, al tratar los componentes que forman estos depósitos grasos y emulsionarlos con el combustible, lo que traerá como consecuencia una mejor operación del quemador y reduce sus costos de mantenimiento.

La corrosión que se presenta a temperaturas altas o bajas se origina normalmente por la presencia de pentóxido de vanadio y por ácido sulfúrico respectivamente, y se puede reducir al utilizar los aditivos adecuados, que evitan la formación de estos compuestos o neutralizan su acción.

El comportamiento del quemador se mejora con los aditivos, y si incluyen compuestos aminonitrogenados, modifican las tensiones interfaciales de las moléculas del combustóleo, logrando con esto una atomización más eficiente, lo que mejora la combustión y reduce los costos del combustible.

## 5.9 SISTEMAS DE COMBUSTION

La eficiencia de los sistemas de combustión es de suma importancia para mantener una operación satisfactoria de las calderas, hornos y cualquier otro tipo de equipo para producir calor y que consumen combustibles como carbón, combustóleo o gas. Las técnicas para mejorar la eficiencia de la combustión se pueden dividir en tres tipos:

- I) Mejorar los sistemas existentes.
- II) Utilizar los nuevos quemadores disponibles.
- III) Instalar sistemas de control automático.

### *Perfección de los sistemas existentes*

Las prácticas de funcionamiento industrial, incluyen los aspectos de combustión, generalmente asociados con una medida de su eficiencia que permite mejorarlos cuando sea necesario. Esto también puede indicar la necesidad de reemplazar un quemador por otro más moderno, o la instalación de un sistema de control que pueda modificar la relación aire combustible, de acuerdo con los requerimientos de la carga y las condiciones del ambiente.

Se pueden obtener equipos de prueba para medir la eficiencia de combustión, mediante el análisis de los gases de escape, y si se analizan los resultados, se mejora la combustión con ahorros considerables de energía. Estos beneficios también se pueden obtener en calderas, hornos, o equipos similares debido a que se presenta menos bloqueo en los precalentadores de aire, economizadores y en otras superficies de transferencia de calor.

También se pueden utilizar medidores de flujo para comprobar las condiciones óptimas existentes en los sistemas que utilizan aire a presión para mejorar la combustión. En algunos casos no se aprecia, que la geometría de la flama y el diseño del quemador tienen un efecto significativo en la eficiencia global, y se recomienda que la flama se dirija al punto en donde sea más efectiva.

Hay equipos de control de flujo completamente automáticos, ya sea hidráulico o electrónico, para grandes quemadores de gas. Estos sistemas registran simultáneamente la química de la combustión, y permiten al operador ajustar su quemador a los pequeños cambios de temperatura y humedad ambiente.

Si se detecta que una mezcla pobre es causa de una eficiencia baja, puede ser recomendable cambiar a un quemador de potencia, en lugar de que el gas induzca el aire dentro del quemador, utiliza un ventilador para suministrar este aire. La British Petroleum ha desarrollado estudios en chimeneas y hornos, y afirma que puede dar consejo sobre la operación eficiente de los hornos.

Esta empresa fue la primera en utilizar los sistemas de inyección de aceite en los hornos para aumentar la producción de acero, pero en la actualidad es un técnica poco atractiva, por el alto precio del petróleo; y ha estudiado varias técnicas para mejorar la eficiencia térmica de los hornos. Incluso la viscosidad del combustible que alimenta a un quemador o a un motor de combustión interna puede influir en la eficiencia de la combustión.

#### *Sustitución de los quemadores actuales*

Hay muchos tipos de quemadores que se han diseñado para tres tareas particulares, a menudo la geometría de la flama es la característica que permite identificar estos quemadores. Un quemador de este tipo, se usa en hornos que producen una flama plana que sigue el contorno de la pared interior del horno, y a medida que el aire entra al quemador, pasa por un orificio lateral que controla la entrada del aire de combustión e inicia una acción de giro, lo que hace que el quemador produzca una flama plana.

Este quemador se usa en procesos que requieren una distribución uniforme de calor, y que permiten que se coloque muy cerca de la carga, sin temor del choque directo de la flama contra la carga a calentar.

Un quemador desarrollado para calentar rápidamente el horno, da por resultado ahorros significados de combustible; emplea el concepto de una recirculación muy rápida del medio calefactor dentro de la calara del horno, la transferencia de calor hacia la carga es forzada por la convección en todas las etapas del ciclo. Se sabe



Los productos gaseosos de la combustión, se descargan dentro del líquido en la base de este tubo, y los gases de combustión se distribuyen en pequeñas burbujas, que se elevan hacia la superficie entre el tubo de combustión y un tubo de tiro, por lo que se generan movimientos de convección.

Lo anterior provoca fuertes turbulencias en el espacio entre los dos tubos, por lo que el tubo del quemador permanece frío y la transferencia de calor de las burbujas al líquido es muy rápida, debido a la enorme superficie creada por el gran número de burbujas que se forman.

La ventaja de este sistema, radica en que la combustión se efectúa donde se requiere el calor, y no es necesario un cambiador de calor, lo que reduce la inversión y el costo de mantenimiento.

#### *Sistemas de Control Automático*

Los sistemas de control automático son equipos comunes en la mayoría de los nuevos hornos y en las unidades similares de calentamiento por combustión. El objetivo principal de un sistema de control, es asegurar que se tenga la relación correcta aire-combustible en un quemador en particular.

Lo anterior permite una eficiencia alta, ya que en una mezcla de aire combustible significa que se tiene un exceso de aire, que arrastra demasiado calor en los gases que salen por la chimenea, o bien que la mezcla se pueda volver muy rica, desperdiciando combustible no quemado que escapa con los gases de combustión.

El sistema de control también contribuye a la seguridad de la planta, ya que una mezcla demasiado rica puede provocar una explosión, y un quemador que opera fuera de sus límites de estabilidad, se apaga en un momento determinado y puede afectar la calidad del producto y el funcionamiento mismo del proceso.

También es necesario un buen control automático, cuando se requiere de una atmósfera reductora o pobre para un proceso de oxidación, y en estos casos el control automático es lo muy adecuado. Los cambios en las condiciones de la atmósfera, a medida que avanza el proceso, pueden requerir de un sistema de control automático para obtener mejores resultados. Una consecuencia muy

importante al controlar las mezclas demasiado ricas o muy pobres, es la reducción de la contaminación

Existen tres tipos de control automático para las unidades de combustión. El más sencillo se conoce como control de área de flujo, y se basa en la regulación y cambio de las áreas de flujo para el combustible y el aire, con lo que se mantiene una correcta relación combustible-aire; sin embargo el área no es el único factor que afecta el flujo, variables como la presión, tienen gran influencia en dicha relación

Los sistemas de control de presión para regular la relación aire-combustible eliminan la posibilidad de este ahorro, y se consideran versátiles y precisos. En sistemas de combustión muy grandes se pueden utilizar con ventaja un sistema de control hidráulico de flujo, sobre un simple sistema de control de presión, esto ayuda a dar una rápida respuesta a los cambios, especialmente cuando es necesario mover válvulas o mamparas muy pesadas

Algunos métodos sofisticados para control de la combustión, se basan en la electrónica, y se basan en el hecho de que el flujo de combustible y aire, se computa en un estado de equilibrio, lo que permite hacer correcciones automáticas en la presión y temperatura, así como también permite programar el exceso de aire requiendo. La unidad se puede utilizar en quemadores de aceite o gas y tiene integrados medidores de flujo para aire, gas y combustible líquido.

Las características del equipo son:

- 1) Si se incrementa la demanda, el flujo de combustible sólo aumenta cuando se registra un incremento en el flujo de aire, que se inicia por el sistema de control; de forma similar, una reducción en la demanda, da lugar a una disminución en el gasto de combustible lo que sólo conduce a una reducción en el flujo, esto tendrá lugar una vez que se asegure la disminución de la entrada de combustible.
- 2) El control de ajustes, es un implemento que permite regular el exceso de aire que puede mantenerse independientemente de las variaciones de la carga. Los ajustes permiten que el exceso de aire se pueda incrementar o reducir automáticamente. Los ajustes al control y cambio del punto de control, se implementan sin que se afecten uno al otro



- 3) Las señales que salen del sistema, pueden usarse para activar sistemas neumáticos o eléctricos de control.
- 4) Un sistema de control detecta las desviaciones de una mezcla predeterminada, y los medidores de flujo se deben revisar continuamente para detectar cualquier falla en su operación.

..

## **CAPITULO VI**

**DEFINICION DE  
LOS TERMINOS  
QUE INTERVIENEN  
EN EL PROGRAMA**

## 6.1 APARATOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En todas las industrias químicas de proceso, se utilizan en gran medida la transferencia de energía en forma de calor, transportada mediante dos mecanismos:

**Molecular:** la transferencia de calor mediante acción molecular, que recibe el nombre de conducción.

**Turbulenta:** la transferencia de calor mediante un proceso de mezclado, al que se ha dado generalmente el nombre de convección.

Un intercambiador de calor es un dispositivo en el cual se efectúa la transferencia de energía térmica desde un fluido que tiene una temperatura determinada, hacia otro que tiene temperatura inferior que el primero.

En los intercambiadores más sencillos el fluido caliente y el fluido frío se mezclan directamente; sin embargo los intercambiadores más comunes son aquellos en los cuales los fluidos están separados por una pared.

Estos últimos llamados recuperadores pueden variar desde una simple placa plana que separa a dos fluidos hasta configuraciones complejas que incluyen pasos múltiples, aletas y deflectores; en este caso se necesitan los principios termodinámicos de transferencia de calor por conducción y convección.

El diseño completo de los cambiadores de calor rara vez constituye una tarea del ingeniero de proceso, por lo general dicho equipo se compra al fabricante de cambiadores de calor; quien lo diseña y lo garantiza.

No obstante, el ingeniero de proceso debe entender los métodos de diseño y fabricación de cambiadores de calor; ya que el conocimiento de estas técnicas permite una estrecha cooperación entre el ingeniero de procesos y el personal técnico de las plantas; cooperación que puede ahorrar, tiempo, dinero y trabajo.

Es casi inconcebible que las grandes industrias procesadoras de productos químicos, no presenten uno o varios aparatos de intercambio de calor, que contribuyan al aprovechamiento del calor que algunas corrientes de producto llevan consigo mismo.

## 6.2 TIPOS DE CAMBIADORES

Los cambiadores de calor utilizados por los ingenieros químicos, no pueden caracterizarse por un sólo diseño; ya que las variedades de tal equipo son prácticamente ilimitadas. Sin embargo, la única característica común de la mayor parte de los cambiadores de calor, es que la transferencia de calor se realiza de una fase caliente a una fase más fría, y que las dos fases están separadas por una frontera sólida.

Se fabrican tipos muy diversos de cambiadores de calor, aunque se pueden realizar diseños especiales que pueden ser ventajosos para una aplicación especial, sin embargo siempre que sea posible, se utilizarán cambiadores con diseños estándares, o equipos de línea.

A continuación se presentan nombres de algunos tipos de cambiadores:

- 1) Placa plana
- 2) Doble tubo
- 3) Coraza y tubos

De los anteriores, el tipo más utilizado en la industria es el de tubos y coraza; el cual se recomienda cuando se necesitan superficies grandes de transferencia de calor. Estos cambiadores consisten de un haz de tubos colocados dentro de un recipiente, que se llama coraza o concha.

Con este tipo de cambiador es posible obtener de manera económica y práctica, una gran superficie de transferencia de calor, colocando los tubos en un haz, cuyos extremos se montan en un soporte de lámina. Esto generalmente se lleva a cabo expandiendo el extremo del tubo dentro de un agujero de fijación de la lámina de soporte, mediante un proceso que se conoce como "rolado".

Con lo anterior resulta que, el haz de tubos se encuentra encerrado en una cubierta cilíndrica (coraza), con el segundo fluido circulando alrededor y a través del haz de tubos. En la figura 6-1 se muestra la forma más simple del intercambiador de tubo y coraza; un intercambiador tubular de un sólo paso.

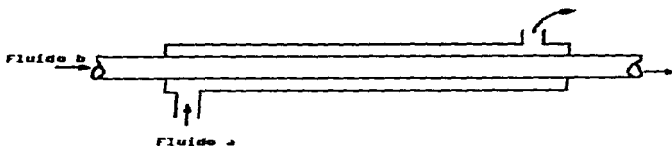


Figura 6-1 Intercambiador de calor de doble tubo.

En el intercambiador de tubos y coraza, el fluido que circula a través de los tubos entra a un distribuidor o canal, donde se distribuye por los tubos en flujo paralelo, saliendo de la unidad por otro distribuidor. Por la coraza del intercambiador que rodea a los tubos, puede circular ya sea el fluido caliente o el fluido frío.

El flujo paralelo a través de todos los tubos a una velocidad baja, resulta con un coeficiente de transferencia de calor bajo y una caída de presión pequeña; mientras que para velocidades altas de transferencia de calor es posible utilizar la operación de pasos múltiples en el intercambiador. En la figura 6-2 se muestra uno de estos intercambiadores de calor.

En este último tipo de construcción, el fluido de los tubos es desviado por deflectores, dentro del cabezal de distribución. El líquido pasa a gran velocidad una y otra vez por cierta zona de los tubos, lo que da lugar a coeficientes de transferencia de calor elevados.

El número de los pasos en los tubos empleado depende de la economía del diseño y de la operación, así como de la disponibilidad de espacio. Algunas veces la complejidad del diseño da lugar a una fabricación costosa, que debe balancearse contra un aumento de eficiencia. Otra desventaja de los intercambiadores de pasos, es la pérdida por fricción adicional causada por las elevadas velocidades lineales y la entrada y la salida de los distribuidores.

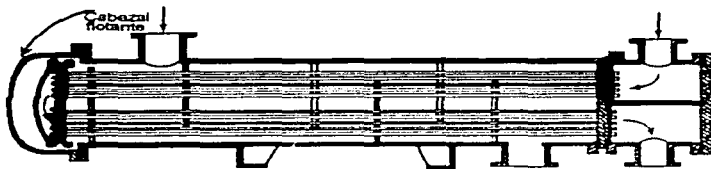


Figura 6-2 Intercambiador de calor de tubos y coraza 1-2

Notese en la fig. 6-2, que dentro de la coraza hay deflectores instalados, para desviar el flujo del fluido de la coraza, en una trayectoria que es a través de los tubos del intercambiador. La velocidad del fluido de la coraza, que cambia de manera constante, tiende a impartir a la corriente de los tubos mayor contacto, mejorando con esto la transferencia de calor.

Puede ser deseable tener varios pasos por el lado de la coraza, pero esto trae como consecuencia mayores complejidades en la construcción, y mayores pérdidas por fricción. Sólo en las instalaciones muy grandes se observan pasos múltiples del lado de la coraza.

Los dos intercambiadores que se muestran, indican que en el mejor de los casos, la limpieza de la coraza y del haz de tubos es difícil; además, puesto que con frecuencia existen grandes diferencias de temperatura entre los fluidos que intercambian calor, pueden esperarse expansiones térmicas que tal vez no han sido consideradas. Por tanto, para tomar precauciones que permitan extraer con facilidad el haz de tubos para su limpieza, se utiliza un intercambiador de cabeza flotante.

Una selección satisfactoria, y un buen diseño del intercambiador de tubos y coraza dependerá de algunos factores como el costo, facilidad de limpieza, temperaturas de proceso, corrosión, presión de operación, caída de presión, riesgos, etc. También es importante la naturaleza del fluido del lado de la coraza, ya que se toma muy en cuenta para la selección del tipo de intercambiador. Como es difícil limpiar el lado de la coraza, en este lado se recomienda colocar el fluido más limpio y menos corrosivo.

### 6.3 CALCULOS PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR

Muchas operaciones industriales efectúan la transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento de una fase a otra. En un cambiador de calor, este último término se transfiere de una fase caliente a través de la pared de un tubo, a un fluido frío. Se sabe que la velocidad de transferencia de una propiedad, es igual a la fuerza motriz dividida entre la resistencia, esto es:

rapidez de transferencia = fuerza motriz / resistencia

La ecuación de diseño para la transferencia de calor en un aparato industrial es la siguiente:

$$\int_1^2 dA = - \int_1^2 dq / U(T_A - T_B) \quad (10)$$

Los cálculos de diseño para los intercambiadores se basan en la ecuación anterior, y tomando en cuenta que el intercambio de calor entre dos fluidos se realiza dentro del cambiador, se puede considerar que la velocidad de transferencia de calor se expresa como:

$dq = U \cdot \Delta T \cdot dA$  integrando la ecuación anterior

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T \quad (11)$$

El objetivo principal en el diseño térmico de intercambiadores de calor, es determinar el área superficial necesaria para transferir calor con una determinada rapidez para las temperaturas de los fluidos y condiciones de flujo dadas; y la ecuación para el cálculo del área es la siguiente:

$$A = Q / U_d \Delta T \quad \text{o} \quad QR_d \quad (12)$$

donde  $A$  = superficie efectiva requerida del cambiador de calor, basada en el área superficial exterior de los tubos, en  $\text{ft}^2$

- $q$  = calor transmitido, en Btu/hr  
 $\Delta T$  = diferencia media de temperaturas entre el fluido frío y el fluido caliente (esta es la fuerza impulsora), en  $^{\circ}F$   
 $U_d$  = coeficiente total de diseño de transmisión de calor, en Btu/hr- $^{\circ}F$ -ft $^2$   
 $R_d$  = resistencia total de diseño 1/ $U_d$ , basada en el área superficial exterior

La cantidad de calor transmitida es directamente proporcional al área superficial y a la fuerza impulsora  $\Delta T$ , y es inversamente proporcional a la resistencia total al flujo de calor  $R_d$ . Esta resistencia está compuesta de varias resistencias en serie, las cuales son aditivas, y son las siguientes:

- Resistencia de la película fluida sobre el interior del tubo.
- Resistencia de la incrustación sobre el interior del tubo,  $r_i$ .
- Resistencia de la pared del tubo.
- Resistencia de la incrustación sobre el exterior del tubo,  $r_o$ .
- Resistencia de la película fluida sobre el exterior del tubo.

Con lo anterior se puede plantear lo siguiente:

$$R_d/A_o = 1/h_i A_i + 1/r_i A_i + L_w/A_m k_w + r_o/A_o + 1/h_o A_o \quad \text{ó}$$

$$R_d = A_o / h_i A_i + r_i A_o/A_i + A_o L_w / A_m k_w + r_o + 1/h_o \quad (13)$$

- en donde  $h_i$  = coeficiente de la película interior, Btu/hr- $^{\circ}F$ -ft $^2$  ·  
 $h_o$  = coeficiente de la película exterior, Btu/hr- $^{\circ}F$ -ft $^2$  ·  
 $r_i$  = resistencia de la incrustación interior o factor de ensuciamiento interior, hr- $^{\circ}F$ -ft $^2$ /Btu  
 $r_o$  = resistencia de la incrustación exterior o factor de ensuciamiento exterior, hr- $^{\circ}F$ -ft $^2$ /Btu  
 $L_w$  = grosor del tubo, pies  
 $k_w$  = conductividad del tubo, Btu/hr- $^{\circ}F$ -ft  
 $A_w$  = promedio de  $A_o$  y  $A_i$ , ft $^2$   
 $A_o$  = área superficial exterior del tubo, ft $^2$   
 $A_i$  = área superficial interior del tubo, ft $^2$



Se ha comentado que,  $R_{Uj} = 1/U_j$ , entonces el coeficiente total se calcula como:

$$U_d = \frac{1}{A_o h_i A_i + r_i A_o / A_i + A_o L_w / A_m k_w + r_o + 1/h_o} \quad (14)$$

#### 6.4 DIFERENCIA DE TEMPERATURA Y MEDIA LOGARITMICA DE LA MISMA

Una diferencia de temperatura es la fuerza motriz mediante la cual se transfiere el calor desde una fuente a un receptor, y su influencia sobre sistemas de transferencia de calor incluye tanto a la fuente como al receptor, ya que es de gran importancia en los cálculos de transferencia de calor.

Generalmente, las temperaturas de los fluidos en un cambiador de calor no son constantes, sino que varían de un punto a otro a medida que el calor pasa del fluido más caliente al más frío. En la industria no es posible medir esta variación de temperatura a lo largo y ancho del cambiador; sin embargo es posible medir las temperaturas de entrada y salida de los fluidos calientes y fríos, a las cuales se les conoce como temperaturas de proceso.

Al avanzar los fluidos por el intercambiador, la fuerza impulsora de la temperatura disminuye de manera constante, por lo que la velocidad se reduce asintóticamente a medida que las corrientes se aproximan a cierta temperatura límite.

La diferencia de temperatura se conoce como: Media Logarítmica de la Diferencia de Temperatura (MLTD), la cual se expresa como la diferencia de temperatura en uno de los extremos del intercambiador de calor menos la diferencia de temperatura en el otro extremo dividida por el logaritmo natural de la razón de esas dos diferencias de temperaturas.

En la ecuación 11, el gradiente de temperatura o fuerza motriz de intercambio de calor ( $\Delta T$ ), se calcula como un promedio logarítmico de las temperaturas de proceso del intercambiador. Esta diferencia entre los dos fluidos en el intercambiador de calor varía de un punto a otro, por lo que los diseñadores de calor y los ingenieros, calculan un promedio de estas variaciones, variable a la que llaman, MLTD.

En el cálculo de estas temperaturas se supone que el coeficiente total transmitido de calor es constante en todo el cambiador, que existe un estado uniforme, la capacidad calorífica es constante, que no ocurren cambios de fase y que el flujo a través del cambiador es paralelo o a contracorriente. Entonces, la  $\Delta T$  corresponde a una media logarítmica de la diferencia de temperaturas entre el fluido caliente y el fluido frío en un extremo del cambiador, y el fluido caliente y el frío en el otro extremo del cambiador.

Lo anterior se expresa matemáticamente como sigue:

$$\Delta T = \text{MLTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln (T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)} \quad (15)$$

donde:  $T_1$ : temperatura de entrada del fluido caliente

$T_2$ : temperatura de salida del fluido caliente

$t_1$ : temperatura de entrada del fluido frío

$t_2$ : temperatura de salida del fluido frío

Introduciendo la expresión matemática anterior en la ecuación 55, resulta:

$$Q = U A \text{MLTD} \quad (16)$$

## 6.5 DIFERENCIA VERDADERA DE TEMPERATURA (CORRECCION DE M LTD)

Para intercambiadores de calor más complejos; como los que incluyen tubos múltiples, varios pasos por la coraza o flujo cruzado, la determinación de la diferencia promedio efectiva de temperatura es más compleja que la antes expuesta. De ahí, que en la práctica, el procedimiento usual consiste en modificar la MLTD por medio de factores de corrección que han sido publicados en forma de cartas por algunos autores.

Algunas de estas cartas se muestran más adelante, y la ecuación 61 con la introducción de este factor es:

$$Q = U \cdot A \cdot MLTD \cdot FT \quad (17)$$

Los intercambiadores de calor de flujo cruzado presentan configuraciones de distribuciones de temperaturas mucho más complejas que las de doble tubo; en consecuencia cuando se va aplicar la MLTD a una distribución de flujo cruzado se debe modificar la expresión de esta última; ya que, únicamente es válida para un sólo paso por los tubos.

Se han desarrollado diagramas de corrección de la MLTD, y los cálculos proporcionan el factor por el cual hay que multiplicar la MLTD para obtener el valor verdadero de la diferencia media de temperatura  $\Delta T$  corregida; es decir:

$$\Delta T \text{ corregida} = (MLTD)(\text{FACTOR DE CORRECCIÓN})$$

La abscisa de estas figuras es la relación adimensional  $S$  de temperaturas que se define como:

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

En donde  $T$  mayúscula se refiere a la temperatura del lado de la coraza, la  $t$  minúscula a la temperatura del lado de los tubos, y los subíndices 1 y 2 se refieren a las condiciones de entrada y salida respectivamente. El parámetro  $R$  que aparece en las curvas se define como:

$$R = \frac{(mCp)_{\text{lado tubo}}}{(mCp)_{\text{lado coqueza}}} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

Algunas de estas curvas pueden consultarse al final de este trabajo, las cuales proporcionan los valores del factor de corrección para las evaluaciones realizadas con el programa.

## 6.6 COEFICIENTES TOTALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El coeficiente de transferencia de calor cuya medición experimental es más fácil; es el coeficiente total, ya que por lo general es posible medir la diferencia total de temperatura y la transferencia total de calor en forma directa, para un cambiador de calor de área conocida.

Es posible calcular el coeficiente total  $U$ , mediante la relación  $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ , y con frecuencia los intercambiadores de calor se diseñan usando coeficientes totales en vez de los coeficientes individuales. La determinación de estos últimos es más sencillo debido a la incertidumbre relacionada con la medición de las temperaturas de superficie.

La ecuación que relaciona el coeficiente total de transferencia con los coeficientes individuales, es la siguiente:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i (A_i/A)} + \frac{1}{h_o} \quad (18)$$

## 6.7 FACTORES DE ENSUCIAMIENTO

Durante el uso normal, las paredes interiores y exteriores de los tubos de un cambiador de calor llegan a recubrirse con un depósito de impurezas o incrustaciones, dependiendo de los fluidos que circulen por el cambiador. Estos depósitos materiales, reducen la capacidad de transferencia de un cambiador, por lo que deben ser removidos de los aparatos.

La mayoría de las plantas han encontrado que es más económico limpiar los tubos del cambiador durante las paradas normales o durante los períodos de mantenimiento, los cuales en algunas plantas es de tan sólo una vez al año.

Por consiguiente es necesario que el cambiador este diseñado para operar a plena capacidad con un recubrimiento de impurezas o incrustaciones, equivalentes al que representaría durante el uso entre dos ocasiones de limpieza. Tanto para el interior como el exterior del tubo debe incluirse en el coeficiente global de transferencia de calor, una resistencia de ensuciamiento o factor de incrustación.

Con base en la experimentación, muchos usuarios de cambiadores de calor, junto con los estándares de la asociación de fabricantes de cambiadores tubulares presentan una lista de factores de ensuciamiento recomendados.

Esta resistencia adicional reduce el valor original del coeficiente de transferencia  $U$ , y la cantidad requerida de calor ya no se transfiere por la superficie original  $A$ ;  $T_2$  aumenta, y  $t_2$  disminuye respecto a las temperaturas de salida deseadas, aún; cuando  $h_1$  y  $h_2$  se mantienen sustancialmente constantes. Por lo que se recomienda diseñar el equipo considerando las incrustaciones en el cambiador, introduciendo una resistencia  $R_d$ , llamada factor de incrustación o de obstrucción.

Suponiendo que  $R_{di}$  es el factor de incrustación para el fluido del tubo interior, y  $R_{do}$  el factor de incrustación para el fluido exterior del tubo, se puede calcular el factor total de incrustación.

El valor  $U$ , obtenido en la ecuación 18; únicamente a partir de  $1/h_1$  y  $1/h_2$  puede considerarse como el coeficiente total limpio designado por  $U_c$ , el cual no toma en cuenta la resistencia debido a la incrustación en el cambiador. El coeficiente que incluye los factores de incrustación, se llama coeficiente total de diseño.

El valor de A correspondiente a Ud en lugar de Uc, proporciona las bases en las cuales el equipo debe ser diseñado en última instancia, y la correlación entre los dos coeficientes totales Uc y Ud es;

$$1/U_d = 1/U_c + R_{ci} + R_{do} \quad (19)$$

o considerando la relación;

$$R_d = R_{ci} + R_{do}$$

$$1/U_d = 1/U_c + R_d \quad (20)$$

La ecuación de Fourier para la superficie en la que el lodo se depositara se transforma en;

$$Q = U_d \cdot A \cdot \Delta T \quad (21)$$

Algunas veces sin embargo, es deseable estudiar la velocidad a la cual se acumulan las incrustaciones sobre una superficie determinada A; donde Uc permanecerá constante si la incrustación o lodo no altera la velocidad de la masa reduciendo el área de flujo del fluido. Ud y  $\Delta T$  cambiarán a medida que se acumulen las impurezas debido a que la temperatura del fluido variará a partir de que la superficie este recién instalada y limpia hasta que se obstruya.

Si  $\Delta T$  se calcula de temperaturas observadas, en lugar de las de proceso, entonces la ecuación 21 puede ser usada para determinar Rd para un periodo de obstrucción dado; por lo que de la ecuación 20, se tiene lo siguiente:

$$R_d = 1/U_d - 1/U_c \quad (22)$$

que también puede ser escrita como:

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \cdot U_d} \quad (23)$$

Quando  $R_d$  (depositado)  $>$   $R_d$  (permitido), como sucede después de cierto período de servicio, el aparato no permite el paso de una cantidad de calor igual a los requerimientos del proceso y debe ser limpiado.

Los factores de obstrucción tabulados pretenden proteger al intercambiador de entregar menos calor que el requerido por el proceso por un período de un año  $t$  medio. Al diseñar una planta de proceso que contenga varios intercambiadores de calor, pero sin equipo alternante o de repuesto, el proceso deberá discontinuarse y el equipo limpiarse tan pronto como el primer intercambiador se obstruya.

No es práctico para algunas industrias parar cada vez que algunos de los intercambiadores se obstruya; ya que usando los factores de obstrucción tabulados se puede hacer arreglos, de manera que todos los intercambiadores en el proceso se obstruyan al mismo tiempo sin considerar el servicio. En esta fecha todos pueden desmantelarse y limpiarse durante un sólo paro.

# CAPITULO VII

DESCRIPCION DE LA  
P L A N T A Y  
REALIZACION DE  
UNA CORRIDA DEL  
PROGRAMA



## 7.1 CONCEPTO DE UNA REFINERIA INTEGRADA

Una refinería es una organización que tiene como finalidad coordinar y modificar los procesos químicos, diseñados para proporcionar los cambios físicos y químicos en el petróleo, con la finalidad de transformarlo en productos comerciales que tengan la calidad y los volúmenes requeridos en el mercado.

El trabajo cotidiano del refinador no es otro que el de garantizar a partir de una materia prima única, el petróleo crudo, la fabricación de una gama muy extensa de productos acabados que deben satisfacer al cliente cumpliendo numerosas especificaciones, y cubrir en lo posible la demanda cuantitativa solicitada.

Dependiendo de los procesos utilizados, las refinerías pueden estar estructuradas con plantas que incluyen la transformación del crudo mediante la destilación primaria, reformación catalítica y tratamiento de los productos, tales como gases, gasolinas, kerosinas, diesel y aceites.

En una refinería más compleja, integrada totalmente, se genera una variedad más amplia de productos, lo que significa que tienen mayores procesos de procesos que las refinerías elementales. Entre los procesos integrados en una refinería compleja se encuentran los siguientes:

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Destilación primaria      | Pirólisis                             |
| Destilación al alto vacío | Reforma catalítica                    |
| Cracking catalítico       | Unidades para gasolina de alto octano |
| Polimerización            | Materias primas para la petroquímica  |
| Alquilación               |                                       |

Además de las unidades antes mencionadas, las refinerías completamente integradas cuentan con plantas para producir una línea de acabado de lubricantes, aceites, grasas y ceras. Estas plantas incluyen destilación al alto vacío, extracción con solventes, desalftación y diversos tratamientos. Dependiendo del crudo procesado, las refinerías pueden incluir uno o más procesos de hidrogenación; además muchas de ellas cuentan con plantas que convierten los sulfuros en volúmenes de ácido sulfhídrico que son incinerados en los quemadores.

Los productos de una refinería, deben satisfacer la demanda que el mercado requiere, esto significa que debe abastecer los volúmenes y tipos de productos petrolíferos más necesarios. Lo anterior implica que las políticas de la gerencia estarán encaminadas a proponer y seleccionar los procesos que satisfagan la demanda del mercado; en base a la flexibilidad que tenga la refinería para modificar o reajustar algunas operaciones de los procesos manteniendo los balances de salida.

En la actualidad muchas refinerías, han enfocado sus procesos de transformaciones del petróleo, para la elaboración de gasolinas en sus diferentes presentaciones, debido a que en los últimos tiempos este producto ha definido el mercado de la refinación del petróleo.

Actualmente, el progreso en la tecnología de refinación del petróleo viene caracterizado por la tendencia hacia el crecimiento de la potencia de las instalaciones tecnológicas. El agrandamiento de las instalaciones trae como consecuencia la posibilidad de pasar a tipos más avanzados de equipos, por ejemplo, desde los compresores de émbolo a los centrifugos.

Otra particularidad de la refinación moderna del petróleo consiste en la creación de instalaciones en cuya estructuración se combinan varios procesos tecnológicos. La introducción de tales instalaciones llamadas combinadas reduce la suma total de inversiones básicas y permite disminuir el área de espacio ocupado por la instalación de la planta.

Se reduce considerablemente la extensión de las tuberías y disminuyen las pérdidas de calor, debido a que el calor de las corrientes calientes de un proceso en particular se utilizan para el calentamiento de las corrientes frías de otro proceso.

En la actualidad se presta gran atención a la protección del medio ambiente y al mejoramiento de los recursos naturales. Durante la transformación del petróleo es posible la contaminación del aire atmosférico y de los depósitos de agua por desechos nocivos.

Con el fin de prevenir la contaminación de la naturaleza por los productos de transformación del petróleo se llevan a cabo una serie de medidas que influyen sustancialmente en la tecnología.

Los impactos al medio ambiente de la preparación y consumo de combustibles requerirán probablemente un cambio en la distribución de productos (es decir menos gasolina y más combustible destilado en términos de porcentaje sobre el crudo).

Si ocurre lo anterior afectará principalmente a las operaciones de proceso de la refinería, y dará lugar a un rediseño en la construcción de refinerías, debido al aumento de la producción.

Las modernas operaciones de una refinería son muy complejas, por lo que es muy difícil reducir la complejidad a un conjunto coordinado de procesos comprensibles, y aunque no existen dos refinerías exactamente iguales, en la figura 7-1 se muestra esquemáticamente una refinería típica que realiza procesos de refinación representativos.

Por simplicidad, el diagrama se limita a operaciones relacionadas con la producción de combustibles, se omiten las transformaciones relacionadas con aceites lubricantes, ceras, solventes, aceites para caminos, asfaltos, sustancias petroquímicas y otros productos no combustibles.

De lo anterior se puede decir, que la Refinación; es el conjunto de una serie de procesos físicos y químicos a los que se somete el petróleo crudo, la materia prima, para obtener de él, por destilación, los diversos productos petrolíferos.

Después de la separación se aplica a los derivados así obtenidos diversos procesos de conversión para obtener de ellos productos más valiosos y estos se someten finalmente a tratamientos con álcalis, solventes extractivos, catalíticos con hidrógeno y reactivos químicos en general, a fin de eliminar las impurezas que los hacen inadecuados para su empleo comercial.



## 7.2 SERVICIOS GENERALES DE UNA REFINERIA

### *Almacenamiento de fluidos*

En las refinerías, el petróleo y los diferentes productos obtenidos del mismo, se almacenan en depósitos unidos en grupos llamados parque de depósito, los cuales se dividen en los de materia prima, los intermedios y los comerciales.

Para el almacenamiento del petróleo y de sus derivados en las refinerías se utilizan depósitos de acero y de hormigón amado, siendo los más representativos en las refinerías los depósitos cilindricos verticales con techo inmóvil desde 100 hasta 2000 m<sup>3</sup> de capacidad.

### *Abastecimiento energético*

Una refinería moderna interviene como gran consumidor de energía térmica, siendo el vapor uno de los más representativos utilizado en las columnas de fraccionamiento, para bajar las temperaturas de ebullición de los productos, en los hornos tubulares, para la pulverización del combustible, en los eyectores a chorro de vapor, para crear el vacío, en los calentadores y hervidores, para el calentamiento de los productos, etc. El vapor se consume también para requerimientos energéticos, como accionamiento de bombas y compresores.

Otras fuentes principales de recursos energéticos son:

- 1) gases de desechos de los hornos tubulares
- 2) flujos calientes de productos derivados del petróleo tanto líquidos como gases.
- 3) condensado de agua retornado del vapor utilizado.

En las refinerías que funcionan como consumidores de energía eléctrica intervienen los receptores eléctricos de las instalaciones tecnológicas y, de los equipos del servicio general de la planta como; bombas, compresores, laboratorios, bloques administrativos, etc.

La energía eléctrica la consumen principalmente los receptores eléctricos de fuerza (motores eléctricos para accionar bombas, compresores y ventiladores), además esta energía se aplica para el alumbrado y aplicaciones domésticas.

*Abastecimiento de combustible*

Como combustible para los hornos tubulares en las refinerías se utilizan los siguientes productos: gasóleos, gas obtenido como producto secundario en las instalaciones de las plantas, gas natural o gas suministrado desde afuera.

La ventaja del combustible gaseoso consiste en la posibilidad de su fácil depuración de los compuestos que contienen azufre, ya que durante el consumo del combustible gaseoso se reduce al mínimo la formación del anhídrido sulfuroso. Los recursos de combustible gaseoso en una refinería dependen del esquema tecnológico de la empresa y del grado de equipamiento con sistemas de recolección y transformación del gas.

*Abastecimiento de agua*

Para proveer a los consumidores con agua en las refinerías de petróleo se crean diferentes sistemas de abastecimiento de misma: de recirculación de agua fresca, de agua para servicios y agua contra incendios.

## 7.3 LOS PROCESOS DE TRANSFORMACION EN UNA REFINERIA

### PROCESOS FISICOS DE SEPARACION

Son procesos que permiten el fraccionamiento de una mezcla en sus diversos constituyentes sin modificar de modo alguno la estructura molecular. Cualquier proceso físico de separación debe constar de cuatro partes:

1) Preparación de la carga: primeramente se emplean el calor o disolventes que en determinadas condiciones de presión o temperatura, permitan obtener dos fases.

2) Contacto: es preciso a continuación, provocar el contacto íntimo de las dos fases para realizar la transferencia de masa por difusión selectiva de los constituyentes de una fase en la otra, esta transferencia será más importante y rápida cuando exista:

- \* suficiente tiempo de residencia (existe mayor tiempo de contacto entre las fases)
- \* temperatura elevada, ya que reduce la viscosidad y la resistencia de las películas
- \* diferencia suficiente de concentraciones

El contacto se realiza con mucha frecuencia en los platos o en los rellenos de las columnas, o por medio de agitadores.

3) Separación de las fases. se efectúa por gravimetría (separadores, decantadores, centrifugadores, ciclones), por filtración, o con ayuda de campos eléctricos, como en el desalado de los crudos.

### PROCESOS DE TRANSFORMACION

Estos procesos modifican la estructura molecular y por lo tanto, las características fisicoquímicas de los hidrocarburos o fracciones sometidas a estas transformaciones que se efectúan con aumento o disminución del número de moléculas.

Todo proceso de transformación implica los siguientes pasos.

- |                            |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|
| a) Preparación de la carga | c) Fraccionamiento                   |
| b) Reacción                | d) Recuperación de calor y productos |

Los procesos de transformación se clasifican en:

- 1.- Procesos de descomposición
- 2.- Procesos de síntesis
- 3.- Tratamientos químicos

#### *Procesos de Descomposición*

En el *tratamiento térmico*, se utiliza sólo el calor como agente de rotura de las moléculas, lo cual genera moléculas más ligeras saturadas y no saturadas. Estas últimas son inestables y tienen tendencia a reagruparse y polimerizarse para formar moléculas más complejas. El resultado final de estas reacciones es la formación de elementos más ligeros y más pesados que los originales de la carga. La ruptura por efecto térmico lleva el nombre de cracking.

Después de la ruptura de las moléculas por efecto térmico, el reagrupamiento de los elementos no saturados puede activarse y ser controlado selectivamente, utilizando un catalizador específico que orienta y limita las recombinaciones hacia formas moleculares deseadas. A este proceso de selección se le llama *tratamiento catalítico*.

El proceso de tratamiento catalítico en presencia de hidrógeno, orienta la reacción hacia la saturación de los elementos olefínicos de descomposición y la obtención de estructuras moleculares estables. Según las condiciones de presión, temperatura y tipo de catalizador, es posible distinguir dos grupos de transformaciones:

- \* con el platino y el óxido de molibdeno, se realizan transformaciones moleculares destinadas esencialmente a generar un máximo de gasolina de elevado número de octano.

- \* con un catalizador mixto de óxidos de cobalto y molibdeno, tiene lugar una descomposición selectiva de las moléculas sulfuradas. El hidrógeno da lugar a la eliminación de azufre bajo forma de sulfuro de hidrógeno, a la vez que se satura la parte hidrocarbonada de la molécula.



### *Procesos de Síntesis*

En presencia de un catalizador y bajo presión elevada, es posible recombinar selectivamente las moléculas ligeras no saturadas que se encuentran en los gases de refinería, y limitando los reagrupamientos, se pueden obtener moléculas de tamaño y propiedades adecuadas que contribuyen a una buena composición de las gasolinas o también pueden utilizarse como materia prima en las petroquímicas.

### *Tratamientos Químicos*

Con esto se trata principalmente de lograr la desulfuración y la estabilización de los productos. Por oxidación con plumbito de sodio, con cloruro de cobre o con hipocloritos, los compuestos sulfurados corrosivos se transforman en compuestos neutros.

La acción de la sosa cáustica sobre los compuestos sulfurados ligeros presenta la posibilidad de extraer los derivados del azufre. Esta extracción se puede mejorar añadiendo alcoholes o aminas. Los procesos de transformación del petróleo crudo en una refinería típica, se pueden observar en la tabla 7-1; que más adelante se presenta.

|                           |                           | DESELECCIÓN DE LOS PROCESOS   |                                    | AGENTES DE ACTIVACION Y REACTIVOS |         | CONDICIONES |      |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------|-------------|------|
|                           |                           | ANTERIOR                      | ESPECIAL                           |                                   |         | TEMP.       | PSI. |
| DESCRIPCION               | PROCESOS TERMICOS         | Cracking de pure HC           | Cracking de HC puros               | Calor (mas vapor de agua)         | 11-21   | 800         |      |
|                           |                           | Steam cracking                | Cracking al vapor de agua          | Calor (mas vapor de agua)         | 15-21   | 750         |      |
|                           |                           | Thermal reforming             | Reformado termico                  | Calor                             | 125-300 | 315-550     |      |
|                           |                           | Thermal cracking              | Cracking termico                   | Calor                             | 120-400 | 470-610     |      |
|                           |                           | Viscous cracking              | Reduccion de viscosidad            | Calor                             | 110-200 | 480         |      |
|                           | EN PRESENCIA DE HIDROGENO | Cracking                      | Cracking                           | Calor                             | 125-350 | 480-620     |      |
|                           |                           | Fluid catalytic cracking      | Cracking catalitico fluido         | Calor y aluminio                  | 11-21   | 425-480     |      |
|                           |                           | Fractional catalytic cracking | Cracking catalitico fraccionario   | Aluminio y catalizadores          | 11-21   | 400-480     |      |
|                           |                           | Fluid catalytic cracking      | Cracking catalitico fluido         | Aluminio y catalizadores          | 11-21   | 400-480     |      |
|                           |                           | Dehydrogenation               | Deshidrogenacion                   | Niquel y catalizadores            | 11-15   | 500-600     |      |
| EN PRESENCIA DE HIDROGENO | Isomerization             | Isomerizacion                 | Al, Ni, Co, aluminio con Pt        |                                   |         |             |      |
|                           | Catalytic reforming       | Reformado catalitico          | Aluminio y catalizadores           | 12-150                            | 490-520 |             |      |
|                           | Hydrocracking             | Cracking hidrogenante         | Aluminio y hidrogeno               | 11-200                            | 525-570 |             |      |
| SINTESIS                  | TERMICA                   | Thermal anisolein             | Reaccion termica                   | Calor                             | 200     | 480-540     |      |
|                           |                           | Thermal polymerization        | Polymerizacion termica             | Calor                             | 200     | 480-550     |      |
|                           | CATALITICA                | Acylation                     | Acylation                          | Acido sulfuroso                   | 18-200  | 20-50       |      |
|                           |                           | Polymerization                | Polymerizacion                     | Acido sulfuroso                   | 1       | 0-10        |      |
|                           |                           |                               |                                    | Acido nitroso                     | 18-400  | 180-280     |      |
|                           |                           |                               |                                    | Corrosion de aluminio             | 2       | 70-100      |      |
|                           |                           | Hydrogenation                 | Hidrogenacion                      | Acido sulfuroso                   | 120-400 | 180-230     |      |
|                           |                           |                               |                                    | Acido nitroso                     | 125-450 | 175-280     |      |
|                           | Alcohol                   | Alcohol                       | Acido sulfuroso                    | 1                                 | 20-60   |             |      |
|                           | TRATAMIENTOS QUIMICOS     | Carbon process                | Proceso Gubelin                    | Deterosolano                      |         |             |      |
| Caustic washing           |                           | Lavado con sosa caustica      | Sosa caustica                      |                                   |         |             |      |
| Sweetening                |                           | Sweetening                    | Plumbo mas azufre                  |                                   |         |             |      |
| Sulfuric acid treatment   |                           | Tratamiento acido             | Cloruro de cobre<br>Hidrosulfuroso |                                   |         |             |      |

Tabla 7.1. Clasificación de los procesos mas representativos en una refinería.

| REACCIONES TÍPICAS   | CARGAS   | OBJETO DE LA TRANSFORMACIÓN  | PRODUCTOS DE LA TRANSFORMACIÓN  |
|--|--|--|---|
| $C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_4 + H_2$   | H.C. ligeros<br>Gasolina ligera<br>Gasolina pesada<br>Gasol. o residuos<br>Residuos      | Materia prima petroquímica<br>Gasolina ligera<br>Materia prima petroquímica<br>Materia del N. O.<br>Fabricación de gasolinas<br>Refinación industrial y<br>producción gasol.<br>Refinación industrial pesada<br>Fabricación de gasolinas con<br>buen N. O. | H <sub>2</sub> y olefinas<br>Olefinas ligeras<br>Gas. reformado-residuo<br>Gasol. ligera<br>Gasol. ligera<br>Gasol. ligera y coque<br>Gasol. ligera |
| $C_4 \rightleftharpoons C_2 + C_2$<br>$H_2C \rightleftharpoons C_2$  | Butenos<br>C <sub>4</sub> y C <sub>2</sub>   | Olefinas o diolefinas<br>Materia del N. O.   | Butenos o butadienos<br>Gasolina ligera   |
| Clasificación de hidruros<br>$C_4H_{10} + H_2 \rightleftharpoons 2C_2H_6$<br>$RSH + H_2 \rightleftharpoons RH + H_2S$  | Gasolina pesada<br>Destilados o residuos gasolinas<br>Destilados aceites crudos          | Materia del N. O. producción de gasolinas<br>Desulfuración y estabilización química<br>Desulfuración y estabilización química  | Reformado y aromáticos, gases<br>Gasolinas + H <sub>2</sub> S deshidro + H <sub>2</sub> S<br>Asfalto o fuel   |
| $C_3H_8 + C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6 + C_3H_8$<br>$2C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6 + C_2H_6$   | C <sub>2</sub> y C <sub>3</sub> + C <sub>4</sub><br>Gas de cracking termico              | Producción de isoparafinas<br>Producción de gasolinas de buen N. O.  | Neopentano<br>Gasolinas de polimerización   |
| $C_3H_8 + C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6 + C_3H_8$<br>$C_2H_6 + C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6$<br>$C_2H_6 + C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6$<br>$C_2H_6 + C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6$<br>$C_2H_6 + C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6$ | Olefina + isoparafina<br>Olefina + isoparafina<br>Propeno + benceno<br>Etileno + benceno | Gasolinas de alto N. O.<br>Gasolinas de alto N. O.<br>Gasolinas de alto N. O.<br>Materia prima petroquímica  | Aqueleto<br>Alquileto<br>Cumeno<br>Etilbenceno  |
| $2C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6 + C_2H_6$<br>$4C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6 + C_2H_6$<br>$2C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6 + C_2H_6$<br>$4C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6 + C_2H_6$   | Gas de cracking termico<br>Propeno<br>Isobuteno<br>Gas de cracking termico               | Gasolinas de alto N. O.<br>Materia prima petroquímica<br>Isobuteno previa hidrogenación<br>Gasolinas de alto N. O.   | Gasolinas de polimerización<br>Telapropeno<br>Isobuteno<br>Gasolinas de polimerización  |
| $C_2H_6 \rightleftharpoons C_2H_6$   | Isobuteno<br>Gasolinas de cracking termico   | Saturación<br>Saturación   | Isobutano<br>Gasolinas  |
| $2H_2 + H_2S \rightleftharpoons (H_2NH_2)S$<br>$2NaOH + H_2S \rightleftharpoons Na_2S + H_2O$  | Gas natural o de refinaria<br>Gases licuados y gasolinas                                 | Desulfuración<br>Eliminación H <sub>2</sub> S y RSH Ligeros  | Gas comercial<br>C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> y gasolina ligera  |
| $RSH \rightleftharpoons R - S - S - R$   | Gasolinas y terpenos<br>Gasolinas y terpenos<br>Gasolinas y terpenos<br>Acidos           | Transformación de mercaptanos<br>Acidos en disulfuros neutros<br>Eliminación RSH pesados   | Gasolinas y terpenos<br>endulzados<br>Olefinas ligeras<br>Gasolinas y terpenos  |
| Desulfuración<br>Destilación de aromáticos y olefinas  | Gasolinas y terpenos<br>Acidos   | Desulfuración y estabilización<br>Purificación y aromatización   | Disulfuros y para reacciones<br>Acidos blancos  |

continuación

## 7.4 TRANSFORMACION PRIMARIA DEL PETROLEO

Las columnas de crudo son las unidades de mayor tamaño en la refinería, y son utilizadas para separar el crudo de petróleo en fracciones de acuerdo con su punto de ebullición, por que cada una de las siguientes unidades de proceso tendrán materias primas que satisfagan sus especificaciones particulares. Se consiguen las mayores eficiencias y los costos más bajos si la separación del crudo tiene lugar en dos etapas:

Primero fraccionando la totalidad del crudo de petróleo a la presión atmosférica. Luego alimentando la fracción de los residuos de puntos de ebullición más alto (crudo de cabeza) de la columna atmosférica a un segundo fraccionador operando a alto vacío.

TABLA 7-2  
Intervalos de ebullición de fracciones características del crudo de petróleo

| Fracción                        | Intervalos de ebullición |          |
|---------------------------------|--------------------------|----------|
|                                 | ASTM (°F)                | PEV (°F) |
| Butanos y más ligeros           |                          |          |
| Gasolina ligera (LSR)           | 90-220                   | 90-190   |
| Nafta (gasolina pesada directa) | 180-400                  | 190-380  |
| Queroseno                       | 330-540                  | 380-520  |
| Gasóleo ligero (GOL)            | 420-640                  | 520-610  |
| Gasóleo atmosférico             | 550-830                  | 610-800  |
| Gasóleo de vacío (GOV)          | 750-1050                 | 800-1050 |
| Crudo reducido de vacío         | 1000                     | 1050     |

La columna de vacío se emplea para separar la porción más pesada del crudo de petróleo en fracciones, ya que las altas temperaturas necesarias para vaporizar el crudo de cabeza a la presión atmosférica daría lugar al craqueo térmico, con la consiguiente pérdida por gas seco, decoloración del producto y ensuciamiento del equipo debido a la formación de coque.

#### *Unidad de destilación a presión atmosférica*

Si el contenido de sal del crudo de petróleo es superior a 10 lb/1000 bl (expresado como NaCl), el crudo debe desalarse para minimizar el ensuciamiento y la corrosión debidas al depósito de sal sobre las superficies de transmisión de calor y, a los ácidos formados por la descomposición de los cloruros. Además en el proceso de desalado se eliminan parcialmente algunos metales que pueden dar lugar a la desactivación de catalizadores en las unidades de proceso catalítico.

El desalado se lleva a cabo por emulsión del crudo con agua a unos 250 ° F y bajo suficiente presión para prevenir la vaporización de los hidrocarburos o del agua. Las sales se disuelven en el agua y las fases acuosa y orgánica se separan utilizando productos químicos para romper la emulsión o mediante el desarrollo de un campo eléctrico de potencial elevado a través del recipiente de sedimentación para juntar las gotitas de agua salada más rápidamente.

Se utilizan potenciales eléctricos desde 16,000 a 35,000 voltios para provocar la unión, y con esto se logra reducir el contenido de sal en el crudo hasta en un 90% o más en una operación de una etapa; reduciéndose aún más el contenido de sal si se utilizan etapas adicionales en serie si una etapa de desalado es insuficiente.

Después del desalado de crudo, este se bombea a través de una serie de intercambiadores de calor elevándose su temperatura hasta alrededor de 530 ° F por intercambio de calor con las corrientes de producto y de reflujo. Posteriormente se calienta hasta alrededor de 750 ° F en un horno, y se carga a la zona de alimentación de la columna de fraccionamiento atmosférica.

La temperatura de descarga del horno es suficientemente elevada para vaporizar todos los productos extraídos por encima de la zona de alimentación, muy cercana al 20% de los producto de fondo. Este 20% de incremento permite que exista cierto

fraccionamiento en los platos superiores a la zona de alimentación, proporcionando un reflujo interno en exceso sobre las corrientes laterales extraídas

El reflujo se proporciona condensando los vapores de la parte superior de la columna y regresando una porción del líquido a la cabeza de la columna y bombeando para extraer y devolver corrientes a zonas más bajas en la columna. Cada uno de los productos de las corrientes laterales eliminados de la columna rebaja la cantidad de reflujo por debajo del punto de extracción.

Se obtiene un máximo de reflujo y de fraccionamiento eliminando todo el calor en la cabeza de la columna, pero esto requiere una entrada de líquido en forma de cono invertido que exige un diámetro muy grande en la cabeza de columna. Para reducir el diámetro en la cabeza de la columna y también la carga del líquido a lo largo de la columna, se utilizan corrientes intermedias de eliminación de calor que generan reflujo por debajo de los puntos de extracción de las corrientes laterales

Para conseguir lo anterior, el líquido se extrae de la columna, o alternativamente una porción de la corriente entrada puede devolverse a la columna. Esta corriente fría condensa gran cantidad del vapor que asciende por la columna incrementando por consiguiente el reflujo por debajo de este punto.

Normalmente las columnas de crudo no utilizan hervidores, generalmente se incorporan varios platos por debajo de la zona de alimentación, introduciéndose vapor por debajo del plato de cola para separar cualquier gasóleo residual del líquido en la zona de alimentación, y dar lugar a residuos con un alto punto de inflamación. El vapor reduce la presión parcial de los hidrocarburos reduciendo así la temperatura requerida para la vaporización.

La columna de fraccionamiento a presión atmosférica contiene de 30 a 50 platos, y la separación de mezclas complejas en el crudo de petróleo es relativamente fácil y generalmente se necesitan de cinco a ocho platos para cada producto de la corriente lateral, más el mismo número por encima y por debajo del plato de alimentación. De esta manera una columna de fraccionamiento a la presión atmosférica con cuatro extracciones de corrientes laterales líquidas requiere de 30 a 42 platos aproximadamente.

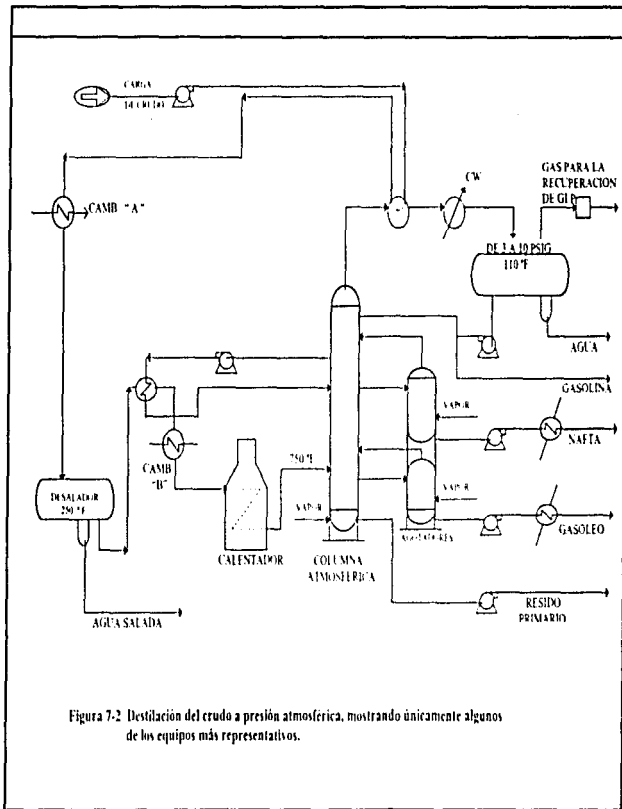


Figura 7-2 Destilación del crudo a presión atmosférica, mostrando únicamente algunos de los equipos más representativos.

La corriente lateral líquida extraída contendrá componentes de bajo punto de ebullición que rebajan el punto de inflamación, debido a que los productos más ligeros pasan a través de los productos más pesados y están en equilibrio con ellos en cada plato.

Estas colas ligeras se separan de cada corriente lateral en una pequeña columna de separación individual que contienen de cuatro a diez platos, con vapor introducido por debajo del plato de cola.

El vapor y las colas ligeras separadas se descargan de nuevo en la zona de vapor de la columna de fraccionamiento a presión atmosférica, por encima del correspondiente plato de extracción lateral (ver figura 7-2)

El condensador de la columna a presión atmosférica, condensa la fracción de pentanos y más pesados de los vapores que salen de la cabeza de la columna. Esto constituye la porción de gasolina ligera de la cabeza, que contiene algunos butanos y propano principalmente.

Parte de este condensado se devuelve a la cabeza de la columna como reflujo, y el restante se envía a la sección de estabilización de la planta de gas de la refinería, donde los butanos y el propano se separan de la gasolina ligera.



## 7.5 DESCRIPCION DE LA PLANTA EN DONDE OPERA EL PROGRAMA

La planta de destilación atmosférica donde se desarrollo el programa, tiene una capacidad de procesamiento de petróleo crudo de 150,000 BPD. La carga que es una mezcla de crudos istmo-maya, es alimentado en límites de batería a través de las bombas GA-101A y GA-101B; teniendo cada una de ellas sus bombas de reposición.

El crudo que entra a límites de batería por las bombas antes mencionadas, es dividido en dos corrientes de 75,000 BPD cada una; y pasan a través de los trenes de precalentamiento de crudo. En estos trenes el petróleo crudo eleva su temperatura debido al intercambio de energía con los diferentes productos de las torres atmosférica y de vacío.

Los trenes de precalentamiento A y B estan en paralelo, y cada uno de ellos consta de ocho intercambiadores de calor de tubos y coraza 2-4, con un área de transferencia de 4387 ft<sup>2</sup>. El flujo que pasa por cada tren de precalentamiento, es la mitad de la carga que es bombeada por las GA-101 A/B.

En el primer cambiador de calor EA-101A, el crudo es calentado desde la temperatura ambiente hasta 68 °F, siendo el fluido caliente la Nafta pesada que cambia su temperatura de 429 °F a 174 °F. Al pasar por los cambiadores de calor EA-102A y EA-103A el crudo adquiere una temperatura de 241°F. La Kerosina y el GOL-P son los fluidos calientes de intercambio térmico respectivamente; reduciendo su temperatura la Kerosina de 470 °F a 237 °F, y el GOL-P de 554 °F a 225 °F.

El crudo que sale del EA-103A es enviado a la desaladora FA-103A, antes de entrar al siguiente cambiador. El crudo desalado regresa con una concentración de sal aceptable para el proceso, y entra al cambiador EA-104A donde se calienta hasta 278 °F mediante el intercambio de calor con el GOL-AV que cambia su temperatura al ceder calor de 415 °F a 319 °F.

Los siguientes cambiadores del tren A por donde pasa el crudo son; EA-105A, EA-106A, EA-107A Y EA-108A en los cuales el crudo al final de estos eleva su temperatura hasta 505 °F; siendo los productos calientes que intercambia calor, Ref. GOL-P, GOP-P, GOP-AV y Residuo - AV, respectivamente. Estos últimos productos

pierden energía térmica al ceder su calor al petróleo crudo y las temperaturas de entrada y salida de cada uno de ellos se pueden observar en el diagrama de flujo.

El tren de intercambio B, es muy similar al antes descrito; ya que los productos calientes de las torres que pasan por cada uno de los cambiadores del tren A, al salir de estos pasan a los cambiadores del tren B. La temperatura del petróleo crudo entrante al tren es la que tienen los tanques de almacenamiento que se encuentran a temperatura ambiente.

Al final de los cambiadores del tren B que son del EA-102-B al EA-108-B e incluyendo el EA-107C que se encuentra casi al inicio del tren, el crudo se precalienta hasta una temperatura de 415 °F.

La corriente precalentada de cada tren de intercambio se unen en una sola línea que va a las torres despuntadoras de crudo DA-101A y DA-102B. En ellas el crudo es sometido a un proceso de flasheo mediante la reducción drástica del diámetro de la tubería.

El flujo que sale por el domo de las torres que consiste en gasolina de despunte y gases amargos son enviados a los tanques de separación FA-101 A /B, donde los gases son enviados a desfogue, mientras que la gasolina se envía a recirculación una parte, y la otra a tratamiento cáustico.

La corriente que sale por el fondo de las despuntadoras es enviado por las GA-103 a los calentadores BA-101 en donde el crudo despuntado eleva su temperatura desde 445 °F a 682 °F. Con esta temperatura la corriente de crudo es bifásica y es alimentado a la torre atmosférica DA-102, para su separación en los diferentes productos de destilación.

Por debajo del plato de alimentación a la torre de destilación primaria, se introduce una corriente de vapor sobrecalentado para la distribución de las diferentes corrientes vaporizadas. Por el domo de la torre se obtiene una corriente gaseosa que es enfriada y pasa por el tanque separador FA-102, donde la gasolina se separa y se recircula parte de esta a la torre DA-102, mientras que el resto se envía a tratamiento cáustico.

Los siguientes cortes de la torre son: en el plato 9 Turbosina, en el plato 15 Kerosina; en el plato 22 GOL- P y en el plato 28 GOP-P. Por el fondo de la torre sale una corriente de residuo primario que es enviado por las GA-112 a los calentadores BA-201.

## 76 EVALUACION Y ANALISIS DE LOS CAMBIADORES DE LA PLANTA EN BASE AL PROGRAMA

En es punto se presentan los datos obtenidos tanto en campo como en el cuarto de control de una planta de destilación atmosfénca. Estos datos se introdujeron al programa desarrollado en este trabajo, y los resultados se analizaron con la finalidad de determinar cual de los cambiadores de ambos trenes se encontraba con una eficiencia térmica muy baja.

Las temperaturas y otros parametros que se presentan en la tabla 7.2, son los valores de diseño con los cuales operaba en un principio la planta. En ella se observan valores de variables como el calor transfendo en cada intercambiador, los coeficientes limpio de transferencia, y los factores de incrustación, entre otros.

Las entradas a los cambiadores, de los diferentes productos procedentes de las torres, se tomaron del cuarto de control de la planta, y estas corresponden a las salidas de los diferentes platos de las destiladoras en cuestión.

En las tablas 7-3 y 7-4 se presentan las temperaturas típicas de las corrientes de salida y entrada a los trenes de precalentamiento de petróleo crudo en una planta de destilación primaria de una refinería integrada. Los datos de las lecturas tomadas para las temperaturas corresponden al promedio de los días de operación normal de dicha planta durante el periodo de octubre de 1995.

El promedio de petróleo crudo procesado en ese periodo fue de 155.000 B/D, con un peso específico de 0.87 para una mezcla de crudos istmo-maya, 75-25. Antes de presentar los datos de operación con los cuales se desarrollará una comda del programa, es conveniente conocer los datos con los cuales los trenes de intercambio de calor comenzaron a operar; estos se puede observar en la en la siguiente tabla.

**Tabla 7.2** Valores de algunos parámetros de diseño para los trenes de precalentamiento de petróleo crudo en una refinería integrada.

| TREN DE PRECALENTAMIENTO "A" |                       |                       |                       |                       |           |      |            |             |       |        |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|------|------------|-------------|-------|--------|
| CAMBIADOR                    | T <sub>ent</sub> (°C) | T <sub>sal</sub> (°C) | t <sub>ent</sub> (°C) | t <sub>sal</sub> (°C) | MLTD (°C) | FT   | MLTDC (°C) | Q (mmBTU/h) | Uc    | Rd     |
| EA-101 A                     | 220.5                 | 78.8                  | 20.2                  | 53.3                  | 186.84    | 0.91 | 171.3      | 26,890      | 35.9  | 0.0043 |
| EA-102 A                     | 243.5                 | 113.8                 | 53.3                  | 96.3                  | 179.55    | 0.91 | 163.7      | 31,600      | 44.0  | 0.0043 |
| EA-103 A                     | 290.2                 | 121.1                 | 90.3                  | 116.2                 | 149.34    | 0.86 | 128.58     | 23,880      | 42.30 | 0.0043 |
| EA-104 A                     | 212.7                 | 159.4                 | 116.2                 | 131.9                 | 104.74    | 0.94 | 98.72      | 19,550      | 45.14 | 0.0053 |
| EA-105 A                     | 291.6                 | 198.8                 | 136.8                 | 173.3                 | 157.12    | 0.91 | 144.31     | 37,200      | 58.74 | 0.0053 |
| EA-106 A                     | 321.6                 | 225.8                 | 173.3                 | 211.1                 | 143.60    | 0.90 | 129.52     | 45,000      | 71.4  | 0.0053 |
| EA-107 A                     | 290.5                 | 268.8                 | 211.1                 | 236.6                 | 100.45    | 0.96 | 97.41      | 28,600      | 67.0  | 0.007  |
| EA-108 A                     | 362.3                 | 316.6                 | 236.6                 | 262.7                 | 158.98    | 0.97 | 155.16     | 30,200      | 44.5  | 0.009  |
| TREN DE PRECALENTAMIENTO "B" |                       |                       |                       |                       |           |      |            |             |       |        |
| CAMBIADOR                    | T <sub>ent</sub> (°C) | T <sub>sal</sub> (°C) | t <sub>ent</sub> (°C) | t <sub>sal</sub> (°C) | MLTD (°C) | FT   | MLTDC (°C) | Q (mmBTU/h) | Uc    | Rd     |
| EA-102 B                     | 113.8                 | 55.5                  | 20.2                  | 35.4                  | 97.87     | 0.94 | 92.36      | 12,00       | 29.5  | 0.0043 |
| EA-103 B                     | 121.1                 | 51.1                  | 35.4                  | 45.6                  | 69.55     | 0.90 | 62.86      | 8.12        | 29.4  | 0.0043 |
| EA-104 B                     | 159.4                 | 102.2                 | 45.6                  | 62.7                  | 131.57    | 0.95 | 125.97     | 19.25       | 34.6  | 0.0053 |
| EA-107 C                     | 237.2                 | 124.4                 | 67.7                  | 92.7                  | 108.95    | 0.94 | 108.9      | 22.10       | 31.00 | 0.007  |
| EA-105 B                     | 198.8                 | 135.5                 | 92.7                  | 117.2                 | 108.26    | 0.92 | 99.8       | 22.40       | 41.14 | 0.0053 |
| EA-106 B                     | 228.8                 | 163.8                 | 117.2                 | 145.6                 | 113.82    | 0.91 | 104.3      | 27.35       | 54.7  | 0.0053 |
| EA-107 B                     | 268.8                 | 237.2                 | 145.6                 | 185.4                 | 157.89    | 0.97 | 153.53     | 40.10       | 59.7  | 0.007  |
| EA-108 B                     | 316.6                 | 274.4                 | 185.4                 | 212.2                 | 174.16    | 0.97 | 170.52     | 24.20       | 19.0  | 0.009  |

tent: temperatura de entrada del crudo frío  
 tsal: temperatura de salida del crudo frío  
 Tent: temperatura de entrada del fluido caliente  
 Tsal: temperatura de salida del fluido caliente  
 MLTD: media logarítmica de la temperatura  
 MLTDC: corrección de la media logarítmica  
 FT: factor de corrección para la media logarítmica  
 Q: calor transferido en cada intercambiador de calor  
 Uc: coeficiente de transferencia de diseño  
 Rd: factor de incrustación permitido en cada cambiador

| CAMBIADOR              | EA - 101 |              | EA - 102 |          | EA - 103 |                         | EA - 104 |                         |
|------------------------|----------|--------------|----------|----------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|
| CORRIENTE              | Crudo    | Nafta Pesada | Crudo    | Kerosina | Crudo    | Gasóleo Ligero Primario | Crudo    | Gasóleo Ligero De Vacío |
| Temperatura de entrada | 20       | 190          | 45       | 238      | 74       | 280                     | 105      | 238                     |
| Temperatura de salida  | 45       | 90           | 74       | 102      | 105      | 134                     | 130      | 140                     |

| CAMBIADOR              | EA - 105 |                          | EA - 106 |                         | EA - 107 |                      | EA - 108 |                  |
|------------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------|----------|----------------------|----------|------------------|
| CORRIENTE              | Crudo    | Reflujo Gasóleo Primario | Crudo    | Gasóleo Pesado Primario | Crudo    | Gasóleo Pesado Vacío | Crudo    | Residuo de Vacío |
| Temperatura de entrada | 130      | 175                      | 144      | 328                     | 159      | 255                  | 203      | 363              |
| Temperatura de salida  | 144      | 118                      | 159      | 202                     | 203      | 217                  | 220      | 315              |

**Tabla 7-3** Datos de operación para las temperaturas del primer tren de precalentamiento para una planta de destilación primaria, en una refinería integrada.

Las temperaturas de la tabla anterior corresponden a los ocho cambiadores de calor del primer tren de precalentamiento, y se puede observar que la corriente con mayor temperatura es la que sale del fondo de la torre de alto vacío. Estos datos se cargarán al programa primaria para conocer la eficiencia térmica de los aparatos de transferencia.

El flujo de petróleo crudo que pasa por el tren de precalentamiento es de 77,500 B/D, y el peso específico del mismo reportado por el laboratorio tiene un valor promedio de 0.87 durante el día en que se tomaron los datos.

| CAMBIADOR              | EA - 102 |                          | EA - 103 |                         | EA - 104 |                         | EA - 107C |                      |
|------------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|-----------|----------------------|
| CORRIENTE              | Crudo    | kerosina                 | Crudo    | Gasóleo Ligero Primario | Crudo    | Gasóleo Ligero De Vacío | Crudo     | Gasóleo Pesado Vacío |
| Temperatura de entrada | 20       | 102                      | 36       | 134                     | 48       | 140                     | 67        | 216                  |
| Temperatura de salida  | 36       | 60                       | 48       | 66                      | 67       | 92                      | 86        | 113                  |
| CAMBIADOR              | EA - 105 |                          | EA - 106 |                         | EA - 107 |                         | EA - 108  |                      |
| CORRIENTE              | Crudo    | Reflujo Gasóleo Primario | Crudo    | Gasóleo Pesado Primario | Crudo    | Gasóleo Pesado Vacío    | Crudo     | Residuo de Vacío     |
| Temperatura de entrada | 86       | 117                      | 100      | 202                     | 120      | 255                     | 160       | 315                  |
| Temperatura de salida  | 100      | 96                       | 120      | 187                     | 160      | 215                     | 190       | 287                  |

Tabla 7-4 Datos de operación para las temperaturas del segundo tren de precalentamiento en una planta de destilación primaria, en una refinería integrada.

Las temperaturas anteriores corresponden a los ocho cambiadores del segundo tren de precalentamiento de crudo de la planta considerada para la ejecución del programa. Se puede observar que las corrientes de producto que salen de las torres tanto de Alto Vacío como Atmosférica, tienen temperaturas inferiores que las entrantes al primer tren; debido a que primero intercambian calor en este tren y por lo tanto pierden energía.

El flujo que pasa por el segundo tren de precalentamiento, es de 77,500 B/D y el peso específico del mismo es el mencionado anteriormente. Los datos de esta tabla se cargarán al programa desarrollado para conocer los cambiadores más incrustados del segundo tren de precalentamiento.

MENU PRINCIPAL

SELECCIONE LA OPCION DESEADA

- 1) TREN A
- 2) TREN B
- 3) AMBOS TRENES
- 4) UN CAMBIADOR
- 5) CALOR DISIPADO EN LAS DESALADORAS
- 6) UNA CORRIDA SIMULADA DE LOS TRENES
- 7) ACERCA DEL PROGRAMA

CUAL ES SU OPCION [ ]

para salir presione Esc

Cuando se corre el programa, la pantalla que muestra las posibles opciones que el usuario puede seleccionar es la pantalla que aquí se muestra

PARAMETROS PARA OBTENER EL FACTOR DE CORRECCION DE LAS MLTD'S TREN A

R( 1 )= 4.00000  
 R( 2 )= 4.62069  
 R( 3 )= 4.70968  
 R( 4 )= 3.84000  
 R( 5 )= 4.07143  
 R( 6 )= 8.40000  
 R( 7 )= 0.86364  
 R( 8 )= 2.82353

S( 1 )= 0.14706  
 S( 2 )= 0.15183  
 S( 3 )= 0.15049  
 S( 4 )= 0.19084  
 S( 5 )= 0.31111  
 S( 6 )= 0.08152  
 S( 7 )= 0.45833  
 S( 8 )= 0.10625

INTRODUZCA LOS VALORES DEL FACTOR DE CORRECC.

FI( 1 )=? .98  
 FI( 2 )=? 0.99  
 FI( 3 )=? 0.97  
 FI( 4 )=? 0.96  
 FI( 5 )=? 0.99  
 FI( 6 )=? 0.99  
 FI( 7 )=? 0.98  
 FI( 8 )=? 0.99

OPRIMA SPC

Las tablas que aquí se muestran corresponden a los valores de R y S que el programa calculó al alimentarle los datos de proceso que anteriormente se mencionaron. Con estos valores, el usuario debe de obtener gráficamente el factor de corrección, FI, para cada uno de los cambiadores del tren A.



| MEDIA LOG. DE TEMPERATURA DIFEREN. VERDADERA DE TEMP. |                        | TEMPERATURA PROMEDIO      |
|---|------------------------|---------------------------|
| MLTD( 1 ) = 185.37883                                 | DT( 1 ) = 181.67125    | TM( 1 ) = 90.50000        |
| MLTD( 2 ) = 180.94002                                 | DT( 2 ) = 179.13062    | TM( 2 ) = 139.10001       |
| MLTD( 3 ) = 193.37817                                 | DT( 3 ) = 187.57683    | TM( 3 ) = 193.10001       |
| MLTD( 4 ) = 115.33349                                 | DT( 4 ) = 110.72015    | TM( 4 ) = 243.50000       |
| MLTD( 5 ) = 81.55262                                  | DT( 5 ) = 80.73709     | TM( 5 ) = 278.60001       |
| MLTD( 6 ) = 186.82401                                 | DT( 6 ) = 184.95576    | TM( 6 ) = 304.70001       |
| MLTD( 7 ) = 98.90174                                  | DT( 7 ) = 96.92371     | TM( 7 ) = 357.79999       |
| MLTD( 8 ) = 228.36493                                 | DT( 8 ) = 226.08128    | TM( 8 ) = 412.70001       |
| CALORES ESPECIFICOS                                   | CALORES INTERCAMBIADOS | COEF. GLOBAL DE TRANSFER. |
| CP( 1 ) = 0.47143                                     | Q( 1 ) = 20.87301      | U( 1 ) = 26.189739        |
| CP( 2 ) = 0.49488                                     | Q( 2 ) = 25.41692      | U( 2 ) = 32.343388        |
| CP( 3 ) = 0.52093                                     | Q( 3 ) = 28.60013      | U( 3 ) = 34.755310        |
| CP( 4 ) = 0.54525                                     | Q( 4 ) = 24.14120      | U( 4 ) = 49.700939        |
| CP( 5 ) = 0.56218                                     | Q( 5 ) = 13.93894      | U( 5 ) = 39.354012        |
| CP( 6 ) = 0.57478                                     | Q( 6 ) = 15.26909      | U( 6 ) = 18.818178        |
| CP( 7 ) = 0.60039                                     | Q( 7 ) = 46.78561      | U( 7 ) = 110.030899       |
| CP( 8 ) = 0.62688                                     | Q( 8 ) = 18.87370      | U( 8 ) = 19.029387        |

**RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL TREN A)**

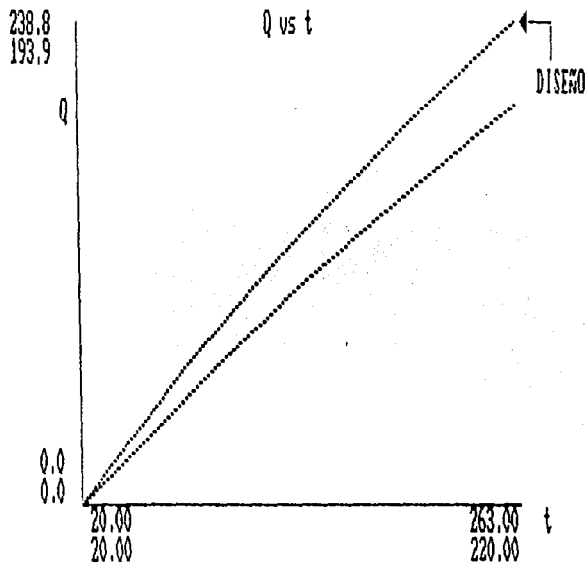
La página que aquí se muestra corresponde a los datos que el programa calculó en el tren A sobre las variables de: calor intercambiado (Q), coeficiente global de transferencia (U), calor específico (Cp) y media logarítmica de la diferencia de temperaturas (MLTD), entre otras

FACTORES TOTALES DE ENSUCIAMIENTO DEPOSITADOS EN EL TREN A  
INCLUYE FACTOR INTERNO Y EXTERNO DE OBSTRUCCION

RD( 1 ) = 0.0144581  
RD( 2 ) = 0.0127331  
RD( 3 ) = 0.0094414  
RD( 4 ) = 0.0036323  
RD( 5 ) = 0.0136857  
RD( 6 ) = 0.0442235  
RD( 7 ) = 0.0011632  
RD( 8 ) = 0.0390914

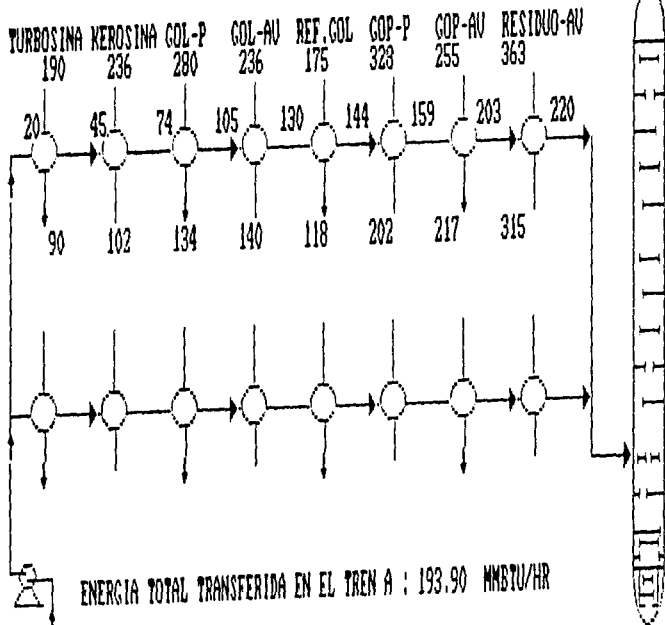
Los factores de incrustación que el programa calculó, en base a los datos de proceso que se introdujeron al mismo; son los que se muestran la tabla de arriba

# PERFILES DE TEMPERATURA DE DISEÑO Y DE OPERACION PARA EL TREN A



En esta pantalla, el programa muestra los perfiles de temperatura, de diseño y el de operación, con el cual esta trabajando el tren de precalentamiento A; de acuerdo a los datos de proceso que se le alimentaron.

# CONDICIONES Y RESULTADOS DEL SISTEMA SELECCIONADO



En esta pantalla, se puede observar que el programa muestra los valores de las temperaturas del tren A que se alimentaron al programa para la corrida. también se observan los productos calientes que vienen de las torres Atmosférica y de Vacío, que intercambian calor con el crudo entrante a la planta. La energía total transferida en el sistema se observa en la parte inferior de la pantalla

CON LOS PARAMETROS CALCULADOS DE R Y S EVALUE  
 LOS VALORES DEL FACTOR DE CORRECCION PARA LAS MLTD'S  
 CON LO CUAL SE CALCULARAN LAS DIFERENCIAS VERDA-  
 DERAS DE TEMPERATURA PARA EL TREN B

| PARAMETROS PARA EVALUAR EL FACTOR DE CORRECCION |                  |
|---|------------------|
| R( 10 )= 2.62500                                | S( 10 )= 0.19512 |
| R( 11 )= 5.66667                                | S( 11 )= 0.12245 |
| R( 12 )= 2.52632                                | S( 12 )= 0.20652 |
| R( 13 )= 5.42105                                | S( 13 )= 0.12752 |
| R( 14 )= 1.37500                                | S( 14 )= 0.50000 |
| R( 15 )= 0.83333                                | S( 15 )= 0.18000 |
| R( 16 )= 1.12500                                | S( 16 )= 0.28571 |
| R( 17 )= 0.93333                                | S( 17 )= 0.19355 |

| INTRODUZCA LOS FACTORES |
|-------------------------|
| FT( 10 )=? 0.98         |
| FT( 11 )=? 0.99         |
| FT( 12 )=? 0.98         |
| FT( 13 )=? 0.99         |
| FT( 14 )=? 0.99         |
| FT( 15 )=? 0.99         |
| FT( 16 )=? 0.99         |
| FT( 17 )=? 0.99         |

PARA CONTINUAR OPRIMA SPC

A continuación se muestran las pantallas para el tren de precalentamiento B que el programa presentó, después de alimentarle los datos de proceso estas tienen la misma estructura que las del tren A.

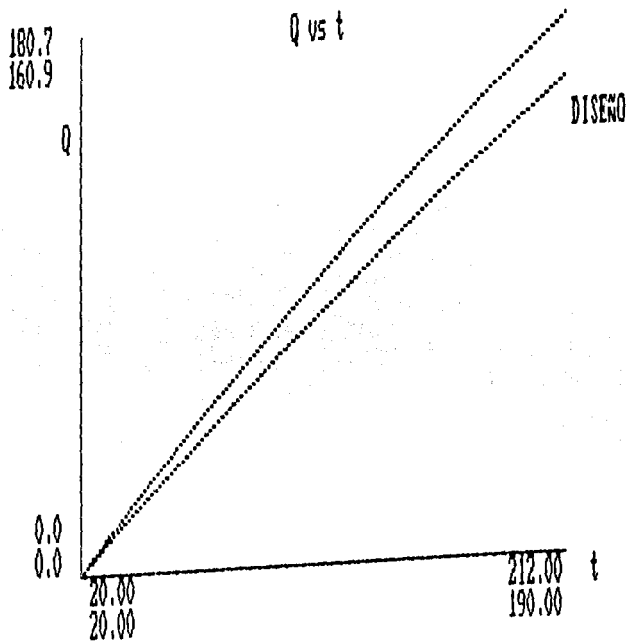
## RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL TREN B DE PRECALENTAMIENTO

| VALORES ESPECIFICOS<br>DEL FLUIDO FRIO<br>(BTU/Lb-°F) | CALOR TOTAL INTERCAMBIADO<br>EN LOS CAMBIADORES<br>(Btu/Hr) | COEFICIENTE GLOBAL DE<br>TRANSFERENCIA DE CALOR<br>(Btu/Hr Ft <sup>2</sup> °F) |
|---|---|--|
| CP( 10 ) = 0.46753                                    | Q( 10 ) = 13.24799  | U( 10 ) = 32.97261   |
| CP( 11 ) = 0.47968                                    | Q( 11 ) = 10.19437  | U( 11 ) = 24.52378   |
| CP( 12 ) = 0.49314                                    | Q( 12 ) = 16.59402  | U( 12 ) = 37.43428   |
| CP( 13 ) = 0.50964                                    | Q( 13 ) = 17.14923  | U( 13 ) = 27.13069   |
| CP( 14 ) = 0.52137                                    | Q( 14 ) = 7.38683   | U( 14 ) = 56.70512   |
| CP( 15 ) = 0.53396                                    | Q( 15 ) = 19.85874  | U( 15 ) = 28.23546   |
| CP( 16 ) = 0.55828                                    | Q( 16 ) = 34.60512  | U( 16 ) = 42.18949   |
| CP( 17 ) = 0.59084                                    | Q( 17 ) = 41.85567  | U( 17 ) = 40.89890   |

FACTORES TOTALES DE ENSUCIAMIENTO DEPOSITADOS EN EL TREN B  
INCLUYE LOS FACTORES INTERNO Y EXTERNO DE OBSTRUCCION

|            |          |
|------------|----------|
| RD( 10 ):- | 0.003446 |
| RD( 11 ):- | 0.012687 |
| RD( 12 ):- | 0.002383 |
| RD( 13 ):- | 0.012289 |
| RD( 14 ):- | 0.003349 |
| RD( 15 ):- | 0.024168 |
| RD( 16 ):- | 0.013899 |
| RD( 17 ):- | 0.007784 |

# PERFILES DE TEMPERATURA DE DISEÑO Y DE OPERACION PARA EL TREN B





# CAPITULO VIII

## MANUAL DE USUARIO

## 8.1 PROGRAMA PRIMARIA

El programa Primaria que a continuación se describe, calcula los factores de ensuciamiento o de incrustación depositados en los cambiadores de calor, después de que estos aparatos han estado en funcionamiento durante un periodo de tiempo.

Este programa es ejecutable y puede correrse en cualquier computadora que sea compatible. Los resultados y mensajes en pantalla cambian cuando el usuario oprime la tecla SPC (barra espaciadora).

Algunas variaciones que el usuario puede detectar al emplear diferentes tipos de computadoras; se presenta en los tiempos que la misma requiere para mandar los datos y mensajes en la pantalla. Así, por ejemplo, si el programa se corre en una computadora de menor velocidad que otras, los mensajes tardarán más tiempo en presentarse o cambiarse de la pantalla.

Este programa es aplicable a plantas de destilación atmosférica que forman parte integral de una refinería, y requiere que el usuario proporcione los datos correctos que el programa en cada uno de sus mensajes le va pidiendo. La sección de la planta en donde el programa aplica, son los trenes de precalentamiento de petróleo crudo, y los datos que se necesitan para el programa están relacionados directamente con este sistema de precalentamiento.

La evaluación térmica de un cambiador de calor, se obtiene cuando en el menú principal se selecciona la opción número cuatro, lo cual se puede aplicar a cualquier cambiador de los trenes de precalentamiento, así como a otros que no forman parte de la planta antes mencionada.

Al evaluar los trenes de precalentamiento calor, el programa presenta una tabla con valores calculados en base a los datos de proceso alimentados al programa, en esta tabla se observaran los valores de transferencia de calor, coeficientes globales de transferencia y factores totales de transferencia, entre otros. Con los datos anteriores, el programa presenta una gráfica con los valores calculados de calores intercambiados contra las temperaturas que el crudo adquiere en cada uno de los cambiadores del tren de precalentamiento.

## 8.2 PANTALLAS DE MENSAJE

Los colores de los mensajes, es otra variación que puede presentarse al ejecutar el programa; ya que estos sólo aparecerán en los monitores que así lo permitan, mientras que al seleccionar la opción 5 para el cálculo del calor disipado en las desaladoras, el color no será muy nitido debido a la instrucción de SCREEN que el programa maneja.

Tal vez el usuario ejecuta el programa en una computadora que no es capaz de presentar la letra Ñ; por lo que en tal caso aparecerá una mancha en su lugar, recordando que este borrón no implica ningún error en el programa ni de ejecución del mismo; sino que simplemente es una variación del tipo de computadora que el usuario esta empleando y la cual no es capaz de presentar en pantalla este carácter.

El programa Primaria esta estructurado de tal forma que facilita al usuario la ejecución del mismo, no siendo necesario poseer un amplio conocimiento en los tópicos de transferencia de calor y similares.

La estructura del mismo permite cambiar los mensajes de pantalla oprimiendo la tecla SPC (barra espaciadora), localizada en la parte inferior del teclado y siendo esta la más grande del mismo. Con esta tecla se logra la visualización de los mensajes o resultados con el tiempo suficiente que considere el usuario; ya que, mientras no se oprima está tecla la pantalla permanecerá con los mensajes en ella.

Se recomienda no oprimir más de una vez esta tecla, debido a que se estará cambiando de pantalla con gran rapidez, de manera que no se permite el tiempo suficiente para visualizar los resultados o mensajes.

La importancia de las líneas que permiten estos tiempos, radica en que el usuario puede mandar a imprimir, si así lo desea, los resultados o mensajes que van apareciendo en la pantalla, con sólo oprimir la tecla *impr Pant* o *PRINT*.

Debe tenerse en consideración, que las pantallas pueden imprimirse, siempre y cuando el usuario halla cargado el archivo Graphics que se encuentra en el sistema operativo MS-DOS, de lo contrario sólo aparecera en la impresión algunas líneas.

### 8.3 MENU PRINCIPAL

La segunda pantalla que aparece al correr el programa presenta el menú principal el cual contiene las siete posibles opciones que pueden ejecutarse al seleccionarse la tecla correspondiente. En esta pantalla se observará que se puede ejecutar la tecla con numeración del 1 al 7; e inmediatamente al oprimir uno de estos números el programa presentará la pantalla con la opción seleccionada.

Cada una de las opciones presenta una pantalla que muestra el nombre de la opción y los datos que deben introducirse para la evaluación seleccionada. La opción 1 calcula los factores de ensuciamiento de los cambiadores de calor para el tren A, la opción dos realiza lo mismo para el tren de intercambio B.

La opción tres, calcula los factores de ensuciamiento para los dos trenes de precalentamiento. En algunas ocasiones no será necesario la evaluación de todo un tren de precalentamiento; requiriéndose únicamente la evaluación rápida de un cambiador de calor, lo cual se calcula con la opción cuatro.

Esta última opción, permite presentar en pantalla los datos más importantes de la evaluación del cambiador de calor, así como el esquema del mismo con todos los valores alimentados al programa.

El calor disipado en las desaladoras es importante, ya que permite evaluar la cantidad de energía perdida en el trayecto que sigue el crudo hacia las desaladoras. Esta evaluación se realiza al oprimir la tecla cinco, donde será necesario alimentar las temperaturas del crudo que sale del cambiador hacia la desaladora y la temperatura que entra al siguiente cambiador.

La opción seis, realiza la autoevaluación de los factores de incrustación de ambos cambiadores, con los cuales fue diseñada la planta. En ella se calculan los calores intercambiados y coeficientes globales de transferencia de calor de los aparatos, tomando en cuenta los datos de las temperaturas y flujos con los que la planta comenzó a operar.

Con esta opción el usuario tiene los valores con los cuales puede comparar, los resultados que obtiene al realizar una comida con datos que esta mandando la consola de control. Entre los datos de diseño de la planta que esta opción calcula, se encuentran; calor intercambiado (Q), Factores de incrustación (Rd), la MLTD, el coeficiente total de transferencia (U), entre otros.

Los datos de diseño que el programa calcula con la opción seis, están evaluados en base a las ecuaciones respectivas para cada una de esas variables, y son las mismas ecuaciones que se emplean en las tres primeras opciones.

Alguna información importante acerca del programa, se puede leer cuando se oprime la opción siete. En ella se presentan algunos comentarios sobre los posibles errores en que se puede incurrir al estar corriendo el programa, así como algunas sugerencias para la obtención de buenos resultados en la evaluación seleccionada.

En la parte inferior de la pantalla del menú principal, se observa un letrero que indica la manera en que el usuario puede salir del programa Pnmana, el cual indica que con sólo presionar la tecla *Esc* puede cerrarse totalmente el programa.

Cuando se ha trabajado con cualquiera de las opciones, el programa regresa a la segunda pantalla referente al menú principal; esto se logra con presionar la tecla barra espaciadora cuando se ha terminado de observar los resultados que arroja el programa de la evaluación seleccionada.

Se recomienda que cuando se termine de ejecutar alguna opción seleccionada y se desee realizar alguna otra evaluación, el programa debe cerrarse con la tecla *Esc*, ya que muchas veces al no realizar esto se trunca con los datos anteriores de la primera evaluación ejecutada.

#### 8.4 ENTRADA DE DATOS

Tal como se comentó anteriormente, el programa está estructurado de tal manera que su comprensión es sencilla; y de esta forma el usuario observará los datos que el programa requiere. Entre esos datos, que deben alimentarse al programa para

realizar las evaluaciones se encuentran los siguientes:

- \* Temperatura de entrada del fluido frío (crudo)
- \* Temperatura de salida del fluido caliente (crudo)
- \* Temperatura de entrada del fluido caliente
- \* Temperatura de salida del fluido caliente
- \* Densidad relativa del fluido frío
- \* Área de transferencia de calor
- \* Coeficiente limpio de transferencia de calor

El usuario debe alimentar únicamente aquellos datos que el programa le va indicando, y estos serán alimentados a la memoria cuando se oprima la tecla ENTER, logrando a la vez que el programa indique el siguiente dato que debe alimentarse.

Cuando se pregunta un determinado dato, y se escribe incorrectamente (lo cual quiere decir que se ha oprimido una tecla diferente a la indicada), el programa manda un mensaje en pantalla, que indica este error. El usuario puede volver a introducir el dato correcto sin necesidad de romper con el programa.

El error anterior tiene solución, sin necesidad de romper con el programa; sin embargo cuando se escribe un dato numérico incorrecto, el error sólo puede ser corregido si aún no se oprime la tecla ENTER; de haberlo hecho, el programa almacena el dato en la memoria, y la única forma de corregir el error es rompiendo el programa con las teclas CONTROL-BREAK; siendo necesario entrar nuevamente al programa ejecutable "PRIMARIA.EXE".

Los cálculos que se realizan, están fundamentados en las ecuaciones de transferencia de calor, las cuales se presentaron anteriormente. Relaciones básicas e importantes dentro de la Ingeniería Química, proporcionan los datos que se requieren para la evaluación final de los factores de incrustación. Cada una de estas ecuaciones que evalúan los parámetros para la transferencia de calor, se encuentran localizadas en la estructura interna que tiene el programa.

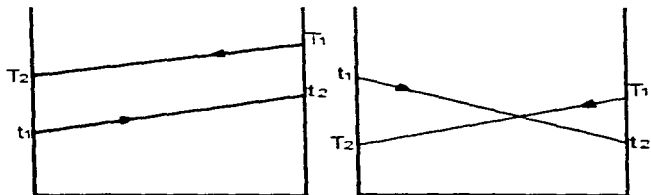
El programa realiza las evaluaciones y cálculos de las opciones, de acuerdo a los datos que el usuario le alimenta.

Cuando el programa se rompe; es debido a que se ha introducido un dato incorrecto de temperatura; esto es, debido a que en el programa calcula la MLTD, la cual tiene una correlación que implica un logaritmo de las diferencias de temperatura entre el fluido frío y el caliente.

$$MLTD = \frac{[(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)]}{\ln [(T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)]}$$

Este error implica que no se cumple debidamente el perfil de temperaturas de algún cambiador, tal como se muestra más adelante en la figura 8.1 del lado derecho.

En la figura que se muestra pueden verse las variaciones de temperatura de los fluidos dentro de un cambiador de calor, en donde las temperaturas de cada corriente esta graficada como función de la longitud del cambiador. En la figura del lado izquierdo, se ilustra la operación a contracorriente verdadera de un cambiador de calor.



a) Perfil correcto

b) Perfil incorrecto

Figura 8-1 Perfiles de temperatura en un intercambiador

En este tipo de operación, los dos fluidos que intercambian calor pasan en direcciones opuestas. Ahí, la fuerza motriz o potencial térmica es más constante a lo largo de todo el cambiador.

El segundo perfil de temperatura, es uno de los casos que pueden presentarse al romperse el programa, y que termodinámicamente son imposibles; ya que implica calentar un fluido con otro que está a temperatura inferior. Cuando se ha presentado esta situación, deben verificarse las temperaturas de entrada y salida para ambos fluidos del intercambiador.

Esta situación puede evitarse si el usuario busca y proporciona correctamente las temperaturas de los cambiadores; ya que es imposible calentar un fluido con otro que se encuentra a menor temperatura.

Al estar evaluando las cuatro primeras opciones; una vez alimentadas las temperaturas de proceso; el programa se encuentra en espera de que el usuario proporcione los valores del factor FT. Este valor es evaluado de la gráfica que se presenta al final de este trabajo.

En estas gráficas el eje de las abscisas corresponde a la letra S, y la letra R al de las ordenadas, estos valores o parámetros pueden verse en pantalla debido a que el programa los calcula con los datos alimentados del programa.

El presente programa fue elaborado en las plantas de Destilación Primaria; Destilación al Alto Vacío y Reductora de Viscosidad; de la Refinería Miguel Hidalgo, en la ciudad de Tula; por

*Raúl Guzmán Díaz*



## CONCLUSIONES

De los resultados cálculos por el programa al evaluar los trenes de precalentamiento de crudo en la planta Primaria 1 con datos operacionales de la misma. Se observa que estos están por debajo de los datos de diseño con los que la planta comenzó a operar, debido a que los trenes han estado operando durante un tiempo considerable de tal forma que el programa muestra que el sistema (trenes de intercambio), presenta algunos equipos que se encuentran más obstruidos que otros.

Para el tren A, se tiene que la energía total transfere en el sistema es de 193.90 MMBTU/HR, y es inferior a la de diseño cuyo valor es de 235.76 MMBTU/HR, lo cual implica que se están perdiendo 41.86 MMBTU/HR, debido a que la transferencia de calor en algunos de equipos de este tren esta por debajo de la recomendada en el diseño.

De los resultados se observa que el cambiador No. 5 de Reflujo de Gasóleo Primario, es el que presenta mayor incrustación, y esto se refleja en una transferencia de calor muy por debajo de los 37.200 MMBTU/HR que son los transferidos de acuerdo al diseño, el valor con el cual opera este cambiador en base al programa es de 13.938 MMBTU/HR. Lo anterior implica que este cambiador es el primero que debe salir fuera de operación, debido a que es el que mayor incrustación presenta.

Los cambiadores 1,2 y 6, de acuerdo a la evaluación realizada por el programa, también presentan incrustación a la transferencia de calor, y de estos el que debe ser limpiado en cuanto se presente la oportunidad debido a que solo se están transfiriendo 15.269 MMBTU/HR, con un coeficiente global de transferencia de 18.81 BTU/HR · FT<sup>2</sup> · °F, que comparados con los valores respectivos de 40.600 MMBTU/HR y 78.40 BTU/HR · FT<sup>2</sup> · °F que se presentan en la tabla 7-2; están muy por debajo de los de diseño.

Los intercambiadores de Turbosina y Kerosina que son los dos primeros también presenta valores de coeficiente global de transferencia por debajo de los de diseño; sin embargo la transferencia de calor en estos equipos no esta tan baja como la que presentan los cambiadores de Reflujo de Gasóleo Ligero y Gasóleo Pesado Primario.

Con respecto al segundo tren de precalentamiento evaluado, se puede observar en base a los resultados arrojados por el programa los siguientes:

\* El sistema evaluado presenta tal como era de esperarse, menor energía intercambiada, esto debido a que los equipos presentan obstrucción al intercambio de calor. Lo anterior se puede observar en la gráfica que presenta el perfil de diseño y el de operación para esta evaluación, en el cual se observa que la curva de operación está por debajo de la de diseño.

\* Los cambiadores que se encuentran más obstruidos, son los de Crudo-GOL-P, Crudo-GOP-AV y Crudo-GOP-P. Los factores de incrustación y coeficientes globales de transferencia de calor para estos equipos se encuentran por debajo de los de diseño, por lo que estos equipos deben ser limpiados en su oportunidad.

Con lo anterior se concluye que el objetivo del programa de evaluar y dar una estimación de los equipos que se encuentran obstruidos, se cumplió, y en base a los resultados que el programa calculó se considerará que este tiene una confiabilidad aceptable siempre y cuando se le alimenten al mismo datos correctos que no ocasionen que el programa se desborde. Como por ejemplo alimentar temperaturas de fluido caliente que sean inferiores a las del fluido frío.

El programa está elaborado y enfocado a Plantas de Destilación Pnmana; sin embargo este puede ser utilizado para otras plantas que tengan un tren de cambiadores de calor similares al evaluado en este trabajo, o es aplicable a evaluaciones de cualquier cambiador de calor siempre y cuando se realicen los ajustes pertinentes para los cálculos de las variables de transferencia de calor.

El objetivo principal de este trabajo se llevó a la Práctica en la Refinería Miguel Hidalgo, en la Planta de Destilación Atmosférica con la colaboración y apoyo técnico de algunos ingenieros de operación de la planta ya mencionada. Con el cálculo de los factores de incrustación que desarrolló el presente programa y el cual es el objetivo principal del mismo, queda de manifiesto que al conocer el estado en que se encuentran los cambiadores de calor desde el punto de vista energético, es de vital importancia para la operación de las plantas que cuentan con estos equipos, ya que con esto se sabrá si es necesario darle mantenimiento a tales equipos.

## BIBLIOGRAFIA

Chemical Process Industries. R. Norris Sheve, 4<sup>a</sup>ed.;  
Mc Graw-Hill, México 1977.

Introduction to industrial chemistry. Hoowadr L. White,  
Jonh Wiley and Sons, U.S. A.; 1992.

Heat Transfer. Alan Chapman. Macmillan H. Publishing  
Co.; Inc.; New York. 1974.

Heat Trasnmission. William H. Mc.Adams. 3<sup>a</sup>ed.,  
Mc Graw Hill, New York, 1978

Advances in Petroleum Chemistry and refining. Vol I y II  
Kenneth A. Kobe and Jonh J. Mcketta. Jr. Intercience  
publishers, Inc.; New York, 1950.

Heat Transfer. Adrian Benjan.  
Jonh Wiley Sons, Inc.; New York, 1993

Compact Heat Exchangers W.M. Kays, Mac Graw Hill.  
México, 1984.

Heat Trasfer For engineers. H.Y. Wong.  
London. 1977.

Principles Of Engineering Heat Transfer. Warren H. Giet, PH. D.  
D. Van Nostrand Company, Inc.; New Jersey. 1960.

Engineering Heat Transfer. Shao Ti Hsu,  
Sc. D. D. Van Nostrand Company, Inc.; Toronto. 1965.

A Working Guide to Shell-and- Tube. Heat Exchangers. Stanley Yokell.  
McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1990.

Heat Transfer. Anthony F. Mill.  
Irwin, Boston, 1992.

Industrial Heat Exchangers. G. Walker.  
McGraw-Hill Publications Co.; New York, 1982.

Heat Exchanger. Desing and Theory Sourcebook. N.H Afgan.  
McGraw-Hill Book Company, New york, 1974.

Energy. Hanbook of Energy Cocsevation for Mechanical System in Buildings.  
Robert W. Rosse, P.E.; Van Nostrand Reidhold Company, New York, 1992.

Energy. Robert A. Hinrichs.  
Saunders College, San Francisco, 1992.

Transmisión del calor. William H. McAdams.  
3<sup>a</sup>ed.; McGraw- Hill, México, 1978.

Química y Tecnología del Petróleo y gas. V. Erij, M. Rasina, M. Rudin.  
Editorial Mir, Moscú, 1985.

Tecnología Química del petróleo. William A. Gruse, Donald R. Stevens.  
3<sup>a</sup>ed.; Ediciones Omega, S.A.; Barcelona, 1965.

Refino del petróleo y Tecnología y Economía. James H. Gary y  
Glenn E. Handwerk. Editorial Reverte, México, 1980.

Los Combustibles y su Tecnología. Julian Dominguez Sanz.  
Ediciones Urmo, Bilbao, 1970.

Dispositivos y Sistemas para el ahorro de Energía. Pere Esquerra Piza  
Marcombo, Barcelona. 1988.